PROCEEDINGS

การประชุมวิชาการระดับชาติ

พะเยาวิจัย

PHAYAO RESEARCH CONFERENCE

๑๓

24-26 JANUARY 2024

UNIVERSITY OF PHAYAO



รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการโครงการประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 13

หัวข้อ "Frontier Area-Based Research for Sustainable Development Goals"

วันที่ 24 – 26 มกราคม 2567 มหาวิทยาลัยพะเยา

พิมพ์ครั้งที่ 1 กุมภาพันธ์ 2567

สงวนลิขสิทธิ์

ข้อมูลทางบรรณานุกรม (Cataloging in Publication Data)

APA (American Psychological Association)

ชื่อผู้แต่ง. (2567). ชื่อบทความ. ใน เสมอ ถาน้อย (บ.ก.), **Frontier Area-Based Research for Sustainable Development Goals, รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการโครงการประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 13.** น.xx-xx. มหาวิทยาลัยพะเยา.

Vancouver Style

[1] ชื่อผู้แต่ง. (2567). ชื่อบทความ. ใน เสมอ ถาน้อย (บ.ก.), Frontier Area-Based Research for Sustainable Development Goals, รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการโครงการประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 13. น.xx-xx. มหาวิทยาลัยพะเยา.

จัดทำโดย: กองบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยพะเยา 19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000 โทร 054-466-666 ต่อ 1047-1048

E-mail: prconference@up.ac.th Website: www.prc.up.ac.th

ประสานงานและจัดรูปเล่ม: มณีกานต์ วังแสง

พิสูจน์อักษรและจัดรูปแบบอักษร: รัชฎาภรณ์ แก้วสืบ

ออกแบบและส่วนอื่น ๆ: อัญชลี เทียมคีรี, จักรพงศ์ มาลีพัตร, สิริทัชญา พามณี

ISBN (e-book): 978-616-8315-38-5

หมายเหตุ: บทความในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการฉบับนี้เป็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย และหากผู้เขียนได้ละเมิดลิขสิทธิ์ผลงานของผู้หนึ่งผู้ใด กองบรรณาธิการไม่รับผิดชอบต่อการละเมิดดังกล่าว

สารจากนายกสภามหาวิทยาลัยพะเยา
ศาสตราจารย์พิเศษอรรถพล ใหญ่สว่าง



มหาวิทยาลัยพะเยา ก้าวสู่ปีที่ 14 ภายใต้การเป็นมหาวิทยาลัยเชิงพื้นที่ ที่มุ่งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่มีชื่อเสียงในระดับชาติและนานาชาติ โดยเริ่มเข้ารับการจัดอันดับมหาวิทยาลัยระดับโลกจากหลายสถาบัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 และได้มีการพัฒนาการดำเนินงานมาอย่างต่อเนื่อง ทั้ง THE Impact Rankings, Scimago Institutions Rankings, UI GreenMetric World University Rankings

การจัดอันดับมหาวิทยาลัยระดับโลกดังกล่าว ประเด็นสำคัญประการหนึ่งคือการสนับสนุนส่งเสริมให้มีการพัฒนาคุณภาพผลงานวิจัยและพัฒนาคุณภาพนักวิจัยให้มีความเข้มแข็ง สามารถตอบสนองความต้องการในการพัฒนาชุมชนและสังคม รวมถึงการพัฒนาผลงานให้ได้รับการตีพิมพ์ในระดับนานาชาติเพิ่มมากขึ้น การประชุมวิชาการระดับชาติ “พะเยาวิจัย” ครั้งที่ 13 ภายใต้หัวข้อ “Frontier Area-Based Research for Sustainable Development Goals” จะเป็นกลไกหนึ่งที่มีส่วนขับเคลื่อผลงานวิจัยและนวัตกรรมพร้อมใช้ สร้างองค์ความรู้ใหม่ที่สามารถนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาท้าทายของสังคมตลอดจนปัญหาด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันการพัฒนาเชิงพื้นที่และลดความเหลื่อมล้ำ รวมถึงการแก้ไขปัญหาวิกฤติเร่งด่วนของประเทศ ต่อไป

ขอขอบคุณคณะทำงานจัดการประชุมวิชาการ ขอบคุณท่านวิทยากร ผู้ทรงคุณวุฒิ และขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการจัดการประชุมวิชาการ “พะเยาวิจัย” ในครั้งนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการประชุมวิชาการครั้งนี้จะสัมฤทธิผลตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

(ศาสตราจารย์พิเศษอรรถพล ใหญ่สว่าง)

นายกสภามหาวิทยาลัยพะเยา

สารจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยพะเยา

รองศาสตราจารย์ ดร.สุภกร พงศบางโพธิ์



มหาวิทยาลัยพะเยาเป็นมหาวิทยาลัยเชิงพื้นที่ที่ได้เข้ารับการจัดอันดับใน World University Ranking จากหลายสถาบัน มหาวิทยาลัยสนับสนุนส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพงานวิจัยและนักวิจัยให้มีศักยภาพที่เข้มแข็งและสร้างกระบวนการพัฒนางานวิจัยที่สามารถตอบสนองต่อการพัฒนาชุมชนและสังคมให้ได้รับการตีพิมพ์ทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ อันจะส่งผลต่อการจัดอันดับมหาวิทยาลัย ซึ่งการจัดเวทีให้มีการเผยแพร่ผลงานวิจัยและให้นักวิจัยได้มีเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับนักวิจัยด้วยกันและกับผู้ทรงคุณวุฒิ จะเป็นอีกหนึ่งกลไกในการพัฒนาผลงานวิจัยให้มีคุณภาพ

มหาวิทยาลัยพะเยา จึงจัดให้มีการประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัยอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปี ซึ่งในปีนี้เป็นครั้งที่ 13 ภายใต้หัวข้อ “Frontier Area-Based Research for Sustainable Development Goals” ซึ่งแสดงถึงบทบาทของมหาวิทยาลัยเชิงพื้นที่ที่สามารถสร้างผลงานเป็นที่ยอมรับในระดับสากล รวมถึงเป็นเวทีให้นักวิจัยได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้และสร้างเครือข่ายการทำงานวิจัย นำไปสู่การนำองค์ความรู้จากงานวิจัยและนวัตกรรมไปใช้ในการพัฒนาให้เกิดงานวิจัยและนวัตกรรมพร้อมใช้สู่ชุมชนและสังคม เกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการสร้างประโยชน์ต่อชุมชนและสังคม และขับเคลื่อนประเทศให้เกิดการพัฒนาแบบยั่งยืน ต่อไป

มหาวิทยาลัยพะเยา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการประชุมวิชาการครั้งนี้ จะก่อให้เกิดการสร้างเครือข่ายเพื่อพัฒนานักวิจัย พัฒนาผลงานวิจัยและนวัตกรรม เป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยในการนำองค์ความรู้ที่เกิดขึ้นไปพัฒนาองค์กร พัฒนาชุมชน สังคม และประเทศชาติให้มีความเข้มแข็งและเกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนตลอดไป

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุภกร พงศบางโพธิ์)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยพะเยา

คำนำ

มหาวิทยาลัยพะเยาได้จัดการประชุมวิชาการพะเยาวิจัยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งครั้งนี้เป็นครั้งที่ 13 ภายใต้หัวข้อ “Frontier Area-Based Research for Sustainable Development Goals” มีการจัดการนำเสนอในรูปแบบการบรรยาย (Oral Presentation) และรูปแบบโปสเตอร์ (Poster Presentation) ทั้ง Onsite Conference ณ มหาวิทยาลัยพะเยา และ Online Conference ผ่านระบบ Zoom Conference และมีหน่วยงานร่วมจัดนำเสนอ ได้แก่ คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา “การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: การท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ครั้งที่ 1” ประจำปี 2567 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ระหว่างวันที่ 24-26 มกราคม พ.ศ. 2567

ในเอกสารฉบับนี้ประกอบไปด้วย ผลงานวิจัยที่ได้มีการนำเสนอในการประชุมวิชาการ ฯ จำนวนทั้งสิ้น 143 ผลงาน ซึ่งได้แบ่งกลุ่มการนำเสนอผลงาน ออกเป็น 3 กลุ่มสาขา คือ กลุ่มการวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ กลุ่มการวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กลุ่มการวิจัยและมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ดังนี้

ประเภท Poster Presentation	**จำนวน**	**31**	**ผลงาน**
กลุ่มการวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ	จำนวน	6	ผลงาน
กลุ่มการวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	จำนวน	19	ผลงาน
กลุ่มการวิจัยมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	จำนวน	6	ผลงาน
ประเภท Oral Presentation	**จำนวน**	**112**	**ผลงาน**
กลุ่มการวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ	จำนวน	5	ผลงาน
กลุ่มการวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	จำนวน	83	ผลงาน
กลุ่มการวิจัยมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	จำนวน	24	ผลงาน

คณะกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการ ฯ ขอขอบพระคุณ คณะที่ปรึกษา คณะกรรมการอำนวยการ ฯ คณะกรรมการฝ่ายต่าง ๆ ผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยที่ให้เกียรติและ สละเวลาในการพิจารณาบทความ เข้าร่วมการวิพากษ์ผลงาน และให้ข้อเสนอแนะแก่ผู้นำเสนอทุกท่าน รวมไปถึง ผู้นำเสนอทุกท่าน ที่มีส่วนทำให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าองค์ความรู้จากการประชุมวิชาการ ฯ ครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการ ชุมชน สังคม และประเทศชาติต่อไป

คณะกรรมการดำเนินงาน

กุมภาพันธ์ 2567

สารบัญ

กลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ (Poster Presentation)

(HS–P01) ฤทธิ์ต้านเชื้อราของวานิลลินต่อเชื้อเกลื้อน (*Malassezia furfur*) **โดย** พรพนา วิญญูทรัพย์ และ วีรพงษ์ จันทะชัย 1

(HS–P02) การวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปโดยใช้เทคนิคการคายคลื่นแสงอย่างง่ายกับการอ่านค่าสี อาร์ จี บี **โดย** วิรัช เรืองศรีตระกูล และ เสนีย เครือเนตร 7

(HS–P05) ประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ และภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิม : กรณีศึกษาชุมชนท่าอิฐและเกาะเกร็ด จ.นนทบุรี **โดย** ศุภามณ จันทร์สกุล, บุญส่ง สุประดิษฐ์, ชนินทร์ จักรภพโยธิน และ คชารัตน์ ปรีชล.....16

(HS–P06) ผลของปริมาณแป้งข้าวเจ้าดัดแปรด้วยกระบวนการออกซิเดชันในการเป็นสารช่วยในตำรับยาเม็ดลอราทาดีนที่แตกตัวในช่องปาก **โดย** นพดล จงเจิดศักดิ์, วิริยาพร ศิริกุล, ชุติมา ลิ้มมัทวาภิรัติ์ และ สนทยา ลิ้มมัทวาภิรัติ์ 33

(HS–P07) การพัฒนาและเปรียบความคงตัวของยาเตรียมเฉพาะคราวซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ที่เตรียมจากเม็ดยาต่างบริษัท **โดย** วิริยาพร ศิริกุล และ ชุติมน หมื่นแก้ว 43

(HS–P11) การศึกษาเปรียบเทียบผลของการส่งเสริมการฟื้นตัวหลังผ่าตัด (ERAS) ต่อการใช้ยากลุ่มอนุพันธ์ของฝิ่น (Opioids) ในการผ่าตัดทำคลอด **โดย** ลภัสกรณ์ ยะปะนัน, วรัญญู เหงี่ยมไพศาล, จิรพัฒน์ คล้อยปาน และ ทักษิณา ทินนา..... 55

สารบัญ

กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Poster Presentation)

(SCI-P01) โครงสร้างจุลกายวิภาคของต่อมน้ำลายทูบาเรียล ด้วยการย้อมสี H&E และ PAS **โดย** พิสิฐ แสงอนันตการ.....65

(SCI-P02) Molecular modeling study of chromone derivatives as potential inhibitor of SARS-CoV-2 Main Protease
By Narumol Phosrithong..... 75

(SCI-P05) ผลกระทบของพลาสติกไมโครบีดส์ชนิดโพลีสไตรีนต่อกลุ่มประชากรแบคทีเรียในอุจจาระปลาซิวข้าวสารชวา (*Oryzias javanicus*) เอ็นจีเอส **โดย** แพรพิไล มิตรารัตน์, วิรงรอง ดวงใจ และ อรินทม์ งามนิยม..... 82

(SCI-P06) ผลของสารช่วยติดสีต่อการย้อมสีขมิ้นก้านบัวหลวงสำหรับผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์
โดย ฐิติกร วงค์เลื่อน, สุภา จุฬ์คุปต์, นารีรัตน์ จริยะปัญญา และ รัฐ ชมภูพาน.....91

(SCI-P07) การคัดเลือกสายพันธุ์กระดอม **โดย** เกษร แช่มชื่น, อนุรักษ์ สุขขารมย์ และ พฤกษ์ คงสวัสดิ์.....100

(SCI-P10) การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ต้นบนพื้นที่อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
โดย กฤตวิชญ์ สุขอึ้ง, จินดารัตน์ ช่างหล่อ, กิตติชัย จันธิมา, ทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์ และ เพ็ญศรี มลิทอง 108

(SCI-P12) อิทธิพลของแรงกระแทกที่ส่งผลต่อความเค้นตกค้างของเหล็กรางรถไฟที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็ง
โดย พิตินันท์ วสันตเสนานนท์, พงษ์ศักดิ์ รุนประโทก, กัมปนาท ถ่ายสูงเนิน,
ชานนท์ บุนนท์ และ วิรัช สวาสดิ์วงศ์ 119

(SCI-P15) การจัดทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสงในพื้นที่กระบวนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง
ในจังหวัดปทุมธานี **โดย** ณัฐริณีย์ คุณวงค์, เบญจรัตน์ บุญหว่าง, ศิริวรรณ กันติสินธุ์ และ อัญชลี คัตรมี.....132

(SCI-P16) การผลิตสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์พื้นฐานสาขาวิชาชีววิทยา
โดย วราภรณ์ ใจบาล, ภาวิณี ทองคำ, วิวัฒน์ ถาริน, ภาณุพงศ์ ชัยวงศ์แสน, ชุติมา ใจเพ็ชร, ปวีณา โพธิ์ทอง,
อรทัย หวังสันติธรรม, นฤมล บุญเรือง และ มณีนุช รันศรี 139

(SCI-P17) การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบการยืม-คืนพัสดุ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา
โดย พิชัย ไชยกุล และ เสถียร หันตา 148

(SCI-P18) การศึกษาพยาธิใบไม้ในหอยจากสัตว์สู่คนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานและแหล่งน้ำที่เกี่ยวข้อง:
กรณีศึกษา อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย **โดย** กิตติชัย จันธิมา, ชมพูนุช ภิระบรรณ, ชญานิษฐ์ ก้างออนตา
และ จารุภา ใจอุ้มผาง..... 160

(SCI-P23) การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของมันเทศญี่ปุ่น
โดย สุมิตรา สุปินราช, อิศร์ สุปินราช และ กุลวิชญ์ พานิชกุล 173

(SCI–P24) การเจริญเติบโตของผลและดัชนีการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพผลอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮี
โดย สุมิตร วิลัยพร, ศิรกานต์ ศรีธัญรัตน์ และ ศิริลักษณ์ อินทะวงศ์..... 180

(SCI–P25) ผลของน้ำซาวข้าวต่อการงอกและการเจริญเติบโตระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวอุบล 2
โดย ธนาภรณ์ ชาญเชี่ยว และ ทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์..... 191

(SCI–P26) การศึกษาฤทธิ์ทางเคมีและชีวภาพของสารสกัดจากรกจันทน์ **โดย** ขวัญจรัส เชิงปัญญา, กมลวดี ประชาราษฎร์, จิรพงศ์ ศรศักดานุภาพ, ฉันทนา ซูแสวงทรัพย์ และ อภิรดี เสียงสืบชาติ..... 202

(SCI–P03) คุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์จากชันโรง (Tetragonula laeviceps)
โดย ศิริกาญจน์ สันพา, บาจรีย์ ฉัตรทอง, ศิริลักษณ์ สันพา, อรอำไพ จ่าภา, ช่อผกา พวงศรี และ ขวัญหล้า แสนสุภา 1530

(SCI–P04) การศึกษาจุลินทรีย์ในผึ้งโพรงจากจังหวัดพะเยา
โดย ศิริกาญจน์ สันพา, ทิพย์วรรณ สรรพสัตย์, ศิริลักษณ์ สันพา, อรอำไพ จ่าภา, ธนาคาร ตันโยธา และ บุษกร มาใจ 1539

(SCI–P08) ฤทธิ์ต้านเชื้อราของสารสกัดจากพืชที่กินได้ต่อกลุ่มเชื้อราก่อโรคในพืชหลังการเก็บเกี่ยว
โดย ศิริลักษณ์ สันพา, เยาวรัตน์ กองคำ, จินต์จุฑา อ่อนใจดี และ ศิริกาญจน์ สันพา 1549

(SCI–P09) การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของเกสรผึ้งในพื้นที่จังหวัดพะเยา
โดย ศิริลักษณ์ สันพา, ทิพย์วรรณ สรรพสัตย์, อรอำไพ จ่าภา และ ศิริกาญจน์ สันพา 1560

สารบัญ

กลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (Poster Presentation)

(HU-P03) การพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย
โดย ชมภูนาฏ ชมภูพันธ์, สรินทร คุ้มเขต, ปานฤทัย พุทธทองศรี, ชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร, สุภาวดี สำราญ, กานต์ จันทระ และ ยุทธศิลป์ ชัยสิทธิ์ 214

(HU-P04) สื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา **โดย** มยุเรศ แสงสว่าง 224

(HU-P05) การพัฒนาและออกแบบจำลองอินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืนครุภัณฑ์ กรณีศึกษา: สาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา **โดย** ดลทิชา เชี่ยวสุวรรณ 234

(HU-P06) คุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา **โดย** ภานุวัฒน์ โลมากุล และ พิพัฒน์พงษ์ แซ่พู่ 244

(HU-P08) นาฏยประดิษฐ์ชุด “พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี” **โดย** ผุสดี โกมาสถิตย์, จุฑาภรณ์ วิลัยแก้ว, ชมภูนาฏ ชมภูพันธ์, สรินทร คุ้มเขต, สังคม พรหมศิริ, ภูรินทร์ บุปผาพวง และ สุธัณญา ฐานะ 255

(HU-P09) ความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา **โดย** กิตติคุณ นุผัด, วราพงษ์ คล่องแคล่ว และ นครินทร์ ชัยแก้ว 264

สารบัญ

กลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ (Oral Presentation)

(HS-001) การออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อความปลอดภัยในการทำงานของแรงงานข้ามชาติ ในโรงงานอุตสาหกรรมของจังหวัดเชียงราย **โดย** วริยา โชคราช, เบญญาภา ทองแดง, เฉลิมพันธ์ แก้วกันทะ, สหรัตถ์ อารีราษฎร์, ณิชารัศม์ ปัญจโพธิวัฒน์ และ ศิริวรรณ กันติสินธุ์ 270

(HS-003) การจำแนกสปีชีส์และลักษณะทางอณูชีววิทยาของ *Acinetobacter* spp. ที่ให้ผลยีน bla_{Oxa51} เป็นลบแยกจากโรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ ประเทศไทย **โดย** Sonam Jamtsho, ศิรฐิกานต์ เตีย, ปัณภัทร์ รอทอง, อัญชลี ฐานวิสัย, กัญณิภา ทัศนภักดิ์, ธวัชชัย กิตติ, เฉลิมชัย บุญเลา และ สุทธิรัตน์ สิทธิศักดิ์ 280

(HS-006) ผลของการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบต่อสมรรถภาพทางกายของนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา **โดย** สุริยนต์ เหลืองตรงกิจ, ปราณี อยู่ศิริ และ ปิติรัฐ คงทองคำ 296

(HS-007) การศึกษาประสิทธิภาพและผลของสารสกัดธรรมชาติเพื่อทดแทนทรายอะเบทในการควบคุมและป้องกันโรคไข้เลือดออกด้วยภูมิปัญญาไทย **โดย** ยุวพา ไวนุแก้ว, อินทิรา อินทรา, ศศิวิมล ถาวรสุข, ปิยะพงษ์ ยงเพชร และ เทอดเกียรติ แก้วพวง 304

(HS-008) การคัดกรองหาฤทธิ์ต้านเชื้อเกลื้อน (Malassezia) ของสารสกัดพืชสกุลเทียนในประเทศไทย **โดย** ณัฐดนัย นันต๊ะสาร, ณัจฉรียา ต๋าต๊ะ, จักรินทร์ ศรีวิไล และ วีรพงษ์ จันทะชัย 314

สารบัญ

กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Oral Presentation)

(SCI-001) ระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT **โดย** สมภพ มุสิกร 322

(SCI-002) การพัฒนาระบบแจ้งซ่อมครุภัณฑ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
โดย สุพิตฐ์ชญา คำป้อง, นุชนาถ เรือนศิริ, ปริศนา สุขศิริ และ ธนพงศ์ นิตยะประภา 332

(SCI-003) เว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร
โดย ชัยมงคล จรทอง, ธีรพล คัมภีร์ และ ธนพงศ์ นิตยะประภา 345

(SCI-004) ระบบบริหารจัดการวัตถุพยานในคดี กรณีศึกษา: ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9
โดย นราธร หนูพุ่ม, ปิยวรรณ อารักษ์คุณากร, วรรณรัตน์ นองมณี และสุภาภรณ์ กานต์สมเกียรติ 358

(SCI-005) การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บนพื้นที่ขนาดใหญ่ด้วยวิธีประมาณค่า โดยใช้ข้อมูลสังเกตการณ์
ดาวเทียมจาก OCO-2 และการตรวจวัดภาคพื้นดิน CarbonTracker กรณีศึกษา: ประเทศไทย
โดย สุริยะเวช บุญธรารัตน์, นครินทร์ ชัยแก้ว และ ไพศาล จี้ฟู 369

(SCI-006) ประสิทธิภาพการบำบัดแมงกานีสในน้ำเสียด้วยพืชน้ำ
โดย กัญญารัตน์ นารักษ์, ทิพย์ชกร สามารถ และ ปวีณา ลิมปิทีปราการ 385

(SCI-007) ผลของการเสริมโพรไบโอติก (*Bacillus lichenifermis*) ในอาหารต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดในการเลี้ยงปลานิล
โดย กิตติมา วานิชกูล, บุณฑริกา ทองดอนพุ่ม, จิราพร จำปาศรี, ศุภมาศ ศรีวงศ์พุก และ สงบ ศรีเมือง 392

(SCI-008) กรณีศึกษา การเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบโดยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์
โดย พิทธินันท์ สมไชยวงค์, ผกามาศ มรรคระตานนท์, หนึ่งฤทัย คำเทพ, พิศมัย แซ่ซ้ง และ ณัฐนันท์ ปุ๊ดผัด 401

(SCI-009) การจัดรูปแบบเส้นทางการขนส่งผักสลัดอินทรีย์ที่เหมาะสม: กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์อาหารปลอดภัย
เชียงราย **โดย** สมควร สงวนแพง, หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด, รุ้งไพลิน บุญมาตย์, ลภัสวรา ปัญญาปิน
และ กอบเกียรติ เพตรา 415

(SCI-010) การยกระดับศักยภาพสถานที่ผลิต ตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต กรณีศึกษา: วิสาหกิจชุมชนบ้านสันผักแค
โดย หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด, สุจิตตา หงส์ทอง พีรพล สุจา และ สหศวรรษ วิชัยคำ 427

(SCI-011) ระบบการเฝ้าสังเกตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง
โดย สมชาย กฤตพลวิวัฒน์ และ ธีวรา กฤตพลวิวัฒน์ 441

(SCI-012) กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของโคบอลต์จากแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า ด้วยวิธีการโลหะวิทยาตามหลักการเศรษฐกิจ
หมุนเวียน **โดย** ฉันท์ทิศา กลั่นทอง, เนทิยา กรีธาชาติ, ศักสิทธิ์ อิ่มแมน, ณัฐพล วงค์เยาว์, สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี
และ อนุสรณ์ บุญปก 451

(SCI-013) การพัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับในระบบโซล่ารูฟท็อปด้วยเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง **โดย** ศุภวิชญ์ อดิศัยศักดา, วัชระ วัชราภรณ์, สมเกียรติ สุทธิยาพิวัฒน์, เที่ยง แดงสุวรรณ, ศุภเชษฐ เป้าวิวัฒน์ และ เจริญศักดิ์ เขียวเล่ง 461

(SCI-014) การศึกษาวิธีการกำหนดความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตลงในแบบงานสั่งผลิต **โดย** ธนัญญา คำแก้ว, กาญจนศิริ ขำทอง, ทนงศักดิ์ คงสินธุ์ และ ทศพร อัศวรังษี 471

(SCI-015) การออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อม้วนขอบ **โดย** เชษฐ อุทธิยัง และ นทีชัย ผัสดี 485

(SCI-016) การพัฒนาตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางปลอดภัย **โดย** เจตนา วีระกุล, สุพล บ่อคุ้ม, ณัฐารีญดา โลมะบุตร และ ธนันชนัย อุ่นสิม 495

(SCI-017) เครื่องปอกผิวมะนาว **โดย** เขตพงศ์ อินทรชัยศรี และ ณรงค์ หูชัยภูมิ 506

(SCI-018) การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ **โดย** วัฒนา วิริวุฒิกร 512

(SCI-019) การเตรียมและประเมินผลแป้งกล้วยน้ำว้าเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณทางเลือกในรูปแบบยาแคปซูล **โดย** ประเสริฐ อัครมงคลพร, ปราณีต โอปณะโสภิต, ณัฐวัฒน์ ณัฐพูลวัฒน์ และ อัญชลี คุ้มสม 524

(SCI-020) การเพิ่มศักยภาพด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ: กรณีศึกษาบริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้ง **โดย** หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด, กำพล หว่างสี้สกุล, วรพจน์ ศิริรักษ์, ณัฐพนธ์ สุทธวงษ์ และ ภาณุพงษ์ ห้วยลึก 534

(SCI-021) การศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการเลี้ยงชันโรงสำหรับกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นที่ทำจาก วัสดุเทียมธรรมชาติ **โดย** วรธน พลิพันธ์ และ พลากร พรหมเมศร์ 546

(SCI-022) กลยุทธ์การบรรเทาความเสี่ยงในโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ **โดย** หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด, คุณานนต์ สักลอ, ธนดล อุตมา และ ชมพูนุท พ่วงทรัพย์สิน 559

(SCI-023) การศึกษาคุณสมบัติของตอซังข้าวโพดเพื่อใช้เป็นวัสดุกันกระแทกโดยการเทียบเคียงสมรรถนะ **โดย** กำพล หว่างสี้สกุล, จักรพันธ์ คำวัง, ธรรมนูญ ปันทะนะ, พงศกร อินสาคร และ หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด 573

(SCI-024) การควบคุมระดับของของเหลวในระบบถังคู่โดยใช้ HILS ร่วมกับโปรโตคอลมอดบัส **โดย** สาธิต มังคลาจารย์, ทักษิณ แสงสุวรรณ และ วิทยา กุดแถลง 586

(SCI-025) การออกแบบตัวควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมขั้นสูงสำหรับระบบถังคู่แนวตั้ง **โดย** วิทยา กุดแถลง, ทักษิณ แสงสุวรรณ และ สาธิต มังคลาจารย์ 599

(SCI-026) การฝึกอบรมจักรยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ **โดย** อาทิตย์ แก้วแดง และ สันติ หุตะมาน 615

(SCI-027) การพัฒนาชุดฝึกอบรมการเขียนโค้ดควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะด้วยแพลตฟอร์มเมคโค้ดผ่านกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐาน **โดย** ฐิติวัฒน์ สวนพลาย และ ชัยพร ศิลาวัชนาไนย 624

(SCI-028) การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ โดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ **โดย** กฤษณะ บุพศิริ และ ชัยพร ศิลาวัชนาไนย 636

(SCI-029) การพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมฐานสมรรถนะในการควบคุมหุ่นยนต์แขนกลสำหรับเตรียมผู้เรียนเข้าสู่ อุตสาหกรรม 4.0 **โดย** กิตติชัย แซ่ตั้ง และ ชัยพร ศิลาวัชนาไนย 652

(SCI-030) การศึกษาผลสัมฤทธิ์การจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับ ชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อแสดงสถานะของสายพาน ลำเลียง **โดย** สุเมธี คมสัน และ ศุภชัย หอวิมานพร 662

(SCI-031) การถ่ายทอดความรู้ผ่านกระบวนการฝึกอบรมการใช้เครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง สำหรับวิสาหกิจชุมชน **โดย** เทพรถ อนันต์สูงเนิน และ ศุภชัย หอวิมานพร 672

(SCI-033) การพัฒนาขั้วไฟฟ้าสำหรับงานตรวจวัดการแทรกซึมของคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทาน ไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวและวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์ **โดย** ณัฐวุฒิ อินทบุตร, ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง, สมพร ทองสุก และ ชนะรบ วิชาลัย 682

(SCI-034) ความปลอดภัยทางไซเบอร์ของไมโครกริด **โดย** ศตวรรษ เมืองชื่น และ จงลักษณ์ พาหะซา 695

(SCI-035) การศึกษาการควบคุมประสานกันของ HVDC และเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ด้วยตัวควบคุม PID เพื่อทำเสถียรภาพความถี่ระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงหลายพื้นที่ **โดย** จงลักษณ์ พาหะซา, ธนกร สอนลือ, พุฒิพงศ์ คำภีระสม และ เด่นดวง สุทธิธรรมานนท์ 709

(SCI-036) การศึกษาการเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวควบคุมพีไอ ยืดหยุ่นภายใต้การโจมตีชนิดปฏิเสธการให้บริการ **โดย** จงลักษณ์ พาหะซา, จิราวรรณ พานุรักษ์, ธนินท์ธร บุญช่วย และ ต้น สุขมาก 721

(SCI-037) ผลกระทบของการคู่ควบข้ามต่อการขับมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร **โดย** วิชญะ สุวรรณลพ และ ณัฐพงษ์ โปธิ 734

(SCI-038) การศึกษาการเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนไมโครกริดด้วย SMES ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม พีไอดียืดหยุ่นภายใต้ การโจมตีทางไซเบอรช์ นิดปฏิเสธการให้บริการ **โดย** จงลักษณ์ พาหะซา, ชมัยพร ใจชนะ, คนึงนิจ คำแว่น และ ณฐนน ต่อมยิ้ม 742

(SCI-039) การศึกษาการเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนไมโครกริดด้วยเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่ ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี **โดย** จงลักษณ์ พาหะซา, รัตนากร แสงปานอินทร์, ศุภิสรา นิรมลเดชา และ นริณญา มาคำ 755

(SCI-040) การประเมินสภาพผนังคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย **โดย** สมพร ทองสุก, ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง, ชนะรบ วิชาลัย, ภัทร์ธีนันท์ พันธุ์เขตกรรม และ รวี เดสูงเนิน 764

(SCI-041) การศึกษาสมบัติทางกลของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากคอนกรีตเก่าและเถ้าก้นเตาบดละเอียด **โดย** ณัฐวุฒิ อินทบุตร, ณัฐพัชร์ จันทรกุลมณี, วิลัย สิทธิการ, เหมราช บุญเพ็ชร์ และ อภิโชติ อุฬารดินนท์ 772

(SCI-042) การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้กรวดแม่น้ำทดแทนมวลหยาบแบบดั่งเดิมโดยมี ไฮดรอลิกซีเมนต์และ เถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสาน **โดย** กรรวี เพียเปี้ย, สุภาวดี มีเลข, ฤทธิพล ทูนมาก, กิติศักดิ์ วงษ์สุข และ อรุณเดช บุญสูง 785

(SCI-043) ประสิทธิภาพเชิงกลของคอนกรีตที่ผลิตด้วยหินบะซอลต์ในขนาดที่แตกต่าง
โดย ภัทร์ธีนันท์ พันธุ์เขตกรรม, ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง, รวี เดสูงเนิน และ สมพร ทองสุก 797

(SCI-044) การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลหลากของดินโคลนเมื่อกระแทกโครงสร้างแบบแข็ง: กรณีการศึกษาในห้องปฏิบัติการ
โดย อาทิตย์ เรืองยศ, พุทธิกร ธัมมรักษ์, ขวัญสิรินภา ธนะวงศ์ และ สุริยาวุธ ประอ้าย 810

(SCI-045) ผลกระทบของผงหินบะซอลต์ต่อคุณสมบัติของมอร์ต้าร์
โดย รวี เดสูงเนิน, ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง, ภัทร์ธีนันท์ พันธุ์เขตกรรม และ สมพร ทองสุก 820

(SCI-046) การพัฒนาคอนกรีตด้วยมวลรวมเก่านำกลับมาใช้ใหม่ **โดย** ณัฐวุฒิ อินทบุตร, สุนิทัศน์ กันเผือก,
วรวิช สินปรุใหญ่, ปิยบุตร ไชยณรงค์ และ อภิโชติ อุฟ้ารตินนท์ 830

(SCI-047) การวิเคราะห์ความทนต่อการสึกหรอของหินโรยทางรถไฟจากสัณฐานวิทยา: การศึกษาเบื้องต้นโดยข้อมูลภาพ
แบบ 3 มิติ **โดย** ชัยณรงค์ ทรงสิริวงศ์, พุทธิกร ธัมมรักษ์, ปาลินี สุมิตรสวรรค์, กฤษดา ธนะวงศ์ และ
สุริยาวุธ ประอ้าย 841

(SCI-048) โครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรุนที่มีการจ่ายอากาศเป็นขั้น **โดย** กาญจนา วรรณญาติ,
ทรงสุภา พุ่มชุมพล, อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และ อภินันต์ นามเขต 849

(SCI-049) การออกแบบและสร้างรถเอจีวีสำหรับขนส่งกล่องทีวีเปล่า **โดย** รัตติกาล ศาลาคำ, เกียรติศักดิ์ เนเรียะ,
ชนกสุดา พิพัฒน์พงษ์, อรพิชา บัวบาน, ธวัชชัย ทองเหลี่ยม และ สัญญา ควรคิด 859

(SCI-050) ระบบควบคุมเครื่องคั่วกาแฟลมร้อนและตรวจวัดระดับการคั่วกาแฟด้วยเทคนิคการควบคุมพีไอดี และแมชชีนเลิร์นนิง
โดย ปรานต์ เมฆอากาศ, สุกัญญา สืบแสน, กันตา แสงวิจิตร และ นงนุช ศรีเล็ก 874

(SCI-051) แบบจำลองเชิงตัวเลขของไซโคลนโดยวิธีคำนวณทางพลศาตร์ของไหล **โดย** สุทธินันท์ ศรีรัตยาวงศ์, วสันต์ คำสนาม,
สุธรรม อรุณ, ฝนทิพย์ จินันทุยา, วิชญ์พล ฟักแก้ว, นพรัตน์ เกตุขาว, ปรเมศร์ ปธิเก, เชาวนัส จันทร์เสาร์,
ชัชชัย จันทร์เสาร์, ศราวุธ เวฬุวนารักษ์, ปุริมพัฒน์ สัทธรรมนุวงศ์ และ รัชนีวรรณ อังกุรบุตร์ 881

(SCI-053) การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยความสนใจทางสายตาผ่านตัวเลขนับถอยหลัง
โดย นัจมีย์ โต๊ะขวัญ, ชญานิษฐ์ ฮาแว, เจริญพร บัวแย้ม และ ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์ 893

(SCI-054) การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองโดยใช้การกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะ
โดย ณฐกานต์ บุญเรืองขาว, ฟ้าประทาน เจะตำ, มโนรส บริรักษ์อราวินท์ และ ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์ 902

(SCI-055) เว็บแอปพลิเคชันเพื่อการซื้อขายแอคเคาท์เกม โดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน
โดย ภูมิทวี ร่มโพธิ์ และ อรจิรา สิทธิศักดิ์ 911

(SCI-056) การกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสสำหรับการเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์
โดย ปริยาภัทร สายตานี, ฟิตรี เจะเงาะ, มโนรส บริรักษ์อราวินท์ และ ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์ 921

(SCI-057) การสังเคราะห์แบบจำลองสถานการณ์ด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทานโดยใช้โปรแกรม Flexsim
โดย สมควร สงวนแพง, กำพล หว่างลี้สกุล, โกลัญญา มาสม, ประนัดดา คำเพ็ง และ พิมพ์ลดา ศุภโรจน์พงศ์ 931

(SCI-058) การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากอุปกรณ์ Emotiv Insight
โดย ภัทราภรณ์ ยอดเพ็ชร, ชญานิศ คงปาน, มโนรส บริรักษ์อราวินท์ และ ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์ 940

(SCI-059) ระบบการเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยการกระตุ้นทางสายตาและจินตนาการภาพสั่นไหว
โดย พิมพ์อมร แนมใส, รัตติกาญจน์ ศรีรัฐ, นันท์นภัส ศิริบุญญพัฒน์ และ ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์ 948

(SCI-060) พัฒนาหลักสูตรเสริมสร้างสมรรถภาพด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารโดยใช้เมตริกซ์การเชื่อมโยงระหว่างสมรรถนะของครูและผู้เรียน **โดย** ปริญญา บรรณเภสัช 957

(SCI-062) การลดก๊าซเรือนกระจกจากการลดการเดินทางเมื่อมีการใช้งานแพลตฟอร์มดิจิทัล กรณีศึกษา การขอรับบริการจากหน่วยงานราชการระดับท้องถิ่น **โดย** จตุรวิชญ์ จันทร์ฉาย, กรกนก ทองทา, กฤษณะ วังสอง, วัชริศ สุชาตตระกูล, ดนุพล ศรีหนองแสง และ วนาวัลย์ ปรากฏ 966

(SCI-064) การสะสมคาร์บอนของป่าไม้: แปลงศึกษาในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา
โดย กฤษณะ วังสอง, วัชริศ สุชาตตระกูล, จตุรวิชญ์ จันทร์ฉาย, วุฒิภัทร อ่อนสิงห์, พุฒิพงศ์ นันทกัป, พัชราภา บุญทาคำ, ตฤณ เสรเมธากุล, พิมพ์ศิริ สุวรรณพัฒน์ และ วนาวัลย์ ปรากฏ 977

(SCI-065) การประเมินพื้นที่สีเขียวในเขตเทศบาลนครเชียงรายและเปรียบเทียบความเพียงพอต่อประชากรของเทศบาลนครเชียงราย เพื่อหาแนวทางการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเทศบาลนครเชียงรายทั้ง 19 แห่ง
โดย ณัฐวุฒิ ผลกุศล และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ 990

(SCI-066) การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง CMIP6 เพื่อจำลองปริมาณน้ำฝนประเทศไทย
โดย ก้องภพ ลีราช, วินัย เชาวน์วิวัฒน์ และ สิทธิชัย พิมลศรี 996

(SCI-067) การศึกษาความเป็นไปได้ในการตรึงเซลล์ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* โดยการห่อหุ้มด้วยโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนต เพื่อนำไปใช้ในการผลิตไวน์กระเจี๊ยบ **โดย** มธุรา อุณหศิริกุล, เดือนเต็ม ทองเผือก, เกวลิน วิเศษ, ธนายุต วะโร และ ศกลรัตน์ วานิชพงษ์ 1008

(SCI-068) การพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ **โดย** วัชรี วรัจฉรียกุล, ณัฐติยา ผิวอ่อน, โยธิการ์ กระโพธิ์, นฤมล อภินันท์สวัสดิ์ และ ภัทราวดี ศิริอำนวยลาภ 1020

(SCI-069) ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อซาราซีเนียสภาพปลอดเชื้อ
โดย สืบพงศ์ ใจสุข และ กนกอร ศรีม่วง 1030

(SCI-070) ผลของไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนผักโขมแดง
โดย ชิติ ศรีตนทิพย์, ช่อผกา วงค์สอน, ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์ และ วิษณุ ทองเล็ก 1037

(SCI-072) ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดคอสภายใต้สภาพกระถาง
โดย ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์, ชิติ ศรีตนทิพย์, บุศรินทร์ บุญเต็ม, มนัสวี วังไชยเลิศ และ พิมพ์รัมภา สำราญ 1048

(SCI-073) การประยุกต์ใช้หลักการวางแผนผังโรงงานอย่างมีระบบ สำหรับออกแบบและวางผังโรงงานแบ่งบรรจุผงบุก
โดย วลัญช์ภัฏ อาวรณ์, ณัชชา สุขล้อม, ภานุวัฒน์ นันตา, นิวัฒน์ชัย ใจคำ และ วรพจน์ ศิริรักษ์ 1057

(SCI-074) การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการล้างขวดน้ำดื่ม
โดย กิตติพศ สุขประเสริฐ, ธนวันต์ กองลี, รัตติยากร ศรีมาทา, นิวัฒน์ชัย ใจคำ และ วรพจน์ ศิริรักษ์ 1073

(SCI-032) การศึกษาการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่องในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา โรงแรมระดับมาตรฐาน 4 ดาว **โดย** นพรพรรณ ฤทธิ์มหันต์, ภมรวรรณ พุทธา, ศุภพร น้อยเซ็น, ปรีชา จินต์ธนาวัฒน์, ดวงพร แก้วบังวัน และ สุกฤษฎิ์ เกิดแสง.....1477

(SCI-052) การศึกษาการวิเคราะห์อากาศชั้นบนโดยใช้ข้อมูลจากระบบ Wind Profiler เพื่อการพยากรณ์อากาศบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ **โดย** นพรพรรณ ฤทธิ์มหันต์, ภมรวรรณ พุทธา, ศุภพร น้อยเซ็น, ปรีชา จินต์ธนาวัฒน์, ดวงพร แก้วบังวัน และ สุกฤษฎิ์ เกิดแสง.....1485

(SCI-061) รัศมีของบอร์สำหรับอะตอมไฮโดรเจนสองมิติ **โดย** ภัทรลดา สระทองแป้น, ศุภวิชญ์ จินดาเนตร และ อรรถพล อ่ำทอง.....1498

(SCI-075) การจัดการฟาร์มโคเนื้อแม่พันธุ์ที่ดีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตลูกโค **โดย** มลภัคน์ กล่ำรักษ์, สุรีย์พร แสงวงศ์, วีรนุช ทันนิธิ, นัฐมาพร คงเมือง และ พยุงศักดิ์ อินต๊ะวิชา.....1508

(SCI-076) คะแนนสภาพร่างกายณเวลาเหนี่ยวนำการเป็นสัดต่ออัตราการผสมติดและสมรรถนะการเจริญเติบโตลูกโค **โดย** อมรรัตน์ สิทธิบุญมา, จักรกฤษ วิชาพร, สุรีย์พร แสงวงศ์ และ พยุงศักดิ์ อินต๊ะวิชา.....1519

สารบัญ

กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Oral Presentation)

“การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: การท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ครั้งที่ 1” ประจำปี 2567 คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

(SEEN-001) การกักเก็บคาร์บอนของพืชสมุนไพรในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ เพื่อการรองรับการท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ **โดย** เพ็ญพิชชา ซูสง่า 1083

(SEEN-002) การลดก๊าซเรือนกระจกจากการคัดแยกขยะในพื้นที่อุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน **โดย** โชติรส พงษ์ปราโมทย์ 1086

(SEEN-003) การประเมินกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจกโดยกิจกรรมการคัดแยกขยะพลาสติกในอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง **โดย** อัศญากร คุ้มเกิด 1090

(SEEN-004) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง-ขุนน้ำนางนอน **โดย** ชลกนก เชื่อนเพชร และ สุชาภัสร์ คงทอง 1094

(SEEN-005) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย **โดย** สุรเชษฐ์ พินิจงาม 1099

(SEEN-006) ขับเคลื่อนอุทยานแห่งชาติภูซางไปสู่องค์กรก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ **โดย** สมชาย อินเป็ง, บันทม สมสุวรรณ และ สุธรรม อาดนนท์ลา 1104

(SEEN-007) การคัดแยกขยะคืนถิ่น เพื่อสร้างจิตสำนึกอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในอุทยานแห่งชาติ **โดย** เพ็ญพร วรรณพรม 1107

(SEEN-008) ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เส้นทางการท่องเที่ยวเชิงคาร์บอนต่ำ กรณีศึกษา: อุทยานธรณีโลกสตูล **โดย** วรินธร วิริยะไชยกุล 1109

(SEEN-009) การวิเคราะห์ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกของการจัดทำแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดพะเยา **โดย** ปริญญา โศภิตภิญโญ และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ 1115

(SEEN-010) การประเมินคาร์บอนฟรุตพริ้นองค์กรของสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ **โดย** วิมลรัตน์ ศีติสาร, ทรงกรด มูลเทพ, ชลดา กำใจ และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ 1120

สารบัญ

กลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (Oral Presentation)

(HU-001) การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง รอยต่อโครงสร้างเหล็ก ด้วยสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ สำหรับนักศึกษาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
โดย เจษฎาพร ศรีภักดี, วรรณวิษา คุณธนะ, อัจฉรา กิติสัก และ ศิริชัย หมูนิล.....1128

(HU-002) การพัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยโดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญาของนักศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต **โดย** อาทิตยา อินยง..... 1136

(HU-003) Reading The Brotherhood of Kaeng Khoi Through the Lenses of the Posthuman Gothic and Posthumanist Feminism **By** Isaraporn Pissa-ard 1151

(HU-005) ต้นทุนและผลตอบแทนของผ้าทอกะเหรี่ยง หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก
โดย น้ำฝน สืบอ่อน, อโนทัย พลภาณุมาศ, กชกร คีรีเกริกก้อง และ ดาราทิพย์ แซ่ลิ้ว.....1162

(HU-006) รูปแบบการปรับตัวของเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดศรีราชาต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จังหวัดชลบุรี **โดย** อภินันท์ พัชโรภาสวัฒนกุล และ ชุมพล โมฆรัตน์ 1176

(HU-007) มาตรการส่งเสริมความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมของอาเซียน: ศึกษากรณีปัญหาด้านมลพิษทางเสียงข้ามแดน **โดย** ทฤษฎีกานต์ ภู่เจริญ และ ชูเกียรติ น้อยฉิม 1185

(HU-008) การออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา
โดย ธนภร ทองเสงี่ยม และ จิรวัฒน์ สุขแก้ว 1204

(HU-009) การออกแบบและสร้างสรรค์แบบจำลอง 3 มิติจากพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา
โดย จุฑานาถ ธรรมสาร และ จิรวัฒน์ สุขแก้ว 1218

(HU-010) ภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่: กรณีศึกษาชุมชนบ้านตลิ่งแดง ตำบลหนองบัว อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี **โดย** นพรัตน์ ไชยชนะ, มะรอแซะ เล๊าะ, จักษุมาลย์ วงษ์ท้าว, สุทิน อ้อนอุบล และ วีระวัฒน์ อุดมทรัพย์ 1231

(HU-012) การสำรวจแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต
โดย ธีรวัฒน์ สุทธิประภา, ภาติยะ พัฒนาศักดิ์ และ ณัฐกานต์ ภูมิโคกรักษ์ 1243

(HU-013) การศึกษาภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา **โดย** นฤเบศ เชาว์พานิช และ สถิรพร เชาวน์ชัย 1259

(HU-014) การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร **โดย** รจเรข แก้วพฤกษ์.....1268

(HU-015) นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษา สำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน **โดย** ชไมมน ศรีสุรักษ์, สิรินทร์นิชา ปัญจะอริยกุล และ รัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ.....1281

(HU-016) การศึกษาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 **โดย** จักรพันธ์ รอดฤทธิ์ และ สถิรพร เชาวน์ชัย.....1300

(HU-017) การศึกษาความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของโรงเรียนมัธยมศึกษา จังหวัดเชียงใหม่ **โดย** กรรณลณิษฐ์ กำภู ณ อยุธยา และรัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ[1*].....1310

(HU-018) การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ **โดย** วชิราภรณ์ หน่อแก้ว และ ธนะดี สุริยะจันทร์หอม.....1323

(HU-019) การถูกคุกคามทางเพศและวิธีป้องกันตนเองจากการถูกคุกคามทางเพศของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ **โดย** ศศินภา สียะกาศ และ ธนะดี สุริยะจันทร์หอม.....1334

(HU-020) ปัญหาทางกฎหมายในการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับในคดีอาญา **โดย** สุภาวดี อินแถลง และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ.....1349

(HU-021) การเพิ่มประสิทธิภาพของการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 : กรณีศึกษาสถานีตำรวจภูธรในจังหวัดพะเยา **โดย** วรุฒ อุทธวัง และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ.....1366

(HU-022) ปัญหาทางกฎหมายในการใช้กำลังป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจในการระงับเหตุฉุกเฉิน **โดย** เมธาวี ศรีโปฎก และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ.....1382

(HU-023) ปัญหาทางกฎหมายเกี่ยวกับการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยของเจ้าพนักงาน ตำรวจศาล : กรณีหลบหนีภายหลังการปล่อยชั่วคราว **โดย** อัครเดช สมคำ และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ.....1398

(HU-024) แนวทางหรือมาตรการทางกฎหมายเพื่อพัฒนาการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอในพื้นที่จังหวัดพะเยา **โดย** ณิชกานต์ กันทะพะเยา และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ.....1415

(HU-025) สภาพปัญหาและแนวทางเพื่อการส่งเสริมกระบวนไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรม อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน **โดย** จุฑาทิพย์ พานพบ และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ.....1432

(HU-026) การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการระงับข้อพิพาททางเลือกของศูนย์ยุติธรรมชุมชนกับศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชนในพื้นที่ อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย **โดย** แสงดาว พร้อมสุข และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ.....1448

(HU-027) มาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรม : กรณีศึกษาธุรกิจน้ำมัน **โดย** รัฐนนท์ สุขสุวานนท์ และ ธิติ ไวกวี.....1462

วิทยาศาสตร์สุขภาพ

(Poster Presentation)

ฤทธิ์ต้านเชื้อราของวานิลลินต่อเชื้อเกลื้อน (*Malassezia furfur*)

Antifungal activity of vanillin on *Malassezia furfur*

พรพนา วิญญูทรัพย์[1,2] และ วีรพงษ์ จันทะชัย[1*]

Pornpana Winyusap[1,2] and Weerapong Juntachai[1*]

บทคัดย่อ

เชื้อเกลื้อน (*Malassezia furfur*) เป็นยีสต์ประจำถิ่นชนิดหนึ่งที่อาศัยบนผิวหนังของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น สามารถก่อโรคผิวหนังได้หลายชนิด วานิลลินเป็นสารที่นิยมใช้แต่งกลิ่นในอาหาร เครื่องดื่ม และเครื่องสำอาง และนอกจากนี้ยังมีรายงานว่ามีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและราอีกด้วย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อเกลื้อนของวานิลลิน โดยทดสอบกับเชื้อเกลื้อนจำนวน 5 ไอโซเลท จากผลการทดสอบด้วยวิธี agar disc diffusion ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสที่ 1 mg/disc อยู่ระหว่าง 16.11±0.77 – 18.11±1.02 เซนติเมตร การทดสอบด้วยวิธี macro broth dilution ให้ค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งเชื้อ (MIC) ของวานิลลิน คือ 12.5 mM และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อ (MFC) คือ 25–50 mM โดย *M. furfur* CBS 1878 และ 9584 ไวต่อวานิลลินมากที่สุด ในขณะที่เชื้อ *M. furfur* CBS 6001, 6046 และ 7019^{NT} มีความไวต่อวานิลลินน้อยกว่า

คำสำคัญ: เชื้อเกลื้อน, วานิลลิน, การยับยั้งเชื้อรา

Abstract

Malassezia furfur is a cutaneous normal flora found on human and warm–blood animal skins. The yeast can cause various skin disorders. Vanillin is a flavoring agent in foods, beverages, and skin care. Moreover, the compound has been reported to have antimicrobial activity against bacteria and fungi. This study aimed to investigate anti–*Malassezia* activity against five fungal isolates. The agar disc diffusion assay showed the inhibition zone at 1 mg/disc was in the range of 16.11±0.77 – 18.11±1.02 cm. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC) of vanillin were determined using the macro broth dilution method. The MIC and MFC values were 12.5 mM and 25–50 mM, respectively. The most susceptible *Malassezia* strains to vanillin were *M. furfur* CBS 1878 and 9584. The less susceptible strains to vanillin were *M. furfur* CBS 6001, 6046, and 7019^{NT}.

Keywords: *Malassezia*, vanillin, antifungal

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50180

[2] คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50180

[1] Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50180

[2] Faculty of Education, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50180

* Corresponding author: weerapong@g.cmru.ac.th

Introduction

Malassezia species is a group of cutaneous commensal fungi found in humans and animals. The yeast is of considerable interest due to their distinctive physiology, morphology, and potential pathogenicity. One of its unique features is that it is a lipophilic fungus living in lipid-rich environments, particularly within the sebaceous glands of the skin, where they metabolize lipids, thus playing a significant role in skin health (Prohic et al., 2016). The morphology of *Malassezia* species is unicellular, oval-shaped cells that often cluster together. However, under some circumstances, the yeast can alter into hyphal form existing with yeast form that is clinically characterized as spaghetti and meatball. *Malassezia* has also been associated with various skin disorders and infections, as their ability to disrupt the skin's lipid barrier and trigger immune responses can lead to conditions like dandruff, pityriasis versicolor, and seborrheic dermatitis (Gaitanis et al., 2012; Guillot & Bond, 2020).

In recent years, antifungal resistance in several fungi, such as *Candida*, *Aspergillus*, and *Malassezia*, has become an increasingly significant concern, as the emergence of resistant strains can complicate treatment strategies (Pristov & Ghannoum, 2019; Pérez-Cantero et al., 2020; Leong et al., 2021). The prevalence of resistance to azole antifungals, such as ketoconazole and fluconazole, has been reported in several studies (Angileri et al., 2018; Kano et al., 2020; Leong et al., 2021). Therefore, it will be crucial to adapt treatment strategies and develop novel antifungal agents to combat resistant *Malassezia* strains effectively.

Vanillin is a well-known flavoring agent that has been the subject of numerous studies examining its antimicrobial properties against yeasts, molds, and bacteria. In the case of *Escherichia coli*, vanillin demonstrated antimicrobial activity with a minimum inhibitory concentration (MIC) ranging from 15 to 50 mM (Fitzgerald et al., 2004; Fitzgerald et al., 2005). On the other hand, vanillin exhibited potent antifungal properties, with a lower MIC value of 1.3 mM against food spoilage molds, making it a valuable tool in preventing food and beverage spoilage and extending their shelf life (Cerrutti & Alzamora, 1996). Furthermore, vanillin also effectively demonstrated antifungal activity against pathogenic yeasts, such as *Cryptococcus neoformans* and *Candida albicans*, with MIC values of 2 and 4 mM, respectively (Boonchird & Flegel, 1982; Fitzgerald et al., 2005). Based on these observations, it is apparent that vanillin has more pronounced antimicrobial activity against fungi than bacteria. Although vanillin is commonly used in various skincare and fragrance products, its impact on normal flora remains poorly understood. Consequently, the purpose of this study was to investigate the anti-*Malassezia* efficacy of vanillin *in vitro*. Our findings may encourage the potential application of vanillin as a precursor for synthesizing agents for fungal treatment.

Materials and methods

Strains and culture media

In this study, a total of five strains of *Malassezia* species were used, including *M. furfur* CBS* 1878, *M. furfur* CBS 6001, *M. furfur* CBS 6046, *M. furfur* CBS 7019, and *M. furfur* CBS 9584. All these *Malassezia* strains were consistently maintained through subculture on YPD–Tween agar (1% yeast extract, 2% Bacto™ Peptone (BD Biosciences, USA), 2% glucose, 2% agar, and 0.5% Tween 80), and were incubated at 30 ºC. *CBS = Centraalbureau voor Schimmelcultures, renamed as Westerdijk Fungal Biodiversity Institute, Utrecht, The Netherlands.

Agar disc diffusion assay

Initially, the yeasts were pre–cultured in YPD–Tween broth (containing 1% yeast extract, 2% Bacto™ Peptone, 2% glucose, and 0.5% Tween 60) at 150 rpm, 30 ºC for 48 hours. The cells were then collected by centrifugation and washed twice with distilled water. The concentration of the cell suspensions was determined using a spectrophotometer at 600 nm and adjusted to an OD of 1 (approximately 2.5×10^7 cells/ml). Subsequently, the prepared inoculum was evenly spread onto YPD–Tween agar plates using a sterile cotton swab.

Next, the concentration of vanillin was adjusted to 100 mg/ml (0.657 M) in Dimethyl sulfoxide (DMSO). Sterile paper discs (Advantec, Japan), each impregnated with 10 µl of the vanillin solution (1 mg/disc), were carefully placed onto the YPD–Tween agar and then incubated at 30 °C for 48 hours. The diameter of the inhibition zone surrounding each disc was measured and assessed as an indicator of antifungal activity. DMSO and 0.5 µg/disc ketoconazole (KTZ) was used as negative and positive controls, respectively. All experiments were performed in triplicate.

Determination of minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC)

The minimum inhibitory concentration (MIC) and the minimum fungicidal concentration (MFC) of vanillin against *Malassezia* was evaluated by macro broth dilution. The vanillin solution was prepared through two–fold serial dilutions in DMSO to give concentrations ranging from 1 M to 7.8 mM. Each culture contained 940 µl of YPD–Tween broth, 10 µl of the previously mentioned inoculum (final OD = 0.01), and 50 µl of the vanillin solution (final concentrations ranged from 0.39 to 50 mM). The cultures were incubated at 150 rpm and 30 ºC for 72 hours. The MIC value was determined as the lowest concentration at which there was no visible growth of *Malassezia*. To determine MFC value, a 100 µl sample from cultures that exhibited no visible growth was spread onto YPD–Tween agar plates and then incubated at 30 ºC for 48 hours. The MFC value was determine as the lowest concentration that effectively inhibited the growth of *Malassezia* more than 99.9% of the initial inoculum. DMSO and ketoconazole was used as negative and positive controls, respectively. The assay was conducted in triplicate.

Results

Agar disc diffusion

The results of the antifungal screening of vanillin against five standard strains of *M. furfur* are presented in Figure 1. Inhibition zones were observed in all *M. furfur* strains, indicating their susceptibility to vanillin. The diameter of the inhibition zone for 0.5 mg/disc vanillin ranged from 10 to 16.1 mm, while the inhibition zone for 1.0 mg/disc vanillin ranged from 16 to 24 mm. As a control, the inhibition zone of KTZ ranged from 16 to 18 mm (Fig. 1). These results suggest that the *M. furfur* strains exhibited similar susceptibility to KTZ but displayed a wide range of susceptibility to vanillin among the different strains.

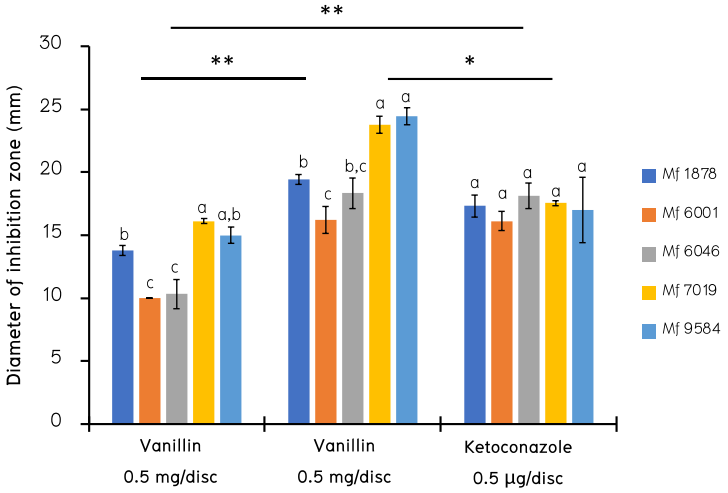


Figure 1. Antifungal activity of vanillin against *M. furfur* in agar disc diffusion assay. The bars represent the mean diameters of the inhibition halos. Error bars depict the standard deviation (SD) calculated from three experimental replicates. The letters indicate significant differences within group ($p < 0.05$). (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

Determination of minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC)

To evaluate antifungal activity, we determined the MIC and MFC using macro broth dilution. The MIC value of vanillin was determined to be 12.5 mM, while the MFC value ranged between 25 to 50 mM. Notably, in line with the findings of the disc diffusion assay, the *M. furfur* CBS 7019 strain exhibited increased sensitivity to vanillin when cultured on solid medium but reduced susceptibility when cultured in broth (Table 1).

Table 1 Minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC) for vanillin against *M. furfur*. Ketoconazole was used as positive control. The assay was performed triplicate.

strains	Vanillin (mM)		Ketoconazole (µg/ml)	
	MIC	MFC	MIC	MFC
M. furfur CBS 1878	12.5	25	2	4
M. furfur CBS 6001	12.5	50	2	4
M. furfur CBS 6046	12.5	50	4	4
M. furfur CBS 7019	12.5	50	2	2–4
M. furfur CBS 9584	12.5	25	2	2

Discussion

In this study, we investigated the antifungal activity of vanillin, and determined the antifungal activity against *M. furfur* strains. Our results suggested correlation between the compounds and antifungal activity varying among strains. The inhibitory concentration of vanillin against fungi has been reported in numerous species, especially mold fungi. In the pathogenic fungus of strawberry, *Alternaria alternata*, at concentration of 250 mg/L, vanillin triggered a decrease in the growth and a reduction in mycelial growth of the fungus. At 0.75 mg/mL (approx. 5 mM), vanillin showed a fungicidal effect against *A. alternata* that persisted at concentrations of 1500 mg/L (Romero-Cortes et al., 2022). However, regarding the antifungal activity against systemically important yeasts, vanillin displayed higher mean MIC values of 1.25 and 0.74 mg/mL against *C. albicans* and *Cryptococcus neoformans*, respectively, with mean MFC values of 5 (33 mM) and 1.76 mg/mL (12 mM), respectively. Vanillin also inhibited and retarded the growth of *Candida* in both its yeast and mycelial forms (Boonchird et al., 1982). Despite different susceptibility among strains, our results exhibited slightly higher MIC and MFC values than other reports, suggesting a tolerant ability of *Malassezia* to vanillin. Disc diffusion assay showed that vanillin had anti-*Malassezia* efficacy about one one-thousandth of ketoconazole. The findings underscore limitations in the use of vanillin as a therapeutic agent for systemic mycoses. Regardless, vanillin shows promise for dermatological applications on the skin or topical medicines, such as creams and shampoos. Collectively, this study provides valuable insights into the efficacy and potential concentrations required to inhibit the growth of *Malassezia*. Further studies will be conducted to investigate the mode of action of vanillin.

Acknowledgment

This study was supported by Chiang Mai Rajabhat University Research Fund (2022). The authors thank to Prof. Susumu Kajiwara (Tokyo Institute of Technology) for kindly providing the fungal stains.

Reference

Angileri, M., Pasquetti, M., De Lucia, M., & Peano, A. (2018). Azole resistance of *Malassezia pachydermatis* causing treatment failure in a dog. *Medical mycology case reports*, *23*, 58–61.

Boonchird, C., & Flegel, T. W. (1982). In vitro antifungal activity of eugenol and vanillin against *Candida albicans* and *Cryptococcus neoformans*. *Canadian journal of mic*robiology, *28*(11), 1235–1241.

Cerrutti, P., & Alzamora, S. M. (1996). Inhibitory effects of vanillin on some food spoilage yeasts in laboratory media and fruit purées. *International journal of food microbiology*, *29*(2–3), 379–386.

Fitzgerald, D. J., Stratford, M., & Narbad, A. (2003). Analysis of the inhibition of food spoilage yeasts by vanillin. *International journal of food microbiology*, *86*(1–2), 113–122.

Fitzgerald, D. J., Stratford, M., Gasson, M. J., Ueckert, J., Bos, A., & Narbad, A. (2004). Mode of antimicrobial action of vanillin against *Escherichia coli*, *Lactobacillus plantarum* and *Listeria innocua*. *Journal of applied microbiology*, *97*(1), 104–113.

Fitzgerald, D. J., Stratford, M., Gasson, M. J., & Narbad, A. (2005). Structure–function analysis of the vanillin molecule and its antifungal properties. *Journal of agricultural and food chemistry*, *53*(5), 1769–1775.

Gaitanis, G., Magiatis, P., Hantschke, M., Bassukas, I. D., & Velegraki, A. (2012). The Malassezia genus in skin and systemic diseases. *Clinical microbiology reviews*, *25*(1), 106–141.

Guillot, J., & Bond, R. (2020). *Malassezia*Yeasts in Veterinary Dermatology: An Updated Overview. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, *10*, 79.

Kano, R., Aramaki, C., Murayama, N., Mori, Y., Yamagishi, K., Yokoi, S., & Kamata, H. (2020). High multi–azole–resistant Malassezia pachydermatis clinical isolates from canine Malassezia dermatitis. *Medical mycology*, *58*(2), 197–200.

Leong, C., Kit, J. C. W., Lee, S. M., Lam, Y. I., Goh, J. P. Z., Ianiri, G., & Dawson, T. L., Jr (2021). Azole resistance mechanisms in pathogenic *M. furfur*. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, *65*(5), e01975–20.

Pérez–Cantero, A., López–Fernández, L., Guarro, J., & Capilla, J. (2020). Azole resistance mechanisms in Aspergillus: update and recent advances. *International journal of antimicrobial agents*, *55*(1), 105807.

Pristov, K. E., & Ghannoum, M. A. (2019). Resistance of Candida to azoles and echinocandins worldwide. *Clinical microbiology and infection : the official publication of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, *25*(7), 792–798.

Prohic, A., Jovovic Sadikovic, T., Krupalija–Fazlic, M., & Kuskunovic–Vlahovljak, S. (2016). *Malassezia* species in healthy skin and in dermatological conditions. *International journal of dermatology*, *55*(5), 494–504.

Romero–Cortes, T., Pérez España, V. H., López Pérez, P. A., Rodríguez–Jimenes, G. D., Robles–Olvera, V. J., Aparicio Burgos, J. E., & Cuervo–Parra, J. A. (2019). Antifungal activity of vanilla juice and vanillin against *alternaria alternata*. *CyTA – Journal of Food*, *17*(1), 375–383.

การวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปโดยใช้เทคนิคการคายคลื่นแสงอย่างง่ายกับการอ่านค่าสี อาร์ จี บี

Determination of sodium in instant noodles using simple flame emission technique in-couple with reading RGB value

วิรัช เรืองศรีตระกูล[1*] และ เสนีย เครือเนตร[2]

Wirat Ruengsitagoon[1*] and Senee Kruanetr[2]

บทคัดย่อ

วิธีการคายคลื่นแสงในเปลวไฟอย่างง่ายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมในตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป การศึกษานี้มีพื้นฐานจากการบันทึกภาพดิจิทัลของสีในเปลวไฟจากการคายคลื่นแสงของสารละลายโซเดียม ภาพดิจิทัลแสงสีส้มจากการคายคลื่นแสงในเปลวไฟของแต่ละสารละลาย ถูกบันทึกด้วยโทรศัพท์สมาร์ทโฟนและอ่านค่า สี อาร์ จี บี โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเอง (GetPixel V 2.0) ด้วยสภาวะการทดลองที่เหมาะสมได้สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโซเดียมในช่วงความเข้มข้น 10–1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และค่าของสีอาร์ จี บี พบค่าความเป็นเส้นตรงที่เหมาะสมแสดงด้วยสมการเส้นตรง $y = 0.0094x + 3.1889$ มีค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรง (r^2) คือ 0.9989 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) มีค่าเท่ากับ 10.2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าขีดจำกัดของวิธีตรวจวัด (LOQ) มีค่าเท่ากับ 31.8 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าเปอร์เซ็นต์การวิเคราะห์แบบย้อนกลับของวิธีที่นำเสนอมีค่าอยู่ในช่วง 101.17–103.81 เปอร์เซ็นต์ และค่าการวิเคราะห์แบบซ้ำมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ได้นำวิธีที่นำเสนอนี้ไปตรวจหาปริมาณโซเดียมในตัวอย่างเส้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป 16 ตัวอย่าง ผลปริมาณโซเดียมที่ตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีที่นำเสนอนี้มีปริมาณโซเดียมอยู่ในช่วง 90.11 –1022.43 มิลลิกรัมต่อซอง วิธีที่ใช้นี้มีพื้นฐานจากการใช้การคายคลื่นแสงในเปลวไฟและสมาร์ทโฟน ด้วยขั้นตอนที่ง่ายและประหยัดเวลา วิธีที่นำเสนอนี้ให้ผลการศึกษาที่ดี ถูกต้อง และการวิเคราะห์ซ้ำที่ดี อย่างไรก็ตามวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้เป็นวิธีทางเลือกหนึ่งสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในตัวอย่างอาหาร

คำสำคัญ: การคายคลื่นแสง, โซเดียม, สีอาร์ จี บี, สมาร์ทโฟน

[1] สาขาวิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

[2] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดสารคาม 44150

[1] Pharmaceutical Chemistry Department, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

[2] Chemistry Department, Faculty of Sciences, Mahasarakham University, Mahasarakham, 44150

*Corresponding author: wirat_ru@kku.ac.th

Abstract

A simple flame emission method was developed for the determination of sodium in instant noodle samples. The study was based on recording colour digital image of flame emission from sodium solution. The orange–flame image from flame emission of each solution was took image with smartphone and investigated RGB value using in–house software (GetPixel V 2.0). Under the optimum conditions, standard calibration curve was established in concentration ranges of 10–1000 µg mL^{-1} of sodium standard solution which was plotted against RGB pixel values. For linearity within the optimum range, regression equation was shown $y = 0.0094x + 3.1889$. The correlation coefficient (r^2) was 0.9989. The limit of detection (LOD) was 10.2 µg mL^{-1} and the limit of quantification (LOQ) was 31.8 µg mL^{-1}. The percentage recoveries of proposed method had shown in range of 101.17%–103.81% and repeatability was found the standard deviation lesser than 5%. The proposed method was utilized for the examination of sodium level from 16 commercial products of instant noodle samples. The results of the proposed method were found sodium in range of 90.11 –1022.43 mg per a packet. The proposed method was based on using simple flame emission and smartphone with non–sophisticate processes and less time–consuming step. The presented method was provided good resulting for accuracy, precision and reproducibility. Moreover, this low cost proposed method can be used as an alternative method in quantitative sodium in food sample.

Keywords: Flame emission, Sodium, RGB colour, Smartphone

Introduction

The scientific evidence for the role of salt in the pathogenesis of hypertension has been confirmed by numerous studies. Many population studies report salt intakes that exceed the WHO recommendation (2 g/day of Na^+ or 5 g/day of salt) [1]. The previously studies proved the existence of a direct link between high sodium intake and high blood pressure, the main component of cardiovascular disease (CVDs) [2]. It has been well established that excess consumption of sodium adversely affects blood pressure. Reducing dietary sodium intake through food reformulation has been identified as a cost effective intervention [3]. Interestingly, this study is present the simple method for determination sodium in instant noodle samples.

There are several methods for determination of sodium in food such as titration [4], potentiometric method [5], UV–Visible spectrophotometry [6], ion chromatography [7], flame atomic absorption spectrometry [8] and smartphone application [9], However, the previously methods are consisting of sophisticated procedure and instrumentation. On the other hand, the proposed method is present as a simple procedure for determination sodium in food. The presented method was based on RGB value. RGB pixels array model (red, green and blue) can be applied in digital colored images derived from the digital devices. RGB means the combination of three colours. Each colour pixel value is in the range of 0–255 and so the combination of three values produces more than 16,777,216 different colours [10]. There are some publications using for analytical technique including determination of ethanol in beers [11], nitrite in food and water samples [12], analysis of pharmaceutical sample [13], and formaldehyde contamination [14].

This study is presented a simple and not time-consuming method coupled with a RGB colorimetric technique using the built-in function of smartphone with digital imaging devices for quantitative analysis. A simple flame emission for determining sodium in instant noodle is proposed. It is based on the hot water extracted the sodium content from only in noodle not included ingredient and transferred this extracted solution into flame of bunsen burner. Afterward, the digital image of the emission flame was recorded with an android smartphone and using an in-house software for reading RGB value that related with the intense of orange-flame. It was found that the RGB signal and sodium concentration were obeyed with the principle of Beer's law.

Method and materials

Chemicals and apparatus

Sodium chloride is an analytical reagent grade and was used without further purifications. Sodium standard solution was prepared using appropriate weight of sodium chloride and dissolved with distilled deionized water in order to get the appropriate concentration for this study. The sodium chloride was purchased from Sigma-Aldrich, USA.

A smartphone (Galaxy A50s, Samsung®) was used to acquire images which is consist of 48 MP with f/1.8 as main camera.

RGB colorimetric software

The GetPixel program (Version 2.0) was utilized in the colourimetric quantitative analysis. This program was developed in-house using Microsoft Visual Basic 6.0. The program was written by Assist. Prof. Dr. Senee Kruanetr, Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Mahasarakham University, Thailand. In this program, each colour value (0-255) of red, green, and blue can be detected and also the combination of value of three colours (Figure 1).

Calibration curve

The calibration curve was studied in range of 10-1000 µg mL^{-1} of sodium standard solution. The orange-flame image from flame emission of each solution was taken image with smartphone and investigated RGB value using in-house software (GetPixel V 2.0). The calibration curve was constructed when the *x*-axis was represented with sodium concentration and *y*-axis was represented with the RGB pixels array values. Afterward, the calibration curve was constructed where sample pixels array value were correlated to find out its unknown concentration or amount.

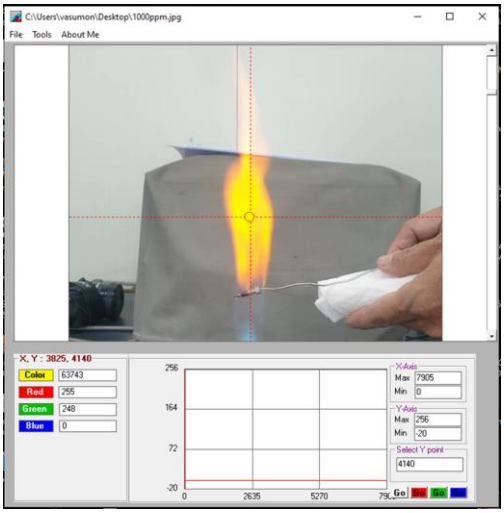


Figure 1. The in-house software (GetPixel V 2.0) was developed and using for reading RGB value from digital image of flame emission.

Marketed instant noodles analysis

The sixteen (16) commercial of instant noodles were collected from open market at Vientiang Capital, Lao PDR. and using hot distillation water for extraction the sodium only in noodles not in ingredient. Each extracted solution was introducing into the flame of bunsen burner, recoded the image and read the RGB with in-house software. This propose method was shown satisfy results for using analysis sodium in instant noodles sample.

Results

Calibration Curve

The results of determination of sodium in instant noodle using simple flame emission technique was shown the reasonable calibration curve. Using the proposed procedure under optimum conditions, linear calibration graphs were obtained for sodium concentrations from 10 to 1000 μg mL^{-1}. The solution of standard of sodium was introduce into Bunsen flame and recorded the JPEG format picture using a mobile phone (Figure 2). Afterward, the recorded picture was read RGB value via in-house software (GetPixel V 2.0). The RGB value were read at the central region of the indicate flame for triplicated. The mean value (n=3) was use for study on construct the sodium calibration curve (Table 1).

Linear regression analysis of the RGB value of sodium (y) versus sodium concentration (x) yielded the equation y = 0.0094x + 3.1889. The correlation coefficient was 0.9989 (Figure 3). The limit of detection (LOD) and the limit of quantitation (LOQ) were determined for analysis of sodium, based on the criteria that the signal to-noise ratio for LOD and LOQ are 3:1 and 10:1, respectively, for sample to blank. The detection limits for proposed method is 10.2 μg mL^{-1} while the quantitation limits is 31.8 μg mL^{-1}.

Precision and accuracy

The relative standard deviation of the proposed method (RGB pixels array value) from 5 repeated of sodium 25, 75 and 100 µg mL^{-1} were carried out couple with standard addition method. The percentage of standard deviation of intra-day was 2.60 %, 1.87 %and 1.33 % (*n*=5) and inter-day was 3.11 %, 2.20 % and 1.66 % (*n*=5), respectively. The percent recovery of accuracy for the proposed method was studied on sodium 25, 75 and 100 µg mL^{-1} and using standard addition method. The results were 103.81 %, 102.43 % and 101.17 % (*n*=5) for intra-day and 103.69 %, 103.22 % and 101.87 % (*n*=5) for inter-day, respectively.

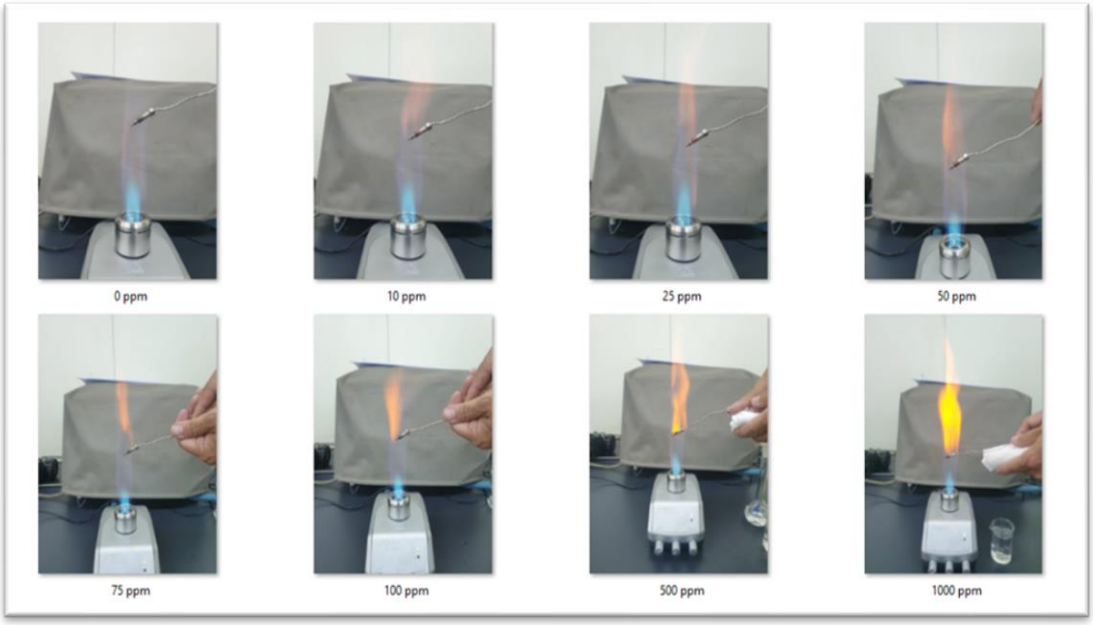


Figure 2. The JPEG flame emission digital image of standard sodium concentration in range of 0 – 1000 µg mL^{-1}.

Table 1. RGB value of sodium standard solution in range of 10-1000 µg mL^{-1}.

Standard Na (µg mL^{-1})	RGB Value x 10^6
10	3.09
25	3.35
50	3.67
75	3.98
100	4.29
500	7.91
1000	12.50

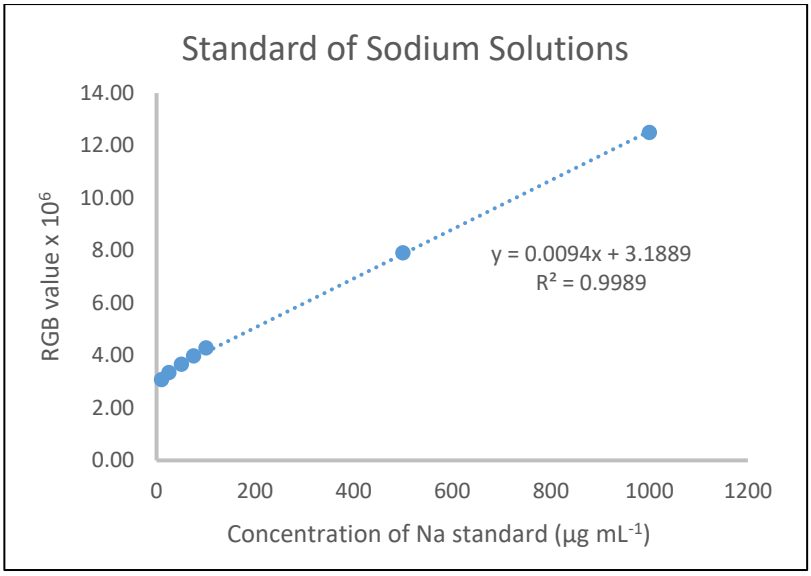


Figure 3. Standard curve of sodium standard solution

Application for commercial samples

The proposed method was utilized for the examination of 16 commercial products of instant noodle samples (Figure 4). The results of the proposed method were found sodium in range of 90.11 ± 1.0 –1,022.43 ± 2.2 mg per a packet (*n*=3). The average of sodium level per packet is 775.08 ± 2.0 mg. Interestingly, these were found that the sodium contains from noodles (1 g) were in range 1.80 – 16.23 mg and the average of sodium is 13.78 mg per g of noodles sample (Table 2).

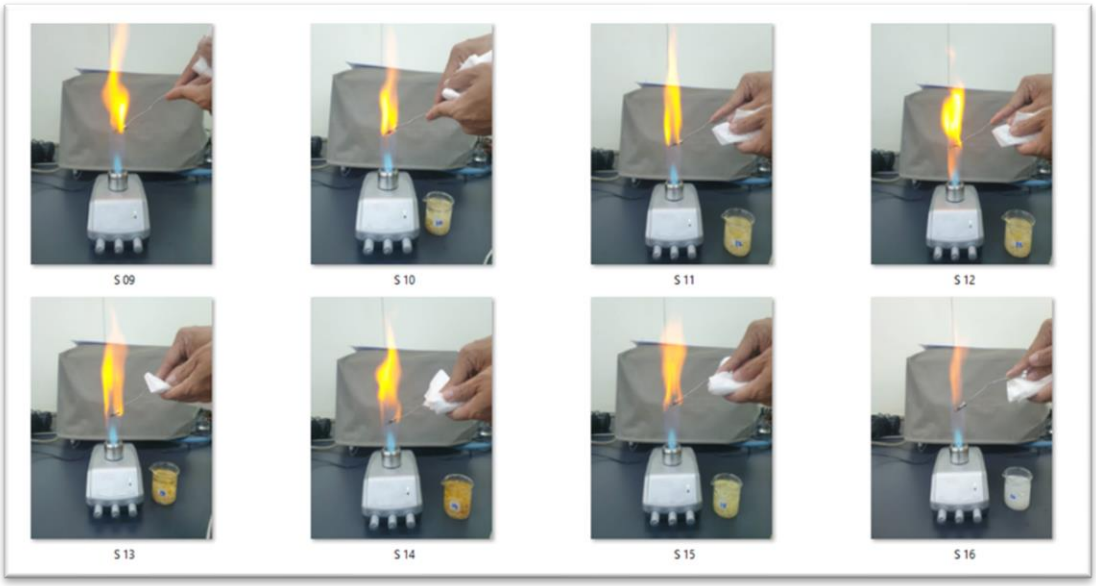


Figure 4. The examples of digital images of flame emission from some selected sample

Table 2. Sodium level in instant noodles sample

Sample	Sodium level* (mg per packet)	Weight per a packet (g)	Sodium level per 1 g of noodles (mg)
1	987.40 ± 2.0	60	16.46
2	898.96 ± 2.6	55	16.63
3	945.31± 2.5	60	15.76
4	410.82 ± 2.2	60	6.85
5	402.63 ± 1.5	55	7.32
6	1,022.43 ± 2.2	63	16.23
7	1,021.74 ± 2.0	63	16.22
8	933.15 ± 2.8	63	14.81
9	947.75 ± 2.4	63	15.04
10	905.22 ± 2.0	55	16.46
11	896.01 ± 2.1	60	14.93
12	951.94 ± 2.2	60	15.87
13	879.33 ± 2.0	55	15.99
14	585.48 ± 2.0	60	9.76
15	523.02 ± 1.5	60	8.72
16	90.11 ± 1.0	50	1.80
Average	775.08 ± 2.0		13.78

* Only in noodle not include ingredient

Conclusion

The proposed simple flame emission method is a simple procedure for analysis of sodium. The orange–flame image from flame emission of each solution was took image with smartphone and investigated RGB value using in–house software (GetPixel V 2.0). This study is applying for determination sodium level in instant noodles. The average of sodium was found to be 13.78 mg per g of noodle samples that could be compared with the studies in Malaysia [15]. The mean (±SD) salt of instant noodles in Malaysia was 43.00 mg per g of noodle samples (n=439). In China and New Zealand were found the average of sodium salt in instant noodles were 19.44 mg and 7.98 mg per g of noodles sample, respectively [16]. These study were found that the present method has many advantages such as simple preparing reagents, high accuracy, high reproducibility, and is therefore a rapid and acceptable alternative method for analysis sodium in food.

References

1. Rodríguez AJ, Cobos LP, Rodrígue–Martín A, Valle PF and Novalbos–Ruíz J. Design of a nutritional survey to detect high dietary salt intakes and its usefulness in primary care compared to 24–hour urine sodium determination. Nutrient. 2023; 15, 1542.
2. Kenao TS, Sossa JC, Paraiso NP, Belo M, Sopoh GE, Tchankoni KM and Agueh V. Sodium, potassium food intake and global cardiovascular risks in Togo. J. Public Health Afr. 2023; 14, 2301.
3. Flexner N, Christoforou AK, Bernstein JT, Ng AP, Yang Y, Nilson EAF, Labonté M and L'Abbe MR. Estimating Canadian sodium intakes and the health impact of meeting national and WHO recommended sodium intake levels; A macrosimulation modelling study. PLoS ONE. 2023, 18, e028733.
4. Perez–Palacios T, Salas A, Muñoz A and Ocaña E. Sodium chloride determination in meat product: Comparison of the official titration–based method with atomic absorption spectrometry. J. Food Compos. Anal. 2022, 108, 104425.
5. Plácido A, Kupers R, Paíga P, Magalhães J, Nouws HPA, Delerue–Matos C and Oliveira MBPP. Salt content in bread and dough from Portugal; Method development and comparison. J. Food Compos. Anal. 2012, 27, 14–20.
6. Dini I, Lorenzo RD, Senatore A, Coppola D, Laneri S and Mancusi A. Validation of a rapid analysis to determine sodium chloride level. J. Food Meas. Charat. 2023, 17, 4015–4025.
7. Yelampalli SR, Gandla K, Reddy KTK, Ibrahim AE and Deep SE. Determination of sodium, potassium and magnesium as sulfate salts in oral preparations using ion–chromatography and conductivity detection. Separation. 2023, 10, 99.
8. Ieggli CVS, Bohrer D., Nascimento PC and Carvalho LM. Determination of sodium, potassium, calcium, magnesium, zinc and iron in emulsifier chocolate samples by flame atomic absorption spectrometry. Food Chem. 2011, 1224, 1189–1193.
9. Jung C, Kim Y, Kim HW, Han SH, Yoo T, Kang S and Park JT. Effectiveness of a smartphone application for dietary sodium intake measurement. Nutrients, 2023, 15, 3590.
10. Fan Y, Li J, Guo Y, Xie L and Zhang G. Digital image colorimetry on smartphone for chemical analysis: A review. Meas.: J. Int. Meas. Confed. 2021; 171.
11. Curbani L, Gelinski JMLN and Borges EM. Determination of ethanol in beers using a flatbed scanner and automated digital image analysis. Food Anal. Methods. 2020; 13(1): 249–259.
12. Filgueiras MF, Jesus PCD and Borges EM. Quantification of nitrite in food and water samples using the Griess Assay and digital images acquired using a desktop scanner. J. Chem. Edu. 2021; 98(10): 3303–3311.
13. Wai MHH, Kruanetr S and Ruengsitagoon W. RGB colorimetric method for the quantitative analysis of levocetrizine tablets. Isann J. of Pharm. Sci.. 2020; 16(3): 65–75.

14. Wongniramaikul W, Limsakul W and Choodum A. A biodegradable colorimetric film for rapid low cost field determination of formaldehyde contamination by digital image colorimetry. Food Chem. 2018; 249: 154–161.
15. Tan CH, Chow ZY, Ching SM, Devaraj NK, MacGregor GA and Chia YC. Salt content of instant noodles in Malaysia: a cross–sectional study, BMJ Journal, 2019, 9, e024702.
16. Farrand C, Charton K, Crino M, Santos J, Rodriguez–Fernandez R, Ni Mhurchu C and Webster J. Know your noodles, assessing variations in sodium content of instant noodles across countries, Nutrients, 2017, 9(6), 612.

ประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ และภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิม : กรณีศึกษาชุมชนท่าอิฐและเกาะเกร็ด จ.นนทบุรี

Reproductive behavioral experiences and health status of Muslim women : case study of Tha-it and Koh kret communities, Nonthaburi province

ศุภามณ จันทร์สกุล[1*], บุญส่ง สุประดิษฐ์[1], ชนินทร์ จักรภพโยธิน[1] และ คชารัตน์ ปรีชล[1]

Suphamon Chansakul[1*], Boonsong Supradith[1], Chanin Chakkrapopyodhin[1] and Kacharat Prechon[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ และภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิมในชุมชนท่าอิฐและเกาะเกร็ด ประชากรเป็นสตรีมุสลิมวัยเจริญพันธุ์ที่มีประสบการณ์และปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ในระยะตั้งครรภ์ คลอด หลังคลอด ผู้วิจัยเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง เก็บข้อมูลเชิงปริมาณ 50 คน สัมภาษณ์เชิงลึก 7 คน วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติพรรณนา ส่วนข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกใช้การวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า

ส่วนใหญ่สตรีมุสลิมมีดัชนีมวลกายเกินเกณฑ์ ไม่เคยรับคำปรึกษาแต่มีการเตรียมความพร้อมก่อนตั้งครรภ์ มีการวางแผนครอบครัวร่วมกับสามี เลือกการคุมกำเนิดชั่วคราวเมื่อยังไม่พร้อม ฝากครรภ์ก่อนอายุครรภ์ 12 สัปดาห์ ฝากครรภ์ตามนัดและดูแลสุขภาพตามแผนการรักษา ขณะตั้งครรภ์มีน้ำหนักขึ้นตามเกณฑ์ ปัญหาที่พบได้แก่ ท้องลมครรภ์เป็นพิษ โลหิตจาง เป็นต้น ส่วนใหญ่คลอดปกติ รองลงมาคือผ่าตัดคลอดทางหน้าท้อง ปัญหาที่พบได้แก่ คลอดก่อนกำหนด น้ำคร่ำน้อย ทารกท่าผิดปกติ เป็นต้น ภาวะสุขภาพของมารดาและทารกหลังคลอดส่วนใหญ่แข็งแรงดี เลี้ยงลูกด้วยนมแม่ พบน้ำนมไหลน้อยร้อยละ 32 สตรีมุสลิมมีการดูแลสุขภาพหลังคลอดตามคำแนะนำ มีการอยู่ไฟ ส่วนใหญ่เลือกยาเม็ดคุมกำเนิดหลังคลอด จากเหตุผล “สะดวก” “ไม่มีผลข้างเคียง” “หยุดได้เมื่อต้องการมีบุตร” ส่วนใหญ่เลือกการทำหมันหญิงเมื่อมีบุตรเพียงพอ จากเหตุผล “ปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์ถ้าตั้งครรภ์อีกเสี่ยงต่อแม่และลูก” บุคคลที่มีส่วนร่วมดูแลสตรีมุสลิมและทารกมากที่สุดตั้งแต่ตั้งครรภ์ถึงหลังคลอดคือสามี

คำสำคัญ: ประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์, ภาวะสุขภาพ, สตรีมุสลิม

[1] วิทยาลัยพยาบาลศาสตร์อัครราชกุมารี ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพมหานคร 10210

[1] Faculty of nursing, Chulabhorn Royal Academy, Bangkok, 10210

* Corresponding author: Suphamon.cha@cra.ac.th

Abstract

This research aims to study reproductive behavioral experiences and health status of Muslim women in Tha-it and Koh Kret communities. The population consisted of reproductive age Muslim women who had reproductive behavioral experiences during pregnancy, labour, and postpartum. The participants were selected by purposive sampling. Quantitative data were collected on 50 participants and in-depth interviews were conducted on 7 participants. Quantitative data was analyzed by descriptive statistics and in-depth interviews was analyzed by content analysis. The results found that:

Most Muslim women had BMI. above threshold. Never received counseling but was prepared before pregnant. There was family planning with husband. Chose temporary contraceptive methods when they were not ready to have baby. Prenatal care before 12 weeks of pregnancy. Follow prenatal care appointments and take care of health according to the treatment plan. During pregnancy, most had weight gain according to criteria. Complications included brighted ovum, preeclampsia, anemia, etc. Most had normal labour. Followed by cesarean section. Complications included premature, oligohydramnios, abnormal fetal position, etc. The health conditions of mothers and infants after birth are generally good. Insufficient breastfeeding was found that 32%. Most Muslim women had take care of health during puerperium according to recommendations and had after- childbirth confinement. Most of them chose oral contraception after birth. From the reason, "Convenient", "no side effects", "You can stop when you want to have baby". Most chose female sterilization when they had enough children. From the reason, "follow the doctor's advice if pregnant, high risk to mother and baby". The person who was most involved in caring for Muslim women and their babies from pregnancy to postpartum was husband.

Keywords: Reproductive behavioral experiences, Health status and muslim women

บทนำ

การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์เป็นการกระทำกิจกรรมในการดูแลสุขภาพเกี่ยวกับอนามัยเจริญพันธุ์ของตนเอง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวางแผนครอบครัว การวางแผนการมีบุตร การดูแลรักษาสุขภาพที่ดีก่อนการตั้งครรภ์และระหว่างการตั้งครรภ์ การดูแลสุขภาพขณะคลอด และหลังคลอด การเลี้ยงบุตรด้วยนมมารดา [1-2] ประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ของสตรีมุสลิมยึดตามหลักคำสอนในอัลกุรอานตั้งแต่ก่อนตั้งครรภ์ ขณะมีครรภ์ การคลอด ตลอดจนการดูแลภาวะสุขภาพของมารดาและทารกหลังคลอด มุสลิมต้องเรียนรู้หลักคำสอนเกี่ยวกับการเจริญพันธุ์โดยบิดามารดาเป็นผู้สนับสนุนให้บุตรได้ศึกษาคำสอนทางศาสนาและต้องปฏิบัติศาสนกิจเต็มรูปแบบเมื่อบรรลุนิติภาวะ วิชาที่เกี่ยวข้องกับอนามัยการเจริญพันธุ์คือหลักศาสนบัญญัติ 4 ประการ (วิชาฟิกฮฺ) ประกอบด้วย 1) วิถีความเป็นอยู่อิสลาม (มูอามาละฮฺ) 2) การปฏิบัติตามหลักศาสนาโดยภักดีต่ออัลลอฮ์ (อีบาดะฮฺ) 3) การใช้ชีวิตของคู่สมรสและครอบครัว การเลี้ยงลูก (มุนากาฮะฮฺ) และ 4) บทลงโทษเกี่ยวกับอาชญากรรม (ยีนายะฮฺ) ระหว่างตั้งครรภ์สตรีมุสลิมงดถือศีลอดในเดือนรอมฎอนได้แต่ต้องชดเชยในเดือนอื่นแทน สตรีมุสลิมต้องปฏิบัติการดุอาขอพรอัลลอฮ์ ละหมาดทำความเคารพอัลลอฮ์ อ่านอัลกรุอานเพื่อให้จิตใจสะอาด ลดความวิตกกังวล ทำให้การหลั่งฮอร์โมนปกติส่งผลต่อสุขภาพที่ดีของแม่และทารกในครรภ์ และต้องทำพิธีรับฝากครรภ์กับโต๊ะบีแด [3]

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ และภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิมในการปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ตั้งแต่ก่อนสมรส ขณะตั้งครรภ์ ระยะคลอด และหลังคลอด พบการศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้ ในระยะตั้งครรภ์ จากการศึกษาใน ร.พ.ชุมชน จ.ปัตตานี พบว่าสตรีมุสลิมมีปัญหาภาวะโลหิตจางขณะตั้งครรภ์จากอุบัติการณ์การมาฝากครรภ์ครั้งแรกเมื่ออายุครรภ์มากกว่า 12 สัปดาห์ ฝากครรภ์ไม่ครบตามเกณฑ์ฝากครรภ์คุณภาพ จำนวนการตั้งครรภ์หลายครั้ง ระยะห่างของการตั้งครรภ์แต่ละครั้งน้อยกว่า 2 ปี [4] ในระยะหลังคลอด สตรีมุสลิมใน จ.นราธิวาส จ.ปัตตานี และ จ.ยะลา มีพฤติกรรมการออกกำลังกายหลังคลอดน้อย [5] ส่วนการคุมกำเนิดพบว่า สตรีมุสลิมในภาคใต้คุมกำเนิดร้อยละ 55.6 โดยนิยมใช้การคุมกำเนิดแบบชั่วคราวได้แก่ ยาเม็ดคุมกำเนิด ยาฉีดคุมกำเนิด การนับระยะปลอดภัย ตามลำดับ [6] อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการศึกษาเกี่ยวกับประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ และภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิมในการปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ส่วนใหญ่ศึกษาในบริบทพื้นที่ภาคใต้ ส่วนการศึกษาในพื้นที่อื่น ๆ ยังมีน้อยอยู่

มุสลิมทุกคนไม่ว่าจะอยู่ในพื้นที่ใดก็ต้องใช้บทบัญญัติเดียวกันเป็นบทบัญญัติสากลตามหลักศาสนาอิสลาม ซึ่งวิถีชีวิตมุสลิมเป็นรูปแบบแห่งพฤติกรรมบนพื้นฐานแห่งความศรัทธาอัลลอฮ์เป็นพระเจ้าแต่เพียงองค์เดียว และนบีมุฮำมัดเป็นศาสนทูตของอัลลอฮ์ องค์ประกอบในวิถีชีวิตมุสลิมมี 4 ด้าน ดังนี้ 1) องค์มติความศรัทธาในอัลลอฮ์และนบีมุฮำมัด 2) องค์พิธีกรรม 3) องค์วัตถุโดยไม่เคารพบูชารูปปั้นต่างๆ ธรรมชาติ ภาพต่างๆ และ 4) องค์การอิสลามซึ่งเป็นสถาบันทางสังคมที่ทำให้การดำเนินชีวิตของชาวมุสลิมครบวงจรผนึกรวมเป็นสังคมและวัฒนธรรมมุสลิม [7] ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษานำร่อง ณ ชุมชนในหมู่ 6, หมู่ 10 ตำบลท่าอิฐ และชุมชนในหมู่ 2, หมู่ 3 ตำบลเกาะเกร็ด จังหวัดนนทบุรี เนื่องจากท่าอิฐเป็นชุมชนมุสลิมที่มีประวัติตั้งแต่ต้นกรุงรัตนโกสินทร์ว่าเป็นมุสลิมอพยพมาจากจังหวัดในชายแดนภาคใต้แล้วกระจายกันมาตั้งรกรากที่ชุมชนท่าอิฐ จ.นนทบุรี ที่กรุงเทพมหานครปริเวณสี่แยกบ้านแขกฝั่งธนบุรีแถวทุ่งครุ ตลาดมหานาค พระโขนง คลองตัน มีนบุรี และหนองจอก ที่ จ.พระนครศรีอยุธยา จ.ฉะเชิงเทรา และ จ.นครนายก [8] ส่วนเกาะเกร็ดเป็นชุมชนที่มีพื้นที่ประวัติศาสตร์ตั้งแต่สมัยอยุธยา ประชากรที่อยู่ร่วมกันประกอบด้วยเชื้อชาติไทย ไทย–จีน มอญ และอิสลาม โดยประชากรที่นับถือศาสนาอิสลามอยู่ในหมู่ 2 และหมู่ 3 มีจำนวนร้อยละ 15 ของประชากรทั้งตำบล [9] ดังนั้นประชากรมุสลิมในกรุงเทพมหานครฝั่งตะวันออก ชุมชนท่าอิฐและชุมชนเกาะเกร็ด ตลอดจนมุสลิมในพื้นที่ดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นชาวมุสลิมที่มีรากเหง้าเดียวกัน ผลที่ได้จากการศึกษาประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ และภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิม ณ ชุมชนท่าอิฐและชุมชนเกาะเกร็ด ในครั้งนี้จะประโยชน์ทางวิชาการโดยได้ข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับการศึกษานิเวศวิทยาทางสังคม ปัจจัยทางจิตวิทยา และพฤติกรรมสุขภาพ ที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ของสตรีมุสลิมในกรุงเทพมหานครฝั่งตะวันออกต่อไป

วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อศึกษาประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ และภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิม ณ ชุมชนท่าอิฐ และชุมชนเกาะเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษานำร่อง เพื่อศึกษาประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ และภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิม ณ ชุมชนในหมู่ 6, หมู่ 10 ตำบลท่าอิฐ และชุมชนในหมู่ 2, หมู่ 3 ตำบลเกาะเกร็ด จังหวัดนนทบุรี การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในโครงการวิจัยเรื่อง นิเวศวิทยาทางสังคม ปัจจัยทางจิตวิทยา และพฤติกรรม

สุขภาพที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ของสตรีมุสลิมในกรุงเทพมหานครฝั่งตะวันออก : การวิจัยผสมวิธี ซึ่งผ่านการพิจารณาการทำวิจัยในมนุษย์ ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์ (EC 005/2566)

ประชากรเป็นสตรีมุสลิมวัยเจริญพันธุ์ที่มีช่วงอายุ 15 – 49 ปี เคยมีประสบการณ์ในการตั้งครรภ์ คลอด และหลังคลอด และเคยปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์เกี่ยวกับ การวางแผนครอบครัว การคุมกำเนิด การดูแลตนเองขณะตั้งครรภ์ คลอด และหลังคลอด ตัวอย่างสตรีมุสลิมที่เป็นอาสาสมัครในการศึกษานำร่อง ผู้วิจัยเลือกตัวอย่างแบบเจาะจงโดยประสานงานกับเจ้าหน้าที่สาธารณสุขในพื้นที่ เก็บข้อมูลเชิงปริมาณด้วยแบบสอบถามสตรีมุสลิมจำนวน 50 คน และเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพจากการสัมภาษณ์เชิงลึกสตรีมุสลิมจำนวน 7 คน ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยชี้แจงโครงการวิจัย มีการขออนุญาตอาสาสมัครในเข้าร่วมการวิจัยด้วยความความสมัครใจ และลงนามในการยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามสตรีมุสลิมเกี่ยวกับ ข้อมูลส่วนบุคคล ประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ และภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิม และแบบสัมภาษณ์เชิงลึกสตรีมุสลิมเกี่ยวกับประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ และภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิม เครื่องมือวิจัยทั้งแบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างผ่านการพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหาจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน มีค่า IOC > 0.67 ทุกข้อ

การวิเคราะห์ข้อมูลวิจัยเชิงปริมาณวิเคราะห์ด้วยสถิติพรรณนา โดยข้อมูลที่มีมาตรวัดตัวแปรระดับ Nominal และ Ordinal วิเคราะห์ด้วยความถี่และร้อยละ ข้อมูลที่มีมาตรวัดตัวแปรระดับ Interval และ Ratio วิเคราะห์ด้วยค่า Min., Max., Median, Mode, $\bar{x}$, SD. ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัยเชิงคุณภาพใช้การวิเคราะห์เนื้อหา

ผลการศึกษา

สตรีมุสลิมในชุมชนท่าอิฐ และชุมชนเกาะเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ที่เข้าร่วมการวิจัยในการตอบแบบสอบถามจำนวน 50 คน และสัมภาษณ์เชิงลึกจำนวน 7 คน ผลวิจัยพบว่า สตรีมุสลิมมีอายุเฉลี่ย 34 ปี มีอายุน้อยสุด 19 ปี มีอายุมากที่สุด 49 ปี มีจำนวนบุตรโดยเฉลี่ย 2 คน โดยสตรีมุสลิมที่มีจำนวนบุตรมากที่สุดมีจำนวนบุตร 8 คน สตรีมุสลิมมีน้ำหนักเฉลี่ยในปัจจุบัน 70.73 kg. มีน้ำหนักมากที่สุด 106 kg. ส่วนสูงโดยเฉลี่ยของสตรีมุสลิม 158.98 cm. ส่วนสูงน้อยที่สุด 143 cm. ดัชนีมวลกายโดยเฉลี่ยของสตรีมุสลิม 27.84 Kg/m^2 ดัชนีมวลกายมากที่สุด 39.06 Kg/m^2 นำเสนอข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของสตรีมุสลิม (มาตรวัดตัวแปรระดับ Interval และ Ratio) (n=50)

ข้อมูลส่วนบุคคล	Min.	Max.	Mode.	Median	$\bar{x}$	SD.
อายุ (ปี)	19	49	30	31	34.00	9.14
จำนวนบุตรที่มีในปัจจุบัน (คน)	1	8	2	2	2.00	1.46
น้ำหนักในปัจจุบัน (Kg.)	40	106	68	69	70.73	16.33
ส่วนสูง (Cm.)	143	182	160	159.5	158.98	7.29
ดัชนีมวลกาย (BMI) (Kg/m^2)	17.78	39.06	27.34	27.34	27.84	6.01

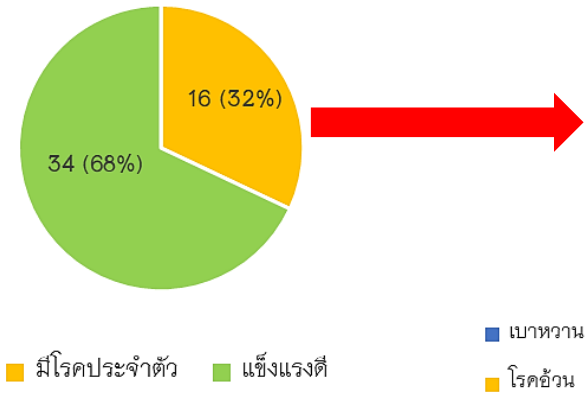
สถานภาพสมรสของสตรีมุสลิมส่วนใหญ่จดทะเบียนกันร้อยละ 60 สตรีมุสลิมมีบทบาทในครอบครัวส่วนใหญ่เป็นสมาชิกในครอบครัวร้อยละ 92 หน้าที่การตัดสินใจในครอบครัวส่วนใหญ่สตรีมุสลิมและสามีมีการตัดสินใจร่วมกันร้อยละ 70 สตรีมุสลิมมีความคิดเห็นต่อบทบาทหน้าที่ของเพศชายและหญิงโดยคิดเห็นว่าชายและหญิงมีความเสมอภาค ต่างปฏิบัติหน้าที่ตามบทบาทของตนเองร้อยละ 64 สตรีมุสลิมที่เข้าร่วมเป็นอาสาสมัครในครั้งนี้ส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายร้อยละ 42 ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเป็นลูกจ้าง/พนักงานบริษัทเอกชนร้อยละ 38 มีงานทำและมีรายได้เป็นของตนเองร้อยละ 72 และมีรายได้พอๆ กับรายจ่ายร้อยละ 54 นำเสนอข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลส่วนบุคคลของสตรีมุสลิม (มาตรวัดตัวแปรระดับ Nominal และ Ordinal) (n=50)

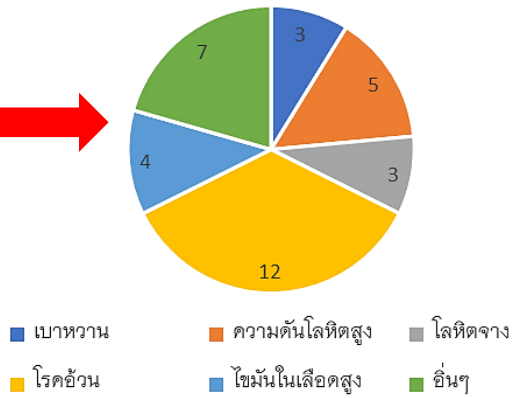
ข้อมูลส่วนบุคคล	f	%
สถานภาพสมรส		
สมรส (จดทะเบียน)	30	60.00
โสด (อยู่ด้วยกันแต่ไม่ได้จดทะเบียนสมรส)	19	38.00
หม่าย	1	2.00
บทบาทในครอบครัว		
หัวหน้าครอบครัว	4	8.00
สมาชิกครอบครัว	46	92.00
หน้าที่การตัดสินใจในครอบครัว		
สตรีมุสลิม	3	6.00
สามี	5	10.00
สตรีมุสลิมและสามีตัดสินใจร่วมกัน	35	70.00
ทุกคนในครอบครัวตัดสินใจร่วมกัน	7	14.00
ความคิดเห็นต่อบทบาทหน้าที่ของเพศชายและหญิง		
ชายเป็นผู้นำและหญิงเป็นผู้ตาม	18	36.00
ชายและหญิงมีความเสมอภาค ต่างปฏิบัติหน้าที่ตามบทบาทของตนเอง	32	64.00
ระดับการศึกษา		
ประถมศึกษา	2	4.00
มัธยมศึกษาตอนต้น	10	20.00
มัธยมศึกษาตอนปลาย	21	42.00
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	6	12.00
ปริญญาตรี	9	18.00
ปริญญาโท	2	4.00
อาชีพ		
ไม่ได้ประกอบอาชีพ	8	16.00
ธุรกิจส่วนตัว	17	34.00
ลูกจ้าง/พนักงานบริษัทเอกชน	19	38.00
รับราชการ	1	2.00
พนักงานรัฐวิสาหกิจ	1	2.00

ข้อมูลส่วนบุคคล	f	%
อื่นๆ	4	8.00
รายได้และที่มาของรายได้		
มีงานทำและมีรายได้เป็นของตนเอง	36	72.00
ทำงานกับครอบครัว และมีรายได้	7	14.00
ว่างงาน ได้รับการเลี้ยงดูจากครอบครัว	7	14.00
รายได้เมื่อเทียบกับรายจ่าย		
รายจ่ายมากกว่ารายได้	16	32.00
รายได้พอๆ กับรายจ่าย	27	54.00
รายได้มากกว่ารายจ่าย	3	6.00
ไม่ให้ข้อมูล	4	8.00

ข้อมูลภาวะสุขภาพในปัจจุบัน โรคประจำตัวที่มี จำนวนครั้งของการตั้งครรภ์ และจำนวนครั้งของการแท้งบุตร นำเสนอด้วยแผนภูมิที่ 1 – 4 เป็นแผนภูมิวงกลม ดังนี้

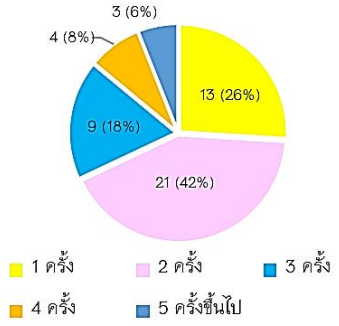


แผนภูมิที่ 1 แสดงข้อมูลภาวะสุขภาพในปัจจุบัน

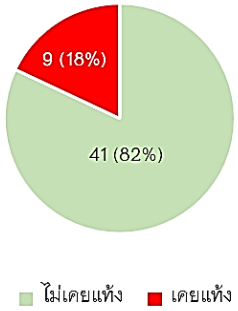


แผนภูมิที่ 2 แสดงข้อมูลโรคประจำตัวที่มี

สตรีมุสลิมมีโรคประจำตัวจำนวน 16 คน (ร้อยละ 32) โดยโรคประจำตัวส่วนใหญ่เป็นโรคอ้วนจำนวน 12 คน รองลงมาคือ โรคอื่นๆ ได้แก่ ภูมิแพ้ กรดไหลย้อน หมอนรองกระดูกทับเส้น ไทรอยด์เป็นพิษ ก้อนที่เต้านม เป็นต้น จำนวน 7 คน รองลงมาเป็นโรคความดันโลหิตสูงจำนวน 5 คน ไขมันในเลือดสูงจำนวน 4 คน เบาหวานและโลหิตจาง จำนวนเท่ากันคือ 3 คน



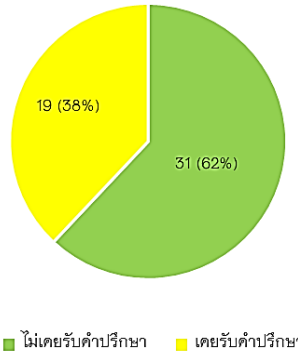
แผนภูมิที่ 3 แสดงจำนวนครั้งของการตั้งครรภ์



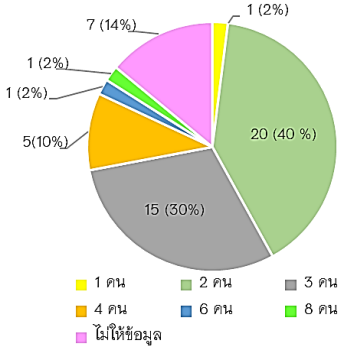
แผนภูมิที่ 4 แสดงจำนวนครั้งของการแท้งบุตร

ประสบการณ์การตั้งครรภ์ ส่วนใหญ่สตรีมุสลิมมีจำนวนการตั้งครรภ์ 2 ครั้ง (ร้อยละ 42) สตรีมุสลิมที่มีการตั้งครรภ์มากกว่า 5 ครั้งขึ้นไปมีจำนวน 3 คน (ร้อยละ 6) ส่วนสตรีมุสลิมที่เคยมีประสบการณ์การแท้งจำนวน 9 คน (ร้อยละ 18) โดยสตรี 1 คนระบุว่าครรภ์ก่อนเคยทำแท้งจากทารกเสียชีวิตในครรภ์ จากการสัมภาษณ์ได้ข้อมูลว่าสตรีบางคนมีอาการซึมเศร้าหลังการแท้งบุตร สตรีที่ทำแท้งจาก Brighted ovum ให้ข้อมูลว่า “ท้องลมทำแท้งได้เพราะไม่มีตัวเด็ก และเป็นแผนการรักษาของแพทย์ ไม่บาป แต่ถ้าทำแท้งเพราะไม่ต้องการเด็ก บาป”

ผลการวิเคราะห์ประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์และภาวะสุขภาพก่อนตั้งครรภ์ของสตรีมุสลิม นำเสนอด้วยแผนภูมิที่ 1–11 ดังนี้

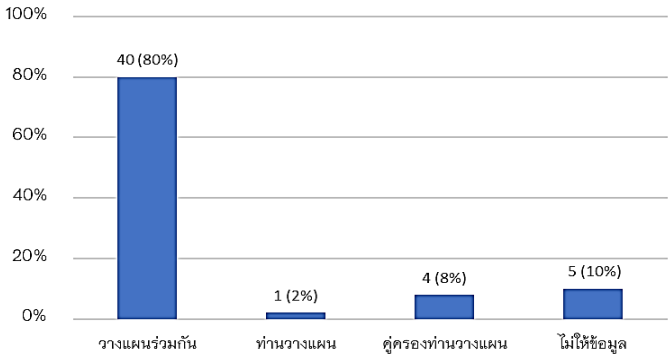


แผนภูมิที่ 5 การรับคำปรึกษาก่อนตั้งครรภ์

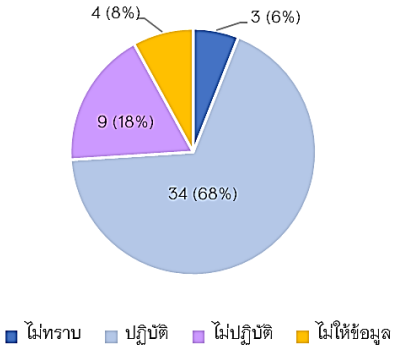


แผนภูมิที่ 6 จำนวนบุตรในการวางแผนครอบครัว

สตรีมุสลิมส่วนใหญ่ไม่เคยรับคำปรึกษาก่อนตั้งครรภ์จำนวน 31 คน (ร้อยละ 62) สตรีมุสลิมที่เคยรับคำปรึกษาก่อนตั้งครรภ์จำนวน 19 คน (ร้อยละ 38) สตรีมุสลิมส่วนใหญ่มีการวางแผนครอบครัวโดยวางแผนการมีบุตรจำนวน 2 คน (ร้อยละ 40) รองลงมาวางแผนการมีบุตร 3 คนจำนวน 15 คน (ร้อยละ 30) มีผู้ไม่ให้ข้อมูลจำนวน 7 คน (ร้อยละ 14)

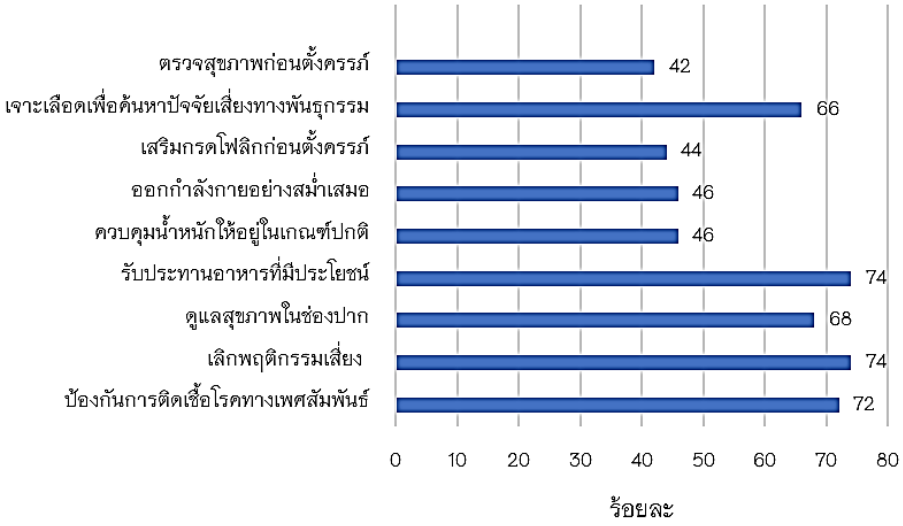


แผนภูมิที่ 7 แสดงการตัดสินใจในการวางแผนครอบครัว



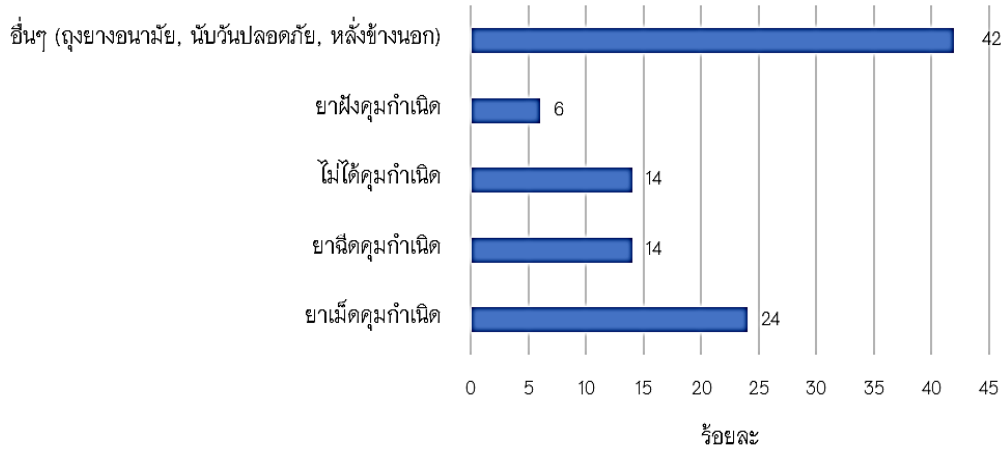
แผนภูมิที่ 8 แสดงการเตรียมความพร้อมก่อนการมีบุตร

การตัดสินใจในการวางแผนครอบครัวพบว่า สตรีมุสลิมส่วนใหญ่มีการวางแผนครอบครัวร่วมกันกับสามีจำนวน 40 คน (ร้อยละ 80) สามีเป็นผู้ตัดสินใจเรื่องวางแผนครอบครัวจำนวน 4 คน (ร้อยละ 8) สตรีมุสลิมเป็นผู้ตัดสินใจเองจำนวน 1 คน (ร้อยละ 2) และมีผู้ไม่ให้ข้อมูลจำนวน 5 คน (ร้อยละ 10) สตรีมุสลิมส่วนใหญ่มีการเตรียมความพร้อมก่อนการมีบุตรจำนวน 34 คน (ร้อยละ 68) ไม่มีการเตรียมพร้อมจำนวน 9 คน (ร้อยละ 18) ไม่ทราบว่าต้องเตรียมความพร้อมจำนวน 3 คน (ร้อยละ 6) และไม่ให้ข้อมูล จำนวน 4 คน (ร้อยละ 8)



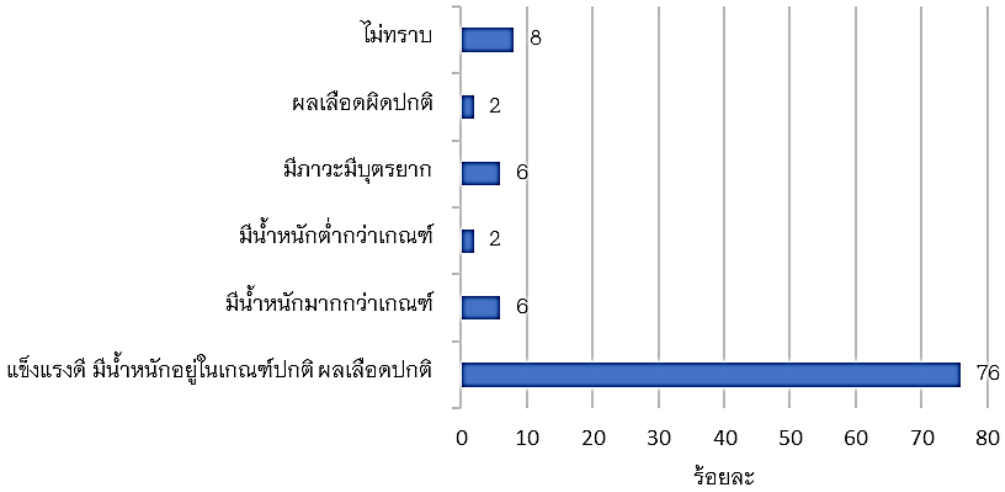
แผนภูมิที่ 9 แผนภูมิแท่งแสดงการปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ก่อนตั้งครรภ์

การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ก่อนตั้งครรภ์ ส่วนใหญ่สตรีมุสลิมจะรับประทานอาหารที่มีประโยชน์พอ ๆ กับเลิกพฤติกรรมเสี่ยง (สูบบุหรี่, ยาบางประเภท, นอนดึก) ก่อนตั้งครรภ์ร้อยละ 74 รองลงมาคือ การป้องกันการติดเชื้อโรคทางเพศสัมพันธ์ การดูแลสุขภาพในช่องปาก การเจาะเลือดเพื่อค้นหาปัจจัยเสี่ยงทางพันธุกรรม การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอและควบคุมน้ำหนักให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ การรับประทานโฟลิกก่อนตั้งครรภ์ และการตรวจสุขภาพก่อนตั้งครรภ์ เรียงตามลำดับ



แผนภูมิที่ 10 แผนภูมิแท่งแสดงการเลือกใช้วิธีการคุมกำเนิดเมื่อยังไม่พร้อมที่จะมีบุตร

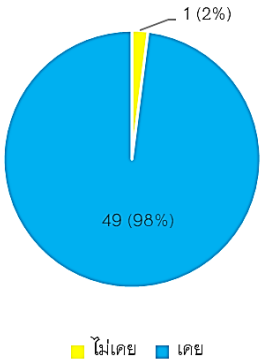
การเลือกใช้วิธีการคุมกำเนิดเมื่อยังไม่พร้อมที่จะมีบุตร สตรีมุสลิมจะเลือกวิธีการคุมกำเนิดชั่วคราว โดยส่วนใหญ่เลือกใช้หลายวิธีร่วมกันร้อยละ 42 ได้แก่ การใช้ถุงยางอนามัย การนับวันปลอดภัย และการหลั่งข้างนอก รองลงมาคือ การใช้ยาเม็ดคุมกำเนิดร้อยละ 24 การใช้ยาฉีดคุมกำเนิดร้อยละ 14 การใช้ยาฝังคุมกำเนิดร้อยละ 6 ส่วนสตรีมุสลิมที่ไม่ได้คุมกำเนิดร้อยละ 14



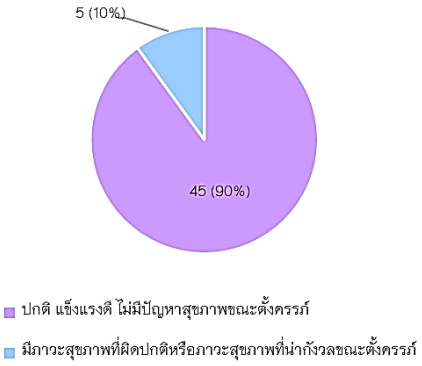
แผนภูมิที่ 11 แผนภูมิแท่งแสดงภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิมก่อนการตั้งครรภ์

ภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิมก่อนการตั้งครรภ์พบว่า ส่วนใหญ่มีภาวะสุขภาพแข็งแรงดี มีน้ำหนักอยู่ในเกณฑ์ปกติ ผลเลือดปกติ ร้อยละ 76 รองลงมาคือ ไม่ทราบภาวะสุขภาพของตนเองก่อนตั้งครรภ์ร้อยละ 8 สตรีมุสลิมที่มีภาวะมีบุตรยากและมีน้ำหนักมากกว่าเกณฑ์มีจำนวนพอๆ กันร้อยละ 6 โดยสตรี 1 คนที่มีบุตรยากระบุว่าเกิดจาก Polycystic Ovary Syndrome สตรีมุสลิมที่มีน้ำหนักต่ำกว่าเกณฑ์และมีผลเลือดผิดปกติ (โลหิตจาง) มีจำนวนพอ ๆ กันร้อยละ 2

ผลการวิเคราะห์ประสบการณ์การปฏิบัติพฤติกรรมดูแลครรภ์ และภาวะสุขภาพในระยะตั้งครรภ์ของสตรีมุสลิม นำเสนอด้วยแผนภูมิที่ 12–16 ดังนี้

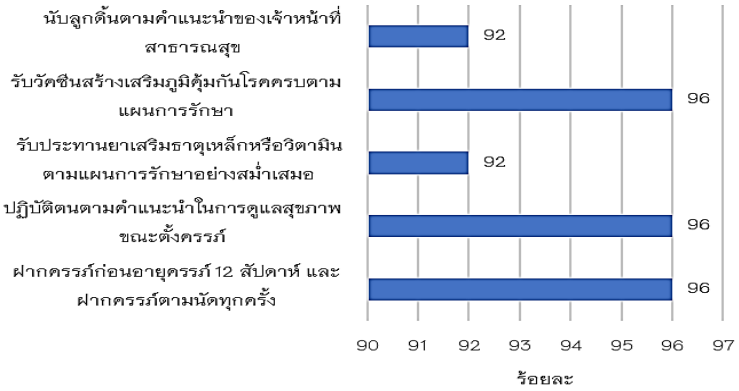


แผนภูมิที่ 12 การรับบริการฝากครรภ์



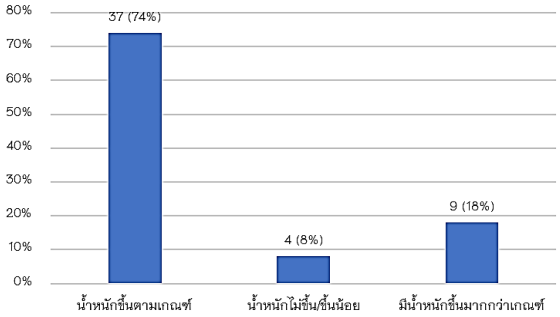
แผนภูมิที่ 13 ภาวะสุขภาพขณะตั้งครรภ์

สตรีมุสลิมที่มารับบริการฝากครรภ์จำนวน 49 คน (ร้อยละ 98) มีภาวะสุขภาพแข็งแรงดีจำนวน 45 คน (ร้อยละ 90) และมีภาวะสุขภาพที่ผิดปกติหรือภาวะสุขภาพที่น่ากังวลขณะตั้งครรภ์จำนวน 5 คน (ร้อยละ 10) โดยระบุว่า การตั้งครรภ์มีความเสี่ยงต่อการคลอดกำหนด ต้องดูแลครรภ์เป็นพิเศษจากภาวะมีบุตรยาก การตั้งครรภ์อายุมาก การตั้งครรภ์วัยรุ่น การตั้งครรภ์ที่มีโรคประจำตัวร่วมด้วย เบาหวาน ความดันโลหิตสูง ครรภ์เป็นพิษ การติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะ มีภาวะโลหิตจาง และ Brighted ovum

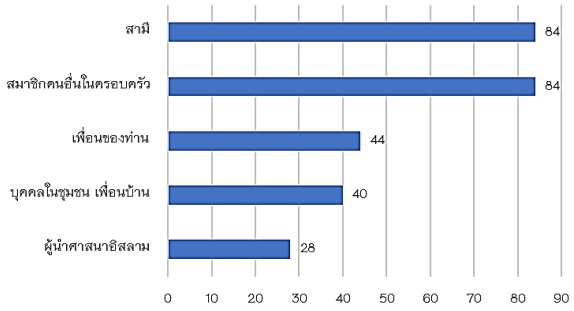


แผนภูมิที่ 14 แผนภูมิแท่งแสดงการปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ขณะตั้งครรภ์

การปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ขณะตั้งครรภ์โดย สตรีมุสลิมส่วนใหญ่ฝากครรภ์ก่อนอายุครรภ์ 12 สัปดาห์ ฝากครรภ์ตามนัดทุกครั้ง ปฏิบัติตนตามคำแนะนำในการดูแลสุขภาพขณะตั้งครรภ์ และรับวัคซีนสร้างเสริมภูมิคุ้มกันโรคครบตามแผนการรักษาร้อยละ 96 รองลงมาคือ รับประทานยาเสริมธาตุเหล็กหรือวิตามินตามแผนการรักษาอย่างสม่ำเสมอ และนับลูกดิ้นตามคำแนะนำของเจ้าหน้าที่สาธารณสุขร้อยละ 92



แผนภูมิที่ 15 แสดงน้ำหนักที่ขึ้นขณะตั้งครรภ์



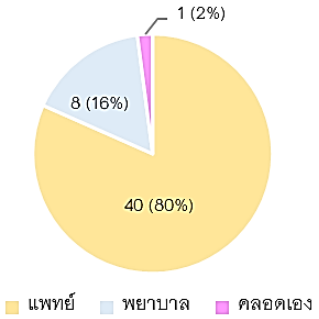
แผนภูมิที่ 16 แสดงการปฏิบัติการมีส่วนร่วมดูแลสตรีมุสลิมและทารกในครรภ์

สตรีมุสลิมส่วนใหญ่มีน้ำหนักขึ้นตามเกณฑ์ขณะตั้งครรภ์จำนวน 37 คน (ร้อยละ 74) มีน้ำหนักขึ้นมากกว่าเกณฑ์จำนวน 9 คน (ร้อยละ 18) และน้ำหนักไม่ขึ้น/ขึ้นน้อยจำนวน 4 คน (ร้อยละ 8) ในระหว่างตั้งครรภ์ สามีและสมาชิกคนอื่นในครอบครัวมีส่วนร่วมในการช่วยดูแลสตรีมุสลิมและทารกในครรภ์ร้อยละ 84 รองลงมาคือ เพื่อนของสตรีมุสลิมร้อยละ 44 บุคคลในชุมชนและเพื่อนบ้านร้อยละ 40 และผู้นำศาสนาอิสลามร้อยละ 28

ผลการวิเคราะห์ประสบการณ์การคลอด และภาวะสุขภาพในระยะคลอดของสตรีมุสลิม นำเสนอด้วยแผนภูมิที่ 17–22 ดังนี้

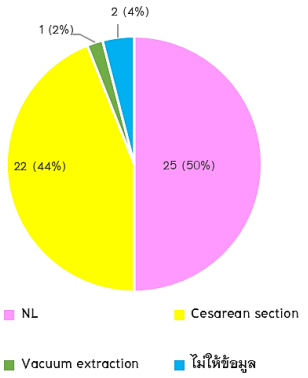


แผนภูมิที่ 17 แสดงสถานที่คลอดของสตรีมุสลิม

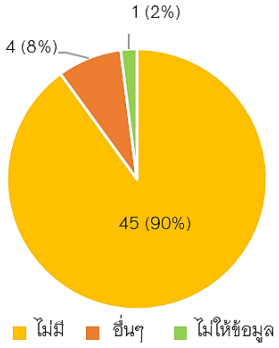


แผนภูมิที่ 18 แสดงผู้ทำคลอดให้สตรีมุสลิม

สตรีมุสลิมส่วนใหญ่คลอดที่โรงพยาบาลรัฐบาลจำนวน 41 คน (ร้อยละ 82) คลอดที่โรงพยาบาลเอกชน จำนวน 7 คน (ร้อยละ 14) และคลอดกลางทางระหว่างนำส่งโรงพยาบาลจำนวน 1 คน (ร้อยละ 2) ผู้ที่ทำคลอดให้สตรีมุสลิมส่วนใหญ่เป็นแพทย์จำนวน 40 คน (ร้อยละ 80) เป็นพยาบาลจำนวน 8 คน (ร้อยละ 16) และคลอดเองระหว่างนำส่งโรงพยาบาลจำนวน 1 คน (ร้อยละ 2) ไม่มีสตรีมุสลิมที่คลอดกับโต๊ะบีแด (หมอตำแย) จากการสัมภาษณ์ได้ข้อมูลว่าปัจจุบันไม่มีหมอตำแยแล้ว มีแต่หมอนวดในชุมชน

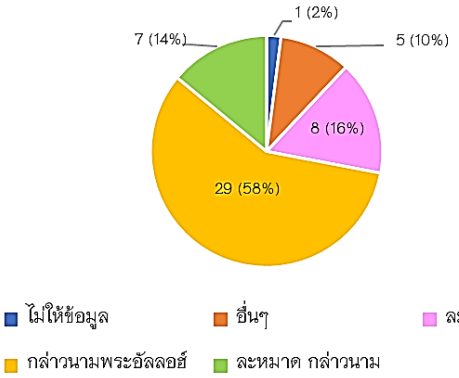


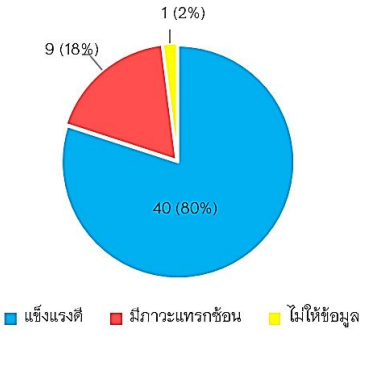
แผนภูมิที่ 19 แสดงวิธีการคลอดของสตรีมุสลิม



แผนภูมิที่ 20 แสดงภาวะแทรกซ้อนระหว่างการคลอดของสตรีมุสลิม

สตรีมุสลิมส่วนใหญ่คลอดปกติจำนวน 25 คน (ร้อยละ 50) รองลงมาคือ ผ่าตัดคลอดทางหน้าท้องจำนวน 22 คน (ร้อยละ 44) โดยระบุสาเหตุของการผ่าตัดคลอดจากการตั้งครรภ์แฝด ทารกมีส่วนนำไม่ใช่ศีรษะ ทารกอยู่ในแนวเฉียง ครรภ์เป็นพิษ มีน้ำเดินแต่ปากมดลูกไม่เปิด ปากมดลูกไม่เปิด ทารกพร่องออกซิเจนและถ่ายขี้เทาในครรภ์ คลอดก่อนกำหนด มีภาวะน้ำคร่ำน้อย เจ็บครรภ์มากทนไม่ไหวจึงขอผ่าตัด มีสตรีมุสลิมที่ได้รับการช่วยคลอดด้วยเครื่องดูดสุญญากาศจำนวน 1 คน (ร้อยละ 2) ไม่มีสตรีมุสลิมที่ได้รับการช่วยคลอดด้วยคีม และสตรีมุสลิมที่ไม่ให้ข้อมูลจำนวน 2 คน (ร้อยละ 4) สตรีมุสลิมส่วนใหญ่ไม่มีภาวะแทรกซ้อนระหว่างการคลอดจำนวน 45 คน (ร้อยละ 90) มีเพียง 4 คน (ร้อยละ 8) ที่ระบุว่ามีภาวะแทรกซ้อนขณะคลอด ได้แก่ ความดันโลหิตสูงขณะคลอด ช็อค เป็นต้น ไม่ให้ข้อมูลจำนวน 1 คน (ร้อยละ 2)



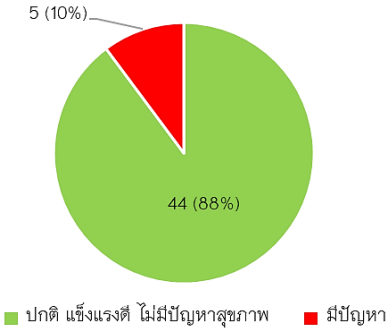


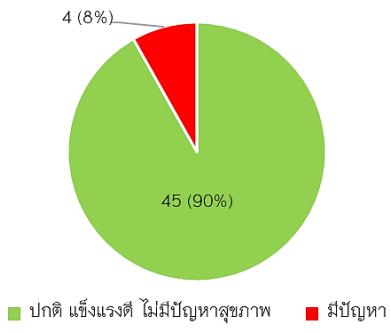
แผนภูมิที่ 21 แสดงการปฏิบัติตามวิถี/พิธีกรรมของมุสลิมขณะคลอด

แผนภูมิที่ 22 แสดงสุขภาพของทารกแรกเกิด

ระหว่างการคลอดสตรีมุสลิมปฏิบัติตามวิถี/พิธีกรรมของมุสลิมขณะคลอดโดยกล่าวนามพระอัลลอฮ์ จำนวน 29 คน (ร้อยละ 58) ละหมาดจำนวน 8 คน (ร้อยละ 16 ละหมาดและกล่าวนามพระอัลลอฮ์จำนวน 7 คน (ร้อยละ 14) ไม่ให้ข้อมูลจำนวน 1 คน (ร้อยละ 2) จากการสัมภาษณ์ได้ข้อมูลว่าขณะรอคลอดสตรีมุสลิมบางคนอ่านอัลกุรอาน ดุอา อาซาน และซอลาวาตนบี โดยเชื่อว่า “การขอพรจากพระเจ้าจะทำให้คลอดง่าย” สุขภาพของทารกแรกเกิดส่วนใหญ่แข็งแรงดีจำนวน 40 คน (ร้อยละ 80) ทารกแรกเกิดมีภาวะแทรกซ้อนจำนวน 9 คน (ร้อยละ 18) จากการสัมภาษณ์ได้ข้อมูลว่าทารกแรกเกิดที่มีปัญหาดังนี้ “คลอดก่อนกำหนด น้ำหนักน้อย ต้องนอนตู้อบเป็นเดือน” “น้องคลอดก่อนกำหนด มีติดเชื้อที่ปอด” “คลอดก่อนกำหนด หายใจเร็ว ปอดไม่แข็งแรง ตัวเหลือง” “น้องมีตาซ้ายขาวขุ่นแต่กำเนิด” สตรีมุสลิมไม่ให้ข้อมูลจำนวน 1 คน (ร้อยละ 2)

ผลการวิเคราะห์ประสบการณ์หลังคลอด ภาวะสุขภาพหลังคลอดของสตรีมุสลิมและทารก นำเสนอด้วยแผนภูมิที่ 23–29 และตารางที่ 3 ดังนี้

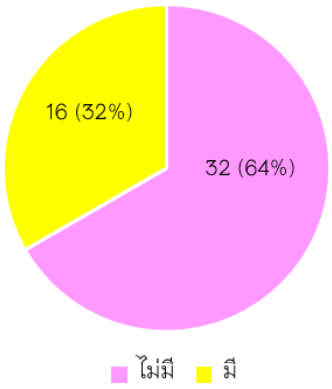




แผนภูมิที่ 23 ภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิมหลังคลอด

แผนภูมิที่ 24 ภาวะสุขภาพของทารกหลังคลอด

ภาวะสุขภาพของสตรีมุสลิมหลังคลอด (ทุกการคลอด) ส่วนใหญ่แข็งแรงดี ไม่มีปัญหาสุขภาพจำนวน 44 คน (ร้อยละ 88) มีปัญหาสุขภาพจำนวน 5 คน (ร้อยละ 10) จากการสัมภาษณ์ได้ข้อมูลว่าสตรีบางคนมีปัญหาสุขภาพดังนี้ “แผลผ่าตัดคลอดอักเสบ” “มีภาวะโลหิตจาง” “เกิดแพนิควิตกกังวลง่ายหลังคลอด” “มดลูกหย่อน” ส่วนภาวะสุขภาพของทารกหลังคลอด ส่วนใหญ่ปกติ แข็งแรงดี ไม่มีปัญหาสุขภาพจำนวน 45 คน (ร้อยละ 90) มีปัญหาสุขภาพจำนวน 4 คน (ร้อยละ 8)



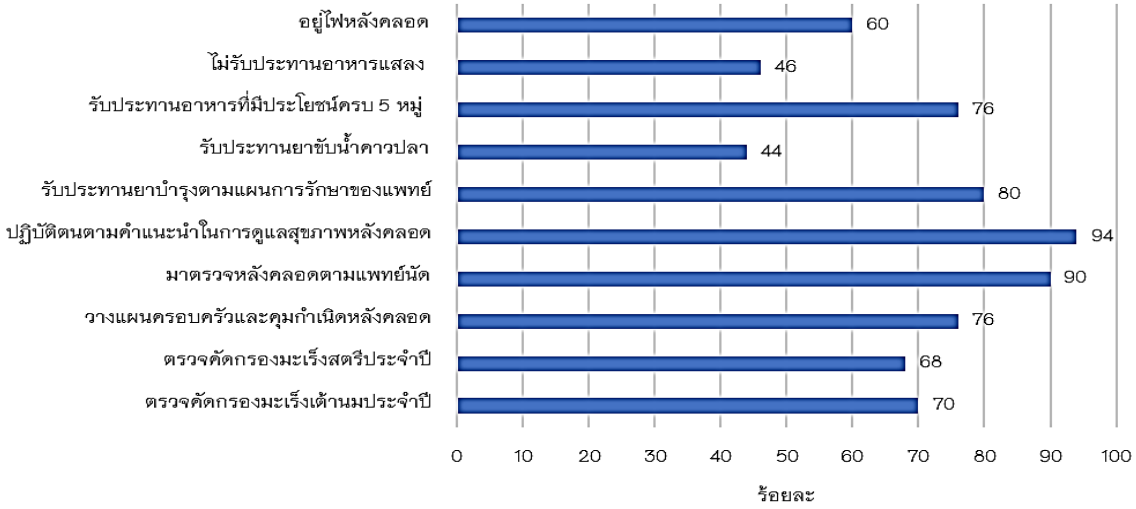
แผนภูมิที่ 25 แสดงปัญหาการเลี้ยงลูกด้วยนมแม่

ตารางที่ 3 ระยะเวลาที่เลี้ยงบุตรด้วยนมแม่ (n=50)

	ระยะเวลาที่เลี้ยงบุตรด้วยนมแม่ (เดือน)
Min.	1.00
Max.	48.00
Median	7.00
Mode	6.00
$\bar{x}$	12.74
SD.	12.04

ไม่ให้ข้อมูลจำนวน 4 คน

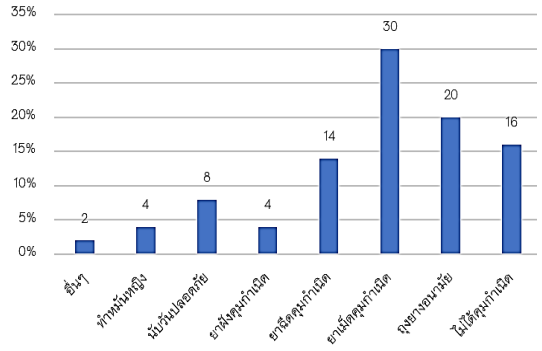
หลังคลอดสตรีมุสลิมไม่มีปัญหาในการเลี้ยงลูกด้วยนมแม่จำนวน 32 คน (ร้อยละ 64) มีปัญหาในการเลี้ยงลูกด้วยนมแม่จำนวน 16 คน (ร้อยละ 32) จากการสัมภาษณ์ได้ข้อมูลว่า “มีปัญหาน้ำนมไม่ไหล” “น้ำนมไหลน้อย” “ไม่มีน้ำนม” “เลี้ยงลูกด้วยยมแม่ทำให้ไปไหนไม่ได้” ส่วนระยะเวลาในการเลี้ยงบุตรด้วยนมแม่เฉลี่ย 12.74 เดือน เลี้ยงลูกด้วยนมแม่ระยะเวลาน้อยที่สุด 1 เดือน มีผู้ไม่ให้ข้อมูลจำนวน 4 คน



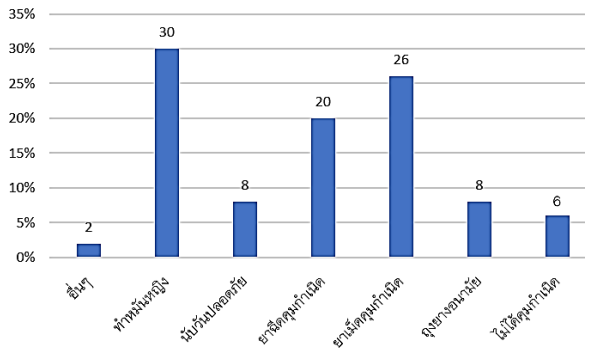
แผนภูมิที่ 26 การปฏิบัติตนในการดูแลสุขภาพภายหลังคลอด

สตรีมุสลิมมีการปฏิบัติตนในการดูแลสุขภาพภายหลังคลอดโดย ส่วนใหญ่ปฏิบัติตนตามคำแนะนำในการดูแลสุขภาพหลังคลอดร้อยละ 94 รองลงมาคือ มาตรวจหลังคลอดตามแพทย์นัดร้อยละ 90 รับประทานยาบำรุงตามแผนการรักษาของแพทย์ร้อยละ 80 รับประทานอาหารที่มีประโยชน์ครบ 5 หมู่และวางแผนครอบครัวและคุมกำเนิดหลังคลอดร้อยละ 76 ตรวจคัดกรองมะเร็งเต้านมประจำปีร้อยละ 70 ตรวจคัดกรองมะเร็งสตรีประจำปีร้อยละ 68 อยู่ไฟหลังคลอดร้อยละ 60 ไม่รับประทานอาหารแสลงร้อยละ 46 และรับประทานยาขับน้ำคาวปลาร้อยละ 44 จากการสัมภาษณ์ได้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสมผิดบาปตามหลักศาสนาอิสลาม สตรีมุสลิมจะไม่ดื่มยาดองเหล้าแต่ดื่มเครื่องดื่มสมุนไพร สตรีส่วนใหญ่เน้นการปฏิบัติตนตามแผนการรักษาของแพทย์ มีการอยู่ไฟซึ่งจะมีหมอนวดในชุมชนมานวดรีดขับน้ำคาวปลา การอบตัวอยู่ในกระโจม มีความเชื่อเรื่องการอยู่ไฟโดยเชื่อว่าถ้าไม่ทำจะส่งผลให้หนาวง่าย หนาวเข้ากระดูก มีความเชื่อเรื่องอาหารเพิ่มน้ำนม ได้แก่ การรับประทานแกงเลียง พริกไทย เป็นต้น มีความเชื่อเรื่องอาหารแสลงโดยห้ามรับประทานของหมักดองของทอด

ข้าวผัดกุ้ง ขนมจีน ถั่วงอก เป็นต้น หลังคลอดถ้ามีเลือดและน้ำคาวปลาห้ามทำละหมาด หลังคลอดครบ 40 วัน น้ำคาวปลาหมดแล้วต้องอาบน้ำให้สะอาดแล้วจึงทำละหมาดได้ตามปกติ

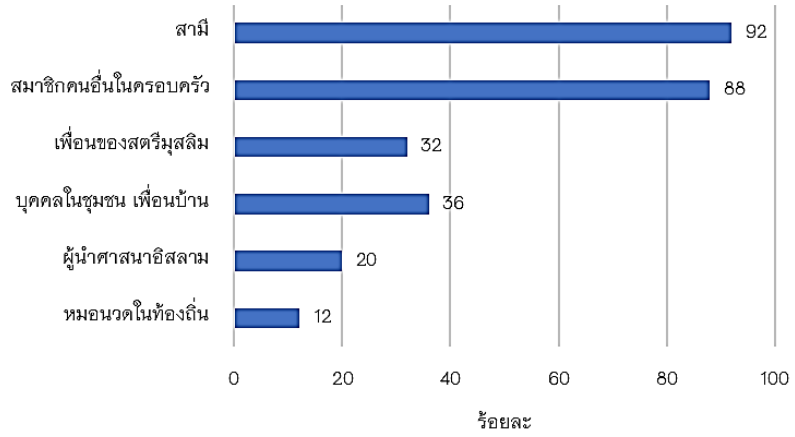


แผนภูมิที่ 27 วิธีการคุมกำเนิดภายหลังคลอดหรือหลังการแท้งบุตร



แผนภูมิที่ 28 วิธีการคุมกำเนิดเมื่อมีบุตรเพียงพอแล้ว

สตรีมุสลิมส่วนใหญ่เลือกวิธีการคุมกำเนิดภายหลังคลอดหรือหลังการแท้งบุตรโดยรับประทานยาเม็ดคุมกำเนิดร้อยละ 30 รองลงมาคือ ถุงยางอนามัยร้อยละ 20 ไม่ได้คุมกำเนิดร้อยละ 16 ยาฉีดคุมกำเนิดร้อยละ 14 นับวันปลอดภัยร้อยละ 8 ทำหมันหญิงและยาฝังคุมกำเนิดร้อยละ 4 วิธีอื่นๆ ได้แก่ การหลั่งภายนอก ร้อยละ 2 จากการสัมภาษณ์ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการฉีดยาคุมกำเนิดว่า “เป็นวิธีที่สะดวก” “กันลืมในการกินยาทุกวัน” “ฉีดยาเพราะร่างกายต้องการพักบ้าง” “น้ำหนักมากจึงเลือกการฉีดยา” “เลือกฉีดยาเพราะสะดวก ใกล้บ้าน” “เว้นระยะเพราะผ่าท้องคลอด” สตรีมุสลิมที่เลือกการรับประทานยาเม็ดคุมกำเนิดให้ข้อมูลว่า “หาซื้อง่าย” “เมื่อต้องการมีบุตรสามารถเลิกทานได้” “เลือกยี่ห้อและขนาดของฮอร์โมนได้” “ไม่มีผลข้างเคียง” “เว้นระยะห่างตามคำแนะนำของแพทย์” “อายุมากแล้ว” “ฉีดยาทำให้น้ำหนักขึ้นเยอะ” สตรีมุสลิมที่เลือกการฝังยาคุมกำเนิดให้ข้อมูลว่า “การฝังยาปลอดภัย” “รู้สึกว่าสะดวกกว่า” สตรีมุสลิมที่เลือกการใช้ถุงยางอนามัยให้ข้อมูลว่า “สะดวกและง่าย” “คุมวิธีอื่นมีผลกระทบหลายอย่าง” สตรีมุสลิมที่เลือกการใช้ถุงยางอนามัย การนับวันปลอดภัย และการหลั่งข้างนอกให้ข้อมูลว่า “ทานยาคุมแล้วเวียนศีรษะ ฉีดยาคุมแล้วประจำเดือนไม่มี” “สะดวก ไม่มีผลต่อร่างกายฝ่ายหญิง” เมื่อมีบุตรเพียงพอแล้ว สตรีมุสลิมส่วนใหญ่เลือกวิธีการคุมกำเนิดทำหมันหญิงร้อยละ 30 รองลงมาคือ ยาเม็ดคุมกำเนิดร้อยละ 26 ยาฉีดคุมกำเนิดร้อยละ 20 ถุงยางอนามัยและนับวันปลอดภัยร้อยละ 8 และไม่คุมกำเนิดร้อยละ 2 จากการสัมภาษณ์ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการทำหมันหญิงดังนี้ “เป็นวิธีที่ดีที่สุด” “ครรภ์เป็นพิษ ถ้าตั้งครรภ์อีกเสี่ยงต่อแม่และลูก” “เพียงพอแล้ว” “ไม่อยากมี” “มีโรคประจำตัว” “ตามคำแนะนำของแพทย์ เพราะมีภาวะโลหิตจาง” “มีบุตรเยอะ สุขภาพไม่แข็งแรง” ส่วนสตรีที่เลือกการคุมกำเนิดชั่วคราวให้ข้อมูลว่า “การทำหมันเป็นบาป” และสตรีที่ไม่คุมกำเนิดให้ข้อมูลว่า “เด็กเป็นของขวัญจากพระเจ้า ถ้าไม่มีปัญหาสุขภาพต้องมีไปเรื่อย ๆ เพราะพระเจ้าประทานให้ แต่ถ้ามีปัญหาสุขภาพแล้วแพทย์แนะนำให้ทำหมัน สามารถทำได้ไม่บาป แต่ถ้าทำหมันเพราะเหตุผลทางเศรษฐกิจ บาป”



แผนภูมิที่ 29 แสดงการปฏิบัติการมีส่วนร่วมดูแลสตรีมุสลิมและทารกภายหลังคลอด

การมีส่วนร่วมดูแลสตรีมุสลิมและทารกภายหลังคลอดโดย สตรีมุสลิมส่วนใหญ่ได้รับการสนับสนุนจากสามีร้อยละ 92 รองลงมาคือ สมาชิกคนอื่นในครอบครัวร้อยละ 88 บุคคลในชุมชนและเพื่อนบ้านร้อยละ 36 เพื่อนของสตรีมุสลิมร้อยละ 32 ผู้นำศาสนาอิสลามร้อยละ 20 และหมอนวดในท้องถิ่นร้อยละ 13

อภิปรายและสรุปผล

ผลวิจัยพบว่าส่วนใหญ่สตรีมุสลิมมีดัชนีมวลกายเกินเกณฑ์ อาจเป็นเพราะชาวไทยมุสลิมนิยมรับประทานอาหารจำพวกแป้ง น้ำตาล กะทิ อาหารที่มีรสเค็ม และมีการออกกำลังกายน้อย [10] สามีเป็นบุคคลรอบข้างที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ของภรรยา [11] สอดคล้องกับผลการวิจัยที่พบว่าสตรีมุสลิมส่วนใหญ่วางแผนครอบครัวร่วมกับสามี และสามีเป็นบุคคลที่มีส่วนร่วมดูแลสตรีมุสลิมและทารกมากที่สุดตั้งแต่ตั้งครรภ์ถึงหลังคลอด เมื่อตั้งครรภ์สตรีมุสลิมส่วนใหญ่ฝากครรภ์ก่อนอายุครรภ์ 12 สัปดาห์ ฝากครรภ์ตามนัด ดูแลสุขภาพตามแผนการรักษา และมีน้ำหนักขึ้นตามเกณฑ์ จากหลักศาสนาที่ต้องสร้างเสริมสุขภาพทารกเพราะลูกเป็นสิ่งมีค่าที่อัลลอฮ์ประทานมาให้ และในระยะคลอดสตรีมุสลิมจะกล่าวนามพระอัลลอฮ์ [12] ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ได้ส่วนการคุมกำเนิดเมื่อยังไม่พร้อม สตรีมุสลิมส่วนใหญ่เลือกการคุมกำเนิดชั่วคราว เมื่อมีบุตรเพียงพอส่วนใหญ่เลือกการทำหมันหญิง จากเหตุผล “ปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์ถ้าตั้งครรภ์อีกเสี่ยงต่อแม่และลูก” สอดคล้องกับผลการประชุมสภาการวิจัยทางอิสลามครั้งที่ 2 ซึ่งมีมติว่า ในกรณีที่บุคคลมีความจำเป็นต้องวางแผนครอบครัวเพื่อกำหนดเวลาเว้นช่วงระยะการมีบุตร อนุญาตให้สามีและภรรยาเว้นระยะการมีบุตรได้ตามความจำเป็นของแต่ละครอบครัว เพื่อรักษาสุขภาพและชีวิตของมารดา ควรเลือกวิธีที่มีผลข้างเคียงน้อย และไม่ขัดต่อหลักศาสนาอิสลาม การปฏิบัติของบุคคลขึ้นอยู่กับพื้นฐานของจิตสำนึกและความมีศาสนาของบุคคลนั้นๆ [12] หลังคลอดสตรีมุสลิมส่วนใหญ่เลี้ยงลูกด้วยนมแม่ สอดคล้องตามอัลกรุอานซึ่งกล่าวว่าการให้นมแก่บุตรเป็นหน้าที่และความรับผิดชอบร่วมกันระหว่างบิดาและมารดา [12] สตรีมุสลิมส่วนใหญ่มีการดูแลสุขภาพหลังคลอดตามคำแนะนำและมีการอยู่ไฟ จากการปฏิบัติตามประเพณีที่ต้องอยู่ไฟนาน 7–40 วัน ห้ามฝ่าฝืนเพื่อขับของเสียและทำให้ร่างกายอบอุ่น [12] อย่างไรก็ตามผลการวิจัยพบว่าสตรีมุสลิมส่วนใหญ่ไม่เคยรับคำปรึกษาก่อนตั้งครรภ์ ปัญหาที่พบขณะตั้งครรภ์ได้แก่ ท้องลมครรภ์เป็นพิษ โลหิตจาง เป็นต้น ปัญหาที่พบขณะคลอดได้แก่ คลอดก่อนกำหนด น้ำคร่ำน้อย ทารกท่าผิดปกติ เป็นต้น และหลังคลอดยังพบสตรีมุสิลมที่มีปัญหาน้ำนมไหลน้อย ผลการวิจัยที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อนักวิชาการที่สนใจศึกษาการดูแลสุขภาพและการปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ของสตรีมุสลิม และเป็นประโยชน์ต่อเจ้าหน้าที่สาธารณสุขที่ดูแลสุขภาพและงานอนามัยเจริญพันธุ์สตรีมุสลิม ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไปควรพัฒนา

โปรแกรมการดูแลสุขภาพและส่งเสริมการปฏิบัติพฤติกรรมการเจริญพันธุ์ในบริบทที่เหมาะสมกับวัฒนธรรมและวิถีชีวิตของสตรีมุสลิมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผู้สนับสนุนงบประมาณสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ปีงบประมาณ 2566 ตลอดจนอาสาสมัครผู้ให้ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization (WHO) [Internet]. Accessed 2015. Available from: https://www.who.int/teams/
2. sexual-and-reproductive-health-and-research-(srh)/overview.
3. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) [Internet]. Accessed 2023. Available from: https://www.cdc.gov/preconception/index.html.
4. อ้อมใจ วงษ์มณฑา. [อินเตอร์เน็ต]. หลักคำสอนในคัมภีร์อัลกุรอานที่สอดคล้องกับภูมิปัญญาพื้นบ้านในการดูแลสุขภาพอนามัย แม่และเด็กของชาวไทยมุสลิม ในจังหวัดปัตตานี. RUSAMILAE JOURNAL. 2560; 38(2): 95-99. สืบค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2566. ได้จาก: https://so05.tci-thaijo.org/index.php/rusamelae/article/view/95424
5. ระพีพร แพทย์จะเกร็ง. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะโลหิตจางในระยะตั้งครรภ์ของสตรีมุสลิมที่มารับบริการคลอดในโรงพยาบาลชุมชน จังหวัดปัตตานี. วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางสุขภาพ. 2565; 5(1): 10-21.
6. สารินี สาวัน. อิทธิพลของปัจจัยคัดสรรต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของมารดาหลังคลอดชาวไทยมุสลิม. [วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต (การผดุงครรภ์) บัณฑิตวิทยาลัย]. กรุงเทพมหานคร; มหาวิทยาลัยมหิดล; 2559.
7. พึงพิศ ชัยภักดี. ความแตกต่างของภาวะเจริญพันธุ์ของสตรีไทยพุทธและมุสลิมในภาคใต้ของประเทศไทย. [วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต (วิจัยประชากรและสังคม) บัณฑิตวิทยาลัย]. กรุงเทพมหานคร; มหาวิทยาลัยมหิดล; 2558.
8. ซูไวบะห์ โต๊ะตาหยง. อัตลักษณ์ และการรักษาอัตลักษณ์ของคนไทยเชื้อสายมลายูที่ย้ายถิ่นมาตั้งถิ่นฐานในกรุงเทพมหานคร : กรณีศึกษา ชุมชนมุสลิม เสรีไทยซอย 4. [วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต (การบริหารการพัฒนาสังคม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดลอม]. กรุงเทพมหานคร; สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์; 2561.
9. ไชยแสง กิระชัยวนิช. [อินเตอร์เน็ต]. 2552. ตำนานแผ่นดิน-มัสยิดท่าอิฐ จ.นนทบุรี. สืบค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2566. ได้จาก: https://www.sanook.com/news/315141/.
10. วีรวรรณ สาคร. [อินเตอร์เน็ต]. 2566. วิถีชุมชนเกาะเกร็ด. สืบค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2566. ได้จาก: https://wikicommunity.sac.or.th/community/358.
11. พัชรี รัศมีแจ่ม, ปริศนา อัครธนพล, พรทิพย์ ลิ้มธีระยศ และ กมลทิพย์ ขลังธรรมเนียม. ปัจจัยทำนายพฤติกรรมส่งเสริมสุขภาพของชาวไทยมุสลิมที่มีภาวะความดันโลหิตสูง. วารสารพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. 2561; 19(37): 56-68.

12. Hayat H, Khan PS, Imtiyaz B, Hayat G, Hayat R. Knowledge, attitude and practice of contraception in rural kashmir. J Obstet Gynaecol India. 2013; 63(6): 410–414.
13. ศศินาภรณ์ โลหิตไทย และอนงค์ ภิบาล. การถ่ายทอดเทคโนโลยีการส่งเสริมสุขภาพมารดาทารกในวิถีมุสลิมในสามจังหวัดชายแดนใต้เพื่อสร้างความเข้มแข็งของชุมชน. ใน : โครงการจัดการความรู้เพื่อการใช้ประโยชน์ด้านความมั่นคง ภายในโครงการจัดการความรู้การวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ ประจำปี 2562.

ผลของปริมาณแป้งข้าวเจ้าดัดแปรด้วยกระบวนการออกซิเดชันในการเป็นสารช่วยในตำรับยาเม็ดลอราทาดีนที่แตกตัวในช่องปาก

The effect of modified rice starch by using oxidation method as an excipient in Loratadine orally disintegrating tablets

นพดล จงเจิดศักดิ์[1*], วิริยาพร ศิริกุล[1], ชุติมา ลิ้มมัทวาภิรัติ์[2] และ สนทยา ลิ้มมัทวาภิรัติ์[2]

Noppadol Chongcherdsak[1*], Wiriyaporn Sirikun[1], Chutima Limmatvapirat[2] and Sontaya Limmatvapirat[2]

บทคัดย่อ

แป้งข้าวเจ้า (*Oryza sativa*) เป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย ในทางอุตสาหกรรมยามีการนำแป้งข้าวเจ้าไปใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณและสารช่วยแตกตัวในตำรับยาเม็ด เพื่อเพิ่มศักยภาพในการนำแป้งข้าวเจ้าไปใช้ประโยชน์ให้หลากหลายมากขึ้น จึงมีการดัดแปรแป้งข้าวเจ้าด้วยกระบวนการทั้งทางเคมีและกายภาพให้มีคุณสมบัติที่จำเพาะมากขึ้น ในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำแป้งข้าวเจ้าดัดแปรที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชัน มาใช้เป็นสารช่วยในตำรับยาเม็ดที่แตกตัวได้อย่างรวดเร็วในช่องปาก โดยศึกษาผลของปริมาณแป้งข้าวเจ้าออกซิไดส์ (Oxidized Rice Starch, ORS) ในปริมาณร้อยละ 0–50 โดยน้ำหนัก ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของยาเม็ดที่แตกตัวในช่องปาก ได้แก่ น้ำหนักเฉลี่ย ความหนา เส้นผ่านศูนย์กลาง ความแข็ง ความกร่อน ความสามารถในการดูดซับน้ำ ระยะเวลาที่ทำให้ยาเม็ดเปียก ความสามารในการแผ่กระจายตัว และการแตกตัวของยาเม็ด โดยใช้ลอราทาดีนเป็นยาต้นแบบ ยาเม็ดจะถูกตอกอัดด้วยวิธีตอกตรง (direct compression) ในการศึกษาจะควบคุมน้ำหนักและความแข็งยาเม็ดให้อยู่ในช่วง 100±5 มิลลิกรัม และ 4±0.5 กิโลกรัมต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักและความแข็งของยาเม็ดทุกสูตรตำรับอยู่ในช่วงที่กำหนด ความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทุกสูตรตำรับมีค่าอยู่ระหว่าง 2.35±0.12 และ 6.36±0.01 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าความกร่อนของยาเม็ดมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1 ในทุกสูตรตำรับ ความสามารถในการดูดซับน้ำของยาเม็ดจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของแป้งข้าวเจ้าออกซิไดส์ในสูตรตำรับ กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเจ้าออกซิไดส์ในตำรับมากขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของยาเม็ดเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการดูดซับน้ำสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 10.74 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ปริมาณของแป้งข้าวเจ้าออกซิไดส์ในตำรับที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาที่ทำให้ยาเม็ดเปียก การแผ่กระจายตัวและการแตกตัวลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้แป้งข้าวเจ้าออกซิไดส์สามารถพองตัวได้ดี โดยสูตรตำรับที่มีปริมาณของแป้งข้าวเจ้าออกซิไดส์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ยาเม็ดจะใช้เวลาในการแตกตัวน้อยกว่า 60 วินาที ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ของเภสัชตำรับอเมริกา (USP 43– NF38)

คำสำคัญ: แป้งข้าวเจ้า, ออกซิเดชัน, ยาเม็ดแตกตัวในช่องปากและลอราทาดีน

---

[1] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร 10160

[2] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000

[1] Faculty of Pharmacy, Siam University, Bangkok, 10160

[2] Faculty of Pharmacy, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000

* Corresponding author: Noppadol.cho@siam.edu

Abstract

Rice starch (*Oryza sativa*) is an important harvest product of Thailand. In the Pharmaceutical industry, rice starch is used as a diluents and disintegrating agent in the tablets. To enhance the value of rice starch, it had been modified both chemically and physically techniques for requiring the specified property. Therefore, the objective of this study was to use modify rice starch by oxidation method as an excipient in the orally disintegrating tablets (ODTs). The effect of the amount of oxidized rice starch (ORS) in the range of 0–50 %w/w was evaluated. The physical properties of ODTs including weight variation, thickness, diameter, hardness, friability, water absorption ratio, wetting time, dispersion and disintegration time were evaluated. Loratadine was used as a model drug. All formulations were compressed with direct compression method. The weight and hardness of tablets were controlled in the limit range of 100±5 mg and 4±0.5 kg/inch^2, respectively. The results revealed that the weight and the hardness were controlled within the required range. The average thickness and diameter of all tablets were 2.35±0.12 and 6.36±0.01 mm, respectively. The friability of all formulations was less than 1%. The water absorption ratio was depended on the amount of ORS. As increasing the amount of ORS, the water absorption ratio had a tendency to increase. The maximum water absorption ratio was 10.74% w/w. In case of wetting time, dispersion time and disintegration, as increasing the amount of ORS, the tablets were completely wet and dispersed in a short period. This might be the effect of ORS could absorb and swell in the water. The disintegration of tablet containing 50% w/w of ORS was less than 60 seconds which complied with the USP 43– NF38 standard

Keywords: Rice starch, Oxidation, Orally disintegrating tablets and Loratadine

บทนำ

จากสถานการณ์ปัญหามลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร (PM 2.5) ประกอบกับการระบาดของโรคติดเชื้อทางเดินหายใจโควิด 19 ทำให้มีจำนวนผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น [1,2] ซึ่งแนวทางการรักษาส่วนใหญ่จะรักษาอาการแบบประคับประคอง โดยยาที่มีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นจะเป็นยาในกลุ่มต้านฮีสตามีน (Antihistamine) ซึ่งช่วยบรรเทาอาการคัน แพ้ และลดน้ำมูกที่เกิดจากสาเหตุดังกล่าว โดยรูปแบบของยาต้านฮีสตามีนที่มีจำหน่ายโดยส่วนมากจะอยู่ในรูปแบบยาเม็ด ซึ่งมีความสะดวกในการบริหารยา แต่ก็จะพบปัญหาในการใช้ยาเม็ดกับกลุ่มผู้ป่วยบางประเภทที่ไม่สามารถรับประทานยาเม็ดได้ เช่น ผู้ป่วยหมดสติ ผู้ป่วยที่มีปัญหาทางการกลืน ผู้ป่วยเด็ก เป็นต้น เพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการใช้ยาของผู้ป่วยให้ครอบคลุมทุกกลุ่มประชาการจึงได้มีการพัฒนารูปแบบยาเม็ดให้สามารถแตกตัวในช่องปากได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมีความสะดวกในการบริหารยามากขึ้น ผู้ป่วยสามารถกลืนได้ง่ายโดยไม่ต้องดื่มน้ำตาม ในเภสัชตำรับได้มีการกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการแตกตัวในช่องปากไว้ไม่ควรเกิน 1 นาที [3] สำหรับการผลิตยาเม็ดรูปแบบแตกตัวเร็วในช่องปากมีกระบวนการผลิตได้หลายวิธี เช่น การตอกอัดยาเม็ดโดยตรง (direct compression) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) การกระจายตัวของของแข็ง (solid dispersion) การพิมพ์ด้วยเทคโนโลยี 3 มิติ (3D printing) เป็นต้น โดยวิธีที่สามารถทำได้ง่ายและนิยมใช้คือการตอกอัดยาเม็ดโดยตรง [4,5]

ในการตั้งตำรับยาเม็ดที่แตกตัวเร็วในช่องปาก การคัดเลือกส่วนประกอบในตำรับเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยสารในตำรับควรมีค่าการละลายน้ำที่ดี รสชาติดี มีความหวาน สามารถกระจายตัวหรือแตกตัวได้ง่าย มีความปลอดภัยในการรับประทาน [6] ซึ่งแป้งข้าวเจ้า (rice starch) มีคุณสมบัติที่พึงประสงค์หลายประการใน

การนำมาเป็นสารช่วยในตำรับยาเม็ดรูปแบบแตกตัวเร็วในช่องปาก แต่การนำแป้งข้าวเจ้ามาใช้ก็ยังคงมีข้อจำกัดบางประการโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติด้านการละลายน้ำที่ทำให้ยาเม็ดที่แตกตัวเร็วในช่องปากไม่ผ่านเกณฑ์ตามที่เภสัชตำรับกำหนด เพื่อเพิ่มมูลค่าของแป้งข้าวเจ้าให้สูงขึ้นจึงได้มีการดัดแปรแป้งด้วยวิธีการทั้งทางเคมีและกายภาพเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่พึงประสงค์ต่อการนำไปใช้งาน โดยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการดัดแปรด้วยกระบวนการออกซิเดชันสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของแป้งให้มีความมีขั้วมากขึ้น ทำให้มีความชอบต่อน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลดีต่อความสามารถในการละลายน้ำที่ตามมาด้วย [7,8] และนอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่แสดงให้ถึงการดัดแปรแป้งด้วยกระบวนการต่าง ๆ สามาถช่วยเพิ่มความคงตัวของแป้งได้ดีขึ้นด้วย โดยพบว่าแป้งดัดแปรสามารถทนต่อกรด ความร้อนและแรงที่มากระทำได้ดีกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร [15–16] ดังนั้นการนำแป้งดัดแปรมาใช้ในตำรับยาน่าจะส่งผลต่อความคงตัวที่ดีของตำรับยา

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ที่จะตั้งสูตรตำรับยาเม็ดที่แตกตัวเร็วในช่องปาก (Orally disintegrating tablets, ODTs) และนำแป้งเข้าเจ้าดัดแปรด้วยกระบวนการออกซิเดชันมาใช้เป็นสารช่วย (excipient) ในตำรับ โดยใช้ยาลอราทาดีนเป็นยาต้นแบบ ทำการผลิตด้วยกระบวนการตอกอัดโดยตรงและทำการประเมินคุณสมบัติของยาเม็ดต่อไป

วิธีการศึกษา

1. การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าด้วยกระบวนการออกซิเดชัน

การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าด้วยกระบวนการออกซิเดชันจะเตรียมขึ้นตามวิธีของ Wing and Peoria (1994) [9] โดยมีวิธีการเตรียมโดยย่อ ดังนี้ นำแป้งข้าวเจ้าปริมาณ 100 กรัมกระจายตัวลงในสารละลายโซเดียมซัลเฟตปริมาตร 300 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นร้อยละ 0.17 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) คนผสมให้เข้ากัน แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ลิตี้ (1 M NaOH) จนสารละลายผสมมีค่าพีเอชเท่ากับ 11 นำสารละลายผสมมาทำปฏิกิริยากับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร โดยการบรรจุสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในบิวเรตแล้วค่อย ๆ หยดสารละลายลงในสารละลายผสมที่มีแป้งข้าวเจ้าเป็นส่วนประกอบ ใช้ระยะเวลาในการหยดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จนหมดรวม 10 ชั่วโมง ในระหว่างที่หยดสารก็จะใช้เครื่องกวนสาร(magnetic stirrer) ร่วมด้วย หลังจากนั้นเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ลิตี้ (1 M HCl) จนสารละลายผสมมีค่าพีเอชเท่ากับ 5.5 แล้วเติมสารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไปในสารละลายผสมแล้วใช้เครื่องกวนสาร กวนผสมอีก 30 นาที หลังจากนั้นนำไปกรองเพื่อเก็บตะกอนของแป้งข้าวเจ้าดัดแปร แล้วนำตะกอนไปอบให้แห้งด้วยเครื่องอบความดันสุญญากาศ (vucuum oven, Vaccucell 55 – EVO LINE, Germany) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. การเตรียมยาเม็ดลอราทาดีนแตกตัวในช่องปาก (Loratadine Orally Disintegrating Tablets)

ยาเม็ดลอราทาดีนแตกตัวในช่องปากจะผลิตด้วยกระบวนการตอกตรงด้วยเครื่องตอกอัดยาเม็ดชนิดสากเดี่ยว (single punch tabletting machine, Model YH–06, Yeo Heng Co. Ltd., Thailand) ส่วนประกอบของยาเม็ดสูตรต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 1 ส่วนประกอบแต่ละชนิดในสูตรตำรับจะถูกลดขนาดและทำการคัดแยกขนาดอนุภาคด้วยแร่งเบอร์ 40 ตัวยาลอราทาดีนและส่วนประกอบอื่น ๆ ยกเว้นทาลคัมและแมกนีเซียมสเตียเรทจะถูกผสมเข้าด้วยกันด้วยวิธีการเจือจางแบบเรขาคณิต (Geometric dilution) ในถังผสมเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติมทาลคัมและแมกนีเซียมสเตียเรทลงในถังผสมและผสมต่ออีก 5 นาที สารผสมจะถูกตอกอัดโดยกำหนดน้ำหนักยาเม็ดเป้าหมายที่ 100 มิลลิกรัม และควบคุมความแข็งยาเม็ดทุกสูตรตำรับให้อยู่ในช่วง 4.0±0.5 กิโลกรัมต่อตารางนิ้ว

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของยาเม็ดสูตรต่างๆ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

Ingredient	F0	F1	F2	F3	F4	F5	Function
Loratadine	10%	10%	10%	10%	10%	10%	API*
ORS**	0%	10%	20%	30%	40%	50%	Disintegrating agent
Avicel® PH102	20%	20%	20%	20%	20%	20%	Disintegrating agent
Citric acid	1%	1%	1%	1%	1%	1%	Saliva stimulating agent
Mannitol	1%	1%	1%	1%	1%	1%	Sweetening agent
Talcum	1%	1%	1%	1%	1%	1%	Gliding agent
Magnesium stearate	1%	1%	1%	1%	1%	1%	Lubricating agent
Dextrose	66%	56%	46%	36%	26%	16%	Sweetening agent /Diluent

Note *The target weight of ODTs was 100 mg/tablet

** Active Pharmaceutical Ingredient

*** Oxidized rice starch

3. การประเมินยาเม็ดลอราทาดีนแตกตัวในช่องปาก

3.1 ความแปรปวนของน้ำหนักยาเม็ด (Weight Variation, WV)

ยาเม็ดแต่ละสูตรจะถูกสุ่มตำรับละ 30 เม็ด แล้วนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลทศนิยมสี่ตำแหน่ง (Digital analytical balance, Sartorius CP 224s, Germany) และบันทึกผลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.2 ความสม่ำเสมอของตัวยาสำคัญ (Content Uniformity, CU)

ยาเม็ดแต่ละสูตรจะถูกสุ่มตำรับละ 10 เม็ด จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณตัวยาสำคัญตามเภสัชตำรับ (USP43–NF38) ยาแต่ละเม็ดจะถูกบดอย่างละเอียดและละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร กรองส่วนประกอบที่ไม่ละลายออก แล้วนำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณตัวยาสำคัญด้วยเครื่องวัดปริมาณการดูดกลืนแสง (spectrophotometer, Lambda 2, Perkin Elmer, USA) ที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร โดยปริมาณตัวยาสำคัญทุกเม็ดจะต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 95 – 105 และมีค่าการยอมรับ (Acceptance Value, AV) ผ่านเกณฑ์ตามเภสัชตำรับ

3.3 ความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางยาเม็ด (Thickness and Diameter)

ยาเม็ดจะถูกวัดด้วยเครื่องหาความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางชนิดดิจิตอล (digital thickness and diameter gauge, Erweka TBH 225 TD, Germany) โดยทำการสุ่มยาเม็ดจำนวน 20 เม็ดในแต่ละสูตรตำรับแล้วทำการวัดบันทึกผลและแสดงค่าออกมาในรูปของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.4 ความแข็งยาเม็ด (Hardness)

ยาเม็ดแต่ละสูตรจะถูกสุ่มตำรับละ 20 เม็ด แล้วนำมาวัดความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งชนิดดิจิตอล (Digital hardness tester, Erweka TBH 225 TD, Germany และบันทึกผลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.5 ความกร่อน (Friability)

ในการทดสอบความกร่อนของยาเม็ด จะทำการสุ่มยาเม็ดสูตรตำรับละ 30 เม็ด ชั่งน้ำหนักรวมของยาเม็ด (W_i) ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลทศนิยมสี่ตำแหน่ง แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความกร่อน (Tablet Friabilator, PTF 30 ERA, Germany) โดยตั้งความเร็วรอบของการหมุนที่ 25 รอบต่อนาที ทดสอบนาน

4 นาที เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบนำยาเม็ดมาปัดด้วยแปรงขนาดเล็กเพื่อไล่ฝุ่นผงที่ติดบนยาเม็ดออก นำยาเม็ดทั้งหมดไปชั่งน้ำหนัก (W_f) แล้วนำไปคำนวณหาร้อยละความกร่อนของยาเม็ดตามสมการที่ 1

$$\% \text{ Friability} = [(W_i - W_f) / W_i] \times 100 \qquad \text{(สมการที่ 1)}$$

โดยเกณฑ์ผ่านมาตรฐานคือทุกสูตรตำรับควรมีค่าความกร่อนของยาเม็ดน้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

3.6 ระยะเวลาที่ทำให้ยาเม็ดเปียกและการทดสอบการดูดซึมน้ำ (Wetting time and Water absorption)

การทดสอบระยะเวลาที่ทำให้ยาเม็ดเปียกและการทดสอบการดูดซึมน้ำจะทดสอบตามวิธีของ Pabari and Ramtoola (2012) [10] โดยมีวิธีการทำอย่างย่อกล่าวคือ นำกระดาษทิชชูพับหลาย ๆ ทบแล้วนำไปวางในจานเพาะเลี้ยง (petri dish) เทสารละลายน้ำกลั่นหรือน้ำลายเทียมที่ทำการย้อมสีด้วยสีแดงปริมาตร 6 มิลลิลิตรลงไปในจานเพาะเลี้ยง นำยาเม็ดที่ชั่งน้ำหนักแล้ว (W_b) วางบนกระดาษทิชชูที่อยู่ในจานเพาะเลี้ยง ทำการบันทึกเวลาที่ทำให้ยาเม็ดเปียกที่ผิวยาเม็ดสมบูรณ์ โดยสังเกตุด้วยสายตาของผู้ทำการทดลอง เวลาที่ได้จะเป็นค่าของระยะเวลาที่ทำให้ยาเม็ดเปียก (Wetting time) หลังจากนั้นนำยาเม็ดออกจากจานเพาะเลี้ยง นำไปชั่งนำหนักยาเม็ด (W_a) คำนวณหาค่าสัดส่วนการดูดซึมน้ำ (Water Absorption Ratio, WAR) ตามสมการที่ 2

$$\% \text{ WAR} = [(W_a - W_b) / W_b] \times 100 \qquad \text{(สมการที่ 2)}$$

3.7 ระยะเวลาแผ่กระจายตัวของยาเม็ด (Dispersion time)

ทำการสุ่มยาเม็ดตำรับละ 3 เม็ด นำไปใส่ในหลอดทดลอง หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงไปในหลอดทดลอง ทำการบันทึกเวลาที่ทำให้ยาเม็ดเกิดการแผ่กระจายตัวในน้ำกลั่น (ยาเม็ดเปื่อยยุ่ย) (6)

3.8 การแตกตัวของยาเม็ด (Disintegration)

การทดสอบการแตกตัวของยาเม็ดจะใช้วิธีการทดสอบที่ระบุไว้ในเภสัชตำรับอเมริกา (USP43 – NF38) กล่าวคือ ทำการสุ่มยาเม็ดตำรับละ 6 เม็ด นำไปใส่ในช่องบรรจุยาเม็ดของเครื่องทดสอบการแตกตัว (Disintegration testing apparatus, Sotax, DT3, Switzerland) โดยด้านล่างของช่องบรรจุยาเม็ดจะมีตะแกรงรองรับอยู่ นำยาเม็ดไปทดสอบการแตกตัวในน้ำกลั่นที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 37±0.5 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกเวลาที่ทำให้ยาเม็ดแตกตัวจนหมด (ไม่มีชิ้นส่วนของยาเม็ดค้างอยู่บนตะแกรง)

3.9 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์และแปรผลข้อมูล

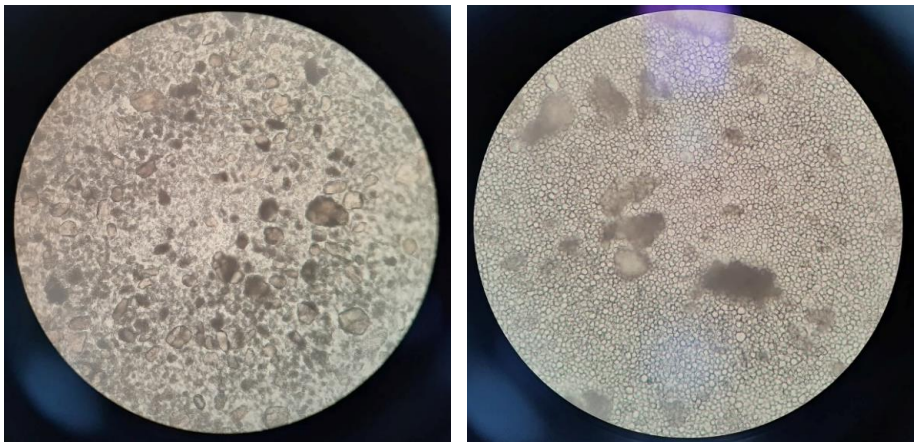
การศึกษานี้จะใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์และแปรผล โดยใช้ค่าสถิติ คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษา

แป้งข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง รวมไปถึงอุตสาหกรรมยา เนื่องจากมีความปลอดภัยในการนำไปใช้ มีราคาไม่แพง และเป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ในการศึกษานี้จะนำแป้งข้าวเจ้ามาดัดแปรด้วยกระบวนการออกซิเดชัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวเจ้าให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในตำรับยาเม็ดที่แตกตัวเร็วในช่องปาก การดัดแปรแป้งด้วย

กระบวนการออกซิเดชัน จะนำแป้งมาทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารที่ช่วยเร่งให้เกิดการออกซิเดชัน เช่น ไนโตรเจนไดออกไซด์ กรดเปอร์คลอริก โซเดียมไฮโปรคลอไรท์ เป็นต้น ซึ่งการศึกษานี้จะเลือกใช้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากผลผลพลอยได้ (by product) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาไม่ก่อให้เกิดอันตรายและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยผลพลอยได้ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาจะอยู่ในรูปของน้ำและก๊าซออกซิเจน (11)

จากการศึกษาภายหลังจากการดัดแปรแป้งข้าวเจ้าด้วยกระบวนการออกซิเดชัน โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยา พบว่าขนาดและรูปร่างของแป้งข้าวเจ้าเมื่อส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม คือแกรนูลแป้งเจ้าจะมีขนาดที่เล็กลง และรูปร่างของแกรนูลแป้งจะมีความกลมมนมากขึ้น เนื่องจากกระบวนการออกซิเดชันจะทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของอนุภาคแป้งเกิดการแยกออก หรือเกิดการหลุดจากโซ่พอลิเมอร์ (Depolymerization) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาดและรูปร่างของแป้ง (12) ดังแสดงในรูปที่ 1 (Figure 1) จากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแกรนูลแป้งที่มีความกลมมนมากขึ้น จึงส่งผลต่อการไหลที่ดีของแป้งข้าวเจ้าภายหลังจากการดัดแปรด้วยกระบวนการออกซิเดชัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของอนุภาค แป้งข้าวเจ้าก่อนการดัดแปรความสามารถในการไหลของอนุภาคจะอยู่ในช่วงที่แย่มาก (very poor) แต่ภายหลังการดัดแปรความสามารถในการไหลจะดีขึ้นอยู่ในระดับปานกลาง (Fair) ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของอนุภาคแสดงไว้ในตารางที่ 2



A **B**

รูปที่ 1 อนุภาคของแกรนูลแป้งภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (A) Rice Starch (RS) (B) Oxidized Rice Starch (ORS) (40x)

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของอนุภาคแป้ง

Sample	Angle of repose (θ)	Compressibility (%)	Hausner's ratio
RS	46.47	32.79	1.49
ORS	33.20	18.33	1.22

Note RS: Rice Starch, ORS: Oxidized Rice Starch

จากความสามารถในการไหลของอนุภาคแป้งที่เพิ่มขึ้นภายหลังการดัดแปรแป้ง คณะผู้วิจัยจึงเลือกการทำยาเม็ดด้วยกระบวนการตอกตรง (Direct compression) ในการผลิตยาเม็ดที่มีขนาดการรักษาที่ต่ำ เภสัชตำรับได้กำหนดให้ต้องมีการทดสอบความสม่ำเสมอของตัวยาสำคัญ (Content Uniformity, CU) ซึ่งในการศึกษานี้เลือกใช้ยาลอราทาดีนเป็นยาต้นแบบ โดยจะมีปริมาณยาลอราทาดีน 10 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นขนาดยาที่ต่ำ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องทำการทดสอบในหัวข้อดังกล่าว เพื่อให้มั่นใจว่ายามีคุณภาพที่เพียงพอต่อการรักษา โดยผลจากการศึกษาพบว่าค่าความสม่ำเสมอของตัวยาสำคัญในทุกสูตรตำรับผ่านเกณฑ์ตามที่เภสัชตำรับอเมริกากำหนดไว้ (ไม่ได้แสดงผลไว้ในบทความนี้)

1. คุณสมบัติทางกายภาพของยาเม็ดลอราทาดีนที่แตกตัวเร็วในช่องปาก

ภายหลังจากการผสมสารทุกสูตรตำรับเข้ากันอย่างดีจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทำการประเมินการไหลของสารผสม (Physical mixture) ก่อนนำไปตอกอัดยาเม็ดพบว่าค่าการไหลและความสามารถในการตอกอัดเป็นยาเม็ดของสารผสมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ภายหลังจากกาตอกอัดยาเม็ดครบทุกสูตรตำรับแล้ว จะทำการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของยาเม็ด ได้แก่ ความแปรปรวนของน้ำหนักยาเม็ด ความหนา เส้นผ่านศูนย์กลาง ความแข็ง และความกร่อน ซึ่งข้อมูลการประเมินแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของยาเม็ดสูตรต่างๆ

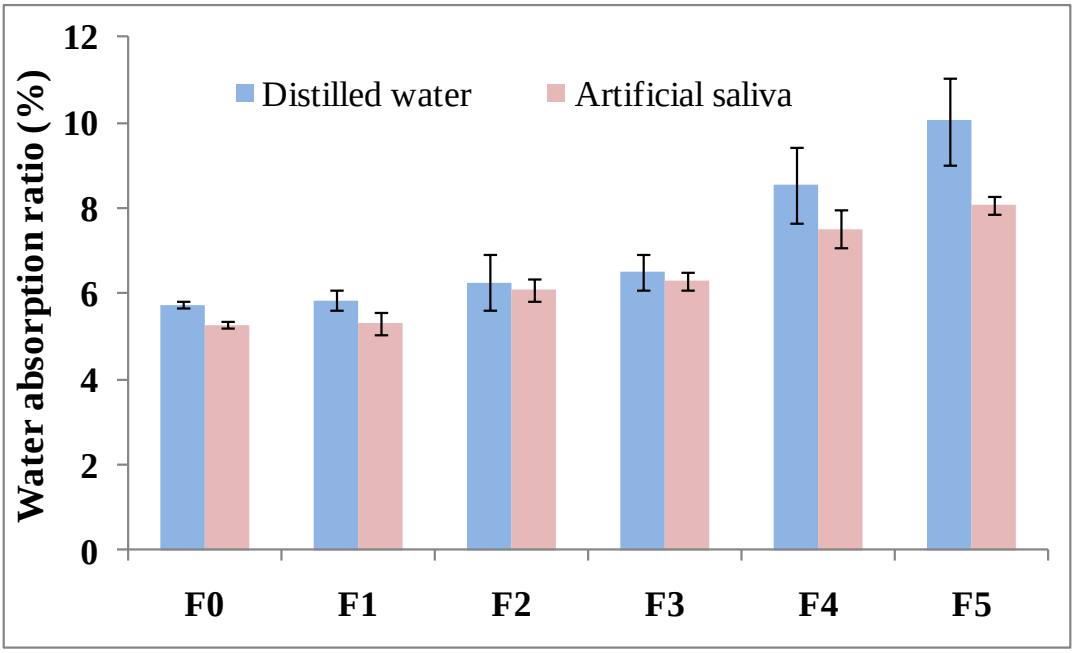
Formulation	WV (mg)	Thickness (mm)	Diameter (mm)	Hardness (kg/inch^2)	Friability (%)
F0	100.98±1.24	2.26±0.05	6.36±0.01	4.55±0.37	0.53
F1	100.36±2.11	2.26±0.04	6.35±0.01	4.25±0.16	0.43
F2	100.17±1.53	2.27±0.02	6.36±0.00	4.35±0.34	0.41
F3	99.79±1.76	2.29±0.02	6.36±0.00	4.20±0.23	0.49
F4	101.57±1.49	2.51±0.02	6.37±0.01	4.36±0.33	0.44
F5	101.80±1.52	2.50±0.03	6.36±0.01	4.56±0.33	0.36

ค่าความแปรปรวนของน้ำหนักยาเม็ทุกสูตรตำรับอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (เกณฑ์การยอมรับอยู่ในช่วง 100±5 มิลลิกรัม) โดยในการศึกษาได้ทำการควบคุมความแข็งของยาเม็ดไว้ที่มากกว่า 4 กิโลกรัมต่อตารางนิ้ว โดยทุกสูตรตำรับสามารถตอกอัดแล้วได้ความแข็งของยาเม็ดมากกว่า 4 กิโลกรัมต่อตารางนิ้ว โดยมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 4.20–4.56 กิโลกรัมต่อตารางนิ้ว แต่ความแข็งของทุกสูตรตำรับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาค่าความกร่อนของยาเม็ดพบว่า ทุกสูตรตำรับให้ค่าความกร่อนที่น้อยกว่าร้อยละ 1 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่เภสัชตำรับได้กำหนดไว้ เมื่อพิจารณาค่าความกร่อนแต่ละสูตรตำรับพบว่า สูตรตำรับที่ไม่มีแป้งข้าวเจ้าดัดแปรเป็นส่วนประกอบ (F0) จะมีค่าความกร่อนที่สูงที่สุดคือ ร้อยละ 0.53 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเจ้าดัดแปรเข้าไป (F1–F5) พบว่า ค่าความกร่อนของยาเม็ดมีแนวโน้มที่จะลดลง จากการศึกษาก่อนหน้านี้มีรายงานว่าแป้งที่ถูกดัดแปรด้วยกระบวนการออกซิเดชัน จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยว (Binding) ที่มากกว่าแป้งที่ไม่ได้ทำการดัดแปร (13,14) ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความกร่อนของยาเม็ดที่ส่วนประกอบของแป้งข้าวเจ้าดัดแปรลดลง จากการที่ยาเม็ดสามารถยึดเกาะกันได้แน่นหนามากขึ้น ในส่วนของความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกสูตรตำรับอยู่ในช่วง 2.26 – 2.50 และ 6.35 – 6.37 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งผลของปริมาณแป้งข้าวเจ้าดัดแปรไม่มีผล

ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของยาเม็ดมากนัก แต่จะมีผลต่อค่าความหนาของยาเม็ด กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณของแป้งข้าวเจ้าดัดแปรในสูตรตำรับยาเม็ดที่เพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาของยาเม็ดมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดการคืนตัวจากการยืด (Elastic recovery) ของแกรนูลแป้งภายหลังจากการตอก ส่งผลให้ความหนาของยาเม็ดเพิ่มขึ้น

2. ความสามารถในการดูดซับน้ำของยาเม็ดลอราทาดีนที่แตกตัวเร็วในช่องปาก

รูปที่ 2 แสดงค่าสัดส่วนการดูดซับน้ำและน้ำลายเทียมของยาเม็ดลอราทาดีน ยาเม็ดทุกสูตรตำรับสามารถดูดซับน้ำ/น้ำลายเทียมอยู่ในช่วงร้อยละ 5–10 โดยน้ำหนัก โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของแป้งข้าวเจ้าดัดแปรในตำรับที่เพิ่มมากขึ้น ยาเม็ดมีแนวโน้มที่จะดูดซับน้ำ/น้ำลายเทียมมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เป็นผลจากการที่แป้งข้าวเจ้าเมื่อถูกออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้โครงสร้างทางเคมีของแป้งข้าวเจ้ามีหมู่ไฮดรอกซิลที่เพิ่มมากขึ้น ช่วยเพิ่มความมีขั้วของแป้งข้าวเจ้าทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำที่ดีขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อยาเม็ดที่ต้องการแตกตัวเร็วในช่องปากที่มีปริมาณน้ำในช่องปากที่จำกัด (7,8)



รูปที่ 2 ค่าสัดส่วนการดูดซับน้ำและน้ำลายเทียมของยาเม็ดลอราทาดีนที่แตกตัวเร็วในช่องปาก

3 ความสามารถในการเปียก การกระจายตัว และการแตกตัวของยาเม็ดเม็ดลอราทาดีนที่แตกตัวเร็วในช่องปาก

ในการตั้งตำรับยาเม็ดที่แตกตัวเร็วในช่องปาก ความสามารถในการแตกตัวถือเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนายาในรูปแบบนี้ โดยผลของระยะเวลาที่ยาเม็ดเปียก กระจายตัวและแตกตัวในน้ำแสดงไว้ในตารางที่ 4 ในตำรับยาเม็ดที่ไม่มีส่วนประกอบของแป้งข้าวเจ้าดัดแปร (F0) ระยะเวลาที่ยาเม็ดเปียก กระจายตัวและแตกตัวจะนานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับอื่น ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวมีแนวโน้มที่ค่อยๆลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของแปรข้าวเจ้าดัดแปร ซึ่งผลดังกล่าวก็จะสอดคล้องกับผลของค่าสัดส่วนการดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อยาเม็ดสามารถดูดซับน้ำได้ดีขึ้น ระยะเวลาที่เปียกก็จะสั้นลง การกระจายตัวและแตกตัวของยาเม็ดก็จะเร็วขึ้นตามลำดับ จากคำนิยามของยาเม็ดที่แตกตัวเร็วในช่องปากตามเภสัชตำรับอเมริกากำหนดไว้ว่ายาเม็ดควรใช้เวลาแตกตัวที่น้อยกว่า 60 วินาที จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์ ดังนั้นสูตรตำรับยาเม็ดที่มีส่วนประกอบของแป้งข้าวเจ้าดัดแปรร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (F5) ถือว่าผ่านเกณฑ์ตามที่เภสัชตำรับอเมริการะบุไว้ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการแตกตัวอยู่ที่ 54 วินาที

โดยประมาณ และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษายาเม็ดลอราทาดีนที่แตกตัวเร็วในช่องปากที่ผลิตด้วยกระบวนการตอกตรงเช่นเดียวกัน (17) ระยะเวลาที่ใช้ในการแตกตัวของการศึกษานี้จะใช้เวลานานกว่าการศึกษาก่อนหน้า แต่การศึกษาก่อนหน้านี้มีการใช้สารช่วยแตกตัวในตำรับหลายชนิดผสมกันจึงทำให้ผลการแตกตัวของยาเม็ดเร็วกว่าด้วยหลายกลไกที่ผสานกัน แต่ถึงอย่างไรการศึกษานี้ก็ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่เภสัชตำรับอเมริกากำหนดไว้

ตารางที่ 4 ระยะเวลาที่ยาเม็ดเปียก กระจายตัวและแตกตัวในน้ำ

Formulation	Wetting Time (sec)	Dispersion Time (sec)	Disintegration Time (sec)
F0	272.33±4.04	41.00±7.07	136.17±19.01
F1	229.33±9.59	19.60±9.91	131.00±13.61
F2	215.33±11.02	14.80±4.02	125.17±10.83
F3	226.33±7.99	15.80±5.54	118.33±13.66
F4	175.33±2.01	14.80±3.42	102.00±15.65
F5	72.33±4.04	12.40±4.83	54.83±3.49

อภิปรายและสรุปผล

การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าด้วยกระบวนการออกซิเดชันสามารถทำได้โดยการใช้สารทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน โดยสารที่มีรายงานการนำมาใช้ ได้แก่ โซเดียม ไฮโปรคลอไรท์ โอโซน รวมไปถึงการใช้สารอื่น ๆ ในการทำปฏิกิริยา การเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับทรัพยากรที่ทางผู้วิจัยมี ซึ่งในการศึกษานี้เลือกใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีการนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์เป็นจำนวนมาก มิตรต่อสิ่งแวดล้อม แป้งข้าวเจ้าที่ถูกดัดแปรด้วยกระบวนการดังกล่าวจะมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปในด้าน รูปร่าง ขนาด ความสามารถในการไหล ความสามารถในการดูดซับน้ำ และการแตกตัว ที่เหมาะสมต่อการนำไปตั้งตำรับยาเม็ดที่แตกตัวเร็วในช่องปากมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าของแป้งข้าวเจ้าให้ใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

เอกสารอ้างอิง

1. Wu JZ, Ge DD, Zhou LF, Hou LY, Zhou Y, Li QY. Effect of particulate matter on allergic respiratorydiseases. Chronic Dis Transl Med. 2018; 4(2): 95–102.
2. Tsatsakis A, Calina D, Falzone L, Petrakis D, Mitrut R, Siokas V, et al. SARS–CoV–2 pathophysiology and its clinical implications: An integrative overview of the pharmacotherapeutic management of COVID–19. Food Chem Toxicol. 2020; 146: 111769
3. The United States Pharmacopeal Convention. USP 43, NF 38: The United States Pharmacopeia. U.S.: USPC ; 2020.

4. Masih A, Kumar A, Singh S, Tiwari A.K. Fast dissolving tablets: A review. Int. J. Curr. Pharm. Res. 2017; 9: 8 –18.
5. Chougule AS, Dikpati A, Trimbake T. Formulation Development Techniques of co-processed Excipients. JAPS. 2012;2: 231-249.
6. Ghourichay M.P, Kiaie S.H, Nokhodchi A, Javadzadeh Y. Formulation and Quality Control of Orally Disintegrating Tablets (ODTs): Recent Advances and Perspectives. Biomed Res. Int. 2021;2: 1-12.
7. Masina N, Choonara Y E, Kumar P, Du Toit L C, Govenders M, Indermun S, et al. A review of the chemical modification techniques of starch. Carbohydr Polym. 2017;10;157:1226-1236.
8. Kushwaha R, Kaur D. Recent techniques used in modification of starches: A review. Bharti Publication; 2018: 1-15.
9. Wing R E, Peoria I. Oxidation of starch by thermochemical processing. Starch/stärke. 1994; 46(11):414-418
10. Pabari R.M, Ramtoola Z. Effect of a disintegration mechanism on wetting, water absorption, and disintegration time of orodispersible tablets. J young Pharm 2012; 4(3): 157-163.
11. Vanier N L, El Halal S L, Dias A R, Zavareze E R, Molecular structure functionality and applications of oxidized starches: A review. Food Chem. 2017; 221:1546-1559.
12. Fortuna T, Juszczak L, Pietrzyk S, Wróbel M. Physicochemical properties of oxidized starches of different origin. Pol. J. Food Nutr. Sci. 2002;52 (2):21–27.
13. Karic N, Grzetic J D, Dolic M B, Kovacevic T. Preparation and properties of hydrogen peroxide oxidized starch for industrial use. Hem. Ind. 2020; 74 (1) 25-36.
14. Zhang Y.R, Wang X.L, Zhao G.M, Wang Y.Z. Preparation and properties of oxidized starch with high degree of oxidation. Carbohydr Polym. 2012; 87 (4):2554-2562.
15. Cao F, Lu S, Wang L, Zheng M, Siew, Quek S Y. Modified porous starch for enhanced properties: synthesis, characterization and applications. Food Chem. 2023; 415: 125765.
16. Compart J, Singh A, Fettke J, Apriyanto A. Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications. Polymers (Basel). 2023; 15(16): 3491.
17. Swamivelmanickam M, Venkatesan P, Sangeetha G. Preparation and evaluation of mouth dissolving tablets of loratadine by direct compression Method. Research J. Pharm. and Tech. 13(6): 2629 – 2633.

การพัฒนาและเปรียบความคงตัวของยาเตรียมเฉพาะคราวซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ที่เตรียมจากเม็ดยาต่างบริษัท

The development and stability comparison of ciprofloxacin hydrochloride extemporaneous which prepared from tablets of different companies

วิริยาพร ศิริกุล[1*] และ ชุติมน หมื่นแก้ว[1]

Wiriyaporn Sirikun[1*] and Chutimon Mheankaew[1]

บทคัดย่อ

ยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ เป็นยาปฏิชีวนะกลุ่มฟลูออโรควิโนโลน ในประเทศไทยไม่มีรูปแบบยาน้ำรับประทาน ดังนั้นการใช้ยาในผู้ป่วยเด็กหรือผู้สูงอายุจึงเตรียมเป็นยาเตรียมเฉพาะคราวรูปแบบยาน้ำแขวนตะกอน ซึ่งมีอายุยาเพียง 7 วัน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนายาเตรียมเฉพาะคราวให้มีความคงตัวสูงขึ้นและเปรียบเทียบความคงตัวของตำรับที่พัฒนา โดยใช้เม็ดยาต้นแบบและเม็ดยาที่ผลิตในประเทศ 3 บริษัท การพัฒนาตำรับเลือกไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส 4000 ร้อยละ 1 (%w/v) เป็นสารแขวนตะกอนและมีสารช่วยอื่นในตำรับ พบว่ามีความคงตัวดีกว่าสูตรตำรับของโรงพยาบาล เมื่อนำมาศึกษาความคงตัวโดยใช้เม็ดยาจากต่างบริษัทที่สภาวะตู้เย็นและสภาวะระยะยาวเป็นเวลา 1 เดือน พบว่า 1) สีและกลิ่นของทุกตำรับไม่เปลี่ยนแปลง 2) ความหนืดของทุกตำรับเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย 3) ปริมาตรการตกตะกอนของทุกตำรับมีแนวโน้มลดลง 4) ค่าความเป็น กรด-ด่าง ของตำรับยาทุกตำรับอยู่ในช่วงที่กำหนด คือ 3.50-4.50 5) ร้อยละของปริมาณตัวยาที่ระบุในฉลากอยู่ในช่วงที่กำหนดคือ ร้อยละ 90.00-110.00 สรุปได้ว่าสูตรตำรับที่พัฒนาได้นั้น มีความคงตัวและเตรียมจากเม็ดยาของต่างบริษัทได้โดยให้ผลเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

คำสำคัญ: ยาซิโพรฟลอกซาซิน, ไฮโดรคลอไรด์, ยาเตรียมเฉพาะคราว, ความคงตัว

[1] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร 10160

[1] Faculty of Pharmacy, Siam University, Bangkok 10160

*Corresponding author: wiriyaporn.sir@siam.edu

Abstract

Ciprofloxacin hydrochloride is a fluoroquinolone antibiotic drug. In Thailand, there has been no oral liquid dosage form. Therefore, Ciprofloxacin hydrochloride extemporaneous preparations have been formulated for pediatric and elderly patients in hospital settings. However, shelf-life of the preparations was only seven days. This study was aimed to increase the extemporaneous preparations' stability and compare the stability of preparation which prepared from tablets of original company and three different local companies. Hydroxypropyl methylcellulose 4000 was selected as the developed formulas were more stable than the formula which used in hospitals. Therefore, the developed formula was selected to study in stability study by preparing from the tablets which manufactured from original company and three different local companies. All preparations were kept under long term and refrigerated conditions for one month. The results showed that 1) the colors and odors of all preparations in each condition did not change throughout the study. 2) The viscosity slightly changed in all conditions. 3) A trend of all preparations' sedimentation volume decreased. 4) The pH values of all preparations were in the ranges of 3.50–4.50. 5) The percentages of labeled amount (%LA) of all preparations were in the ranges 90.00–110.00% throughout the study. It could be concluded that the developed formula could be stabilized and prepared from the tablets which manufactured from different companies, and the results were in the ranges of criteria.

Keywords: Ciprofloxacin hydrochloride, Extemporaneous preparation, Stability

บทนำ

ปัจจุบันโรคติดเชื้อเป็นปัญหาสำคัญในประเทศไทย เนื่องจากพบว่ามีอัตราการเจ็บป่วยและเสียชีวิตจากการติดเชื้อเพิ่มมากขึ้น โรคติดเชื้อที่พบบ่อยในประเทศไทย ได้แก่ โรคติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ โรคติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร และโรคติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะ ซึ่งกลุ่มโรคเหล่านี้เกิดได้จากแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวกและแกรมลบ สำหรับการรักษาโรคติดเชื้อแบคทีเรียมีความจำเป็นต้องใช้ยาปฏิชีวนะ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการรักษา ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการรักษาสูง [1]

ซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ เป็นยาปฏิชีวนะในกลุ่มฟลูออโรควิโนโลน (fluoroquinolone) รุ่นที่ 2 มีข้อบ่งใช้ในการรักษาโรคที่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบ ในประเทศไทยยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ในรูปแบบรับประทานมีจำหน่ายเฉพาะรูปแบบยาเม็ดและแคปซูลเท่านั้น [11,19] จากข้อจำกัดทางด้านรูปแบบยาและขนาดยา ทำให้การใช้ยาในผู้ป่วยเด็กและผู้ป่วยสูงอายุที่ไม่สามารถกลืนยาเม็ดได้สะดวกขาดโอกาสในการใช้ยา ดังนั้นเภสัชกรโรงพยาบาลจึงจำเป็นต้องเตรียมเป็นยาเตรียมเฉพาะคราวรูปแบบยาน้ำแขวนตะกอนแต่พบว่า ตำรับยาเตรียมเฉพาะคราวซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ รูปแบบยาน้ำแขวนตะกอนที่เตรียมในโรงพยาบาลนั้น มีอายุยาเพียงแค่ 7 วัน [2–4] เนื่องจากตัวยามีความไม่คงตัวสามารถเสื่อมสลายได้ด้วยแสง ความร้อน ความชื้น และปฏิกิริยาออกซิเดชัน [6,15] จึงทำให้มีอายุยาที่สั้น

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาสูตรตำรับยาเตรียมเฉพาะคราวซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ รูปแบบยาน้ำแขวนตะกอน เพื่อเพิ่มความคงตัวทั้งทางด้านกายภาพ ทางเคมีกายภาพ และทางเคมีให้ดีขึ้นและเพื่อเปรียบเทียบความคงตัวของตำรับยาเตรียมเฉพาะคราว ซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ ที่เตรียมจากเม็ดยาต่างบริษัท เนื่องจากการเตรียมยาในโรงพยาบาลส่วนใหญ่มักใช้เม็ดยาจากบริษัทต้นแบบ (original) ในการเตรียมซึ่งมีต้นทุนในการผลิตที่สูง

[1, 10] ซึ่งอาจก่อให้เกิดข้อจำกัดกับผู้ป่วยบางกลุ่ม ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้เม็ดยาที่ผลิตในประเทศ (local) จำนวน 3 บริษัท คือ บริษัท A, B และ C ที่มีราคาไม่สูงมาใช้ในการเตรียมตำรับยาเตรียมเฉพาะคราว และทำการเปรียบเทียบความคงตัวกับตำรับยาเตรียมเฉพาะคราวที่เตรียมจากเม็ดยาต้นแบบ โดยทำการศึกษาภายใต้ 2 สภาวะ คือ สภาวะระยะยาว (30±2 °C, 75± 5% RH) และสภาวะตู้เย็น (2–8 °C) [18] เพื่อศึกษาความคงตัวในด้านกายภาพ เคมีกายภาพ และเคมีเป็นระยะเวลา 1 เดือน

วิธีการศึกษา

1. การพัฒนาสูตรตำรับ

การพัฒนาสูตรตำรับยาเตรียมเฉพาะคราวซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ รูปแบบยาน้ำแขวนตะกอน (ดังตารางที่ 1) โดยเลือกใช้ hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) เป็นสารแขวนตะกอน โดยเปรียบเทียบความสามารถในการแขวนตะกอนระหว่าง HPMC E15LV และ HPMC 4000

ขั้นตอนการเตรียม 1) นำ HPMC E15LV หรือ HPMC 4000 มา disperse ในน้ำ approximate volume ทิ้งไว้ข้ามคืน 2) นำเม็ดยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ มาบดให้ละเอียด 3) ใช้ glycerin บดผสมจนเป็น smooth paste 4) เติม HPMC mucilage ลงไปผสม 5) เติม simple syrup NF, Ethylene diamine tetra-acetic acid (EDTA), citric acid และ sodium citrate ผสมสารละลายให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำจนครบและบรรจุใส่ขวดสีชา

เมื่อเลือกสูตรตำรับที่เหมาะสมได้แล้ว จึงทำการเปรียบเทียบความคงตัวของยาน้ำแขวนตะกอนที่เตรียมได้จากเม็ดยาต้นแบบและเม็ดยาที่ผลิตในประเทศจำนวน 3 บริษัท ได้แก่ บริษัท A, B และ C และเปรียบเทียบสูตรตำรับโรงพยาบาลที่เตรียมจากเม็ดยาต้นแบบดังตารางที่ 2

ทำการศึกษาความคงตัวของทุกตำรับ โดยเปรียบเทียบความคงตัวทางด้านกายภาพ เคมีกายภาพ และเคมีที่สภาวะระยะยาว (30±2 °C, 75± 5% RH) และสภาวะตู้เย็น (2–8 °C) [18] เป็นระยะเวลา 1 เดือน ทั้งนี้เนื่องจากตัวยาเสื่อมสลายได้ที่อุณหภูมิ 30°C ขึ้นไป (6,8) จึงไม่ได้ศึกษาความคงตัวที่สภาวะเร่ง (40±2 °C, 75± 5% RH)

2. การประเมินคุณสมบัติของตำรับยาเตรียมเฉพาะคราว

2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ

2.1.1 ประเมินลักษณะภายนอก

ประเมินสูตรตำรับละ 3 ตัวอย่าง (n=3) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของตำรับยาเตรียมเฉพาะคราวที่เก็บใน 2 สภาวะ ทำการประเมินสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 โดยตำรับยาเตรียมเฉพาะคราว ต้องไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี และกลิ่น ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 1 สูตรตำรับยาเตรียมเฉพาะคราวซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์

ส่วนประกอบ	Mater Formula (M.F.)					หน้าที่
	Rx1	Rx2	Rx3	Rx4	Rx5	
ciprofloxacin HCl (เม็ดยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ที่บดละเอียด)	50 mg/mL					active ingredient
HPMC E15LV	2.50%	5.00%		–		suspending agent
HPMC 4000	–		0.50%	0.75%	1.00%	suspending agent
EDTA	1.00%					chelating agent
sodium benzoate	0.50%					preservative
glycerin	5.00%			10.00%		levigating agent
simple syrup NF	40.00%			30.00%		sweetening agent
citric acid	0.14%			0.10%		buffering agent
sodium citrate	0.10%			0.14%		buffering agent
purified water q.s. to	100.00% (pH 3.50–4.50)					vehicle

ตารางที่ 2 สูตรตำรับยาเตรียมเฉพาะคราวซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ รูปแบบยาน้ำแขวนตะกอนที่เตรียมมาจากสูตรตำรับโรงพยาบาล (2, 3)

ส่วนประกอบ	Master formula (M.F.)	หน้าที่ในตำรับ
ciprofloxacin HCl (เม็ดยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ที่บดละเอียด)	50 mg/mL	active ingredient
simple syrup NF q.s. to	100.00 % (pH 3.50–4.50)	vehicle

2.1.2 ประเมินค่าความหนืด

ประเมินสูตรตำรับละ 3 ตัวอย่าง (n=3) นำยาเตรียมเฉพาะคราวมาประเมินความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer (Brookfield engineering laboratories, USA) ทำการประเมินสัปดาห์ที่ 0 และ 4 โดยความหนืดที่วัดได้ต้องไม่ต่ำกว่า 500 cP

2.1.3 ประเมินค่าปริมาตรการตกตะกอน

ประเมินสูตรตำรับละ 3 ตัวอย่าง (n=3) นำยาเตรียมเฉพาะคราว ทำการประเมินโดยการวัดอัตราส่วนของปริมาตรตะกอน หลังจากตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ (V_u) เทียบกับปริมาตรเริ่มต้นของยาเตรียมก่อนตกตะกอน (V_0) เพื่อดูความสามารถในการแขวนตะกอน แล้วคิดค่าปริมาตรการตกตะกอน sedimentation volume; F) จากสูตร ($F = V_u / V_0$) ทำการประเมินสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 โดยค่าปริมาตรการตกตะกอน ที่วัดได้ต้องมีค่าใกล้เคียงกับ 1 [13]

2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

2.2.1 ประเมินความเป็นกรด–ด่าง (pH)

ประเมินสูตรตำรับละ 3 ตัวอย่าง (n=3) นำยาเตรียมเฉพาะคราว โดยใช้เครื่อง pH meter (Thermo fisher scientific, USA) ทำการประเมินสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 โดยค่า pH ของตำรับต้องอยู่ในช่วง 3.5–4.5 ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา

2.3 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี

2.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์

วิธีวิเคราะห์ที่ให้ในการหาปริมาณตัวยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ ด้วยเครื่อง UV visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 274 nm จำเป็นต้องผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ตามที่ USP กำหนด เพื่อให้เกิดความถูกต้องและแม่นยำในการวิเคราะห์ หัวข้อที่ใช้ในการทดสอบตำรับจะขึ้นกับ assay category ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญในผลิตภัณฑ์ยาสำเร็จรูป จัดอยู่ใน category I ประกอบด้วย 5 หัวข้อ ได้แก่

1) accuracy คือความสามารถของวิธีการวิเคราะห์ที่วัดค่าของสารตัวอย่างได้ออกมาตรงหรือใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากที่สุด โดยเตรียมสารละลายตัวอย่างจากยาน้ำแขวนตะกอนที่มีความเข้มข้น 4 µg/mL และเติมสารละลายมาตรฐานของซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50.00, 100.00 และ 150.00 ของความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยแต่ละความเข้มข้นทำซ้ำ 3 ครั้ง และนำสารละลายมาวิเคราะห์ โดยนำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร เกณฑ์การยอมรับทั่วไป คือ ร้อยละ 98.00–102.00

$$\text{ร้อยละการคืนกลับ} = \frac{(\text{ปริมาณสารที่เติมสารมาตรฐาน})-(\text{ปริมาณสารที่ไม่เติมสารมาตรฐาน})}{\text{ปริมาตรของสารมาตรฐานที่เติมลงไป}} \times 100$$

2) precision คือ การวัดความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ แบ่งเป็น

intraday คือ ความแม่นยำที่เกิดจากการวิเคราะห์ซ้ำ ๆ ในสภาวะเดียวกัน โดยใช้วิธีวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ และผู้วิเคราะห์คนเดียวกัน ทำการวิเคราะห์ภายในวันเดียวกัน โดยเลือกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ ที่ต่างกัน 3 ความเข้มข้น คือ 2 µg/mL, 5 µg/mL และ 8 µg/mL แต่ละความเข้มข้นทำซ้ำ 6 ครั้ง นำสารละลายมาวิเคราะห์ โดยนำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาค่า ร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์ (% relative standard deviation, RSD) ต้องไม่เกินร้อยละ 2.00

interday คือ ความแม่นยำที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ซ้ำ ๆ โดยวิธีวิเคราะห์เดียวกัน แต่ผู้วิเคราะห์และวันที่ทำการวิเคราะห์ต่างกัน โดยเลือกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ที่ต่างกัน 3 ความเข้มข้น คือ 2 µg/mL, 5 µg/mL และ 8 µg/mL แต่ละความเข้มข้นทำซ้ำ 6 ครั้ง นำสารละลายมาวิเคราะห์ โดยนำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาค่าร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์ (%RSD) ต้องไม่เกินร้อยละ 2.00

3) linearity คือ ความสามารถของวิธีวิเคราะห์ที่ให้ผลการวิเคราะห์เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ในช่วงความเข้มข้นที่กำหนด ทดสอบหา standard curve โดยใช้สารละลายมาตรฐานซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ ความเข้มข้นที่ใช้ คือ 2 µg/mL, 3 µg/mL, 4 µg/mL, 5 µg/mL, 6 µg/mL, 7 µg/mL และ 8 µg/mL แต่ละความเข้มข้นทำซ้ำ 3 ครั้ง นำสารละลายมาวิเคราะห์ แล้วนำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าความดูดกลืนแสงโดยกำหนดค่า correlation coefficient (r^2) เข้าใกล้ 1

4) range เป็นช่วงความเข้มข้นที่วัดได้และมี accuracy, precision และ linearity อยู่ในระดับที่มีความถูกต้อง ยอมรับได้ ทำโดยการวัดสารสารละลายมาตรฐานซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ โดยช่วงความเข้มข้นของสารที่จะวัดคือ 2–8 µg/mL โดยแต่ละความเข้มข้นทำซ้ำ 3 ครั้ง

5) specificity คือความสามารถของวิธีวิเคราะห์ที่จำเพาะต่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ ทดสอบโดยนำน้ำกระสายยาของตำรับที่ไม่ผสมตัวยา มาวิเคราะห์ เพื่อประเมินการรบกวนหรือผลกระทบต่อการวิเคราะห์

2.3.2 วิเคราะห์หาปริมาณของตัวยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์

ประเมินสูตรตำรับละ 3 ตัวอย่าง (n=3) โดยใช้เครื่อง UV visible spectrophotometer (Thermo fisher scientific, USA) โดยชั่งน้ำหนักยาตามที่คำนวณได้ และนำมาเจือจางด้วย purified water ให้ความเข้มข้นสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 5 µg/mL นำสารตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 274 nm ทำการประเมินที่สัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 โดยปริมาณของตัวยาต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 90.00–110.00 ของปริมาณตัวยาที่ระบุบนฉลากตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา (9)

2.4 สถิติที่ใช้

การรายงานผลแสดงด้วย means ± standard deviation เป็นสถิติเชิงพรรณนาและกำหนดเกณฑ์ผ่านในแต่ละหัวข้อทดสอบ

ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาสูตรตำรับยาเตรียมเฉพาะคราวซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ รูปแบบยาน้ำแขวนตะกอน เพื่อให้ยามีความคงตัวเพิ่มขึ้นมากกว่าตำรับที่มีการเตรียมและใช้ในโรงพยาบาลในปัจจุบัน ซึ่งมีอายุยาเพียง 7 วัน [2] เมื่อศึกษาคุณสมบัติของซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ พบว่าตัวยาสามารถเสื่อมสลายได้ด้วยแสง ความร้อน ความชื้น และปฏิกิริยาออกซิเดชัน [2, 8, 15] ดังนั้นในการพัฒนาตำรับจึงพิจารณาเลือก EDTA เป็นสารช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเลือก citric acid และ sodium citrate เป็นสารช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด–ด่างของตำรับ จากข้อมูลพื้นฐานของตัวยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ พบว่าเป็นยาที่มีประจุแบบ zwitterion ซึ่งก่อให้เกิดความไม่คงตัวของตำรับได้ง่าย [12] ดังนั้นจึงเลือกใช้สารแขวนตะกอนชนิดที่ไม่มีประจุ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sahoo และคณะ (2014) [17] งานวิจัยนี้จึงพิจารณาเลือกใช้ HPMC ในการพัฒนาตำรับยาเตรียมเฉพาะคราว โดยเปรียบเทียบความสามารถในการแขวนตะกอนระหว่าง HPMC E15LV และ HPMC 4000 ดังตารางที่ 1

เมื่อเตรียมตำรับตามสูตรตำรับ Rx1–Rx5 โดยใช้เม็ดยาต้นแบบ (original) ซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ พบว่าทุกตำรับมีลักษณะภายนอกไม่แตกต่างกันคือมีสีขาวขุ่นและไม่มีกลิ่น เมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ พบว่าความหนืดของทุกตำรับไม่เปลี่ยนแปลง เขย่าแล้วตัวยาสามารถกระจายตัวได้ แต่ปริมาตรการตกตะกอนของแต่ละตำรับไม่เท่ากัน โดยตำรับ Rx5 มีค่าปริมาตรการตกตะกอนเข้าใกล้ 1 ที่สุด รองลงมาเป็น Rx4, Rx3, Rx2 และ Rx1 ตามลำดับ เมื่อทำการวัดปริมาณตัวยาสำคัญของแต่ละตำรับ พบว่าปริมาณตัวยาสำคัญของตำรับ Rx5 มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณตัวยาสำคัญช้าที่สุด จากผลการพัฒนาตำรับนี้สรุปได้ว่า ตำรับ Rx5 มีความหนืดมากที่สุด เขย่าแล้วยากระจายตัวได้ดี มีความคงตัวดีอีกทั้งยังเกิดการตกตะกอนช้าที่สุด ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้ตำรับ Rx5 ในการศึกษาความคงตัว

ศึกษาความคงตัวของตำรับยาเตรียม โดยการเปรียบเทียบสูตรตำรับโรงพยาบาลโดยใช้เม็ดยาต้นแบบและทำการเตรียมตำรับที่พัฒนาตามสูตรตำรับ Rx5 โดยใช้เม็ดยาต้นแบบและเม็ดยาที่ผลิตในประเทศจำนวน 3 บริษัท ได้แก่ บริษัท A, B และ C แล้วนำไปเก็บที่ 2 สภาวะ คือ สภาวะตู้เย็น (2–8 °C) และสภาวะระยะยาว (30±2 °C, 75± 5% RH) จากนั้นนำมาประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีกายภาพ และเคมี เป็นระยะเวลา 1 เดือน ให้ผลดังนี้

การประเมินทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก

– สูตรตำรับของโรงพยาบาล

สีของตำรับมีลักษณะสีขาวขุ่น เมื่อทำการประเมินทุกสัปดาห์พบว่าสีและกลิ่น ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

– สูตรตำรับที่พัฒนา

สีของตำรับที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เม็ดยาที่ผลิตจากเม็ดยาต้นแบบ เม็ดยาบริษัท A และ C มีลักษณะสีขาวขุ่น ในขณะที่ตำรับที่เตรียมจากเม็ดยาบริษัท B มีลักษณะสีเหลืองขุ่น ซึ่งเกิดจากเม็ดยาที่ใช้เตรียมตำรับมีสีเหลืองและเมื่อทำการประเมินทุกสัปดาห์ พบว่าสีและกลิ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ความหนืด

– สูตรตำรับของโรงพยาบาล

ความหนืดของตำรับในสัปดาห์ที่ 0 มีค่าความหนืด 250 cP เมื่อทำการวัดความหนืดในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าความหนืดของทั้ง 2 สภาวะ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

– สูตรตำรับที่พัฒนา

ความหนืดของตำรับที่พัฒนาขึ้นจากเม็ดยาต้นแบบ เม็ดยาบริษัท A, B และ C สำหรับตำรับที่เก็บในสภาวะระยะยาวพบว่าความหนืดของทุกตำรับมีแนวโน้มลงลดเล็กน้อย แต่ยังคงไม่ต่ำกว่า 500 cP สำหรับตำรับที่เก็บในสภาวะตู้เย็น พบว่า ความหนืดของทุกตำรับ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ปริมาตรการตกตะกอน (sedimentation volume)

– สูตรตำรับของโรงพยาบาล

สัปดาห์ที่ 1 พบว่าตำรับเกิดการแยกชั้นของตำรับขึ้น จึงไม่สามารถหาปริมาตรการตกตะกอนได้ เนื่องจากเกิดการแยกชั้นแบบ zone sedimentation คือการแยกชั้นของตำรับยาน้ำแขวนตะกอนออกเป็น 2 ชั้น โดยจะเกิดตะกอนบริเวณด้านบนและด้านล่าง ในขณะที่บริเวณตรงกลางมีลักษณะเป็นสารละลายใส

– สูตรตำรับที่พัฒนา

ปริมาตรการตกตะกอนของตำรับที่พัฒนาขึ้นที่เตรียมจากเม็ดยาต้นแบบ เม็ดยาบริษัท A, B และ C เมื่อเปรียบเทียบปริมาตรการตกตะกอนของทุกตำรับมีแนวโน้มลดลง แต่ยังคงมีค่าเข้าใกล้ 1 ยกเว้นบริษัท A ที่มีปริมาตรการตกตะกอนต่ำกว่า 0.50 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินค่าปริมาตรตะกอน

ตำรับ	sedimentation volume (F)				
	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
โรงพยาบาล	1.00	N/A	N/A	N/A	N/A
ต้นแบบ	1.00	1.00	0.93	0.81	0.75
บริษัท A	1.00	0.88	0.58	0.48	0.42
บริษัท B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
บริษัท C	1.00	0.89	0.83	0.74	0.65

การประเมินทางเคมีกายภาพ

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

– สูตรตำรับของโรงพยาบาล

ค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับในทั้ง 2 สภาวะ เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย แต่ยังคงมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด คือ 3.50–4.50

– สูตรตำรับที่พัฒนา

เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ ค่าความเป็นกรด-ด่างของทุกตำรับในทุกสภาวะ มีค่าความเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย แต่ยังคงมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด คือ 3.50–4.50

การประเมินทางเคมี

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ในแต่ละหัวข้อให้ผลดังนี้

- accuracy การเติมสารละลายมาตรฐานของตัวยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50.00, 100.00 และ 150.00 พบว่าร้อยละการคืนกลับ (%recovery) เท่ากับ 98.96± 1.89, 102.47±1.26 และ 98.27±1.77 ตามลำดับและมีร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์น้อยกว่า 2 ในทุกความเข้มข้น
- precision ผลวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ที่ความเข้มข้น คือ 2 µg/mL, 5 µg/mL และ 8 µg/mL ให้ผล intraday เท่ากับ 0.209±0.002, 0.516±0.004 และ 0.817±0.004 ตามลำดับ และผล interday เท่ากับ 0.214±0.001, 0.520±0.003 และ 0.819±0.003 ตามลำดับและมีร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์น้อยกว่า 2 ในทุกความเข้มข้น
- linearity นำสารละลายซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์มาวิเคราะห์ แล้วนำผลมาคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าความดูดกลืนแสง สมการที่ได้คือ $y = 0.1001x + 0.1169$ และค่า $R^2 = 0.9998$
- range เป็นช่วงความเข้มข้นที่วัดได้และมี accuracy, precision และ linearity อยู่ในระดับที่มีความถูกต้อง ยอมรับได้ โดยช่วงความเข้มข้นของสารที่จะวัดคือ 2–8 µg/mL
- specificity ความสามารถของวิธีวิเคราะห์ที่จำเพาะต่อตัวยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ พบว่าที่ความยาวคลื่น 274 nm ไม่มีการรบกวนหรือผลกระทบของสารอื่นในตำรับต่อการวิเคราะห์

จากผลข้างต้นจึงทำให้สามารถเชื่อถือผลการวิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้ได้ เนื่องจากผ่านข้อกำหนดในทุกหัวข้อของการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์

ปริมาณตัวยาสำคัญ (%LA)

- สูตรตำรับของโรงพยาบาล

ปริมาณตัวยาสำคัญสูตรตำรับเริ่มต้นร้อยละ 99.61±0.61 หลังจากเก็บในสภาวะระยะยาว ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 มีปริมาณตัวยาสำคัญลดลงเหลือร้อยละ 88.60±0.34 และ 88.62±0.50 ตามลำดับ เช่นเดียวกับสภาวะตู้เย็น ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 มีปริมาณตัวยาสำคัญลดลงเหลือร้อยละ 89.11±1.43 และ 87.15±0.31 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณตัวยาสำคัญของทั้ง 2 สภาวะ ลดลงและลดต่ำกว่าร้อยละ 90.00 ตั้งแต่ในสัปดาห์ที่ 3

- สูตรตำรับที่พัฒนา

ยาเตรียมเฉพาะคราวที่เตรียมจากสูตรตำรับที่ว่า ปริมาณตัวยาสำคัญตอนเริ่มต้นของสูตรตำรับที่เตรียมจากเม็ดยาต้นแบบมีค่าเท่ากับร้อยละ 99.31±0.49 และสภาวะระยะยาวในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีปริมาณตัวยาสำคัญเท่ากับร้อยละ 96.32±0.49, 95.79±0.02, 92.68±0.52 และ 92.45±0.53 ตามลำดับ ส่วนสภาวะตู้เย็นในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 97.90±0.50, 96.62±0.04, 93.29±0.30 และ 93.09±0.20 ตามลำดับ สำหรับปริมาณตัวยาสำคัญของตำรับที่เตรียมจากเม็ดยาบริษัท A ในตอนเริ่มต้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 97.93±0.50 สภาวะระยะยาวในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 95.30±1.88, 94.92±1.88, 91.90±0.77 และ 90.90±0.20 ตามลำดับ ส่วนสภาวะตู้เย็นในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 96.29±1.88, 96.09±1.37, 95.09±1.50 และ 92.89±0.49 ตามลำดับ บริษัท B มีปริมาณตัวยาสำคัญในตอนเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 98.75±0.68 สภาวะระยะยาวในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 96.01±0.60, 95.71±0.20, 92.67±0.41 และ 91.57±0.42 ตามลำดับ ส่วนสภาวะตู้เย็นในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 97.56±0.30, 96.92±0.48, 94.33±0.50 และ 92.81±0.50 บริษัท C มีปริมาณตัวยาสำคัญในตอนเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 99.04±0.38 สภาวะระยะยาวในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 96.16±1.11, 96.03±0.39, 92.33±0.40 และ 91.89±0.42 ตามลำดับ ส่วนสภาวะตู้เย็นในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 97.74±0.30, 96.72±0.70, 94.72±0.30 และ 92.09±0.50 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณตัวยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ ในยาเตรียมเฉพาะคราว

ตำรับ	สภาวะ	ค่าเฉลี่ยของ %LA (SD)				
		สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
โรงพยาบาล	30±2 °C, 75± 5% RH	99.61 (0.97)	97.82 (0.31)	91.79 (1.66)	88.60 (0.34)	86.62 (0.50)
	2-8 °C		98.08 (0.57)	93.54 (0.38)	89.11 (1.43)	87.15 (0.31)
ต้นแบบ	30±2 °C, 75± 5% RH	99.31 (0.49)	96.32 (0.49)	95.79 (0.02)	92.68 (0.52)	92.45 (0.53)
	2-8 °C		97.90 (0.50)	96.62 (0.04)	93.29 (0.30)	93.09 (0.20)

ตำรับ	สภาวะ	ค่าเฉลี่ยของ %LA (SD)				
		สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
บริษัท A	30±2 °C, 75± 5% RH	97.93 (0.50)	95.30 (1.88)	94.92 (1.88)	91.90 (0.77)	90.90 (0.20)
	2-8 °C		96.29 (1.88)	96.09 (1.37)	95.09 (1.50)	92.89 (0.49)
บริษัท B	30±2 °C, 75± 5% RH	98.75 (0.68)	96.01 (0.60)	95.71 (0.20)	92.67 (0.41)	91.57 (0.42)
	2-8 °C		97.56 (0.30)	96.92 (0.48)	94.33 (0.50)	92.81 (0.50)
บริษัท C	30±2 °C, 75± 5% RH	99.04 (0.38)	96.16 (1.11)	96.03 (0.39)	92.33 (0.40)	91.89 (0.42)
	2-8 °C		97.74 (0.30)	96.72 (0.70)	94.72 (0.30)	92.09 (0.50)

วิจารณ์ผลและสรุปผล

การศึกษาความคงตัวเพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างตำรับยาเตรียมเฉพาะคราวซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ รูปแบบยาน้ำแขวนตะกอนที่เตรียมตามสูตรตำรับของโรงพยาบาล โดยใช้เม็ดยาต้นแบบและสูตรตำรับที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เม็ดยาต้นแบบและเม็ดยาที่ผลิตในประเทศ 3 บริษัท โดยเก็บไว้ใน 2 สภาวะพบว่าสูตรตำรับที่พัฒนาขึ้น มีความคงตัวดีกว่าตำรับโรงพยาบาล ทั้งด้านกายภาพ ด้านเคมีกายภาพ และด้านเคมี เนื่องจากสูตรตำรับที่ใช้ในโรงพยาบาลมีเพียง simple syrup NF เป็นสารช่วยเพียงชนิดเดียว จึงไม่มีสารที่ช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของตัวยาสำคัญ ส่งผลทำให้มีอายุยาที่สั้น ในขณะที่ตำรับที่พัฒนาขึ้นมีการคัดเลือกสารช่วยที่ใช้ในตำรับสามารถช่วยชะลอการเสื่อมสลายของตัวยาได้ อีกทั้งในการวิจัยครั้งนี้ใช้ขวดสีชาในการเก็บรักษาตำรับยาเตรียม ซึ่งขวดสีชานี้จะช่วยป้องกันแสงไม่ให้สัมผัสกับยาเตรียม นอกจากนี้ตำรับที่พัฒนาขึ้นยังมี EDTA ซึ่งเป็นสารช่วยที่ทำหน้าที่ลดการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากไอออนของโลหะ โดย EDTA จะรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะ ทำให้ไอออนของโลหะที่เจือปนอยู่ไม่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาได้ [5,7] ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สีและกลิ่นของตำรับไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และเมื่อพิจารณาเรื่องความหนืด ตำรับที่พัฒนาขึ้นมีสามารถแขวนตะกอนได้นานกว่าตำรับโรงพยาบาล เนื่องจากตำรับที่พัฒนาขึ้นมี HPMC 4000 เป็นสารแขวนตะกอน ส่งผลให้ตำรับที่พัฒนาขึ้นนี้มีความหนืดมากกว่าตำรับโรงพยาบาลที่มีเพียง simple syrup NF เป็นน้ำกระสายยา ซึ่งความหนืดจะสัมพันธ์กับความสามารถในการแขวนตะกอนของตำรับ โดยตำรับที่มีความหนืดมากกว่าจะสามารถแขวนตะกอนได้ดีกว่าตำรับที่มีความหนืดน้อยกว่า [13] นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญ ที่จะแสดงถึงความคงตัวของตำรับยาเตรียม โดยตัวยาซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ จะคงตัวอยู่ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.50-4.50 ทั้งนี้ตำรับที่พัฒนาขึ้นมี citric acid และ sodium citrate เป็นสารช่วยในตำรับ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการช่วยรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของตำรับให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาและช่วยลดการเกิดการสลายตัวของตัวยาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส [14] จึงส่งผลถึงด้านความคงตัวทางด้านเคมีดีกว่าตำรับโรงพยาบาล โดยร้อยละของปริมาณตัวยาสำคัญที่ระบุบนฉลากของตำรับที่พัฒนาขึ้นยังคงอยู่ในช่วงที่กำหนด คือ ร้อยละ 90.00-110.00 ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ในขณะที่ตำรับ

โรงพยาบาล มีค่าลดลงต่ำกว่าร้อยละ 90.00 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 เป็นผลมาจากการที่สูตรตำรับที่พัฒนาขึ้นมีช่วยสารในตำรับที่สามารถช่วยชะลอการเสื่อมสลายของตัวยาจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ในขณะที่สูตรตำรับของโรงพยาบาลไม่มีสารช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ตำรับที่พัฒนาขึ้นมีความคงตัวดีกว่าตำรับของโรงพยาบาล นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความคงตัวของตำรับยาเตรียมที่เตรียมจากเม็ดยาต้นแบบเปรียบเทียบกับตำรับยาเตรียมที่เตรียมจากเม็ดยาที่ผลิตในประเทศทั้ง 3 บริษัทพบว่าความคงตัวของตำรับยาเตรียมทุกตำรับไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตำรับเตรียมตำรับยาเตรียมเฉพาะคราวซิโพรฟลอกซาซิน ไฮโดรคลอไรด์ รูปแบบยาน้ำแขวนตะกอนที่พัฒนาขึ้นมีความคงตัวดีกว่าตำรับของโรงพยาบาลและสามารถเตรียมได้จากเม็ดยาที่ผลิตในประเทศแทนเม็ดยาต้นแบบได้ เนื่องจากให้ผลการศึกษาความคงตัวไม่แตกต่างกัน อีกทั้งสามารถใช้เม็ดยาทดแทนกันได้ทั้ง 3 บริษัทที่ผลิตในประเทศ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสยาม สำหรับเงินอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ ภญ.ชลธิชา รุ่งสะอาด ภญ.นิภาพร แพพากเพียร และภญ.ณัฐธิดา หล่อวณิชย์ ในการร่วมทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สถานการณ์เชื้อแบคทีเรียดื้อยาในประเทศไทย. สถาบันวิจัยระบบ สาธารณสุข [อินเตอร์เน็ต]. 2552 สืบค้นเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2564 ได้จาก: http://kb.hsri.or.th/dspace/handle/11228/2529?locale-attribute=th
2. วนิดา เดชาวาศน์, นวภรณ์ วิมลสาระวงศ์ และพรศรี อิงเจริญสุนทร. Pediatric extemporaneous compounding ยาเตรียมพิเศษเฉพาะรายสำหรับเด็ก. กลุ่มงานเภสัชกรรมสถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติ มหาราชินี ชัยเจริญ. 2552.
3. นวภรณ์ วิมลสาระวงศ์. ยาเตรียมพิเศษเฉพาะรายรูปแบบยาน้ำสำหรับเด็ก Extemporaneous compounding of oral liquids for pediatrics. Thai Pediatric J. 2012; 19: 193-9.
4. เพ็ญนภา ม่วงศรี. Extemporaneous preparation of anti-tuberculosis drugs. สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี. 2554.
5. การพัฒนาสูตรตำรับยา [อินเตอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2564 ได้จาก https://www.geocities.ws/ceutic/drugdevelopment.html
6. Adam E, Elaziz M, Saeed A. Stability study of ciprofloxacin hydrochloride under stress conditions using reverse phase-high performance liquid chromatography method. Der Pharmacia Sinica. 2012; 3(2):217-23.
7. Allen LV, Popovich NG, Ansel HC. Drug dosage form and drug delivery system design. Ansel's pharmaceutical dosage forms and drug delivery systems. 9th ed. Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business; 2011.
8. Bushra U, Huda N, Mostafa M, Sultan Z, Rahman A. study of forced degradation of ciprofloxacin HCl indicating stability using RP-HPLC method. Der Pharma Chemica. 2013; 5(6):314-7.
9. Ejele AE, Ukiwe LN, Enenebeaku CK and Ejele NU. Evaluation of Drug Quality (III): Determination of Ciprofloxacin Hydrochloride Concentration in Pharmaceutical Tablets. Niger J Chem Res. 2015; 20:19-28

10. Johnson CE, Wong DV, Hoppe HL, Bhatt-Mehta V. Stability of ciprofloxacin in an extemporaneous oral liquid dosage form. Int J Pharm Compd 1998; 2(4):314-7.
11. Lacy CF, Armstrong LL, Goldman PP, Lance LL. Drug information handbook with international trade names index. 23rd ed. Ohio: Lexi-comp; 2013.
12. Oliver M, Manzo R, Junginger H, Midha K, Shah V, Stavchansky S. Biowaiver monograph for immediate Release Solid Oral Dosage Forms: Ciprofloxacin Hydrochloride. J Pharm Sci. 2011; 100:23-9.
13. Oliver DR, Ward SG. Studies of the viscosity and sedimentation of suspensions Part 5.- The viscosity of settling suspensions of spherical particles. Br J Appl Phys. 1959; 10:430
14. Torniainen K, Tammilehto S, Ulvi V. The effect of pH, buffer type and drug concentration on the photo degradation of ciprofloxacin. Int J Pharm. 1996; 132:53-61.
15. Torniainen K, Mattinen J, Asholin CP, Tammilehto S. Structure elucidation of a photodegradation product of ciprofloxacin. J Pharmaceut Biomed. 1997;15: 887-894.
16. The United States Pharmacopeial Convention. The United States Pharmacopeia and the Natio- nal Formulary (USP 43-NF 38). Bethesda, MD: The United States Pharmacopoeial Convention Inc; 2020
17. Sahoo S, Kanti C, Behera P. Stability prediction of polymeric suspension of some floroquinolones. J PharmSciTech. 2014; 3(2): 92-4.
18. ASEAN guideline on stability study of drug product. [Internet]. Accessed 2021 July 15. Available from: https://asean.org/wp-content/uploads/2018/01/25PPWG-ANNEX-7-iv-Final-ASEAN-Guideline-on-Stability-Study-Drug-Product-R2.pdf
19. MIMS Thailand [online]. Accessed 2021 May 12. Available from: https://www.mims.com/thailand

การศึกษาเปรียบเทียบผลของการส่งเสริมการฟื้นตัวหลังผ่าตัด (ERAS) ต่อการใช้ยากลุ่มอนุพันธ์ของฝิ่น (Opioids) ในการผ่าตัดทำคลอด

The impact of implementation enhanced recovery after surgery (ERAS) pathway on maternal post-cesarean opioid usage

ลภัสกรณ์ ยะปะนัน[1], วรัญญู เหงี่ยมไพศาล[1], จิรพัฒน์ คล้อยปาน[2] และ ทักษิณา ทินนา[3]

Lapuskorn Yapanan[1], Warunyou Ngiamphaisan[1], Chiraphat Kloypan[2] and Tugsina Tinna[3]

บทคัดย่อ

แนวทางการส่งเสริมการฟื้นตัวหลังผ่าตัด (Enhanced recovery after surgery: ERAS) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในผู้ป่วยศัลยกรรมและนรีเวชกรรม เนื่องจากทำให้ผู้ป่วยมีการฟื้นตัวที่รวดเร็วอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในการผ่าตัดทำคลอดนั้นยังไม่มีการศึกษาและนำมาใช้อย่างแพร่หลาย การศึกษาวิจัยนี้จึงได้นำแนว ERAS มาประยุกต์ใช้ในผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดทำคลอด โดยศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้ยากลุ่มอนุพันธ์ของฝิ่น, ระดับความเจ็บปวดหลังผ่าตัด, ระยะการนอนรักษาตัวโรงพยาบาล และภาวะแทรกซ้อน

แนวทาง ERAS ถูกนำไปใช้ในผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดทำคลอด โดยเปรียบระหว่างกลุ่มทั่วไป (กลุ่ม Conventional) และกลุ่มที่ใช้แนวทาง ERAS (กลุ่ม ERAS) เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของหญิงตั้งครรภ์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการประยุกต์ใช้ ERAS ในการผ่าตัดทำคลอดต่อการใช้ยากลุ่มอนุพันธ์ของฝิ่น

การศึกษาวิจัยนี้ ผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมด 120 ราย (กลุ่ม Conventional n = 60 และกลุ่ม ERAS n=60) การใช้แนวทาง ERAS ไม่พบว่าลดปริมาณการได้รับยาแก้ปวดในกลุ่มอนุพันธ์ของฝิ่นหลังการผ่าตัด 24 ชั่วโมง (Conventional 0.17 ± 0.08, ERAS 0.12 ± 0.07 MMEQ, P = 0.6998) และปริมาณการได้รับยาแก้ปวดในกลุ่มอนุพันธ์ของฝิ่นทั้งหมด (Conventional 0.33 ± 0.11, ERAS 0.17 ± 0.08 MMEQ, P = 0.2270) ระดับความปวดหลังผ่าตัดที่เวลา 1, 24 และ 48 ชั่วโมง (Conventional 0.13 ± 0.08, ERAS 0.05 ± 0.06, P = 0.1512, Conventional 3.03 ± 0.13, ERAS 2.90 ± 0.08, P = 0.0737 and Conventional 2.82 ± 0.07, ERAS 2.88 ± 0.07, P = 0.3404, ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน ระยะเวลานอนรักษาตัวในโรงพยาบาลไม่แตกต่างกันทั้งสองกลุ่ม (Conventional 3.30 ± 0.42, ERAS 3.34 ± 0.28, P = 0.3025) ภาวะแทรกซ้อนของมารดาและทารกแรกคลอดไม่แตกต่างกัน

[1] ภาควิชาวิสัญญีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[3] งานสูตินรีเวชกรรม โรงพยาบาลเชียงคำ จังหวัดพะเยา 56110

[1] Department of Anesthesiology, School of Medicine, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Department of Pathology, School of Medicine, University of Phayao, Phayao, 56000

[3] Department of Obstetrics and Gynecology, Chiangkham Hospital, Phayao, 56110

* Corresponding author: lapuskorn.ya@up.ac.th

การนำแนวทาง ERAS มาประยุกต์ใช้ในการผ่าตัดทำคลอดโดยอาศัยความร่วมมือของสหวิชาชีพนั้นส่งผลให้ผู้ป่วยมีการฟื้นตัวที่รวดเร็วมากขึ้นโดยไม่ส่งผลต่อภาวะแทรกซ้อนของมารดาและทารกแรกคลอด แนวทางการดูแลผู้ป่วยส่งผลในด้านการพัฒนาคุณภาพการดูแลผู้ป่วย ดังนั้นจึงควรพิจารณานำแนวทาง ERAS มาประยุกต์ใช้ในการผ่าตัดทำคลอด

คำสำคัญ: การส่งเสริมการฟื้นตัวหลังผ่าตัด, การผ่าตัดทำคลอด, การใช้ยากลุ่มอนุพันธ์ของฝิ่น

Abstract

Background: Enhanced recovery after surgery (ERAS) protocols in general surgery and non–obstetric surgery significantly improved outcomes but in obstetric patients, they were not well–studied. This study implemented ERAS protocols for elective cesarean delivery (CD) in comparison with the effects on opioid consumption, postoperative pain scores, length of stay and complications.

Method: ERAS protocols were implemented in women undergoing elective CD. Conductions of conventional and ERAS pathways were used to compare maternal outcomes. The primary outcome was opioid consumption in milligram–morphine equivalents (MMEQ).

Result: Data from 120 (n = 60 conventional; n = 60 ERAS) patients were analyzed. Implementation of the ERAS protocol did not reduce opioid consumption at 24 hours post–operatively (conventional 0.17 $\pm$ 0.08, ERAS 0.12 $\pm$ 0.07 MMEQ, P = 0.6998) or total opioid consumption (conventional 0.33 $\pm$ 0.11, ERAS 0.17 $\pm$ 0.08 MMEQ, P = 0.2270). There were no significant differences in pain score at 1, 24 and 48 hours (Conventional 0.13 $\pm$ 0.08, ERAS 0.05 $\pm$ 0.06, P = 0.1512,; Conventional 3.03 $\pm$ 0.13, ERAS 2.90 $\pm$ 0.08, P = 0.0737 and Conventional 2.82 $\pm$ 0.07, ERAS 2.88 $\pm$ 0.07, P = 0.3404, respectively). Hospital length of stay was not significantly different among both cohorts (conventional 3.30 $\pm$ 0.42, ERAS 3.34 $\pm$ 0.28, P = 0.3025). Maternal and neonatal complications were similar between both cohorts.

Conclusion: Implementation of an ERAS protocol in elective CD improved recovery without increasing maternal and neonatal complications. These improvements in the quality of patient care suggest ERAS protocols should be considered for elective CD.

Keywords: Enhanced recovery after surgery, ERAS, cesarean delivery, Opioid consumption

Introduction

Enhanced recovery after surgery (ERAS) is an interdisciplinary, evidence–based, standardized approach to improving the care of surgical patients that involves the preoperative, intraoperative, and postoperative periods. [1–4] The concept of the ERAS pathways is improving recovery from the surgical catabolic and inflammatory response. [2–6] The ERAS pathway was first introduced in 1997 to reduce surgical stress response and the length of hospital stays in open sigmoid resections. [2,7–8] These pathways include the avoidance of prolonged fasting, the use of multimodal analgesia to reduce opioid exposure, the encouragement of early mobility and education of patients. [9–11] The ERAS pathways have led to reductions in hospital length of stay and costs without an increase in complications or readmissions. [5,10,12–13] These principles have been variously implemented in multiple surgical populations including orthopaedic, urologic, and gynecologic surgical populations [9,14] but less is known about the applied ERAS programs among patients undergoing elective cesarean delivery (CD).

Therefore, we sought to evaluate the impact of the ERAS program on CD. The primary aim of this study was to determine the effect of postoperative maternal opioid consumption, with secondary aims including postoperative pain score, hospital length of stay, and maternal and neonatal complications.

Materials and Methods

This study was approved by the Ethics Committee of Human Research, Chiangkham Hospital. The ERAS protocol was developed by literature review publications that aimed to implement enhanced recovery protocols in several surgical specialties that including gynecology and especially obstetrics. A multidisciplinary task force of obstetricians, anesthesiologists and nurses reviewed the literature and developed local ERAS care pathways based on available published evidence and best practices to standardize surgical care [15–17] with an emphasis on multimodal pain management and decreased opioid use, early mobilization, optimal nutrition, and patient engagement. (Table 1)

Table 1 Conventional and ERAS protocol for cesarean delivery

	Conventional protocol	ERAS protocol
Preoperative period	– No formal preadmission patient education counseling or visit – Allowed solids up to 8 hours before delivery	– Preadmission patient education and Discussion of anticipated recovery process – Clear liquids allowed up to 2 hours and solids up to 8 hours before delivery – Carbohydrate drink (apple juice) taken at 2 and 6 hours before surgery
Intraoperative period	– Spinal anesthesia: hyperbaric bupivacaine with morphine 200 mcg	– Intravenous antibiotics 15–30 minutes before skin incision

	Conventional protocol	ERAS protocol
	– Aspiration prophylaxis: ondansetron IV – Liberal fluid – Fluid coload and ephedrine infusion for hypotension – Room temperature not controlled	– Spinal anesthesia: hyperbaric bupivacaine with morphine 200 mcg – Aspiration prophylaxis: ondansetron IV – Avoid excessive fluid – Ephedrine infusion for hypotension – Warm fluid – Controlled room temperature (23–25°C) – Warm blankets – Venous thromboembolism prophylaxis
Postoperative period	Pain management – Pethidine 25 mg IV for breakthrough pain – Paracetamol 500 mg PO every 6 hours when pain or fever – Ibuprofen 400 mg PO every 8 hours when pain – Ambulation within 24 hours – Urinary catheter removed at 24 hours – Oral intake within 24 hours – IV catheter removal within 24–48 hours	Pain management – Ketorolac 30 mg IV at PACU then every 6 hours for 24 hours then Ibuprofen 400 mg PO every 8 hours – Paracetamol 1,000 mg PO at PACU then paracetamol 500 mg every 6 hours – Pethidine 25 mg IV for breakthrough pain – Ambulation within 8 hours – Urinary catheter removed at 12 hours – Oral intake as soon as able – IV catheter removal within 24 hours

ERAS: enhanced recovery after surgery. IV: intravenous. PO: per os. PACU: post–anesthetic care unit.

All one hundred twenty patients aged 20–50 years with American Society for Anesthesiologists (ASA) physical status 1–3 who were scheduled for CD under spinal anesthesia were enrolled in this prospective cohort study. Patients with obstetric emergency conditions were excluded. The other exclusion criteria included a body mass index (BMI) > 35 kg/m2, a history of opioid abuse or dependence, asthma, chronic pain, or a known allergy to drugs in the protocol.

We compared a prospective conventional cohort of women who underwent CD to a prospective ERAS cohort conducted with an ERAS pathway. The conventional cohort recruited patients from March 2021 to June 2021. The ERAS pathway was implemented on July 1, 2021 and the ERAS cohort included patients from July 2021 to November 2021. All patients underwent CD under spinal anesthesia with heavy bupivacaine and 0.2 milligrams of intrathecal morphine. After the operation, patients were assessed for opioid consumption at 24 hours after surgery and total opioid

consumption. Opioid consumption was determined as milligram morphine equivalents (MMEQ). Patients were evaluated for pain scores at 1, 24 and 48 hours after surgery using the verbal numerical rating score (VNRS 0–10, 0 = no pain and 10 = worst pain imaginable). If VNRS was more than 5, intervention for breakthrough pain was needed. Additionally, the length of hospital stay was defined as the time from the end of surgery to the time of discharge, and maternal and neonatal complications were carefully evaluated and recorded.

Based on data from Kleiman et al. to achieve 80% power with a significance level of 5% to detect a decrease in opioid consumption from 44.7 $\pm$ 35.4 to 27.8 $\pm$ 23.6 mg, a total of 50 subjects were needed in each group to investigate the primary outcome. The definite number of participants per group was 60 after compensation for data loss. (Figure 1)

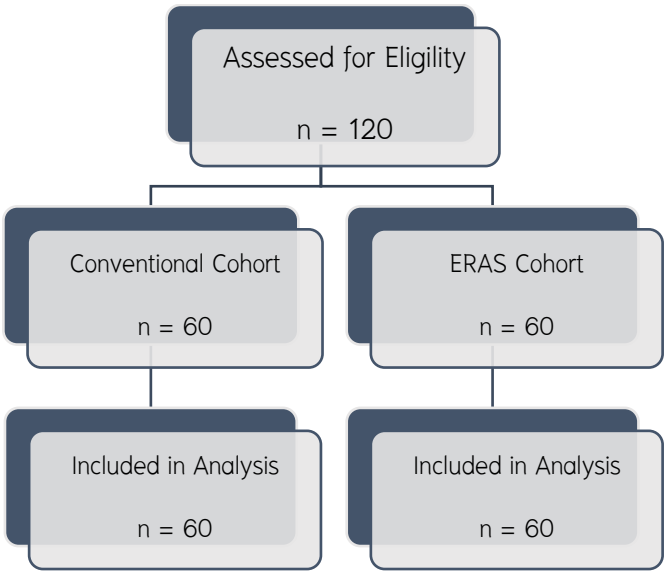


Figure 1 Flow diagram for the study

All analyses were performed. Data were summarized using either means and standard errors (SE) or means and standard error of the mean (SEM) for continuous outcomes or counts and percentages for categorical outcomes. Between-group comparisons were analyzed using two-sample t-tests and chi-square for categorical variables and one-way ANOVA for continuous variables. A P-value <0.05 was considered statistically significant.

Results

A total of 120 patients were assessed for eligibility, 60 patients in the conventional and 60 patients in the ERAS. Patient demographics and reproductive characteristics were similar in both cohorts. (Table 2)

Table 2 Maternal demographics

	Conventional (n=60)	ERAS (n=60)	p-value
Age (y)	28.6 (5.9)	27.9 (4.7)	0.448
Parity (n)	1.7 (0.08)	1.5 (0.07)	0.3989
BMI (kg/m^2)	30.5 (4.4)	29.9 (2.6)	0.2896
Gestational age (wk)	38.5 (0.8)	38.4 (0.8)	0.3728

Data are presented as mean (standard deviation: SD) or mean (standard error of the mean: SEM). BMI: body mass index.

After ERAS pathway implementation, there were no differences in opioid consumption in 24 hours postoperatively (conventional 0.17 ± 0.08, ERAS 0.12 ± 0.07 MMEQ, *P* = 0.6998) or total opioid consumption (Conventional 0.33 ± 0.11, ERAS 0.17 ± 0.08 MMEQ, *P* = 0.2270). (Table 3) Postoperative pain score at 1 hour (Conventional 0.13 ± 0.08, ERAS 0.05 ± 0.06, *P* = 0.1512), 24 hours (Conventional 3.03 ± 0.13, ERAS 2.90 ± 0.08, *P* = 0.0737) and 48 hours (Conventional 2.82 ± 0.07, ERAS 2.88 ± 0.07, *P* = 0.3404) were no significant differences. (Figure 2)

Table 3 Maternal outcomes

	Conventional (n=60)	ERAS (n=60)	P-value	95%CI
Opioid consumption in 24 hours (MMEQ)	0.17 (0.08)	0.12 (0.07)	0.6998	-0.2552 to 0.1718
Total opioid consumption (MMEQ)	0.33 (0.11)	0.17 (0.08)	0.2270	-0.4383 to 0.1051
Postoperative Pain score				
- 1 hour	0.13 (0.08)	0.05 (0.06)	0.1512	-0.1976 to 0.0309
- 24 hours	3.03 (0.13)	2.90 (0.08)	0.0737	-0.2797 to 0.0130
- 48 hours	2.82 (0.07)	2.88 (0.07)	0.3404	-0.0712 to 0.2046
Length of hospital stays (day)	3.30 (0.42)	3.34 (0.28)	0.3025	-1.459 to 4.659

Data are presented as mean (standard deviation: SD) r mean (standard error of the mean: SEM). MMEQ: Morphine Milligram Equivalents.

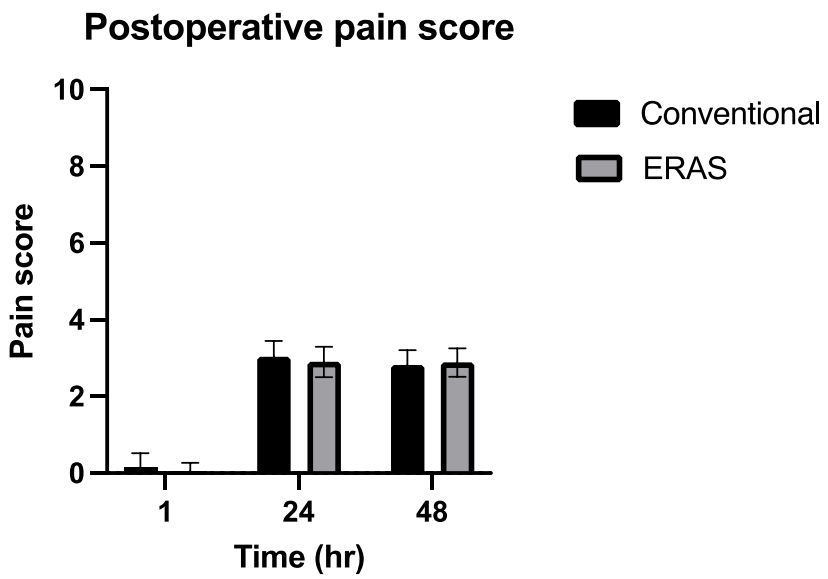


Figure 2 Postoperative pain score at 1, 24 and 48 hours

Length of stays was not significantly reduced after implementation of the ERAS pathway (conventional 3.30 ± 0.42, ERAS 3.34 ± 0.28, *P* = 0.3025). (Table 3) Post-operative nausea and vomiting showed no difference (Conventional 13.3%, ERAS 6.7%, *P* = 0.2270). (Table 4) Also, maternal complications including blood transfusion, postpartum hemorrhage, surgical wound infection and 30-day mortality as assessed by clinic visits were not significantly different in the conventional group compared with the ERAS group. Neonatal complications were similar between groups. (Table 4)

Table 4 Maternal and neonatal complications

	Conventional (n=60)	ERAS (n=60)	P-value
Maternal complications			
– Nausea and vomiting	8 (13.3)	4 (6.7)	0.2270
– Blood transfusion within 30 days	1 (1.7)	0	0.3194
– Postpartum hemorrhage	0	0	
– Surgical wound infection	0	0	
– 30-day mortality	0	0	
Neonatal complication	0	0	

Data are presented as frequencies (percentages).

Discussion

The implementation of the ERAS protocol for CD resulted in no significant decrease in opioid consumption which was different from previous studies in which opioid consumption was significantly reduced. [1–3,9] All patients in this study received spinal anesthesia with intrathecal morphine that could relieve postoperative pain for almost 24 hours which was the most distressing period. After that time, pain intensity usually was mild–to–moderate combined with multimodal analgesia management of paracetamol and non–steroidal anti–inflammatory drugs (NSAIDs) following each protocol therefore opioid consumption was not significantly different between both groups.

Pain following CD is related to maternal–fetal bonding and impairs maternal recovery in the postpartum period. A key part of the ERAS protocol was effective multimodal analgesia based on recent recommendations. Postoperative pain scores were as similar as the studies.[2,8] Patients with mild–to–moderate pain intensity (pain score 1–6) were prescribed nonopioid analgesics such as paracetamol and NSAIDs for first–line therapy before opioids for pain relief. Our results revealed postoperative average pain scores were mild–to–moderate and not significantly different in both groups and analgesic drugs including paracetamol and NSAIDs were administrated in both protocols which were suitable for pain intensity leading to a similar postoperative pain score between both cohorts. In the ERAS group, even though patients were encouraged to ambulate early, but the average pain scores were not significantly different in both groups. This finding demonstrated that early ambulation was not significantly affected by postoperative pain scores.

In this study, hospital length of stay (LOS) was not significantly reduced in the ERAS cohort even though most studies have been able to demonstrate a reduction in LOS after implementation of ERAS protocol for CD. [1,4,8,12] It was not only maternal factors that impacted LOS, but other factors including those related to the infant, breastfeeding and other social factors were also relevant.

Analysis of our process measures reflects compliance with our ERAS protocol. All postoperative measures assessed show a significant reduction in times when compared to conventional protocol. (Table 5) After implementation of the ERAS protocol, the mean time from delivery to first oral intake was 4.95 hours compared with 7.43 hours in the conventional cohort which reflected early postpartum consumption. This earlier oral intake was not associated with an increase in the incidence of nausea or vomiting. A shorter fasting period had a positive impact on anxiety and recovery. The results of our study demonstrated that the incidence of maternal and neonatal complications was not significantly increased after the implementation of the ERAS protocol that were comparable to most studies. [1,3,8,9,12]

The study had limitations as a single center cohort study, our experiences may not be applicable to other settings. Additionally, our study included a narrow cohort focused on patients who underwent elective CD but patients with emergency CD were not included.

In conclusion, the implementation of the ERAS protocol with multidisciplinary standardization of care can be effectively applied to cesarean delivery with good protocol adherence. Although ERAS pathways were not associated with decreased opioid consumption, postoperative pain score or hospital length of stay, ERAS for cesarean delivery

should be considered as an option that may comprehensively improve recovery without increasing maternal and neonatal mortality.

Table 5 Preoperative and postoperative process measures

	Conventional (n=60)	ERAS (n=60)	P-value
NPO time (h)	10.23 (2.05)	3.42 (0.61)	<0.0001
Time to ambulation (h)	9.23 (1.48)	7.48 (0.83)	<0.0001
Time to urinary catheter removal (h)	16.22 (3.13)	9.50 (1.68)	<0.0001
Time to IV catheter removal (h)	22.32 (3.67)	19.47 (3.48)	<0.0001
Time to oral intake (h)	7.43 (1.08)	4.95 (0.95)	<0.0001

Data are presented as mean (Standard deviation: SD). NPO: nil per os. IV: intravenous.

Funding

This research was provided by a fund from University of Phayao, Phayao, Thailand

References

1. Kleiman AM, Chisholm CA, Dixon AJ, Sariosek BM, Thiele RH, Hedrick TL, et al. Evaluation of the impact of enhanced recovery after surgery protocol implementation on maternal outcomes following elective cesarean delivery. Int J Obstet Anesth. 2020 Aug;43:39–46.
2. Bollag L, Nelson G. Enhanced Recovery After Cesarean (ERAC) – beyond the pain scores. Int J Obstet Anesth. 2020 Aug;43:36–38.
3. Lester SA, Kim B, Tubinis MD, Morgan CJ, Powell MF. Impact of an enhanced recovery program for cesarean delivery on postoperative opioid use. Int J Obstet Anesth. 2020 Aug;43:47–55.
4. Sultan P, Sharawi N, Blake L, Carvalho B. Enhanced recovery after caesarean delivery versus standard care studies: a systematic review of interventions and outcomes. Int J Obstet Anesth. 2020 Aug;43:72–86.
5. Kehlet H, Wilmore DW. Evidence–based surgical care and the evolution of fast–track surgery. Ann Surg 2008;248:189–98.
6. Ljungqvist O, Scott M, Fearon KC. Enhanced Recovery After Surgery: A review. JAMA Surg 2017;152:292–8
7. Liu ZQ, Du WJ, Yao SL. Enhanced recovery after cesarean delivery: a challenge for anesthesiologists. Chin Med J (Engl). 2020;133(5):590–596.

8. Shinnick JK, Ruhotina M, Has P, Kelly BJ, Brousseau EC, O'Brien J, et al. Enhanced Recovery after Surgery for Cesarean Delivery Decreases Length of Hospital Stay and Opioid Consumption: A Quality Improvement Initiative. Am J Perinatol. 2021 Aug;38(S 01):e215–e223
9. Hedderson M, Lee D, Hunt E, Lee K, Xu F, Mustille A, et al. Enhanced Recovery After Surgery to Change Process Measures and Reduce Opioid Use After Cesarean Delivery: A Quality Improvement Initiative. Obstet Gynecol. 2019 Sep;134(3):511–519.
10. McLeod RS, Aarts MA, Chung F, Eskicioglu C, Forbes SS, Conn LG, et al. Development of an enhanced recovery after surgery guideline and implementation strategy based on the knowledge–to–action cycle. Ann Surg 2015;262:1016–25.
11. Greco M, Capretti G, Beretta L, Gemma M, Pecorelli N, Braga M. Enhanced recovery program in colorectal surgery: a meta– analysis of randomized controlled trials. World J Surg 2014;38: 1531–41.
12. Fay EE, Hitti JE, Delgado CM, Savitsky LM, Mills EB, Slater JL, et al. An enhanced recovery after surgery pathway for cesarean delivery decreases hospital stay and cost. Am J Obstet Gynecol. 2019 Oct;221(4):349.e1–349.e9.
13. Nicholson A, Lowe MC, Parker J, Lewis SR, Alderson P, Smith AF. Systematic review and meta–analysis of enhanced recovery programmes in surgical patients. Br J Surg. 2014 Feb;101(3):172–88.
14. Pedziwiatr M, Mavrikis J, Witowski J, Adamos A, Major P, Nowakowski M, et al. Current status of enhanced recovery after surgery (ERAS) protocol in gastrointestinal surgery. Med Oncol. 2018 May 9;35(6):95.
15. Wilson RD, Caughey AB, Wood SL, Macones GA, Wrench IJ, Huang J, Norman M, et al. Guidelines for Antenatal and Preoperative care in Cesarean Delivery: Enhanced Recovery After Surgery Society Recommendations (Part 1). Am J Obstet Gynecol. 2018 Dec;219(6):523.e1–523.e15.
16. Caughey AB, Wood SL, Macones GA, Wrench IJ, Huang J, Norman M, et al. Guidelines for intraoperative care in cesarean delivery: Enhanced Recovery After Surgery Society Recommendations (Part 2). Am J Obstet Gynecol. 2018 Dec;219(6):533–544.
17. Macones GA, Caughey AB, Wood SL, Wrench IJ, Huang J, Norman M, et al. Guidelines for postoperative care in cesarean delivery: Enhanced Recovery After Surgery (ERAS) Society recommendations (part 3). Am J Obstet Gynecol. 2019 Sep;221(3):247.e1–247.e9.

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(Poster Presentation)

โครงสร้างจุลกายวิภาคของต่อมน้ำลายทูบาเรียล ด้วยการย้อมสี H&E และ PAS

Microscopic structure of tubarial salivary gland by H&E and Periodic Acid– Schiff (PAS) staining

พิสิฐ แสงอนันตการ[1*]

Phisid Saenganantakarn[1*]

บทคัดย่อ

ต่อมน้ำลายทูบาเรียล หรือ Tubarial salivary gland เป็นต่อมน้ำลายใหม่ที่ถูกค้นพบโดยบังเอิญจากขั้นตอนการตรวจผู้ป่วย ซึ่งการศึกษาทั้งด้านโครงสร้างและหน้าที่ของต่อมน้ำลายชนิดนี้ยังมีอยู่จำกัด ในงานวิจัยนี้ จึงต้องการศึกษาโครงสร้างระดับจุลกายวิภาคของ Tubarial salivary gland ของร่างอาจารย์ใหญ่ด้วยวิธีการแอลเอ็มเทคนิค (LM technique) ทำการย้อมฮีมาทอกซีลินและอีโอซิน (H&E) และ การย้อมเพอริโอดิกเอซิดชิพ (PAS) จากการศึกษาเนื้อเยื่อที่ย้อมด้วย H&E พบว่าพื้นที่ของ Tubarial salivary gland ต่อพื้นที่เนื้อเยื่อทั้งหมดของตัวอย่างหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 24.28% และเมื่อนำร้อยละของพื้นที่ Tubarial salivary gland มาเปรียบเทียบระหว่างเพศชาย และหญิงพบว่าในสไลด์ของอาจารย์ใหญ่เพศชายมีค่าเฉลี่อยู่ที่ 21.81±3.43 และเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 27.99±4.31 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการศึกษาด้วยการย้อม PAS พบว่า Tubarial salivary gland เป็นต่อมน้ำลายแบบ mixed seromucous gland

คำสำคัญ: ต่อมน้ำลายทูบาเรียล, แอลเอ็มเทคนิค, การย้อมฮีมาทอกซีลินและอีโอซิน, การย้อมเพอริโอดิกเอซิดชิพ

Abstract

The newly discovered small salivary gland from a patient's examination is named the tubarial salivary gland. The main objective of this research is to explore the tubarial salivary gland's histological structure in Thai cadavers using the standard hematoxylin and eosin staining technique, despite the fact that structural and functional information is still restricted. Glycogen deposition was seen using the periodic acid Schiff (PAS) staining technique. The findings indicated that the tubarial salivary gland area to total glandular tissue ratio is 24.28 percentages, and the mean gland area in male and female cadavers, respectively, is 21.81±3.43 and 27.99±4.31. The PAS observation identified this tubarial salivary gland as having a mixed seromucous type.

Keywords: Tubarial salivary gland, LM technique, H&E staining, PAS staining,

[1] ภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Department of Anatomy, Faculty of Medical Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author: pisids@nu.ac.th

บทนำ

ต่อมน้ำลายทูบาเรียล หรือ Tubarial salivary gland เป็นต่อมน้ำลายใหม่ที่ถูกค้นพบโดยบังเอิญจากขั้นตอนการตรวจผู้ป่วยด้วยวิธี positron emission tomography/computed tomography with prostate-specific membrane antigen ligands (PSMA PET/CT) และเผยแพร่ครั้งแรกในปี 2021 โดย Valstar และคณะ ซึ่งการศึกษาทั้งด้านโครงสร้างของต่อมน้ำลายชนิดนี้ยังมีอยู่จำกัด โดยการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการศึกษาโครงสร้างของ Tubarial salivary gland ในหนูทดลอง ซึ่งยังไม่พบข้อมูลที่ศึกษาในของคน ทำให้ยังมีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะอธิบายโครงสร้าง แหล่งที่อยู่ บทบาทหน้าที่ และความสำคัญของต่อมน้ำลายชนิดนี้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงต้องการศึกษาโครงสร้างระดับจุลกายวิภาคของ Tubarial salivary gland ของร่างอาจารย์ใหญ่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาโครงสร้างและหน้าที่ รวมทั้งใช้ในการจำแนกประเภทของ Tubarial salivary gland ว่าเป็นต่อมน้ำลายชนิดที่หลั่งสาร serous หรือ mucous โดยการย้อมด้วยสี H&E และ PAS ยิ่งไปกว่านั้นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ จะเป็นความรู้ใหม่ที่สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนของรายวิชาต่าง ๆ ในสาขากายวิภาคศาสตร์อีกด้วย

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

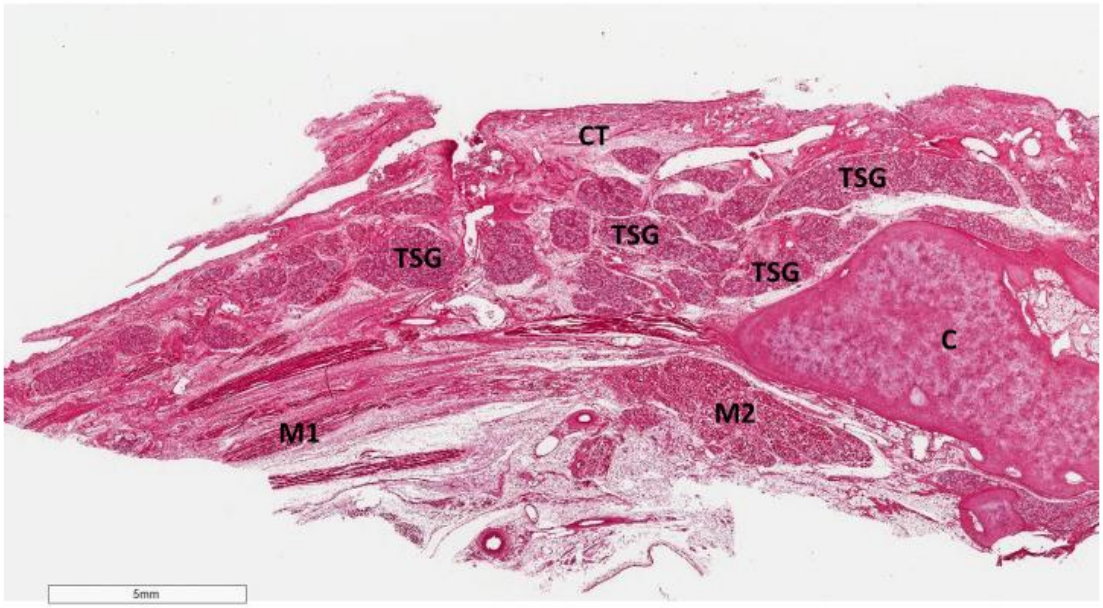
ชิ้นเนื้อที่นำมาศึกษาเป็นชิ้นเนื้อของต่อมน้ำลายในส่วนต่าง ๆ ของร่างอาจารย์ใหญ่ที่ผ่านการรักษาสภาพมาแล้วจากภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมาจากร่างอาจารย์ใหญ่เพศชายจำนวน 9 ท่าน(N=9) และเป็นอาจารย์ใหญ่เพศหญิงจำนวน 6 ท่าน(N=6) โดยเก็บชิ้นเนื้อในส่วนของโครงสร้าง Parotid gland, Submandibular gland, Lip และ Tubarial salivary gland ซึ่งในส่วนของ Tubarial salivary gland ทำการเก็บชิ้นเนื้อบริเวณ Nasopharynx โดยยึด Opening of Eustachian tube เป็นส่วนบนสุดและทำการตัดลงมาตามแนวของ Salpingopharyngeal fold เก็บชิ้นเนื้อด้าน posterior ตามแนวที่ตัดไว้เพื่อนำมาศึกษา ชิ้นเนื้อทุกอย่างถูกรักษาสภาพอีกครั้งด้วย 10%Neutral buffered formalin นำชิ้นเนื้อไปผ่านกระบวนการ Tissue processing ด้วย Alcohol, Xylene และ Paraffin ด้วยเครื่อง Auto tissue processor ทำการฝังและขึ้นรูปพาราฟินด้วยเครื่อง Tissue embedding หลังจากนั้นตัดชิ้นเนื้อด้วยเครื่อง Microtome ที่ความหนา 4 ไมโครเมตร ทำการย้อมเทคนิค H&E และ PAS ทำการเก็บรูปภาพทั้งหมดด้วยเครื่อง scan side เพื่อให้ได้ภาพชิ้นเนื้อทั้งหมดบนสไลด์ที่ผ่านการย้อม ทำการ snap รูปจากโปรแกรม Aperio Imagescope V.12.4.0.5043 ตามกำลังขยายที่ต้องการนำมาศึกษาโครงสร้างของ Tubarial salivary gland และนำภาพมาศึกษาร้อยละพื้นที่ของ Tubarial salivary gland ต่อพื้นที่สไลด์ทั้งหมดด้วยโปรแกรม ImageJ นำค่าที่ได้มาวิเคราห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยใช้ Independent T-Test วิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงที่ $p \leq 0.05$

ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลองในการวิจัยครั้งนี้แบ่งตามหัวข้อการทดลองดังต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาด้วยเทคนิคการย้อม H&E

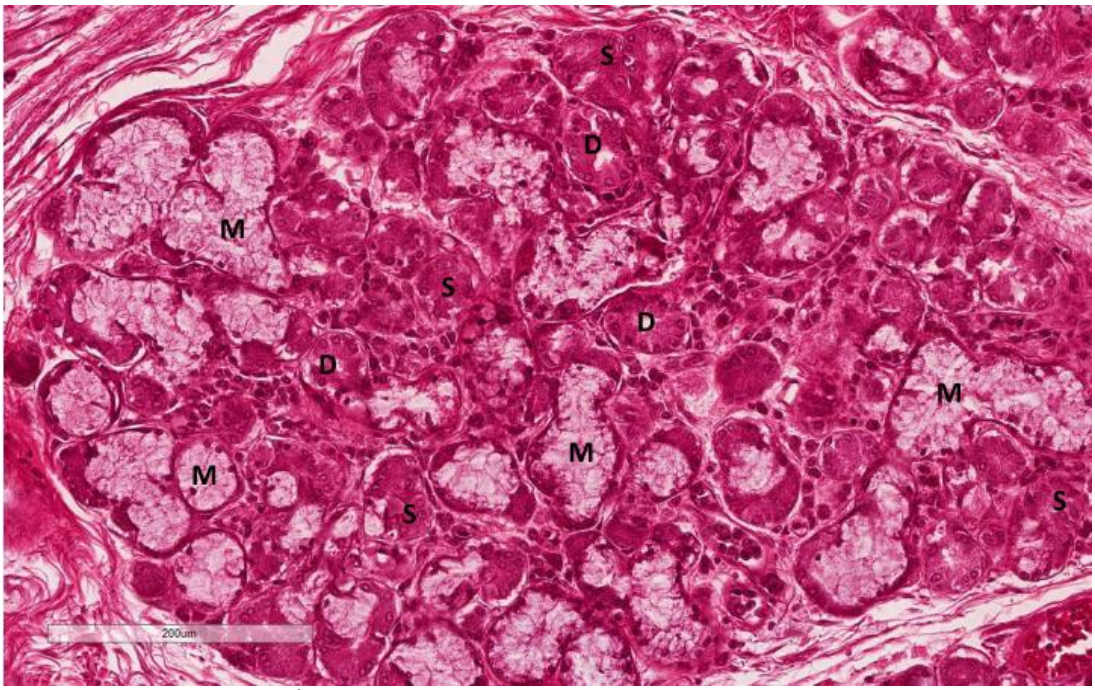
จากการย้อมเนื้อเยื่อด้วยเทคนิค Hematoxylin and Eosin นำมาศึกษาด้วยเครื่องสแกนสไลด์เนื้อเยื่อ และได้นำรูปภาพที่ได้จากการสแกนสไลด์นำมาศึกษาในรูปที่ 1 ที่มีกำลังขยาย 0.4X พบว่ามีกลุ่มของ Tubarial salivary gland (TSG) จำนวนมากกระจายตัวอยู่ในเนื้อเยื่อ โดยมีการรวมกันอยู่เป็นกลุ่ม วางตัวอยู่ระหว่างชั้น connective tissue (CT) และเรียงไปตามแนวของโครงสร้างของกระดูกอ่อน (C) กล้ามเนื้อที่ถูกตัดตามยาว (M1) และกล้ามเนื้อที่ถูกตัดตามขวาง (M2) นอกจากนั้นพบหลอดเหลือดกระจายอยู่ทั่วไปตามพื้นที่ต่าง ๆ ของเนื้อเยื่อ



รูปที่ 1 เนื้อเยื่อย้อมด้วยเทคนิค H&E ที่กำลังขยาย 0.4X แสดงโครงสร้าง Tubarial salivary gland (TSG) กล้ามเนื้อ (M) และกระดูกอ่อน(C)

จากรูปเนื้อเยื่อที่ย้อมด้วยเทคนิค Hematoxylin and Eosin (รูปที่ 1) มีกลุ่มของ Tubarial salivary gland ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Minor salivary gland กระจายอยู่ตามแนวของ Epithelium of Nasopharynx เพื่อส่งสารที่คัดหลั่งจากต่อมไปสู่พื้นผิวของ Nasopharynx เพื่อทำให้ชุ่มชื้น และดักจับสิ่งแปลกปลอมตามสารที่หลั่งออกมา จำนวนของ Minor salivary gland มีจำนวนมากกว่า 1000 ต่อม [1–4] จากบทความที่เกี่ยวกับ Tubarial salivary gland ได้มีการเรียกชื่อของ Tubarial salivary gland แตกต่างกันออกไปยกตัวอย่างเช่น Seromucinous gland ที่ Nasopharynx ในหนู[5] ส่วนโครงสร้างอื่น ๆ ที่อยู่ในภาพส่วนของกระดูกอ่อนเป็น Cartilage of Eutachian tube ทำหน้าที่คงรูปร่างให้เป็นท่อ ส่วนกล้ามเนื้อที่เห็นตามแนวตัดตามยาวคือ Salpingopharyngeus muscle (M1) และกล้ามเนื้อที่เห็นตามแนวตัดตามขวางคือ Levator veli palatini muscle (M2) เนื่องจากเก็บเนื้อเยื่อโดยการตัดตามแนว Salpingopharyngeal fold ลงมา

รูปที่ 2 เป็นภาพแสดงโครงสร้างของ Tubarial salivary gland ที่กำลังขยาย 15X พบกลุ่มเซลล์ และเนื้อเยื่อที่รวมตัวกันเป็น Tubarial salivary gland วางตัวอยู่ระหว่าง connective tissue ภายใน Tubarial salivary gland ประกอบด้วยเซลล์ที่ cytoplasm ติดสีเข้มคือ Serous acini (S) เซลล์ที่ cytoplasm ติดสีจางคือ Mucous acini (M) มีท่อที่มีเซลล์เรียงตัวล้อมรอบท่อเพียงชั้นเดียว (D) กระจายอยู่ภายใน Tubarial salivary gland นอกจากนั้นยังพบหลอดเลือดกระจายตัวอยู่ทั่วภายใน Tubarial salivary gland อีกด้วย



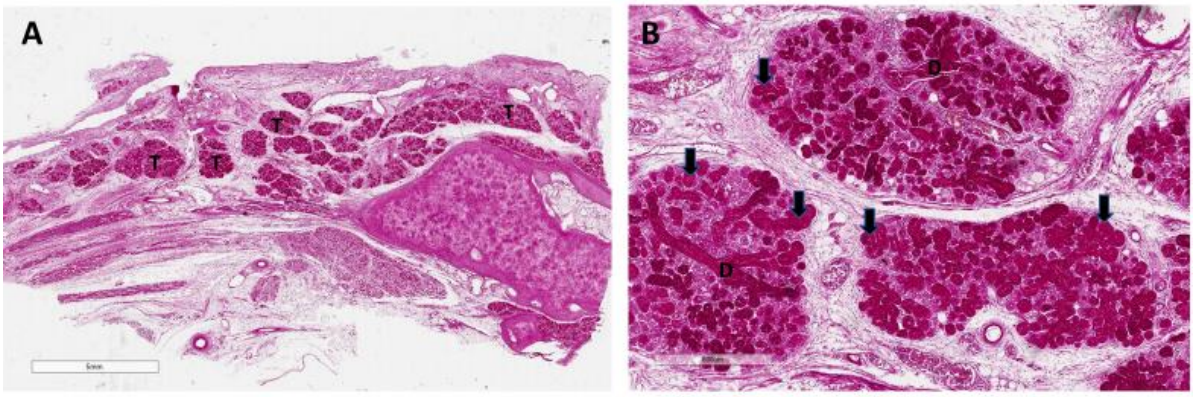
รูปที่ 2 ภาพกำลังขยาย 15X ของ Tubarial salivary gland
แสดงโครงสร้าง Mucous acini (M) Serous acini (S) และ Duct (D)

จากภาพผลการทดลองพบ Serous acini ซึ่งเป็นเซลล์ที่ cytoplasm ติดสีเข้มและ Mucous acini เซลล์ที่ cytoplasm มีขนาดใหญ่และติดสีจาง ลักษณะของ Serous acini ที่ cytoplasm ติดสีเข้มเกิดจากมี Rough endoplasmic reticulum จำนวนมาก และพบ nucleus กระจายตัวอยู่ใน Serous acini ส่วนลักษณะของ Mucous acini มี nucleus มีลักษณะแบนวางตัวอยู่ด้านขอบของเซลล์ ส่วนของ cytoplasm ติดสีจาง มีขนาดใหญ่ทำให้เห็นขอบเขตของเซลล์ได้ชัดเจน ภายใน Tubarial salivary gland ยังพบท่อ (duct) แทรกตัวอยู่ด้วยซึ่งลักษณะที่พบนี้มีลักษณะเหมือนกับ Interlobular duct ที่พบใน Submandibular gland แต่เนื่องจาก Tubarial salivary gland ไม่แบ่งตัวเป็น lobe จึงยังไม่สามารถเรียกท่อที่พบว่า Interlobular duct ได้

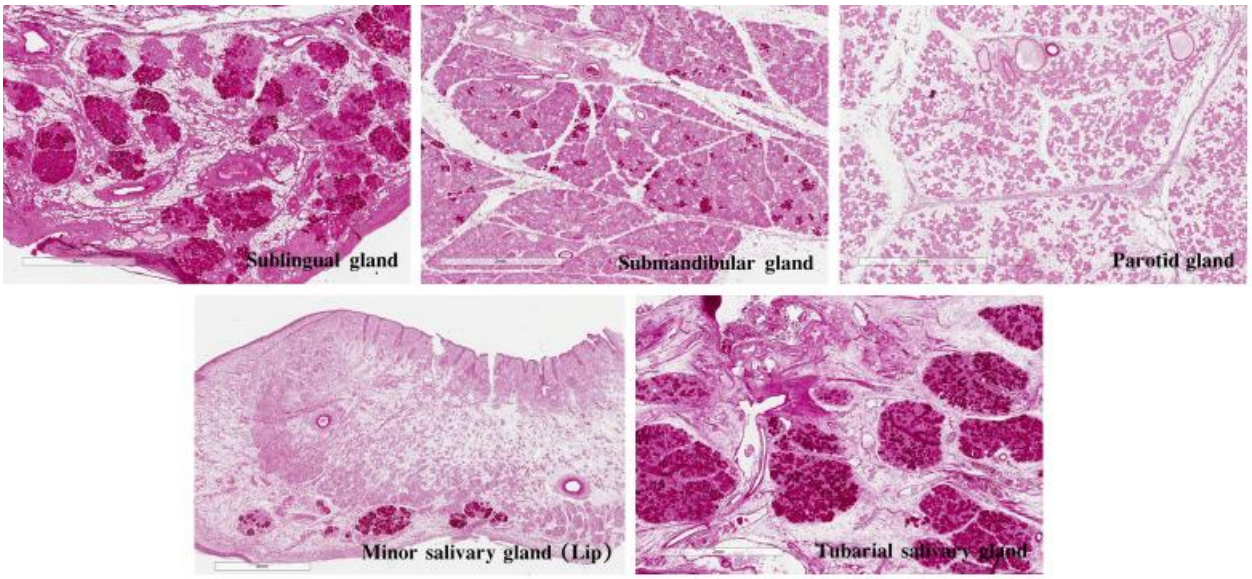
จากผลการทดลองที่พบว่า Tubarial salivary gland มีทั้ง Serous acini และ Mucous acini ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า Tubarial salivary gland เป็นต่อมน้ำลายชนิด Mixed seromucous gland และในงานวิจัยครั้งนี้ให้ทำการยืนยันว่า Tubarial salivary gland มีส่วนของ Mucous acini จริงหรือไม่โดยการนำไปย้อมด้วย PAS โดยผลการทดลองจะนำเสนอในส่วนผลการทดลอง PAS ต่อไป

2. ผลการศึกษาด้วยเทคนิคการย้อม PAS

จากการย้อมเนื้อเยื่อด้วยเทคนิค Periodic acid Schiff (PAS) นำมาศึกษาด้วยเครื่องสแกนสไลด์เนื้อเยื่อ และได้นำรูปภาพที่ได้จากการสแกนสไลด์นำมาศึกษาการติดสี PAS จากรูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของ Tubarial salivary gland ในภาพ A มีกำลังขยาย 0.4x พบโครงสร้าง Tubarial salivary gland ที่ระบุด้วยอักษร T มีลักษณะติดสีชมพูเข้มกระจายตัวอยู่ทั่วไปในพื้นที่ของเนื้อเยื่อทั้งหมด ในภาพ B ได้ทำการเพิ่มกำลังเป็น 3.7x พบว่ากลุ่มเซลล์ Mucous acini (ที่ลูกศรชี้) ติดสีชมพูเข้ม นอกจากนั้นยังพบว่าท่อของต่อมน้ำลาย (D) ยังติดสีชมพูเข้มอีกด้วย



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของ Tubarial salivary glandที่ย้อมด้วย PAS
โดยภาพ A มีกำลังขยาย 0.4X, ภาพ B มีกำลังขยาย 3.7X



รูปที่ 4 แสดงการติดสี PAS ในต่อมน้ำลายชนิดต่าง ๆ ในร่างกายมนุษย์

ในรูปที่ 4 แสดง Salivary gland ที่พบในร่างกายมนุษย์จำนวน 5 ต่อมนำมาย้อมด้วย PAS จากรูปทำการวิเคราห์พบผลการทดลองดังนี้

Sublingual gland ถ่ายที่กำลังขยาย 1.5X มี Mucous acini ติดสีชมพูเข้มจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วทั้งต่อม และยังพบส่วนของ Serous acini ติดสีจาง (ในส่วนของพื้นที่ต่อมน้ำลาย) ซึ่งบ่งบอกได้ว่าเป็นต่อมแบบ Mixed seromucous gland โดยลักษณะของ Sublingual gland จะอยู่เป็นกลุ่มก้อน กระจายไปทั่วพื้นที่ของต่อมโดยมีส่วนของ Connective tissue จำนวนมากแทรกอยู่ระหว่างกลุ่มก้อนของต่อมทำให้การจัดเรียงตัวของกลุ่มก้อนนั้นไม่เป็นระเบียบ

Submandibular gland ถ่ายที่กำลังขยาย 1.6X มี Mucous acini ติดสีชมพูเข้มจำนวนมากกระจายอยู่บ้างเล็กน้อย และมี Serous acini ติดสีจางเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของ Submandibular gland ซึ่งก็ยังเป็นต่อมแบบ Mixed seromucous gland การจัดเรียงตัวของ Submandibular gland จัดตัวค่อนข้างเป็นระเบียบพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นส่วนของต่อม มี Connective tissue แทรกตัวอยู่เล็กน้อยล้อมรอบทั้งต่อม และยังแทรกเข้ามาภายในต่อมทำให้ต่อมแบ่งเป็น lobe ที่มีขนาดไม่เท่ากัน

Parotid gland ถ่ายที่กำลังขยาย 1.7X ไม่พบ Mucous acini พบแต่ส่วนของ Serous acini กระจายตัวทั่วทั้งต่อมโดยมี Connective tissue แทรกตัวอยู่ภายในต่อมโดยแบ่งเป็น lobe ที่ค่อนข้างจะเท่า ๆ กัน โดย Parotid gland เป็นต่อมน้ำลายแบบ Serous gland

Lip ถ่ายที่กำลังขยาย 0.6X พบ Labial gland ซึ่งเป็น Minor salivary gland ต่อมหนึ่ง ซึ่งลักษณะของ Labial gland มี Mucous acini กระจายอยู่ในพื้นที่ส่วนใหญ่ของต่อมน้ำลาย และมี Serous acini อยู่บ้าง โดยกลุ่มของต่อมกระจายอยู่ใกล้ epithelium ที่อยู่ภายใน oral cavity โดยกลุ่มของต่อมน้ำลายนี้มีทั้งต่อมที่เป็นแบบ Mixed seromucous gland, Serous gland และ Mucous gland

Tubarial salivary gland ถ่ายที่กำลังขยาย 1.7X มี Mucous acini ติดสีชมพูเข้มจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วทั้งต่อม และยังพบส่วนของ Serous acini ติดสีจาง ซึ่งบ่งบอกได้ว่าเป็นต่อมแบบ Mixed seromucous gland โดยลักษณะของ Tubarial salivary gland มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนคล้ายกับ Sublingual gland

Periodic Acid Schiff (PAS) ใช้ในการย้อมสารจำพวก carbohydrate, glycogen, mucoprotein, และ glycolipid โดย Schiff's reagent นอกจากนั้นยังใช้ PAS ในการย้อมศึกษา Mucin ในเนื้อเยื่อ [6] ดังนั้นจึงนำใช้ศึกษา Mucous acini ในต่อมน้ำลาย และ Tubarial salivary gland การยืนยันว่ามี Mucous acini ดูได้จากการติดสีชมพูเข้มในเนื้อเยื่อทำให้แยกต่อมน้ำลายได้ว่าเป็นต่อมที่มี Mucous acini หรือถ้าไม่ติดสีชมพูเข้มภายในต่อมน้ำลายก็สามารถยืนยันได้ว่าเป็นต่อมแบบ Serous gland จึงสามารถแยกว่าเป็นต่อมชนิดใดได้โดยจากผลการทดลองสรุปได้ว่า Parotid gland เป็นต่อมแบบ Serous gland ส่วน Submandibular gland, Sublingual gland, Lip และ Tubarial salivary gland เป็นต่อมแบบ Mixed seromucous gland

ต่อมน้ำลายในร่างกายแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ Major salivary gland และ Minor salivary gland กลุ่มของ Major salivary gland ประกอบด้วย Parotid gland, Submandibular gland และ Sublingual gland โดยแต่ละต่อมมีอัตราการหลั่งน้ำลายคือ Parotid gland 20%, Submandibular gland 70% และ Sublingual gland 5% [7] ส่วน Minor salivary gland เป็นต่อมน้ำลายขนาดเล็กมีจำนวนประมาณ 800–1000 ต่อมกระจายอยู่ในชั้น submucosa [8] ซึ่งส่วนใหญ่เป็นต่อมแบบ Mixed seromucous gland กระจายอยู่ทั่วไปภายใน Oral cavity รวมไปถึงส่วนของ Pharynx

ในส่วนของ Tubarial salivary gland มีลักษณะคล้ายกับ Sublingual gland ข้อมูลของ Tubarial salivary gland มีจำนวนน้อยเนื่องจากถูกค้นพบโดยกลุ่มแพทย์ที่ใช้ radiotherapy ทำให้พบกับต่อมนี้ครั้งแรกในปี 2021 [9] ซึ่งการทดลองครั้งนี้ทำให้ทราบว่าเป็นต่อแบบ Mixed seromucous gland มีลักษณะคล้ายกับ Sublingual gland กระจายทั่วไปบริเวณรอบ Opening of Eustachian tube แต่ยังไม่ทราบขอบเขตตำแหน่งที่แน่ชัดจึงมีความจำเป็นในการศึกษาครั้งต่อไป

3. ผลการศึกษาพื้นที่ของ Tubarial salivary gland

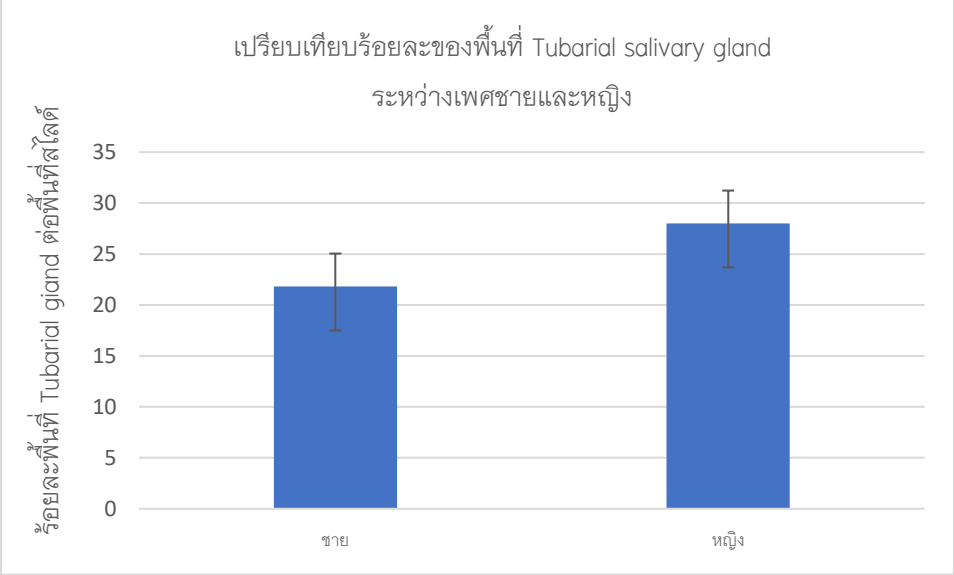
การศึกษาพื้นที่ของ Tubarial salivary gland ทำการวัดพื้นที่จากภาพที่ทำการ snap ภาพและนำมาวัดพื้นที่โดยใช้โปรแกรม ImageJ โดยแยกชาย หญิงตามประวัติของอาจารย์ใหญ่ซึ่งมีรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงพื้นที่ของ Tubarial salivary gland

ตัวอย่างที่	พื้นที่ Tubarial salivary gland (mm^2)	พื้นที่ Tubarial salivary gland/ พื้นที่สไลด์ทั้งหมด (%)	เพศ
N1	33.54	27.75	ชาย
N2	19.49	11.89	ชาย
N3	32.56	20.89	หญิง
N4	63.81	14.73	หญิง
N5	39.08	17.01	ชาย
N6	53.70	43.73	ชาย
N7	37.27	20.26	ชาย
N8	58.71	40.34	หญิง
N9	25.24	15.43	ชาย
N10	37.77	21.23	หญิง
N11	44.39	24.53	ชาย
N12	26.94	26.66	หญิง
N13	33.17	22.29	ชาย
N14	27.19	17.11	หญิง
N15	19.62	13.36	ชาย
ค่าเฉลี่ย	**36.85**	**24.28**	

จากการวัดพื้นที่ของ Tubarial salivary gland โดยการนำไฟล์รูปภาพเข้าโปรแกรม ImageJ โดยพื้นที่ที่ได้ทำการจัดข้อมูลเป็น 2 ข้อมูลคือ พื้นที่ของ Tubarial salivary gland ที่มีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm^2) และพื้นที่ Tubarial salivary gland ต่อพื้นที่ของเนื้อเยื่อที่อยู่บนสไลด์ทั้งหมดจากอาจารย์ใหญ่ทั้งหมด 15 ท่าน โดยไม่แยกเพศของอาจารย์ใหญ่ โดยข้อมูลของพื้นที่ของ Tubarial salivary gland มีพื้นที่มากที่สุดอยู่ที่ 63.81 ตารางมิลลิเมตร พื้นที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 19.49 ตารางมิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยของพื้นที่อยู่ที่ 36.85 ตารางมิลลิเมตร ส่วนพื้นที่ Tubarial salivary gland ต่อพื้นที่ของเนื้อเยื่อที่อยู่บนสไลด์ทั้งหมดมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 40.34% ค่าน้อยสุดอยู่ที่ 11.89% และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 24.28%

จากผลการทดลองในส่วนของพื้นที่ Tubarial salivary gland มีพื้นที่มากที่สุดอยู่ที่ 63.81 ตารางมิลลิเมตร พื้นที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 19.49 ตารางมิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยของพื้นที่อยู่ที่ 36.85 ตารางมิลลิเมตร มีค่าที่แตกต่างกันมากอาจจะเกิดจากลักษณะของ Tubarial salivary gland ไม่มีตำแหน่งที่อยู่ที่แน่นอน ซึ่งอาจจะกระจายไปทั่วบริเวณ Epithelium of Nasopharynx ทำให้การตัดชิ้นเนื้อไม่พบบริเวณที่มีส่วนของต่อม นอกจากนั้นเนื่องจากยังไม่มีข้อมูลพื้นที่ Tubarial salivary gland ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาได้



แผนภูมิ แสดงการเปรียบเทียบร้อยละของพื้นที่ Tubarial salivary gland ระหว่างเพศชายและหญิง

การเปรียบเทียบร้อยละของพื้นที่ Tubarial salivary gland ระหว่างเพศชายและหญิงโดยนำข้อมูลจากตารางที่ 1 นำข้อมูลแบ่งกลุ่มเพศชายและเพศหญิงนำมาเปรียบเทียบกันด้วยโปรแกรม SPSS โดยใช้ Independent T-Test วิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงที่ $p \leq 0.05$ โดยมีกลุ่มเพศชายจำนวน 9 ท่านมีค่าเฉลี่ยร้อยละของพื้นที่ Tubarial salivary gland อยู่ที่ 21.81 กลุ่มเพศหญิงจำนวน 6 ท่าน มีค่าเฉลี่ยร้อยละของพื้นที่ Tubarial salivary gland อยู่ที่ 27.99 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงมีค่า p อยู่ที่ 0.57 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 5.3

จากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับ ขนาดและน้ำหนักของต่อมน้ำลายชนิดต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาเปรียบเทียบขนาด น้ำหนักและปริมาณของการหลั่งน้ำลายได้ตามข้อมูลดังนี้

Parotid gland โดยวัดขนาดจากการทำ Ultrasound มีขนาด 3–4 ตารางเซนติเมตร [10] และมีน้ำหนักประมาณ 15 – 30 กรัม [13] ซึ่ง Parotid gland เป็นต่อมน้ำลายที่มีขนาดใหญ่สุดในร่างกายมนุษย์ แต่สามารถหลั่งน้ำลายได้ เพียง 20% ของน้ำลายทั้งหมด

Submandibular gland ของมนุษย์มีขนาดความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 27 มิลลิเมตร ความกว้างเฉลี่ยอยู่ที่ 14.3 มิตรลิ-เมตร [11] และมีน้ำหนักประมาณ 7 – 16 กรัม [13] เป็นต่อมน้ำลายที่ใหญ่เป็นอันดับสองรองมาจาก Parotid gland แต่สามารถสร้างน้ำลายได้ 70% ของน้ำลายที่สร้างทั้งหมด

Sublingual gland มีน้ำหนักประมาณ 2 – 4 กรัม [13] ส่วนขนาดยังไม่มีข้อมูล สามารถสร้างน้ำลายได้ 5% ของน้ำลายที่สร้างทั้งหมด

Labial gland มีน้ำหนักประมาณ 50 มิลลิกรัม และมีประมาณ 5–8 ต่อมต่อ 1 ใน 4 เซนติเมตรของพื้นที่พื้นผิวด้านในของ Lip [14]

ในส่วนของ Tubarial salivary gland มีการศึกษาโดยใช้เทคนิค PSMA PET/CT พบว่ามีพื้นที่ PSMA–positive ทั้ง 2 ข้าง โดยมีความยาวตามแนว cranio–caudal โดยมีค่า Medial ที่ 3.9 เซนติเมตร (1.0 – 5.7 cm) [9] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ Parotid gland มีขนาดที่ใกล้เคียงกันมาก และยังมีขนาดใหญ่ กว่า Submandibular gland และ Sublingual gland และเมื่อสังเกตุจากผลการทดลองในส่วนของพื้นที่ของ Tubarial salivary gland ที่วัดขนาดพื้นที่จากรูปที่ถ่ายจากการตัด และย้อมเนื้อเยื่อและนำมาวัดด้วยโปรแกรม ImageJ พบพื้นที่ที่มากที่สุดอยู่ที่ พื้นที่มากที่สุดอยู่ที่ 63.81 ตารางมิลลิเมตร พื้นที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 19.49 ตารางมิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยของพื้นที่อยู่ที่ 36.85 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งนับว่ามีขนาดใหญ่ เนื่องจากพื้นที่ที่นำชิ้นเนื้อมาทำสไลด์ยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของ Tubarial salivary gland แต่ยังสามารถทำให้เห็นว่า Tubarial salivary gland มีพื้นที่ค่อนข้างมาก และมีความสำคัญในการช่วยสร้างน้ำลายให้กับร่างกายมนุษย์ ส่วนเรื่องเพศไม่มีผลต่อพื้นที่ของ Tubarial salivary gland ในการทดลองครั้งนี้

สรุปผลการศึกษา

จากการนำเนื้อเยื่อบริเวณของ Nasopharynx โดยยึด Opening of Eustachian tube เป็นส่วนบนสุดและทำการตัดลงมาตามแนวของ Salpingopharyngeal fold ของอาจารย์ใหญ่เพื่อศึกษา Tubarial salivary gland ซึ่งจากการศึกษาด้วยการย้อมด้วยสี H&E พบว่ามีกลุ่มของ Tubarial salivary gland จำนวนมากกระจายตัวอยู่ในเนื้อเยื่อ โดยมีวางตัวอยู่ระหว่างชั้น connective tissue เรียงไปตามแนวของโครงสร้างของกระดูกอ่อน และกล้ามเนื้อ ซึ่งเมื่อเพิ่มกำลังขยายเพื่อศึกษาพบว่าโครงสร้างของ Tubarial salivary gland ประกอบด้วย Serous acini และ Mucous acini พบท่อที่มีเซลล์เรียงตัวล้อมรอบท่อเพียงชั้นเดียว ซึ่งจากการที่พบ Serous acini และ Mucous acini อยู่ในเนื้อเยื่อของต่อมน้ำลายสามารถยืนยันได้ว่า Tubarial salivary gland เป็นต่อมแบบ Mixed seromucous gland นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการยืนยันว่า Tubarial salivary gland เป็นต่อมแบบ Mixed seromucous gland เพื่อความชัดเจนโดยใช้การย้อม PAS เพื่อย้อม Mucous พบว่า Sublingual gland ติดสีชมพูเข้มในบางส่วนของต่อม ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าเป็นต่อมแบบ Mixed seromucous gland และมีลักษณะคล้ายกับ Sublingual gland มากที่สุด และเมื่อทำการศึกษาพื้นที่ของ Tubarial salivary gland จากภาพถ่ายพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 36.85 ตารางมิลลิเมตร และพื้นที่ของ Tubarial salivary gland ต่อพื้นที่เนื้อเยื่อทั้งหมดในภาพพบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 24.28 % และเมื่อนำร้อยละพื้นที่ Tubarial salivary gland ต่อพื้นที่เนื้อเยื่อทั้งหมดนำมาเปรียบเทียบระหว่างชายหญิงพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ใหญ่ทุกท่านที่ได้มอบอุทิศร่างกายเพื่อการศึกษาและได้มอบเนื้อเยื่อเพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ขอบคุณภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่มอบทุนวิจัยสถาบัน

เอกสารอ้างอิง

1. Holsinger F, Bui D. Salivary gland disorders. Berlin Heidelberg: Springer–Verlag; 2007.
2. Tuckers A, Ekstroem J, Khosravani N. Salivary gland disorders and diseases: diagnosis and management. Stuttgart and New York: Thieme; 2011.
3. Tos M. Mucous glands in the developing human rhinopharynx. Laryngoscope 1977; 87:987–95.
4. Richardson MS. Head and neck pathology (a volume of foundations in diagnostic pathology). 2nd ed. Elsevier; 2013.
5. Jack R. Harkema, Stephan A. Carey and James G. Wagner, Suzanne M. Dintzis and Denny Liggitt. Comparative anatomy and histology; A mouse and human atlas (Nose, Sinus, Pharynx, and Larynx). USA: Academic Press; 2012.
6. David K. Meyerholz, Amanda P. Beck, J. Adam Goeken, Mariah R. Leidinger, Georgina K. Ofori–Amanfo, Hannah C. Brown, Thomas R. Businga, David A. Stoitz, Leah R. Reznikov, and Heather A. Flaherty. Glycogen depletion can increase the specificity of mucin detection in airway tissue. BMC Res Notes. 2018; 11:763.
7. Nanci A. Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure, and Function. Ninth ed. Canada: Elsevier; 2016.
8. Nanci A. Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure, and Function. 8th ed. St. Louis: Elsevier; 2013.
9. Valstar, Matthijs H.; de Bakker, Bernadette S.; Steenbakkers, Roel J. H. M.; de Jong, Kees H.; Smit, Laura A.; Klein Nulent, Thomas J. W.; van Es, Robert J. J.; Hofland, Ingrid; de Keizer, Bart; Jasperse, Bas; Balm, Alfons J. M.; van der Schaaf, Arjen; Langendijk, Johannes A.; Smeele, Ludi E.; Vogel, Wouter V. "The tubarial salivary glands: A potential new organ at risk for radiotherapy". Radiotherapy and Oncology. 2020; 154:292–298.
10. Marteau P, Cornec D, Gouillou M et al: Assessment of major salivary gland size in primary Sj6gren's syndrome: Comparison between clinical examination and ultrasonography. Joint Bone Spine. 2019; 86(5):627–632.
11. Asai, S.; Okami, K.; Nakamura, N.; Shiraishi, S.; Yamashita, T.; Anar, D.; Matsushita, H.; Miyachi, H. "Sonographic appearance of the submandibular glands in patients with immunoglobulin G4–related disease". Journal of Ultrasound in Medicine. 2012; 31(3):489–493.
12. H. Ohshima. Dental and oral biology, Anatomy. Reference module in Biomedical science. 2014.
13. F. Barone, S. Colafrancesco, J. Campos. Chapter 11 – Histology of Sj6gren's Syndrome. Sj6gren's Syndrome. Novel Insights in Pathogenic, Clinical and Therapeutic Aspects. 2016; 171–187.
14. Speirs RL. Secretion of saliva by human lip mucous glands and parotid glands in response to gustatory stimuli and chewing. Arch Oral Biol 1984; 29:945–8.

Molecular modeling study of chromone derivatives as potential inhibitor of SARS-CoV-2 Main Protease

Narumol Phosrithong[1*]

Abstract

The COVID-19 epidemic caused by the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) has been identified as a global public health emergency. It is critical for developing novel potential inhibitors against SARS-CoV-2 major protease (Mpro), which has been established as a promising target for therapeutic design. Mpro is a SARS-CoV-2 protease enzyme that plays an essential role in viral replication and transcription, making it an appealing therapeutic target for this virus. This study employed the molecular docking method to investigate the potential for an inhibitory effect of chromone group members against SARS-CoV-2's Mpro using Autodock 4.2 program. In order to choose the potential tested molecules of choice, the binding affinities of the complex formed by each chromone compound and the enzyme's binding site were examined. Compound 15 showed the highest binding affinity among the examined compounds with binding energy -10.64 kcal/mol. According to the findings, this substance could be developed further to become a disease-treating medicine with a potent inhibitory action against Mpro.

Keywords: Docking, COVID-19, SARS-CoV-2's protease, Chromone derivatives

Introduction

Since the outbreak of COVID-19 in December 2019, the number of reported cases has risen. As of 22 October 2023, over 771 million confirmed cases and over six million deaths have been reported globally. [1]. The severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) belongs to the family Coronaviridae [2,3]. The SARS-CoV-2 virus has an RNA genome made of 30,000 nucleotides. The virus' replicase genes encode for two overlapping polyproteins, PP1A and PP1AB, which are required for viral replication and transcription [4-6]. These polyproteins are modified into functional polypeptides after proteolytic cleavage by the main protease (Mpro), the 3C-like protease. SARS-CoV-2 consists of three domains, domains I, domain II and domain III. Domain I (residues 8–101) and II (residues 102–184) have an antiparallel β-barrel structure. Domain III (residues 201–303) contains five α-helices arranged into a large antiparallel globular cluster, which is connected to domain II employing an extended loop region (residues 185–200) [4]. SARS-CoV-2 Mpro has a Cys-His catalytic dyad, and the substrate-binding site is located in a cleft between domain I and domain II [4]. It functions by consuming the polyprotein with more than 11 conserved sites, starting with the autolytic cleavage of this enzyme from PP1A and PP1AB. Mpro is

[1] Faculty of Pharmacy, Siam University, 38 Petchkasem Road, Bangkok, 10160

*Corresponding author: narumol.pho@siam.edu

a crucial enzyme of coronaviruses and has a pivotal role in mediating viral replication and transcription, making it an attractive drug target for SARS–CoV–2 [5,6].

Although vaccine development is being undertaken at a breakneck speed, there is no anti–SARS–CoV–2 drug available to date. Under urgent circumstances, anti–HIV agents have been tested against SARS–CoV–2 main protease and shown effectiveness against the viral enzyme [7–8]. Fortunately, the combination of anti–HIV protease agents, lopinavir and ritonavir, was currently employed in a clinical trial against COVID–19 in patients with mild and moderate COVID–19 [9].

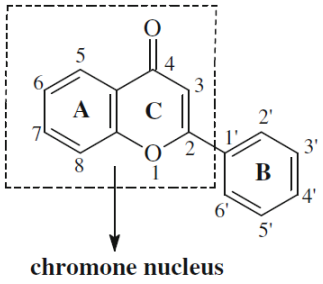


Figure. 1 General structure of flavonoids and chromones

Chromone (4H–chromen–4–one, 4H–1–benzopyran–4–one) is an essential class of oxygen–containing heterocyclic compounds which are part of the flavonoid family (Fig. 1). Flavonoids were found to inhibit different targets of coronaviruses, such as SARS and MERS [10], by blocking the enzymatic activities of viral proteases like 3–chymotrypsin–like protease (3CLpro), papain–like protease (PLpro) and helicase. It was also found to interfere with spike (S) proteins, which play a significant role in the entry of the virus into the host cells. Some flavonoids, such as apigenin, luteolin, quercetin, daidzein, epigallocatechin gallate and kaempferol, were reported to inhibit the proteolytic activity of SARS–CoV–2's 3CL hydrolase [11–12].

In the previous study, our research group designed and synthesized chromone compounds and evaluated their pharmacological activities, e.g., anti–HIV–1 protease, antioxidant, anticancer and antimalarial activities [13–18]. In this study, we assessed the docking of 24 chromones (Table 1) and evaluated their potential as inhibitory compounds against the main protease SARS–CoV–2 6LU7 using the AutoDock 4 software [19]

Materials and methods

Molecular docking

Docking was performed with AutoDock 4 (Scripps Research Institute, USA) using an empirical free energy function and a Lamarckian genetic algorithm, with an initial population of 150 randomly placed individuals, no. Maximum energy is 2.5 X 106 power rating, a mutation rate of 0.02 and the crossover ratio is 0.80. One hundred independent docking analyzes were performed for each ligand. Results that differed by less than 2.0 Å in position root mean square deviation (RMSD) were grouped into the same group and represented the result with the most favorable binding free energy.

Ligand preparation

The structures of the twenty-four synthesized chromone derivatives were modelled using the molecular modelling program SYLBYL-X 2.0 (Tripos Associates, Saint Louis, MO) on an Indigo Elan workstation (Silicon Graphics Inc., Mountain View, CA) by sketch method. Fragment libraries from the SYSBYL database are used as building blocks to construct more significant structures. Initially, the energy of each structure was minimized using the standard Tripos force field (Powell method and Å energy gradient convergence criterion of 0.05 kcal/mol Å) and the Gasteiger-Hückel assigned charge method. These confirmations are used as initial conformations to perform the docking process. The structures of the chromone derivatives are shown in Table 1.

Receptor preparation

X-ray crystal structure of the protein main protease (Mpro) (PDB ID: 6LU7 determination 2.16 Å) was obtained from the Brookhaven Protein Information Bank (http://www.rcsb.org/pdb). The receptor was prepared for docking by expulsing water atoms and connected ligands. By utilizing AutoDockTools, polar hydrogen particles were included with combining nonpolar hydrogen molecules. Kollman charges and solvation parameters were doled out by default.

Docking

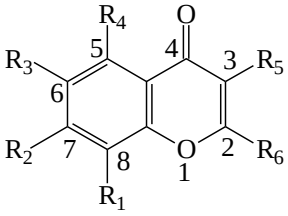
Method validation

The ligand orientations and positions were obtained from the docking studies by the redocking experiment and validated to the certainty of potential binding modes of the inhibitors. The ligand (N-[(5-methylisoxazol-3-yl)carbonyl]alanyl-l-valyl-n~1~-((1R,2Z)-4-(benzyloxy)-4-oxo-1-[[(3R)-2-oxopyrrolidin-3-yl]methyl]but-2-enyl)-l-leucinamide, abbreviated as N3) was docked into the native protein to determine the ability of AutoDock 4.2 program to reproduce the orientation and position of the ligand observed in the crystal structure. The docking results would show the compound with the lowest binding energy when it is bound to the target protein to obtain the RMSD value of the docking compounds. If the RMSD values obtained were less than 2 Å, the docking of the test compounds could be carried out with the target protein in the same grid box area [20-21].

Results and Discussion

The docking simulation was performed using the AutoDock 4.2 program with 24 synthetic chromone derivatives. Each compound was docked into SARS-CoV-2 Main Protease targets. The lowest energy-docked conformation of the most populated cluster was selected and considered. Table 1 summarizes the result of the docking study presented as binding energy (kcal/mol). Most of the 3-substituted chromone compounds (compounds containing benzoyl group at position 3 of the chromone nucleus) showed a higher binding energy -8.58 kcal/mol to -10.64 kcal/mol) than the 3-unsubstituted derivatives (binding energy -5.56 to -7.96 kcal/mol). Compound 15 was found to be an outstanding main protease inhibitor with binding energies of -10.64 kcal/mol. This value was lower than quercetin and remdesivir, recently FDA-approved SARS-CoV-2 drugs [22] (binding energy -8.43 and -8.09 kcal/mol, respectively).

Table 1. Structures and binding energies of chromone derivatives docked with target macromolecule



Cpd	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	Binding energy
1	OH	H	H	H	H	Phenyl	–7.54
2	OH	OH	H	H	H	CH_3	–5.87
3	OH	OH	H	H	H	Benzyl	–7.63
4	OH	OH	H	H	H	Phenyl	–7.94
5	H	OH	H	H	H	CH_3	–5.56
6	H	OH	H	H	H	Benzyl	–7.68
7	H	OH	H	H	CH_3	Benzyl	–7.96
8	H	OH	H	H	H	4'–(*t*–butyl)–Phenyl	–7.90
9	H	OH	H	OH	H	3'–(CF_3)–Phenyl	–7.27
10	H	OH	H	OH	H	4'–(*t*–butyl)–Phenyl	–7.93
11	H	OH	H	OH	H	4'–(OCH_3)–Phenyl	–7.34
12	H	OH	H	OH	H	3'–(OCH_3)–Phenyl	–7.24
13	H	H	OH	H	H	3'–(OCH_3)–Phenyl	–7.56
14	OH	OH	H	H	3"–(CF_3)–benzoyl	3'–(CF_3)–Phenyl	–8.58
15	OH	OH	H	H	3"–(Cl)–benzoyl	3'–(Cl)–Phenyl	–10.64
16	OH	OH	H	H	3"–(OCH_3)–benzoyl	3'–(OCH_3)–Phenyl	–9.88
17	OH	OH	H	H	4"–(F)–benzoyl	4'–(F)–Phenyl	–9.17
18	OH	OH	H	H	4"–(NO_2)–benzoyl	4'–(NO_2)–Phenyl	–8.70
19	H	OH	H	H	3"–(CF_3)–benzoyl	3'–(CF_3)–Phenyl	–8.80
20	H	OH	H	H	3"–(Cl)–benzoyl	3'–(Cl)–Phenyl	–9.85
21	H	OH	H	H	4"–(NO_2)–benzoyl	4'–(NO_2)–Phenyl	–9.44
22	H	OH	H	H	4"–(OCH_3)–benzoyl	4'–(OCH_3)–Phenyl	–9.17
23	H	OH	H	H	4"–(*t*–butyl)–benzoyl	4'–(*t*–butyl)–Phenyl	–8.92
24	H	OH	H	OH	3"–(OCH_3)–benzoyl	3'–(OCH_3)–Phenyl	–9.14

All chromones interacted with His41, Ser46, Tyr54, Phe140, Lue141, Asn142, Gly143, Ser144, Cys145, His163, Met165, Glu166, Lue167, Pro168, Phe185, Asp187, Arg188, Gln189, Thr190, Ala191 and Gln192 residues in the binding pocket of main protein. Compound 15 exhibited the highest binding energy due to the formation of hydrogen bonds between two phenolic hydroxyl groups of chromone nucleus and Arg188, Thr190 and Gln192 at the active site. The 3'–chloro phenyl group at C2 was inserted into the S2 sub–pocket, which was maintained by hydrophobic interactions with His41, Met49, Tyr54 and the alkyl portion of Glu87. Additionally, the 3"–chloro benzoyl group substituted at C3 fitted in the S1 sub site maintained by hydrophobic interactions with Leu141, Asn142, Cys145 and Met165. The results were consistent with the Sacco et. al. [23] that hydrophobic side chain could be accommodated in the S1 pocket (Fig. 2A). Compound 16 exhibited a similar inhibitory binding

mode with compound 15, with a small difference probably due to the 3"–methoxy benzoyl group of compound 16, which formed a hydrogen bond with Gly143 (Fig. 2B)

Comparison of the binding energy for compounds with the same OH and C3 substituted patterns showed that the 3–substituted compounds displayed better activity than the corresponding 3–unsubstituted compounds, for example, compounds 24 (binding energy –9.14 kcal/mol) and 12 (binding energy –7.24 kcal/mol) (Fig. 2C–D). The docking results showed that the substituted benzoyl at C3 forms hydrophobic interaction with hydrophobic residues (< 5Å), including Leu 141, Asn142, Gly143, Ser144 and Cys145, resulting in a ligand–receptor complex with better binding energy. The differences in compound 24 and 12 binding modes are illustrated in Figure 3.

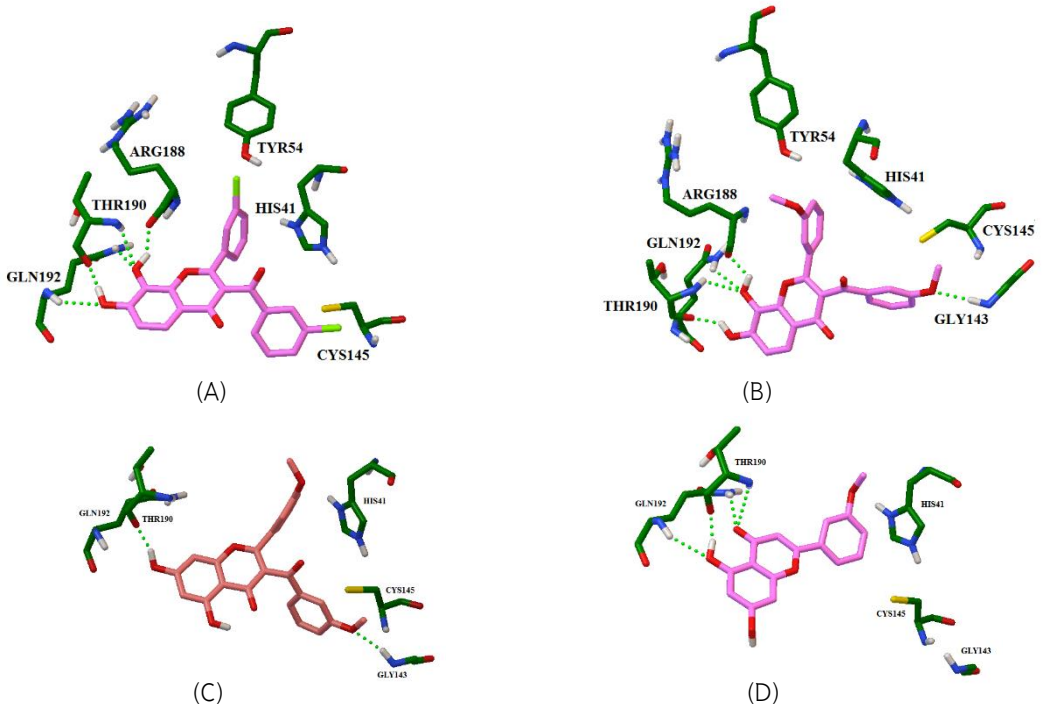


Figure 2. Docking of chromone compounds with SARS–CoV–2 Main Protease. Hydrogen bond interaction between 6GLU7 and compound 15 (A), compound 16 (B), compound 24 (C) and compound 12 (D)

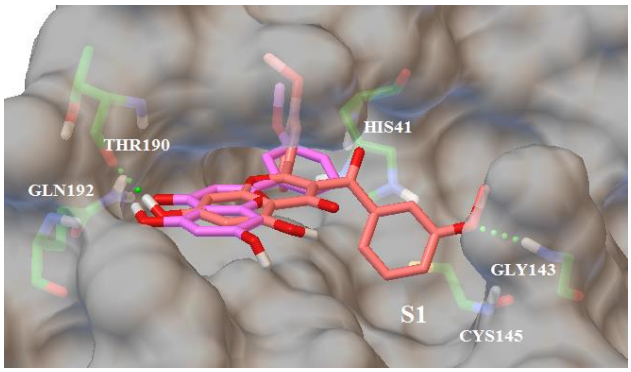


Figure 3: The result of superimposing compound 12 (pink) and compound 24 (orange). The substituted benzoyl group at C3 of compound 15 inserted into S1 site pocket and formed hydrogen bond interaction with Gly143.

Conclusion

In this study, the docking simulation technique was used to investigate the potential of synthetic chromone derivatives against the main protease of SARS-CoV-2. Analyzing the best docked ligands allowed us to identify the binding mode of the compounds included in this study. The results obtained are also helpful to understand the structural features required to enhance the inhibitory activities. However, further studies should be conducted to validate these compounds using in vitro and in vivo models to pave the way for these compounds in drug development.

Acknowledgements

The authors acknowledge the National e-Science Infrastructure Consortium for providing computing resources that have contributed to the research results reported within this paper.

References

1. World health organization (2023) https://covid19.who.int/ Accessed on 15 Oct 2023
2. CSG of the International CSG. The species severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. Nat Microbial. 2020: 1.
3. Kundu D, Selvaraj C, Singh SK, Dubey VK. Identification of new anti-CoV drug chemical compounds from Indian spices exploiting SARS-CoV-2 main protease as target. Journal of Biomolecular Structure and Dynamics. 2020; 1-9.
4. Zhang B, Li XF, Zhang LK, Peng C, Duan YK, Yu J, Wang L, Yang KL, Liu FJ, Jiang RD, Yang XL, You T, Liu XC, Yang XN, Bai F, Liu H, Liu X, Guddat LW, Xu WQ, Xiao GF, Qin CF, Shi ZL, Jiang HL, Rao ZH and Yang HT. Structure of M^{pro} from COVID-19 virus and discovery of its inhibitors. Nature. 2020; 582: 289-93.
5. Anand K, Palm GJ, Mesters JR, Siddell SG, Ziebuhr J, Hilgenfeld R. Structure of coronavirus main proteinase reveals combination of a chymotrypsin fold with an extra α-helical domain. EMBO J. 2020; 21: 3213-24.
6. Yang H. Yang HT, Yang MJ, Ding Y, Liu YW, Lou ZY, Zhou Z, Sun L, Mo LJ, Ye S, Pang H, Gao GF, Anand K, Bartlam M, Hilgenfeld R, Rao ZH. The crystal structures of severe acute respiratory syndrome virus main protease and its complex with an inhibitor. Proc. Natl Acad. Sci. USA. 2003; 100: 13190-5
7. Tsuji. M. Potential anti-SARS-CoV-2 drug candidates identified through virtual screening of the ChEMBL database for compounds that target the main coronavirus protease. FEBS open bio. 2020; 10 (6): 995-1004.
8. Serafin MB, Bottega A, Foletto VS, da Rosa TF, Hörne A, Hörner R. Drug repositioning is an alternative for the treatment of coronavirus COVID-19. Int J Antimicrob Agents. 2020; 55(6); 105969.
9. Tu YF, Chien CS, Yarmishyn AA, Lin YY, Luo YH, Lin YT, Lai WY, Yang DM, Chou SJ, Yang YP, Wang ML, Chiou SH. A review of SARS-CoV-2 and the ongoing clinical trials. Int J Mol Sci. 2020; 21 (7): 2657.
10. Yang Y, Islam MS, Wang J, Li Y, Chen X. Traditional chinese medicine in the treatment of patients infected with 2019-new coronavirus (SARS-CoV-2): a review and perspective. Int J Biol Sc. 2020; 16: 1708-17.

11. Nguyen TTH, Woo HJ, Kang HK, Kim Y-M, Kim DW, Ahn SA, Xia YM, Kim DM. Flavonoid-mediated inhibition of SARS coronavirus 3C-like protease expressed in *Pichia pastoris*. Biotechnol Lett. 2012; 34 (5):831-8.
12. Solnier J, Fladerer JP. Flavonoids: A complementary approach to conventional therapy of COVID-19? Phytochem Rev. 2020.
13. Ungwitayatorn J, Wiwat C, Samee W, Nunthanavanit P, Phosrithong N. Synthesis, *in vitro* evaluation, and docking studies of novel chromone derivatives as HIV-1 protease inhibitor. J Mol Struc. 2011; 1001: 152-61.
14. Phosrithong N, Samee W, Nunthanavanit P, Ungwitayatorn J. *In Vitro* antioxidant activity study of novel chromone derivatives. Chem Biol Drug Des.2012; 79(6): 981-9
15. Maicheen C, Phosrithong N, Ungwitayatorn J. Docking study of chromone derivatives as cyclooxygenase-2 inhibitors. Med Chem Res. 2017; 26(3): 662-71
16. Maicheen C, Phosrithong N, Jittikoon J, Ungwitayatorn J. Topoisomerase I inhibitory activity and 3D QSAR studies of chromone derivatives. Chiang Mai J. Sci. 2018; 45(2):1073-86
17. Lerdsirisuk P, Maicheen C, Ungwitayatorn J. Antimalarial activity of HIV-1 protease inhibitor in chromone series. Bioorg Chem. 2014; 57:142-7.
18. Maicheen C, Ungwitayatorn J. Antimalarial and β-hematin formation inhibitory activities of chromone derivatives. Science Asia. 2018; 45: 221-8.
19. Goodsell DS, Morris GM, Olson AJ. Docking of flexible ligands: applications of AutoDock. J Mol Recognition. 1996; 9:1-5
20. Cosconati S, Forli S, Perryman AL, Harris R, Goodsell DS, Olson AJ. Virtual screening with AutoDock: theory and practice. Expert Opin Drug Discov. 2019; 5(6): 597-607.
21. Moitessier N, Englebienne P, Lee D, Lawandi J and Corbeil CR. Towards the development of universal, fast and highly accurate docking/scoring methods: a long way to go. Br J Pharmacol. 2009; 153: S7-S26
22. U.S. Food and Drug Administration. FDA Approves First Treatment for COVID-19. 2020.
23. Sacco MD, Ma C, Lagarias P, Gao A, Townsend JA, Meng X, Dube P, Zhang XJ, Hu YM, Kitamura N, Hurst B, Tarbet B, Marty MT, Kolocouris A, Xiang Y, Chen Y, Wang J. Structure and inhibition of the SARS-CoV-2 main protease reveal strategy for developing dual inhibitors against Mpro and cathepsin L. Adv. 2020; 6: eabe0751.

ผลกระทบของพลาสติกไมโครบีดส์ชนิดโพลีสไตรีนต่อกลุ่มประชากรแบคทีเรียในอุจจาระปลาซิวข้าวสารชวา (*Oryzias javanicus*) โดยเอ็นจีเอส

The effect of polystyrene microbeads on bacterial communities in the feces of Javanese ricefish (*Oryzias javanicus*) using next generation sequencing

แพรพิไล มิตรารัตน์[1*], วิรงรอง ดวงใจ[2] และ อรินทม์ งามนิยม[1]

Praepilai Mittrarath[1*], Wirongrong Duangjai[2] and Arin Ngamniyom[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของพลาสติกไมโครบีดส์ชนิดโพลีสไตรีนต่อกลุ่มประชากรแบคทีเรียในอุจจาระปลาซิวข้าวสารชวา (*Oryzias javanucus*) ซึ่งเป็นสัตว์น้ำต้นแบบในการศึกษาด้านพิษวิทยานิเวศ ด้วยวิธีเอ็นจีเอส (next generation sequencing ; NGS) ตำแหน่ง 16S rRNA (V3–V4) โดยใช้ไมโครบีดส์โพลีสไตรีนความเข้มข้น $1x10^5$ beads/ml ขนาด 1 ไมโครเมตร ปริมาณ 1 ไมโครลิตร ปลาที่ได้รับไมโครบีดส์ทางปากและเก็บอุจจาระวันที่ 2 (D2) จะพบไมโครบีดส์ในอุจจาระน้อยลงอย่างเป็นนัยสำคัญ การวิเคราะห์แบคทีเรียระดับสกุลด้วย Illumina platforms กลุ่มแบคทีเรียในอุจจาระกลุ่ม D2 เท่ากับ 628 operational taxonomic units (OTUs) กลุ่มอุจจาระปลาที่ไม่ได้รับไมโครพลาสติก (N1) เท่ากับ 466 OTUs กลุ่มแบคทีเรียในอุจจาระปลาที่ผสมกับไมโครบีดส์โดยตรงไม่ผ่านทางเดินอาหาร (MP) เท่ากับ 558 OTUs และทั้ง 3 กลุ่ม มีจำนวนประชากรแบคทีเรียที่เหมือนกัน 534 OTUs ในกลุ่ม D2 ตรวจพบแบคทีเรียสกุล *Aeromonas* มากที่สุด ส่วน N1 และ MP สกุลที่เด่นคือ *Algoriphagus* และ *Shewanella* สำหรับ *Acinetobacter* จะพบมาก ทั้ง D2, N1 และ MP โดย *Stenotrophomonas* กับ *Pseudomonas* และ *Vibrio* พบที่ N1 และ MP มากกว่า D2 จากผลการวิจัยเบื้องต้นนี้เป็นรายงานแรกที่แสดงถึงกลุ่มแบคทีเรียในอุจจาระปลาที่ได้รับไมโครพลาสติกโพลีสไตรีนและพบว่า ไมโครพลาสติกน่าจะมีผลต่อความแตกต่างของประชากรแบคทีเรียในอุจจาระปลาซิวข้าวสารชวา

คำสำคัญ: ไมโครพลาสติก, ปลาซิวข้าวสาร, จุลินทรีย์, อุจจาระปลา

[1] คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110

[2] ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

[1] Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110

[2] Department of Silviculture, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, 10900

* Corresponding author: pgam216@gmail.com

Abstract

The aims of this study were to investigate the effect of polystyrene microbeads on bacterial communities in the feces of Javanese ricefish (*Oryzias javanicus*) using next generation sequencing. This fish is potential model species for the experiments of ecotoxicology by next generation sequencing analysis (16S rRNA of V3–V4). As 1 µm diameter of polystyrene microbeads at $1x10^5$ beads/ml for 1 µl, were exposed to fish the low microbeads were observed in fish feces for day 2 (D2). For bacterial analysis on illumina platforms, bacterial communities in feces of group D2 were 628 operational taxonomic units (OTUs). Fish feces that did not treatment of polystyrene microbeads (group N1) were 466 OTUs. Fish feces that mixed directly with microbeads (group MP) were 558 OTUs, and the same bacterial population for all groups was 534 OTUs. In group D2, the most bacteria of the genus *Aeromonas* was detected. In N1 and MP, the most predominant genera were *Algoriphagus* and *Shewanella*. For *Acinetobacter*, there were the abundance in D2, N1 and MP. *Stenotrophomonas*, *Pseudomonas* and *Vibrio* were highly found in N1 and MP than those in D2. In these results, this is the first report of microbial communities the feces of fish exposed to polystyrene microplastics. Furthermore, microplastics may affect the differences of bacterial populations in the feces of Javanese ricefish.

Keywords: Microplastics, Ricefish, Microbe, Fish feces

Introduction

Over the past decade of global impact of environmental pollution, the plastic contamination is one of important issues affected health and wellness of organisms [1]. Plastic wastes have been increased vast numbers every day and discharged into environments [2]. Example included plastic pollution in aquatic ecosystems caused to a disease and economic loss of aquatic animals [3]. It is known that plastics are degraded as microplastics or small particle plastics that negatively impact to aquatic animals including human [4]. Recently, Siddiqui et al [5] has described ecotoxicity of polystyrene particles that discarded in the aquatic ecosystem severely affect aquatic species included fish. In fish of genus *Oryzias*, Javanese ricefish (*O. javanicus*) is considered as the aquatic vertebrate model species that is frequency used in biological experiments such as molecular ecotoxicology for assessing diverse pollutions [6]. They are inhabiting tropical brackish water of Indonesia, Malaysia and Thailand and are important species in aquatic food chain [7]. However, the relationship between microbial diversity and fish feces affected by microplastics has been unclear.

In many studies of molecular microbiology, the next generation sequencing (NGS) technology is a powerful tool for massive data sets of DNA sequencing analysis [8]. The 16S rRNA gene, especially hypervariable region of V3–V4 is utilized to identify bacterial DNA sequences for understanding of endosymbiotic interactions in digestive tracts of many aquatic species [9, 10]. Therefore, the objectives of this study were to examine the effect of polystyrene microbeads on bacterial communities in the feces of Javanese ricefish (*Oryzias javanicus*) using next generation sequencing.

Materials and Methods

Javanese ricefish were cultured and maintained in aquarium tanks separately male from female at Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University. Under environmental conditions in laboratory, light-emitting diode (LED) lamp lighted directly to the above tank. Dissolved oxygen in water was made by an air pump with 26-28 °C, 5.0-6.5 mg/L of dissolved oxygen and 14 hr for lightness and 10 hr for darkness of photo period [11]. An aquarium water was changed per day. Ricefish were fed *ad libium* with a Kyorin Hikari food for two times of a day. In this study, we used the adult male fish (20 mm of standard length, approximately), and males were distinguished from females by determining the secondary sex characteristics of fins [7]. In order to set the same uniform of sex, it is exactly that adult males can be clear to distinguish from females by determining the secondary sex characteristics of fins. Furthermore, adult female fish is hard to be determine, because characters of fin are unclear and avoid unstable hormones of ovarian female [7]. Therefore, the adult males were used in this experiment. Animal research ethics of this study were approved by the Animal Care and Use Committee of Srinakharinwirot University with the license (COA/AE-020-2563).

The 1 µm diameter of polystyrene microbeads at $1x10^5$ beads/ml (Thermo Fisher Scientific Inc.) in distilled water were used in this study. In density of microbead observation (experiment 1), fish as group D2 were received 1 µl of polystyrene microbeads by oral injection using microsyringe after anesthesia of MS222 at 100 mg/L for 10 min. Then, fish were moved into small aquaria as above condition for two days, and then feces were collected at day 2 in eppendorf tubes at 4 °C. As the group of MP, only feces from the first day mixed with 1 µl of polystyrene microbeads and kept in small aquaria for two days. Feces mixed with microbeads were kept in conditions as similar to D2. In the control group as N1, fish were injected by oral with only 1 µl of distilled water without microbeads. In order to confirm the normal morphology of microbeads without oral injection of fish, only 1 µl of pure microbeads of $1x10^5$ beads/ml that did not pass digestive system was used as group of PS. The numbers of microbeads were observed under field emission scanning electron microscope (FE-SEM). To prepare the samples for FE-SEM analysis, the samples of fish feces with 0.1 g of weight were moved on poly-prep slides, fixed with 2.5% glutaraldehyde at 4 °C for 2 hr, washed with cacodylate buffer 10 min for 3 times, refixed by 1% osmium tetroxide for 1 hr and washed with distilled water 10 min for 3 times. Specimens were dehydrated in the different ethanol concentrations (50, 60, 70, 80, 90 and 100%) for 10 min and then storage in auto dry desiccator for 1-2 weeks. Specimens were coated with Pt/Pd using ion sputter-coating. The number of microbeads were counted for density observation as microbeads/10 μm^2 using the software solution for FE-SEM. All experiments repeated 5 times independently. One-Way ANOVA with post-hoc Tukey HSD was employed for the statistical significance among group differences using SPSS Statistics V19.

In molecular genetic analysis of microbes (experiment 2), total genomic DNAs in feces were extracted from 10 samples of each group using Fast DNA Stool Mini Kit (Qiagen) according to the manufacturer's protocol. The universal primer pairs [8] of 16S rRNA amplified at the V3-V4 hypervariable region with the sparQ HiFi PCR Mater Mix (Quantabio). Conditions in polymerase chain reaction were 98 °C for 2 min to pre-denature, followed by 26 cycles at 98 °C for 30 s to denature, 56 °C for 40 s for annealing, 72 °C for 2 min for extension, ended

by one round of final extension at 72 °C for 5 min. Amplification products were viewed by electrophoresis in 1% agarose gel, stained with GreenSafe DNA Gel Stain (Invitrogen). Precise DNA bands (560 bp) were purified by GeneJET Gel Extraction Kit (Thermo Fisher Scientific). DNA products from each group (n =10) were pooled into one eppendorf tube and used as a representative sample. DNA quantify and purity were measured using Agilent 2100 Bioanalyzer and nanoDrop UV visible spectrophotometers (Thermo Fisher Scientific). It should be note that nucleic acids from genomic extraction and amplicon were not found in group of PS, because they were only polystyrene microbeads that did not pass digestive tract or did not mix with feces of fish. Therefore, the samples of D2, N1 and MP were used to conduct the sequencing using the illumina Hiseq 2500 sequencing system. OTUs were analyzed with software USEARCH (v7.0.1090) and Naïve Bafesian Classifier v2.2. Bacterial classifications were exhibited against Greengene V201305 and Release9. A consensus base was created by the Fast Length Adjustment with SHort reads v1.2.11. Relative abundance of taxonomic rank, UPGMA tree and OTU Venn diagram were operated using software R. Simpson and Shannon diversity indices were calculated according to methods of Kim et al. [12]

Results

In SEM observation (experiment 1), polystyrene microbeads (pure microbeads) of PS exactly showed normal characteristics. They were sphere shape and smooth surface. Similarly to PS, the morphology of microbeads was regular sphere and non-degradation in group of D2 and MP. The number of microbeads were significantly lower in fish feces of D2 (3.60 ± 1.52, mean ± SD microbeads/10μm^2) than that of PS (54.40 ± 18.56 microbeads/10μm^2) ($P < 0.001$). The number of microbeads of MP was 77.80 ± 6.42. No microbeads were observed in the group of N1 (Fig. 1).

In bacterial diversity (experiment 2), bacterial population in feces of group D2 were 628 operational taxonomic units (OTUs). Fish feces without microbeads of N1 were 466 OTUs. Fish feces mixed with microbeads MP were 558 OTUs. The same bacterial population for all groups was 534 OTUs. The similar number of bacterial OTUs between D2 and N1, and between D2 and MP were 98 and 189, respectively. For N1 and MP, there was 1489 OTUs (Fig. 2a). In UPGMA tree, the group of MP were more closely related to group of N1 than group of D2 (Fig. 2b).

For relative abundance of bacterial genera, the most bacteria of the genus *Aeromonas* was detected in group D2. *Caulobacter* was also predominant in D2. *Flectobacillus*, *Sphingomonas*, *Enterobacter* and *Ralstonia* including *Novosphingobium* were high in D2 but not in N1 and MP. Furthermore, *Cupriavidus*, *Hymenobacter*, *Blastomonas* and *Pelomonas* were found in D2. In contrast, *Algoriphagus* and *Shewanella* was the predominant genus in group of N1 and MP. The high relative values were also represented in *Luteolibacter* for N1 and MP. For *Acinetobacter*, there were the abundance in D2, N1 and MP. However, *Stenotrophomonas*, *Pseudomonas* and *Vibrio* were highly found in N1 and MP than those in D2. *Gemmobacter*, *Ilumatobacter*, *Tropicimonas*, *Robiginitalea*, *Photobacterium* and *Haloferula* were detected only in N1 and MP. In addition, the relative abundance of *Microbacterium* in D2 and MP was lower than that in N1 (Fig. 3).

In diversity indices, Shannon–Wiener index values of D2, MP and N1 were 3.566, 5.702 and 5.525, respectively. Simpson's index values of D2, MP and N1 were 0.790, 0.941 and 0.930, respectively.

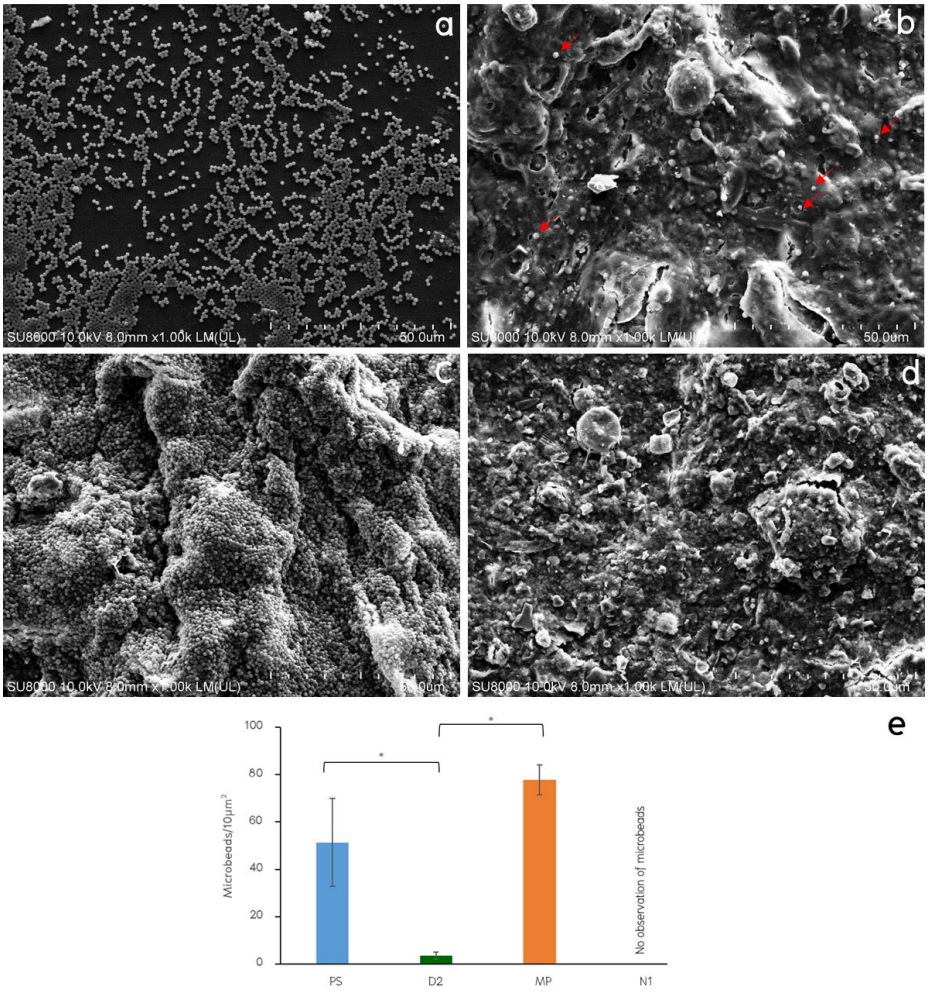


Figure 1. SEM observation of pure polystyrene microbeads (1 μm diameter) that indicated as group PS (a). Fish feces of group D2 which fish were received polystyrene microbeads by oral injection for 2 days (b). In group MP, only feces were mixed with polystyrene microbeads and were collected at day 2 (c). Fish without oral injection of microbeads as group N1 (d). The number of microbeads were counted (microbeads/10μm^2) (e). One–Way ANOVA with post–hoc Tukey HSD was used for the statistical significance among group differences (*$p < 0.001$). Bars indicated standard deviation.

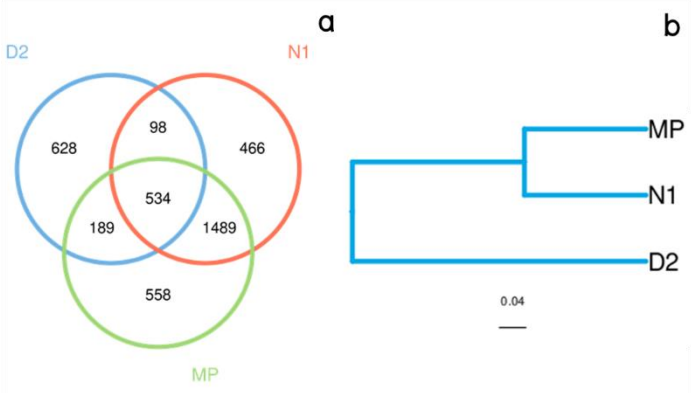


Figure 2. OTU Venn diagram (a) and UPGMA analysis (b). Fish feces of group D2 which fish were received polystyrene microbeads by oral injection for 2 days. In group MP, only feces were mixed with polystyrene microbeads and were collected at day 2. Fish without oral injection of microbeads as group N1.

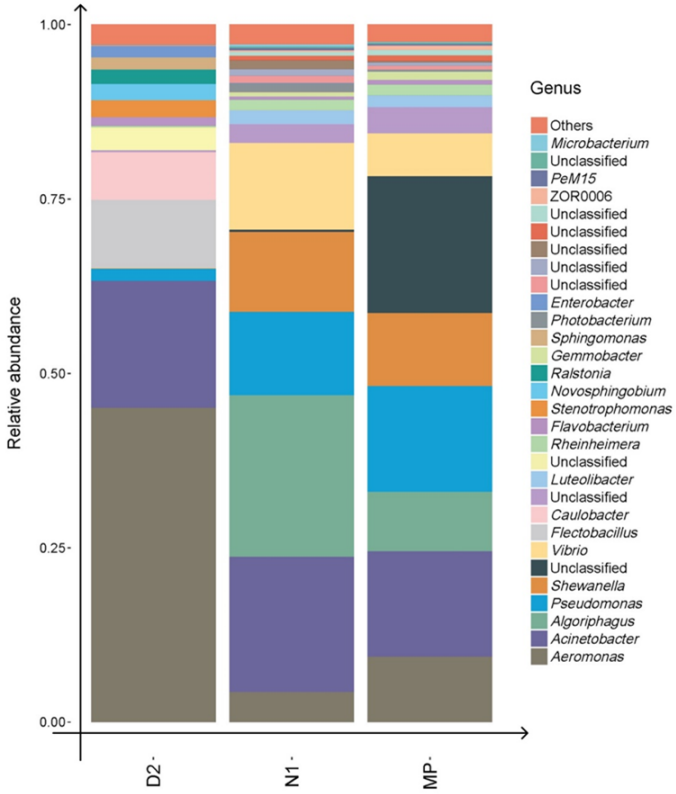


Figure 3. Relative abundance of taxonomic rank of microbial genera. Fish feces of group D2 which fish were received polystyrene microbeads by oral injection for 2 days. In group MP, only feces were mixed with polystyrene microbeads and were collected at day 2. Fish without oral injection of microbeads as group N1.

Discussion and Conclusion

Microplastics can be discarded and degraded to nanoparticles or nanoplastics that toxically affect environment, animal and human health, included impact of body, subcellular or molecular levels [13]. In polystyrene microbeads from feces of Javanese ricefish, there did not observed the breaking down from microbeads to nanoparticle sizes. This suggests that microbeads may be not processed for some of physiological, chemical or biological degradations in the digestive tract of Javanese ricefish. Microplastic particles can be consumed by aquatic vertebrates and accumulated to enter the food chain [14]. In this study, the low levels of microbeads were found in feces of Javanese ricefish. It is only confirmed the bioaccumulation in fish by intake of microsphere of polystyrene microplastics. However, it is far to discuss a reliable assessment of the risks to fish because data are not sufficient.

Many studies reported the fish microbiome in gastrointestinal tract of several of fish species from different environments for understanding of relationship between microbes and teleost fish and their environments [15]. For instance, Song et al. [16] reported that the predominant genera in the gut tract of Antarctic fish (*Trematomus bernacchii* and *Gymnodraco acuticeps*) were *Rhodococcus*, *Acinetobacter*, *Mycoplasma*, *Propionibacterium*, *Streptococcus* and *Thermus*. In the main genera of marine fish, there recorded *Psychrobacter* and *Photobacterium* in the intestinal tracts of grouper (*Epinephelus coioides*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) [17]. In addition, Givens et al. [17] revealed bacterial population in demersal marine fish dominated by *Photobacterium* and *Pseudomonas*. Recently, Feng et al. [18] explained the finding of potential correlation between the gut microbiota responses to polystyrene micropaticles exposure including environmental stress. Usman et al. [19] also reported that microplastics of polystyrene resulted to alter microbiome in gut and metabolome in Javanese ricefish. In this study, the results of bacterial communities in feces of Javanese ricefish responded in polystyrene microplastics. These suggested that polystyrene microplastics may be potential effect on the change of bacterial community in feces via the gut system. The different genera of bacteria may be depended exposure of microplastics and some environments of fish. Furthermore, it provided the important data of the microbial core that found in feces of Javanese ricefish.

Considering into these results and the conclusion with the present knowledge, we have firstly provided basic and important information on molecular data for microbiota of bacterial core in fecal matter from Javanese ricefish, which exposed and unexposed to polystyrene micropaticles. The feces of fish exposed to microplastics might affect the differences of bacterial populations. These results may contribute to further study for biological symbiosis between microbes and fish associated with microplastic pollutions. Furthermore, we hope that our knowledge will support to assess of health risks in aquatic organism or possibly humans.

Acknowledgements

This research was funded by the grant of National Research Council of Thailand (NRCT) via Srinakharinwirot University no. 021_2564). Moreover, we would like to express my deepest gratitude to Miss Wiphawee Laohapakdee for take care us during the project processes.

References

1. MacLeod M, Arp HPH, Tekman MB, Jahnke A. The global threat from plastic pollution. Science 2021; 373(6550): 61–65.
2. Shen M, Song B, Zeng G, Zhang Y, Huang W, Wen X, Tang W. Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution? Environ Pollut 2020; 263(Pt A): 114469.
3. Hodkovicova N, Hollerova A, Svobodova Z, Faldyna M, Faggio C. Effects of plastic particles on aquatic invertebrates and fish – A review. Environ Toxicol Pharmacol 2022; 96: 104013.
4. Zhang K, Hamidian AH, Tubić A, Zhang Y, Fang JKH, Wu C, Lam PKS. Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. Environ Pollut 2021; 274: 116554.
5. Siddiqui SA, Singh S, Bahmid NA, Shyu DJH, Domínguez R, Lorenzo JM, Pereira JAM, Câmara JS. Polystyrene microplastic particles in the food chain: Characteristics and toxicity – A review. Sci Total Environ 2023 20; 892: 164531.
6. Lee BY, Park JC, Kim MS, Choi BS, Kim DH, Lim JS, Yum S, Hwang UK, Nah GJ, Lee JS. The genome of the Java medaka (*Oryzias javanicus*): Potential for its use in marine molecular ecotoxicology. Mar Pollut Bull 2020; 154: 111118.
7. Parenti LR. A phylogenetic analysis and taxonomic revision of ricefishes, *Oryzias* and relatives (Beloniformes, Adrianichthyidae). Zool J Linn Soc 154 2008; 3: 494–610.
8. McCombie WR, McPherson JD, Mardis ER. Next–Generation Sequencing Technologies. Cold Spring Harb Perspect Med 2019; 9: a036798.
9. Ngamniyom A, Sriyapai T, Duangjai W, Sriyapai P. Report on microbial communities with gene functions and distribution of elements in *Echinomuricea* (Anthozoa: Holaxonia) from Thailand," Agric Nat Resour 2020; 54: 657–664.
10. Ngamniyom A, Sriyapai T, Sriyapai P, Panyarachun B. Diversity of gut microbes in freshwater and brackish water ricefish (*Oryzias minutillus* and *O. javanicus*) from Southern Thailand. Agric Nat Resour 2021; 55: 311–318.
11. Takai Y, Tominaga A, Uchida Y, Honda M, Qiu X, Shimasaki Y, Oshima Y. Size effect of polystyrene microplastics on the accumulation of anthracene for Java medaka (*Oryzias javanicus*). Chemosphere 2023; 338: 139543.
12. Kim BR, Shin J, Guevarra R, Lee JH, Kim DW, Seol KH, Lee JH, Kim HB, Isaacson R. Deciphering diversity indices for a better understanding of microbial communities. J Microbiol Biotechnol 2017; 27: 2089–2093.

13. Yee MS, Hii LW, Looi CK, Lim WM, Wong SF, Kok YY, Tan BK, Wong CY, Leong CO. Impact of microplastics and nanoplastics on human health. Nanomaterials (Basel) 2021; 11: 496.
14. Khan ML, Hassan HU, Khan FU, Ghaffar RA, Rafiq N, Bilal M, Khooharo AR, Ullah S, Jafari H, Nadeem K, Siddique MAM, Arai T. Effects of microplastics in freshwater fishes health and the implications for human health. Braz J Biol 2023;84: e272524.
15. Zhang X, You Y, Peng F, Tang X, Zhou Y, Liu J, Lin D, Zhou Y. Interaction of Microbiota between fish and the environment of an in-pond raceway system in a lake. Microorganisms. 2022; 10: 1143.
16. Song W, Li L, Huang H, Jiang K, Zhang F, Chen X, Zhao M, Ma L. The Gut Microbial Community of Antarctic fish detected by 16S rRNA gene sequence analysis. Biomed Res Int 2016; 2016: 3241529.
17. Givens CE, Ransom B, Bano N, Hollibaugh JT. Comparison of the gut microbiomes of 12 bony fish and 3 shark species. Mar Ecol Prog Ser 2015; 518: 209-223.
18. Feng S, Zeng Y, Cai Z, Wu J, Chan LL, Zhu J, Zhou J. Polystyrene microplastics alter the intestinal microbiota function and the hepatic metabolism status in marine medaka (*Oryzias melastigma*). Sci Total Environ 2021; 759: 143558.
19. Usman S, Razis AFA, Shaari K, Azmai MNA, Saad MZ, Isa NM, Nazarudin MF. Polystyrene microplastics induce gut microbiome and metabolome changes in Javanese medaka fish (*Oryzias javanicus* Bleeker, 1854). Toxicol Rep 2022;9: 1369-1379.

ผลของสารช่วยติดสีต่อการย้อมสีขมิ้นก้านบัวหลวงสำหรับผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์

The results of mordant to lotus stalk dying with turmeric for handicraft products

ฐิติกร วงค์เลื่อน[1*], สุภา จุฬัคุปต์[2], นารีรัตน์ จริยะปัญญา[3] และ รัฐ ชมภูพาน[4*]
Thitikorn Wongluan[1*], Supa Chulacupt [2], Nareerat Chariyapanya[3] and Rath Chombhuphan[4*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อศึกษาผลของสารช่วยติดในการย้อมสีธรรมชาติก้านบัวหลวงและเพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีธรรมชาติ ผลการทดลองพบว่า ผลของสารช่วยติดสีต่อการย้อมสีขมิ้นก้านบัวหลวงมี 3 ชนิด ได้แก่ น้ำปูนใส ใบยูคาลิปตัสสด น้ำสารส้ม การศึกษาความเข้มข้นของสารสีที่เหมาะสมโดยในการศึกษาความเข้มข้นของสารสีที่เหมาะสม จากวัตถุดิบ คือ ขมิ้น แปรเป็น 2 ระดับ 1:2 และ 1:3 และระยะเวลาในการย้อมโดยแปรเป็น 3 ระดับ คือ 40 60 และ 80 นาที ทำการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จะได้วิธีการทดลองทั้งหมด 21 คู่ ผลการศึกษาพบว่า ผลของสารช่วยติดสีต่อการย้อมสีขมิ้นสามารถเรียงลำดับการติดสีได้ดีจนถึงน้อยสุดคือ 1) ขมิ้น:น้ำสารส้ม 2) ขมิ้น:น้ำใบยูคาลิปตัส 3) ขมิ้น:น้ำเปล่า 4) ขมิ้น:น้ำปูนใส เรียงตามลำดับ โดยจากการใช้สารช่วยติดน้ำสารส้มให้ผลลัพธ์การย้อมสีขมิ้นติดก้านบัวเป็นที่พอใจมากกว่าสารช่วยติดตัวอื่น

คำสำคัญ: ก้านบัวหลวง, การย้อมสีธรรมชาติ

Abstract

The effect of mordant on the dyeing of lotus stalk with turmeric was of 3 types: lime water, fresh eucalyptus leaves water, and alum water. The study of appropriate colorant concentration was studied by studying the appropriate colorant concentration from turmeric, it was changed to 2 levels, 1:2 and 1:3, and the dyeing time was changed to 3 levels 40, 60, and 80 minutes. The experiment was planned using Factorial in CRD. A total of 21 samples were obtained. It was found that the effect of mordant on turmeric dyeing can be arranged in order of staining from good to least. 1. Turmeric: alum water 2. Turmeric: Eucalyptus leaf water 3. Turmeric: water 4. Turmeric: lime water Sort by order by using the alum adhesive agent, the results of dyeing turmeric on the lotus stalk were more satisfactory than other adhesive agents.

Keywords: Lotus Stalk, Natural dyeing

[1] คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
[1] Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, 12110
* Corresponding author: thitikorn_w@rmutt.ac.th

บทนำ

การสร้างสินค้าหรือการผลิตงานหัตกรรมได้มีการนำวัสดุจากธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็น ไผ่ หรือ หวาย มาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์หัตถกรรมสิ่งของเครื่องใช้เช่น ตระกร้า โต๊ะ บ้านและศาลา กระเป๋า เป็นต้น [1] ทั้งนี้ในจังหวัดปทุมธานี อำเภอสามโคก อำเภอลำลูกกา อำเภอธัญบุรีและในพิพิธภัณฑ์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล มีบัวหลวงอยู่เป็นจำนวนมาก [2] ซึ่งหลังเก็บเกี่ยวจะมีก้านบัวทิ้งค้างอยู่ในบึงบัวจำนวนมากเมื่อตัดใบไปขายแล้วมักจะนำก้านที่เหลือไปเผาทิ้งหรือปล่อยให้แห้งไปตามธรรมชาติจนกลายเป็นขยะหมักหมม มีกลิ่นเน่า และหากไม่มีการจัดการให้ถูกต้องก็อาจจะทำให้สถานที่สกปรกได้ ทางผู้วิจัยจึงได้มีการคิดค้นวิธีการที่จะนำก้านบัวซึ่งเป็นขยะและสร้างความสกปรกในพื้นที่มาทำการพัฒนาให้เกิดประโยชน์และสร้างมูลค่าเพิ่มในงานหัตถกรรมโดยเลือกทำเป็นเส้นสำหรับงานจักสานแต่เป็นเส้นสานเพื่อเป็นการพัฒนาวัสดุงานประดิษฐ์ให้มีความหลากหลายและเป็นทางเลือกใหม่มากยิ่งขึ้น [4] แต่เนื่องด้วยเส้นสำหรับงานจักรสานที่ถูกคิดค้นและสร้างขึ้นจากก้านบัวหลวง ไม่มีสีสันและไม่มีเอกลักษณ์ที่ดึงดูดทางการตลาดและไม่มีความแตกต่างจากเส้นสำหรับงานจักรสานอื่น ๆ ส่งผลให้ชิ้นงานดังกล่าวไม่สามารถตีตลาดหรือเกิดความน่าสนใจในการเลือกซื้อหรือจัดจำหน่ายได้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มมูลค่าทางการตลาดสร้างเอกลักษณ์ให้มีความแตกต่างด้านสีสันเพื่อดึงดูดให้มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้นและสร้างมูลค่าเชิงพาณิชย์ได้โดยที่ไม่ส่งผลต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและไม่มีผลกระทบต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค [5]

ดังนั้นสีจึงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สร้างความแตกต่างให้กับผลิตภัณฑ์เส้นสำหรับงานจักรสานที่ผู้วิจัยคิดค้นขึ้นเนื่องจากสามารถสร้างความโดดเด่นและความหลากหลายให้กับสินค้าได้ ส่งผลให้สินค้าเกิดมูลค่าและดึงดูดให้ผู้คนตัดสินใจเลือกซื้อได้ง่ายยิ่งขึ้น [6]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจการวิจัยเรื่องการพัฒนาการย้อมสีก้านบัวหลวงสำหรับผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์ในการต่อยอดเชิงพาณิชย์ เพื่อนำองค์ความรู้ของการย้อมสีมาใช้เพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์และตอบโจทย์ทางการตลาดมากยิ่งขึ้น โดยเลือกใช้ใช้วัสดุในท้องถิ่นเป็นวัตถุดิบหลักในการทำผลิตถัณฑ์ และยังสามารถนำองค์ความรู้ที่ศึกษา มาใช้ในกรพัฒนา สร้างงาน สร้างอาชีพให้กับชุมชน และสร้างรายได้เพิ่มให้กับเกษตรกร นักแปรรูป และนักการตลาด ถือเป็นการสร้างอาชีพทางเลือกใหม่และเป็นการสร้างรายได้ตั้งแต่เกษตรกรต้นน้ำถึงปลายน้ำ ทั้งนี้ยังตอบโจทย์และเป็นการขับเคลื่อนนโยบาย BCG (Bio–Circular–Green Economy) ได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาผลของสารช่วยติดในการย้อมสีธรรมชาติก้านบัวหลวง
2. เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีธรรมชาติ

วิธีการศึกษา

1. การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมก้านบัวหลวงจากสีขมิ้น

1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

1) ก้านบัวหลวง โดยผ่านกระบวนการฟอกขาว ให้มีขนาดกว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร

2) น้ำสารละลายน้ำปูนใส โดยใช้น้ำปูนใสต่อน้ำเท่ากับ 1:50 ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

3) น้ำสารช่วยติดสีจากใบยูคาลิปตัสโดยใช้ใบยูคาลิปตัสสด ต่อน้ำ เท่ากับ 1:3 ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที หลังจากนั้นกรองใบยูคาลิปตัสออกให้เหลือแต่น้ำ

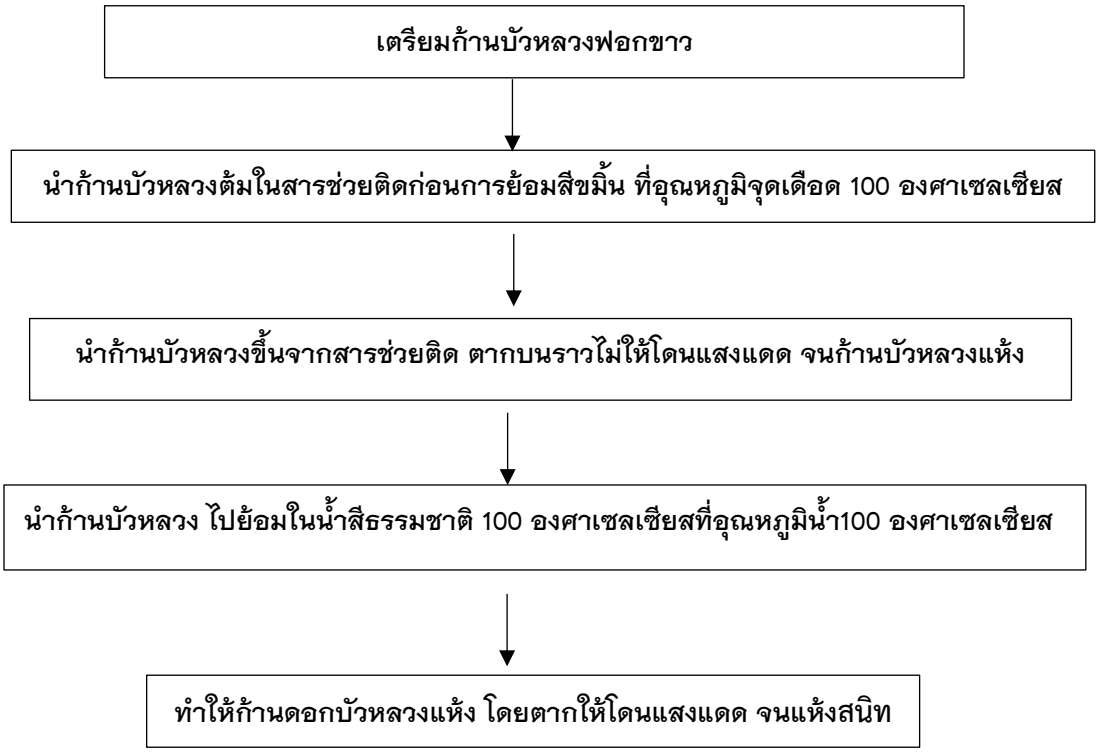
4) น้ำสารช่วยติดสีจากสารส้ม โดยใช้สารส้มต่อน้ำเท่ากับ 1:50 ต้มที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

2. การศึกษาสภาวะการย้อมก้านบัวหลวงด้วยสีธรรมชาติที่เหมาะสม

ในการศึกษากระบวนการย้อมก้านบัวหลวง ด้วยสีธรรมชาติ ปัจจัยที่ทำการศึกษามี 3 ปัจจัย คือ การศึกษาความเข้มข้นของสารสีที่เหมาะสมโดยในการศึกษาความเข้มข้นของสารสีที่เหมาะสม จากวัตถุดิบ คือ ขมิ้น แปรเป็น 2 ระดับ 1:2 และ 1:3 และ ชนิดของสารช่วยติดโดยแปรเป็น 3 ชนิด คือ น้ำปูนใส น้ำสารช่วยติดจากใบยูคาลิปตัสสด และ น้ำสารช่วยติดจากสารส้ม และระยะเวลาในการย้อมโดยแปรเป็น 3 ระดับ คือ 40 60 และ 80 นาที ทำการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จะได้สิ่งทดลองทั้งหมด 21 สิ่งทดลอง สำหรับวัตถุดิบ คือ ขมิ้น ดังแสดงในตาราง ทำการย้อมก้านบัวหลวงด้วยสีธรรมชาติตามกระบวนการดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจัดสิ่งทดลองในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมก้านบัวหลวงย้อมสีจากขมิ้น

สิ่งที่ทดลอง	สีธรรมชาติ	สารช่วยติดต่อน้ำ	ชนิดของสารช่วยติดสี	ระยะเวลาในการย้อม(นาที)
1	ขมิ้น	-	ไม่ใช้สารช่วยติด	40
2	ขมิ้น	-	ไม่ใช้สารช่วยติด	60
3	ขมิ้น	-	ไม่ใช้สารช่วยติด	80
4	ขมิ้น	1:2	น้ำปูนใส	40
5	ขมิ้น	1:3	น้ำปูนใส	40
6	ขมิ้น	1:2	น้ำปูนใส	60
7	ขมิ้น	1:3	น้ำปูนใส	60
8	ขมิ้น	1:2	น้ำปูนใส	80
9	ขมิ้น	1:3	น้ำปูนใส	80
10	ขมิ้น	1:2	น้ำสารส้ม	40
11	ขมิ้น	1:3	น้ำสารส้ม	40
12	ขมิ้น	1:2	น้ำสารส้ม	60
13	ขมิ้น	1:3	น้ำสารส้ม	60
14	ขมิ้น	1:2	น้ำสารส้ม	80
15	ขมิ้น	1:3	น้ำสารส้ม	80
16	ขมิ้น	1:2	น้ำใบยูคาลิปตัสสด	40
17	ขมิ้น	1:3	น้ำใบยูคาลิปตัสสด	40
18	ขมิ้น	1:2	น้ำใบยูคาลิปตัสสด	60
19	ขมิ้น	1:3	น้ำใบยูคาลิปตัสสด	60
20	ขมิ้น	1:2	น้ำใบยูคาลิปตัสสด	80
21	ขมิ้น	1:3	น้ำใบยูคาลิปตัสสด	80



รูป กระบวนการย้อมสีก้านบัวหลวงจากสีธรรมชาติ

ที่มา : ดัดแปลงจาก [18]

1) วัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Data Color 600 Spectrophotometer) รุ่น CS – 10

2) วัดค่า PH ของสี

ผลการศึกษา

จากการทดลองย้อมสีธรรมชาติด้วยขมิ้นผลการทดลอง พบว่า

- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้นที่ 40 นาที ให้สีค่อนข้างอ่อน ก้านบัวอมน้ำมาก ใช้เวลาตากแห้งนาน
- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้นที่ 60 นาที ให้สีเข้มขึ้นเล็กน้อยแต่โดยรวมสียังค่อนข้างอ่อนใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่ย้อม 40 นาที ก้านบัวอมน้ำมาก ใช้เวลาตากแห้งนาน
- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้นที่ 80 นาที ให้สีเข้มขึ้นเล็กน้อยแต่โดยรวมสียังค่อนข้างอ่อนใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่ย้อม 60 นาที ก้านบัวอมน้ำมาก ใช้เวลาตากแห้งนาน

จากการทดลองย้อมสีธรรมชาติด้วยขมิ้นโดยใช้สารช่วยติดผลการทดลอง พบว่า

- ผงขมิ้นต่อน้ำสารส้มที่อัตราส่วน 1:2 ที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 40 นาที, 60 นาที, และ 80 นาที

จากการทดลองย้อมสีธรรมชาติด้วยขมิ้นโดยใช้น้ำสารส้มผลการทดลอง พบว่า

- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น:น้ำสารส้มที่ 40 นาที ให้สีเหลืองขมิ้นอ่อนไปทางสว่าง สีขมิ้นติดชัดเจนเมื่อเทียบกับการย้อมที่ไม่ใช้สารช่วยติดย้อมที่ 40 นาที ก้านบัวไม่อมน้ำ
- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น : น้ำสารส้มที่ 60 นาที สีเหลืองขมิ้นติดอย่างชัดเจน ให้สีเหลืองแตกต่างชัดกว่าย้อมสีขมิ้นที่ 60 นาที ที่ไม่ใช้สารช่วยติด และเมื่อเทียบกับการใช้สารช่วยติดเหมือนกันย้อมสีขมิ้นที่ 60นาที ลักษณะของโทนสีเข้มขึ้น ก้านบัวไม่อมน้ำ

- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น : น้ำสารส้มที่ 80 นาที ให้สีเหลืองขมิ้นที่เข้มขึ้นมีความแตกต่างจากการย้อมที่ 40 นาที เมื่อเปรียบเทียบโดยใช้สารช่วยติดเหมือนกันอย่างชัดเจน ลักษณะของโทนสีเหลืองไปทางเข้ม แต่เมื่อเทียบกับโทนสีของการย้อมสีขมิ้นที่ 60 นาที ให้ความแตกต่างกันไม่มาก ก้านบัวไม่อมน้ำมาก

สรุปผลการย้อมสีธรรมชาติขมิ้นโดยใช้น้ำปูนใส

- ก่อนผสมขนิ้มกับน้ำปูนใสลักษณะสีของน้ำขมิ้นเป็นสีเหลือง แต่เมื่อผสมกับน้ำปูนใสแล้วเปลี่ยนสีมีลักษณะแดงเข้มทันที

- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น:น้ำปูนใสที่ 40 นาที ก้านบัวที่ฟอกขาวเปลี่ยนสีไม่มาก สีขมิ้นที่ติดออกไปลักษณะสีแดงมากกว่าสีเหลือง และชัดเจนเมื่อเทียบกับการย้อมที่ไม่ใช้สารช่วยติดย้อมที่ 40 นาที สีมีลักษณะใกล้เคียงกัน

- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น:น้ำปูนใสที่ 60 นาที สีก้านบัวที่ได้สีเข้มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและเมื่อทำการเปรียบเทียบกับก้านบัวที่ไม่ใช้สารช่วยติดแล้วมีโทนสีไม่ต่างกัน โดยสีเหลืองขมิ้นที่ได้เป็นลักษณะโทนสีแดง

- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น:น้ำปูนใสที่ 80นาที สีก้านบัวที่ได้สีเข้มขึ้นและเมื่อทำการเปรียบเทียบกับก้านบัวที่ไม่ใช้สารช่วยติดแล้วมีโทนสีเข้มขึ้นต่างกันเล็กน้อย โดยสีเหลืองขมิ้นที่ได้เป็นลักษณะโทนสีแดง

ผลการย้อมสีธรรมชาติขมิ้นโดยใช้สารช่วยติด

- ผงขมิ้นต่อน้ำเปล่าไม่ใช้สารช่วยติดที่อัตราส่วน 1:2 ที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 40นาที 60นาที และ 80นาที

สรุปผลการย้อมสีธรรมชาติขมิ้นโดยน้ำใบยูคาลิปตัส

- การใช้สารช่วยติดด้วยน้ำใบยูคาลิปตัสช่วยให้ก้านบัวฟอกขาวสามารถดูดสีได้ดี

- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น:ใบยูคาลิปตัสที่ 40นาที สีขมิ้นติดที่ก้านบัวฟอกขาวได้ดีให้สีเหลืองค่อนข้างสว่าง และเมื่อเทียบกับการย้อมที่ไม่ใช้สารช่วยติดที่ 40นาทีเหมือกันจะให้สีที่เหลืองกว่าอย่างชัดเจน

- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น:ใบยูคาลิปตัสที่ 60นาที สีติดที่ก้านบัวฟอกขาวได้ดีให้สีเหลืองกว่าและเมื่อเทียบกับการย้อมที่ไม่ใช้สารช่วยติดที่ 60นาทีเหมือนกันจะให้สีเหลืองกว่าอย่างชัดเจน

- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น:ใบยูคาลิปตัสที่ 80นาที สีก้านบัวที่ได้เป็นสีน้ำตาลติดเหลืองเมื่อทำการเปรียบเทียบกับก้านบัวในช่วง 40นาที และ60นาที

- ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น:ใบยูคาลิปตัสที่ 40นาที 60นาที 80นาทีเมื่อเวลาผ่านไปสักครู่ก้านบัวมีการเปลี่ยนสีที่คล้ำขึ้น

ผลการศึกษา

จากผลการทดลอง พบว่า จากการทดลองย้อมสีธรรมชาติด้วยขมิ้นก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้นที่ 80 นาที ให้สีเข้มขึ้นเล็กน้อยแต่โดยรวมสียังค่อนข้างอ่อนใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่ย้อม 60 นาที ก้านบัวอมน้ำมาก ใช้เวลาตากแห้งนาน ซึ่งเมื่อใช้ผงขมิ้นต่อน้ำสารส้มที่อัตราส่วน 1:2 ใช้อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 80 นาที ก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้นให้สีเหลืองขมิ้นที่เข้มขึ้นมีความแตกต่างจากการย้อมที่ 40 นาที ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบโดยใช้สารช่วยติดเหมือนกันลักษณะของโทนสีเหลืองไปทางเข้ม แต่เมื่อเทียบกับโทนสีของการย้อมสีขมิ้นที่ 60 นาที ให้ความแตกต่างกันไม่มาก แต่ก้านบัวไม่อมน้ำมาก ส่วนก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น:น้ำปูนใสที่ 80 นาที นั้น สีก้านบัวที่ได้สีเข้มขึ้นและเมื่อทำการเปรียบเทียบกับก้านบัวที่ไม่ใช้สารช่วยติดแล้วมีโทนสีเข้มขึ้นต่างกันเล็กน้อย โดยสีเหลืองขมิ้นที่ได้เป็นลักษณะโทนสีแดง และก้านบัวที่ผ่านการย้อมสีขมิ้น:ใบยูคาลิปตัสที่ 60 นาที สีติดที่ก้านบัวฟอกขาวได้ดีให้สีเหลืองกว่าและเมื่อเทียบกับการย้อมที่ไม่ใช้สารช่วยติดที่ 60นาทีเหมือนกันจะให้สีเหลืองกว่าอย่างชัดเจน แต่หาก ผ่านไป 80 นาที ก้านบัวมีการเปลี่ยนสีที่คล้ำขึ้น

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลผลการวัดค่าสีหลังการย้อมสีขมิ้น 1:2

รายการ	dL	da	db	ค่าpH
ก้านบัวแห้ง	40.65	5.62	15.57	-
ก้านบัวฟอกขาว	75.25	5.61	33.47	-
ขมิ้น:น้ำเปล่า 40นาที	59.99	12.06	29.85	8.39
ขมิ้น:น้ำเปล่า60นาที	54.55	13.04	36.95	8.57
ขมิ้น:น้ำเปล่า80นาที	46.09	13.56	28.79	8.73
ขมิ้น:น้ำสารส้ม 40นาที	62.92	20.8	67.93	3.33
ขมิ้น:น้ำสารส้ม 60นาที	59.64	20.82	59.35	3.35
ขมิ้น:น้ำสารส้ม 80นาที	55.76	21.57	59.28	3.32
ขมิ้น:น้ำปูนใส 40นาที	70.12	8.37	26.27	11.64
ขมิ้น:น้ำปูนใส 60นาที	69.57	8.76	26.53	11.64
ขมิ้น:น้ำปูนใส 80นาที	58.1	9.75	22.06	11.64
ขมิ้น:น้ำใบยูคาลิปตัส 40นาที	50.14	15.72	41.73	5.10
ขมิ้น:น้ำใบยูคาลิปตัส 60นาที	43.74	18	33.36	5.08
ขมิ้น:น้ำใบยูคาลิปตัส 80นาที	38.4	17.61	26.43	5.03

หมายเหตุ* กำหนดหน่วยวัดสีสัญลักษณ์มี 3ตัวแปล L, a, b รายละเอียดดังนี้

แกน dL* คือ ความสว่าง มีค่าจาก 0 – 100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว

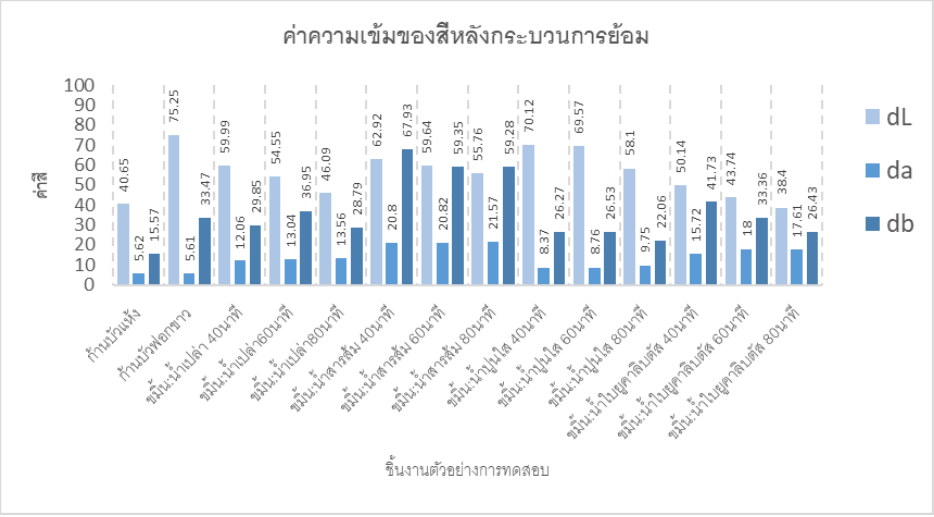
แกน da คือ บรรยายแกนสี จากสีเขียว –a จนถึง สีแดง +a

แกน db คือ บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน –b จนถึง สีเหลือง +b

จากตารางที่ 1 แสดงข้อมูลผลการวัดค่าสีหลังการย้อมสีขมิ้น 1:2 พบว่า เมื่อนำขมิ้น:น้ำส้ม โดยใช้เวลา 40 นาที, 60 นาที และ 80 นาที และ ขมิ้น:น้ำใบยูคาลิปตัส โดยใช้เวลา 40 นาที, 60 นาที และ 80 นาที จะมีค่าความสว่างของสีในระดับกลางตั้งแต่ระดับ 38.4-62.92 และมีฤทธิ์ความเป็นกรดทั้งหมด (PH<7)

ทั้งนี้ขมิ้น:น้ำเปล่า โดยใช้เวลา 40 นาที, 60 นาที และขมิ้น:น้ำปูนใสโดยใช้เวลา 40 นาที, 60 นาที มีฤทธิ์ความเป็นด่าง (PH>7)

ตารางที่ 3 แสดงค่าความเข้มข้นของสีหลังจากกระบวนการย้อม



ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลผลค่ากรด-เบส

รายการ	ปริมาณ	เวลา	อุณหภูมิ	ค่าpH
ขมิ้น:น้ำเปล่า 40นาที	40	40	29	8.39
ขมิ้น:น้ำเปล่า 60นาที	50	60	29	8.57
ขมิ้น:น้ำเปล่า 80นาที	50	80	29	8.73
ขมิ้น:น้ำสารส้ม 40นาที	50	40	27	3.33
ขมิ้น:น้ำสารส้ม 60นาที	50	60	27	3.35
ขมิ้น:น้ำสารส้ม 80นาที	50	80	28	3.32
ขมิ้น:น้ำปูนใส 40นาที	50	40	27	11.64
ขมิ้น:น้ำปูนใส 60นาที	50	60	27	11.64
ขมิ้น:น้ำปูนใส 80นาที	50	80	27	11.64
ขมิ้น:น้ำใบยูคาลิปตัส 40นาที	50	40	30	5.10
ขมิ้น:น้ำใบยูคาลิปตัส 60นาที	50	60	30	5.08
ขมิ้น:น้ำใบยูคาลิปตัส 80นาที	50	80	30	5.03

อภิปรายและสรุปผล

ผลการทดลองในครั้งนี้สรุปได้ว่า สารช่วยติดสีต่อการย้อมสีขมิ้นสามารถเรียงลำดับการติดสีได้ดีจนถึงน้อยสุดคือ1.ขมิ้น:น้ำสารส้ม 2.ขมิ้น:น้ำใบยูคาลิปตัส 3.ขมิ้น:น้ำเปล่า 4.ขมิ้น:น้ำปูนใส เรียงตามลำดับ โดยจากการใช้สารช่วยติดน้ำสารส้มให้ผลลัพธ์การย้อมสีขมิ้นติดก้านบัวเป็นที่พอใจมากกว่าสารช่วยติดตัวอื่นโดยใช้การอ้างอิงจากผลลัพธ์ข้อมูลการวัดค่าสีซึ่งสามารถนำผลการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้ในการกำหนดวิธีการย้อมสีของก้านบัวหลวงเพื่อให้ได้สีสันที่ต้องการ โดยอ้างอิงวิธีการย้อมจากผลการทดลอง เพื่อให้สีที่ออกมามีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำการงานประดิษฐ์ สร้างความแตกต่างและความสนใจแก่กลุ่มลูกค้ามากยิ่งขึ้น ดึงดูดให้ลูกค้ามีตัวเลือกที่หลากหลายขึ้นและเลือกสรรค์หรือเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของตนเองได้มากขึ้น และยังสามารถสร้างความประทับใจในการกลับมาซื้อซ้ำหรือบอกต่อ แนะนำ เพื่อน พี่ หรือญาติใกล้ชิด ถึงเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ ต่อไป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถเพิ่มมูลค่าทางการตลาดได้ ทั้งนี้จากกระบวนการผลิตสามารถกระจายรายได้จากกระบวนการผลิตจนถึงการจัดจำหน่าย ให้แก่ชุมชนและประชาชนได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชานนท์ แสงโสด ที่ทำการศึกษาชนิดของสารช่วยติดและระยะเวลาในการย้อมที่เหมาะสมในการย้อมสีตอกไม้ไผ่จากกากกาแฟ พัฒนาผลิตภัณฑ์กระเป๋าถือจากตอกไม้ไผ่ย้อมสีจากกากกาแฟและสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์กระเป๋าถือจากตอกไม้ไผ่ย้อมสีจากกากกาแฟวิธีการวิจัยคือการนำตอกไม้ไผ่นวล ไปอ้อมด้วยน้ำย้อมที่สกัดจากกากกาแฟ โดยปัจจัยที่ศึกษามี 2 ปัจจัยคือ ชนิดของสารช่วยติดสี แปรเป็น 3 ชนิด คือ ไม่ใช้สารช่วยติด น้ำใบยูคาลิปตัสสด น้ำสารส้มระยะเวลาในการย้อม โดยแปรเป็น 3 ระดับ คือ 40 60 และ 80 นาทีวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ได้สิ่งทดลอง 9 สิ่งทดลอง ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ เพื่อคัดเลือกกระบวนการย้อมที่เหมาะสมที่สุด นำเส้นตอกไม้ไผ่ที่ได้มาผลิตเป็นกระเป๋า และสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคจำนวน 120 คนและพบว่าการย้อมโดยใช้น้ำใบยูคาลิปตัสสดเป็นสารช่วยติด ใช้ระยะเวลาในการย้อม 80 นาที เป็นสภาวะที่หมาะสมในการย้อม และตอกไม้ไผ่ที่ได้มีค่าความสว่าง (L*) 60.39 ± 1.13 มีค่าความต้านทานต่อแรงดึง 71.30 ± 0.51 นิวตัน และค่าความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียมในระดับที่ >4 และปวินรัตน์ แซ่ตั้ง ที่ทำการศึกษาการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ผ้าทอย้อมสีธรรมชาติ โดยใช้สารช่วยย้อมจากน้ำพุร้อนแจ้ซ้อน

อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปางพบว่า น้ำแร่แจ้ซ้อน มีผลต่อการย้อมสีผ้าธรมชาติ กล่าวคือ ทำให้ให้ผืนผ้าที่มีสีสดใสขึ้นกว่าเดิมสีติดคงทนมากขึ้น สารคมีที่อยู่ในน้ำแจ้ซ้อน คือ ธาตุกำมะกัน และสารประกอบต่าง ๆ ที่สามารถเป็นสารช่วยย้อมได้ มีผลทำให้สีธรรมชาติติดเส้นใยได้ดีขึ้น ทำให้เกิดเฉดสีที่หลากหลายขึ้น รวมทั้งทำให้กิดผลิตภัณฑ์ "ผ้าทอน้ำแร่แจ้ซ้อน" ที่มีประโยชน์ในด้านการรักษาสุขภาพได้อีกด้วย นอกจากนี้ การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ผ้าทอย้อมสีธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นไห้จากการออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นรูปแบบผลิตภัณฑ์สิ่งทอต่าง ๆ เช่น เครื่องแต่งกาย และผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ ผ่านการตลาดระบบอินเตอร์เน็ตและการสร้างแบรนด์ผลิตภัณฑ์สินค้าขึ้นมาใช้ในนามผ้าทอน้ำแร่" เพื่อเป็นการนุรักษ์ภูมิปัญญาด้านการอผ้าย้อมสีธรรมชาติต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาเรื่อง การพัฒนาการย้อมสีก้านบัวหลวงสำหรับผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคาระห์และสนับสนุนเป็นอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐ ชมภูพาน ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ดร.นารีรัตน์ จริยะปัญญา ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ ดร.สุภา จุฬคุปต์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ และข้อแนะนำในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. โอกาสเศรษฐกิจสีเขียว Green Economy. (2564). สรุป COP26 ตั้งแต่ความรู้เบื้องต้น จนถึงโอกาสเศรษฐกิจสีเขียว Green Economy สืบค้นจาก https://shorturl.asia/6TIWH
2. การใช้ประโยชน์ไผ่ทางตรง. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 25 เมษายน 2566 สืบค้นจาก http://www.cpt.cmru.ac.th/detail2.php?id_know=55
3. จังหวัดปทุมธานี. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 25 เมษายน 2566 สืบค้นจาก https://stu40811site.wordpress.com/
4. สุภา จุฬคุปต์. (2562). ศึกษาการพัฒนาก้านบัวหลวงอัดแห้งสำหรับงานจักสาน (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
5. วรินทร์ธร กิจธรรม. (2557). อิทธิพลของ “สี” ต่อการสร้างแบรนด์. สืบค้นจาก http://gscm.nida.ac.th/public-action/Journal/Vol.1-58/5.pdf
6. จินดาพร คล้ายคลึง. (2565). การส่งเสริมการใช้สีธรรมชาติแทนการใช้สารเคมีย้อมผ้าไหมเพื่อสร้างคุณค่าและรู้จักใช้ประโยชน์ของทรัพยากรธรรมชาติ. สืบค้นจาก https://shorturl.asia/iNJQI
7. ข้อมูลของบัวหลวง. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 25 เมษายน 2566 สืบค้นจาก https://shorturl.asia/8XN10
8. บุษราภรณ์ มหัทธนชัย. (2563). การย้อมสี (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
9. Natural dyeing of cellulose fibers using syzygium cumini fruit extracts and a bio-mordant: A step toward sustainable dyeing. (2565). Sustainable Materials and Technologies. สืบค้นจาก https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993722000860
10. Sustainable dyeing of cotton fabric with mangiferin: Roles of microwave-rays and bio-mordants on fabric colorimetric and fastness properties. (2565). สืบค้นจาก https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554122002261

11. Experimental, DFT and MD simulation studies of Mordant Black 11 dye adsorption onto Polyaniline in aqueous solution. (2564) สืบค้นจาก https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732222015835
12. ชานนท์ แสงโสด. (2562). การพัฒนาตอกไม้ไผ่ย้อมสีธรรมชาติจากกาแฟสำหรับงานจักสาน. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัฒฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี)
13. จันทนา สุดแดน. (2559). การใช้สารช่วยติดในการย้อมสีจากเปลือกไม้โกงกง (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
14. สุภา จุฬัคุปต์. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเป๋ากาบหมาก(รายงานการวิจัย).มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
15. ปวินรัตน์ แซ่ตั้ง. (2556). การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ผ้าทอย้อมสีธรรมชาติผ่านกระบวนการย้อมสีธรรมชาติโดยการใช้สารช่วยย้อมจากน้ำพุร้อนแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพ, 1(1). 9-22.
16. กชกร สกุลบริสุทธิ์, สุธีลักษณ์ ไกรสุวรรณ์ และขจีจรัส ภิรมย์ธรรมศิรี. (2559) ผลของสารช่วยติดที่มีต่อความคงทนของสีฝ้ายสีธรรมชาติสีน้ำตาล. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒ, 8(15). 1-5.
17. องค์การบริหารส่วนตำบลเขาไม้แก้ว. (2562). รณรงค์และประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนซื้อสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. สืบค้นจาก http://www.kaomaikeaw.go.th/news/detail/3592
18. Eco Friendly and Green Building. (2560). สืบค้นจาก https://shorturl.asia/xpHib
19. Roscoe, Johh T. (1975). Fundamental Research Statistics for the Behavioral Sciences. New York: Holt Rinehart and Winston, Inc.

การคัดเลือกสายพันธุ์กระดอม

Varietal selection of *Gymnopentalum chinense* (Lour.) Merr.

เกษร แช่มชื่น[1*], อนุรักษ์ สุขขารมย์[1] และ พฤกษ์ คงสวัสดิ์[2]

Kesorn chaemchuen[1*], Anurak Sukkharom [1] and Phruek Kongsawad[2]

บทคัดย่อ

กระดอมเป็นพืชผสมข้าม ประชากรที่ได้ตามธรรมชาติ มีพันธุกรรมที่หลากหลาย ทำให้ลักษณะประจำพันธุ์และสารสำคัญ คือ ไตรเทอร์พีนอยด์ อาจไม่คงที่ ผลแห้งกระดอมเป็นส่วนประกอบในตำรับยาแก้ลมและตำรับยาแก้ไข้ การคัดเลือกสายพันธุ์กระดอมนี้ได้รวบรวมเมล็ดกระดอมจากจังหวัดจันทบุรีและตราด ทำการผสมและคัดเลือกพันธุ์ เพื่อให้ได้สายพันธุ์กระดอมลูกผสม ใช้วิธีคัดเลือกแบบบันทึกประวัติปี 2561-2566 ผสมคัดเลือกสายพันธุ์กระดอมลูกผสม ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร ได้กระดอมชั่วที่ 5 สายพันธุ์ คือ TRT (3-5) x CTI (14-4) 15-3-21-4, TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-9-7, TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9- 36-2, TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-36-6 และ TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-36-10 ให้จำนวนผลตั้งแต่ 420 – 719 ผล/ต้น น้ำหนักผลสดตั้งแต่ 3.18 – 4.70 กรัม/ผล ผลผลิตตั้งแต่ 1,916 – 2,290 กรัม/ต้น และปริมาณไตรเทอร์พีนอยด์รวมตั้งแต่ 1.67 – 1.89 กรัม/น้ำหนักแห้ง 100 กรัม และเก็บเมล็ดกระดอมลูกผสมชั่วที่ 6 เพื่อปลูกการเปรียบเทียบพันธุ์กระดอมลูกผสมในปี 2567

คำสำคัญ: แบบบันทึกประวัติ, กระดอม, ไตรเทอร์พีนอยด์

Abstract

Gymnopetalum chinense (Lour.) Merr. Varieties have genetic diversity because their fertilization is cross-pollination. Therefore horticultural characteristics as well as the ingredient triterpenoid should not be stable. Their dry fruits are an ingredient in recipes for wind and fever medicine. The selection of hybrid lines of *G. chinense* wild varieties collected from Chantaburi and Trat provinces. Breeding and Selection are used for the propagation the selection pedigree method. In 2017-2023 line selection and hybrids seed propagation were conducted and selected by using the pedigree method at Phichit Agricultural Research and Development Center (PARDC). Was select hybrid 5 line, namely TRT (3-5) x CTI (14-4) 15-3-21-4, TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-9-7, TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9- 36-2, TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-36-6 และ TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-36-10 gave fruits ranged from 420 – 719 fruits/plant. The fresh fruit weight ranged from 3.18 – 4.70 g/fruit. Yield

[1] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร จังหวัดพิจิตร 66000

[2] ศูนย์วิจัยพืชสวนศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ 33000

[1] Phichit Agricultural Research and Development Center, Phichit, 66000

[2] Srisaket Horticultural Research Center, Sisaket, 33000

* Corresponding author: kesorn.cha@hotmail.com

ranged from 1,916 – 2,290 g/plant. Total triterpenoid ranged from 1.67 – 1.89 g per 100 g dry fruit. The F_6 seeds of selected lines will be used for varietal trials in 2024.

Keywords: Pedigree method, *Gymnopetalum chinense* (Lour.) Merr., triterpenoid

บทนำ

กระดอม พืชวงศ์แตง (Cucurbitaceae) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Gymnopetalum chinense* (Lour.) Merr. มีชื่อพ้อง (synonym) อื่น ๆ หลายชื่อ เช่น *Euonymus chinensis* Lour., *Gymnopetalum chinensis* (Lour.) Merr. และ *Trichosanthes costata* Blume เป็นต้น [8] เป็นไม้ล้มลุกยืนต้น (perennial herb) ลำต้นปีนป่าย หรือทอดเลื้อย ยาวถึง 6 เมตร มือพัน (tendril) เดี่ยว ใบเดี่ยว แผ่นใบรูปหัวใจแกมรูปไข่ (ovate–cordate) มี 3–5 พู ผิวใบทั้งสองด้านมีขนแข็งคลุมบาง ๆ ดอกแยกเพศร่วมต้น (monoecious) ผลรูปไข่แกมรูปขอบขนาน (oblong–ovoid) ยาว 4–5 เซนติเมตร และรูปกระสวยกว้าง (broadly fusiform) ขนาด 2.5 – 5 × 1.5 – 3 เซนติเมตร ส่วนปลายของขั้วผลและปลายผลแหลม (acute) ผิวผลเรียบ มีสัน (rib) 10 สัน เมล็ดรูปขอบขนาน (oblong) ส่วนขั้วและส่วนปลายเมล็ดมน [5], [6] กระดอมเป็นพืชสมุนไพร ในบัญชียาหลักแห่งชาติ พ.ศ. 2556 ผลแห้งกระดอม เป็นส่วนประกอบ ในตำรับยารักษากลุ่มอาการทางระบบไหลเวียนโลหิต (แก้ลม) คือ ยาหอมนวโกฐ ยาหอมอินทจักร์ และตำรับยาแก้ไข้ คือ ยาจันทน์ลีลา [4] ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยทางพรีคลินิก พบว่า สารสกัดกระดอม มีฤทธิ์ลดไข้ได้ใกล้เคียงกับยาแอสไพริน กระดอมประกอบด้วย สารขม ได้แก่ เคอคิวบิเทน โมโนเดสโมดิดิก ไดกลีเซอรไรด์ (cucurbitane monodesmodidic diglyceride) และสารกลุ่มอื่น ๆ เช่น นิโอลิกแนน (neolignan) กรดนิวคลีอิก (nucleic acids) เทอร์พีนอยด์ (terpenoids) และกรดไขมันต่าง ๆ [2] ในประเทศไทย กระดอมมีทั้งพันธุ์ป่า (wild variety) คือ พันธุ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติทั่วไป ไม่ได้นำมาใช้ในการเพาะปลูก แต่มีประโยชน์สำหรับถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมบางประการมาสู่พันธุ์ปลูก และพันธุ์พื้นเมือง (native variety) คือ พันธุ์ที่ได้จากพันธุ์ป่า เกษตรกรแต่ละท้องถิ่น ทำการคัดเลือก และนำมาปลูกเป็นเวลาช้านาน ให้ผลผลิตสูงพอสมควร ปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศได้ดี กระดอมเป็นพืชผสมข้าม จึงมีความหลากหลายทางพันธุกรรม ทำให้ปริมาณผลผลิตและสารออกฤทธิ์อาจไม่คงที่

ในปี 2560 นำกระดอมพันธุ์ป่าที่เก็บมาจากจังหวัดจันทบุรีและตราด มาปลูกคัดเลือกพันธุ์แท้ (pure line selection) เพื่อใช้เผยแพร่พันธุ์ และนำสายพันธุ์แท้ 2 สายพันธุ์ ซึ่งมีความแตกต่างของผลผลิต คือ กระดอมสายพันธุ์ตราดให้ผลผลิตและน้ำหนักผลสูง และกระดอมสายพันธุ์จันทบุรีให้ผลผลิตจำนวนผลมาก และปริมาณไตรเทอร์ปีนอยด์รวมสูง ในปี 2561 ทำการผสมข้ามสายพันธุ์ดังกล่าว ปลูกคัดเลือกแบบบันทึกประวัติ (pedigree method) ได้กระดอมสายพันธุ์ลูกผสมชั่วที่ 3 [3] ปี 2565–2566 ปลูกกระดอมสายพันธุ์ผสมชั่วที่ 3 จนถึงชั่วที่ 6 ตามกำหนดมาตรฐานอย่างน้อย 5 สายพันธุ์ ปี 2567 นำไปปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ในแหล่งปลูกต่าง ๆ เพื่อให้ได้กระดอมสายพันธุ์ดี ให้ผลผลิตและคุณภาพสูง

วิธีการศึกษา

อุปกรณ์

1. เมล็ดกระดอมพันธุ์ลูกผสม
2. ไม้รวกทำค้าง ตาข่ายเอน และเชือกฟาง
3. ปุ๋ยคอก และสารป้องกันกำจัดแมลง ได้แก่ อิมิดาโคลพริด (imidacloprid 10% SL)
4. เครื่องพ่นสารเคมี แผ่นเทียบสี กรรไกร กิ๊บดำ ตะกร้าพลาสติก และกระด้ง

5. อุปกรณ์ให้น้ำ ได้แก่ ปั๊มน้ำใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ท่อพีอี 20 มิลลิเมตร และหัวมินิสปริงเกอร์

6. เครื่องชั่งไฟฟ้า

7. ตู้อบความร้อนไฟฟ้า แบบระบายความร้อน

วิธีการ

ขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์กระดอม ดังนี้ (Figure 1)

ผสมและคัดเลือกสายพันธุ์กระดอม กำหนดมาตรฐานการคัดเลือกพันธุ์กระดอม คือ จำนวนผลไม่น้อยกว่า 400 ผลต่อต้น น้ำหนักผลสดไม่น้อยกว่า 2.5 กรัมต่อผล และไตรเทอร์พีนอยด์รวมสูง

ปี 2561 ปลูกสายพันธุ์พ่อแม่ ผสมข้ามพันธุ์ เก็บเมล็ด ได้เมล็ด F_1 และปลูก F_1 10 ต้น เก็บเมล็ด F_2 และปลูก F_2 27 ต้น คัดเลือกต้นเดี่ยว (single plant) ผสมตัวเอง เก็บเมล็ดแยกต้น ได้เมล็ด F_3

ปี 2565 ปลูก F_3 แบบต้นต่อแถว 30 ต้นต่อแถว คัดเลือกต้นเดี่ยวที่ดีที่สุดจากแถวที่ดีที่สุด และเป็นแถวที่มีความสม่ำเสมอ (uniform) ผสมตัวเอง เก็บเมล็ดแยกต้น ได้เมล็ด F_4 และปลูก F_4 แบบต้นต่อแถว 20 ต้นต่อแถว คัดเลือกต้นเดี่ยวที่ดีที่สุดจากแถวที่ดีที่สุด และเป็นแถวที่มีความสม่ำเสมอ (uniform) ผสมตัวเอง เก็บเมล็ดแยกต้น ได้เมล็ด F_5

ปี 2566 ปลูก F_5 แบบ family คัดเลือกต้นที่ดีที่สุด ผสมตัวเอง เก็บเมล็ดแยกต้น ได้เมล็ด F_6 อย่างน้อย 5 สายพันธุ์

Figure 1 Flowchart *G. chinense* (Lour.) Merr breeding procedure.

Year	*G. chinense* (Lour.) Merr breeding procedure		Location /number of plot [1/]
2018	TRT (3-5) x CTI (14-4)	cross 2 parental lines, harvest F_1 seeds.	PARDC (1)
	F_1 ⊗	grow F_1 self harvest F_2 seeds	PARDC (1)
	F_2 ⊗	grow F_2 27 plant self harvest F_3 seeds	PARDC (1)
2022	F_3 ⊗	grow F_3 30 plant/row/self harvest F_4 seeds	PARDC (1)
	F_4 ⊗	grow F_4 20 plant/row/self harvest F_5 seeds	PARDC (1)
2023	F_5 ⊗	grow F_5 10 plant/row/family self harvest F_6 seeds	PARDC (1)
2024	Varietal trials of F_6 5 lines + 1 common cultivar		PARDC (1) FFS (1)

Year	*G. chinense* (Lour.) Merr breeding procedure	Location /number of plot [1/]
	↓	
	Propose for consideration as a new varietal recommendation	[1/] The number in parentheses indicate the number of plot.

PARDC = Phichit Agricultural Research and Development Center.

FFS = Farm of farmer, Nakhon Pathomi province.

การปลูกและดูแลรักษา

1. การเตรียมกล้า เพาะเมล็ดกระดอมลูกผสม ในถาดหลุมที่มีพีต (peat) เป็นวัสดุเพาะ
2. การเตรียมแปลงคัดเลือกสายพันธุ์ลูกผสม ยกแปลงกว้าง 1.50 เมตร ยาว 12 เมตร สูง 15 เซนติเมตร เว้นทางเดินระหว่างแปลง 1 เมตร ขุดหลุมปลูกขนาด 15 × 15 × 15 เซนติเมตร
3. การปลูก ย้ายกล้าระยะมีใบจริงคลี่บานเต็มที่ 3 ใบ ซึ่งกล้ามีอายุหลังเพาะเมล็ด 30 วัน ขุดหลุมปลูกขนาด 15 × 15 × 15 เซนติเมตร ปลูกลงแปลงวางกล้าที่ก้นหลุมลึกประมาณ 3 เซนติเมตร กลบดินที่เหลือลงในหลุม กดดินให้แน่น

1. ปักเสาไม้ค้างตรง สูงจากพื้นดิน 2 เมตร ปักตลอดแนวยาวของแปลงปลูก ห่างกันเสาละ 1.50 เมตร ร้อยเชือกฟาง ขึงเข้ากับห่วงตาข่ายเอนสำหรับทำค้างแตง ขึงเป็นราวบน-ล่าง ขึงให้ตึงเข้ากับเสาไม้ค้างที่เตรียมไว้
2. คลี่ตาข่ายออกตลอดแนวปลูก ผูกตาข่ายกับเสาให้แน่น
3. การให้น้ำ ให้น้ำระบบมินิสปริงเกอร์ หลังใส่ปุ๋ยคอกทุกครั้ง และให้น้ำทุกวัน จนกระทั่งสิ้นสุด การเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำที่ให้ สังเกตดินในแปลงเปียกชื้นเล็กน้อย จึงหยุดให้
4. การให้ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยคอกอัตรา 300 กรัมต่อหลุม 3 ครั้ง คือ ครั้งแรก ใส่รองก้นหลุม คลุกเคล้าปุ๋ยคอก ให้เข้ากับดินก่อนปลูก ครั้งที่ 2 ระยะออกดอก และครั้งที่ 3 ระยะติดผล โดยหว่านรอบโคนต้น
5. การกำจัดวัชพืช ดายวัชพืชในแปลง เดือนละ 1 ครั้ง เก็บวัชพืชนำไปทิ้งนอกแปลง
6. การป้องกันกำจัดแมลง ใช้อิมิดาโคลพริด อัตรา 10 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ผสมสารจับใบ พ่นป้องกันกำจัดด้วงเต่าแตงแดง พ่นเมื่อพบการระบาด

การผสมตัวเอง

ใช้กิ๊บดำหนีบดอกเพศผู้และเพศเมียในต้นเดียวกัน ระยะดอกตูมเต็มที่ก่อนบาน 1 วัน วันรุ่งขึ้น ตอนเช้า นำกิ๊บดำออก ใช้แรงงานคนถ่ายเรณู ลงบนยอดเกสรเพศเมีย ใช้กิ๊บดำหนีบดอกเพศเมียหลังถ่ายเรณูเสร็จ และวันถัดมานำกิ๊บดำออก เมื่อรังไข่พัฒนาเป็นผล

การเก็บเกี่ยว

เก็บเกี่ยวผลสด อายุหลังดอกบาน 7 วัน สังเกตส่วนปลายผล มีก้านเกสรเพศเมียติดอยู่ นับจำนวนผล และชั่งน้ำหนักผลสด และเก็บเกี่ยวเมล็ด เมื่อผลแก่สีส้มแดง ผ่าผล ล้างเมล็ดในน้ำสะอาด นำเมล็ดใส่กระด้ง ผึ่งแดดให้แห้ง บรรจุเมล็ดในถุงพลาสติกใสปิดสนิท เก็บรักษาเมล็ดในตู้เย็นอุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส

การทำให้แห้ง

สุ่มตัวอย่างผลสดไปล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ หั่นเป็นชิ้นเล็ก ใส่ถาดสเตนเลส และเกลี่ยให้สม่ำเสมอ นำเข้าตู้อบความร้อนไฟฟ้า แบบระบายความร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ให้มีความชื้นหลังอบแห้งไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ บรรจุผลแห้งในถุงพลาสติกใส ผนึกให้แน่น เก็บในที่สะอาด

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

สุ่มตัวอย่างผลแห้ง 100 กรัม บดเป็นผง ส่งตัวอย่างผงแห้ง 80 กรัม วิเคราะห์หาปริมาณไตรเทอร์พีนอยด์รวม (total triterpenoids) ใช้วิธี High Performance liquid Chromatography (HPLC) [8] ที่ศูนย์วิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ (ฝ่ายผลิตภัณฑ์สมุนไพร) คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ

ผลการศึกษา

ปี 2561 ปลูกสายพันธุ์พ่อแม่ผสมข้ามพันธุ์และคัดเลือกสายพันธุ์กระดอม แบบบันทึกประวัติ (pedigree method) กำหนดมาตรฐานการคัดเลือกพันธุ์กระดอม คือ จำนวนผลไม่น้อยกว่า 400 ผลต่อต้น น้ำหนักผลสดไม่น้อยกว่า 2.5 กรัมต่อผล และไตรเทอร์พีนอยด์รวมสูง โดยปลูกสายพันธุ์พ่อแม่ผสมข้ามพันธุ์ เก็บเมล็ด ได้เมล็ด F_1 และปลูก F_1 10 ต้น เก็บเมล็ด F_2 และปลูก F_2 27 ต้น คัดเลือกต้นเดี่ยว (single plant) ผสมตัวเอง เก็บเมล็ดแยกต้น ได้เมล็ด F_3

ปี 2565 ในฤดูแล้ง ปลูกคัดเลือกต้นเดี่ยว กระดอมชั่วที่ 3 ตามมาตรฐานการคัดเลือกพันธุ์กระดอม คือ จำนวนผลไม่น้อยกว่า 400 ผลต่อต้น น้ำหนักผลสดไม่น้อยกว่า 2.5 กรัมต่อต่อ มีไตรเทอร์พีนอยด์รวมสูง ได้จำนวน 21 สายพันธุ์ จำนวน 525 ต้น ผลการคัดเลือกพบลักษณะความแปรรวนทางลักษณะภายนอกเล็กน้อย มีสายต้นผ่านการคัดเลือกจำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ TRT (3–5) x CTI (14–4) –2–14, TRT (3–5) x CTI (14–4) –7–9, TRT (3–5) x CTI (14–4) –7–15, TRT (3–5) x CTI (14–4) –15–3, TRT (3–5) x CTI (14–4) –15–9, TRT (3–5) x CTI (14–4) –15–15, TRT (3–5) x CTI (14–4) –15–18, และ TRT (3–5) x CTI (14–4) –15–22 ให้จำนวนผลตั้งแต่ 499 – 1,196 ผล/ต้น น้ำหนักผลสดตั้งแต่ 3.39 – 5.53 กรัม/ผล และผลผลิตตั้งแต่ 1,815 – 5,120 กรัม/ต้น (Table 1)

Table 1 yield of *G. chinense* (Lour.) Merr. F_3 at Phichit Agricultural Research andDevelopment Center the dry season 2021.

Line number	fruit/plant	Fresh fruit weight (g/fruit)	yield[1/] (g/plant)
TRT (3–5) x CTI (14–4)–2–14	799	4.25	3,369
TRT (3–5) x CTI (14–4)–7–9	624	3.96	2,303
TRT (3–5) x CTI (14–4)–7–15	535	3.39	1,815
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–3	499	5.53	2,762
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–9	761	4.31	3,279

Line number	fruit/plant	Fresh fruit weight (g/fruit)	yield[1/] (g/plant)
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–15	613	4.81	2,948
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–18	1,196	4.28	5,120
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–22	757	4.68	3,543

[1/] Fresh fruit were harvested 3 month.

คัดเลือกกระดอมชั่วที่ 4 จำนวน 8 สายพันธุ์ จำนวน 400 ต้น ในฤดูฝน ปี 2565 คัดเลือก ตามมาตรฐานการคัดเลือกพันธุ์กระดอม พบว่า ผลการคัดเลือกได้จำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ TRT (3–5) x CTI (14–4)–2–14–49, TRT (3–5) x CTI (14–4)–7–15–32, TRT (3–5) x CTI (14–4)–7–15–33, TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–3–21, TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–9–9, TRT (3–5) x CTI (14–4)–15– 9–36, TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–15–1, TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–22–15, TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–22–27 และ TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–22–34 โดยประเมินศักยภาพต้นกระดอมลูกผสมชั่วที่ 4 และองค์ประกอบผลผลิต พบว่า ให้จำนวนผลตั้งแต่ 402 – 892 ผล/ต้น น้ำหนักผลสดตั้งแต่ 2.56 – 4.05 กรัม/ผล ผลผลิตตั้งแต่ 1,215 – 2,661 กรัม/ต้น และปริมาณไตรเทอร์พีนอยด์รวมตั้งแต่ 1.21 – 1.79 กรัม/น้ำหนักแห้ง 100 กรัม (Table 2)

Table 2 yield and Total triterpenoidof *G. chinense* (Lour.) Merr. F_4 at Phichit Agricultural Research and Development Center the rainy season 2021.

Line number	fruit/plant	Fresh fruit weight (g/fruit)	yield[1/] (g/plant)	Total triterpenoid (mg/100 g fresh petal)
TRT (3–5) x CTI (14–4)–2–14–49	418	3.25	1,357	1.49
TRT (3–5) x CTI (14–4)–7–15–32	420	3.55	1,490	1.43
TRT (3–5) x CTI (14–4)–7–15–33	538	2.56	1,378	1.59
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–3–21	578	4.05	2,339	1.21
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–9–9	646	3.09	1,996	1.79
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–9–36	743	3.58	2,661	1.64
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–15–1	402	3.31	1,215	1.44
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–22–15	583	2.96	1,727	1.54
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–22–27	892	2.60	2,318	1.42
TRT (3–5) x CTI (14–4)–15–22–34	771	2.75	2,121	1.30

[1/] Fresh fruit were harvested 3 month.

คัดเลือกกระดอมชั่วที่ 5 จำนวน 10 สายพันธุ์ จำนวน 231 ต้น ในฤดูแล้ง ปี 2566 คัดเลือก ตามมาตรฐานการคัดเลือกพันธุ์กระดอม พบว่า ผลการคัดเลือกได้จำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ TRT (3–5) x CTI (14–4) 15–3–21–4, TRT (3–5) x CTI (14–4) –15–9–9–7, TRT (3–5) x CTI (14–4) –15–9– 36–2, TRT (3–5) x CTI (14–4) –15–9–36–6

และ TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-36-10 ให้จำนวนผลตั้งแต่ 420 – 719 ผล/ต้น น้ำหนักผลสดตั้งแต่ 3.18 – 4.55 กรัม/ผล ผลผลิตตั้งแต่ 1,916 – 2,290 กรัม/ต้น และปริมาณไตรเทอร์พีนอยด์รวมตั้งแต่ 1.67 – 1.89 กรัม/น้ำหนักแห้ง 100 กรัม และเก็บเมล็ดกระดอมลูกผสมชั่วที่ 6 เพื่อปลูกการเปรียบเทียบพันธุ์กระดอมลูกผสม ในปี 2567 (Table 3 and Figure 2)

Table 3 yield and Total triterpenoidof *G. chinense* (Lour.) Merr. F_5 at Phichit Agricultural Research and Development Center the dry season 2022.

Line number	fruit/plant	Fresh fruit weight (g/fruit)	yield [1/] (g/plant)	Total triterpenoid (mg/100 g fresh petal)
TRT (3-5) x CTI (14-4) 15-3-21-4	435	4.70	2,051	1.68
TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-9-7	420	4.55	1,916	1.89
TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-36-2	592	3.81	2,265	1.88
TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-36-6	568	3.67	2,089	1.78
TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-36-10	719	3.18	2,290	1.67

[1/] Fresh fruit were harvested 3 month.


TRT (3-5) x CTI (14-4) 15-3-21-4


TRT (3-5) x CTI (14-4) 15-9-9-7


TRT (3-5) x CTI (14-4) 15-9-36-2


TRT (3-5) x CTI (14-4) 15-9-36-6


TRT (3-5) x CTI (14-4) 15-9-36-10

Figure 2 Evaluate yield potential of *Gymnopentalum chinense* (Lour.) Merr. F_5

อภิปรายและสรุปผล

การคัดเลือกสายพันธุ์ ที่มีการคัดเลือกเป็นรายต้นพันธุ์ใหม่ที่ได้นี้ ทำให้ได้พันธุ์ใหม่มีการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าพันธุ์ที่ได้จากการคัดเลือกพันธุ์แท้ โดยคัดเลือกลักษณะทางคุณภาพ ประกอบด้วย อายุออกดอก ลักษณะ ลำต้น สีดอก การต้านทานโรค ซึ่งสามารถที่จะทำการคัดเลือกได้เลยในชั่วต้น ๆ โดยลักษณะทาง

ปริมาณ เช่น ผลผลิต คุณภาพ คัดเลือกในชั่วหลัง ๆ ให้พืชมีความคงตัวทางพันธุกรรมสูงสุด [1] ผลการคัดเลือกพบว่า กระดอมสายพันธุ์ลูกผสม F_5 มีความสม่ำเสมอ (Uniformity) ซึ่งคัดเลือกได้ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ TRT (3-5) x CTI (14-4) 15-3-21-4, TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-9-7, TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9- 36-2, TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-36-6 และ TRT (3-5) x CTI (14-4) -15-9-36-10 ให้ผลผลิตและคุณภาพสูงมากกว่ากำหนดมาตรฐานการ คือ ให้จำนวนผลตั้งแต่ 420 – 719 ผล/ต้น น้ำหนักผลสดตั้งแต่ 3.18 – 4.70 กรัม/ผล ผลผลิตตั้งแต่ 1,916 – 2,290 กรัม/ต้น และปริมาณไตรเทอร์พีนอยด์รวมตั้งแต่ 1.67 – 1.89 กรัม/น้ำหนักแห้ง 100 กรัม ทำการคัดเลือกเก็บเกี่ยวเมล็ด F_6 และนำไปปลูกเปรียบเทียบกับพันธุ์ปลูกทั่วไปของเกษตรกร ในปี 2567 เพื่อเปรียบเทียบสถานที่ปลูกและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ในการผลิตกระดอมให้ได้สายพันธุ์ที่ได้ผลผลิตและคุณภาพสูง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากผู้ช่วยเหลือและให้การสนับสนุน ดร.จรัญ ดิษฐ์ไชยวงศ์ และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และสาธารณูปโภค พนักงานปฏิบัติงานในแปลงทดลองที่มีส่วนร่วมทำให้ งานทดลองนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กฤษฎา สัมพันธารักษ์. ปรับปรุงพันธุ์พืช: พื้นฐาน วิธีการ และแนวคิด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2546.

กระดอม กระทรวงสาธารณสุข [อินเทอร์เน็ต]. 2560; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2564 ได้จาก: https://ittm.dtam.moph.go.th/index.php/knowledge-1/163- knowledge-3

2. จรัญ ดิษฐ์ไชยวงศ์, เกษร แช่มชื่น, ศรีสุดา โท้ทอง, ลัดดาวัลย์ อินทรสังข์ และพินิจ เขียวพุ่มพวง. การรวบรวมและคัดเลือกกระดอมพันธุ์ดีที่ให้ผลผลิตและสาระสำคัญสูง. ใน: รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ 2563ช 1-24
3. ประกาศคณะกรรมการพัฒนาระบบยาแห่งชาติเรื่อง บัญชียาหลักแห่งชาติ (ฉบับที่2) พ.ศ. 2555 สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด กำแพงเพชร [อินเทอร์เน็ต]. 2560; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 9 เมษายน 2566 ได้จาก: https://kpo.moph.go.th/webkpo/tool/Thaimed2555.pdf
4. Anmin, Lu and C. Jeffrey. *Gymnopetalum chinense*. In: Cucurbitaceae. Fl. China .2011; Vol. 19, p. 35.
5. De Wilde, W. J. J. O. and B. E. E. Duyfjes,. Review of the genus *Gymnopetalum* (Cucurbitaceae). Blumea. 2006; 51: 281-296.
6. Fan, J. P. and C. H. He. Simultaneous quantification of three major bioactive triterpene acids in the leaves of Diospyros kaki by high-performance liquid chromatography method. J Pharm Biomed Anal. 2006; 41(3): 950-956.
7. *Gymnopetalum chinense* (Lour.) Merr. The International Plant Names Index and World Checklist of Selected Plant Families. [Internet]. Accessed 2022 February 17 Available: http://www.plantsoftheworldonline.org › taxon [2022].

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ต้นบนพื้นที่อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Estimating the aboveground carbon sequestration of trees on natural resource conservation area in Chiang Rai Rajabhat University

กฤตวิชญ์ สุขอึ้ง[1], จินดารัตน์ ช่างหล่อ[1*], กิตติชัย จันธิมา[1], ทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์[1] และ เพ็ญศรี มลิทอง[2]
Krittawit Suk-ueng[1], Jindarat Changlor[1*], Kittichai Chantima[1], Tippawan Prasertsin[1] and Pensri Malithong[2]

บทคัดย่อ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายมีพื้นที่อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ 2 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่สวนสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี และพื้นที่ป่าปกปักพันธุกรรมพืชภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน โดยการวางแปลงศึกษาขนาด 50 x 20 เมตร จำนวน 11 แปลง โดยบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก และความสูงของไม้ต้นในแปลงศึกษา แล้วนำมาประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินโดยใช้สมการแอลโลเมตริก และประเมินการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติมีไม้ต้นจำนวน 1,160 ต้น 72 ชนิด 62 สกุล 34 วงศ์ มีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้ต้นรวม 153.02 ตัน/เฮกแตร์ และมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวมทั้งหมด 71.92 ตันคาร์บอนไดออกไซด์/เฮกแตร์ การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของไม้ต้นช่วยสนับสนุนนโยบายที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อนำไปใช้เป็นเกณฑ์การประเมินการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวของโลกได้ในอนาคต

คำสำคัญ: มวลชีวภาพ, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนเครดิต

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100
[2] สถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100
[1] Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100
[2] Technology and Innovation Transfer Institute, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100
* Corresponding author: 631459007@crru.ac.th

Abstract

Chiang Rai Rajabhat University has 2 natural resource conservation areas, namely Her Royal Highness Princess Srinagarindra garden and Plant Genetic Conservation Project Under the Royal Initiative of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn (RSPG). The objectives of this study were to evaluate aboveground biomass and carbon sequestration by setting up study plots of 50 x 20 meters, totaling 11 plots. Tree measurements include diameter at breast height and height of trees in the study plots. These measurements are then used to evaluate the aboveground biomass using allometric equation and to estimate the carbon sequestration. The results of the study showed that the natural resource conservation areas had 1,160 trees which were identified into 72 species, 62 genera, and 34 families. The total aboveground biomass and total carbon sequestration were 153.02 tons/hectare and 71.92 tCO_2/hectare, respectively. The evaluation of aboveground tree carbon stocks on natural resource conservation area in Chiang Rai Rajabhat University supports the environmentally friendly policies of Chiang Rai Rajabhat University, which can be used as criteria for global green university ranking assessments.

Keywords: Biomass, Carbon dioxide, Carbon credit

บทนำ

ประเทศไทยได้มีแนวทางในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนและ เหตุการณ์ที่เป็นผลมาจากปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก นโยบายการเพิ่มพื้นที่สีเขียวสามารถช่วยลดความรุนแรง เพิ่มความต้านทาน และสร้างภูมิคุ้มกันจากผลกระทบด้านต่าง ๆ โดยให้องค์กรและหน่วยงานของภาครัฐ เอกชน สถานศึกษา และชุมชนมีความตระหนัก และเล็งเห็นถึงความสำคัญของประโยชน์ในการเพิ่มพื้นที่สีเขียว (อัศมน ลิ่มสกุล และคณะ, 2561) ซึ่งในส่วนของสถาบันการศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยที่เข้าร่วมนโยบายในการสร้างพื้นที่สีเขียวจะมุ่งเน้นการส่งเสริมเกี่ยวกับการสร้างพื้นที่สีเขียวให้เป็นรูปธรรมมากขึ้นซึ่งในการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวของโลก (UI Green Metric World University Rankings) ที่เริ่มโดยมหาวิทยาลัยอินโดนีเซีย (University of Indonesia: UI) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ที่อาศัยเกณฑ์การประเมิน 6 ด้าน ได้แก่ ที่ตั้งและโครงสร้างพื้นฐาน พลังงานและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การจัดการขยะ การจัดการน้ำ การขนส่ง และการศึกษาและวิจัย เพื่อส่งเสริมให้สถาบันการศึกษาตระหนักถึงการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนโดยเฉพาะการลดการปลดปล่อยและเพิ่มการดูดซับก๊าซเรือนกระจก ซึ่งปัจจุบันมีมหาวิทยาลัยทั่วโลกที่เข้าร่วมการจัดอันดับถึง 1,050 แห่ง ซึ่งบางมหาวิทยาลัยในประเทศไทยได้เห็นความสำคัญของการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมจากโครงการมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green University) จึงมีการเข้าร่วมการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวของโลกในปี พ.ศ. 2553 ได้แก่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (อันดับที่ 17) และมหาวิทยาลัยบูรพา (อันดับที่ 71) และในปีพ.ศ. 2565 มีมหาวิทยาลัยของประเทศไทยที่ได้รับการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวของโลกที่อยู่ในกลุ่ม 50 อันดับแรกของโลก ได้แก่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (อันดับที่ 40) และมหาวิทยาลัยมหิดล (อันดับที่ 46) (ธรัช อารีราษฎร์, 2557; Office UI GreenMetric, 2022)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายได้มีแผนยุทธศาสตร์การพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2565–2569) ที่สอดรับกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนการศึกษาแห่งชาติที่ได้ต้องการให้สถาบันอุดมศึกษาติดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวของโลกในยุทธศาสตร์ที่ 5 (การจัดการศึกษาเพื่อเสริมสร้างคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม) รวมทั้งมีพื้นที่อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติภายในมหาวิทยาลัยที่เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ ได้แก่ สวนสมเด็จพระ

ศรีนครินทราบรมราชชนนี และพื้นที่ป่าปกปักพันธุกรรมพืชภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (อพ.สธ.–มร.ชร.) ที่ได้มีการอนุรักษ์และพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืน (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2552; 2560; ม.ป.ป.) ดังนั้นหากมีการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้จะช่วยเพิ่มการสนับสนุนการตัดสินใจด้านนโยบาย และปลูกฝังการอนุรักษ์ป่าเพื่อช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศซึ่งสนองต่อนโยบายสถาบันการศึกษาสีเขียวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้ให้กับผู้ที่สนใจและหน่วยงานต่าง ๆ เกี่ยวกับการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และใช้เป็นฐานข้อมูลให้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเพื่อนำไปใช้เป็นเกณฑ์การประเมินการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวของโลกได้ในอนาคต

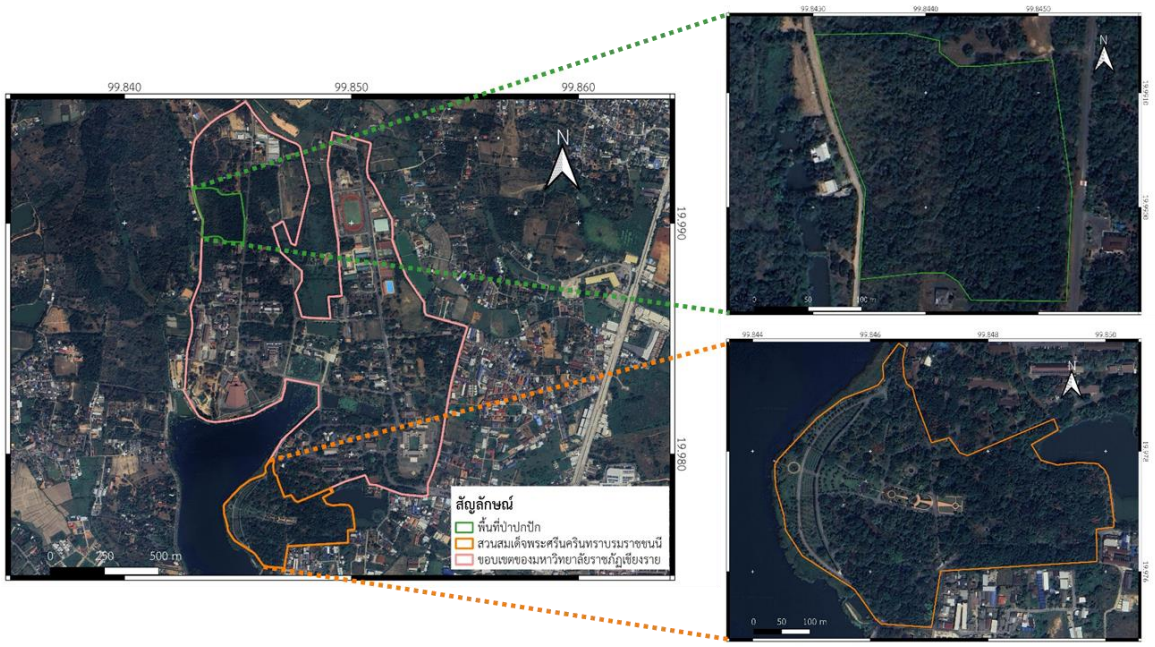
วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายจำนวน 2 พื้นที่ (ภาพที่ 1) ดังนี้

1) พื้นที่ป่าปกปักพันธุกรรมพืชภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย มีพื้นที่ 4.6554 เฮกแตร์ ขอบเขตพิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่ระหว่างละติจูด 19.9890 ถึง 19.9920 °N และลองจิจูด 99.8430 ถึง 99.8455 °E

2) พื้นที่สวนสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จังหวัดเชียงราย มีพื้นที่ 16.1687 เฮกแตร์ ขอบเขตพิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่ระหว่างละติจูด 19.975 ถึง 19.979 °N และลองจิจูด 99.844 ถึง 99.850 °E

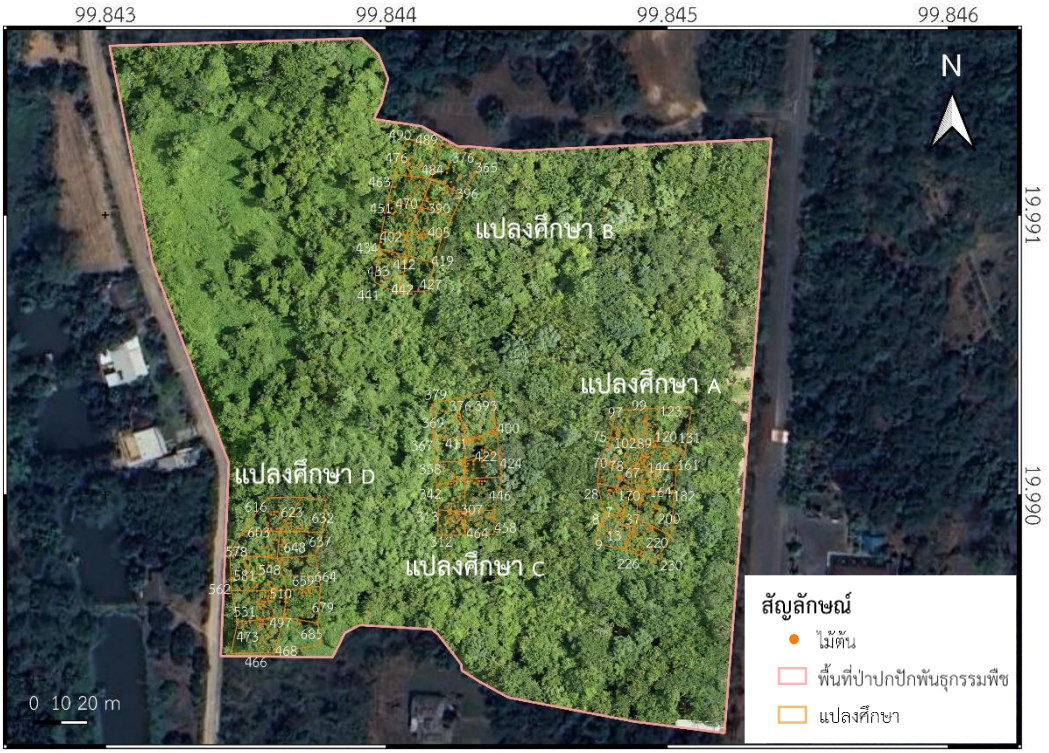


ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2552, 2560, ม.ป.ป.); QGIS Development Team (2023)

การวางแปลงศึกษาและเก็บข้อมูลไม้ต้น

สำรวจพื้นที่ศึกษาภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายทั้ง 2 พื้นที่ ร่วมกับเจ้าหน้าที่สถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2566 เพื่อวาง

แปลงศึกษาแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 50x20 เมตร ตามองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2564) พื้นที่ป่าปกปักพันธุกรรมพืชภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชวางแปลงศึกษาจำนวน 4 แปลง โดยในแต่ละแปลงแบ่งออกเป็นแปลงย่อยขนาด 10x10 เมตร จำนวน 10 แปลง และพื้นที่สวนสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนีวางแปลงศึกษาจำนวน 7 แปลง โดยในแต่ละแปลงแบ่งออกเป็นแปลงย่อยขนาด 10x10 เมตร จำนวน 10 แปลง (ภาพที่ 2 และภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 แปลงศึกษาในพื้นที่ป่าปกปักพันธุกรรมพืชภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2552, 2560, ม.ป.ป.; DroneDeploy, 2023; QGIS Development Team, 2023)



ภาพที่ 3 แปลงศึกษาในพื้นที่สวนสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2552, 2560, ม.ป.ป.; DroneDeploy, 2023; QGIS Development Team, 2023)

การเก็บข้อมูลไม้ต้นภายในแปลงศึกษา

เก็บข้อมูลไม้ต้นภายในแปลงศึกษา (ธรรมนูญ เต็มไชย และทรงธรรม สุขสว่าง, 2555; ชิงชัย วิริยะบัญชา, 2563) โดยเลือกเก็บข้อมูลเฉพาะไม้ต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตร โดยวัดที่ความสูงระดับอก 1.30 เมตร จากพื้นดิน ติดหมายเลขให้กับไม้ต้นด้วยลวดสปริงที่มีความยืดหยุ่น เพื่อป้องกันการบาดลึกเข้าเนื้อไม้ เก็บข้อมูลความสูงไม้ต้นที่วัดโดยเครื่องวัดความสูงของไม้ต้น (Clinometer) ในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นยอดของไม้ต้นอย่างชัดเจน และจัดทำบัญชีรายชื่อไม้ต้น ได้แก่ ชื่อวงศ์ ชื่อวิทยาศาสตร์ และชื่อสามัญ โดยอ้างอิงข้อมูลจากหนังสือต้นไม้เมืองเหนือ (ไซมอน การ์ดเนอร์ และคณะ, 2543) หนังสือพันธุ์ไม้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (ศรีวรรณ ไชยสุข, 2555) และหนังสือชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันทน์ พ.ศ. 2557 (ราชันย์ ภู่มา และ สมราน สุดดี, 2557)

วิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

วิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินด้วยวิธีการแบบแอลโลเมตริกของป่าเบญจพรรณตาม Ogawa et al. (1965) โดยคำนวณจากผลรวมของมวลชีวภาพส่วนลำต้น (สมการที่ 1) ส่วนกิ่ง (สมการที่ 2) และส่วนใบ (สมการที่ 3) และประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินตามคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยได้กำหนดว่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพของต้นไม้เป็นคาร์บอน (ชิงชัย วิริยะบัญชา, 2563) โดยคำนวณได้จากการนำค่า 0.47 คูณกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากวิธีการแบบแอลโลเมตริกของป่าเบญจพรรณตาม Ogawa et al. (1965)

$$W_s = 0.0396\ (D^2H)^{0.9326} \quad (1)$$

$$W_b = 0.00349\ (D^2H)^{1.027} \quad (2)$$

$$W_l = (28.0/W_S+W_B+0.025)^{-1} \quad (3)$$

โดย W_s คือ มวลชีวภาพส่วนลำต้น (กิโลกรัม)

W_b คือ มวลชีวภาพส่วนกิ่ง (กิโลกรัม)

W_l คือ มวลชีวภาพส่วนใบ (กิโลกรัม)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (เซนติเมตร)

H คือ ความสูงของไม้ต้น (เมตร)

ผลการศึกษา

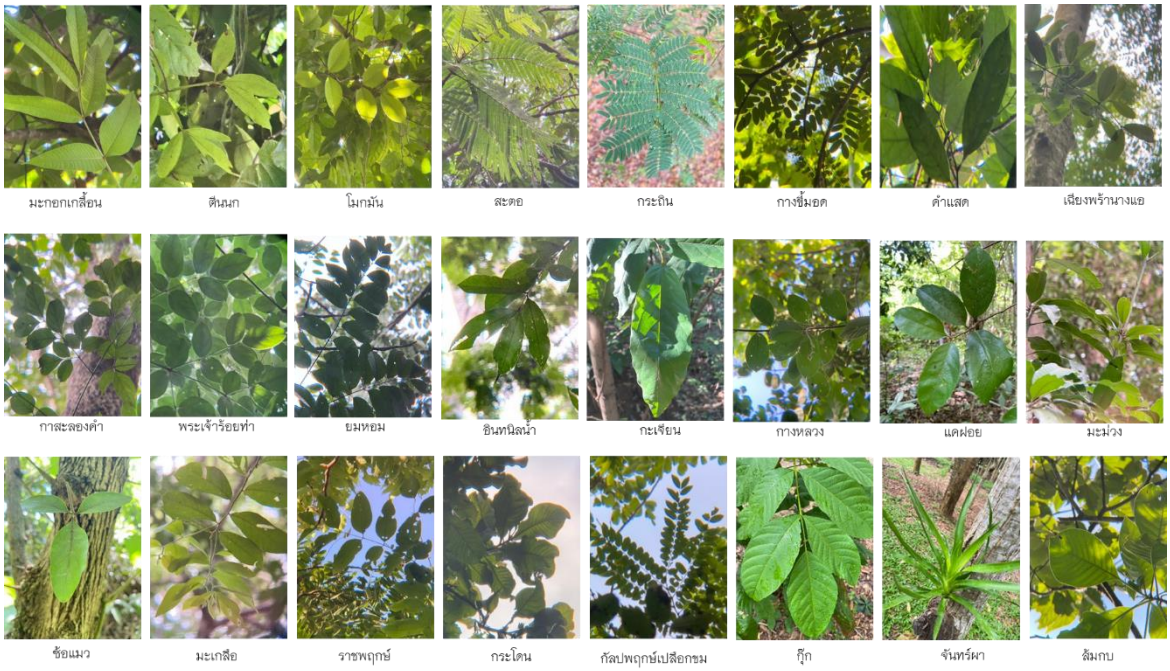
ความหลากชนิดของไม้ต้น

พื้นที่ป่าปกปักพันธุกรรมพืชภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จำนวน 4 แปลง พบไม้ต้นทั้งหมดจำนวน 726 ต้น 38 ชนิด 33 สกุล 23 วงศ์ โดยแปลงศึกษา A พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 15 ชนิด รวมทั้งหมด 226 ต้น ได้แก่ นวลเสี้ยน (103 ต้น) ลาย (61 ต้น) ขี้เหล็ก (27 ต้น) มะค่าโมง (16 ต้น) แคหางค่าง (6 ต้น) สีฟันกระบือ (3 ต้น) หว้า (2 ต้น) กะเจียน (1 ต้น) กัลปพฤกษ์เปลือกขม (1 ต้น) กางหลวง (1 ต้น) คำแสด (1 ต้น) พระเจ้าร้อยท่า (1 ต้น) มะหาด (1 ต้น) ราชพฤกษ์ (1 ต้น) และหมีเหม็น (1 ต้น) แปลงศึกษา B พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 16 ชนิด รวมทั้งหมด 130 ต้น ได้แก่ นวลเสี้ยน (33 ต้น) ลาย (24 ต้น) มะกล่ำต้น (15 ต้น) สีฟันกระบือ (13 ต้น) แคบิด (11 ต้น) เปล้าใหญ่ (10 ต้น) ขี้เหล็ก (4 ต้น) อะราง (4 ต้น) พี้พง (4 ต้น) มะหาด (4 ต้น) เน่าใน (2 ต้น) หมีเหม็น (2 ต้น) แคหัวหมู (1 ต้น) ตะแบกเกรียบ (1 ต้น) ตีนนก (1 ต้น) และหว้า (1 ต้น) แปลงศึกษา C พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 15 ชนิด รวมทั้งหมด 159 ต้น ได้แก่ นวลเสี้ยน (77 ต้น) ลาย (19 ต้น) ขี้เหล็ก (14 ต้น) เปล้าใหญ่ (13 ต้น) ตองเต้า (10 ต้น) มะค่าโมง (6 ต้น) แคบิด (5 ต้น) กระพี้นางนวล (3 ต้น) หมีเหม็น (3 ต้น) ข้าวสาร (2 ต้น) มะห้า (2 ต้น) มะหาด (2 ต้น)แคฝอย (1 ต้น) ตะแบกเกรียบ (1 ต้น) และประดู่ (1 ต้น) และแปลงศึกษา D พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 20 ชนิด รวมทั้งหมด 211 ต้น ได้แก่ นวลเสี้ยน (87 ต้น) ลาย (36 ต้น) เปล้าใหญ่ (28 ต้น) ตองเต้า (16 ต้น) แคบิด (7 ต้น) เน่าใน (5 ต้น) ตะคร้ำ (4 ต้น) แคหัวหมู (4 ต้น) พี้พง (3 ต้น) มะกอกเกลื้อน (3 ต้น) มะหาด (3 ต้น) ข้าวสาร (3 ต้น) ข้าวปั้นพระฤาษี (3 ต้น) ซ้อแมว (2 ต้น) ตะขบป่า (2 ต้น) กางขี้มอด (1 ต้น) ตีนนก (1 ต้น) โมกมัน (1 ต้น) พระเจ้าร้อยท่า (1 ต้น) และส้มกบ (1 ต้น)

พื้นที่สวนสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จำนวน 7 แปลง พบไม้ต้นทั้งหมดจำนวน 434 ต้น 51 ชนิด 47 สกุล 25 วงศ์ โดยแปลงศึกษา E พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 11 ชนิด รวมทั้งหมด 58 ต้น ได้แก่ ยางบง (31 ต้น) มะฮอกกานีใบใหญ่ (6 ต้น) ขนุน (5 ต้น) ทองกวาว (4 ต้น) มะกล่ำต้น (3 ต้น) สะตอ (2 ต้น) หว้า (2 ต้น) ตะเคียนทอง (2 ต้น) เฉียงพร้านางแอ (1 ต้น) นวลเสี้ยน (1 ต้น) และอะราง (1 ต้น) แปลงศึกษา F พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 11 ชนิด รวมทั้งหมด 63 ต้น ได้แก่ อินทรชิต (21 ต้น) ปีบ (12 ต้น) สัก (8 ต้น) ตะเคียนทอง (5 ต้น) พิกุล (4 ต้น) ข่อย (3 ต้น) ตะขบป่า (3 ต้น) มะค่าโมง (3 ต้น) ทองกวาว (2 ต้น) ตีนเป็ด (1 ต้น) และอะราง (1 ต้น) แปลงศึกษา G พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 15 ชนิด รวมทั้งหมด 59 ต้น ได้แก่ พะยอม (22 ต้น) ศรีตรัง (8 ต้น) มะเกี๋ยง (6 ต้น) มะยมป่า (5 ต้น) ทองกวาว (4 ต้น) ตะขบป่า (3 ต้น) นวลเสี้ยน (2 ต้น) ยมหอม (2 ต้น) กระถิน (1 ต้น) กุ๊ก (1 ต้น) ข่อย (1 ต้น) จันทน์ผา (1 ต้น) ตะเคียนทอง (1 ต้น) ประดู่ (1 ต้น) และมะเกลือ (1 ต้น) แปลงศึกษา H พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 14 ชนิด รวมทั้งหมด 50 ต้น ได้แก่ ขนุน (10 ต้น) กฤษณา (8 ต้น) ไทรย้อยใบแหลม (6 ต้น) ขี้เหล็กอเมริกัน (5 ต้น) ตีนเป็ด (5 ต้น) กระท้อน (3 ต้น) ทองกวาว (3 ต้น) ประดู่ (3 ต้น) แคหัวหมู (2 ต้น) กระโดน (1 ต้น) แคบิด (1 ต้น) นวลเสี้ยน (1 ต้น) มะเกลือ (1 ต้น) และหมีเหม็น (1 ต้น) แปลงศึกษา I พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 12 ชนิด รวมทั้งหมด 61 ต้น ได้แก่ นวลเสี้ยน (28 ต้น) ติ้วเกลี้ยง

(8 ต้น) หางนกยูงฝรั่ง (6 ต้น) ขี้เหล็ก (4 ต้น) ประดู่ (4 ต้น) อะราง (3 ต้น) มะห้า (2 ต้น) อินทนิลน้ำ (2 ต้น) กระท้อน (1 ต้น) ขี้เหล็กอเมริกัน (1 ต้น) พิกุล (1 ต้น) และ หว้า (1 ต้น) แปลงศึกษา J พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 20 ชนิด รวมทั้งหมด 82 ต้น ได้แก่ ยางบง (28 ต้น) มะค่าโมง (17 ต้น) มะห้า (6 ต้น) ปีบ (5 ต้น) ประดู่ (4 ต้น) ฉำฉา (3 ต้น) ชงโค (3 ต้น) กาสะลองคำ (2 ต้น) นวลเสี้ยน (2 ต้น) เปล้าใหญ่ (2 ต้น) กระพี้นางนวล (1 ต้น) ข่อย (1 ต้น) ขี้เหล็กอเมริกัน (1 ต้น) ตะแบกเกรียบ (1 ต้น) ตีนเป็ด (1 ต้น) ทองกวาว (1 ต้น) มะกล่ำต้น (1 ต้น) มะม่วง (1 ต้น) โมกมัน (1 ต้น) และราชพฤกษ์ (1 ต้น) (ภาพที่ 4.12) และแปลงศึกษา K พบชนิดไม้ต้นทั้งหมด 13 ชนิด รวมทั้งหมด 61 ต้น ได้แก่ ตะเคียนทอง (11 ต้น) ยางบง (9 ต้น) มะฮอกกานีใบใหญ่ (8 ต้น) หว้า (8 ต้น) พะยอม (6 ต้น) ประดู่ (5 ต้น) ทองกวาว (3 ต้น) มะเกี๋ยง (3 ต้น) มะค่าโมง (3 ต้น) อะราง (3 ต้น) กระพี้นางนวล (1 ต้น) และ ฉำฉา (1 ต้น) (ภาพที่ 4)





ภาพที่ 4 ชนิดพันธุ์ไม้ต้นทั้งหมดที่พบ 72 ชนิด

การวิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพและการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

การวิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินภายในพื้นที่ศึกษาพบว่า พื้นที่ศึกษามีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้ต้นรวมทั้งหมด 153.02 ตัน/เฮกแตร์ โดยแบ่งเป็นส่วนลำต้น กิ่ง และใบ เท่ากับ 121.02, 26.72 และ 5.28 ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวมทั้งหมด 71.92 ตันคาร์บอนไดออกไซด์/เฮกแตร์ โดยแบ่งเป็นส่วนลำต้น กิ่ง และใบ เท่ากับ 56.88, 12.56 ตัน และ 2.48 ตันคาร์บอนไดออกไซด์/เฮกแตร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ต้น

ส่วนของพืช	มวลชีวภาพ (ตัน)		ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอนไดออกไซด์)	
	เฉลี่ยต่อเฮกแตร์	เฉลี่ยต่อพื้นที่	เฉลี่ยต่อเฮกแตร์	เฉลี่ยต่อพื้นที่
ลำต้น	121.02	2,520.15	56.88	1,184.47
กิ่ง	26.72	556.43	12.56	261.52
ใบ	5.28	109.90	2.48	51.65
รวม	**153.02**	**3,186.48**	**71.92**	**1,497.64**

อภิปรายและสรุปผล

พื้นที่ป่าของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายมีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 153.02 ตัน/เฮกแตร์ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวม 71.92 ตันคาร์บอนไดออกไซด์/เฮกแตร์ ซึ่งมากกว่าปริมาณมวลชีวภาพรวมเหนือพื้นดิน (93.02 ตัน/เฮกแตร์) และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวม (48.31 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์) ในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีลักษณะสังคมพืชเป็นป่าเบญจพรรณผสมไผ่ และพบพืชวงศ์ถั่ว (Fabaceae) วงศ์ย่อยราชพฤกษ์ (เช่น อะราง และมะค่าโมง เป็นต้น) วงศ์ย่อยประดู่ (เช่น ประดู่ และทองกวาว เป็นต้น) และวงศ์ย่อยสีเสียด (เช่น มะกล่ำต้น และกางขี้มอด เป็นต้น) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไม้ต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ และมีจำนวนมากทำให้มีปริมาณมวลชีวภาพรวมเหนือพื้นดิน (61.91 ตัน/เฮกแตร์) และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวม (29.07 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์) มากที่สุด พืชวงศ์ถั่วเป็นวงศ์ที่พบมากในพื้นที่ป่าภาคเหนืออาจเนื่องจากภาคเหนือมีป่าที่มีความสมบูรณ์หรือไม่ถูกรบกวน รวมทั้งมีปริมาณน้ำฝน และสมบัติของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ส่งผลให้มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชวงศ์ถั่วมีค่าสูง (ดอกรัก มารอด และอุทิศ กุฎอินทร์, 2552; ชมพูนุช แสนภพ, 2554; ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ, 2560; ยงเกียรติ กุออ และคณะ, 2565)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายมีแผนยุทธศาสตร์การพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2565-2569) ที่สอดรับกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนการศึกษาแห่งชาติที่ได้ต้องการให้สถาบันอุดมศึกษาติดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวของโลกในยุทธศาสตร์ที่ 5 (การจัดการศึกษาเพื่อเสริมสร้างคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม) รวมทั้งมีพื้นที่อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติภายในมหาวิทยาลัยที่เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ ได้แก่ สวนสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี และพื้นที่ป่าปกปักพันธุกรรมพืชภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ซึ่งการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของไม้ต้นช่วยเพิ่มการสนับสนุนการตัดสินใจด้านนโยบาย และปลูกฝังการอนุรักษ์ป่าเพื่อช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศซึ่งสนองต่อนโยบายสถาบันการศึกษาสีเขียวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้ให้กับผู้ที่สนใจและหน่วยงานต่าง ๆ เกี่ยวกับการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และใช้เป็นฐานข้อมูลให้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อนำไปใช้เป็นเกณฑ์การประเมินการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวของโลกได้ในอนาคต (ธรัช อารีราษฎร์, 2557; มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2552; 2560; ม.ป.ป.; Office UI GreenMetric, 2022)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย สัญญาเลขที่ B366011 เรื่อง การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

เอกสารอ้างอิง

ชมพูนุช แสนภพ. (2554). **การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ต้นไม้ในสวนสันติภาพ กรุงเทพมหานคร** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชิงชัย วิริยะบัญชา, วิโรจน์ รัตนพรเจริญ, ภาณุมาศ ลาดปาละ, สิริรัตน์ จันทร์มหเสถียร, ปาริฉัตร์ พึ่งไทย และ ปิยะพงษ์ สืบเสน. (2560). **รายงานฉบับสมบูรณ์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะสังคมพืชและการสะสมคาร์บอนเหนือพื้นดินในระบบนิเวศป่าดิบเขา**. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช.

ชิงชัย วิริยะบัญชา. (2563) **คู่มือการวางแปลงตัวอย่างถาวรและการเก็บข้อมูลภาคสนาม**. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

ไชมอน การ์ดเนอร์, พินดา สิทธิสุนทร และ วิไลวรรณ อนุสารสุนทร. (2543). **ต้นไม้เมืองเหนือ**. กรุงเทพฯ: โครงการจัดพิมพ์คบไฟ.

ดอกรัก มารอด และ อุทิศ กุฎอินทร์. (2552). **นิเวศวิทยาป่าไม้**. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์.

ธรรมนูญ เต็มไชย และ ทรงธรรม สุขสว่าง. (2555). **การศึกษานิเวศวิทยาระยะยาวโดยใช้แปลงตัวอย่างถาวรในอุทยานแห่งชาติ**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธรัช อารีราษฎร์. (2557). มหาวิทยาลัยสีเขียว: การดำเนินงานกรีนไอที. **วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม**, 1(2), 64–77.

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. (2552). **สารสนเทศ ประจำปี 2552 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย**. สืบค้นจาก https://planning.crru.ac.th/file_manu/180316104004

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. (2560). **รายงานผลการดำเนินงานโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ประจำปีงบประมาณ 2560**. เชียงราย: โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. (ม.ป.ป.). **โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (อพ.สธ.–มร.ชร.)**. สืบค้นจาก http://www.rspg.crru.ac.th

ยงเกียรติ กุออ, ปณณัญ สมใจอ้าย, ศรายุธ ปงกันทา และ จันทรารักษ์ โตวรานนท์. (2565). การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย. **วารสารวนศาสตร์ไทย**, 41(2), 75–92.

ราชันย์ ภู่มา และสมราน สุดดี. (2557). **ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช สำนักงานหอพรรณไม้.

ศรีวรรณ ไชยสุข. (2555). **หนังสือพันธุ์ไม้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย**. เชียงราย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน). (2564). **การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (ฉบับที่ 4).** สืบค้นจาก https://ghgreduction.tgo.or.th/th/tver-method/tver-tool/foragr/ item/ 245-t-ver-tool-for-agr.html

อัศมน ลิ่มสกุล, สุนทร งดงาม, นันท์ธีรา ศรีบุรินทร, ภาฤทธิ์ดา สุวรรณี และรัชนีกร ไพศาล. (2561). **การพัฒนาวิธีการประเมินการกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนภายใต้โครงการพัฒนาเครื่องมือ/วิธีการประเมินกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน**. กรุงเทพฯ: กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

DroneDeploy. (2023). **UAV**. Available from: https://www.dronedeploy.com/app2/sites/64e0451d2eff716527838bb0/maps/64e04a418933f434520442c4?fbclid=IwAR1-06GmqNVg5CarrDL3aQp8sklskM0gUiDc0brWRbBkawlir-Nw1INZ6m8

Office UI GreenMetric. (2022). **Overall rankings 2022**. Available from: https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/ overall-rankings-2022

Ogawa H, Yoda K, Ogino K, Kira T. (1965). Comparative ecological studies on three main type of forest vegetation in Thailand II. **Plant Biomass, Nature and Life in Southeast Asia**, 4, 49-80.

QGIS Development Team. (2023). **QGIS Geographic Information System**. Available from: http://qgis.org

อิทธิพลของแรงกระแทกที่ส่งผลต่อความเค้นตกค้างของเหล็กรางรถไฟที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็ง

The influence of impact load to residual stress of rail steel from hardfacing welding process

พิตินันท์ วสันตเสนานนท์[1*], พงษ์ศักดิ์ รุนประโทก[1], กัมปนาท ถ่ายสูงเนิน[1], ชานนท์ บุนนท์[1] และ วิรัช สวาสดิ์วงค์[1]

Pitinun Vasantasananont[1*], Phongsak Runkratok[1], Kampanart Taysungnoeng[1], Chanon Bunon[1] and Wirat Sawatwong[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยการศึกษาอิทธิพลของแรงกระแทกที่ส่งผลต่อความเค้นตกค้างภายในเหล็กรางรถไฟที่ผ่าน กระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของแรงกระแทกที่ส่งผลต่อ ความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นในเนื้อของเหล็กรางรถไฟที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็ง ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ชิ้นงานทดสอบเป็นเหล็กรางรถไฟ UIC54E1 ทำการเชื่อมพอกผิวตามมาตรฐาน AWS D15.2/D15.2M:2013 ทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนตัวอย่างเพื่อให้ในการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบล้อคู่ (Twin Disk Testing) กำหนดการทดลองเป็น 3 การทดลองกำหนดที่ตัวแปร 1 3 และ 5 ชั่วโมง ใช้ แรงในการกด 400 กิโลกรัม ความเร็วรอบ 319 รอบต่อนาทีทำการวิเคราะห์ความเค้นภายในด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ความล้า จากผลการทดลองพบว่า เวลา 20 – 40 นาที ของ ทั้ง 3 การทดลองนั้น ค่าของแรงฉุดลากมีค่าแนวโน้มที่คงที่ เมื่อวิเคราะห์ด้วย FEM ค่า life ของทั้ง 3 การทดลองมีค่าที่เท่ากันอยู่ที่ 6340.8 รอบ เมื่อนำมาคำนวณเป็นเวลาพบว่ามีเวลาเท่ากับ 20.156 นาที โดยจะมีค่าความเค้น von – misses stress เกิดขึ้นในเนื้อโลหะเท่ากับ 604.45 MPa ผลที่ได้มี ความสอดคล้องกับการทดลอง ค่า damage เกิดขึ้น เท่ากับ 3.0789 9.2368 และ 15.395 ตามลำดับจึงทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวรในเนื้อโลหะและนำไปสู่การแตกร้าวที่ผิว

คำสำคัญ: เชื่อมพอกหัวราง, ไฟไนต์เอลิเมนต์

[1] วิทยาลัยนวัตกรรมวิชาชีพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

[1] College of Professional Innovation, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000

* Corresponding author: Pitinun_mc@hotmail.com

Abstract

A research study on the the Influence of Impact Load to residual stress of Rail Steel from Hard facing Welding Process. The objective of this study was to study impact load on the residual stress in rail steel by Hard facing Welding Process. Conducted in the laboratory, the specimen was rail steel UIC54E1, welded to the AWS D15.2/D15.2M:2013 standard. Forming the sample parts for testing with Twin Disk Testing. The experiments were set to 3 experiments, set at variables 1, 3 and 5 hours. Pressing force 400 kg. speed 319 rpm. An internal stress analysis was performed using the finite element method for fatigue analysis. From the experimental results, it was found that at 20–40 minutes of the 3 experiments, the traction force value tended to be constant. In FEM analysis, the life of all three experiments was equal at 6340.8 cycles. When calculated for time, the time was 20.156 min. The von–misses stress in the metal was 604.45 MPa. The results were consistent with the experiment. The damage occurred were 3.0789, 9.2368 and 15.395, respectively, causing permanent deformation in the metal and leading to cracking in the surface.

Keywords: Hard facing welding, Finite element

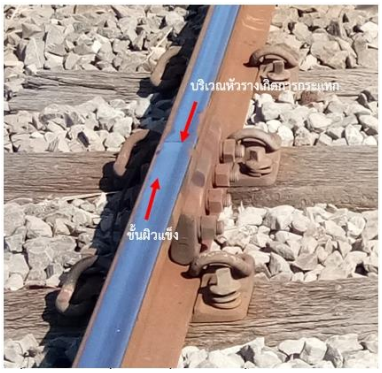
บทนำ

ในปัจจุบันระบบการขนส่งทางรางในประเทศไทยได้มีการพัฒนาในหลากหลายมิติเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาตัวรถโดยสาร การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมในระบบขนส่งทางราง รวมไปถึงการพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านการซ่อมบำรุง ซึ่งเป็นหัวใจหลักของงานระบบขนส่งทางรางเป็นอย่างมากในการซ่อมบำรุงรถไฟ การซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าอาณัติสัญญาณ การซ่อมบำรุงทางรถไฟ แม้กระทั้งการซ่อมบำรุงรางรถไฟที่เกิดการเสียหายจากการเสียดสีระหว่างล้อรถไฟ ซึ่งในปัจจุบันการเชื่อมต่อรางรถไฟนั้นมีกระบวนการทำเป็นรางเชื่อมยาว (LWR) ทำให้รางรถไฟนั้นประสานเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่เกิดรอยต่อประหว่างรางจะส่งผลทำให้รถไฟสามารถวิ่งด้วยความเร็วที่สูงขึ้นได้และสามารถขนส่งสินค้าหรือผู้โดยสารถึงยังที่หมายได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามในการวางรางรถไฟก็ยังมีข้อจำกัดในบริเวณทางโค้งรัศมีแคบ หรือสะพาน จำเป็นต้องแบ่งรางรถไฟให้เป็นช่วง ๆ เพื่อเป็นการเผื่อให้รางนั้นสามารถขยายตัวได้เนื่องจากความร้อน เพื่อไม่ให้เกิดความเค้นภายในรางรถไฟสูงจนเกิดไปและส่งผลต่อโครงสร้างทางโค้ง หรือโครงสร้างสะพาน ดังนั้น วิศวกรออกแบบทางรถไฟจึงจำเป็นต้องใช้ประกับรางเพื่อให้รางนั้นสามารถขยายตัวได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเชื่อมต่อรางรถไฟโดยการใช้ประกับราง

การเชื่อมต่อรางรถไฟโดยการใช้ประกับรางเป็นตัวเชื่อมต่อรางรถไฟเข้าด้วยกัน ซึ่งการเชื่อมต่อในรูปแบบดังกล่าวนี้เป็นการเชื่อมต่อเพื่อแก้ปัญหาการเกิดความเค้นภายในเนื้อรางรถไฟเนื่องจากการขยายตัวจากความร้อน แต่รอยเชื่อมต่อดังกล่าวนี้จะมีช่องว่างระหว่างรางเพื่อเผื่อระยะให้เกิดการขยายตัว ดังรูปที่ 1 ซึ่งรอยเชื่อมต่อดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดการกระแทกระหว่างหัวรางกับล้อรถไฟในขณะที่มีขบวนรถไฟวิ่งผ่าน เมื่อรางรถไฟได้รับภาระกระทำซ้ำ ๆ จากการรับน้ำหนัก และแรงการฉุดลากของขบวนรถไฟ หรือหัวรถจักรเกิดขึ้น ส่งผลทำให้เนื้อของโลหะบริเวณหัวรางรถไฟนั้นเกิดการเสียรูปถาวรเกิดขึ้นและมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นทำให้เกิดรอยยุบตัวที่หัวรางตรงบริเวณรอยต่อนั้นมากยิ่งขึ้นกว่าเดิม ดังรูปที่ 2 อันจะทำให้เกิดแรงกระแทกที่รุนแรงซึ่งจะส่งผลทำให้รางเกิดการแตกหักออกจากกันได้ ในการแก้ไขปัญหาหรือการซ่อมบำรุงรอยยุบตัวของหัวรางที่เกิดจากการกระแทกระหว่างล้อกับรางรถไฟในบริเวณประกับรางนั้นจะเป็นการซ่อมบำรุงโดยการเชื่อมพอกผิวแข็งเพื่อเป็นการเพิ่มเนื้อโลหะหรือเนื้อเชื่อมเข้าไปแทนที่ผิวหรือเนื้อโลหะเดิมของรางรถไฟที่ถูกกระแทกหายออกไป



รูปที่ 2 บริเวณที่เกิดการประแทกหัวรางในรอยต่อแบบประกับราง

จากที่ได้กล่าวมานั้นการซ่อมบำรุงรางรถไฟโดยกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งนั้นเป็นกระบวนการที่ทำให้เนื้อของโลหะเดิมนั้นเปลี่ยนคุณสมบัติทางกลหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคไปจากเดิมเนื่องจากเกิดผลกระทบทางความร้อนเกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งซึ่งไม่สามารถที่จะระบุได้แน่ชัดว่าหลังจากที่ทำการซ่อมบำรุงโดยกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กรางรถไฟไปแล้วนั้นจะมีอายุการใช้งานได้ดีกว่าเดิมหรือไป จึงเป็นเหตุผลที่ผู้วิจัยทำการศึกษา อิทธิพลของแรงกระแทกที่ส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคของเหล็กรางรถไฟที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็ง ของรางรถไฟ UIC54 เกรดเหล็ก 900A เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของความเค้นที่เกิดขึ้นจากการได้รับภาระกระทำซ้ำ ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของโครงสร้างจุลภาคของเหล็กรางรถไฟ ตลอดจนยังนำไปสู่การพยากรณ์อายุการใช้งานของรอยเชื่อมพอกผิวแข็งเพื่อนำไปสู่การวางแผนการบำรุงรักษาและการวางแผนซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการศึกษา

การเก็บข้อมูลและการทดสอบ

วิธีการศึกษาจะเป็นการทำสอบในห้องปฏิบัติการและการวิเคราะห์ความเค้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อนำผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนั้นนำไปพยากรอายุการใช้งานของรอยเชื่อมพอกผิวแข็ง โดยผู้ทำวิจัยถึงได้เก็บข้อมูลวิธีการซ่อมบำรุงโดยกระบวนการ

เชื่อมพอกสันรางโดยในสถานประกอบการหรือหน่วยซ่อมบำรุงนั้นจะใช้กระบวนการเชื่อมเป็นการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักดังรูปที่ 3 และตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมอ้างอิงจากมาตรฐาน AWS D15.2/D15.2M:2013

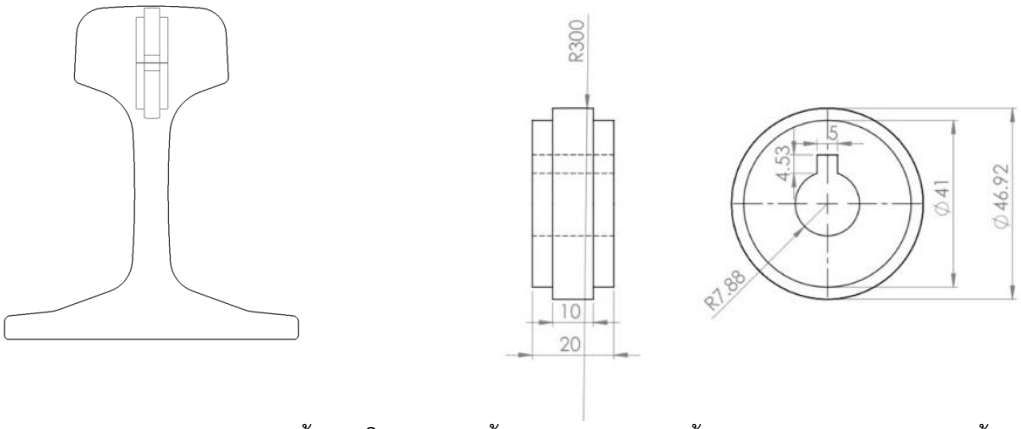


รูปที่ 3 ศึกษาข้อมูลการเชื่อมพอกผิวหัวรางที่หน่วยซ่อมบำรุง

เมื่อได้ทำการศึกษากระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งจากหน่วยซ่อมบำรุงพบว่า กระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งตามที่ผู้ปฏิบัติงานในฝ่ายงานซ่อมบำรุงรางรถไฟได้ปฏิบัติโดยใช้ลวดเชื่อม Magna 305 ส่วนกระบวนการเชื่อมนั้นจะเป็นการเชื่อมโดยใช้กระบวนการเชื่อมแบบลวดหุ้มฟลัก (MMA) ใช้กระแสไฟในการเชื่อม 100 แอมป์ ตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมนั้นเป็นไปตามมาตรฐานของ AWS D15.2/D15.2M:2013 ดังรูปที่ 4 ผู้วิจัยจึงได้ทำชิ้นงานทดสอบเพื่อที่จะนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งนั้นไปทำการทดสอบการสึกหรอด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบล้อคู่ (Twin Disk Testing Machine) โดยทำการเชื่อมพอกหัวรางรถไฟซึ่งรางรถไฟที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้จะให้ราง UIC54 ดังรูปที่ 5 และทำการปรับแต่งผิวชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบในเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบล้อคู่ (Twin Disk Testing)

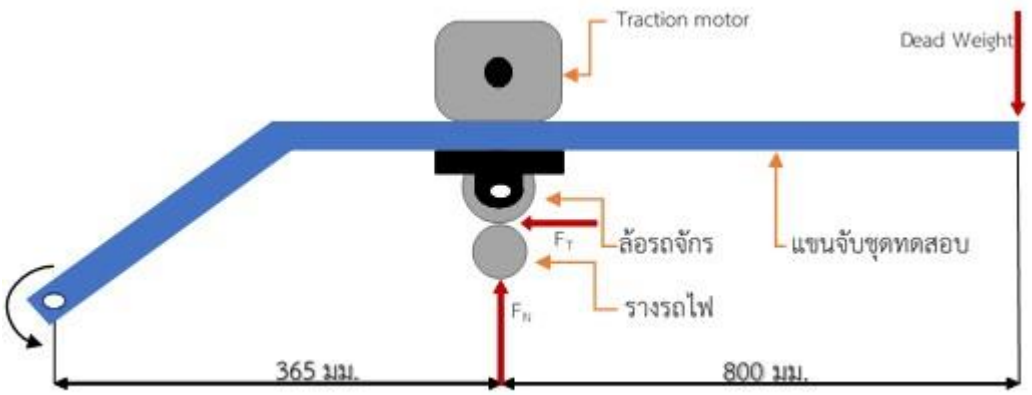


รูปที่ 4 รางทดสอบสำหรับการเชื่อมพอกผิวแข็งที่ปลายรางเพื่อนำไปขึ้นรูป
เพื่อทดสอบในเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบล้อคู่ (Twin Disk Testing)



รูปที่ 5 ตำแหน่งการตัดและการเตรียมชิ้นงานในราง และชิ้นงานหลังจากการขึ้นรูปและปรับแต่งผิวพร้อมทั้งสร้างรอยต่อของเหล็กรางรถไฟเพื่อให้เกิดแรงกระแทกเกิดขึ้นบนหัวราง

การทดสอบการสึกหรอแบบล้อคู่ (Twin Disk Testing) ดังรูปที่ 6 จะจำลองพฤติกรรมที่เกิดขึ้นให้สอดคล้องกับพฤติกรรมของรางรถไฟในขณะที่มีรถไฟวิ่งผ่าน โดยได้จำลองรางรถไฟที่อยู่ในพื้นที่ที่มีความถี่ของขบวนรถบรรทุกสินค้าสูง และได้กำหนด ตัวแปรน้ำหนักบรรทุกที่น้ำหนักรถจักรเปล่า ตามสเปคของรถจักรมีน้ำหนักกดเพลาที่ 16 ตันต่อเพลา และมีน้ำหนัก 8 ตันต่อล้อ และลดสเกลลงเพื่อทำการทดสอบให้ห้องปฏิบัติการ 20 เท่า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 400 กิโลกรัม ทำการทดสอบโดยเครื่องทดสอบ 1 ชั่วโมง (19800 รอบ) 3 ชั่วโมง (59400 รอบ) และ 5 ชั่วโมง (99000 รอบ) จากนั้นทำการบันทึกลักษณะของการเสียหายที่เกิดขึ้น



รูปที่ 6 แผนภาพการทดสอบชิ้นงานในเครื่องทดสอบแบบล้อคู่ (Twin disk testing)

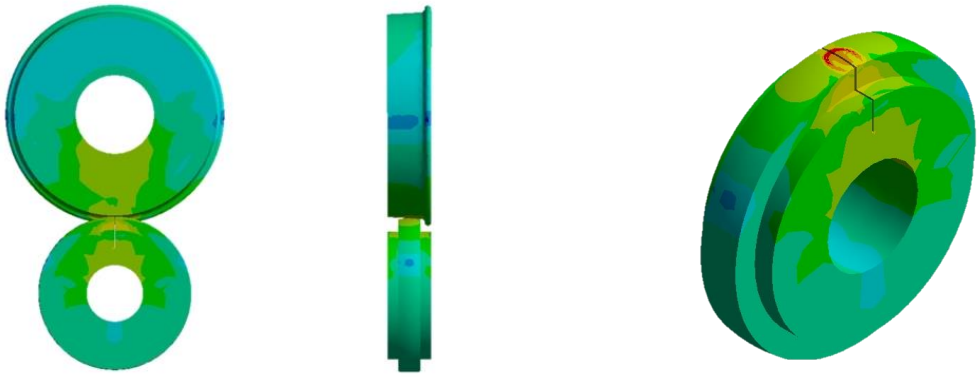
การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ความเค้นตกค้างภายในเนื้อโลหะ

การทดลองการเกิดแรงกระแทกโดยเป็นการกระแทกระหว่างล้อรถไฟและรางรถไฟที่เกิดขึ้นในประกับรางซึ่งเป็นการเกิดการเสียหายทางกลซึ่งกลไกการเกิดการเสียหายจะเป็นกลไกการเสียรูปอย่างถาวรและเป็นการได้รับแรงกระแทกซ้ำ ๆ หรือเกิดความล้าจนทำให้เกิดการเสียหาย จะแตกต่างจากการเสียหายของรางรถไฟที่เกิดจากล้อดิ้นซึ่งจะเป็นการเสียหายเนื่องจากความร้อนอันจะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะซึ่งทำให้เกิดการเสียหายของรางรถไฟได้ และจากงานวิจัยของ Y.Z. Chen และคณะ (2561) ได้ทำการวิจัยอิทธิพลของพื้นล้อรถไฟภายใต้เงื่อนไขการเบรคในการหมุนสัมผัสแบบความล้าของล้อรถไฟ พบว่าการหลุดลอกของพื้นล้อรถจักรเกิดจาก

ความล้า (Rolling Contact Fatigue) ทำให้เกิดรอยแตกเล็ก ๆ ภายในเนื้อล้อ (Micro Crack) และเริ่มแพร่กระจายให้รอยแตกมีการเติบโตจนทำให้เกิดรอยแตกบนพื้นล้อได้ในที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยของ Y.Z. Chen และคณะ กับลักษณะรอยแผลของล้อรถจักรในงานวิจัยนี้นั้นพบว่าลักษณะรอยแผลนั้นมีความคล้ายคลึงกัน อีกทั้ง Domingos José Minicucci และคณะ (2563) ได้กล่าวไว้ว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการหลุดลอกของเนื้อโลหะในพื้นล้อรถไฟนั้นเกิดจากความล้า (Rolling Contact Fatigue)

การเสียหายที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการเสียหายทางกลเนื่องจากความล้าตัวของเนื้อโลหะของเหล็กรางรถไฟถึงแม้ว่าจะทำการทดสอบหรือศึกษาโครงสร้างจุลภาคไปแล้วนั้นจะพบแค่ลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของเนื้อเหล็กรางรถไฟและเนื้อของเหล็กเชื่อมเกิดการเสียรูปอย่างถาวร และชั้นผิวแข็งที่เกิดขึ้นมีความลึกตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งชั้นผิวแข็งที่เกิดขึ้นนั้นเป็นความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นในเนื้อของเหล็กรางรถไฟซึ่งไม่สามารถวัดค่าความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นได้โดยตรง จากเหตุผลดังกล่าวนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาพฤติกรรมของเนื้อโลหะที่จะส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคของเหล็กรางรถไฟ โดยการศึกษาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ความเค้นภายในที่เกิดขึ้น วิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้น รวมไปถึงวิเคราะห์ความล้าภายในเนื้อเหล็กรางรถไฟและอายุของเหล็กรางรถไฟที่ถูกกระแทกซ้ำ ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์ดังกล่าวผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม ANSYS เวอร์ชัน 2023 R1 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์เชิงพาณิชลักษณะของชิ้นงานดังรูปที่ 10 และเงื่อนไขการทดลองสอดคล้องกับการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบล้อคู่ (Twin disk testing) สมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นวัสดุรางรถไฟมีพฤติกรรมแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีค่ามอดูลัสความยืนหยุ่นเท่ากับ 192 GPa ค่าอัตราส่วนปัวซอง 0.3 ค่าความเค้นคราก 730 MPa ค่าความเค้นสูงสุด 1190 MPa และค่าโมดูลัสสัมผัสเท่ากับ 6133 MPa

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการวิเคราะห์ได้กำหนดขอบเขตสอดคล้องกับการทดสอบด้วยเครื่องทดการสึกหรอแบบล้อคู่ (Twin Disk Testing) ดังรูปที่ 7 (ก) ลักษณะรูปร่างของโครงตาข่ายหรือเอลิเมนต์กำหนดเป็นแบบ Tetrahedrons Quadratic ทั่วทั้งชิ้นงานและมีขนาดเล็กสุดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร เงื่อนไขการวิเคราะห์เป็นแบบ Static Structural และทำการวิเคราะห์ ณ จุดที่เกิดการกระแทกที่หัวรางเท่านั้น ดังรูปที่ 7 (ข)

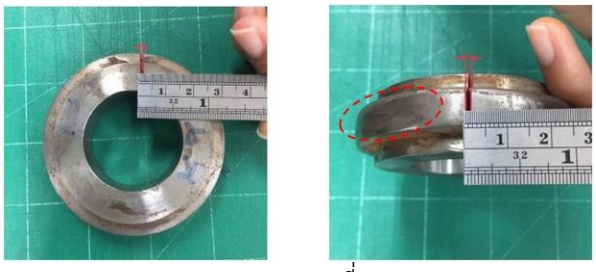


(ก) (ข)

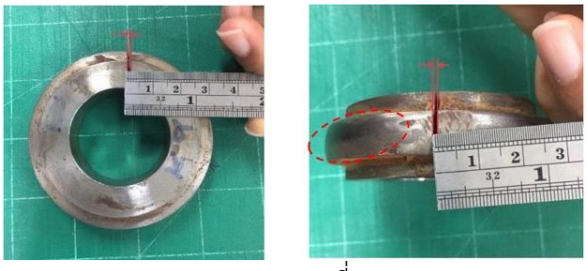
รูปที่ 7 (ก) Mathematic model ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนเอลิเมนต์ (ข) Mathematic model ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนเอลิเมนต์รอยต่อของเหล็กรางรถไฟเพื่อให้เกิดแรงกระแทกเกิดขึ้นบนหัวราง

ผลการศึกษา

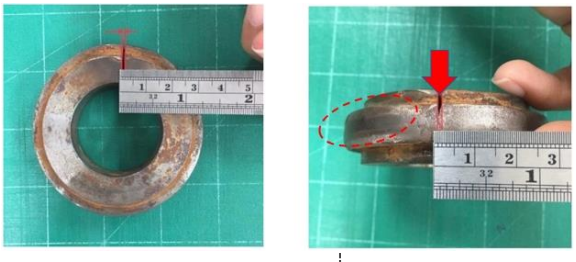
ผลการทดลองจากรูปที่ 9 เป็นลักษณะของผิวชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบล้อคู่โดยรูปที่ 9 การทดลองที่ 1 และ การทดลองที่ 2 ตรงรอยต่อของรางยังไม่มีการเกิดการเสียหายเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับรูปที่ 9 การทดลองที่ 3 ตรงรอยต่อของรางรถไฟ จะสังเกตได้ว่ามีเนื้อของเหล็กรางรถไฟเกิดการเสียรูปอย่างถาวรเกิดขึ้น ดังลูกศรสีแดงในรูปที่ 9 การทดลองที่ 3 และในรูปทั้ง 3 นั้นบริเวณวงกลมสีแดงจะผิวของชิ้นงานจะมีลักษณะมันเงาเกิดขึ้นเนื่องจากผิวของชิ้นงานเกิดการเสียรูปอย่างถาวรและทำให้เกิดเป็นชั้นผิวแข็งเกิดขึ้น เมื่อพิจารณารูปที่ 10 การทดลองที่ 1 ถึงการทดลองที่ 3 เป็นกราฟของแรงฉุดลากหรือเป็นแรงที่กระทำโดยตรงของล้อรถจักรและรางรถไฟซึ่งสัมพันธ์กับเวลาในการทดสอบจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบนั้นพบว่ากราฟความสัมพันธ์ของทั้ง 3 รูปนั้นเส้นแนวโน้มมีความสอดคล้องกันดังวงกลมสีแดงในรูปที่ 10 การทดลองที่ 1 ถึงการทดลองที่ 3 ในช่วงเวลาระหว่าง 20–40 นาที ลักษณะของกราฟมีลักษณะแนวโน้มคล้ายคลึงกันและมีแรงฉุดลากอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน และในช่วงนาทีที่ 40–60 หรือนาทีที่ 40–80 ในรูปที่ 10 การทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 มีลักษณะเส้นแนวโน้มที่สอดคล้องกันตามลูกศรสีน้ำเงินทั้งนี้เกิดจากผิวของรางรถไฟเกิดชั้นผิวแข็งเกิดขึ้นและทำให้สัมประสิทธิ์แรงเสียทานระหว่างล้อรถจักรและรางรถไฟมีค่าที่ต่ำลงและทำให้เกิดการสึกหรอที่น้อยลงในช่วงเวลาที่ 40–80 นาที่



การทดลองที่ 1

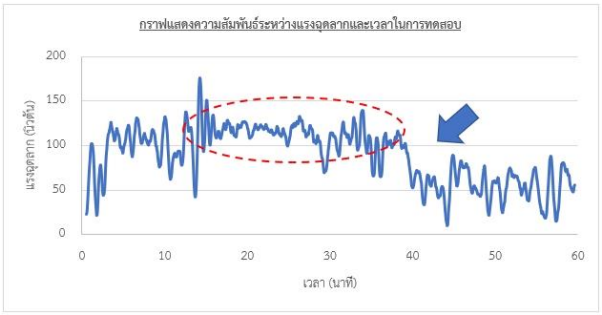


การทดลองที่ 2



การทดลองที่ 3

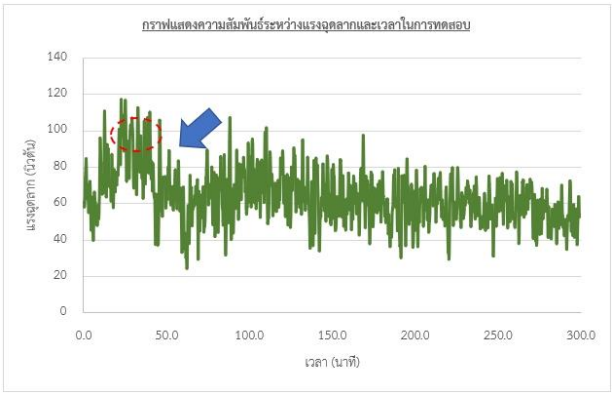
รูปที่ 9 ผลการทดลองของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบล้อคู่ (Twin disk testing)



การทดลองที่ 1



การทดลองที่ 2

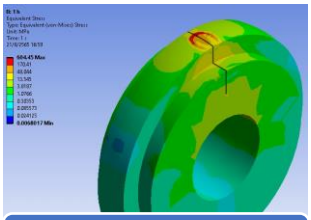


การทดลองที่ 3

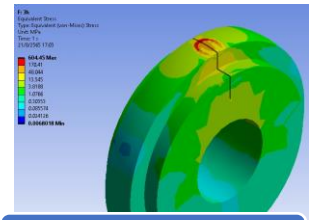
รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงฉุดลากและเวลาในการทดสอบของการทดลองที่ 1 ถึงการทดลองที่ 3

ผลการวิเคราะห์ความเค้นตกค้างภายในเนื้อโลหะ

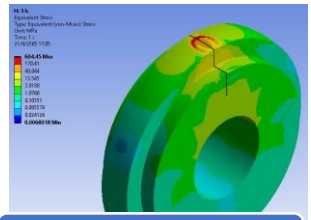
เมื่อได้ทำการทดลองชิ้นงานทดสอบโดยเครื่องทดสอบแบบล้อคู่ตามที่ได้ออกแบบการทดลองมาแล้วนั้นผลที่ได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นในเนื้อเหล็กรางรถไฟที่ได้ทำการเชื่อมพอกผิว โดยค่าความเค้นที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นจะเป็นความเค้น Von-misses stress ซึ่งจะเป็นค่าความเค้นที่รวมความเค้นแนวแกน และความเค้นเฉือน 3 ระนาบ มาคำนวณตามทฤษฎีของ von Mises-Hencky theory เพื่อมาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นคราก ของวัสดุเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการววิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นพบว่าผลการทดลองทั้ง 3 การทดลองนั้นจะได้ค่าความเค้น Von-misses stress ที่เท่ากันคือ 604.45 MPa ดังแสดงในรูปที่ 11 (ก) (ข) และ (ค)



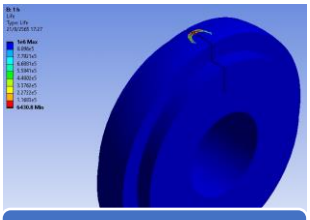
(ก)



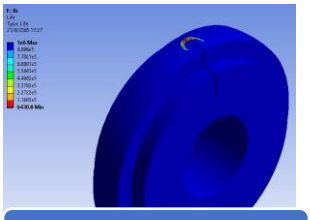
(ข)



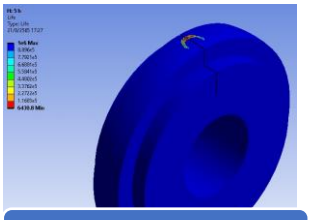
(ค)



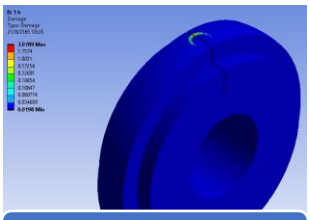
(ง)



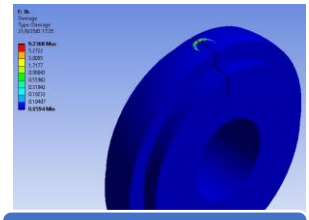
(จ)



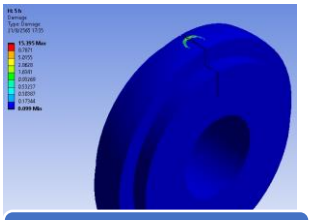
(ฉ)



(ช)



(ซ)

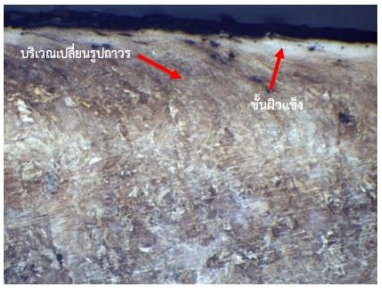


(ฌ)

รูปที่ 11 ผลของการวิเคราะห์ความเค้นตกค้างในเนื้อของเหล็กรางรถไฟด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

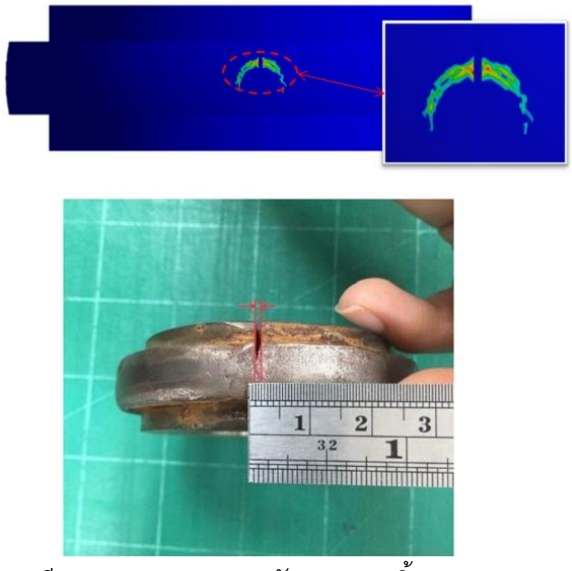
ลักษณะของการกระจายความเค้นบนผิวที่เกิดการสัมผัสระหว่างล้อรถจักรและรางรถไฟบริเวณประกับรางรถไฟจะเกิดเป็นลักษณะรูปวงรีซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่เกิดขึ้น เมื่อดูผลของค่าความเค้น Von–misses stress ที่เกิดขึ้นพบว่ามีค่าเท่ากันทั้ง 3 การทดลอง เหตุผลเกิดจากการวิเคราะห์นั้นเป็นการวิเคราะห์แบบสถิตศาสตร์ ภาระกระทำเท่ากันทุกการทดลอง สมบัติวัสดุเท่ากันทุกการทดลองจึงทำให้ค่าที่ได้เท่ากันหมดทั้ง 3 การทดลอง และเมื่อพิจารณาถึงค่าของความเค้น Von–misses stress ที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าเท่ากับ 604.45 MPa นั้นยังมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุที่เป็นรางรถไฟและเนื้อเชื่อมพอกผิวรางรถไฟซึ่งมีค่าเท่ากับ 730 MPa หมายความว่าเมื่อล้อรถจักรจอดอยู่กับที่บนรางรถไฟบริเวณประกับรางรถไฟนั้นผลไม่ทำให้รางรถไฟเกิดการเสียหายหรือผิวที่เกิดค่าความเค้น Von–misses stress สูงสุดนั้นไม่เกิดความเสียหายเกิดขึ้น เพราะค่าที่เกิดขึ้นน้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุและยังอยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น และเมื่อเกิดการเคลื่อนที่พฤติกรรมที่เกิดขึ้นบนรอยต่อรางรถไฟนั้นจะเป็นการเกิดภาระแบบซ้ำ ๆ หรือภาระแบบวัฏจักร (Cycle load) เนื้อโลหะก็จะเกิดความล้า (Fatigue) เกิดขึ้น โดยการวิเคราะห์ความล้าด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นได้เลือกทฤษฎีในการวิเคราะห์แบบ Mean Stress Curves และชนิดของภาระแบบ zero base ให้สอดคล้องกับแรงที่เกิดขึ้นบนรางในขณะที่รถจักรวิ่งผ่าน โดยการทดลองที่ 1 กำหนด 19800 รอบ การทดลองที่ 2 กำหนด 59400 รอบ และการทดลองที่ 3 กำหนด 99000 รอบ ผลที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 11 (ง) (จ) และ (ฉ) ผลการวิเคราะห์ Life ของชิ้นงานทั้ง 3 การทดลองพบกว่าบริเวณที่พิจารณานั้นมีค่า Life อยู่ในช่วง 6430.8 ถึง 4.4802e5 รอบ เมื่อนำค่า Life ต่ำสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 6430.8 รอบ มาทำการแปลงเป็นเวลาจะได้เท่ากับ 20.156 นาที หมายความว่าชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 การทดลองเมื่อได้รับภาระที่ 6430.8 ครั้ง หรือ ณ เวลาที่ 20.156 นาที จะมีค่าความ

เค้น Von–misses stress เกิดขึ้นบนผิวของชิ้นงานบริเวณที่ทำการพิจารณาเท่ากับ 604.45 MPa เมื่อนำผลที่ได้ดังกล่าวเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองพบว่าผลสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญที่ช่วงเวลา 20 – 40 นาที ซึ่งผลที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวช่วงเวลาที่ 20 – 40 นาที ค่าแนวโน้มของแรงฉุดลากมีแนวโน้มคงที่เนื่องจากค่าความเค้น Von–misses stress เท่ากับ 604.45 MPa ซึ่งยังมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุรางรถไฟและวัสดุเนื้อเชื่อม จึงทำให้ยังไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวรเกิดขึ้นในเนื้อของวัสดุ แต่จากรูปที่ 10 การทดลองที่ 1 ถึงการทดลองที่ 3 ช่วงเวลาที่ 40 – 80 นาที แนวโน้มของแรงฉุดลากมีค่าที่น้อยลงซึ่งหมายความว่าค่าสัมประสิทธิแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างล้อรถจักรและรางรถไฟในขณะที่ทำการทดลองนั้นมีค่าที่น้อยลงเนื่องจากผิวของเนื้อโลหะได้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรและได้เกิดชั้นผิวแข็งจากความล้าเกิดขึ้น (Strain hardening) ดังรูปที่ 12 และทำให้พื้นผิวเรียบและมันวาวทำให้เกิดแรงฉุดลากที่น้อยลงดังรูปที่ 15 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดสอบพบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกันค่าของ Life เท่ากับ 6430.8 ครั้ง เป็นเวลา 20.156 นาที ตรงกับช่วงเวลาในการทดสอบ 20 – 40 นาที แนวโน้มของกราฟทั้ง 3 การทดลองมีแนวโน้มคงที่ที่คล้ายคลึงกันและมีค่าความเค้น Von–misses stress เท่ากับ 604.45 MPa ยังมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุรางรถไฟและเนื้อเชื่อม



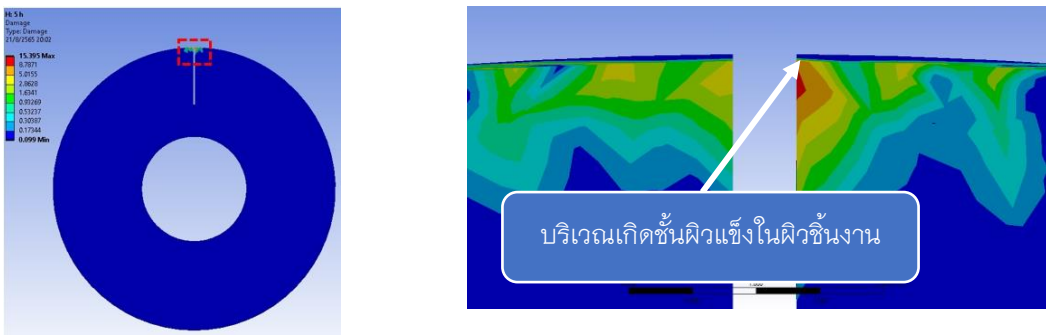
รูปที่ 12 ชั้นผิวแข็งที่เกิดขึ้นบนผิวของเนื้อโลหะ และการเปลี่ยนรูปถาวรของเนื้อโลหะที่ผ่านการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบล้อคู่ (ชานนท์ บุนนท์ และคณะ: 2563)

ผลการวิเคราะห์ค่า Von–misses stress และค่า Life นั้นผลที่ได้นั้นพบว่าเป็นการเริ่มต้นของการเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อโลหะที่อยู่ในช่วงยืดหยุ่นจนไปถึงช่วงการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ในการวิเคราะห์ค่า damage ที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะของการทดลองทั้ง 3 การทดลองนั้นพบว่าค่า damage ของการทดลองที่ 1 นั้นมีค่าเท่ากับ 3.0789 ค่า damage ของการทดลองที่ 2 นั้นมีค่าเท่ากับ 9.2368 และค่า damage ของการทดลองที่ 3 นั้นมีค่าเท่ากับ 15.395 ดังแสดงในรูปที่ 11 (ช) (ซ) และ (ฌ) จากผลการวิเคราะห์ค่า Damage ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานของการทดลองที่ 1 ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบ 1 ชั่วโมง หรือรอบของภาระ 19800 รอบ พบว่ามีค่า Damage เกิดขึ้นที่ผิวของเนื้อโลหะเท่ากับ 3.0789 ซึ่งหมายความว่าพื้นที่บริเวณดังกล่าวนั้นเกิดความเสียหายมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่ได้รับภาระใด ๆ เลยคิดเป็น 3.0789 เท่า ในทำนองเดียวกันการทดลองที่ 2 ใช้เวลาในการทดสอบ 3 ชั่วโมง หรือรอบของภาระ 59400 รอบ ค่า Damage ที่เกิดขึ้นคือ 9.2368 หมายความว่าพื้นที่บริเวณดังกล่าวนั้นเกิดความเสียหายมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่ได้รับภาระใด ๆ เลยคิดเป็น 9.2368 เท่า และการทดลองที่ 3 ใช้เวลาในการทดสอบ 5 ชั่วโมง หรือรอบของภาระ 99000 รอบ ค่า Damage ที่เกิดขึ้นคือ 15.395 หมายความว่าพื้นที่บริเวณดังกล่าวนั้นเกิดความเสียหายมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่ได้รับภาระใด ๆ เลยคิดเป็น 15.395 เท่า เมื่อนำผลจากการวิเคราะห์ Damage ของการทดลองที่ 3 มาเปรียบเทียบกันกับผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบแบบล้อคู่ ดังรูปที่ 13

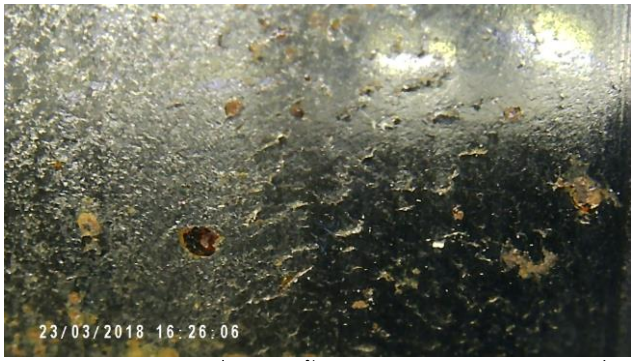


รูปที่ 13 การเปรียบเทียบผล Damage และลักษณะของชิ้นงานทดสอบของการทดลองที่ 3

จากรูปที่ 13 ผลการเปรียบเทียบค่า Damage และผลการทดลองของการทดลองที่ 3 นั้นพบว่ามีความสอดคล้องกันเนื่องจากค่าสูงสุดของ Damage อยู่บริเวณรอยต่อของรางรถไฟ และเมื่อดูรูปที่ได้จากการทดลองนั้นพบว่าเนื้อขอเหล็กรางและเนื้อเชื่อมนั้นเกิดการเสียรูปอย่างถาวรและเกิดการเสียรูปอย่างมากเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลของการทดลองที่ 1 และ 2 และเมื่อนำค่า Damage ของการทดลองที่ 3 มาทำการพิจารณาถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อโลหะ ดังรูปที่ 16 ทำการเทียบวัดค่าระยะความลึกของพื้นที่ภายในเนื้อโลหะรางรถไฟและเนื้อเชื่อมบริเวณที่มีค่า Damage มากสุดพบว่าค่า Damage สูงสุดที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะรางรถไฟนั้นมีระยะความลึกอยู่ในช่วงประมาณ 0.25 มม. เมื่อเทียบวัดจากสเกลในรูปที่ 14 ซึ่งจะตีความได้ว่า ณ จุดบริเวณดังกล่าวนั้นจะมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายได้มากกว่าบริเวณอื่นที่ไม่ได้รับภาระถึง 15.395 เท่า และหากจะอธิบายกลไกการเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นภายในเนื้อโลหะรางรถไฟและเนื้อเชื่อมนั้นสามารถอธิบายได้ว่าในระยะความลึกดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรภายในเนื้อโลหะที่ระยะความลึกจากผิวเดิมชิ้นงาน 0.25 มม. ขนาดของเกรนจะเล็กลงและจะมีทิศทางของการเสียรูปสวนทางกับแนวการหมุนของชิ้นงานทดสอบ และเมื่อเกิดภาระกระทำซ้ำ ๆ ก็จะทำให้เกิดชั้นผิวแข็งเกิดขึ้น (Strain hardening) ดังรูปที่ 14 และเมื่อเกิดสภาวะแรงกระทำซ้ำ ๆ กับช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นชั้นผิวแข็งก็จะเกิดการแตกร้าวที่ผิว (Surface crack) และหลุดออกดังรูปที่ 15 ซึ่งเป็นผลจากการทดลองที่ 3



รูปที่ 14 ภาพด้านข้างและภาพตัดของชิ้นงานทดสอบและภาพขยายของจุดที่เกิด Damage สูงสุดของชิ้นงานทดสอบของการทดลองที่ 3



รูปที่ 15 ลักษณะของรอยแตกร้าวที่ผิวของชั้นผิวแข็งของเหล็กรางรถไฟที่ผ่านการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบล้อคู่ (Twin disk testing)

อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายและสรุปผล

จากงานวิจัยการศึกษาอิทธิพลของแรงกระแทกที่ส่งผลต่อความเค้นตกค้างในเหล็กรางรถไฟที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็ง ของรางรถไฟที่ใช้สถานประกอบการของภาครัฐวิสาหกิจของประเทศไทยนั้นโดยทำการทดลองการเชื่อมพอกผิวแข็งในเหล็กรางรถไฟโดยใช้ลวดเชื่อม mana 305 ใช้กรรมวิธีการเชื่อมแบบลวดหุ้มฟลัก ตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมนั้นเป็นไปตามมาตรฐานของ AWS D15.2/D15.2M:2013 ทำชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมมาทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบและจำลองการกระแทกที่หัวรางบนรอยต่อประกับรางรถไฟ ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบล้อคู่ ใช้แรงในการกด 400 กิโลกรัม (point load) ความเร็วรอบในการหมุนทดสอบ 319 รอบต่อนาที ทำการออกแบบการทดลอง 3 การทดลอง ปรับตัวแปรเป็นเวลาในการทดสอบที่ 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง ทำผลที่ได้มาทำการพิจารณาลักษณะความเสียหายและสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างแรงฉุดลากและเวลาในการทดสอบ และทำการวิเคราะห์ความเค้นภายในที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะโดยการวิเคราะห์ความล้า (Fatigue) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลจากการทดลองด้วยเครื่องทดสอบแบบล้อคู่พบว่าที่เวลา 20 – 40 นาที ของทั้ง 3 การทดลองนั้นค่าของแรงฉุดลากมีค่าแนวโน้มที่คงที่และเมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ life ของผลวิเคราะห์ความล้าจากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าค่า life ของทั้ง 3 การทดลองมีค่าที่เท่ากันอยู่ที่ 6340.8 รอบ เมื่อนำมาคำนวณเป็นเวลาพบว่ามีเวลาเท่ากับ 20.156 นาที โดยจะมีค่าความเค้น von – misses stress เกิดขึ้นในเนื้อโลหะเท่ากับ 604.45 MPa ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการทดลอง และเมื่อได้ทำการวิเคราะห์ค่า damage เกิดขึ้นในแต่ละการทดลองพบว่ามีค่า damage เท่ากับ 3.0789 9.2368 และ 15.395 ตามลำดับ เมื่อนำผล damage ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาทำการวิเคราะห์ร่วมกับผลที่ได้จากการทดลองพบกว่าลักษณะของการเสียรูปที่ได้จากการทดลองในชิ้นงานทดลองที่ 3 มีความสอดคล้องกับผลของ damage ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และยังทำให้ทราบถึงกลไกของเนื้อของโลหะรางรถไฟและเนื้อเชื่อมนั้นจะเริ่มเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรเมื่อได้รับภาระกระทำที่ 6340.8 รอบ และคงที่จนไปถึง 12760 รอบ จากนั้นเนื้อโลหะจะเกิดขั้นผิวแข็งเกิดขึ้นทำให้ผิวมันวาวและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงจนไปถึง 25520 รอบ จากนั้นเนื้อโลหะจะเกิดการแตกร้าวที่ผิว (surface crack) ของเนื้อโลหะทำให้ผิวขรุขระและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นทำให้แรงฉุดลากเพิ่มขึ้น และเกิดกลไกการเกิดซ้ำ ๆ เป็นรอบวัฏจักรไปเรื่อย ๆ ภายในเนื้อของโลหะรางรถไฟและเนื้อเชื่อม

ผลกที่ได้จากการทดลองค่า life ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นพบว่ามีค่าที่น้อยกว่ารอบที่ได้ทำการออกแบบการทดลองไว้ซึ่งได้ออกแบบไว้ที่ 1 3 และ 5 ชั่วโมง ซึ่งผลที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลเมนต์นั้นอยู่ที่ 20.156 นาที จึงไม่สามารถที่จะศึกษากลไกการเริ่มเกิดการเสียรูปถาวรในช่วงนั้นได้และในการทดลองนั้นยังไม่สามารถที่จะหาสาเหตุของกลไกการเกิดการแตกร้าวที่ผิวของเนื้อโลหะและเนื้อเชื่อมได้แน่ชัดแม้กระทั้งการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก็ยังไม่สามารถที่จะระบุสาเหตุของการเกิดกลไกดังกล่าวนั้นได้ จึงต้องมีการศึกษากลไกการเริ่มเกิดการเสียรูปถาวร และกลไกการเกิดการแตกร้าวที่ผิว (surface crack) ของเนื้อโลหะต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยนวัตกรรมวิชาชีพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ได้ ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ขอขอบคุณบุคลากรของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่ให้ความช่วยเหลือการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณผู้บริหารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับการวิจัย จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี

เอกสารอ้างอิง

ชานนท์ บุนนท์ และคณะ. (2563). การศึกษาผลของน้ำหนักลากจูงที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการเสียหายของล้อรถจักรสินค้า. ในการประชุมวิชาการพะเยาวิจัย ครั้งที่ 10 (น.611–622). พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.

Kengo TAKAHASHI. Masajiro ABE. Toshikazu FUJINO. (2016), Runaway characteristics of gantry cranes for container handling by wind gust. Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, Volume 3, Issue 2, Pages 15–00679.

L. Ma, C.G. He, X.J. Zhao, H.Y. Wang, W.J. Wang, Y. Zhu, Q.Y. Liu, X.S. Jin. (2015), Study on wear and rolling contact fatigue behaviors of wheel/rail materials under different slip ratio conditions. 10th International Conference on Contact Mechanics CM2015, Colorado Springs, Colorado, USA

Y. Zhu, Adhesion in the wheel–rail contact under contaminated conditions, Licentiate thesis, KTH Machine design, 2011.

Y.Z.Chen, C.G.He, X.J.Zhao, L.B.Shi, Q.Y.Liu, W.J.Wang. (2018), The influence of wheel flats formed from different braking conditions on rolling contact fatigue of railway wheel. Engineering Failure Analysis, Volume 93, November 2018, Pages 183–199.

การจัดทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสงในพื้นที่กระบวนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง ในจังหวัดปทุมธานี

Creating a fluorescent fire escape route in workplace areas, Case study of an automotive parts manufacturing company In Pathum Thani Province

ณัฐริณีย์ คุณวงค์[1], เบญจรัตน์ บุญหว่าง[1], ศิริวรรณ กันติสินธุ์[1] และ อัญชลี คัตรมี[1*]
Nattharinee Khunwong[1], Benjarat Boonwang[1], Siriwan Kantisin[1], and Anchalee Kataramee[1*]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้นำเสนอการจัดทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสงในพื้นที่กระบวนการผลิตในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานีซึ่งเป็นมาตรการหนึ่งในการลดความเสี่ยงจากเหตุเพลิงไหม้ในสถานประกอบการ โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อสร้างเส้นทางหนีไฟเรืองแสงที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนในอาคารการผลิต ทำการศึกษาในกระบวนการผลิต ทั้งหมด 11 แผนก โดยการประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยในพื้นที่การผลิตแล้วนำปัญหาที่พบมาจัดทำมาตรการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงด้วยการจัดทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสง และทำการเปรียบเทียบระดับความเสี่ยงหลังการปรับปรุง ผลการศึกษาพบว่า ดำเนินการเสร็จสิ้นจำนวน 2 แผนก คิดเป็นร้อยละ 18.18 คือแผนก แผนก Heat Treatment และ แผนก Plating Treatment เนื่องจากเป็นแผนกที่มีระดับความเสี่ยงด้านอัคคีภัยในพื้นที่อาคารผลิต อยู่ที่ระดับ 4 ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้(คะแนน 12–16 ต้องหยุดดำเนินการและปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทันที) และในขั้นตอนการทำงานมีการใช้ความร้อนสูงและสารเคมีไวไฟ และมีเครื่องจักรจำนวนมากที่บดบังเส้นทางหนีไฟ การจัดทำเส้นทางหนีไฟโดยใช้สีสเปรย์เรืองแสงที่มีคุณลักษณะในการดูดซับแสงเมื่ออยู่ในที่สว่างและเรืองแสงเมื่ออยู่ในที่มืด ขนาดความกว้างของเส้นที่ฉีดสเปร์ยมีขนาด 10 เซนติเมตร โดยฉีดทับเส้นทางหนีไฟเดิม และหลังการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟ ระดับความเสี่ยงลดลงเหลือระดับ 2 ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (คะแนน 3–6 ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม) ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเส้นทางหนีไฟเรืองแสงที่จัดทำขึ้นมีประสิทธิภาพสามารถลดระดับความเสี่ยงจากการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในพื้นที่กระบวนการผลิตได้ ทำให้เส้นทางหนีไฟมีความชัดเจน มองเห็นได้ง่ายแม้อยู่ในสถานการณ์ที่มีแสงสว่างไม่เพียงพอ

คำสำคัญ: เส้นทางหนีไฟ, การอพยพหนีไฟ, โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

[1] สาขาวิชาอาชีวอามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย 57100
[1] Occupational Health and Safety program, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, 57100
*Corresponding author: anchalee.kat@mfu.ac.th

Abstract

This study presented the implementation of a fluorescent fire escape route in the production process area of an automotive parts manufacturing factory in Pathum Thani province. This initiative serves as a preventive measure aimed at minimizing the risk of fire in the workplace. The objective of the study was to create a fluorescent fire escape route that can be clearly visible within the production building. This study encompasses an examination of 11 departments involved in the production process. It involved assessing fire risks within the production area and identifying existing issues through the development of corrective measures. These measures focus on the creation of fluorescent fire escape routes. Subsequently, a comparison of risk levels before and after the implementation of these measures was performed. The findings indicated that two departments, constituting 18.18 percent of the total, namely the Heat Treatment Department and the Plating Treatment Department, were successfully addressed. These departments exhibited a high fire risk level in the production building area, categorized as level 4, indicating an unacceptable risk (scores 12–16 necessitating immediate cessation and correction). Factors contributing to this risk included the use of high heat and flammable chemicals in the work process, along with obstructions to the fire escape route by numerous machines. Creating a fire escape route involves utilizing fluorescent spray paint with the capability of absorbing light in well–lit environments and glowing in the dark. The spray lines, each measuring 10 centimeters in width, were applied over the existing fire escape route. The findings indicate that the implemented fluorescent escape routes significantly decrease the risk of fire in the production process area, ensuring clear visibility of the fire escape route, even in poorly lit situations.

Keywords: Fire escape route, Fire evacuation, Automotive parts manufacturing factory

บทนำ

ไฟไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมเป็นปัญหาที่มีความร้ายแรงและสามารถทำให้เกิดการสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สิน รวมถึงโอกาสทางธุรกิจ ซึ่งถือเป็นอันตรายที่สำคัญ โดยจากสถิติของอุบัติเหตุทางอุตสาหกรรมในปี 2564 พบว่ามีอุบัติเหตุในโรงงานที่เกิดจากเพลิงไหม้มากถึง 92 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 82 ของอุบัติเหตุทั้งหมด และมีความสูญเสียจากการเกิดเพลิงไหม้ในโรงงานแต่ละครั้งมากถึง 10 ล้านบาท [1]

โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้สูงมากขึ้น เนื่องจากกระบวนการผลิตมีขั้นตอนการทำงานที่ก่อให้เกิดความร้อนสูง และมีการใช้สารเคมีไวไฟ ซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ง่าย [2–4] หากไม่มีมาตราการเตรียมความพร้อมในการรับรองสถานการณ์ฉุกเฉิน เช่น ไม่มีแผนตอบโต้เหตุเพลิงไหม้ ไม่มีการอบรมและซ้อมอพยพหนีไฟให้กับพนักงานภายในโรงงาน เส้นทางหนีไฟถูกปิดกั้น อุปกรณ์ดับเพลิงและแจ้งเหตุเพลิงไหม้ไม่เพียงพอ เป็นต้น ทำให้ชีวิตและทรัพย์สินเกิดความเสียหาย [5–7] ดังเช่นอุบัติเหตุเพลิงไหม้ที่เคยเกิดขึ้นที่บริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้แล้วกระแสไฟฟ้าดับ ซึ่งทำให้พื้นที่ภายในอาคารผลิตมืด ส่งผลให้พนักงานที่ทำงานอยู่ในพื้นที่การผลิตไม่สามารถมองเห็นเส้นทางหนีไฟเพื่ออพยพออกจากอาคารไปที่ทางออกได้ จนเป็นเหตุให้พนักงานติดอยู่ภายในอาคารและเสียชีวิตในที่สุด ซึ่งโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี มีลักษณะของอาคารผลิตซึ่งเป็นอาคารชั้นเดียว มีจำนวนพนักงานภายในอาคารทั้งสิ้น 393 คน และมีทางออกจากอาคารทั้งหมด 14 ประตูที่ใช้เป็นทางหนีไฟ ซึ่งเพียงพอต่อการอพยพหนีไฟ แต่บริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่ของอาคารผลิตมีเครื่องจักรติดตั้งเป็นจำนวน

มาก ซึ่งหากไฟฟ้าขัดข้องหรือไฟฟ้าดับ เงาของเครื่องจักรอาจบดบังเส้นทางหนีไฟได้ และภายในอาคารการผลิตมีการใช้เส้นทางหนีไฟเส้นทางเดียวกันกับช่องทางสัญจร หากเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น อาจทำให้เกิดความสูญเสียดังเช่นเหตุการณ์อุบัติเหตุที่เคยเกิดขึ้นดังเช่นโรงงานที่ประเทศญี่ปุ่นที่กล่าวข้างต้น

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าวจึงได้กำหนดมาตราการในการลดความเสี่ยงจากการเกิดเพลิงไหม้ภายในพื้นที่การผลิต โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อจัดทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสง ที่ช่วยเพิ่มชัดเจนของเส้นทางหนีไฟและพนักงานสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน

วิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (Cross sectional analytical research) เพื่อจัดทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสง ทำการศึกษาในพื้นที่กระบวนการผลิต ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง ในจังหวัดปทุมธานี โดยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประเมินความเสี่ยงภายในอาคารการผลิต ทั้งหมด 11 แผนก

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบและวางแผนการทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสง

ขั้นตอนที่ 3 สร้างเส้นทางหนีไฟเรืองแสง ตามที่ออกแบบไว้ตามเส้นทางเดิมของอาคาร โดยใช้สีสเปรย์เรืองแสงพ่นบริเวณช่องทางหนีไฟเดิม ที่มีขนาดเส้นกว้าง 10 เซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 4 ประเมินความเสี่ยงภายในอาคารการผลิต หลังสร้างเส้นทางหนีไฟเรืองแสง

ขั้นตอนที่ 5 นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาทำการวิเคราะห์หาความเสี่ยง ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) แสดงค่าข้อมูลเป็น ค่าฉลี่ย และร้อยละ เพื่อสรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ พื้นที่กระบวนการผลิตภายในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง ในจังหวัดปทุมธานี ทั้งหมด 11 แผนก

เครื่องมือที่ใช้วิจัย

การศึกษาครั้งนี้ใช้แบบฟอร์มประเมินความเสี่ยงตามประกาศของระเบียบกรมโรงงานอุตสหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การบ่งชี้อันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนการจัดทำแผนการบริการจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 เพื่อประเมินความเสี่ยงภายในอาคารการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ก่อนและหลังการสร้างเส้นทางหนีไฟเรืองแสง โดยการจัดระดับความเสี่ยงพิจารณาจากผลลัพธ์ของระดับโอกาสคูณกับระดับความรุนแรงของที่มีผลกระทบต่อคนงาน

การพิจารณาระดับโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ การพิจารณาโอกาสแบ่งออกเป็น 4 ระดับ โดยพิจารณาได้จากสถิติการเกิดเหตุการณ์ สิ่งที่เป็นความเสี่ยงนั้นในอดีตและพิจารณาจากมาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายที่โรงงานดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ถ้าเป็นมาตรการที่ถูกต้องและเหมาะสมโดยเป็นมาตรการที่สามารถแก้ไขปัญหาที่สาเหตุโดยตรงและมีมาตรการที่เพียงพอ จึงสามารถพิจารณาโอกาสว่าเกิดน้อยได้ ตัวอย่างการจัดระดับโอกาสแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจัดระดับโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ

ระดับ	รายละเอียด
1	มีโอกาสในการเกิดยาก เช่น ไม่เคยเกิดเลยในช่วงเวลาตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป
2	มีโอกาสในการเกิดน้อย เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 5 – 10 ปี
3	มีโอกาสในการเกิดปานกลาง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 1 – 5 ปี
4	มีโอกาสในการเกิดสูง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดมากกว่า 1 ครั้ง ใน 1 ปี

ผลกระทบต่อคน แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ในการพิจารณาความรุนแรงจะไม่นำมาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายที่มีอยู่มาพิจารณาเพื่อลดความรุนแรงแต่ให้พิจารณาเหมือนไม่มีมาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายเพื่อประเมินว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์นั้นแล้วเกิดความรุนแรงได้มากเพียงใด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อบุคคล

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
1	เล็กน้อย	มีการบาดเจ็บเล็กน้อยในระดับปฐมพยาบาล
2	ปานกลาง	มีการบาดเจ็บที่ต้องได้รับการรักษาทางการแพทย์
3	สูง	มีการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่รุนแรง
4	สูงมาก	ทุพลภาพหรือเสียชีวิต

การจัดระดับความเสี่ยงพิจารณาโดยนำผลลัพธ์ของระดับโอกาสคูณกับระดับความรุนแรงที่มีผลกระทบต่อคนงานในฝ่ายผลิต ระดับความเสี่ยงจัดเป็น 4 ระดับ รายละเอียดแสดงการจัดระดับความเสี่ยงแสดง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจัดระดับความเสี่ยงอันตราย

ระดับความเสี่ยง	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	1 – 2	ความเสี่ยงเล็กน้อย
2	3 – 6	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม
3	8 – 9	ความเสี่ยงสูง ต้องมีการดำเนินงานเพื่อลดความเสี่ยง
4	12 – 16	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการและปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทันที

ระยะเวลาวิจัย

ระยะเวลาดำเนินการเดือน มีนาคม – เมษายน 2565

ผลการศึกษา

จากผลการสำรวจด้านความปลอดภัยและการประเมินความเสี่ยงเกี่ยวกับอัคคีภัยในพื้นที่อาคารผลิต ทั้งหมด 11 แผนก พบว่า มี 2 แผนก คือ แผนก Heat Treatment และ แผนก Plating Treatment ที่มีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับ 4 ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ (คะแนน 12–16 ต้องหยุดดำเนินการและปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทันที) เนื่องจากพื้นที่กระบวนการผลิตมีขั้นตอนที่มีการใช้ความร้อนสูง มีการใช้สารเคมีไวไฟ เช่น ทินเนอร์ และพื้นที่ส่วนใหญ่มีเครื่องจักรติดตั้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งหากเกิดเหตุเพลิงไหม้ หรือไฟฟ้าดับ เงาของเครื่องจักรอาจบดบังเส้นทางหนีไฟได้ และเส้นทางหนีไฟภายในพื้นที่อาคารการผลิตใช้เส้นทางเดียวกันกับช่องทางสัญจร โดยตีเส้นและทาสีเหลืองเพื่อกำหนดช่องทางสัญจร (รูปที่ 1 (ก))

ผลการจัดทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสง ดำเนินการโดยใช้สีสเปรย์เรืองแสงฉีดพ่นทับเส้นทางหนีไฟเดิม ขนาดของการตีเส้นมีความกว้าง 10 เซนติเมตร ซึ่งสีสเปรย์มีคุณลักษณะในการดูดซับแสงเมื่ออยู่ในที่สว่างและเรืองแสงเมื่ออยู่ในที่มืด ทำให้เมื่อเกิดไฟฟ้าดับเส้นทางหนีไฟที่ทำจากสีสเปรย์เรืองแสงนี้จะเรืองแสง ทำให้สามารถมองเห็นเส้นทางหนีไฟได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) ทั้งนี้การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการเสร็จสิ้นทั้งหมด 2 แผนก จากทั้งหมด 11 แผนก คิดเป็นร้อยละ 18.18 คือแผนก Heat Treatment และ แผนก Plating Treatment และผลการประเมินเสี่ยงหลังการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟของทั้ง 2 แผนก พบว่า ระดับความเสี่ยงลดลงเป็นระดับ 2 คือความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (คะแนน 3–6 ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม)



ก) ก่อนการปรับปรุง



ข) หลังการปรับปรุง

รูปที่ 1 ลักษณะเส้นทางหนีไฟเรืองแสง ก่อน–หลังการปรับปรุง

อภิปรายและสรุปผล

การจัดทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสงในพื้นที่กระบวนการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี มีระดับความเสี่ยงเกี่ยวกับอัคคีภัยในพื้นที่อาคารผลิตที่ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ (ระดับ 4) จำนวน 2 แผนกคือ แผนก Heat Treatment และ แผนก Plating Treatment เนื่องจากมีการใช้ความร้อนสูงและสารเคมีไวไฟในขั้นตอนการทำงาน และมีเครื่องจักรจำนวนมากที่อาจบดบังเส้นทางหนีไฟเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้หรือไฟฟ้าดับ อาจเป็นสาเหตุทำให้พนักงานไม่สามารถอพยพหนีไฟออกจากอาคาร หรือติดค้างอยู่ภายในอาคารทำให้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิตได้หากเกิดเหตุเพลิงไหม้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ทำการศึกษาความเสี่ยงการเกิดเพลิงไหม้ในภาคอุตสาหกรรม พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมที่มีพื้นที่การทำงานที่แออัด มีแสงสว่างไม่เพียงพอ มีโอกาสทำให้พนักงานเสียชีวิตจากเหตุเพลิงไหม้สูง [8, 9]

การจัดทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสงเป็นมาตรการหนึ่งในการลดระดับความเสี่ยงด้านอัคคีภัยภายในอาคารการผลิต ดำเนินการโดยใช้สีสเปรย์เรืองแสงฉีดทับเส้นทางหนีไฟเดิม โดยขนาดความกว้างของเส้นที่ฉีดทับมีขนาด 10 เซนติเมตร สีสเปรย์มีคุณลักษณะในการดูดซับแสงเมื่ออยู่ในที่สว่างและเรืองแสงเมื่ออยู่ในที่มืด ทำให้สามารถมองเห็นเส้นทางหนีไฟได้อย่างชัดเจนเมื่อเกิดเพลิงไหม้หรือไฟฟ้าดับหรือในสถานการณ์ที่มืด ทำให้ระดับความเสี่ยงหลังการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟของทั้ง 2 แผนก มีความเสี่ยงลดลงจากระดับที่ยอมรับไม่ได้เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดกฎหมาย ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในโรงงาน พ.ศ. 2552 ที่กำหนดให้สถานประกอบการต้องจัดให้มีเส้นทางหนีไฟที่อพยพคนงานทั้งหมดออกจากบริเวณที่ทำงานสู่บริเวณที่ปลอดภัย เส้นทางหนีไฟต้องไม่มีสิ่งกีดขวางทำให้เป็นอุปสรรค ต้องสามารถใช้หนีไฟได้ตลอดเวลา เส้นทางหนีไฟต้องมีป้ายที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนไม่ว่าอยู่จุดใดของอาคาร และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ให้คำแนะนำหรือข้อเสนอแนะสำหรับมาตรการในป้องกันความเสี่ยงต่อสถานประกอบการในการป้องกันอัคคีภัย คือ สถานประกอบการควรติดตั้งทางออกที่เพียงพอและเส้นทางหนีไฟที่เหมาะสมและควรเปิดเส้นทางออกฉุกเฉินไว้เสมอ นอกจากนี้ ไม่ควรวางผังเครื่องจักรปิดกั้นเส้นทางออกฉุกเฉิน และควรเปิดไฟเส้นทางหนีไฟตลอดเวลา [8–10] ซึ่งการจัดทำเส้นทางหนีไฟเรืองแสงนี้แสดงให้เห็นว่าเป็นมาตรการการป้องกันที่มีประสิทธิภาพที่สามารถลดระดับความเสี่ยงจากการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคารกระบวนการผลิตได้ ช่วยเพิ่มความชัดเจนของเส้นทางหนีไฟให้สามารถมองเห็นได้ในสถานการณ์ที่มีแสงสว่างไม่เพียงพอ อีกทั้งอาจเป็นแนวทางหนึ่งในการลดโอกาสการเกิดอันตรายของพนักงานต่อการติดอยู่ภายในอาคารกรณีเกิด

เหตุเพลิงไหม้ เพิ่มความปลอดภัยของพนักงานในกรณีฉุกเฉิน [4, 5] รวมถึงเพิ่มความปลอดภัยในอาคารผลิตและแสดงให้เห็นถึงการให้ความสำคัญทางด้านความปลอดภัยขององค์กรอีกด้วย

ทั้งนี้สถานประกอบการควรมีการตรวจสอบและปรับปรุงเส้นทางหนีไฟอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้แน่ใจว่ายังคงมีประสิทธิภาพและไม่ชำรุดเสียหาย และในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างหรือลักษณะของโรงงาน ควรปรับปรุงเส้นทางหนีไฟตามด้วยเสมอ เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงนั้นและรักษาความปลอดภัยสูงสุดสำหรับพนักงานทุกคนในโรงงาน อีกทั้งควรมีการจัดอบรมพนักงานในแต่ละหน่วยงาน เพื่อเพิ่มความรู้ความเข้าใจให้กับพนักงานในการป้องกันอัคคีภัย และสามารถอพยพหนีไฟได้อย่างปลอดภัยกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง ในจังหวัดปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลตลอดระยะเวลาดำเนินงาน ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน, กรมโรงงานอุตสาหกรรม. สรุปสถิติการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานประจำป พ.ศ.2564 (ม.ค.-ธ.ค. 2564). กรุงเทพมหานคร, 2564.
2. วสุกานต์ พิชฐัตน์ และชวลิต กิตติชัยการ. การประยุกต์ใช้โปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อศึกษาการอพยพหนีไฟ กรณีศึกษา: ศูนย์กระจายสินค้า บริษัท โฮม โปรดักส์ เซ็นเตอร์ จำกัด (มหาชน). วารสารวิศวกรรมสาร มก. 2560;30(99):25-38.
3. พสชนัน ศรีโพธิ์ทอง. การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิโดยใช้โปรแกรมทางพลศาสตร์อัคคีภัย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยปทุมธานี (2564), 2(1). 33-47.
4. Thomson, N., Fire hazards in industry. 2001: Elsevier.
5. Billington, M.J., Copping, A., Ferguson, A. Means of escape from fire. 2008: John Wiley & Sons.
6. Jim Burtles, K.L.J., Jim Burtles K.L.J-M.M.L.J., Hon F.B.C.I. Introduction to emergency evacuation: getting everybody out when it counts. 2016: Rothstein Publishing.
7. Kirilov, A.E. and K.A. Chernyi. Assessment of fire safety of evacuation routes in industrial premises. Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering. 2018;18(2):190-200.
8. Wadud, Z., Huda, F.Y., & Ahmed, N.U. Assessment of fire risk in the readymade garment industry in Dhaka, Bangladesh. Fire Technology. 2014;50(5):1127-1145. doi: https://doi.org/10.1007/s10694-013-0349-2
9. Xin, J., & Huang, C. Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management. Fire Safety Journal. 2013;62:72-78. doi: https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.09.022
10. Azad, T.A., Hasan, I., Saha, M.K., Ahmmed, R., Moni, S.J., Kabir, M.H. Risk of fire disaster: consequences on industry sectors in bangladesh. International Journal of Energy and Sustainable Development. 2018;3(3):52-63.

การผลิตสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์พื้นฐานสาขาวิชาชีววิทยา

Video media creating for scientific instruments of biology

วราภรณ์ ใจบาล[1*], ภาวิณี ทองคำ[1], วิวัฒน์ ถาริน[1], ภาณุพงศ์ ชัยวงศ์แสน[1], ชุติมา ใจเพ็ชร[1], ปวีณา โพธิ์ทอง[1], อรทัย หวังสันติธรรม[1], นฤมล บุญเรือง[1] และ มณีนุช รันศรี[1]

Waraporn Jaiban[1 *], Pawinee Thongkhum[1], Wiwat Tharin[1], Panupong Chaiwongsaen[1], Chutima Jaiphet[1], Paweena Pothong[1], Orathai Wangsantitham[1], Narumol Boonrueng[1] and Maneenut Runsri[1]

บทคัดย่อ

เครื่องมือวิทยาศาสตร์พื้นฐานที่ใช้ในหลักสูตรสาขาวิชาชีววิทยาเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเรียนการสอนได้เป็นอย่างดี เช่น เครื่องดูดปล่อยสารอัตโนมัติ เครื่องวัดความเป็นกรดด่างชนิดตั้งโต๊ะ กล้องจุลทรรศน์ หม้อนึ่งความดันไอ เครื่องชั่ง เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดควบคุมอุณหภูมิ เครื่องเขย่าชนิดควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น จึงมีแนวคิดในการผลิตสื่อวีดิทัศน์การใช้งานเครื่องมือดังกล่าว เริ่มตั้งแต่การศึกษารวบรวมข้อมูลวิธีการใช้งาน ถ่ายทำวีดิทัศน์ ตัดต่อวีดิทัศน์ แล้วจัดทำคิวอาร์โค้ดลงในสื่ออินเทอร์เน็ต เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อผลิตสื่อวีดิทัศน์การใช้งานเครื่องมือวิทยาศาสตร์พื้นฐาน สาขาวิชาชีววิทยา 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์คะแนนก่อนและหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจในประสิทธิภาพการใช้งานต่อสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นิสิตชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาชีววิทยาจำนวน 61 คน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่าผลสัมฤทธิ์คะแนนก่อนและหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์ นิสิตมีคะแนนพัฒนาการเพิ่มขึ้น 37.81 % ความพึงพอใจในประสิทธิภาพการใช้งานต่อสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ด้านความปลอดภัย ภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก $\bar{x}$ = 4.71, S.D. = 0.51 รองลงมาคือ ด้านความรู้พื้นฐาน ภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก $\bar{x}$ = 4.68, S.D. = 0.53 และ ด้านการบำรุงรักษา ภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก $\bar{x}$ = 4.66, S.D. = 0.55 ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครื่องมือวิทยาศาสตร์, สื่อวีดิทัศน์, สาขาวิชาชีววิทยา

[1] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Faculty of Science, University of Phayao, Phayao, 56000

*Corresponding author: waraporn.ja@up.ac.th

Abstract

The fundamental science tools used in the Biology curriculum are equipment that greatly facilitates teaching and learning, such as the automatic pipette, pH meter, microscope, Steam autoclave, centrifuge and incubator shakers. Therefore, there is an idea to produce video media of such tools. Starting from studying and gathering information on how to use it. Recording video Video editing Then create a QR code and post it on internet media. To make it convenient to use. The aim of this research was to 1) create video media for scientific instruments of biology and then study satisfaction with video media for scientific instruments of biology and 2) compare the learning achievements from before and after trying out the video media for scientific instruments of biology using by internet 3). study satisfaction of students towards using video media for scientific instruments of biology. The research sample was 61 participants of 4th year students from the biology department. Descriptive statistics were used to analyze the data frequency, percentage, mean, and standard deviation. The results show that 2) learning achievement before and after learning video media was a 37.81 % increase in development scores; and 3) the safety had highest satisfaction observed $\bar{X}$ = 4.71, S.D. = 0.51 for the video media quality on basic knowledge were highest at $\bar{X}$ = 4.68, S.D. = 0.53 for Maintenance were highest $\bar{X}$ = 4.66, S.D. = 0.55 respectively.

Keywords: Scientific instruments, Video media, Biology

บทนำ

การมีทักษะในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ของนิสิตที่จบการศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต เป็นหนึ่งในวัตถุประสงค์หลักของการผลิตบัณฑิตสาขาวิชาชีววิทยา นอกเหนือจากการมีความรู้ทางด้านทฤษฎี เพื่อให้บัณฑิตสาขาวิชาชีววิทยาเป็นผู้ที่มีความรอบรู้และสามารถบูรณาการองค์ความรู้ได้ ดังนั้นทางสาขาวิชาชีววิทยาจึงได้จัดโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการแก่นิสิตสาขาวิชาชีววิทยาในหัวข้อเรื่อง “พัฒนาทักษะการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์สำหรับนิสิตสาขาวิชาชีววิทยา” เพื่อเป็นแนวทางสู่การพัฒนาการเรียนรู้และฝึกทักษะในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์รวมถึงการใช้ห้องปฏิบัติการ โดยทางสาขาวิชาชีววิทยาหวังให้นิสิตที่ผ่านการอบรมแล้วสามารถนำความรู้และเทคนิคการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการเรียนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ การทำวิจัย การประกอบวิชาชีพ หรือการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นต่อไป ซึ่งจะจัดการอบรมขึ้นในภาคการศึกษาที่ 2 ช่วงต้นเดือนพฤศจิกายนของทุกปี โดยจะมุ่งเน้นกลุ่มเป้าหมายไปที่ นิสิตชั้นปีที่ 4 ของสาขาวิชาชีววิทยา เพื่อจะได้นำความรู้ไปใช้ทำการวิจัยหรือทำการศึกษาอิสระ จากการอบรมที่ผ่านมาพบปัญหาการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ นิสิตมาใช้งานเครื่องมือวิทยาศาสตร์ขณะนักวิทยาศาสตร์ติดคุมปฏิบัติการ หรือ นิสิตไม่ทราบหรือหลงลืมวิธีการใช้งานเครื่องมือ ซึ่งทำให้การทำงานเกิดความล่าช้าหรือไม่สามารถใช้งานเครื่องมือได้ตามความต้องการของนิสิต ดังนั้นจึงมีแนวคิดต้องการพัฒนาการใช้งานเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในรูปแบบวีดิทัศน์ โดยผ่านการสแกนคิวอาร์โค้ดเพื่อให้นิสิตสามารถศึกษาการใช้งานเครื่องมือในรูปแบบวีดิทัศน์ ให้มีความถูกต้อง สะดวก รวดเร็ว เข้าใจง่าย อีกทั้งยังช่วยลดอันตรายจากการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ อีกด้วย

วิธีการศึกษา

1. นักวิทยาศาสตร์ผู้ดูแลประจำเครื่องมือ ศึกษารวบรวมข้อมูลวิธีการใช้งานของเครื่องมือวิทยาศาสตร์อย่างถูกต้อง ได้แก่ เครื่องดูดปล่อยสารอัตโนมัติ (Automatic pipette) เครื่องวัดความเป็นกรดด่างชนิดตั้งโต๊ะ (pH meter) กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) เครื่องชั่ง (Balance) เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดควบคุมอุณหภูมิ (Centrifuge) เครื่องเขย่าชนิดควบคุมอุณหภูมิ (Shaker)

2. ถ่ายทำวีดิทัศน์การใช้งานของเครื่องมือวิทยาศาสตร์ โดยเนื้อหาประกอบด้วย

- ชื่อเครื่องมือวิทยาศาสตร์
- วัตถุประสงค์การใช้งานของเครื่องมือ
- วิธีการใช้งานเครื่องมือ
- ข้อควรระวังในการใช้เครื่องมือ
- การบำรุงรักษาเครื่องมือ

3. ตัดต่อวีดิทัศน์ โดยใช้โปรแกรม Sony Vegas

4. จัดทำคิวอาร์โค้ดเครื่องมือวิทยาศาสตร์

5. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์คะแนนสอบก่อนและหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

6. จัดทำแบบสำรวจความพึงพอใจสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์

- ประชากรที่ใช้ในการในวิจัย คือ นิสิตสาขาวิชาชีววิทยา ชั้นปีที่ 4 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
- เครื่องมือในการวิจัย เครื่องมือสำหรับใช้ในการรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม แบบประเมินค่า 5 ระดับ (Rating scale) ตามแบบของลิเคิร์ท (Likert's Scale) ซึ่งลักษณะส่วนใหญ่เป็นคำถามแบบปลายปิด (Close – Ended Questionnaire) โดยแบ่งข้อมูลเป็น 3 ส่วน คือ

  ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัว ได้แก่ เพศ ชั้นปี หลักสูตรการศึกษา

  ส่วนที่ 2 ความคิดเห็นต่อสื่อวีดีทัศน์ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ความรู้พื้นฐาน การบำรุงรักษา และความปลอดภัย

  ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติมต่อสื่อวีดีทัศน์

- การเก็บรวบรวมข้อมูล นำแบบประเมินความพึงพอใจ ให้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 61 คน ประเมินความพึงพอใจสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์
- เก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ด้วยโปรแกรม excel
- เกณฑ์การให้คะแนน ได้กำหนดระดับความคิดเห็น 5 ระดับ ดังนี้

  ระดับ 5 หมายถึง ดีมาก

  ระดับ 4 หมายถึง ดี

  ระดับ 3 หมายถึง ปานกลาง

  ระดับ 2 หมายถึง พอใช้

  ระดับ 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

  การแปลความหมายค่าเฉลี่ย

  คะแนน 4.51 – 5.00 สื่อมีคุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก

  คะแนน 3.51 – 4.50 สื่อมีคุณภาพอยู่ในระดับ มาก

คะแนน 2.51 – 3.50 สื่อมีคุณภาพอยู่ในระดับ ปานกลาง

คะแนน 1.51 – 2.50 สื่อมีคุณภาพอยู่ในระดับ พอใช้

คะแนน 0.01 – 1.50 สื่อมีคุณภาพอยู่ในระดับ ควรปรับปรุง

7. สรุปผลการศึกษาโดยวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อประสิทธิภาพของสื่อวีดิทัศน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

ผลการศึกษา

1. จัดทำสื่อวีดิทัศน์เครื่องมือพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ ทั้งหมด 7 เครื่องมือ ได้แก่

1.1 เครื่องดูดปล่อยสารอัตโนมัติ(Automatic pipette)

1.2 เครื่องวัดความเป็นกรดด่างชนิดตั้งโต๊ะ (pH meter)

1.3 กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

1.4 หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)

1.5 เครื่องชั่ง (Balance)

1.6 เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดควบคุมอุณหภูมิ (Centrifuge)

1.7 เครื่องเขย่าชนิดควบคุมอุณหภูมิ (Shaker)

2. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์คะแนนสอบก่อนและหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากนิสิตชั้นปีที่ 4 กลุ่มเป้าหมาย จำนวน 61 คน พบว่า มีคะแนนพัฒนาการเพิ่มขึ้น 7.56 คะแนน หรือคิดเป็น 37.81 %

3. ศึกษาความพึงพอใจในประสิทธิภาพการใช้งานต่อสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ โดยใช้แบบประเมิน มีผลการดำเนินงานดังตาราง

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

	สถานภาพทั่วไป	**จำนวน**	**ร้อยละ**
เพศ	ชาย	6	9.84
	หญิง	54	88.52
	ไม่ระบุ	1	1.64
ชั้นปี	1	0	0.00
	2	0	0.00
	3	0	0.00
	4	61	95.31
หลักสูตร	ปริญญา 2 ปริญญา (ชีววิทยา)	35	97.22
	ตรีควบโท ชีววิทยา–ชีววิทยา	3	100.00
	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา	23	92.00

จากตารางที่ 1 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 54 คน (คิดเป็นร้อยละ 88.52) เป็นเพศชาย จำนวน 6 คน (คิดเป็นร้อยละ 9.84) ไม่ระบุเพศ จำนวน 1 คน (คิดเป็นร้อยละ 1.64) เป็นนิสิตชั้นปีที่ 4 จำนวน 61 คน (คิดเป็นร้อยละ 95.31) เมื่อจำแนกตามหลักสูตร พบว่าเป็นหลักสูตรการศึกษา ปริญญา 2 ปริญญา (ชีววิทยา) จำนวน

35 คน (คิดเป็นร้อยละ 97.22) ตรีควบโท ชีววิทยา-ชีววิทยา จำนวน 3 คน (คิดเป็นร้อยละ 100) และหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา จำนวน 23 คน (คิดเป็นร้อยละ 92.00)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพของสื่อวีดิทัศน์ ด้านความรู้พื้นฐาน

รายการประเมิน	($\bar{X}$)	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. การแนะนำชื่อเครื่องมือวิทยาศาสตร์มีความชัดเจน	4.69	0.56	ดีมาก
2. มีการแจ้งวัตถุประสงค์การใช้งานอย่างชัดเจน	4.54	0.65	ดีมาก
3. มีการสาธิตวิธีการใช้งานตามขั้นตอนอย่างเป็นระบบ	4.69	0.56	ดีมาก
4. สามารถวางแผนการใช้งานเครื่องมือได้	4.59	0.56	ดีมาก
5. สามารถนำสิ่งที่ได้รับจากโครงการนี้ไปใช้ในการเรียนหรือปฏิบัติงาน	4.79	0.41	ดีมาก
6. ได้รับความรู้ แนวคิด ทักษะและประสบการณ์ใหม่ ๆ	4.75	0.43	ดีมาก
7. เอื้ออำนวยต่อการเรียนรู้และพัฒนาความสามารถ	4.69	0.50	ดีมาก
โดยรวม	4.68	0.53	ดีมาก

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจด้านความรู้พื้นฐาน ภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.68, S.D. = 0.53) โดยในรายละเอียดการประเมิน อันดับ 1 ได้แก่ สามารถนำสิ่งที่ได้รับจากโครงการนี้ไปใช้ในการเรียนหรือปฏิบัติงาน อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.79, S.D. = 0.41) อันดับ 2 ได้แก่ ได้รับความรู้ แนวคิด ทักษะและประสบการณ์ใหม่ ๆ อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.75, S.D. = 0.43) ซึ่งนิสิตได้แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมว่าการอธิบายเนื้อหามีความชัดเจนและเข้าในได้ง่าย อันดับ 3 ได้แก่ มีการแนะนำชื่อเครื่องมือวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน มีการสาธิตวิธีการใช้งานตามขั้นตอนอย่างเป็นระบบและเอื้ออำนวยต่อการเรียนรู้และพัฒนาความสามารถเพื่อใช้ต่อยอดในรายวิชาการศึกษาอิสระและการเรียนต่อระดับสูงขึ้นไป อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.69, S.D. = 0.56, $\bar{X}$ = 4.69, S.D. = 0.56, $\bar{X}$ = 4.69, S.D. = 0.50, ตามลำดับ) อันดับ 4 ได้แก่ สามารถวางแผนการใช้งานเครื่องมือได้ อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.68, S.D. = 0.53) และอันดับ 5 ได้แก่ มีการแจ้งวัตถุประสงค์การใช้งานอย่างชัดเจน อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.68, S.D. = 0.53)

ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพของสื่อวีดิทัศน์ ด้านการบำรุงรักษา

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. ทราบขั้นตอนหรือวิธีการบำรุงรักษาเครื่องมือ	4.74	0.51	ดีมาก
2. สามารถทำตามขั้นตอนและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้	4.69	0.50	ดีมาก
โดยรวม	4.71	0.51	ดีมาก

จากตารางที่ 3 พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจด้านการบำรุงรักษา ภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.71, S.D. = 0.51) โดยในรายละเอียดการประเมิน อันดับ 1 ได้แก่ ทราบขั้นตอนหรือวิธีการบำรุงรักษาเครื่องมือ อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.74, S.D. = 0.51) อันดับ 2 ได้แก่ สามารถทำตามขั้นตอนและนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้ อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.69, S.D. = 0.50)

ตารางที่ 4 ผลการประเมินคุณภาพของสื่อวีดิทัศน์ ด้านความปลอดภัย

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. การอธิบายชี้แจงเรื่องความปลอดภัย มีเนื้อหาครบถ้วนและเข้าใจง่าย	4.77	0.46	ดีมาก
2. มีความเชื่อมั่นในการใช้งานเครื่องมือแต่ละชนิด	4.59	0.56	ดีมาก
3. รูปแบบและภาษาที่ใช้นำเสนอ มีความเข้าใจง่าย	4.62	0.61	ดีมาก
4. ความชัดเจนของภาพและเสียง	4.64	0.58	ดีมาก
โดยรวม	4.66	0.55	ดีมาก

จากตารางที่ 4 พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจด้านความปลอดภัย ภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.66, S.D. = 0.55) โดยในรายละเอียดการประเมิน อันดับ 1 ได้แก่ การอธิบายชี้แจงเรื่องความปลอดภัย มีเนื้อหาครบถ้วนและเข้าใจง่าย อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.77, S.D. = 0.46) อันดับ 2 ได้แก่ ความชัดเจนของภาพและเสียง อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.64, S.D. = 0.58) อันดับ 3 ได้แก่ รูปแบบและภาษาที่ใช้นำเสนอ มีความเข้าใจง่าย เสียง อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.62, S.D. = 0.61) ซึ่งนิสิตได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับระดับเสียงในสื่อวีดิทัศน์ว่าเสียงยังไม่ดังเท่าที่ควร และอันดับ 4 ได้แก่ มีความเชื่อมั่นในการใช้งานเครื่องมือแต่ละชนิด อยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.59, S.D. = 0.56)



Using a high speed tissue shaker (Shaking Incubator, Labtech, LSI 3016R).



การใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงอุณหภูมิต่ำ ชนิดหลายหัว (MPW-352R refrigerated laboratory...



เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง pH Meter Mettler Toledo FiveEasy™



การใช้งานเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง Ohaus PA214



การใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง แบบเลนส์



การใช้งานเครื่องดูดจ่ายสารละลายอัตโนมัติ



การใช้งานหม้อนึ่งความดันไอน้ำร้อนและแรงดันสูง (Autoclave)

ภาพที่ 1 ประมวลภาพสื่อวีดิทัศน์เครื่องมือวิทยาศาสตร์พื้นฐาน สาขาวิชาชีววิทยา

อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยเรื่องการผลิตสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์พื้นฐานสาขาวิชาชีววิทยา มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. เพื่อผลิตสื่อวีดิทัศน์การใช้งานเครื่องมือวิทยาศาสตร์พื้นฐาน สาขาวิชาชีววิทยา 2. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์คะแนนก่อนและหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต 3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจในประสิทธิภาพการใช้งานต่อสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์

สามารถอภิปรายและสรุปผลได้ดังนี้

1. สามารถผลิตสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือพื้นฐานสาขาวิชาชีววิทยา จำนวน 7 เครื่องมือ ได้แก่
   1. เครื่องดูดปล่อยสารอัตโนมัติ(Automatic pipette)
   2. เครื่องวัดความเป็นกรดด่างชนิดตั้งโต๊ะ (pH meter)
   3. กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)
   4. หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)
   5. เครื่องชั่ง (Balance)
   6. เครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดควบคุมอุณหภูมิ (Centrifuge)
   7. เครื่องเขย่าชนิดควบคุมอุณหภูมิ (Shaker)

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์คะแนนสอบก่อนและหลังการรับชมสื่อวีดิทัศน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต นิสิตมีคะแนนพัฒนาการเพิ่มขึ้น 37.81 % หรือ 7.56 คะแนน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อดิศักดิ์ โคตรชุม [5] เรื่อง การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ เพื่อประกอบการเรียนรู้รายวิชาการงานอาชีพ และเทคโนโลยี เรื่อง การจัดและตกแต่งสวน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.71 คะแนน และสอดคล้องกับการศึกษาของศิโรจน์ ศรีโกมลทิพย์ [4] ที่ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาจากการใช้สื่อมัลติมีเดียร่วมกับการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนที่ส่งผลต่อแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ในของผลิตสื่อศิลปะสำหรับเด็กของนักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรศึกษาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร มีคุณภาพอยู่ในระดับมาก

3. ผลการประเมินความพึงพอใจในประสิทธิภาพการใช้งานต่อสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ด้านความปลอดภัย ภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก $\bar{X}$ = 4.71, S.D. = 0.51 รองลงมาคือ ด้านความรู้พื้นฐาน ภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก $\bar{X}$ = 4.68, S.D. = 0.53 และ ด้านการบำรุงรักษา ภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก $\bar{X}$ = 4.66, S.D. = 0.55 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อดิศักดิ์ โคตรชุม [5] ที่ศึกษาความพึงพอใจต่อสื่อวีดิทัศน์ เพื่อประกอบการเรียนรู้รายวิชาการงานอาชีพและเทคโนโลยี เรื่อง การจัดและตกแต่งสวน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่า ความพึงพอใจอยู่ใน

ระดับมาก ($\bar{X}$ = 3.71, S.D. = 0.70) และ ผศ.ดร.ประพันธ์ เกียรติเผ่า [2] ที่ศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์รายวิชาฟุตบอลเพื่อสุขภาพ พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจในภาพรวมของทุก ๆ ด้านอยู่ในระดับสูงมากที่สุด ทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Natthapong Pralabraksa [6] ที่ศึกษาการผลิตสื่อมัลติมีเดียเผยแพร่องค์ความรู้โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนในจังหวัดกาฬสินธุ์ ที่ผู้เรียนมีความพึงพอใจโดยรวมพบว่าอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.39, S.D. = 0.55) และผลการศึกษาของ ศรายุทธ กิตติเนตรชนก [3] ที่ประเมินความพึงพอใจของสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์สำหรับแนะแนวการศึกษาจากนักเรียน ครู และผู้ปกครองโรงเรียนกันตะบุตรโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก อีกทั้งยังพบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ นายณัฐวุฒิ ปล่ำปลิว [1] ซึ่งศึกษาผลของการพัฒนาบทเรียนวีดิทัศน์เรื่องการใช้กล้องโทรทัศน์สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา พบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อบทเรียนวีดิทัศน์อยู่ในระดับเห็นด้วยมาก ($\bar{X}$ = 4.79, S.D. = 0.09)

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

การใช้สื่อวีดิทัศน์ช่วยให้ใช้งานเครื่องมือวิทยาศาสตร์ สำหรับการเรียนการสอน การวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีทั้งภาพและเสียงที่สามารถสาธิตให้เห็นเหตุการณ์จริงและสามารถศึกษาซ้ำต่อได้หลายครั้งหากเกิดข้อสงสัยหรือข้อข้องใจ นิสิตสามารถทำความเข้าใจวีดิทัศน์เหมือนได้ลงมือใช้เครื่องมือจริง จึงถือได้ว่าเป็นสื่อที่มีประสิทธิภาพเสริมการเรียนรู้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการจัดทำสื่อวีดิทัศน์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นในทุกปี เนื่องจากทางสาขาวิชาชีววิทยามีเครื่องมือสำหรับการเรียนการสอนและการวิจัยหลากหลายชนิด
2. ควรมีการปรับปรุงสื่อวีดิทัศน์ให้มีความทันสมัยและน่าสนใจยิ่งขึ้น ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้เครื่องมือ และเนื้อหาในวีดิทัศน์ควรมีความกระชับไม่เยิ่นเย้อเพื่อไม่ให้เกิดความเบื่อหน่าย
3. ควรมีการปรับปรุงด้านระบบเสียงให้มีความชัดเจนขึ้นกว่าเดิม

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับทุนวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา แก่นางสาววราภรณ์ ใจบาล สัญญาเลขที่ SC03/2564 ผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรสาขาวิชาชีววิทยา ที่อำนวยความสะดวกในด้านวัสดุ อุปกรณ์ และสถานที่ในการวิจัยครั้งนี้ งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจากคำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่อง ปรับปรุงด้วยความละเอียดและเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร. นุจิรา ทาตัน และ ดร.สุลาวัลย์ ยศธนู ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ให้ความรู้และชี้แนะแนวทางให้แก่ผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. ณัฐวุฒิ ปล่ำปลิว. (2556). การพัฒนาบทเรียนวีดิทัศน์เรื่องการใช้กล้องโทรทัศน์สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
2. ประพันธ์ เกียรติเผ่า. (2559). การพัฒนาสื่อการสอนอิเล็คทรอนิคผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต รายวิชาฟุตบอลเพื่อสุขภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกาแพงแสน.

3. ศรายุทธ กิตติเนตรชนก. (2560). การผลิตสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์สำหรับแนะแนวการศึกษาโรงเรียนกันตะบุตร. มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์.
4. ศิโรจน์ ศรีโกมลทิพย์. (2557). ผลการใช้สื่อมัลติมีเดียร่วมกับการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนที่ส่งผลต่อแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ในการผลิตสื่อศิลปะสำหรับเด็ก. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
5. อดิศักดิ์ โคตรชุม. (2562). การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ เพื่อประกอบการเรียนรู้รายวิชาการงานอาชีพและเทคโนโลยี เรื่อง การจัดและตกแต่งสวน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. วารสารโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ, 5, 67–76.
6. Natthapong Pralabraksa. (2019). Multimedia Production to Publishing Knowledge by Participation of Community in Kalasin, Thailand. Technical Education Journal: King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 10, 140–147.

การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบการยืม-คืนพัสดุ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา

Application development for Borrow-Return System in Division of Finance, University of Phayao

พิชัย ไชยกุล[1*] และ เสถียร หันตา[2]

Pichai Chaikul[1*] and Sathien Hunta[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการยืม-คืนพัสดุผ่านเว็บแอปพลิเคชันของกองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยาให้ถูกต้องตามระเบียบการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ.2560 โดยสร้างเว็บแอปพลิเคชันในการยืม-คืน พัสดุเพื่อปรับปรุงกระบวนการยืม-คืนพัสดุจากรูปแบบเดิมด้วยระบบใหม่ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้งานระบบ กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ บุคลากรส่วนงานต่าง ๆ หรือบุคลากรกองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 30 คน ที่มีประสบการณ์ในการใช้งานระบบสารสนเทศต่าง ๆ สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการพัฒนาแอปพลิเคชันนั้นใช้ Vue.js ช่วยให้พัฒนาการแสดงผลติดต่อผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ พัฒนาระบบควบคู่ไปโดยใช้วิธีการเอไจล์

โดยผลการวิจัยการพัฒนาแอปพลิเคชันระบบการยืม-คืนพัสดุกองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความสะดวก ความรวดเร็วในการดำเนินการ สามารถลดเวลา ลดขั้นตอนการปฏิบัติงานของกระบวนการขอยืม-คืนรูปแบบเดิมลงไปได้อย่างมากในการบริหารจัดการพัสดุของกองคลังมหาวิทยาลัยพะเยา ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบปรากฏว่าสามารถใช้ในการดำเนินงานตามขั้นตอนการยืมคืนพัสดุมหาวิทยาลัยพะเยาในรูปแบบระบบสารสนเทศได้และผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.80, S.D. = 0.49)

คำสำคัญ: ระบบยืม-คืน , แอปพลิเคชันยืม-คืน, Vue.js

[1] กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Treasury Division, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Faculty of Information and Communication Technology University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: pichai.cha@up.ac.th

Abstract

The objective of this research is to develop a web application for the borrowing and returning of items through the Division of Finance, University of Phayao, ensuring compliance with the regulations on procurement and public asset management of the Thai government in the year 2560. The research uses a web application to enhance the efficiency of the borrowing and returning process by replacing the traditional format with a new system. The research tool employed was a questionnaire to assess user satisfaction with the system's usability. The research participants consisted of 30 individuals, either from various departments or from the university's treasury department, who had experience using different information systems. The statistical measures used in the research include means and standard deviations. In the development of the application, Vue.js was utilized to efficiently render user interfaces. The system was tested following the Agile Method.

The results of the research on the development of the asset borrowing and returning system at the Division of Finance, University of Phayao that it significantly increased convenience and speed in operations. It also reduced time and steps in the traditional borrowing and returning process for managing assets in the university's treasury. The assessment of user satisfaction with the system usage showed high overall satisfaction levels ($\bar{x}$ = 4.80, S.D. = 0.49).

Keywords: Borrow–Return System, Borrow–Return Application, Vue.js

บทนำ

ในปัจจุบันพัสดุในมหาวิทยาลัยพะเยานั้นมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุก ๆ ปี ซึ่งพัสดุประเภทใช้คงรูปและวัสดุใช้สิ้นเปลืองนั้นเมื่อมีการจัดซื้อจัดจ้างเสร็จแล้วอาจไม่ได้ถูกควบคุมไว้ในระบบต่อ เช่น ชุดโซฟา โทรทัศน์ ชุดลำโพงเครื่องเสียง อุปกรณ์ช่าง ฯลฯ บางครั้งส่วนงานที่ไม่สามารถจัดหาพัสดุไปใช้ได้ไม่ทันการหรือมีความจำเป็นต้องใช้งานเร่งด่วนหรือมีพัสดุไม่เพียงพอต่อการใช้ดำเนินการ จึงต้องมีการขอยืมพัสดุจากส่วนงานอื่นที่มีเพื่อนำไปใช้ในก่อนแล้วทำการนำส่งคืนเมื่อเสร็จสิ้นการดำเนินการแล้วปัจจุบันขั้นตอนการยืมคืนของกองคลังยังคงใช้ฟอร์มขอยืมพัสดุเป็นเอกสารซึ่งผู้ขอยืมพัสดุจะต้องไปดาวโหลดแบบฟอร์มขอยืมพัสดุในหน้าเว็บไซต์และส่งให้เจ้าหน้าที่พัสดุดำเนินการตรวจสอบและประสานผู้เกี่ยวข้องเสนอต่ออธิการหรือผู้รับมอบอำนาจ เพื่อพิจารณาผลการอนุมัติซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้อาจต้องใช้เวลาในการดำเนินการหลายวัน ซึ่งอาจเกิดความล่าช้าจากการรอผลการอนุมัติ ความผิดพลาดจากการยืมหรือคืนโดยไม่ตรวจสอบ และสูญหายเมื่อไม่ได้ถูกติดตามทวง–ถาม ทำให้การบริหารจัดการพัสดุนั้นมีความเป็นไปได้ยากมากขึ้น

ผู้วิจัยได้ทราบถึงปัญหานี้อีกทั้งเพื่อตอบรับตามแผนยุทธศาสตร์เพื่อการพัฒนากองคลัง ประจำปี พ.ศ. 2565 –2569 (กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา, 2565) ข้อที่ 5 ยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบบริหารจัดการที่ทันสมัย มีประสิทธิภาพ โปร่งใสและมีธรรมาภิบาล โดยกองคลังมีมาตราการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานและลดขั้นตอนการปฏิบัติงาน ในการพัฒนาแอปพลิเคชันในปัจจุบัน มีวิธีการและกระบวนการใหม่ ๆ ที่ถูกนำมาใช้ และเป็นที่นิยม เช่น Agile Methodology เป็นกรอบแนวคิดและวิธีการในการทำงาน ที่จะทำให้สามารถปรับเปลี่ยนวิธีการทำงาน ในเวลาที่รวดเร็วขึ้น โดยให้ความสำคัญในการสื่อสารกับผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย และการปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์อยู่ตลอด เพื่อตอบสนองผู้ใช้งาน (Thanyavuth Akarasomcheep, 2561) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันได้มีประสิทธิภาพ ในส่วนของการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันนั้น Vue.js คือ

เฟรมเวิร์คที่กำลังได้รับความนิยม โดย Vue.js จะมีการสร้างคอมโพเนนต์ที่ใช้ในการแสดงผลเพื่อติดต่อกับผู้ใช้งาน และโมดูลที่ใช้แยกงานหรือฟังก์ชันต่าง ๆ ออกเป็นส่วนย่อย ช่วยให้พัฒนาการแสดงผลติดต่อผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม

ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาระบบ การยืม-คืน พัสดุกองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา จากการสร้าง Web Application โดยใช้ Vue.js โดยผู้ขอยืมสามารถทำการขอยืมพัสดุได้ในระบบ และเจ้าหน้าที่พัสดุสามารถตรวจสอบรายการ อนุมัติคำร้องขอยืม-คืนพัสดุ ประวัติและจำนวนคงเหลือของพัสดุออกรายงานสรุปการยืม-คืนพัสดุและประสานผู้เกี่ยวข้องเสนอต่ออธิการหรือผู้รับมอบอำนาจอนุมัติผล ติดตาม ทวงถามผ่าน Line Official Account ของกองคลังได้ทันทีซึ่งมีความสะดวก รวดเร็ว ในการดำเนินการและคาดว่าจะสามารถลดเวลาและกระบวนการขอยืม-คืนรูปแบบเดิมลงไปได้อย่างมากในการบริหารจัดการพัสดุของกองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา และถูกต้องตามระเบียบการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ.2560

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนากระบวนการยืม-คืนพัสดุผ่านเว็บแอปพลิเคชันของกองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยาให้ถูกต้องตามระเบียบการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ.2560
2. พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในการยืม-คืน พัสดุออนไลน์ โดยใช้ vue.js โดยขอการอนุมัติ แจ้งเตือน และทวงถามผ่านทาง Line Official Account ของกองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยาด้วยใช้วิธีการเอไจล์
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อระบบการยืม-คืน พัสดุ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC)

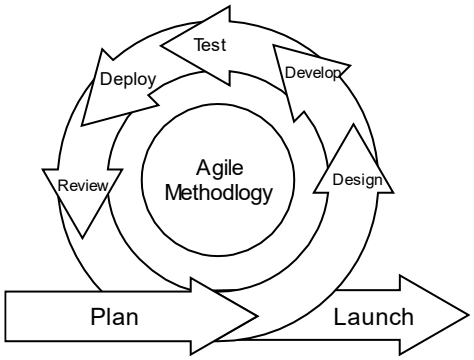
โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์ (2560) ได้กล่าวว่า วงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการพัฒนาระบบงานที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดชัดเจน เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศให้มีประสิทธิภาพตามความต้องการของผู้ใช้ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด กระบวนการนี้เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้เราสามารถนำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้ในส่วนต่าง ๆ ของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการ SDLC เริ่มต้นด้วยการวางแผนและวิเคราะห์ปัญหาของระบบงานเดิม โดยนักวิเคราะห์ระบบจะต้องหาเป้าหมายที่ชัดเจนของระบบงานต่าง ๆ และศึกษาความเป็นไปได้ในมุมต่าง ๆ ของระบบ โดยการนำเอาระบบสารสนเทศมาใช้งานในการวิเคราะห์

เมื่อวิเคราะห์และวางแผนเรียบร้อยแล้ว กระบวนการ SDLC จะดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบใหม่ที่สอดคล้องกับความต้องการ โดยการใช้เทคโนโลยีและเครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อสร้างระบบสารสนเทศที่มีประสิทธิภาพมาใช้แทนระบบเดิม เมื่อระบบใหม่พัฒนาเสร็จสิ้นแล้ว กระบวนการ SDLC จะเข้าสู่ขั้นตอนการทดสอบและการปรับปรุงระบบ โดยทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพ และทำการปรับปรุงระบบตามผลการทดสอบเพื่อให้ได้ระบบสารสนเทศที่มีประสิทธิภาพและความถูกต้อง

เมื่อระบบสารสนเทศทดแทนระบบเดิมถูกพัฒนาเสร็จสมบูรณ์แล้ว กระบวนการ SDLC จะเข้าสู่ขั้นตอนการดูแลรักษาและบำรุงรักษาระบบ เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเราสามารถนำเสนอวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) ในรูปแบบที่แตกต่างออกไปให้เข้าใจและนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในการพัฒนาระบบสารสนเทศให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้

การพัฒนาระบบแบบเอไจล์ (Agile Method)

เป็นแนวคิดใหม่ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่แทรกเข้าไปในวิธีการออกแบบดั้งเดิม เพื่อให้กระบวนการนั้นสั้นลง ประหยัดงบประมาณและประหยัดเวลา โดยการพัฒนาระบบแบบ **Agile** เป็นวิธีในการพัฒนาระบบที่เน้นการทำงานที่รวดเร็ว มีความเตรียมพร้อมในการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงความต้องการของผู้ใช้ที่อาจเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา เดิมต้องมีการวางแผนตามที่ได้กำหนดเอาไว้ แต่ **Agile** ให้ความสำคัญตามแผนน้อยลงแต่เน้นไปที่การตอบสนองความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยแต่ละครั้งจะพัฒนาเป็นส่วนย่อย ๆ แล้วค่อยทยอยส่งให้กับผู้ใช้การพัฒนาระบบแบบ **Agile** จะเน้นการสื่อสารแบบตัวต่อตัว เมื่อผู้ใช้ทดสอบหรือประเมินระบบสำเร็จ ก็สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยไม่กระทบกับระบบทั้งหมด ซึ่งจะกำหนดขอบเขตระบบของงาน อีกทั้งยังเน้นการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้มีความก้าวหน้าและมีมาตรฐานที่วางไว้ร่วมกัน



ภาพที่ 1 Agile Methodology

ที่มา : https://www.javatpoint.com/agile-vs-waterfall-model

ปราโมทย์ ตงฉิน, กฤษดา ด่านประสิทธิ์พร, และไตรทศ มากมูล (2561) ได้ทำวิจัยเรื่อง ระบบการจัดเก็บยืม-คืน อุปกรณ์กีฬาของโรงเรียน ช่วยให้ผู้ใช้มีความสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องในการเลือกชนิดของอุปกรณ์กีฬา วันที่ เวลา การยืม-คืนอุปกรณ์กีฬา จำนวนอุปกรณ์ที่สมาชิกยืม-คืน และจำนวนอุปกรณ์คงเหลือ ผู้ใช้ระบบมีความพึงพอใจต่อระบบการจัดเก็บ ยืม-คืน อุปกรณ์กีฬา โดยการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมาก

สมภัสสร บัวรอด, วาสิฏฐี สายสุดใจ, ปุญญาพัฒน์ จันทร์เพชร, และสมบูรณ์ ลิขิตยิ่งวรา (2564) เป้าหมายในการแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวกับการสูญหายของเอกสาร การใช้เวลานาน และการปฏิบัติหน้าที่ของบุคลากรในกระบวนการยืม-คืน รวมถึงขาดการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการให้บริการระบบการยืม-คืนวัสดุอุปกรณ์ จึงทำการพัฒนาระบบยืม-คืนวัสดุอุปกรณ์ของสาขาวิชาพลศึกษา โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการลดเวลาในกระบวนการยืม-คืนวัสดุอุปกรณ์ของนักศึกษาและลดขั้นตอนการทำงานของอาจารย์ผู้รับผิดชอบดูแลวัสดุอุปกรณ์ ระบบสามารถอนุมัติการยืม-คืนได้รวดเร็ว ตรวจสอบจำนวนคงเหลือและประวัติการยืม-คืนรายบุคคล และนักศึกษาซึ่งเป็นผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจในประสิทธิภาพของระบบการยืม-คืนวัสดุอุปกรณ์ในระดับมากที่สุด

นำชัย ผันผยอง และคณะ (2564) ได้ศึกษาวิจัยระบบยืม-คืนอุปกรณ์สาธิตของบริษัท 465 สตูดิโอ จำกัด ที่ได้มีการพัฒนาระบบโดยเฉพาะด้านการจัดเก็บข้อมูลพนักงาน ข้อมูลอุปกรณ์ ข้อมูลการนำอุปกรณ์ไปใช้ และการจัดการข้อมูลผู้ใช้งานและอุปกรณ์ รวมถึงการจัดการยืมคืนและอนุมัติการนำอุปกรณ์ออกไปใช้งาน ซึ่งโปรแกรมระบบการจัดการอุปกรณ์สาธิตสามารถช่วยตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานรวมความพึงพอใจอยู่ในมากที่สุด

วิธีการศึกษา

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ บุคลากรส่วนงานต่าง ๆ บุคลากรกองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 30 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบประเมินความพึงพอใจต่อระบบการยืม-คืนพัสดุ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา โดยแบ่งข้อคำถามจำนวน 15 ข้อ ออกเป็นด้าน ๆ ดังนี้ 1)ด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบ 2)ด้านการใช้งานโปรแกรม 3)ด้านประสิทธิภาพการทำงานของฟังก์ชัน 4)ด้านคุณประโยชน์และผลกระทบของระบบ 5)ด้านการรักษาความปลอดภัยและข้อเสนอแนะในการเก็บรวบรวมข้ออมูล โดยมีเกณฑ์ในการแปลความหมายค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมี ดังนี้ ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 แปลความว่าความรู้สึกพึงพอใจมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 แปลความว่าความรู้สึกพึงพอใจมาก ดังนี้ ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 แปลความว่า ความรู้สึกพึงพอใจปานกลาง ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 แปลความว่าความรู้สึกพึงพอใจน้อย ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 แปลความว่าความรู้สึกพึงพอใจน้อยที่สุด

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยในรูปแบบการวิจัยและพัฒนา (Research & Development) เพื่อให้ได้ผลการวิจัยไปใช้ในแอปพลิเคชัน ระบบยืม-คืนพัสดุ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา โดยมีระบบที่พัฒนาขึ้นทำงานในลักษณะ Web Applications ทำงานอยู่ใน Web Browser ซึ่งสามารถรองรับกระบวนการจัดการข้อมูล การยืม-คืนพัสดุ และสามารถแสดงรายงานต่าง ๆ ได้โดยการวิเคราะห์ระบบ ใช้วิธีการดำเนินการพัฒนาระบบแบบเอไจล์ผสานหลักการของวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC) (Jain& Purao, 1991) ได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 ศึกษาสภาพปัญหาของระบบงานปัจจุบัน โดยศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการยืม-คืนพัสดุจากกระบวนการเดิม โดยสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่พัสดุ และผู้บริหารเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการใหม่

3.2 การวิเคราะห์ระบบโดยวิเคราะห์ศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานปัจจุบัน นำหลักการและทฤษฎี UML (Unified Modeling Language) (กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และ กิตติพงษ์ กลมกลืน, 2547) นำมาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อให้เห็นภาพรวมของระบบงาน และข้อมูลของพัสดุที่สามารถนำเข้ามาใช้ในระบบโดยใช้ Activity Diagram เพื่อแสดงพฤติกรรมการทำงานของระบบ ซึ่งทำให้สามารถเห็นภาพรวมของระบบหรือกระบวนการของงานได้ง่ายขึ้น และใช้แผนภาพกระแสข้อมูล Dataflow Diagram: DFD แสดงถึงขอบเขตของกระบวนการทำงานของระบบยืม-คืนพัสดุ แผนภาพที่ใช้แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบงานและสิ่งที่อยู่นอกระบบงาน และแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบทั้งหมด

3.3 การออกแบบระบบ ออกแบบหน้าอินเตอร์เฟสการใช้งาน การเชื่อมโยงของหน้าระบบโดยเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน โดยการใช้ Vue.js เฟรมเวิร์คช่วยในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน ส่วนการรับส่งจากข้อมูลใช้ API และจัดเก็บข้อมูลด้วย SQL Server ตามความต้องการระบบ และทำการทดสอบระบบควบคู่ไปด้วยระหว่างการพัฒนาโดยใช้วิธีการเอไจล์

3.4 นำระบบที่พัฒนามาติดตั้งบนเครื่องแม่ข่าย นำระบบยืม-คืนพัสดุ กองคลังมหาวิทยาลัยพะเยาที่ได้พัฒนาแล้วนำไปตั้งค่าระบบให้ทำงานบนเครื่องแม่ข่ายเพื่อสามารถให้บริการแอปพลิเคชันแก่ผู้ใช้งานจากเครื่องลูกข่ายหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายนี้ได้ผ่าน Web Browser จากนั้นทดลองเปิดใช้งานระบบโดยให้ผู้ใช้งานตอบแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ต่อระบบการยืม-คืนพัสดุ กองคลังมหาวิทยาลัยพะเยา จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คนจากบุคลากรกองคลังมหาวิทยาลัยพะเยาและบุคลการสังกัดหน่วยงานที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาสภาพปัญหาของระบบงานปัจจุบัน ทำการศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการยืม-คืนพัสดุจากกระบวนการเดิม โดยสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่พัสดุและผู้บริหารเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการใหม่ ทำให้ได้ข้อมูลสภาพปัญหาของระบบงาน ประกอบด้วยเอกสารเกี่ยวกับกระบวนการยืม-คืนพัสดุที่ใช้ในกองคลังนั้น ยังไม่สามารถตอบรับกระบวนการต่าง ๆ ได้ครบถ้วนอีกทั้งผู้ยืมต้องอาศัยลายมือในการกรอกแบบฟอร์มหรือเอกสาร และการใส่รายละเอียดข้อมูลและหมายเลขพัสดุในแบบฟอร์ม อาจทำให้การบันทึกข้อมูลนั้นเกิดความผิดพลาดได้ โดยการยืมด้วยวาจาไม่ผ่านกระบวนการทำให้การยืมพัสดุนั้นไม่เป็นไปตามถูกต้องตามระเบียบการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ.2560 ในกระบวนการยืม-คืนพัสดุเดิมนั้น มีบ่อยครั้งที่มีความล่าช้าในการยืม-คืน การสูญหายของพัสดุ หรือการบริหารงานพัสดุเป็นไปได้ยากและไม่มีระบบการติดตามและการแจ้งเตือน ทำให้ไม่สามารถรับทราบเกี่ยวกับการดำเนินการของกระบวนการยืม-คืนได้

ดังนั้นการพัฒนาระบบยืม-คืนพัสดุ มีความต้องการพัฒนาระบบที่ตอบโจทย์ผู้ขอยืมเจ้าหน้าที่พัสดุและผู้บริหาร โดยให้ความสำคัญในเรื่องของความง่ายในการใช้งาน ความถูกต้อง ความปลอดภัย และความเป็นมาตรฐานของข้อมูลในกระบวนการการยืม-คืนพัสดุให้มีประสิทธิภาพและใช้งานได้จริง โดยระบบควรจะมีความสามารถดังนี้

1. ระบบควรมีการแจ้งเตือน ตั้งแต่การขอยืมพัสดุ, อนุมัติการยืม, คืนพัสดุ, และเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น การยกเลิกรายการ ครบกำหนดวันยืม การติดตามทวงถาม เมื่อครบกำหนดการส่งคืน

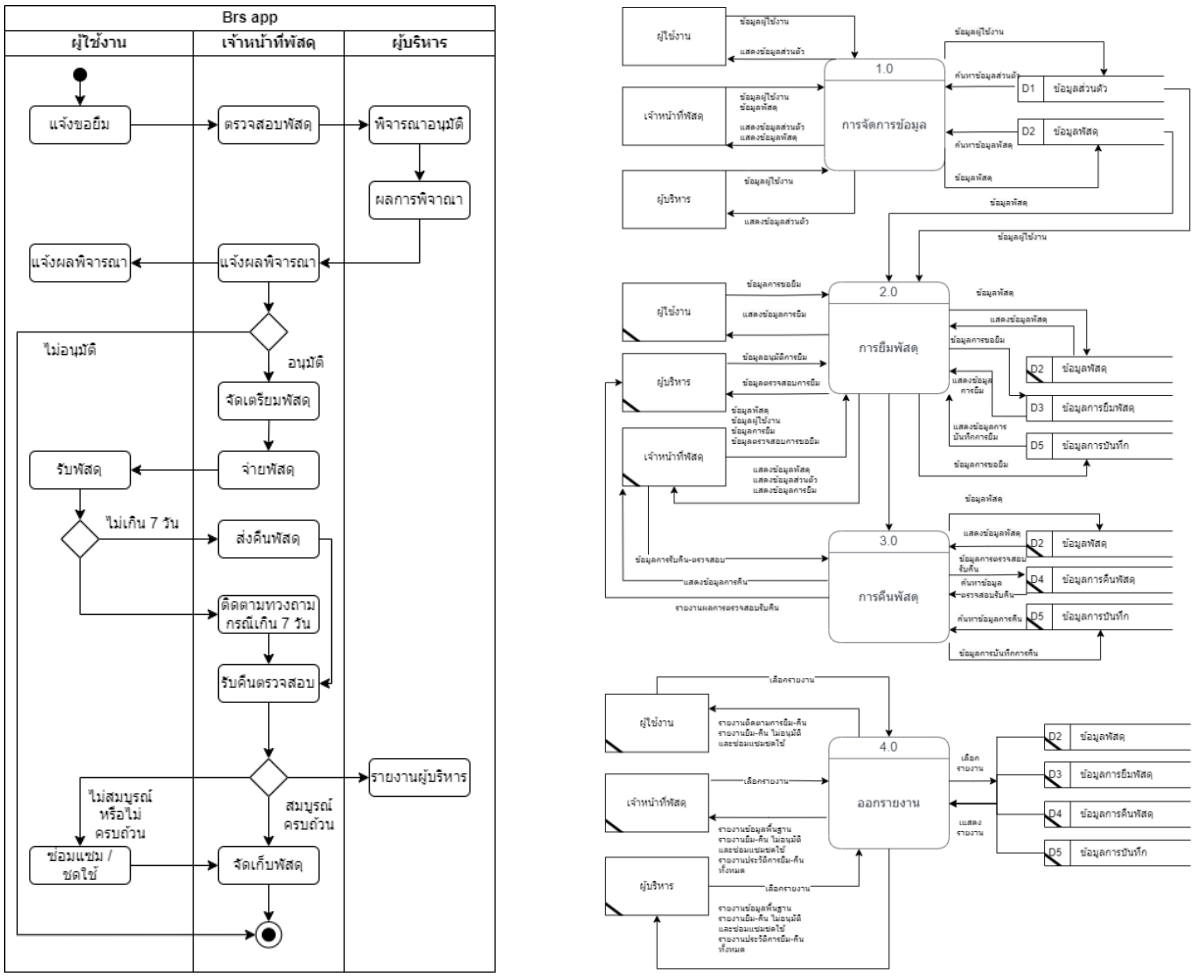
2. ผู้ขอยืมควรสามารถติดตามสถานะของการยืมพัสดุได้ ทั้งในกรณีที่อยู่ระหว่างรอการอนุมัติและกำลังดำเนินการยืม

3. ระบบควรสามารถสร้างรายงานและสถิติเกี่ยวกับการยืม-คืนพัสดุ เช่น รายงานการยืม รายงานการคืนที่เกินกำหนด รายงานการยืม คืน และการรับคืนพัสดุ เป็นต้น

4. ระบบควรมีการจัดการสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล เพื่อให้เจ้าหน้าที่พัสดุเท่านั้นที่มีสิทธิ์เข้าถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการยืม-คืนพัสดุ

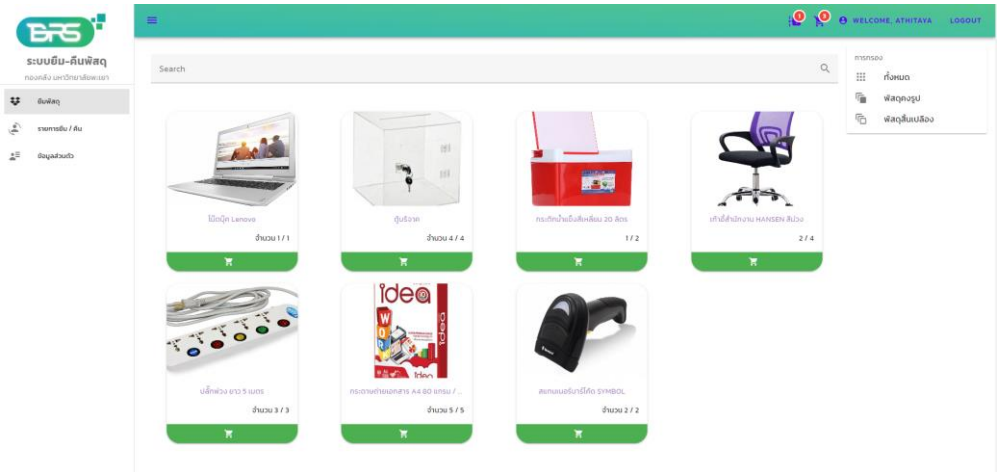
5. การบันทึกเหตุการณ์ของพัสดุ ระบบควรบันทึกประวัติการยืม-คืนพัสดุและสถานะต่าง ๆ เพื่อเก็บข้อมูลในการทำรายงานและการวิเคราะห์การใช้งานของพัสดุในอนาคต

การวิเคราะห์ระบบปัจจุบันเป็นการนำปัญหาที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นมาวิเคราะห์หารายละเอียดเพื่อนำมาพัฒนาระบบให้ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้ในการวิเคราะห์ระบบจะนำหลักการและทฤษฎี UML (Unified Modeling Language) เพื่อนำมาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อให้เห็นภาพรวมของระบบงานและข้อมูลของพัสดุที่สามารถนำเข้ามาใช้ในระบบ ผู้วิจัยจะวิเคราะห์ระบบโดยจะนำเสนอ Activity Diagram เพื่อแสดงพฤติกรรมการทำงานของระบบ ซึ่งทำให้สามารถเห็นภาพรวมของระบบหรือกระบวนการของงานได้ง่ายขึ้น และใช้แผนภาพกระแสข้อมูล Dataflow Diagram: DFD ดังภาพที่ 2 เพื่อแสดงถึงขอบเขตของกระบวนการทำงานของระบบยืม-คืนพัสดุ ในมหาวิทยาลัยพะเยา



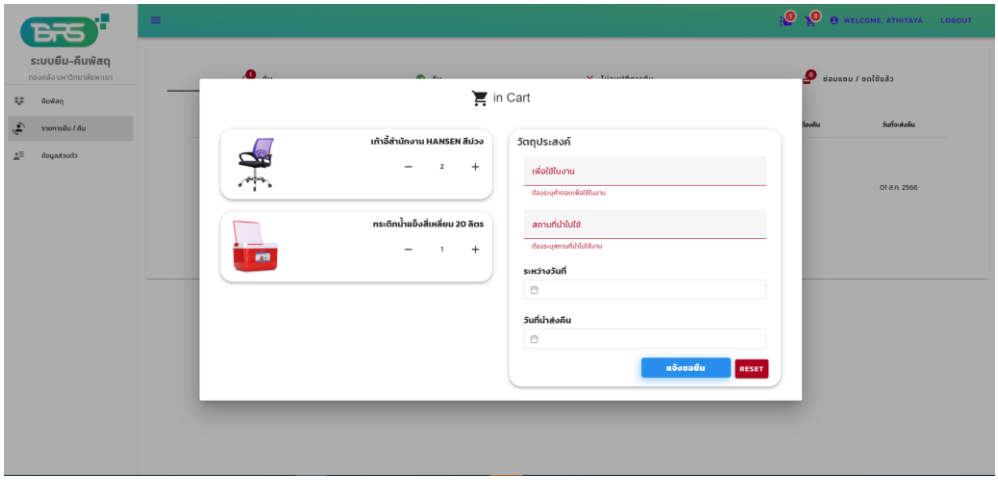
ภาพที่ 2 แผนภาพ Activity Diagram และ Dataflow Diagram
แสดงพฤติกรรมและขอบเขตของกระบวนการทำงานภาพรวมของระบบ

การออกแบบหน้าอินเตอร์เฟสและการเชื่อมโยงหลาย ๆ ส่วนของระบบเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 3

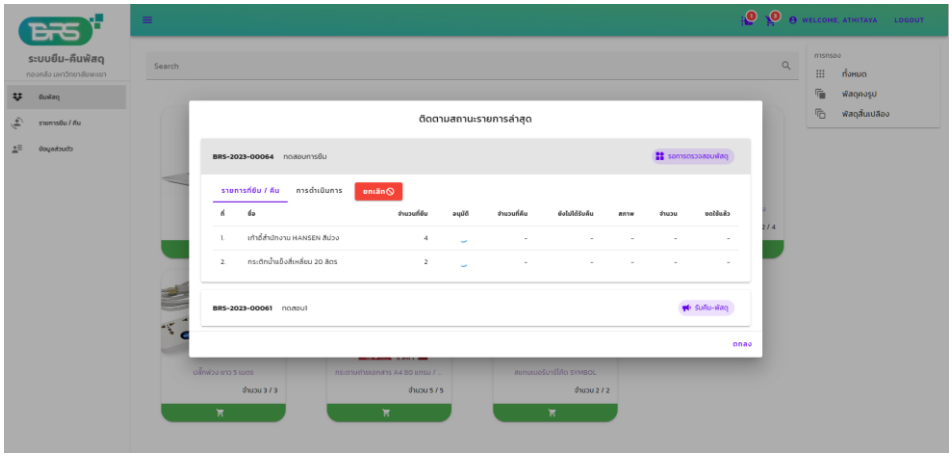


ภาพที่ 3 ออกแบบหน้าอินเตอร์เฟส

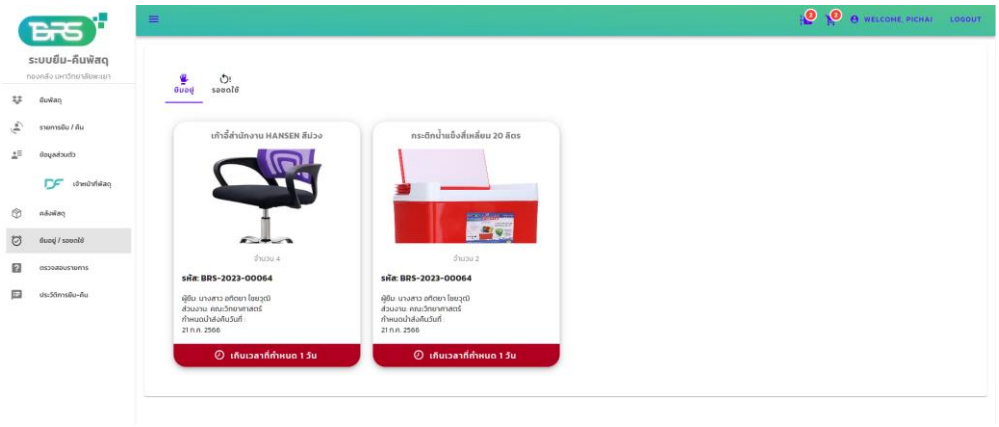
ส่วนการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน ในระบบยืม-คืนพัสดุ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา ผู้วิจัยได้ใช้ Vue.js เป็น Frontend เพื่อสร้างคอมโพเนนต์ที่ใช้ในการแสดงผลและติดต่อกับผู้ใช้งาน ดังภาพที่ 4 – 8 ทำให้ระบบมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วและสามารถแสดงผลข้อมูลให้กับผู้ใช้ในรูปแบบที่สวยงามและใช้งานง่าย ส่วนโมดูลที่ใช้แยกงานหรือฟังก์ชันต่าง ๆ จะช่วยให้ระบบสามารถแยกส่วนการทำงานออกเป็นส่วนย่อย ทำให้การพัฒนาระบบเป็นไปอย่างมีระเบียบและสามารถนำโมดูลมาใช้ซ้ำในหน้าต่าง ๆ หรือระบบอื่น ๆได้ง่ายขึ้นโดยทดสอบระบบควบคู่ไปโดยใช้วิธีการเอไจล์ในการวางแผนในช่วงสั้น ๆ ใช้รูปแบบวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ในแต่ละรอบ เน้นปรับปรุงซอฟต์แวร์อย่างรวดเร็ว ส่วนการรับส่งจากข้อมูลใช้ API และจัดเก็บข้อมูลด้วย SQL Server ตามความต้องการระบบ



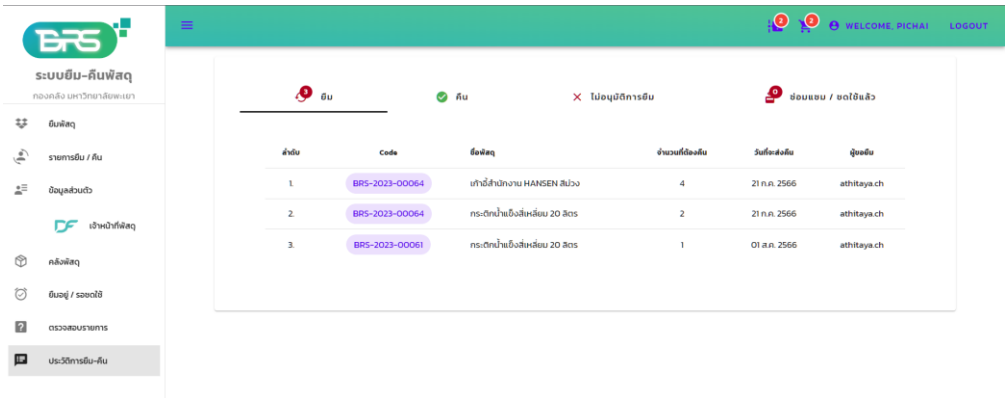
ภาพที่ 4 คอมโพเนนต์ฟอร์มการขอยืมพัสดุ



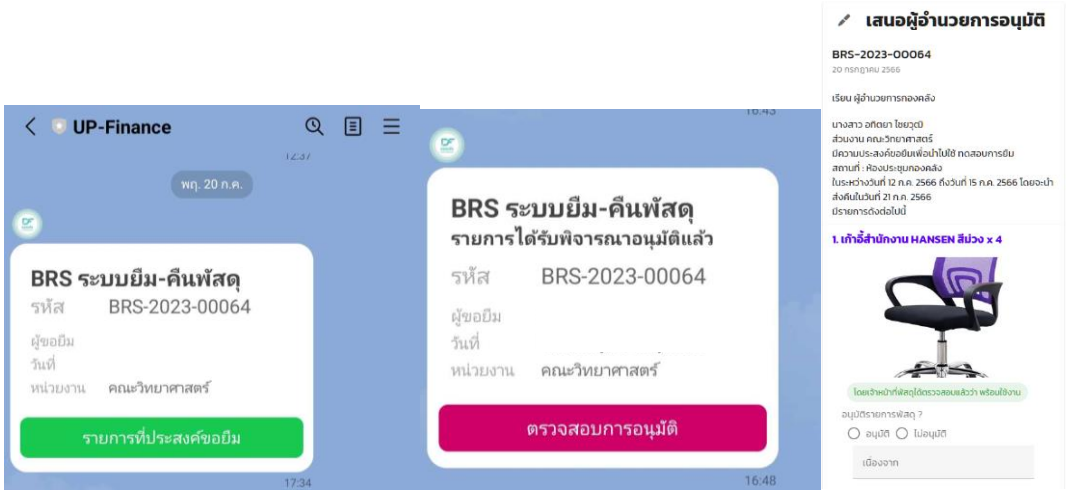
ภาพที่ 5 คอมโพเนนต์การแสดงสถานะทำรายการในระบบ



ภาพที่ 6 คอมโพเนนต์การแสดงพัสดุที่ยืมอยู่



ภาพที่ 7 คอมโพเนนต์ประวัติการยืมคืนในระบบ



ภาพที่ 8 แสดงการแจ้งเตือนผ่าน Line Official Account

ระบบที่พัฒนาได้ติดตั้งบนเครื่องแม่ข่าย กองคลังมหาวิทยาลัยพะเยา โดยตั้งค่าระบบให้ทำงานบนเครื่องแม่ข่ายที่เป็นแหล่งที่เก็บข้อมูลและทำการประมวลผลโดยใช้ IIS (Internet Information Services) และกำหนดค่าเพื่อให้สามารถให้บริการแอปพลิเคชัน ซึ่งสามารถให้บริการแก่ผู้ใช้งานจากเครื่องลูกข่ายหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายนี้ได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ จากนั้นทดลองเปิดใช้งานระบบโดยให้ผู้ใช้งานตอบแบบประเมินความพึงพอใจของระบบ

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบยืม-คืนพัสดุ กองคลังมหาวิทยาลัยพะเยา ในการวัดผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบยืม-คืนพัสดุ กองคลังมหาวิทยาลัยพะเยา คิดเป็นร้อยละโดยแบ่งข้อคำถามจำนวน 15 ข้อ ออกเป็น 5 ด้าน ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงการประเมินความพึงพอใจต่อระบบยืม-คืนพัสดุ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา

รายการ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1.ด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบ			
1. การวิเคราะห์ออกแบบระบบสอดคล้องการใช้งาน	4.80	0.48	มากที่สุด
2. ความสวยงามและน่าสนใจของระบบ	4.83	0.46	มากที่สุด
3. ระบบทำงานได้ตามวัตถุประสงค์	4.80	0.48	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ	**4.81**	**0.47**	**มากที่สุด**
2.ด้านการใช้งานของโปรแกรม			
4. ความง่ายในการใช้งานระบบ	4.83	0.46	มากที่สุด
5. ความเหมาะสมของการใช้งานระบบ	4.80	0.48	มากที่สุด
6. เมนูการใช้งานง่าย	4.77	0.50	มากที่สุด
7. ความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ	4.73	0.58	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ	**4.78**	**0.51**	**มากที่สุด**
3.ด้านประสิทธิภาพการทำงานของฟังก์ชัน			
8. การแสดงข้อมูลรายการสินค้า	4.73	0.58	มากที่สุด
9. การค้นหารายการสินค้า	4.77	0.50	มากที่สุด
10. การยืม-คืนได้อย่างถูกต้อง	4.80	0.48	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ	**4.77**	**0.52**	**มากที่สุด**
4.ด้านคุณประโยชน์และผลกระทบของระบบ			
11. มีประโยชน์ต่อผู้ใช้งานและหน่วยงาน	4.83	0.46	มากที่สุด
12. ระบบสามารถลดขั้นตอนในการทำงาน	4.80	0.48	มากที่สุด
13. สามารถนำระบบไปใช้งานได้จริง	4.83	0.46	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ	**4.82**	**0.46**	**มากที่สุด**
5.ด้านการรักษาความปลอดภัย			
14. การตรวจสอบสิทธิ์ก่อนใช้งานของผู้ใช้ระบบ	4.80	0.48	มากที่สุด
15. ความเหมาะสมของการกำหนดสิทธิ์ผู้ใช้ระบบ	4.80	0.48	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ	**4.80**	**0.48**	**มากที่สุด**
รวม	**4.80**	**0.49**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจระบบระบบยืม-คืนพัสดุ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา โดยภาพรวมอยู่ที่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.80, S.D. = 0.49) เมื่อพิจารณาเป็นด้านพบว่ารายการทีมีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ด้านคุณประโยชน์และผลกระทบของระบบอยู่ในระดับที่มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.82, S.D. = 0.46) รองลงมาคือ ด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ($\bar{x}$ = 4.81, S.D. = 0.47) ด้านการรักษาความปลอดภัย ($\bar{x}$ = 4.80, S.D. = 0.49) ด้านการใช้งานของโปรแกรม ($\bar{x}$ = 4.78, S.D. = 0.51) และด้านประสิทธิภาพการทำงานของฟังก์ชัน ($\bar{x}$ = 4.77, S.D. = 0.52) ตามลำดับ

อภิปรายและสรุปผล

จากวัตุประสงค์การวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบยืม-คืนพัสดุ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา ครั้งนี้มีวัตุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการยืม-คืนพัสดุผ่านเว็บแอปพลิเคชันของกองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยาให้ถูกต้องตามระเบียบการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ.2560 เพื่อปรับปรุงกระบวนการยืม-คืนพัสดุจากรูปแบบเดิมด้วยระบบใหม่ ผลการวิจัยพบว่า ระบบยืม-คืนพัสดุ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา มีความสะดวก รวดเร็วและทันสมัย สามารถลดเวลาและกระบวนการขอยืม-คืนรูปแบบเดิมลงไปได้อย่างมากในการบริหารจัดการพัสดุของกองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา และถูกต้องตามระเบียบการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ.2560

การวิเคราะห์และการออกแบบระบบได้นำหลักการและทฤษฎี UML (Unified Modeling Language) โดยใช้ Activity Diagram และใช้แผนภาพกระแสข้อมูล Dataflow Diagram: DFD เพื่อนำมาช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของระบบ ภาพรวมของระบบและข้อมูลของพัสดุ เพื่อนำไปใช้ออกแบบหน้าอินเตอร์เฟสและการเชื่อมโยงหลาย ๆ ส่วนของระบบ ให้ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ในการพัฒนาแอปพลิเคชันได้ใช้ Vue.js ในการสร้างคอมโพเนนต์ที่ใช้ในการแสดงผลเพื่อติดต่อกับผู้ใช้งาน ทำให้ระบบมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วและสามารถแสดงผลข้อมูลให้กับผู้ใช้ในรูปแบบที่สวยงามและใช้งานง่าย ส่วนโมดูลที่ใช้แยกงานหรือฟังก์ชันต่าง ๆ จะช่วยให้ระบบสามารถแยกส่วนการทำงานออกเป็นส่วนย่อย ทำให้การพัฒนาระบบเป็นไปอย่างมีระเบียบและสามารถนำโมดูลมาใช้ซ้ำในหน้าต่าง ๆ หรือระบบอื่น ๆ ได้ง่ายขึ้น โดยพัฒนาระบบควบคู่ไปด้วยวิธีการเอไจล์ ในการวางแผนในช่วงสั้น ๆ ใช้รูปแบบวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ในแต่ละรอบ เน้นปรับปรุงซอฟต์แวร์อย่างรวดเร็วส่วนการรับส่งจากข้อมูลใช้ API และจัดเก็บข้อมูลด้วย SQL Server ตามความต้องการระบบ

ระบบที่พัฒนาขึ้นทำงานในลักษณะ Web Applications ทำงานอยู่ใน Web Browser ซึ่งสามารถรองรับกระบวนการจัดการข้อมูล การยืม คืนพัสดุ และสามารถแสดงรายงานต่าง ๆได้ โดยการวิเคราะห์ระบบใช้วิธีการดำเนินการตามหลักการของวงจรการพัฒนาระบบ โดยการประเมินความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า กระบวนการเดิมนั้นมีไม่มีการจัดเก็บข้อมูลในระบบจึงเกิดปัญหาในการบริหารงานพัสดุภายในหน่วยงาน เมื่อได้มีการพัฒนาระบบขึ้นมาเพื่อใช้ในการสนับสนุนจึงสามารถทำให้การดำเนินงานของพัสดุนั้นเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้การพัฒนาระบบเพิ่มเติมในอนาคต ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะคือควรพัฒนาระบบเพื่อให้เชื่อมต่อกับระบบการสั่งซื้อ เมื่อทำการซื้อพัสดุในระบบแล้วให้ข้อมูลเข้ามาในระบบยืม-คืนพัสดุเลยโดยไม่ต้องเพิ่มรายการและควรมีการจัดกลุ่มพัสดุเพื่อให้รองรับการจัดทำทะเบียนคุมพัสดุให้สามารถออกรายงานในการสรุปข้อมูลได้ในแต่ละเดือนและทำการตรวจนับพัสดุประจำปีได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากงานวิจัยเพื่อพัฒนางานประจำ R2R รุ่นที่ 10 มหาวิทยาลัยพะเยา ขอขอบพระคุณ กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้ให้การส่งเสริมสนับสนุนงานวิจัยตลอดจนเพื่อนร่วมงานทุกท่าน ผู้ตอบแบบสอบถาม ผู้ให้ข้อมูลการสัมภาษณ์ ผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่สละเวลาในการให้ข้อมูลและให้ความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาครั้งนี้ หากมีข้อมูลส่วนใดขาดตกบกพร่องผู้วิจัยขอน้อมรับไว้เพื่อแก้ไขและขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา. (2565). **ระเบียบกระทรวงการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. ๒๕๖๐.** สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565,จาก https://finance.up.ac.th/v2/FileUpload/ระเบียบกระทรวงการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. 2560_637565860311904325.pdf

กองคลัง มหาวิทยาลัยพะเยา. (2565). **แผนยุทธศาสตร์การพัฒนากองคลัง ประจำปีงบประมาณ 2565-2569** สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565, จาก https://finance.up.ac.th/V2/F/Strategic2566-2570.pdf

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล, และ กิตติพงษ์ กลมกล่อม. (2547). **คัมภีร์การวิเคราะห์และออกแบบระบบเชิง วัตถุด้วย UML** (พิมพ์ครั้งที่ 2 หน้า 83). กรุงเทพฯ: เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.

นำชัย ผันผยอง, ชุติมณฑน์ แพงคำฮัก, เสาวนีย์ เรือนน้อย, ธีรพัฒน์ พงศ์จิตธรรม, ภริดำ ทองปัน, สงกรานต์ จรรลำ นิมิต. (2564). **ระบบยืม-คืนอุปกรณ์สาธิต. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาลัยนครราชสีมา.** 13(1), 769-779.

บุญชม ศรีสะอาด. (2543). การวิจัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ปราโมทย์ ตงฉิน, กฤษดา ด่านประสิทธิ์พร และ ไตรทศ มากมูล (2561). พัฒนาระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการจัดเก็บยืม-คืน อุปกรณ์กีฬา โรงเรียนวัดจันทราวาส (ศุขประสารราษฎร์). **วารสารโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ**, 1(1), 55-60.

พุทธศักดิ์ ตันติสุทธิเวทย์. (2559). **มาทำความรู้จักกับ "Agile and Scrum" แนวคิดการทำงานของบริษัทยุคใหม่.** สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565, จาก https://brandinside.asia/agile-and-scrum-for-new-business/

พิสุทธา อารีราษฎร์. (2551). **การพัฒนาซอฟต์แวร์ทางการศึกษา.** มหาสารคาม : หจก.อภิชาติการพิมพ์.

สมภัสสร บัวรอด, วาสิฏฐี สายสุดใจ, ปุญญาพัฒน์ จันทร์เพชร และ สมบูรณ์ ลิขิตยิ่งวรา (2564). การพัฒนาระบบยืม-คืนวัสดุอุปกรณ์ของสาขาวิชาพลศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง. **วารสารโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ**, 1(1), 67-73.

Agile Model (2565). Difference between Agile and Waterfall model. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2565. จาก https://www.javatpoint.com/agile-vs-waterfall-model

Jain, H. K., & Purao, S. (1991). **Distributed application development: SDLC revisited. Information & Management,** 20(4), 247–255.

LINE for Business. (2565). **LINE Official Account คืออะไร.** สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565. จาก https://lineforbusiness.com/th/service/line-oa-features

Thanyavuth Akarasomcheep. (2561). Agile คืออะไร เริ่มใช้งานอย่างไร. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2565. จาก https://medium.com/fastwork-engineering/agile-คืออะไร-เริ่มใช้งานอย่างไร-ab749306d96e

Vue.js. (2565). **What is Vue?.** สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2565. จาก https://vuejs.org/guide/introduction.html#what-is-vue

การศึกษาพยาธิใบไม้ในหอยจากสัตว์สู่คนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานและแหล่งน้ำที่เกี่ยวข้อง : กรณีศึกษา อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

Study of snail-borne zoonotic trematode in integrated aquaculture system and associated waterbodies: Case study Mae Chan District, Chiang Rai Province

กิตติชัย จันธิมา[1*], ชมพูนุช ภิระบรรณ[1], ชญานิษฐ์ ก้างออนตา[2] และ จารุภา ใจอุ้มผาง[3]
Kittichai Chantima[1*], Chomphunut Pirabum[1], Chayanit Kangonta[2] and Jarupa Jaiumphang[3]

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพยาธิใบไม้ในหอยจากสัตว์สู่คนในระบบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานและแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงในพื้นที่อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย ดำเนินการเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมีนาคม-กันยายน พ.ศ. 2566 โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างหอยด้วยวิธี counts per unit of time และตรวจหาตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอย ผลการศึกษาพบหอยทั้งหมด 6 วงศ์ 6 สกุล 10 ชนิด ได้แก่ *Bithynia siamensis siamensis*, *B. funiculata*, *Melanoides tuberculata*, *Tarebia granifera*, *Thiara scarba*, *Filopaludina sumatrensis polygramma*, *F. martensi martensi*, *Pomacea canaliculata*, *Lymnaea* sp. และ *Corbicula* sp. พบหอย *F. martensi martensi* เป็นหอยชนิดเด่น และพบหอยที่ติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ทั้งหมด 4 ชนิด คือ *F. sumatrensis polygramma*, *F. martensi martensi*, *M. tuberculata* และ *B. siamensis siamensis* มีค่าความชุกของการติดเชื้อรวมร้อยละ 7.24 (133/1,838) โดยพบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยระยะเซอร์คาเรีย 8 รูปแบบ ได้แก่ Megalurous cercaria, Monostome cercaria, Virgulate cercaria, Xiphidiocercous cercaria, Echnostome cercaria, Furcocercous cercaria, Parapleurolophocercous cercaria และ Cercariae พบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเรเดีย 5 รูปแบบ (Redia type I, Redia type II, Redia type III, Echinostome redia type I และ Echinostome redia type II) และพบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรีย 2 กลุ่ม คือ Echinostome มีค่าความชุกของการติดเชื้อร้อยละ 1.52 (28/1,838) และ *Thaparielia anastomusa* มีค่าความชุกของการติดเชื้อร้อยละ 2.72 (50/1,838) และมีค่าความหนาแน่นของการติดเชื้อเท่ากับ 7.21 และ 5.84 ตัวต่อหอย 1 ตัว ตามลำดับ

คำสำคัญ: พยาธิใบไม้ในหอยจากสัตว์สู่คน, ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสาน, โฮสต์ตัวกลาง, หอยน้ำจืด

[1] โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100
[2] กองการแพทย์ เทศบาลนครเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57000
[3] กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม กรุงเทพมหานคร 10260
[1] Environmental Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100
[2] Division of Medical Services, Chiang Rai Municipality, Chiang Rai, 57000
[3] Thai Meteorological Department, Ministry of Digital Economy and Society, Bangkok, 10260
[*] Corresponding author: Kittichai.cha@crru.ac.th

Abstract

This study aimed to investigate snail–borne zoonotic trematodes in an integrated aquaculture system and the associated water bodies in Mae Chan District, Chiang Rai Province, Thailand. The samples were collected between March and September 2023. Snail samples were randomly collected using the counts per unit of time method, and snail species were classified and examined. The study identified a total of six families, six genera, and ten species of snails, including *Bithynia siamensis siamensis*, *B. funiculata*, *Melanoides tuberculata*, *Tarebia granifera*, *Thiara scarab*, *Filopaludina sumatrensis polygramma*, *F. martensi martensi*, *Pomacea canaliculata*, *Lymnaea* sp., and *Corbicula* sp. Among these, *F. martensi martensi* was the dominant snail species. Four snail species were found to be infected with trematode larvae, including *F. sumatrensis polygramma*, *F. martensi martensi*, *M. tuberculata*, and *B. siamensis siamensis*, with the overall prevalence of infection was 7.24% (133/1,838). The study identified eight cercariae types in the snails (i.e., Megalurous cercaria, Monostome cercaria, Virgulate cercaria, Xiphidiocercous cercaria, Echinostome cercaria, Furcocercous cercaria, Parapleurolophocercous cercaria, and Cercariae). The study also found five rediae types (i.e., Redia type I, Redia type II, Redia type III, Echinostome redia type I, and Echinostome redia type II), and two metacercariae types, with a prevalence of 1.52% (28/1,838) for Echinostome metacercaria and 2.72% (50/1,838) for *Thapariella anastomusa*, with respective intensities of 7.21 and 5.84 metacercaria per snail.

Keywords: Snail–borne zoonotic trematode, Integrated aquaculture system, Intermediate host, freshwater snail

บทนำ

เกษตรกรในประเทศไทยในปัจจุบันมีการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะเลี้ยงปลาเศรษฐกิจ เช่น ปลานิล ปลาทับทิม เป็นต้น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอาชีพหนึ่งที่สามารถช่วยให้เกษตรกรมีรายได้ มีแหล่งอาหารและแหล่งโปรตีนเพียงพอสำหรับการบริโภคในครัวเรือน ส่งผลให้มีเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาทั้งเป็นอาชีพหลักและอาชีพเสริมเพื่อสร้างรายได้เพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเพาะเลี้ยงในระบบเชิงเดี่ยว (monoculture system) การเลี้ยงในระบบแบบปลาหลายชนิดหรือแบบรวม (polyculture system) หรือการเพาะเลี้ยงระบบผสมผสานร่วมกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นหรือการเกษตรอื่น ๆ (integrated aquaculture system) ปัจจุบันมีการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาเศรษฐกิจหลายแห่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดเชียงราย ที่มีการเพาะเลี้ยงปลานิลเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเลี้ยงง่าย โตเร็ว และยังสามารถนำมาแปรรูปได้หลากหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตาม เกษตรกรส่วนใหญ่มักใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติในการเพาะเลี้ยง เช่น หนอง บึง แม่น้ำ และลำคลอง เป็นต้น ในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปนั้นมีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตและมีความหลากหลายของโฮสต์ตัวกลางของพยาธิใบไม้ (intermediate host) ไม่ว่าจะเป็นหอย กุ้ง ปู หรือปลา ซึ่งแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในภาคเกษตรกรรมและภาคครัวเรือนมักพบการปนเปื้อนของเสียและสิ่งปฏิกูลจากกิจกรรมดังกล่าวลงสู่แหล่งน้ำได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการเพาะเลี้ยงแบบผสมผสานร่วมกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น หรือการเกษตรอื่น ๆ ที่มีการพึ่งพาน้ำจากหลากหลายแหล่งที่มีการปนเปื้อนทั้งจากธรรมชาติ จากภาคครัวเรือน และภาคการเกษตร ซึ่งอาจส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำของระบบฟาร์มเพาะเลี้ยง ส่งผลต่อสุขภาวะหรืออาจก่อให้เกิดโรคในปลาและสัตว์น้ำตามมาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการติดเชื้อหนอนพยาธิ (helminths) ในปลา หรือในสัตว์น้ำอื่น ๆ ซึ่งหนอนพยาธิบางชนิดสามารถติดต่อถึงสัตว์เลี้ยงและคนได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งพยาธิใบไม้ (trematode) ซึ่งมีหอยน้ำจืด (freshwater snail) เป็นโฮสต์ตัวกลางลำดับที่หนึ่งและสอง (first and second

intermediate host) ของพยาธิใบไม้หลายชนิด พยาธิใบไม้ที่พบในหอยตัวกลางเรียกว่า พยาธิใบไม้ในหอยจากสัตว์สู่คน (snail–borne zoonotic trematode; SZT) ซึ่งก่อให้เกิดโรคที่ติดเชื้อปรสิตจากหอย (snail–borne parasitic diseases; SBPDs) (Lu et al., 2018)

หอยน้ำจืดเป็นองค์ประกอบของประชาคมสัตว์หน้าดินกลุ่มหลักที่พบอาศัยอยู่ชุกชุมตามพื้นท้องน้ำในแหล่งธรรมชาติทั่วไป หอยน้ำจืดประกอบด้วยหอยฝาเดียว (gastropod) และหอยสองฝา (bivalve) ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำในแง่การเป็นอาหารของสัตว์น้ำอื่น จึงเป็นตัวเชื่อมโยงที่สำคัญในระบบห่วงโซ่อาหารของแหล่งน้ำ หอยน้ำจืดหลายชนิดถูกนำมาเป็นอาหารของมนุษย์ เช่น หอยฝาเดียว สกุล *Filopaludina* และหอยสองฝา สกุล *Scabies* เป็นต้น (Chantima and Rika, 2020) นอกจากนี้หอยน้ำจืดเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มหนึ่งที่อาศัยอยู่ในระบบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหรืออาศัยอยู่ร่วมกับสัตว์น้ำ สามารถพบหอยน้ำจืดได้บ่อยครั้งในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่าง ๆ หอยน้ำจืดเหล่านี้เป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำแต่ขณะเดียวกันหากสัตว์น้ำได้รับการปนเปื้อนตัวอ่อนหนอนพยาธิจากหอยเข้าไป ซึ่งเป็นการส่งผ่านตัวอ่อนหนอนพยาธิตามวงชีวิตของหนอนพยาธิผ่านลำดับการกินในระบบนิเวศแหล่งน้ำ ส่งผลให้โอกาสที่จะมีการติดเชื้อหนอนพยาธิในสัตว์น้ำสามารถเกิดขึ้นได้เช่นกัน ดังนั้น การศึกษาความหลากหลายและการกระจายตัวของหอยน้ำจืดที่เป็นโฮสต์ตัวกลางของพยาธิใบไม้ และการติดเชื้อพยาธิใบไม้ในหอยจากสัตว์สู่คนจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสาน เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ และบริหารจัดการน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การศึกษานี้มุ่งที่จะศึกษาความหลากหลายและการกระจายตัวของหอยที่มีบทบาทสำคัญในการเป็นโฮสต์ตัวกลางของพยาธิใบไม้ (snail intermediate host) ในระบบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานและแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยง โดยใช้ฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานในพื้นที่อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย เป็นกรณีศึกษา ซึ่งพื้นที่ศึกษานั้นมีการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำธรรมชาติใกล้กับฟาร์มเพาะเลี้ยงในหลากหลายกิจกรรม และใกล้กับแหล่งที่อยู่อาศัยของมนุษย์ ซึ่งแหล่งน้ำที่นำมาใช้นั้นเป็นแหล่งน้ำจากธรรมชาติและแหล่งน้ำจากระบบชลประทานที่ผ่านพื้นที่ที่มีกิจกรรมของมนุษย์และกิจกรรมภาคการเกษตร ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบการติดเชื้อของพยาธิใบไม้ SZT ในหอยเหล่านี้ เพื่อเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของระบบฟาร์มเพาะเลี้ยง และประเมินความเสี่ยงในการระบาดของพยาธิใบไม้ในฟาร์มอีกด้วย ผลจากการศึกษาเกษตรกรสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนการจัดการฟาร์มเพาะเลี้ยง ตลอดจนเฝ้าระวังโรคพยาธิใบไม้ SZT ในพื้นที่ได้

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา คือ ฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานและแหล่งน้ำที่เกี่ยวข้องโดยรอบในพื้นที่อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย โดยดำเนินการศึกษาและเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ระหว่างเดือนมีนาคม–กันยายน พ.ศ. 2566 ในแต่ละพื้นที่ศึกษาได้จำแนกสภาพแวดล้อมของจุดเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สภาพแวดล้อมของฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ภาพที่ 1) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ประกอบด้วยฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 5 ฟาร์ม (FF1–FF5) โดยสภาพแวดล้อมในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีลักษณะสภาพแวดล้อมแตกต่างกันออกไป ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ของพื้นที่รอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2. แหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ประกอบด้วย 6 จุดเก็บตัวอย่าง สามารถแบ่งแหล่งน้ำออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ แหล่งน้ำนิ่ง (นาข้าว) ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่าง SP2, SP4 และ SP6 และแหล่งน้ำไหล (ลำเหมือง) ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่าง SP1, SP3 และ SP5



ภาพที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 5 ฟาร์ม (FF1–FF5) และแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (SP1–SP6) ในพื้นที่อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

การเก็บตัวอย่างหอย

ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างหอยน้ำจืดด้วยวิธี counts per unit of time (Oliver and Schneiderman, 1956) คือ ใช้ผู้เก็บตัวอย่าง 2 คน ใช้เวลาคนละ 15 นาที ในการเก็บตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างหอยด้วยมือ (hand picking) หรือใช้สวิง จากนั้นนำหอยที่ได้กลับมาศึกษาภายในห้องปฏิบัติการ

การจัดจำแนกตัวอย่างหอยและการตรวจหาพยาธิใบไม้

1. จัดจำแนกตัวอย่างหอย โดยศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และ morphometrics ของเปลือกหอย โดยการวัดขนาดของเปลือกหอยด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (vernier caliper) แบบดิจิทัล ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร นับจำนวน ถ่ายภาพ และนำข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยมาจัดจำแนกตามรูปวิธานของ Brandt (1974)

2. การตรวจหาพยาธิใบไม้ในหอย ดำเนินการด้วย 2 วิธีการ คือ

1) วิธีการ shedding โดยนำตัวอย่างหอยใส่ในถ้วยพลาสติก เติมน้ำปราศจากคลอรีนแล้ววางหอยทิ้งไว้ในที่มืดข้ามคืน จากนั้นเปิดไฟทิ้งไว้อีก 2 ชั่วโมง และนำมาตรวจหาตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะ เซอร์คาเรีย (cercaria) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสามมิติ

2) วิธีการ crushing โดยนำหอยที่ตรวจไม่พบตัวอ่อนระยะเซอร์คาเรียของพยาธิใบไม้โดยวิธี shedding มาตรวจหาตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะสปอโรซีสต์ (sporocyst) และเรเดีย (redia) ในเนื้อเยื่อของหอย โดยการทุบเปลือกหอยออก แล้วนำเนื้อเยื่อของหอยมาบี้ลงบนกระจกสไลด์ และตรวจหาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ

3) บันทึกจำนวนของตัวอ่อนพยาธิใบ้ที่พบแยกตามชนิดของหอย และชนิดหรือประเภทของตัวอ่อนพยาธิใบไม้ โดยใช้รูปวิธานตามการจัดจำแนกของ Komiya (1961), Schell (1970) และ Ito (1980)

3. ดำเนินการรักษาสภาพและทำสไลด์ถาวรตัวอ่อนพยาธิใบไม้เพื่อศึกษาตัวอ่อนพยาธิใบไม้ โดยรักษาสภาพและย้อมสีด้วย hematoxylin

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาและระบาดวิทยา ดังต่อไปนี้

1) ดัชนีความมากชนิดของมากาเลฟ (Margalef' s richness index; d) (Ludwig and Reynolds, 1988)
2) ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแชนนอน–เวียนเนอร์ (Shannon–Wiener' s diversity index; H') (Krebs, 1999)
3) ดัชนีความสม่ำเสมอของพีลิว (Pielou' s evenness index; J) (Pielou, 1966)
4) ความชุกชุมสัมพัทธ์ (relative abundance) ของชนิดหอยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง
5) ความชุกของการติดเชื้อ (prevalence)
6) ความหนาแน่นของการติดเชื้อ (intensity)

จริยธรรมการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ไม่ได้มีการดำเนินการใช้สัตว์ทดลอง อย่างไรก็ตามได้มีการดำเนินการเกี่ยวกับสัตว์ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งผู้วิจัยได้รับใบอนุญาตจากสถาบันพัฒนาการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ (สพสว.) สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (ใบอนุญาตเลขที่ U1–03137–2559) ซึ่งการดำเนินการเกี่ยวกับสัตว์ในการศึกษาครั้งนี้เป็นไปตามกฎระเบียบและข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการกับสัตว์ในงานทางวิทยาศาสตร์ โดยสัตว์ทั้งหมดได้รับการดูแลและมีการใช้สัตว์อย่างมีมนุษยธรรม

ผลการศึกษา

ความหลากหลายของหอยน้ำจืด

ผลการสำรวจสามารถจำแนกหอยออกเป็น 2 กลุ่ม คือ หอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และหอยในแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความหลากหลายของหอยในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ผลการสำรวจพบหอยกลุ่มหอยฝาเดียวทั้งหมด 871 ตัว จำแนกได้ 3 วงศ์ 4 สกุล 5 ชนิด คือ *Tarebia granifera*, *Melanoides tuberculata*, *Filopaludina martensi martensi*, *F. sumatrensis polygramma* และ *Pomacea canaliculata* โดยพบหอยชนิด *F. martensi martensi* มากที่สุด มีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ ร้อยละ 45.80 รองลงมา คือ *F. sumatrensis polygramma*, *M. tuberculata*, *P. canaliculata* และ *T. granifera* มีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ ร้อยละ 36.73, 16.07, 1.03 และ 0.34 ตามลำดับ

2. ความหลากหลายของหอยที่สำรวจพบในแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ผลการสำรวจพบหอยฝาเดียวและหอยสองฝาทั้งหมด 1,076 ตัว ประกอบด้วย 6 วงศ์ 8 สกุล 10 ชนิด โดยหอยที่สำรวจพบในแหล่งน้ำนิ่ง พบหอย 4 ชนิด คือ *Bithynia funiculata*, *B. siamensis siamensis*, *P. canaliculata* และ *Lymnaea* sp. และหอยที่สำรวจพบในแหล่งน้ำไหล พบหอย 10 ชนิด คือ คือ *M. tuberculata*, *Thiara scraba*, *T. granifera*, *B. funiculata*, *B. siamensis siamensis*, *F. martensi martensi*, *F. sumatrensis polygramma*, *P. canaliculata*, *Lymnaea* sp. และ *Corbicula* sp. โดยหอยที่สำรวจพบในแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พบหอย *B. siamensis siamensis* มากที่สุด มีความชุกชุมสัมพัทธ์ร้อยละ 40.70 รองลงมา คือ *B. funiculata* (ร้อยละ 19.23), *P. canaliculata* (ร้อยละ 13.57), *M. tuberculata* (ร้อยละ 10.31), *Lymnaea* sp. (ร้อยละ 9.85), *F. martensi martensi* (ร้อยละ 3.71), *Corbicula* sp. (ร้อยละ 1.11), *F. sumatrensis polygramma* (ร้อยละ 0.74), *T. granifera* (ร้อยละ 0.65) และ *T. scraba.* (ร้อยละ 0.09) ตามลำดับ

ดัชนีบ่งชี้ทางนิเวศวิทยา

ดัชนีบ่งชี้ทางนิเวศวิทยาในการศึกษาพยาธิใบไม้ในหอยจากสัตว์สู่คนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานและแหล่งน้ำที่เกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังนี้

1. ดัชนีบ่งชี้ทางนิเวศวิทยาของหอยที่สำรวจพบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ตารางที่ 1)

ผลการวิเคราะห์พบว่าดัชนีความมากชนิดของมากาเลฟสอดคล้องกับจำนวนชนิดหอยที่พบในแต่ละฟาร์ม โดยมีค่าสูงสุดในฟาร์ม FF1 (d = 2.7522) พบหอย 4 ชนิด และมีค่าต่ำสุดในฟาร์ม FF4 (d = 0.1672) ซึ่งพบหอย 2 ชนิด สำหรับดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแชนนอน–เวียนเนอร์ พบมีค่าสูงสุดในฟาร์ม FF1 (H' = 1.0857) และมีค่าต่ำสุดในฟาร์ม FF5 (H' = 0.4007) ซึ่งบ่งชี้ถึงระดับความหลากหลายของหอยที่สำรวจพบในแต่ละฟาร์ม และดัชนีความสม่ำเสมอของพีลิว พบมีค่าสูงสุดในฟาร์ม FF1 (J = 0.9882) และมีค่าต่ำสุดในฟาร์ม FF4 (J = 0.1157) ซึ่งบ่งบอกถึงการแพร่กระจายของหอยแต่ละชนิดของฟาร์ม โดยฟาร์มที่ 1 มีค่าสูงแสดงว่าฟาร์มนี้มีหอยแต่ละชนิดที่มีจำนวนใกล้เคียงกันและมีการแพร่กระจายที่เหมือนกัน ทั้งนี้ผลจากการศึกษาจะเห็นได้ว่าฟาร์มที่ 1 มีความมากชนิดของหอย มีความหลากหลายทางชีวภาพสูงที่สุด และมีการแพร่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่าฟาร์มอื่นอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 1 ดัชนีบ่งชี้ทางนิเวศวิทยาของหอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ฟาร์ม	จำนวนชนิดหอย	d	H'	J
FF1	4	2.7522	1.0857	0.9882
FF2	4	0.8908	1.0458	0.2116
FF3	3	0.3472	0.7486	0.1297
FF4	2	0.1672	0.6930	0.1157
FF5	2	0.4566	0.4007	0.1823
เฉลี่ย		0.9228±1.0568	0.7947±0.2808	0.3255±0.3724

2. ดัชนีบ่งชี้ทางนิเวศวิทยาของหอยที่สำรวจพบในแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ตารางที่ 2)

ผลการวิเคราะห์พบว่าในระบบนิเวศแหล่งน้ำนิ่ง มีดัชนีความมากชนิดสอดคล้องกับจำนวนชนิดหอยที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง โดยมีค่าสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP6 (d = 0.5284) ซึ่งพบหอยทั้งหมด 4 ชนิด และมีค่าต่ำสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP4 (d = 0.2029) ซึ่งพบหอยทั้งหมด 2 ชนิด สำหรับดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพมีค่าสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP4 (H' = 0.5662) และค่าต่ำสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP2 (H' = 0.3015) สำหรับดัชนีความสม่ำเสมอพบมีค่าสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP4 (J = 0.8169) เช่นเดียวกัน และต่ำสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP6 (J = 0.2364) สำหรับในระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล พบว่าดัชนีความมากชนิดสอดคล้องกับจำนวนชนิดหอยที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำไหล โดยมีค่าสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP3 (d = 1.5301) ซึ่งพบหอยทั้งหมด 8 ชนิด และค่าต่ำสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP5 (d = 0.5437) ซึ่งพบหอยทั้งหมด 4 ชนิด สำหรับดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพมีค่าสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP3 (H' = 1.6426) และมีค่าต่ำสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP5 (H' = 0.5928) สำหรับดัชนีความสม่ำเสมอพบมีค่าสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP3 (J = 0.7899) และมีค่าต่ำสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP5 (J = 0.4276) ผลจากการศึกษาแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งหมดพบว่าจุดเก็บตัวอย่าง SP3 มีความมากชนิดของหอย และมีความหลากหลายทางชีวภาพที่สูงกว่าจุดเก็บตัวอย่างอื่น สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง SP4 มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่าจุดอื่นอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 2 ดัชนีบ่งชี้ทางนิเวศของหอยในแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

แหล่งน้ำรอบฟาร์ม	จุดเก็บตัวอย่าง	จำนวนชนิดหอย	d	H'	J
แหล่งน้ำนิ่ง (นาข้าว)	**SP2**	2	0.2378	0.3015	0.4350
	SP4	2	0.2029	0.5662	0.8169
	SP6	4	0.5284	0.3278	0.2364
	เฉลี่ย		**0.3230±0.1787**	**0.3985±0.1458**	**0.4961±0.2950**
แหล่งน้ำไหล (ลำเหมือง)	**SP1**	5	0.7343	1.0348	0.6429
	SP3	8	1.5301	1.6426	0.7899
	SP5	4	0.5437	0.5928	0.4276
	เฉลี่ย		**0.9360±0.5232**	**1.09±0.5270**	**0.6201±0.1822**
เฉลี่ย			**0.6295±0.4847**	**0.7442±0.5129**	**0.5581±0.2295**

การติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้

ผลการตรวจการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ของหอยที่สำรวจพบ สามารถจำแนกการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ของหอยออกเป็น 2 กลุ่ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ของหอยในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ผลการตรวจการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยระยะเซอร์คาเรีย 5 รูปแบบ ได้แก่ Megalurous cercaria, Parapleurolophocercous cercaria, Echnostome cercaria, Furcocercous cercaria และ Cercariae มีค่าความชุกของการติดเชื้อรวมร้อยละ 1.84 (16/871) โดยพบการติดเชื้อในหอย *M. tuberculata* และ *F. sumatrensis polygramma* และพบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเรเดีย 4 รูปแบบ ได้แก่ Redia type I, Redia type II, Echinostome redia type I และ Echinostome redia type II มีค่าความชุกของการติดเชื้อรวมร้อยละ 1.03 (9/871) โดยพบการติดเชื้อในหอยชนิดเดียวกันกับตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะ

เซอร์คาเรีย นอกจากนี้พบตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรีย 2 กลุ่ม คือ Echinostome และ *Thapariella anastomusa* มีค่าความชุกของการติดเชื้อร้อยละ 2.87 (25/871) และ 5.05 (44/871) ตามลำดับ และมีค่าความหนาแน่นที่เท่ากันเท่ากับ 5.20 ตัวต่อหอย 1 ตัว โดยพบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียทั้ง 2 กลุ่มนี้ในหอยชนิดเดียวกัน คือ *F. sumatrensis polygramma* และ *F. martensi martensi*

2. การติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ของหอยในแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

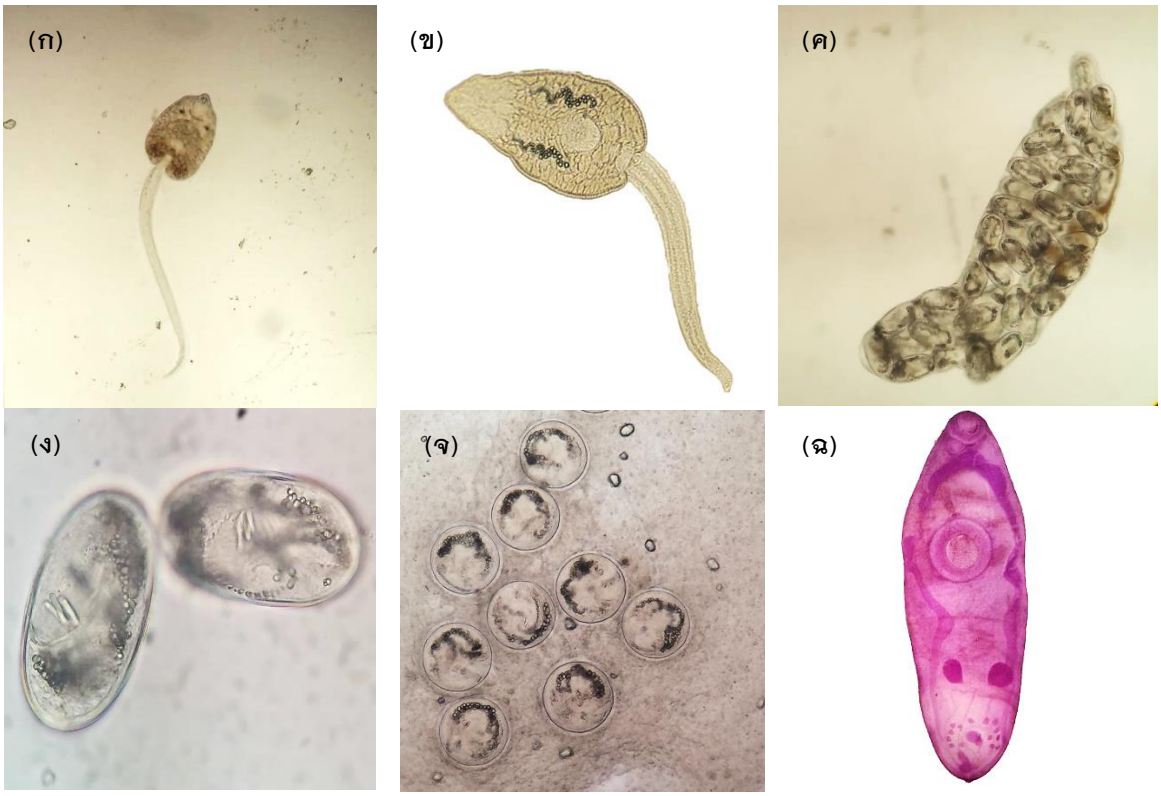
ผลการตรวจการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ของหอยที่สำรวจพบในระบบนิเวศแหล่งน้ำนิ่ง และแหล่งน้ำไหลโดยรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยระยะเซอร์คาเรีย ทั้งหมด 4 รูปแบบ คือ Monostome cercaria, Virgulate cercaria, Xiphidiocercous cercaria และ Megalurous cercaria มีค่าความชุกของการติดเชื้อร้อยละ 0.10, 1.13, 0.93 และ 0.62 ตามลำดับ โดยพบการติดเชื้อในหอย *B. siamensis siamensis* และ *F. martensi martensi* พบตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยระยะเรเดีย คือ Redia type III มีค่าความชุกของการติดเชื้อรวมร้อยละ 0.31 (3/967) พบการติดเชื้อในหอย *B. siamensis siamensis* และพบตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยระยะเมตาเซอร์คาเรีย 2 กลุ่ม ได้แก่ Echinnostome และ *T. anastomusa* มีค่าความชุกของการติดเชื้อร้อยละ 0.31 (3/967) และ 0.62 (6/967) ตามลำดับ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.33 และ 10.5 ตัวต่อหอย 1 ตัว ตามลำดับ โดยพบการติดเชื้อในหอย *F. martensi martensi*, *F. sumatrensis polygramma* และ *B. siamensis siamensis*

จากการตรวจการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ของหอยที่สำรวจพบในการศึกษาพยาธิใบไม้ในหอยจากสัตว์สู่คนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานและแหล่งน้ำที่เกี่ยวข้อง พบหอยที่ติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ *F. sumartensis polygramma*, *F. martensi martensi*, *M. tuberculata* และ *B. siamensis siamensis* ด้วยค่าความชุกการติดเชื้อร้อยละ 14.63, 10.25, 5.60 และ 0.10 ตามลำดับ มีค่าความชุกการติดเชื้อรวมร้อยละ 7.24 (133/1,838) (ตารางที่ 3 และภาพที่ 2) พบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยระยะเซอร์คาเรียทั้งหมด 8 รูปแบบ คือ Megalurous cercaria (0.38), Monostome cercaria (0.05), Virgulate cercaria (0.60), Xiphidiocercous cercaria (0.49), Parapleurolophocercous cercaria (0.54), Echnostome cercaria (0.11), Furcocercous cercaria (0.05) และ Cercariae (0.11) และพบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเรเดียทั้งหมด 5 รูปแบบ คือ Redia type I (0.22), Redia type II (0.05), Redia type III (0.16), Echinostome redia type I (0.11) และ Echinostome redia type II (0.11) นอกจากนี้พบตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรีย 2 กลุ่ม คือ Echinostome และ *T. anastomusa* มีค่าความชุกของการติดเชื้อรวมร้อยละ 1.52 (28/1,838) และ 2.72 (50/1,838) ตามลำดับ และมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 7.21 และ 5.84 ตัวต่อหอย 1 ตัว โดยพบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียทั้ง 2 กลุ่มนี้ ในหอยชนิดเดียวกัน (*F. sumartensis polygramma* และ *F. martensi martensi*)

ตารางที่ 3 ความชุกและความหนาแน่นของการติดเชื้อของตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอย

ชนิดของหอย	จำนวนหอย	จำนวนหอยที่ตรวจพบตัวอ่อนพยาธิใบไม้ (% ความชุก, ความหนาแน่น)														
		MGC	MNC	VC	XC	PC	EC	FC	CC	R–I	R–II	R–III	ER–I	ER–II	EM	TM	รวม
T. granifera	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0 (0.00)**
M. tuberculata	250	1 (0.40)	0	0	0	10 (4.00)	0	0	0	3 (1.20)	0	0	0	0	0	0	**14 (5.60)**
F. sumatrensisi polygramma	328	0	0	0	0	0	2 (0.61)	1 (0.30)	2 (0.61)	1 (0.30)	1 (0.30)	0	2 (0.61)	2 (0.61)	9 (2.74, 12.33)	28 (8.54, 6.54)	**48 (14.63)**
F. martensi martensi	439	6 (1.37)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18 (4.10, 5.00)	21 (4.78, 5.00)	**45 (10.25)**
P. canaliculata	154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0 (0.00)**
B. siamensis siamensis	411	0	1 (0.24)	11 (2.70)	9 (2.20)	0	0	0	0	0	0	3 (0.72)	0	0	1 (0.24, 1)	1 (0.24, 4)	**26 (0.10)**
B. funiculata	206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0 (0.00)**
Lymnaea sp.	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0 (0.00)**
Corbicula sp.	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0 (0.00)**
รวม	**1,838**	**7 (0.38)**	**1 (0.05)**	**11 (0.60)**	**9 (0.49)**	**10 (0.54)**	**2 (0.11)**	**1 (0.05)**	**2 (0.11)**	**4 (0.22)**	**1 (0.05)**	**3 (0.16)**	**2 (0.11)**	**2 (0.11)**	**28 (1.52, 7.21)**	**50 (2.72, 5.84)**	**133 (7.24)**

หมายเหตุ : MGC = Megalurous cercaria; MNC = Monostome cercaria; VC = Virgulate cercaria; XC = Xiphidiocercous cercaria; PC = Parapleurolophocercous cercaria; EC = Echnostome cercaria; FC = Furcocercous cercaria; CC = cercariae; R–I = Redia type I; R–II = Redia type II; R–III = Redia type III; ER–I = Echinostome redia type I; ER–II = Echinostome redia type II; EM = Echinostome metacercaria; TM = Thapariella anastomusa metacercaria



ภาพที่ 2 ภาพถ่ายตัวอย่างตัวอ่อนพยาธิใบไม้บางชนิดที่สำรวจพบ (ก) Parapleurolophocercous cercaria (100X) (ข) Echnostome cercaria (400X) (ค–ง) Echinostome redia Type II (100X และ 400X) (จ) Echinostome metacercaria (400X) และ (ฉ) *Thapariella anastomusa* metacercaria (100X)

อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาความหลากหลายของหอยในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พบหอยทั้งหมด 3 วงศ์ 4 สกุล 5 ชนิด คือ *T. granifera*, *M. tuberculata*, *F. martensi martensi*, *F. sumatrensis polygramma* และ *P. canaliculata* โดยพบหอย *F. martensi martensi* เป็นหอยชนิดเด่น หอยน้ำจืดเหล่านี้สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่หลากหลายและเปลี่ยนแปลงได้ดี สามารถยึดเกาะพื้นผิวได้หลากหลาย และพบแพร่กระจายทั่วพื้นที่ในประเทศไทย เช่นเดียวกับรายงานการศึกษาอัตราการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยน้ำจืดสกุล *Filopaludina* ในพื้นที่จังหวัดเชียงราย โดยพบหอยน้ำจืดในสกุลเดียวกัน (*F. sumatrensis polygramma* และ *F. martensi martensi*) เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ (Chantima et al., 2018a; Chantima et al., 2018b; Chantima and Rika, 2020) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับรายงานการศึกษาความหลากหลายชนิดพันธุ์ของหอยน้ำจืดในระบบนิเวศนาข้าว โดยพบหอยน้ำจืดในวงศ์ Amblemidae และ Viviparidae เป็นวงศ์เด่นเช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ที่พบหอยในวงศ์ Viviparidae เป็นวงศ์เด่น อีกทั้งพบหอยต่างถิ่นชนิดรุกรานเช่นเดียวกัน คือ *P. canaliculata* (สาวิกา กัลปพฤกษ์ และคณะ, 2559) สำหรับการแพร่กระจายของหอยน้ำจืดฝาเดียวพบ *F. sumatrensis polygramma* มีการแพร่กระจายมากที่สุด รองลงมาคือ *T. granifera* และ *F. martensi martensi* ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีบ่งชี้ทางนิเวศวิทยา พบว่าฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ FF1 มีค่าดัชนีความมากชนิด ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ และดัชนีความสม่ำเสมอมีค่าสูงสุด เนื่องจากฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนี้มีสภาพแวดล้อมโดยรอบบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่แตกต่างจากบ่ออื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด พื้นที่โดยรอบเป็นไร่ข้าวโพด สวนทุเรียน โรงสีข้าว ฟาร์มไก่ และบ้านเรือนของเจ้าของฟาร์ม ซึ่งมีกิจกรรมของมนุษย์ที่หลากหลายกว่าฟาร์มอื่น ๆ อาจส่งผลทำให้มีความมากชนิด

และความหลากหลายของหอยสูง ตลอดจนลักษณะสัณฐานของแหล่งน้ำ ได้แก่ ความลึกและพื้นท้องน้ำ (อรรถพล โลกิตสถาพร และคณะ, 2548) ซึ่งในฟาร์ม FF1 พบว่าลักษณะของบ่อมีน้ำค่อนข้างน้อย และบ่อตื้นเขินเป็นบางแห่ง สังเกตเห็นพื้นท้องน้ำที่มีลักษณะโคลนปนทราย ซึ่งแตกต่างจากบ่ออื่น ๆ ที่พบว่ามีปริมาณน้ำมากและลึกกว่าอย่างเห็นได้ชัด สำหรับดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพที่พบจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าฟาร์ม FF1 (H' = 1.3532) และฟาร์ม FF2 (H' = 1.0458) มีค่าอยู่ระหว่าง 1–2 หมายความว่า คุณภาพของสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ส่วนฟาร์ม FF3–FF5 มีค่าต่ำกว่า 1 หมายความว่า คุณภาพของสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ไม่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต (อรรถพล โลกิตสถาพร และคณะ, 2548) แต่ทั้งนี้ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพเป็นเพียงดัชนีหนึ่งเท่านั้นในการบอกถึงสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ ควรนำดัชนีนี้ไปร่วมพิจารณากับปัจจัยอื่นด้วยเพื่อให้การคาดคะเนถูกยิ่งขึ้น สำหรับดัชนีความสม่ำเสมอนั้นบ่งชี้ถึงการกระจายตัวของหอยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ส่วนใหญ่มีค่าค่อนข้างต่ำ ยกเว้นฟาร์ม FF1 (J = 0.9882) ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 กล่าวคือ สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีจำนวนตัวที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน หรือเรียกว่ามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ สำหรับจุดเก็บตัวอย่างอื่น ๆ ที่มีค่าต่ำนั้น แสดงให้เห็นว่าไม่มีความสม่ำเสมอในการแพร่กระจาย และมีหอยอย่างน้อย 1 ชนิด ที่มีความเด่นกว่าชนิดอื่นในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (กันธิตา ปวีณสกุล และคณะ, 2559)

ผลการศึกษาความหลากหลายของหอยในแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พบหอยทั้งหมด 6 วงศ์ 6 สกุล 10 ชนิด คือ *B. siamensis siamensis*, *B. funiculata*, *M. tuberculata*, *T. granifera*, *Thiara scarba*, *F. sumatrensis polygramma*, *F. martensi martensi*, *P. canaliculata*, *Lymnaea* sp. และ *Corbicula* sp. โดยหอยน้ำจืดเหล่านี้สามารถพบการแพร่กระจายทั่วพื้นที่ในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ความหลากหลายของหอยที่พบในแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นมีความหลากหลายสูงกว่าหอยที่พบในฟาร์มเพาะเลี้ยง เนื่องจากถิ่นอาศัยและระบบนิเวศของหอยที่สำรวจในแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงมีความหลากหลายกว่า ซึ่งประกอบด้วยระบบนิเวศแหล่งน้ำนิ่งและแหล่งน้ำไหล สำหรับค่าดัชนีทางนิเวศวิทยาของหอยที่สำรวจพบในแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีดัชนีความมากชนิดสอดคล้องกับจำนวนชนิดหอยที่พบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ โดยมีค่าสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP3 (d = 1.5301) ซึ่งพบหอยทั้งหมด 8 ชนิด สำหรับดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพมีค่ามากสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP3 (H' = 1.6426) เช่นเดียวกัน ซึ่งบ่งชี้ถึงระดับความหลากหลายชนิดของหอยที่สำรวจพบในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง สำหรับดัชนีความสม่ำเสมอที่พบมีค่าสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่าง SP4 (J = 0.8169) บ่งบอกถึงการแพร่กระจายตัวของหอยแต่ละชนิดของจุดเก็บอย่าง โดยจุดเก็บตัวอย่าง SP3 มีความมากชนิดและมีความหลากหลายทางด้านชีวภาพของหอยมากที่สุดอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องมาจากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของหอยน้ำจืดหลายชนิด ซึ่งในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน และพบหอยที่แตกต่างกันทั้งในด้านจำนวนและชนิด โดยหอยฝาเดียวและหอยสองฝามีการกระจายตัวตามวิถีการดำรงชีวิตที่แตกต่างกัน อีกทั้งอาจมีปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลต่อความหลากหลายของหอยในแหล่งน้ำ เช่น การใช้สารเคมีในการเกษตร การปล่อยน้ำทิ้งจากครัวเรือน เป็นต้น ซึ่งสังเกตได้จากจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุดที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์โดยรอบพื้นที่ที่แตกต่างกัน (สุภัทรตา ศรีทองแท้, 2557)

ผลการตรวจการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ของหอยที่สำรวจพบในการศึกษาพยาธิใบไม้ในหอยจากสัตว์สู่คนในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานและแหล่งน้ำที่เกี่ยวข้อง พบหอยที่ติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ทั้งหมด 4 ชนิด คือ *F. sumartensis polygramma*, *F. martensi martensi*, *M. tuberculata* และ *B. siamensis siamensis* โดยพบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยระยะเซอร์คาเรียทั้งหมด 8 รูปแบบ (Megalurous cercaria, Monostome cercaria, Virgulate cercaria, Xiphidiocercous cercaria, Parapleurolophocercous cercaria, Echnostome cercaria, Furcocercous cercaria และ Cercariae) การศึกษาครั้งนี้พบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเซอร์คาเรียรูปแบบต่าง ๆ เช่นเดียวกับรายงานการศึกษาการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยน้ำจืดในพื้นที่จังหวัดเชียงราย โดยพบตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเซอร์

คาเรียในรูปแบบที่เหมือนกัน ยกเว้น Cercariae และพบการติดเชื้อในหอยชนิดเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ (Chantima et al., 2018a; 2018b; Chantima and Rika, 2020) การศึกษาครั้งนี้ยังตรวจพบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเรเดีย 5 รูปแบบ (Redia type I, Redia type II, Redia type III, Echinostome redia type I และ Echinostome redia type II) พบการติดเชื้อในหอย *M. tuberculata* และ *F. sumatrensis polygramma* และพบตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรีย 2 กลุ่ม คือ Echinostome และ *T. anastomusa* ซึ่ง Echinostome metacercaria เป็นระยะติดต่อ (infective stage) สามารถพบในโฮสต์ตัวกลางตัวที่สอง โดยส่วนใหญ่จะเป็นสัตว์น้ำพวกปลา กบ หอย กุ้ง และพืชน้ำ เมื่อคนหรือสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังกินเข้าไป ตัวอ่อนพยาธินี้จะเดินทางไปยังอวัยวะที่จะเจริญเป็นตัวเต็มวัย การติดต่อโรคเกิดจากการรับประทานอาหารที่มีตัวอ่อนระยะเมตาเซอร์คาเรียที่อยู่ในอาหารที่ไม่สุก (พีรพล รัตนไทย, 2553) สำหรับตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียชนิด *T. anastomusa* ซึ่งพยาธิชนิดนี้ขณะมีชีวิตอยู่ลำตัวจะมีลักษณะเป็นสีแดง โดยปกติจะเจริญเป็นตัวเต็มวัยในสัตว์ปีก เช่น นก (โสธร อนุเชิงชัย และฐาปนา ชลธนานารถ, 2559) ทั้งนี้ พบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียทั้ง 2 กลุ่มนี้ ในหอยชนิดเดียวกัน คือ *F. sumartensis polygramma* และ *F. martensi martensi* สอดคล้องกับรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบการติดเชื้อของตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยทั้ง 2 ชนิดนี้ ในพื้นที่จังหวัดเชียงราย (Chantima et al., 2018a; Chantima et al., 2018b; Chantima and Rika, 2020) จังหวัดพิษณุโลก (Phalee et al., 2018) และกรุงเทพมหานคร (โสธร อนุเชิงชัย และฐาปนา ชลธนานารถ, 2559; Wiroonpan and Purivirojkul, 2021)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าหอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและแหล่งน้ำรอบฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สามารถเป็นโฮสต์ตัวกลางลำดับที่หนึ่งและสองของพยาธิใบไม้ได้ ประกอบด้วยหอยทั้งหมด 4 ชนิด คือ *F. martensi martensi, F. sumatrensis polygramma, M. tuberculata* และ *B. siamensis siamensis* โดยพบการติดเชื้อพยาธิใบไม้ในหอยจากสัตว์สู่คน ซึ่งก่อให้เกิดโรคที่ติดเชื้อปรสิตจากหอยได้ อย่างไรก็ตาม การติดเชื้อของตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่หลายปัจจัย เช่น สภาพแวดล้อม ฤดูกาลที่ทำการศึกษา และยังขึ้นอยู่กับชนิดของหอยน้ำจืดและพันธุ์ปลาน้ำจืดที่อาศัยอยู่รวมกันในแหล่งน้ำ เนื่องจากทั้งหอยและปลาเป็นโฮสต์ตัวกลางที่สำคัญที่ทำให้วงจรชีวิตของพยาธิใบไม้ครบสมบูรณ์ ตลอดจนพฤติกรรมเสี่ยงที่ทำให้เกิดการแพร่ระบาดของเชื้อโรคพยาธิใบไม้ได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยตามโครงการสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนสนับสนุนการวิจัยเพื่อการพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 สัญญาเลขที่ B166010 ขอขอบคุณผู้ให้ข้อมูลทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล อนุเคราะห์ความช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการเข้าพื้นที่ตลอดการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กันธิตา ปวีณสกุล, พีรวัส ชินตระกูล และ ธนศักดิ์ ช่างบรรจง. (2559). **ความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน และคุณภาพน้ำผิวดินภายในมหาวิทยาลัยมหิดล**. มหาวิทยาลัยมหิดล. นครปฐม.

พีรพล รัตนไทย. (2553). **การติดเชื้อพยาธิใบไม้เซอร์คาเรียของหอยน้ำจืดวงศ์ Thiaridae ในภาคใต้ของประเทศไทย**. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สาวิกา กัลปพฤกษ์, สิทธิ กุหลาบทอง และ ญาณนันท์ สุนทรกิจ. (2559). ความหลากหลายชนิดพันธุ์ของหอยน้ำจืดในระบบนิเวศนาข้าว. **Veridian E-J. Sci. Tech. Silpakorn Univ.**, 3(2), 35–44.

สุภัทรตา ศรีทองแท้. (2557). **ความหลากหลายชนิดพันธุ์และการติดตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเซอร์ คาเรียในหอยฝาเดียวและหอยสองฝาบริเวณอ่าวไทยของประเทศไทย**. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร.

โสธร อนุเชิงชัย และ ฐาปนา ชลธนานารถ. (2559). ค่าความชุกและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพยาธิใบไม้ในหอยขมสกุล *Filopaludina* จากตลาดคลองเตย กรุงเทพฯ. **รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 4**. หน้า 92–97.

อรรถพล โลกิตสถาพร และ วรมิตร ศิลปะชัย. (2548). **ความชุกชุม และความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในคลองพระองค์เจ้าไชยานุชิต**. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. กรมประมง.

Brandt RAM. (1974). The non–marine aquatic Mollusca of Thailand. **Archiv für Molluskenkunde**, 115, 1–423.

Chantima K, Phromkhong K, Sonyod N, Chaichana N. (2018a). Occurrence of larval trematode in freshwater snail from Pa Ko Dam Sub–district, Mae Lao District, Chiang Rai Province. In McCormick K, Mungthaisong S, Khittasangka M, Chomchalow N, Walsh JC, Lisec A. (Eds.). **ASIAN Community Knowledge Networks for the Economy, Society, Culture, and Environmental Stability** (pp. 84–88). Chiang Rai: Chiang Rai Rajabhat University.

Chantima K, Suk–ueng K, Kampan M. (2018b). Freshwater snail diversity in Mae Lao agricultural basin (Chiang Rai, Thailand) with a focus on larval trematode infections. **Korean J. Parasitol.**, 56(3), 247–257.

Chantima K, Rika C. (2020). Snail–borne zoonotic trematodes in edible viviparid snails obtained from wet markets in Northern Thailand. **J. Helminthol.**, 94: E198. doi:10.1017/S0022149X20000814.

Ito J. (1980). **Studies on cercariae in Japan**. Shizuoka University.

Komiya Y. (1961). **The excretory of digenetic trematode**. Tokyo University.

Krebs CJ. (1999). **Ecological methodology**. Addison Wesley Longman.

Lu XT, Gu QY, Limpanont Y, Song LG, Wu ZD, Lv ZY. (2018). Snail–borne parasitic diseases: an update on global epidemiological distribution, transmission interruption and control methods. **Infect. Dis. Poverty**, 7: 28. doi.org/10.1186/s40249–018–0414–7

Ludwig JA, Reynolds JF. (1988). **Statistical ecology: A primer on methods and computing**. John Wiley and Sons.

Oliver LJ, Schneiderman M. (1956). A method for estimating the density of aquatic snail population. **Exp. Parasitol.**, 5(2), 109–117. doi: 10.1016/0014–4894(56)90008–x

Phalee W, Phalee A, Wongsawad C. (2018). New record of *Thapariella anastomusa* (Trematoda: Thapariellidae) metacercariae in Northern Thailand. **Korean J. Parasitol.**, 56(1), 49–52.

Pielou EC. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. **J. Math. Biol.**, 13, 131–144.

Schell SC. (1970). **How to know the Trematode**. Brown Publishers.

Wiroonpan P, Purivirojkul W. (2021). A survey of *Thapariella anastomusa* (Trematoda: Thapariellidae) metacercariae in edible viviparid snails from Bangkok, Thailand. **The Proceedings of the 59th Kasetsart University Annual Conference**. 525–535.

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของมันเทศญี่ปุ่น

Comparison of growth of sweet potato (*Impomoea batatas*)

สุมิตรา สุปินราช[1*], อิศร์ สุปินราช[1] และ กุลวิชญ์ พานิชกุล[1]
Sumidtra Supinrach[1*], Iss Supinrach[1] and Kullawich Panichkul[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของมันเทศญี่ปุ่น ณ สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง โดยนำลำต้นมันเทศจำนวน 4-6 ข้อต่อต้นปลูกลงแปลงและปลูกลงกระถาง เป็นเวลา 90 วัน จัดสิ่งทดลอง แบบ 3x2 Factorial Experiments in CRD 10 ซ้ำ ดังนี้ ปัจจัย A คือ จำนวนข้อคือจำนวนข้อ 4, 5, 6 ข้อต่อต้น ปัจจัย B คือ การปลูกในสภาพแปลง และ การปลูกลงกระถาง ผลการทดลองพบว่า การปลูกมันเทศญี่ปุ่นโดยมีจำนวน 4 และ 5 ข้อต่อต้นโดยปลูกในสภาพแปลงจะทำให้มีความยาวของต้นที่ดีที่สุด ส่วนการปลูกมันเทศญี่ปุ่นจำนวนข้อ 4, 5, 6 ข้อต่อต้นโดยปลูกในสภาพแปลงและปลูกลงกระถางนั้นในด้านความยาวหัว จำนวนหัว น้ำหนักผลผลิตและความหวาน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

คำสำคัญ: มันเทศญี่ปุ่น, ไม้กระถาง, ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น

Abstract

Comparison of Growth of Sweet Potato (*Impomoea batatas*) at Department of Pant Science, Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology. Stems were 4-6 node were grown in the bed and conteners for 90 days. The 3x2 factorial arrangement in the comfortably randomized design (CRD) consisted of two factors 10 replications. Factor A was number of nodes: 4,5,6 node. Factor B was grown in the bed and in the containers. The results showed that stem number of nodes: 4 and 5 nodes were grown in the bed were greatest. But number of nodes: 4,5,6 was grown in the bed and in the containers were non-significant length tuber, number of tubers, weight and percentage of Brix.

Keywords: Sweet potato, Potted plant and stem

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000
[1] Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, 5200
* Corresponding author: rungpop116@gmail.com

บทนำ

มันเทศมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea batatas* วงศ์ Convolvulaceae สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน เป็นพืชที่มีความสำคัญมากชนิดหนึ่งโดยเฉพาะในแถบเอเชียและแอฟริกา มันเทศเป็นแหล่งอาหารที่อุดมด้วยสารอาหารหลายชนิด ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เบต้าแคโรทีน วิตามินซี และสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้ปริมาณสารสำคัญขึ้นกับสีเนื้อมันเทศซึ่งมีหลากหลายตั้งแต่สีขาว ครีม เหลือง ส้ม และ ม่วง (สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรที่ 6, 2563)

มันเทศญี่ปุ่นพันธุ์โอกินาวา หรือเบนิอิโมะ นำเข้ามายังเกาะโอกินาวา จากจังหวัดฝูเจี้ยน ประเทศจีน เมื่อปี ค.ศ. 1605 โดยหน่วยงานควบคุมพืชผักของประเทศ ด้วยลักษณะพื้นดินของ โอกินาวา เป็นชั้นดินโปร่ง ระบายน้ำได้ดี การทำนาหรือปลูกข้าวไม่มีความเหมาะสม จึงมีการนำมันเทศสีม่วงมาจากประเทศจีนมาทดลองปลูกพบว่ามีความทนทานต่อสภาพอากาศแปรปรวน ทนทานต่อพายุที่รุนแรงที่เกิดขึ้นบนเกาะได้ดีและสามารถเติบโตให้ผลผลิตได้อย่างดี จึงทำให้การปลูกพันธุ์เบนิอิโมะแพร่หลายมากขึ้น ซึ่งมันเทศญี่ปุ่นในประเทศไทยได้นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่น มีลักษณะเนื้อแน่นเหนียวนุ่มละเอียด และรสชาติหวานอร่อยกว่ามันเทศของประเทศไทย มีสีเปลือกและสีเนื้อหัวแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ เช่น สีเหลือง สีม่วง และสีส้ม เป็นพืชที่ใช้น้ำน้อยมีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ได้แก่ แอนโธไซยานิน (สารสีม่วง) และแคโรทีนอยด์ (สารสีเหลืองส้ม) และสารชนิดอื่นที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพอีกหลายชนิด (Kim et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีสารต้านมะเร็งสูง และมีคุณสมบัติในการป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด (Teow et al., 2007) ซึ่งกำลังเป็นกระแสความนิยมของผู้บริโภคที่ห่วงใยสุขภาพและเป็นที่ต้องการของตลาดอย่างมาก

ม่วงโอกินาวา ใบเป็นรูปหัวใจ (cordate) ขอบใบเป็นแฉก (parted) มี 3 แฉก ปลายใบแหลม (acute) ฐานใบรูปติ่งหู (auriculate) ใบอ่อนสีเขียวอ่อน ใบแก่สีเขียว ขนาดใบกว้างเฉลี่ย 13.29 เซนติเมตร ยาวเฉลี่ย 11.20 เซนติเมตร ยอดสีเขียวอมม่วง ทอดยอดและชูตั้งขึ้นสูง เถาหรือลำต้น สีเขียวอมม่วง ออกดอกเป็นช่อ 3–11 ดอก บริเวณซอกใบ ก้านดอกยาวเฉลี่ย 22.30 เซนติเมตร ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) มีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย อยู่ในดอกเดียวกัน กลีบเลี้ยงมี 5 กลีบ สีม่วงอมเขียว กลีบดอกสีม่วงอ่อนมี 5 กลีบ เชื่อมติดกัน เป็นรูประฆัง (bell–shaped) มีขนาดดอกใหญ่กว่าพันธุ์อื่น เมื่อดอกบานเต็มที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 5.10 เซนติเมตร และยาวเฉลี่ย 4.10 เซนติเมตร หัวรูปทรงยาวรี (long elliptic) หัวท้ายแหลมการจัดเรียงตัวของหัวแบบ open cluster ผิวสีม่วงเทา เนื้อหัวสีม่วงอ่อน มีจำนวนหัว 5–15 หัวต่อต้น การปลูกมันเทศญี่ปุ่น ส่วนใหญ่ปลูกลงแปลงมีวิธีการเตรียมดิน คือ ไถดะ ตากดินไว้ 10–20 วัน เพื่อกำจัดโรค แมลงและวัชพืชต่าง ๆ แล้วจึงไถพรวน 1–2 ครั้ง เพื่อให้ดินร่วนซุย การปลูกมันเทศใช้ระยะปลูก 30x100 เซนติเมตร การใช้ลำต้นหรือเถาตัดเป็นท่อนๆ ละ 1 ข้อ ปักชำในกระบะทรายในปริมาณ 7–10 วัน มันเทศจะแตกรากใหม่นำไปปลูกลงในแปลง วิธีที่เกษตรกรนิยมคือการใช้ลำต้นหรือเถาโดยนำเถามันเทศญี่ปุ่นอายุประมาณ 2 เดือน ตัดเป็นท่อนความยาวท่อนละ 25–40 เซนติเมตร นำไปปลูกบนแปลงที่เตรียมไว้ และการปลูกมันเทศญี่ปุ่นในกระถางวัสดุปลูกที่สำคัญคือ ดินร่วน แกลบดำ แกลบดิบ และ ปุ๋ยคอก อัตราส่วน 1:1:1:1 ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน รดน้ำให้ชุ่ม นำยอดมันเทศที่เตรียมไว้ความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร (ทวีศักดิ์, 2561) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการใช้วัสดุ ได้แก่ ดินร่วน กาบมะพร้าวสับหยาบ ฟางข้าวสับหยาบ มูไก่ อัตราส่วน 2:1.1:1 มีผลทำให้มันเทศญี่ปุ่นเจริญเติบโตและลงหัวและให้ผลผลิตที่ดี (สายลม เดินทาง, 2563) การปักชำกิ่งเป็นการขยายพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ โดยการตัดส่วนของกิ่งหรือลำต้นพืชออกจากต้นเดิมไปเก็บไว้ในที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมทำให้ส่วนของกิ่งของพืชมีรากงอกและแตกยอด เจริญเติบโตเป็นต้นใหม่ได้ การปักชำมีวิธีการปฏิบัติ คือ ตัดกิ่งที่มีใบติดมาด้วยจำนวนมาก เพื่อทำหน้าที่สังเคราะห์แสง กิ่งอ่อนหรือยอด ตัดกิ่งยาวประมาณ 15–20 เซนติเมตร ตัดใบออก 1 ใน 3 ส่วนของกิ่ง การปลูกมันเทศญี่ปุ่นด้วยยอดมีจำนวน 9 ข้อ มีผลทำให้จำนวนหัวต่อต้นดีที่สุด ขนาดของปล้องดีที่สุด และความยาวหัวดีที่สุด (Kibrom et al, 2015) มันเทศญี่ปุ่น หากได้ยอดพันธุ์ที่มาจากหัวพันธุ์จะมีคุณภาพและมีความแข็งแรงมากกว่าท่อนพันธุ์ที่ได้จากยอดที่มาจากการปักชำกิ่งพันธุ์ ผลผลิตที่ได้จะมีคุณภาพ

การลงหัวจะมีคุณภาพดี (นายสวน, 2564) ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันเทศญี่ปุ่น

1. การเตรียมต้นพันธุ์ เลือกลำต้นส่วนยอดมันเทศญี่ปุ่นอายุ 2 เดือน จำนวนข้อ 4, 5 และ 6 ข้อ ความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร แช่น้ำผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา อัตรา 30 กรัมต่อน้ำ 10 ลิตร ประมาณ 30 นาที เพื่อป้องกันโรครากเน่า จากนั้นนำมาปลูกตามแผนการทดลองที่วางไว้

2. การเตรียมแปลงและการเตรียมวัสดุปลูก

2.1 การเตรียมแปลง โดยการขุดพลิกดินตากประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อกำจัดวัชพืชและศัตรูพืชที่อาศัยอยู่ในดิน และนำดินไปวัดค่า pH และทำการปรับปรุงดินให้มีความโปร่ง ร่วนซุย ดังนี้ ดิน: แกลบดิบ: ทราย: มูลไก่ อัตราส่วน 2:1:1:1 ผสมให้เข้ากัน ขนาดแปลงกว้างxยาวxสูง (50x50x50 เซนติเมตร) เติม เชื้อไตรโคเดอร์มา 2 กรัมต่อกระถาง

2.2 การเตรียมวัสดุปลูกและกระถาง คือ ดิน: แกลบดิบ: ทราย: มูลไก่ อัตราส่วน 2:1:1:1 ผสมให้เข้ากัน เติม เชื้อไตรโคเดอร์มา 2 กรัมต่อกระถาง บรรจุลงกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 43 เซนติเมตร ความลึก 40 เซนติเมตร

3. การดูแลรักษา

3.1 การให้น้ำ สัปดาห์ที่ 1 รดน้ำวันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น

สัปดาห์ที่ 2 รดน้ำวันละ 1 ครั้ง ช่วงเช้า เมื่อต้นมันเทศญี่ปุ่นเจริญเติบโตแตกกิ่งก้านทอดเลื้อยเต็มพื้นที่แปลง ทอดเลื้อยเต็มพื้นที่กระถาง ให้รดน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง และงดการให้น้ำ 30 วันก่อนทำการเก็บเกี่ยว

3.2 การให้ปุ๋ย

- อายุ 14 วัน ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 15 กรัมต่อต้น
- อายุ 60 วัน ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 อัตรา 30 กรัมต่อต้น

เพื่อบำรุงหัวและเพิ่มความหวานหัวมันเทศญี่ปุ่น

3.3 การจัดการลำต้นมันเทศญี่ปุ่น (การตลบเถา) เมื่อลำต้นมันเทศญี่ปุ่นเจริญเติบโตเต็มที่จะแตกกิ่งก้านเป็นจำนวนมาก เลื้อยออกจากแปลงและกระถาง ให้ทำการตลบต้นมันเทศญี่ปุ่นให้เลื้อยบนแปลงและในกระถาง ครั้งแรกเมื่ออายุ 60 วัน ครั้งที่ 2 เมื่ออายุ 80 วัน เพื่อกระตุ้นมันเทศญี่ปุ่นให้เกิดการสร้างหัว

3.4 การป้องกันกำจัดศัตรูพืช

1) วิธีเขตกรรม โดยการเตรียมดิน ไถพลิก ตากดิน เพื่อกำจัดวัชพืช โรค แมลง ที่อาศัยอยู่ในดิน

2) วิธีชีววิธี โดยใช้สารชีวภัณฑ์ได้แก่

- เชื้อราไตรโคเดอร์มา รองพื้นก่อนปลูกเพื่อป้องกันโรครากเน่า โคนเน่า อัตราที่ใช้ 2-3 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 20 ลิตร
- เชื้อราบิวเวอร์เรีย ป้องกันกำจัด ด้วงเต่าผักบุ้ง ด้วงเต่ามันเทศ อัตราที่ใช้ 2-3 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 20 ลิตร
- เชื้อราเมตาไรเซียมผสมปุ๋ยอัตรา 1:2 คลุกลงในดินช่วงมันเทศญี่ปุ่นเริ่มสร้างหัว

4. การวางแผนการทดลอง

จัดสิ่งทดลองแบบ 3X2 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial experiments in CRD) 10 ซ้ำ มี 2 ปัจจัยดังนี้

ปัจจัย A คือ จำนวนข้อ 1) A1 ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น 4 ข้อต่อต้น 2) A2 ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น 5 ข้อต่อต้น 3) A3 ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น 6 ข้อ

ปัจจัย B คือ วิธีการปลูก 1) B1 ปลูกลงแปลง 2) B2 ปลูกลงกระถาง

จำนวน 6 กรรมวิธีได้แก่

สิ่งทดลอง (T1) ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น 4 ข้อต่อต้นปลูกลงแปลง

สิ่งทดลอง (T2) ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น 5 ข้อต่อต้นปลูกลงแปลง

สิ่งทดลอง (T3) ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น 6 ข้อต่อต้นปลูกลงแปลง

สิ่งทดลอง (T4) ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น 4 ข้อต่อต้นปลูกลงกระถาง

สิ่งทดลอง (T5) ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น 5 ข้อต่อต้นปลูกลงกระถาง

สิ่งทดลอง (T6) ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น 4 ข้อต่อต้นปลูกลงกระถาง

5. การบันทึกข้อมูล

บันทึกการเจริญเติบโตของลำต้น ได้แก่

5.1 การวัดความยาวลำต้น วัดจากส่วนยอดถึงโคนต้นของมันเทศญี่ปุ่น เก็บข้อมูลทุก 15 วัน

5.2 จำนวนหัวต่อต้น นำผลผลิตของมันเทศญี่ปุ่นนับทุกหัวต่อต้น ในวันเก็บเกี่ยวผลผลิต

5.3 น้ำหนัก นำผลผลิตของมันเทศญี่ปุ่นแต่ละกรรมวิธีมาชั่ง น้ำหนัก (กรัม)

5.4 ความยาวหัว วัดจากส่วนหัวถึงปลายหัวของมันเทศญี่ปุ่น (เซนติเมตร)

5.5 ความหวาน นำหัวมันเทศที่มีลักษณะดี สวย ล้างให้สะอาด นำมานึ่งให้สุก บดให้ละเอียด และเติมน้ำสะอาด 2-3 หยด ก่อนทำการวัด (องศาบริกซ์)

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างทางสถิติระหว่างสิ่งทดลองโดยใช้ Duncan' s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไป

ผลการศึกษา

จากการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของมันเทศญี่ปุ่น ผลการทดลองมีดังนี้

1. ความยาวของลำต้น เมื่อต้นมันเทศญี่ปุ่นอายุได้ 90 วัน การใช้จำนวนข้อ 4, 5 ข้อต่อต้น โดยการปลูกลงแปลงทำให้มีความยาวลำต้นดีที่สุดคือ 448.29 และ 444.56 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือ การใช้จำนวนข้อ 6 ข้อปลูกลงแปลง มีความยาวลำต้นเท่ากับ 348.02 เซนติเมตร ส่วนการใช้จำนวนข้อ 4, 5 และ 6 โดยการปลูกลงกระถางทำให้มีความยาวลำต้นน้อยที่สุดคือ 284.37, 285.13 และ 286.08 เซนติเมตร ตามลำดับ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 1)

2. ความยาวหัว พบว่า การใช้จำนวนข้อ 4, 5 และ 6 ข้อ ต่อต้นและวิธีการปลูกลงแปลงหรือปลูกลงกระถางไม่มีผลต่อความยาวหัว ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1)

3. จำนวนหัว พบว่า การใช้จำนวนข้อ 4, 5 และ 6 ข้อ ต่อเถาและวิธีการปลูกลงแปลงหรือปลูกลงกระถางไม่มีผลต่อจำนวนหัว ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1)

4. น้ำหนัก พบว่า การใช้จำนวนข้อ 4, 5 และ 6 ข้อ ต่อเถาและวิธีการปลูกลงแปลงหรือปลูกลงกระถาง ไม่มีผลต่อน้ำหนักหัว ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)

5. ความหวาน พบว่า การใช้จำนวนข้อ 4, 5 และ 6 ข้อ ต่อเถาและวิธีการปลูกลงแปลงหรือปลูกลงกระถางไม่มีผลต่อความหวาน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 1 ลักษณะสภาพพื้นที่ทดลอง: แปลงปลูกและการปลูกลงกระถาง



ภาพที่ 2 ลักษณะหัวมันเทศญี่ปุ่นในแต่ละกรรมวิธี

ตารางที่ 1 ผลของจำนวนข้อและลักษณะการปลูกมันเทศญี่ปุ่นที่มีผลต่อความยาวลำต้น ความยาวหัว และจำนวนหัว

กรรมวิธี	ความยาวลำต้น (ซม.)	ความยาวหัว (ซม.)	จำนวนหัว(หัว)
ลำต้น 4 ข้อ:ปลูกลงแปลง	448.29a	5.14	5.9
ลำต้น 5 ข้อ:ปลูกลงแปลง	444.56a	7.08	4.5
ลำต้น 6 ข้อ:ปลูกลงแปลง	348.02b	5.30	6.9
ลำต้น 4 ข้อ:ปลูกลงกระถาง	284.37c	7.91	5.3
ลำต้น 5 ข้อ:ปลูกลงกระถาง	285.13c	5.78	4.0
ลำต้น 6 ข้อ:ปลูกลงกระถาง	286.08c	7.17	4.6
C.V.%	8.57	25.72	37.27
F-test	**	ns	ns

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ * มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ตารางที่ 2 ผลของจำนวนข้อและลักษณะการปลูกมันเทศญี่ปุ่นที่มีผลต่อน้ำหนัก และความหวาน

กรรมวิธี	น้ำหนัก (กรัม)	ความหวาน (องศาบริกซ์)
ลำต้น 4 ข้อ:ปลูกลงแปลง	130.70	5.20
ลำต้น 5 ข้อ:ปลูกลงแปลง	207.00	5.90
ลำต้น 6 ข้อ:ปลูกลงแปลง	140.30	5.30
ลำต้น 4 ข้อ:ปลูกลงกระถาง	234.60	4.95
ลำต้น 5 ข้อ:ปลูกลงกระถาง	129.30	4.65
ลำต้น 6 ข้อ:ปลูกลงกระถาง	203.40	5.10
C.V.%	46.86	20.79
F-test	ns	ns

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาผลของวิธีการปลูกต่อการเจริญเติบโตของมันเทศญี่ปุ่นจำนวน 6 กรรมวิธี ผลปรากฏว่า

ด้านลำต้น เมื่อใช้ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น ความยาว 30 เซนติเมตร จำนวนข้อ 4 ข้อและ 5 ข้อต่อต้น ปลูกลงแปลง มีผลต่อความยาวต้นดีที่สุดคือ 448.24 เซนติเมตร และ 444.56 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ละอองศรี และ คณะ (2561) กล่าวว่าการใช้ลำต้นมันเทศญี่ปุ่นยาว 30 เซนติเมตร ทำให้ความยาวของลำต้นดีที่สุด มีความยาวเท่ากับ 269.80 เซนติเมตร นอกจากนี้มีความสอดคล้องกับงานรายงานของ Jill, (1988) กล่าวว่า การใช้ลำต้นมันเทศญี่ปุ่น ความยาว 30-40 เซนติเมตร และใช้ส่วนยอดจะทำให้ผลผลิตมีคุณภาพที่ดี แตกต่างกับ Kibrom et al, (2015) รายงานว่าการปลูกมันเทศญี่ปุ่นด้วยยอดมีจำนวน 9 ข้อ มีผลทำให้จำนวนหัวต่อต้นดีที่สุด ขนาดของปล้องดีที่สุด และความยาวหัวดีที่สุด

ส่วนวิธีการปลูกนั้น พบว่า การปลูกมันเทศญี่ปุ่นที่ปลูกในสภาพแปลงจะทำให้ความยาวของลำต้นดีกว่าการปลูกลงกระถาง อาจเนื่องมาจากแปลงปลูกมีพื้นที่กว้างxยาวxสูง ขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ขุดหน้าดินได้ลึก ดินร่วนซุย รากเจริญเติบโตได้ดี สามารถหาอาหารได้ในชั้นใต้ดินได้ลึก นอกจากนี้ในแปลงมีธาตุอาหารและจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช (บ้านและสวน, 2565)

ส่วนการเจริญเติบโตด้านอื่น ๆ ได้แก่ ความยาวหัว น้ำหนักหัว และ ความหวาน ซึ่งการใช้ลำต้นที่มีจำนวนข้อที่ความแตกต่างกันได้แก่ 4, 5 และ 6 ข้อ ปลูกในสภาพแปลงหรือปลูกลงกระถางไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จากผลการทดลองพบว่า การปลูกมันเทศญี่ปุ่นนั้นสามารถให้ผลผลิตที่ดีได้เมื่อปลูกทั้งในสภาพแปลงและปลูกลงกระถาง ซึ่งกระถางที่ใช้ปลูกควรมีขนาดใหญ่และมีความลึกที่เหมาะสม ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 เซนติเมตร ความลึก 40 เซนติเมตร ซึ่งในปัจจุบันนี้การปลูกพืชลงกระถางนั้นเป็นที่นิยมกันเป็นอย่างมาก เพราะสามารถนำมาเป็นไม้ประดับ ตกแต่งสถานที่ เหมาะกับพื้นที่ขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายได้ง่าย ทำได้ง่ายสะดวก สบาย ควบคุมปริมาณน้ำ ปุ๋ย ดิน อินทรียวัตถุ กำจัดวัชพืชได้ง่าย และมีการออกแบบที่สวยงามนำมาตกแต่งเป็นสวนจัดแสดงได้ (บ้านและสวน, 2565) นอกจากนี้การปลูกมันเทศญี่ปุ่นในกระถางมีข้อดีคือ หัวมีขนาดใหญ่รสชาติดี (ทวีศักดิ์, 2561) มีรายงานว่าการปลูกในกระสอบนั้นมีคล้ายคลึงกับการปลูกลงกระถางคือสามารถลดการระบาดของแมลงศัตรูพืชได้ดี ระบายน้ำดี ผลผลิตมีคุณภาพ ไม่มีสารพิษตกค้าง สามารถส่งเสริมให้ผู้สนใจได้ปลูกเพื่อการบริโภคในครัวเรือนที่บริเวณรอบบ้านมีพื้นที่จำกัดหรือพื้นที่ไม่เหมาะสมต่อไป (สุภา. 2565)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลราชมงคลล้านนา ลำปาง ที่สนับสนุนงานวิจัยและขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลราชมงคลล้านนา ลำปาง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทดลองงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ. (2561). *เจาะเทคนิคมันเทศเชิงพาณิชย์.* (2565). สืบค้น 5 กันยายน 2566, จาก https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_125208

นายสวน. (2564). *วิธีปลูกมันเทศญี่ปุ่น.* สืบค้น 11 กันยายน 2566, จาก https://www.orchidtropical.com/sweet-potato.

บ้านและสวน. (2565). *แปลงผักสวนครัว เลือกกระบะปลูกแบบไหนให้สวย.* สืบค้น 6 กันยายน 2566, จาก http://www. Baanlaesaun.com.

ละอองศรี ศิริเกสร สุชาดา บุญเลิศนิรันดร์ และ วชิรญา เหลียวตระกูล. (2561). การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันเทศ 6 พันธุ์. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 10*(3): 411-423.

สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรที่ 6. (2563). *ศึกษาการปลูกมันเทศญี่ปุ่น 5 พันธุ์.* (รายงานผลการวิจัย) กรมส่งเสริมการเกษตร, จังหวัดเชียงใหม่.

สุภา ออมจิตร. (2565). *การปลูกมันเทศญี่ปุ่นกระสอบ.* สืบค้น 11 กันยายน 2566, จาก https://webapp.ldd.go.th/LDDCon65/data/exhibition/6.pdf

สายลมเดินทาง. (2563). สืบค้น 11 กันยายน 2566, จาก https://pantip.com/topic/39991188

อภิสิทธิ์ โต่งวณิช ปราโมทย์ พรสุริยา และ ธนาวัฒน์ เยมอ. (2563). วัสดุปลูกสำหรับการปลูกสลัด Red Oak. *วารสารแก่นเกษตร 48*(1): 1093-1100.

Jill E, Wilson. 1988. *Sweet Potato (Ipomoe batatatas) Planting Material.* Senior Fellow in Tropical Crop Production, Department of Agronomy and Soi Science, University of Hawaii at Manoa. Honolulu, USA.

Kibrom, B., Amsalu, N., และ Merkb, G., (2015). Effect of Number of Nodes and Storage Duration of Vine Cutting on Growth, Yeild and Yeild Components of Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) at Jimma, *Southwest Ethiopia Journal of Plant&Soil Science 9*(5):1-14.

Kim, H.J.,Park, W.S., Bae, J.Y., Kang, S.Y.,Yang, M.H, Lee,S. and Ahn, M.J. 2015. Variations in the carotenoid aand anthocyanin contents of Korean cultural varieties and home processed sweet potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis 41*:188-193.

Teow, C.C., Truong, V.D., McFeeters, R.F., Thompson, R.., Pecota, K.V. and Yencho, G.C., (2007). Antioxidant activities, phenolic and β-carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chemestry 103*:829-838.

การเจริญเติบโตของผลและดัชนีการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพผลอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮี

Fruit development and harvesting index on fruit quality of Barhee date palm

สุมิตร วิลัยพร[1*], ศิรกานต์ ศรีธัญรัตน์[2] และ ศิริลักษณ์ อินทะวงศ์[1]

Sumit Wilaiporn[1*], Siragan Srithanrat[2] and Siriluck Inthawong[1]

บทคัดย่อ

ศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของผลอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮีเพื่อหาดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ดำเนินการในสวนอินทผลัมของเกษตรกร อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ในปี 2565-2566 โดยสุ่มผลอินทผลัมทุก 10 วัน ตั้งแต่อายุ 0-190 วันหลังผสมเกสร มาบันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและคุณภาพผล พบว่า การเจริญเติบโตของผลเป็นแบบ single sigmoid curve โดยมีน้ำหนักผล ขนาดผล และน้ำหนักเนื้อผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 70-140 วันหลังผสมเกสร จากนั้นเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจนมีค่าคงที่ เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตของเมล็ด ที่พบว่าน้ำหนักเมล็ด และขนาดเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 50-110 วันหลังผสมเกสร จากนั้นเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจนมีค่าคงที่ ด้านสีผิวผลพบว่า ผิวเป็นสีขาว (WN 155B) ในระยะผสมเกสร จากนั้นเปลี่ยนเป็นสีเขียว (G 143A) เมื่ออายุ 20-120 วันหลังผสมเกสร เปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผลเมื่ออายุ 150 วันหลังผสมเกสร และเป็นสีเหลืองเข้ม (YO 15B) เมื่ออายุ 170 วันหลังผสมเกสร โดยการเปลี่ยนแปลงสีผิวเป็นสีเหลืองมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ตามอายุผล ซึ่ง TSS มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออายุ 130-160 วันหลังผสมเกสร จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยมีค่าระหว่าง 28.35-32.27 % ดังนั้น ดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮี คือ การเก็บเกี่ยวช่วงอายุ 170-190 วันหลังผสมเกสร สีผิวเป็นสีเหลืองเข้ม (YO 15B) และ TSS 28 % ขึ้นไป

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต, คุณภาพ, ดัชนีการเก็บเกี่ยว, อินทผลัม

[1] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร จังหวัดเชียงใหม่ 50110

[2] กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900

[1] Chiang Mai Agricultural Research and Development Center, Department of Agriculture, Chiang Mai, 50110

[2] Postharvest and Processing Research and Development Division, Bangkok, 10900

* Corresponding author: sumit_200@hotmail.com

Abstract

Study on growth and development of date palm “Barhee” fruits was investigated from date palm trees in Fang, Chiang mai, Thailand in 2022–2023. Date palm fruits were collected randomly every 10 days from 0–190 days after pollination (DAP). The samples were investigated for fruit physical and quality change. It was found that, the growth pattern of Barhee date palm fruits followed a single sigmoid curve. Fruit weight, size, and pulp weight increased rapidly during the period between 70–140 DAP. After this period, these characteristics increased slightly and eventually remained. Moreover, seed growth had the same pattern changing with fruit growth. Seed weight and size increased rapidly during the period between 50–110 DAP. After this period, these characteristics increased slightly and eventually remained. Peel color was white color (WN 155B) in pollination period, then changed into green (G 143A) in 20–120 DAP. After 150 DAP peel color developed to yellow, and become to deep yellow (YO 15B) after 170 DAP. However, peel fruit color and total soluble solid (TSS) content related to fruit age, high TSS content was found in 130–160 DAP, Then there was slight increase between 28.35–32.27 %. Therefore, the optimum harvest index for the Barhee date palm is harvested 170–190 DAP, peel color is dark yellow (YO 15B) and more than TSS 28 %.

Keywords: Growth, Quality, Harvest index, Date palm

บทนำ

อินทผลัมเป็นพืชเศรษฐกิจในแถบตะวันออกกลาง ประเทศที่มีการผลิตอินทผลัมมากที่สุดในโลกเมื่อปี 2563 คือ ประเทศอียิปต์ ปริมาณผลผลิต 1.69 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 17.89 รองลงมา ได้แก่ ซาอุดิอาระเบีย อิหร่าน แอลจีเรีย อิรักและปากีสถาน (FAO, 2020) สำหรับประเทศไทยอินทผลัมเป็นไม้ผลเศรษฐกิจชนิดใหม่ที่ได้รับความนิยมจากเกษตรกรอย่างมาก และมีความต้องการของตลาดสูง เนื่องจากผลมีรสชาติหวานอร่อยและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ทำให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนสามารถพัฒนาเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคตได้ ในปี 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอินทผลัม 14,725 ไร่ จากเกษตรกร 1,863 ครัวเรือน ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ 5,164 ตัน ปริมาณผลผลิต 1,665 กิโลกรัมต่อไร่ และราคาขายเฉลี่ย 256 บาทต่อกิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2565) คิดเป็นมูลค่า 1,300 ล้านบาท โดยมีแหล่งปลูกสำคัญอยู่ที่จังหวัดขอนแก่น กาญจนบุรี ชัยภูมิ และบุรีรัมย์ เกษตรกรส่วนมากนิยมปลูกพันธุ์บาร์ฮี

ผลอินทผลัมจัดเป็น non-climacteric fruit ที่ต้องเก็บเกี่ยวในระยะผลสุกแก่เต็มที่เท่านั้นจึงมีคุณภาพผลสูงสุด ผลแบบเบอร์รีเกิดการพัฒนาจาก 1 รังไข่ และ 1 เมล็ด ผลอินทผลัมมีการเจริญเติบโตในรูปแบบ single sigmoid curve ซึ่งประกอบด้วย 3 ช่วง โดย ช่วงแรกผลมีการเจริญเติบโตอย่างช้า ๆ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการแบ่งตัวของเซลล์ แล้วเข้าสู่ช่วงที่ 2 ซึ่งผลมีการเติบโตอย่างรวดเร็วมีสาเหตุหลักมาจากการยืดและขยายขนาดของเซลล์ จากนั้นเข้าสู่ช่วงที่ 3 ของการแก่ทางสรีรวิทยา เรียกว่าระยะ Khalal (Ibrahim, 1996) นอกจากนี้ ระยะการเจริญเติบโตของผลอินทผลัมสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 5 ระยะ ได้แก่ 1. Hababouk มีขนาดเท่าเมล็ดถั่วหลังการผสมเกสร 2. Kimri ผลมีสีเขียว ขนาดผลและน้ำหนักผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเฉพาะของแต่ละสายพันธุ์ 3. Khalal อัตราการเพิ่มขึ้นของขนาดผล และน้ำหนักผลลดลงเล็กน้อย จนกว่าขนาดผลและน้ำหนักผลเต็มที่ มีสีผิวเป็นสีเหลืองหรือแดงทั้งผล

ตามสายพันธุ์ 4. Rutab เป็นผลสุก มีลักษณะเฉพาะคือ ผิวคล้ำ สีอำพัน สีน้ำตาล หรือเกือบสีดำ เนื้อผลนุ่ม และความฝาดลดลงหรือไม่ฝาด และ 5. Tamar เป็นผลแห้ง ผิวเหี่ยวย่น ผิวสีน้ำตาลจนเกือบสีดำ เนื้อเหนียวนุ่ม มีรสหวานมากและไม่ฝาด ผลแห้งเกิดจากการสูญเสียน้ำซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในระยะนี้ โดยอัตราส่วนน้ำตาลต่อน้ำในผลสูงพอที่จะป้องกันการหมักและการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ (Reuveni, 1986)

ผลผลิตอินทผลัมที่ดีมีพื้นฐานมาจากสายพันธุ์ การดูแลรักษา และสภาพแวดล้อม รวมไปถึงความสุกแก่ของผลผลิตที่ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลิตผลสดที่เก็บเกี่ยวแล้วมีคุณภาพดี และมีผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค ผลอินทผลัมที่แก่ไม่เต็มที่จะมีรสหวานน้อยและความฝาดสูง และผลที่แก่เกินไปจะมีรสหวานมาก รสฝาดน้อย และความเสียหายเนื่องจากผลร่วง ผลแตกและผลเน่า อายุการเก็บรักษาหรืออายุการวางจำหน่ายสั้น ไม่เหมาะสมสำหรับการขนส่งไปขายยังตลาดที่ห่างไกลเพราะเกิดความเสียหายได้ง่าย แต่อาจเหมาะสมกับตลาดใกล้เคียง

ดังนั้น การเก็บเกี่ยวผลิตผลสดให้ได้คุณภาพดี จึงควรมีหลักเกณฑ์หรือวิธีพิจารณาความสุกแก่ของผลอินทผลัมที่เหมาะสม ที่สามารถบ่งชี้ได้ถูกต้อง ทำได้ง่าย ราคาไม่แพง และสามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ วิธีนี้เรียกว่าดัชนีการเก็บเกี่ยว ซึ่งในแต่ละพืชมีดัชนีการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน และในพืชเดียวกันอาจใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยวหลายอย่างร่วมกัน เพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นได้ อาจขึ้นอยู่กับแหล่งปลูก ฤดูกาล และพันธุ์ (จริงแท้ และธีรนุต, 2543) ในปัจจุบันอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮีมีการนำมาปลูกเป็นการค้าในประเทศไทยอย่างแพร่หลาย แต่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลในช่วงผสมเกสรจนถึงระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมในพื้นที่ การศึกษาในครั้งนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการหาดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสำหรับอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮี ซึ่งจะส่งผลต่อการกำหนดคุณภาพและมาตรฐานในประเทศไทย เพื่อรองรับการผลิต การตลาด และการส่งออกของอินทผลัมที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

วิธีการศึกษา

ดำเนินการในสวนอินทผลัมของเกษตรกรที่ อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างปี 2565–2566 โดยทดสอบกับอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮีอายุ 5 ปี จำนวน 20 ต้น ปลูกในพื้นที่ดินร่วนปนทราย มีความสม่ำเสมอในด้านขนาดลำต้น ความสูงต้น ความสมบูรณ์ ไม่มีการเข้าทำลายจากโรคและแมลงอย่างรุนแรง มีการดูแลรักษาเช่นเดียวกันทุกต้น ผสมเกสรด้วยมือในเดือนกุมภาพันธ์ และใช้เกสรเพศผู้จากพันธุ์บาร์ฮีเพาะเมล็ด หลังจากผสมเกสร 1 เดือน ตัดช่อผลให้มีจำนวนเท่ากันทุกต้น การตัดช่อทิ้งพิจารณาจากช่อดอกที่ออกก่อน ออกหลังสุดหรือช่อเล็กที่สุด แต่งช่อผล 50 % พร้อมทั้งปลิดผลที่ผสมเกสรไม่สมบูรณ์ทิ้ง แล้วห่อช่อผลชั้นนอกด้วยถุงกระดาษสีน้ำตาลและห่อช่อผลชั้นในด้วยถุงตาข่ายไนลอนกันแมลง ติดป้ายระบุวันที่ผสมเกสร จากนั้นสุ่มเก็บผลอินทผลัมต้นละ 4 ช่อ ช่อละ 5 ผล ทุก 10 วัน ตั้งแต่อายุ 0–190 วันหลังผสมเกสร (Days after pollination ; DAP) เก็บเกี่ยวผลในระยะ Khalal แล้วนำมาบันทึกข้อมูล ได้แก่

1. วันที่ผสมเกสร และวันที่เก็บเกี่ยว

2. ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักผล และน้ำหนักเมล็ด ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ความกว้างผล ความยาวผล ความกว้างเมล็ด ความยาวเมล็ด และความหนาเนื้อผล โดยใช้ Vernier calipers วัดจากส่วนที่กว้างและยาวที่สุดของผล เมล็ด และเนื้อผล ในด้านสีผิวผล สีเนื้อ และสีเมล็ด โดยการเทียบสีกับ Color chart ของ The Royal Horticultural Society

3. คุณภาพของผล ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid; TSS) จากน้ำคั้นของเนื้อผลทั้งผลด้วย Hand refractometer

ผลการศึกษา

การศึกษาการเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮีตั้งแต่อายุ 0–190 วันหลังผสมเกสร ประกอบด้วย ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเจริญเติบโตของผล องค์ประกอบผล และคุณภาพภายในผล พบว่า

1. ลักษณะทางกายภาพ (physical characteristics)

1.1 ขนาดผล และขนาดเมล็ด

ขนาดผล สามารถบันทึกขนาดผลอินทผลัมได้ตั้งแต่ผสมเกสร ผลอ่อนมีความกว้างผลและความยาวผล 3.66 และ 3.91 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีขนาดผลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยขนาดผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่อายุ 50 จนถึง 110 วันหลังผสมเกสร ซึ่งมีความกว้างผลและความยาวผล 25.06 และ 31.86 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นขนาดผลมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนกระทั่งมีขนาดผลเต็มที่เมื่ออายุ 130 วันหลังผสมเกสร มีความกว้างผลและความยาวผล 26.59 และ 34.29 มิลลิเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นขนาดผลไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Figure 1)

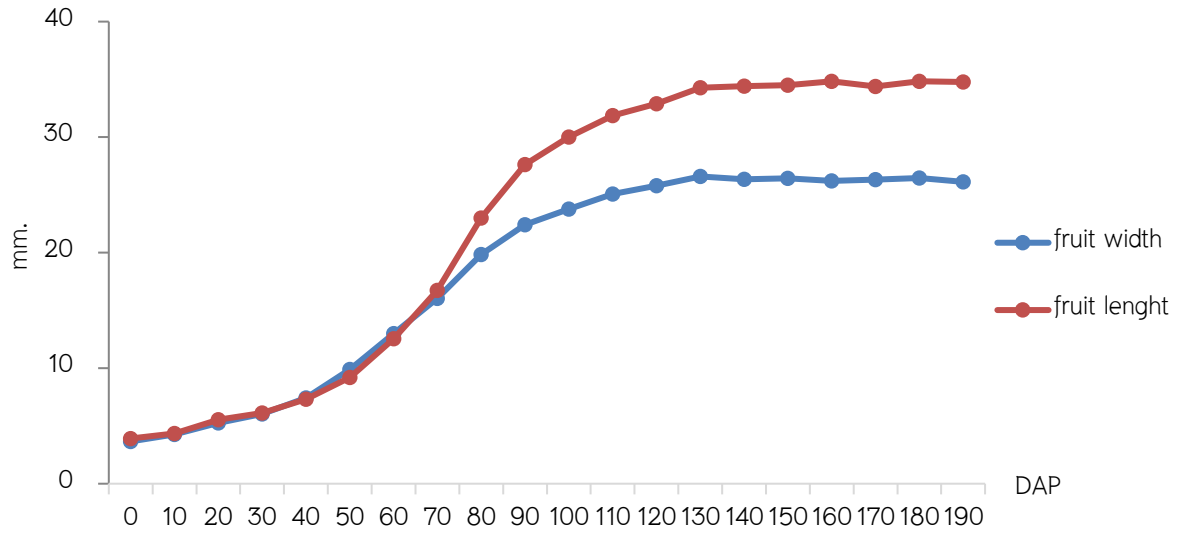


Figure 1 Fruit width and fruit length of Barhee date palm during fruit development

ขนาดเมล็ด ผลอ่อนอินทผลัมเมื่อผสมเกสรยังไม่เกิดการพัฒนาของเมล็ดภายในรังไข่ พบเป็นไข่ (ovule) สีใส และมีขนาดเล็กมากไม่สามารถวัดขนาดได้ จนกระทั่งผลมีอายุ 10 วันหลังผสมเกสร ไข่เกิดการพัฒนาเป็นเมล็ดสีขาวขนาดเล็ก มีความกว้างเมล็ดและความยาวเมล็ด 0.10 และ 0.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีขนาดเมล็ดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงอายุ 10 ถึง 40 วันหลังผสมเกสร และขนาดเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่อายุ 50 จนถึง 100 วันหลังผสมเกสร มีความกว้างเมล็ด และความยาวเมล็ด 9.90 และ 23.10 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นขนาดเมล็ดมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนกระทั่งมีขนาดเมล็ดสูงสุดที่อายุ 110 วันหลังผสมเกสร โดยมีความกว้างเมล็ดและความยาวเมล็ด 10.29 และ 24.32 มิลลิเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นขนาดเมล็ดมีค่าคงที่ (Figure 2)

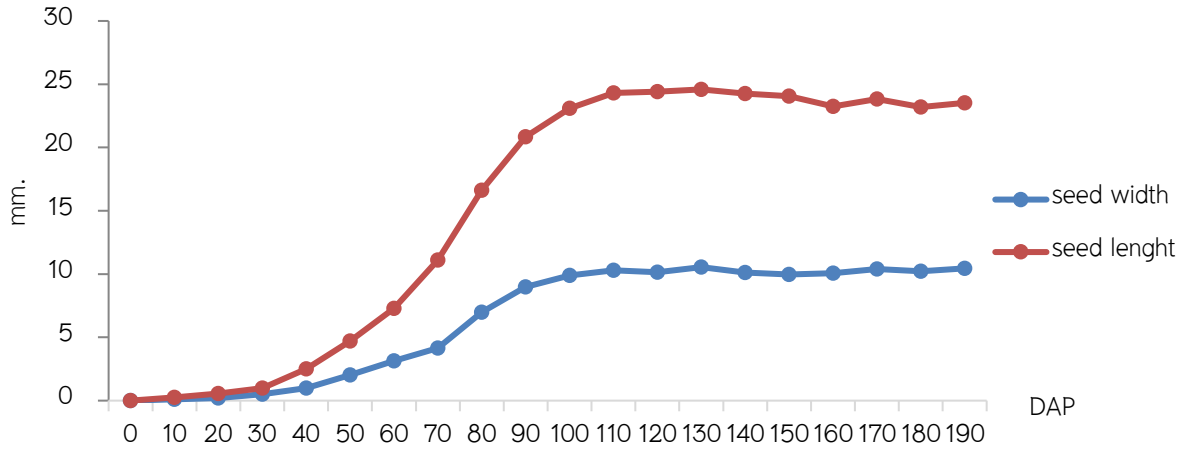


Figure 2 Seed width and seed length of Barhee date palm during fruit development

1.2 น้ำหนักผล น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนักเนื้อผล

น้ำหนักผล ผลอ่อนอินทผลัมอายุ 0 ถึง 60 วันหลังผสมเกสร มีน้ำหนักผลเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยเพิ่มจาก 0.03 เป็น 1.27 กรัม จากนั้นอัตราการเพิ่มของน้ำหนักผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุผล 70–140 วันหลังผสมเกสร โดยน้ำหนักผลเพิ่มจาก 2.58 เป็น 13.21 กรัม โดยมีน้ำหนักผลสูงสุดในวันที่ 150 วันหลังผสมเกสร มีค่า 13.50 กรัม หลังจากนั้นมีค่าคงที่จนกระทั่งผลสุกแก่ (Figure 3)

น้ำหนักเมล็ด น้ำหนักเมล็ดอินทผลัมเมื่อผสมเกสรมีค่า 0 กรัม และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนอายุ 70 วันหลังผสมเกสร มีน้ำหนักเมล็ด 0.14 กรัม จากนั้นน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 80–110 วันหลังผสมเกสร มีค่า 0.42 และ 1.35 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเมล็ดสูงสุดที่อายุ 120 วันหลังผสมเกสร มีค่า 1.36 กรัม หลังจากนั้นมีค่าคงที่จนกระทั่งอายุ 190 วันหลังผสมเกสร (Figure 3)

น้ำหนักเนื้อผล เนื้อผลอินทผลัมเป็นส่วนประกอบของผลที่รวมส่วนของเนื้อผลและเปลือกบางไม่สามารถแยกเปลือกออกจากเนื้อผลได้ น้ำหนักเนื้อผลที่อายุ 0–60 วันหลังผสมเกสร น้ำหนักเนื้อผลเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยเพิ่มจาก 0.03 เป็น 1.23 กรัม จากนั้นอัตราการเพิ่มของน้ำหนักเนื้อผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุผล 70–140 วันหลังผสมเกสร โดยน้ำหนักเนื้อผลเพิ่มจาก 2.44 เป็น 11.84 กรัม โดยมีน้ำหนักเนื้อผลสูงสุดในวันที่ 150 วันหลังผสมเกสร มีค่า 12.20 กรัม หลังจากนั้นมีค่าคงที่จนกระทั่งผลสุกแก่ (Figure 3)

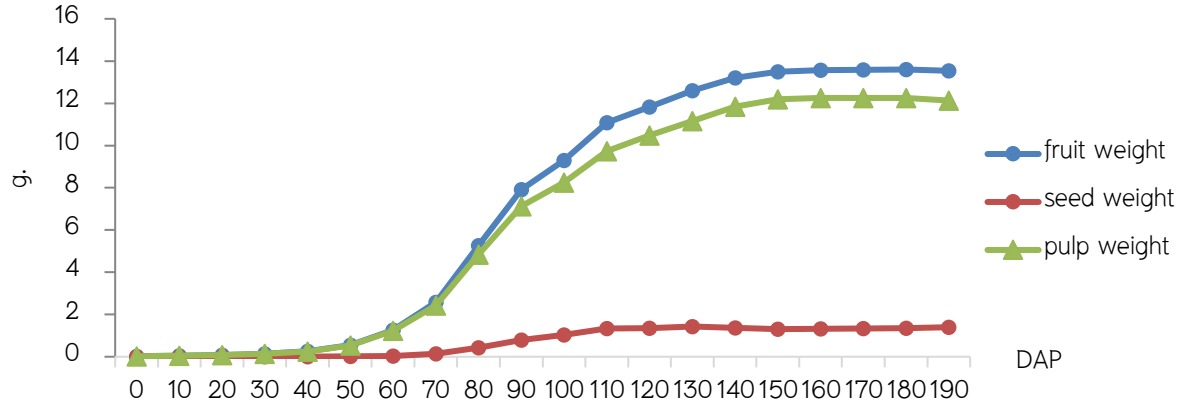


Figure 3 Fruit weight, seed weight and pulp weight of Barhee date palm during fruit development

1.3 ความหนาเนื้อผล

ความหนาเนื้อผล ผลอ่อนอินทผลัมเมื่อผสมเกสรมีความหนาของเนื้อผล 1.52 มิลลิเมตร ความหนาเนื้อผลเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนถึงอายุ 40 วันหลังผสมเกสร และความหนาเนื้อผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่อายุ 50 จนถึง 110 วันหลังผสมเกสร โดยมีความหนาเนื้อผล 5.89 มิลลิเมตร จากนั้นความหนาเนื้อผลมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีความหนาเนื้อผลสูงที่อายุ 140 วันหลังผสมเกสร มีความหนาเนื้อผล 6.42 มิลลิเมตร หลังจากนั้นความหนาเนื้อผลไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยความหนาเนื้อผลมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับความกว้างผล (Figure 4)

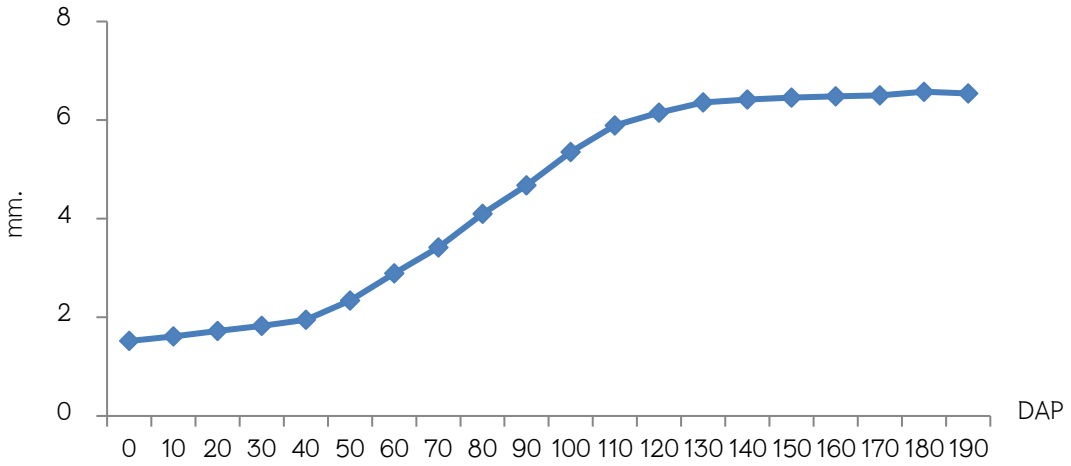


Figure 4 Pulp thickness change of Barhee date palm during fruit development

1.4 สีผิวผล สีเนื้อผล และสีเมล็ด

สีผิวผล สีผิวผลอินทผลัมมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุผลที่เพิ่มขึ้น เริ่มต้นจากสีขาว เป็นสีเขียว และสีเหลือง ตามลำดับ ตั้งแต่ระยะผลอ่อนจนถึงสุกแก่ ผลอายุ 0 วันหลังผสมเกสร ผลมีสีขาว (WN 155B) และสีผิวเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อน (G 142D) หลังจากได้รับแสงแดดเมื่ออายุ 10 วันหลังผสมเกสร จากนั้นผลมีสีเขียวเข้มขึ้น (G 143A) ตั้งแต่ผลอายุ 20–120 วันหลังผสมเกสร เมื่อผลอายุ 130 วันหลังผสมเกสร ผิวมีสีเขียวอ่อนลงและเริ่มมีสีเหลืองปรากฏขึ้นเรื่อย ๆ ทั่วทั้งผล (YGN 144B) เมื่อผลอายุ 150 วันหลังผสมเกสร ผิวผลมีการเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (Y 9B) ทั้งผล ในระยะสุดท้ายที่ผลอายุ 170 วันหลังผสมเกสร ผิวผลมีสีเหลืองเข้ม (YO 15B) มีสีผิวเข้มกว่าผลอายุ 150 วันหลังผสมเกสร (Figure 5)

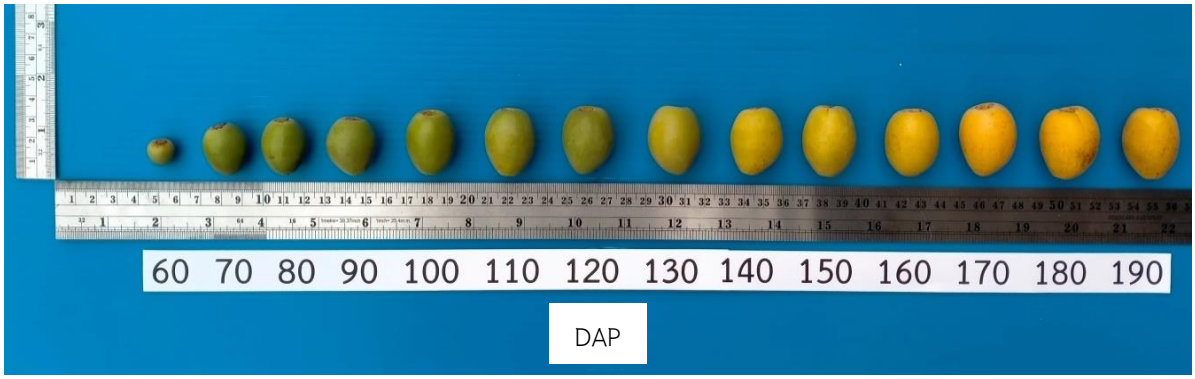


Figure 5 Peel color change in Barhee date palm fruit during 60 to 190 days after pollination

สีเนื้อผล การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อของผลอินทผลัมมีการเปลี่ยนแปลงจากสีขาวเมื่อผสมเกสร เป็นสีเขียวในระยะผลอ่อน และสีเหลืองเข้มในระยะสุกแก่ สังเกตพบว่า สีเนื้อผลจะเกิดขึ้นบริเวณติดเปลือกและเป็นสีเดียวกับสีเปลือก ส่วนเนื้อผลบริเวณด้านในและติดเมล็ดเป็นสีขาวตลอดช่วงการพัฒนาของเนื้อผล โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุผล ผลอายุ 0 วันหลังผสมเกสร เนื้อผลมีสีขาว (WN 155B) และสีเนื้อเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อน (G 142D) หลังจากได้รับแสงแดดเมื่ออายุ 10 วันหลังผสมเกสร จากนั้นเนื้อผลมีสีเขียวเข้มขึ้น (G 143A) ตั้งแต่ผลอายุ 20–130 วันหลังผสมเกสร เมื่อผลอายุ 140 วันหลังผสมเกสร เนื้อผลมีสีเขียวอ่อนลงและเริ่มมีสีเหลืองปรากฏขึ้นเรื่อ ๆ ทั่วทั้งผล (YGN 144B) เมื่อผลอายุ 150 วันหลังผสมเกสร เนื้อผลมีการเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (Y 9B) ทั้งผล ในระยะสุดท้ายที่ผลอายุ 170 วันหลังผสมเกสร เนื้อผลมีสีเหลืองเข้ม (YO 15B) มีสีผิวเข้มกว่าผลอายุ 150 วันหลังผสมเกสร (Figure 6) **สีเมล็ด** จากการบันทึกการเปลี่ยนแปลงสีเมล็ดอินทผลัม เริ่มต้นจากสีใสในระยะผสมเกสร แล้วเปลี่ยนเป็นสีขาว (WN 155D) เมื่อผลอายุ 10–120 วันหลังผสมเกสร หลังจากนั้นเริ่มมีสีน้ำตาล (GO 164C) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยปรากฏขึ้นจากด้านล่างเมล็ดเมื่ออายุ 130 วันหลังผสมเกสร และเป็นสีน้ำตาลเข้ม (GO 165B) ทั่วทั้งเมล็ดเมื่ออายุ 150–190 วันหลังผสมเกสร ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสีน้ำตาลบนเมล็ดนั้นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของสีเหลืองที่ผิวผลเช่นกัน (Figure 6)

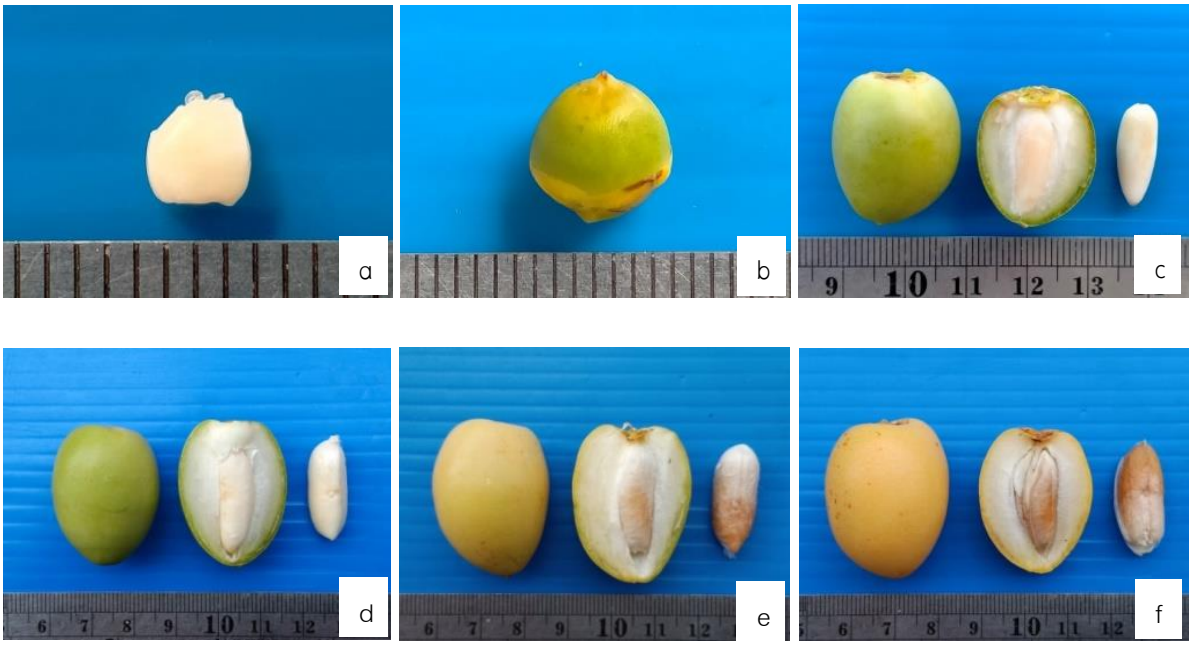


Figure 6 Color change of Barhee date palm fruit during 0 (a), 50 (b), 90 (c), 130 (d), 150 (e) and 170 (f) days after pollination

2. คุณภาพของผล (quality attributes)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) TSS มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงผสมเกสรถึงอายุ 120 วันหลังผสมเกสร มีค่า 1.20 ถึง 7.68 % และ TSS เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 130–160 วันหลังผสมเกสร จาก 9.19 เป็น 26.22 % หลังจากนั้น TSS เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อผลอายุ 170 180 และ 190 วันหลังผสมเกสร มีค่า 28.35 30.20 และ 32.27 % ตามลำดับ (Figure 7)

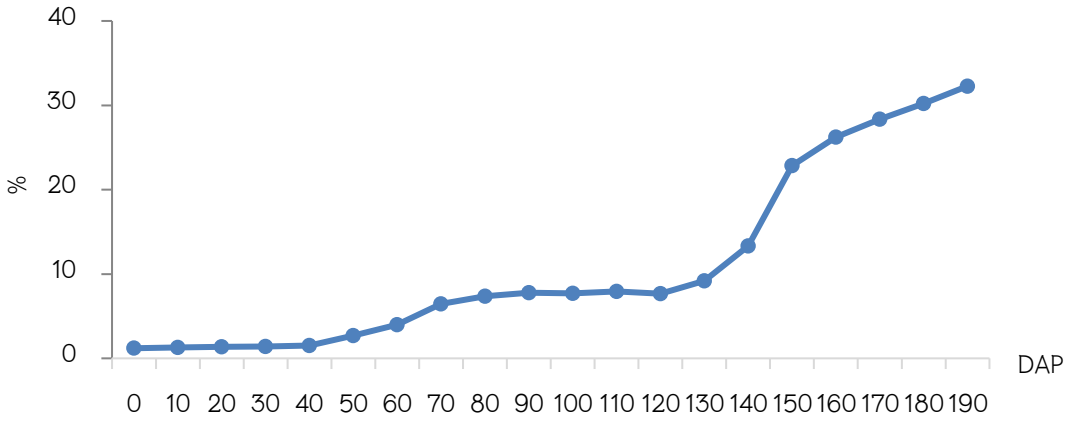


Figure 7 Total soluble solid (TSS) of Barhee date palm during fruit development

อภิปรายผล

อินทผลัมพันธุ์บาร์ฮีเป็นพืชไม่สมบูรณ์เพศอยู่ต่างต้นกัน (dioecious plant) ดอกเพศเมียไม่มีกลีบดอก (petal) มีกลีบเลี้ยง (calyx) 3 กลีบ เกสรเพศเมีย (stigma) 3 อัน และ 3 รังไข่ มีรังไข่แบบ superior ovary ช่องในรังไข่ (locule) มี 3 ช่อง ในแต่ละช่องมีไข่ (ovule) 1 อัน ผนังรังไข่ (ovary wall) หุ้มด้านนอก แต่จะมีรังไข่เพียง 1 อัน ที่ได้รับการปฏิสนธิภายหลังผสมเกสร และพัฒนาเป็นผล ผลอินทผลัมเป็นผลเดี่ยว (single) รูปทรงไข่ (ovate) เป็นผลเบอร์รี (berry) 1 เมล็ด (seed) เมล็ดเจริญมาจากไข่ (ovule) เมล็ดถูกหุ้มล้อมรอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดบาง ๆ (endocarp) ซึ่งเป็นส่วนที่แยกเนื้อผลออกจากเมล็ด เนื้อผล (pericarp) เจริญมาจากผนังรังไข่ (ovary wall) ผลอ่อนมีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวเรียงตัวกันอยู่บนก้านดอกย่อย เมื่อผลอายุ 4 วันหลังผสมเกสร เกสรเพศเมีย (stigma) ตรงปลายผลอ่อนเปลี่ยนเป็นสีดำ และมีไข่ (ovule) สีใสอยู่ในรังไข่ ซึ่งยังไม่พัฒนาเป็นเมล็ด ผลอินทผลัมที่มีความบริบูรณ์เต็มที่ในระยะ Khalal มีผิวสีเหลือง เนื้อผลมีรสหวาน เช่นกับการวิจัยอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮีของ Sakr *et al.* (2010)

การศึกษาการเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮีตั้งแต่อายุ 0–190 วันหลังผสมเกสร ประกอบด้วย ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเจริญเติบโตของผล องค์ประกอบผล และคุณภาพภายในผล พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามอายุผลที่เพิ่มขึ้นดังนี้ น้ำหนักของผล ความกว้างผล ความยาวผล น้ำหนักเมล็ด ความกว้างเมล็ด ความยาวเมล็ด น้ำหนักเนื้อผล และความหนาเนื้อผล ลักษณะเหล่านี้มีการเจริญเติบโตเป็นแบบ single sigmoid curve ซึ่งเป็นรูปแบบเจริญเติบโตและพัฒนาอย่างช้า ๆ ในช่วงแรก มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่สอง และมีค่าคงที่ในช่วงที่สาม เป็นไปในทิศทางเดียวกับอินทผลัมที่ปลูกในรัฐแอริโซนา (Fisher and Mogea, 1980) และแคลิฟอร์เนีย (Reuveni, 1970 ; Leding, 1928; Aldrich and Crawford, 1941) รูปแบบการเจริญเติบโตดังกล่าวสามารถพบได้ในผลไม้อื่น เช่น แอปเปิล สาลี่ อัลมอนด์ อะโวกาโด และสตรอว์เบอร์รี นอกจากนี้ สีผิวอินทผลัมเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเข้มเมื่อผลสุกแก่ทางสรีรวิทยา เมล็ดเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาล และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นตลอดการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตของผลด้านความกว้างผล ความยาวผล น้ำหนักผล และน้ำหนักเนื้อผลในช่วงแรกที่ผลมีอายุ 0–50 วันหลังผสมเกสร มีการเจริญเติบโตอย่างช้า ๆ และมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนมีค่าสูงสุดเมื่ออายุ 140 วันหลังผสมเกสร นอกจากนี้พบว่า การพัฒนาของเมล็ดมีความรวดเร็วกว่าขนาดผล และเนื้อผล โดยขนาดเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดสูงสุดเมื่ออายุ 120 วันหลังผสมเกสร และน้ำหนักผลเพิ่มขึ้นสูงในอินทผลัมทุกสายพันธุ์ในระยะ Khalal (Siddiqui and Gupta, 1994) จากการวิจัยพบว่า ความกว้างผล และความยาวผลอินทผลัม

มีค่า 26.59 และ 34.29 มิลลิเมตร ตามลำดับ น้ำหนักผลมีค่า 13.50 กรัม ใกล้เคียงกับงานวิจัยอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮี ของ Mukhtar and Ali (2019) มีความกว้างผล และความยาวผล 26.30 และ 42.30 มิลลิเมตร ตามลำดับ น้ำหนักผลมีค่า 11.90 กรัม

สีผิวผลมีการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเมื่อผลอายุ 130 วันหลังผสมเกสร มีสีเขียวปนเหลืองทั่วทั้งผล และเปลี่ยนเป็นเหลืองเข้มทั้งผลเมื่ออายุ 170 วันหลังผสมเกสร รวมไปถึงสีเนื้อผลมีการเปลี่ยนแปลงไปพร้อมกับสีผิวเช่นกัน ในส่วนของสีเนื้อบริเวณติดเมล็ดมีสีขาวตลอดการพัฒนา การเปลี่ยนแปลงของสีผิวผลและสีเนื้อผลเกิดจากคลอโรฟิลล์ที่เป็นรงควัตถุสีเขียวที่มีปริมาณสูงในช่วงการเจริญเติบโต และมีปริมาณลดลงเมื่อผลเริ่มเข้าสู่ระยะสุกแก่ จากนั้นแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุสีเหลืองมีปริมาณเพิ่มขึ้น (จริงแท้ และธีรนุต, 2543) ในด้านสีเมล็ดมีการเปลี่ยนแปลงจากสีขาวเป็นสีน้ำตาล ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลของเมล็ดเกิดขึ้นหลังจากเมล็ดมีขนาดเต็มที่แล้ว การเกิดสีน้ำตาลที่เมล็ดมีการพัฒนาไปพร้อมกับความแข็งของเมล็ด (Torahi and Arzani, 2010) และสีน้ำตาลของเมล็ดเกิดขึ้นไปพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของสีเหลืองบนผิวผลเช่นเดียวกัน

คุณภาพของผล ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุผลอินทผลัมอย่างช้า ๆ ในช่วงแรก และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผลอายุ 130 วันหลังผสมเกสร ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเปลี่ยนแปลงสีผิวที่มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น TSS มีค่าสูงในผลอายุ 170 วันหลังผสมเกสร จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ผลอินทผลัมสุกแก่ในระยะ Khalal นั้นมี TSS สูง ทำให้ผลอินทผลัมมีรสหวานมากและมีรสฝาดเล็กน้อย ดังรายงานของ Kader and Hussein (2009) ที่พบว่า อินทผลัมมีสารโปรไซยานิดินหรือแทนนินเข้มข้น ทำให้เกิดรสฝาดในระยะ Khalal แทนนินส่วนใหญ่อยู่ในเปลือกผล และจะรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นเมื่อผลสุก (Rutab) จนถึงผลแห้ง (Tamar) ทำให้ไม่มีรสฝาด นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกที่มีนัยสำคัญระหว่าง TSS และคะแนนประสาทสัมผัส ดังนั้น TSS อาจนำมาเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ (Fageria *et al.*, 2000)

การเจริญเติบโต และคุณภาพของผลอินทผลัม สามารถใช้จำนวนวันหลังผสมเกสร การเปลี่ยนสีผิว และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวผล โดยผลอินทผลัมมีการสุกแก่เต็มที่เมื่ออายุ 170–190 วันหลังผสมเกสร และไม่ควรให้ผลอินทผลัมอยู่บนต้นนานกว่านั้น เพราะว่าผลผลิตจะเกิดความเสียหายจากผลร่วง ผลแตก และผลเน่าจนไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตจำหน่ายได้ เนื่องจากอินทผลัมในประเทศไทยมีช่วงผลสุกแก่ในฤดูฝน มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม สอดคล้องกับรายงานของ Kader and Hussein (2009) ว่าการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับลักษณะของผล และเนื้อสัมผัส ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมจะช่วยลดการเกิดความรุนแรงของผลแตก แมลงเข้าทำลาย และการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ ควรเก็บเกี่ยวในระยะ Khalal ช่วงเดือนสิงหาคม ดังนั้น การเก็บเกี่ยวอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮีใน อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ จึงควรเก็บเกี่ยวในระยะ Khalal ประมาณเดือนสิงหาคม ที่ผิวผลเป็นสีเหลืองเข้ม เนื้อกรอบ และรสหวาน เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายของผลผลิตในเดือนกันยายนที่มีฝนตกอย่างต่อเนื่อง

สรุปผล

การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลอินทผลัมพันธุ์บาร์ฮีที่ปลูกในพื้นที่ อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ผลอินทผลัมมีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักผล ความกว้างผล ความยาวผล น้ำหนักเมล็ด ความกว้างเมล็ด ความยาวเมล็ด น้ำหนักเนื้อผล และความหนาเนื้อเป็นแบบ single sigmoid curve ใช้ระยะเวลาตั้งแต่ผสมเกสรจนเข้าสู่ระยะสุกแก่ (Khalal stage) ที่สามารถบริโภคได้และรสชาติดีประมาณ 170–190 วันหลังผสมเกสร หากอายุผลเกินกว่านั้น

ผลผลิตจะเสียหายจากความชื้นในฤดูฝน ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลอินทผลัมที่เหมาะสมคือที่อายุ 170 วันหลังผสมเกสร โดยสีผิวผลมีสีเหลืองเข้ม และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่ต่ำกว่า 28 %

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 และผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเชียงใหม่ ที่ให้คำปรึกษา รวมถึงข้าราชการ พนักงานราชการ เกษตรกรผู้ปลูกอินทผลัม ที่ให้ความร่วมมือให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์กับงานวิจัย แลกเปลี่ยนความคิดเห็น จนทำให้งานวิจัยสำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง ผู้เขียนหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางสำหรับเกษตรกร นักวิชาการเกษตร และบุคคลทั่วไปที่สนใจนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2565). **ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร**. แหล่งที่มา: https://production.doae.go.th/service/data-state-product/index, 15 กันยายน 2566.

จริงแท้ ศิริพานิช และธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์. (2543). **การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. นครปฐม. 89 หน้า.

Aldrich, W.W. and C.L. Crawford. (1941). **Second report upon cold storage of date pollen**, Date Growers' Institute 18, 5.

Fageria, M.S., R.S. Dhaka and M. Agrawal. (2000). Maturity standards for date palm (*Phoenix dactylifera*). **J. Appl. Hort.** 2(2), 119-120.

FAO. (2020). FAOSTAT. Available: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC, January 1, 2022.

Fisher, J.B. and J.P. Mogea. (1980). Intrapetolar inflorescence buds in Salacca (Palmae): development and significance. **Bot. J. Linn. Soc.** 81, 45-59.

Ibrahim, M.A. (1996). **The effect of source of pollen of the physiology of ripening of the fruit of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Hillawi.** M.Sc. Thesis. College of Agriculture, University of Basrah, Iraq. 72 p.

Kader, A.A. and A. Hussein. (2009). **Harvesting and postharvest handling of dates**. ICARDA, Aleppo, Syria. 15 p.

Leding, A.R. (1928). Determination of length of time during which flowers of date palm remain receptive to fertilization. **J. Agri. Res.** 36, 129-134.

Mukhtar S.A. and A.M. Ali. (2019). Bunch and different types of strand thinning effects on yield and fruit characteristics of Barhee date palm cultivar under River Nile State condition, Sudan. **Shendi University Journal of Applied Science** 1: 14-18.

Reuveni, O. (1970). Observation on bunch structure in three date palm varieties, with application to thinning technique. Isr. **J. Agric. Res.** 20, 121–127.

Reuveni, O. (1986). **Date**. In CRC Handbook of Fruit Set and Development, S.P. Monselise, ed. (Boca Raton: CRC Press). 119–144.

Sakr, M.M., I.M. Abu Zeid, A.E. Hassan, A–G.I.O. Baz and W.M. Hassan. (2010). Identification of some date palm (*Phoenix dactylifera*) cultivars by fruit characters. **Indian Journal of Science and Technology** 3(3), 338–343.

Siddiqui, S. and O.P. Gupta. (1994). Determination of maturity standards of dates (*Phoenix dactylifera* L.). **Haryana J. Hort. Sci.** 23: 121–124.

Torahi, A. and K. Arzani. (2010). Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruit Growth Pattern. **Acta Horticulturae**, 201–205.

ผลของน้ำซาวข้าวต่อการงอกและการเจริญเติบโตระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวอุบล 2

Effects of washing rice water on germination and seedling growth of glutinous rice cv. Niaw Ubon 2

ธนาภรณ์ ชาญเชี่ยว[1] และ ทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์[1*]

Tanaporn Chanchew[1] and Tippawan Prasertsin[1*]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของน้ำซาวข้าวต่อการงอกและการเจริญเติบโตระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวอุบล 2 โดยใช้น้ำซาวข้าวต่อน้ำอัตราส่วน 1 : 1, 1 : 10, 1 : 100 และ 1 : 1000 v/v และใช้น้ำเปล่าเป็นชุดควบคุมในการแช่และรดเมล็ด โดยทำการแช่เมล็ดข้าวเปลือกในน้ำซาวข้าว NSK1 และ NSK2 เป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง จากนั้นหาร้อยละการงอกหลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 7 วัน และวัดการเจริญเติบโตระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวอุบล 2 ได้แก่ ความสูง น้ำหนักสด เส้นรอบวง และจำนวนใบ หลังเพาะ 30 วัน ผลการวิจัยพบว่าเมื่อแช่และรดเมล็ดด้วยน้ำซาวข้าว NSK2 อัตราส่วน 1 : 1 v/v เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ให้ค่าร้อยละการงอกสูงที่สุดเท่ากับ 97.59 ± 2.11 โดยให้ค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ NSK2 อัตราส่วน 1 : 1 v/v ระยะเวลาแช่ 24 ชั่วโมง ที่ให้ค่าร้อยละการงอกเท่ากับ 96.66 ± 2.94 ส่วนด้านการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวอุบล 2 เมื่ออายุครบ 30 วัน พบว่าการแช่และรดด้วยน้ำซาวข้าว NSK1 อัตราส่วน 1 : 1000 v/v เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ให้ผลการเจริญเติบโตทั้ง 4 ด้านสูงที่สุด ส่วนกลุ่มควบคุม ระยะเวลาแช่ 24 ชั่วโมง ให้ผลการเจริญเติบโตต่ำที่สุดในทุก ๆ ด้าน น้ำซาวข้าว NSK2 อัตราส่วน 1 : 1 v/v ระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง สามารถใช้กระตุ้นการงอกของข้าวเหนียวอุบล 2 ได้

คำสำคัญ: น้ำซาวข้าว, การงอก, การเจริญเติบโต, ระยะต้นกล้า, ข้าวเหนียวอุบล 2

[1] โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100

[1] Program of Biological Science, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100

*Corresponding author: prasertsintippawan@gmail.com

Abstract

This research aimed to study the effect of washing rice water on the germination and seedling growth of glutinous rice cv. Niaw Ubon 2. Washing rice water was used in different ratios of 1:1, 1:10, 1:100, and 1:1000 v/v compared to plain water as the control group for soaking and watering the rice seeds. The paddy seeds were soaked in washing rice water (NSK1 and NSK2) for 24 and 48 hours. Then, the germination percentage after 7 days and the seedling growth parameters of the glutinous rice cv. Niaw Ubon 2 were measured, including height, fresh weight, stem circumference, and the number of leaves after 30 days. The research results showed that soaking and watering the seeds with washing rice water: NSK2 at a ratio of 1:1 v/v for 48 hours gave the highest germination percentage at 97.59 ± 2.11%, with no statistically significant difference compared to soaking in NSK2 at 1:1 v/v for 24 hours, which resulted in a germination percentage of 96.66 ± 2.94. Regarding the seedling growth of glutinous rice cv. Niaw Ubon 2 at the age of 30 days, it was found that soaking and watering with washing rice water: NSK1 at a ratio of 1:1000 v/v for 24 hours produced the best growth results in all four aspects. In contrast, the control group soaked for 24 hours showed the lowest growth in all aspects. Therefore, soaking with washing rice water: NSK2 at a ratio of 1:1 v/v for 24 and 48 hours can effectively stimulate the germination of glutinous rice cv. Niaw Ubon 2.

Keywords: washing rice water, germination, growth, seedling growth, glutinous rice cv. Niaw Ubon 2

บทนำ

ข้าวเหนียวอุบล 2 (glutinous rice cv. Niaw Ubon 2) เป็นข้าวเหนียวที่ได้จากการผสมระหว่างข้าวเหนียวอุบลสายพันธุ์ SPT 7149-429-3 และข้าวเหนียวอุบลสายพันธุ์ IR 21848-65-3-2 โดยสำนักวิจัยและพัฒนาข้าวได้ทำการพัฒนาพันธุ์ข้าวขึ้นเป็นข้าวประจำถิ่นของจังหวัดอุบลราชธานี [1] ซึ่งลักษณะเด่นของข้าวสายพันธุ์อุบล 2 คือ มีการเจริญเติบโตดี แตกกอมาก เป็นข้าวมีความไวต่อแสง ให้ผลผลิตดีมากเมื่อปลูกในฤดูปลูกข้าวนาปี โดยให้ผลผลิตประมาณ 463 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ข้าวสายพันธุ์อุบล 2 ยังมีลำต้นที่แข็งแรง ทำให้ไม่ล้มเมื่อโดนลม หรือฝน สามารถทนต่อโรคได้ดี และยังสามารถขยายพันธุ์ไว้ปลูกเองได้ โดยสามารถเพาะปลูกได้ทั้งในดินร่วนปนทรายดินเหนียวปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลูกอย่างแพร่หลายในจังหวัดอุบลราชธานีและจังหวัดร้อยเอ็ด [2] ปัจจุบันได้มีการนำข้าวสายพันธุ์นี้มาปลูกในภาคเหนือ โดยเฉพาะอำเภอปง จังหวัดพะเยามากขึ้น ซึ่งข้าวเหนียวอุบล 2 ก็ยังมีข้อด้อย คือ ใช้เวลาในการงอกค่อนข้างนาน ซึ่งปกติต้องแช่น้ำเพื่อกระตุ้นการงอกเป็นเวลา 2 – 3 คืน ในขณะที่ข้าวสายพันธุ์อื่นใช้เวลาประมาณ 1 คืน เกษตรกรจึงพยายามหาวิธีในการกระตุ้นการงอกเพื่อให้ข้าวงอกได้เร็วขึ้น ซึ่งในการปลูกข้าวโดยทั่วไปนอกจากการคัดเลือกเมล็ดที่ดีแล้ว ยังต้องคำถึงความสามารถในการงอกของเมล็ดข้าวและการเจริญเติบโตของต้นข้าวด้วย โดยทั่วไปก่อนนำไปปลูกจะมีการนำเมล็ดข้าวใส่ในกระสอบแล้วนำไปแช่น้ำก่อนระยะเวลาประมาณ 12 – 24 ชั่วโมง จากนั้นนำกระสอบข้าวขึ้นจากน้ำเพื่อผึ่งให้แห้ง เป็นเวลา 30 – 48 ชั่วโมง เมล็ดข้าวจึงจะมีการงอก ซึ่งจากขั้นตอนดังกล่าวจะใช้เวลาค่อนข้างนาน หากมีการนำเมล็ดข้าวไปกระตุ้นการงอกก่อนจะทำให้เมล็ดข้าวงอกได้ดีและเร็วขึ้น [3] การกระตุ้นการงอกเมล็ด (seed priming) คือ เทคนิคในการเตรียมความพร้อมให้กับเมล็ดพันธุ์ก่อนที่จะนำไปปลูก โดยการแช่เมล็ดในน้ำหรือสารบางชนิด ที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมและนำเมล็ดที่ผ่านการกระตุ้นการงอกไปเพาะจะทำให้เมล็ดงอกได้เร็วและสม่ำเสมอ [4] โดยมี

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่าง ๆ เช่น มนฑนา รุจิระศักดิ์ และ คณะ [5] ได้ทำการศึกษาการแช่เมล็ดข้าวสายพันธุ์ชัยนาท 1 ในน้ำหมักชีวภาพจากรกหมูกับน้ำส้มควันไม้ 24 ชั่วโมง พบว่ามีอัตราการงอกสูงถึง 95.08 % และการแช่เมล็ดที่อัตราส่วน 1:100 v/v (24 ชั่วโมง) ให้ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดสูงที่สุด 13.05 ต้นต่อวัน และให้น้ำหนักแห้งต้นกล้า 5.20 มิลลิกรัมต่อต้น ต่อมา สิปปวิชญ์ ปัญญาตุ้ย และคณะ [6] ศึกษาผลของแคลเซียมซิลิเกตที่มีต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าสารละลายปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตที่ความเข้มข้น 7 กรัม/ลิตร ส่งเสริมให้ระยะเวลาในการเกิดรากของเมล็ดข้าวเร็วกว่าตำรับการทดลองอื่น ต่อมา กรองกาญจน์ จันต๊ะ และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการงอกและการเจริญของเมล็ดข้าวเหนียวเขี้ยวงู พบว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพต่อน้ำในอัตราส่วน 1:750 v/v (9 ชั่วโมง) ให้ค่าร้อยละการงอกสูงที่สุดคือ 85.57 และยังส่งผลให้ต้นกล้ามีค่าความสูง ค่าน้ำเปียกและน้ำหนักแห้งสูงสุด อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมายังไม่พบรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำซาวข้าวมาใช้ในการกระตุ้นการงอก ซึ่งน้ำซาวข้าวเป็นน้ำที่ได้จากการนำข้าวสารมาแช่ในน้ำสะอาดเป็นระยะเวลาที่แตกต่างกันโดยปกติมักจะแช่ไว้ประมาณ 10 – 12 ชั่วโมง แล้วค่อยนำข้าวไปนึ่งเพื่อรับประทาน ส่วนน้ำซาวข้าวถูกจัดว่าเป็นของเหลือทิ้งจากครัวเรือนที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน ซึ่งน้ำซาวข้าวมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินบี 1 น้ำตาล แร่ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม ธาตุทองแดง และธาตุเหล็กที่เกิดจากการย่อยของเมล็ดข้าวในน้ำ และยังสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้หลายชนิด เช่น รดต้นไม้ ทำให้ต้นไม้โตเร็วยิ่งขึ้น [8] มากไปกว่านั้นในน้ำซาวข้าวยังมีแบคทีเรียในสกุล *Streptococcus, Lactococcus* และ *Lactobacillus* จำนวนมากโดยทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลในข้าวให้เป็นกรดแลคติก ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการระบายอากาศในดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถช่วยย่อยสลายและดูดซับแร่ธาตุจากดินให้กับต้นพืช และยังช่วยให้ต้นพืชมีความต้านทานโรคมากขึ้นและสามารถเพิ่มผลผลิตได้เป็นสองเท่า [9][10]

ดังนั้นทีมวิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของน้ำซาวข้าวต่อการงอกและการเจริญเติบโตระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวอุบล 2 โดยใช้น้ำซาวข้าวในกระบวนการแช่ และการรดเมล็ดข้าวเหนียวอุบล 2 เพื่อเป็นแนวทางในการกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวอุบล 2 สำหรับเกษตรกร

วิธีการศึกษา

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เมล็ดข้าวเหนียวอุบล 2 จากเกษตรกรหมู่บ้านหนองท่าควาย หมู่ 7 ตำบลนาปรัง อำเภอปง จังหวัดพะเยา

2. อุปกรณ์สำหรับเตรียมเพาะกล้า

2.1 ถาดเพาะเมล็ด

2.2 ดินสำเร็จสำหรับเพาะปลูก

3. อุปกรณ์สำหรับทำน้ำซาวข้าว

3.1 เมล็ดข้าวสารข้าวเหนียวอุบล 2 จากเกษตรกรหมู่บ้านหนองท่าควาย หมู่ 7 ตำบลนาปรัง อำเภอปง จังหวัดพะเยา (การทดลองละ 1 กิโลกรัม)

3.2 น้ำ

3.3 ถังสำหรับใส่น้ำซาวข้าว 5 ลิตร

3.4 เครื่องชั่งสปริง

3.5 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH meter)

4. อุปกรณ์สำหรับวัดการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า

4.1 ไม้บรรทัด

4.2 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.3 ด้าย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมน้ำซาวข้าว

1.1 ชั่งข้าวสารข้าวเหนียวอุบล 2 ปริมาณ 1 กิโลกรัม แล้วนำข้าวใส่ในถังขนาด 5 ลิตร

1.2 เติมน้ำสะอาด 3 ลิตรต่อ 1 ถัง ทำการแช่เมล็ดข้าวสารชุดการทดลองที่แช่เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง ก่อน (เขียนแทนด้วย NSK2) โดยเริ่มแช่ตอนเย็นเวลา 17.00 น. และวันถัดมาแช่เมล็ดข้าวสารชุดการทดลองที่แช่เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง (เขียนแทนด้วย NSK1) โดยเริ่มแช่ตอนเย็นเวลา 17.00 น. จนถึง 05.00 น. ของอีกวันก็จะทำให้ได้น้ำซาวข้าว 12 (NSK1) และ 36 ชั่วโมง (NSK2) จากนั้นนำน้ำซาวข้าวมาสังเกตลักษณะภายนอก เช่น สี กลิ่น และนำมาวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) โดยใช้ pH meter

2. การเตรียมวัสดุเพาะ

2.1 เตรียมถาดเพาะเมล็ดขนาดความกว้าง 16 นิ้ว ความยาว 22 นิ้ว จำนวน 60 หลุม ไว้จำนวน 54 ถาด

2.2 เตรียมดินสำเร็จรูปสำหรับการเพาะปลูก ซึ่งระบุว่ามีส่วนผสมของปุ๋ยคอก แกลบ และกาบมะพร้าว และมีธาตุอาหารต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม

2.3 ใส่ดินสำเร็จรูปลงไปในถาดเพาะเมล็ดที่เตรียมไว้ 3 ส่วน 4 ของหลุม เพื่อนำเมล็ดที่งอกแล้วใส่ลงไปแล้วกลบดินลงไปให้เต็มหลุม

3. การคัดเมล็ดพันธุ์

3.1 เตรียมเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวเหนียวอุบล 2 ปริมาณ 1 กิโลกรัม

3.2 คัดเลือกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่สมบูรณ์มาทำการทดลองโดยนำเมล็ดข้าวไปแช่น้ำ 5 นาที เพื่อนำเอาเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ทิ้ง และเลือกเอาเฉพาะเมล็ดที่จมน้ำ แล้วทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำแล้วนำมาทำการทดลอง

4. การแช่เมล็ดพันธุ์ข้าว

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกที่สมบูรณ์ 54 เมล็ดต่อ 1 กลุ่มตัวอย่างมาทำการแช่ในน้ำสะอาด (ชุดควบคุม) และ NSK1 และ NSK2 ต่อน้ำ 1 : 1, 1 : 10, 1 : 100 และ 1 : 1000 v/v ปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อ 1 ชุดการทดลอง โดย แต่ละกลุ่มตัวอย่างแช่เมล็ดข้าวเปลือกเป็นระยะเวลาที่ต่างกัน 2 ระยะ คือ 24 และ 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 1) โดยจะแช่เมล็ดข้าวเปลือก 48 ชั่วโมงก่อน โดยแช่ตอนเย็นเวลา 17.00 น. และวันถัดมาแช่เมล็ดข้าวเปลือก 24 ชั่วโมง โดยแช่ตอนเย็นเวลา 17.00 น. จากนั้นนำเมล็ดที่งอกมาเพาะลงในถาดเพาะเมล็ด 3 เมล็ดต่อหลุม รดน้ำ และน้ำซาวข้าวต่อน้ำในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้น ในถาดเพาะปลูกของแต่ละชุดการทดลองในปริมาตรที่เท่ากัน เช้า และ เย็น ช่วงเช้าเวลา 07.30 – 08.30 น. และตอนเย็นเวลา 17.00 – 18.00 น. ทุกวัน

ตารางที่ 1 เมล็ดข้าวเหนียวอุบล 2 ที่แช่เป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง

กลุ่มการทดลอง	อัตราส่วน (v/v)	ระยะเวลาที่แช่เมล็ดข้าว (ชั่วโมง)	กลุ่มตัวอย่าง
น้ำเปล่า	0 : 1	24	กลุ่มตัวอย่างที่ 1
		48	กลุ่มตัวอย่างที่ 2
NSK1	1 : 1	24	กลุ่มตัวอย่างที่ 3
	1 : 10		กลุ่มตัวอย่างที่ 4
	1 : 100		กลุ่มตัวอย่างที่ 5
	1 : 1000		กลุ่มตัวอย่างที่ 6
	1 : 1	48	กลุ่มตัวอย่างที่ 7
	1 : 10		กลุ่มตัวอย่างที่ 8
	1 : 100		กลุ่มตัวอย่างที่ 9
	1 : 1000		กลุ่มตัวอย่างที่ 10
NSK2	1 : 1	24	กลุ่มตัวอย่างที่ 11
	1 : 10		กลุ่มตัวอย่างที่ 12
	1 : 100		กลุ่มตัวอย่างที่ 13
	1 : 1000		กลุ่มตัวอย่างที่ 14
	1 : 1	48	กลุ่มตัวอย่างที่ 15
	1 : 10		กลุ่มตัวอย่างที่ 16
	1 : 100		กลุ่มตัวอย่างที่ 17
	1 : 1000		กลุ่มตัวอย่างที่ 18

5. บันทึกผลการงอก และการเจริญเติบโตระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวอุบล 2

5.1 นับจำนวนเมล็ดที่งอก ในวันที่ 7 หลังจากการเพาะเมล็ด ซึ่งมีรากและยอดโผล่ออกมาจนเป็นต้นอ่อน จากนั้นคำนวณร้อยละการงอกโดยใช้สูตร [11]

$$P = \frac{f}{N} \times 100$$

เมื่อ P แทน ค่าร้อยละของการงอก
f แทน จำนวนเมล็ดที่งอก
N แทน จำนวนเมล็ดที่เพาะ

5.2 หลังจากต้นกล้าข้าวเหนียวอุบล 2 อายุครบ 30 วัน ทำการสุ่มต้นกล้าที่อยู่ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละหลุม หลุมละ 1 ต้น จำนวน 60 ต้นต่อ 1 ชุดการทดลอง และทำการวัดการเจริญเติบโตได้แก่ ความสูง น้ำหนักสด เส้นรอบวง และจำนวนใบ และคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าดังกล่าว

6. วิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของร้อยละการงอกของเมล็ด ค่าความสูงเฉลี่ย ค่าน้ำหนักสดเฉลี่ย ค่าเส้นรอบวงเฉลี่ย และค่าจำนวนใบเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Statistical Package for the Social Sciences: SPSS)

ผลการศึกษา

1. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าว

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของน้ำซาวข้าว พบว่าน้ำซาวข้าว NSK1 และ NSK2 มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดย NSK1 มีสีขาวขุ่น มีกลิ่นหอมของข้าว มีฟองบนผิวหน้าเล็กน้อย ส่วน NSK2 มีสีขาวขุ่นมาก เป็นกลิ่นข้าวหมักออกเปรี้ยว มีฟองบนผิวหน้าเล็กน้อย ส่วนค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยของ NSK1 และ NSK2 มีค่าที่แตกต่างกันโดย NSK1 มีค่าความเป็นกรด – ด่างสูงกว่า NSK2 มีค่าเท่ากับ 5.36±0.02 และ 4.56±0.05 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งผลของลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำซาวข้าวมีสอดคล้องกันดัง

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรด – ด่าง ของน้ำซาวข้าว

ครั้งที่	ค่าความเป็นกรด – ด่าง แต่ละครั้ง	
	NSK1	NSK2
1	5.36	4.57
2	5.37	4.61
3	5.34	4.51
ค่าเฉลี่ย	**5.36 ± 0.02**	**4.56± 0.05**

2. ผลของน้ำซาวข้าวต่อร้อยละการงอกของเมล็ดข้าวเหนียวอุบล 2

จากการศึกษาผลของน้ำซาวข้าวในการแช่เมล็ดข้าวเหนียวอุบล 2 แบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ น้ำเปล่า น้ำซาวข้าว NSK1 และ NSK2 รวมเป็น 18 กลุ่มตัวอย่าง โดยศึกษา 2 ปัจจัยได้แก่ อัตราส่วนของน้ำต่อน้ำซาวข้าว ระยะเวลาในการแช่เมล็ดข้าว และศึกษาคอมบิเนชัน (combination) ระหว่างอัตราส่วนและระยะเวลาในการแช่เมล็ด พบว่าอัตราส่วน และระยะเวลาในการแช่มีผลต่อการงอกของเมล็ดข้าวที่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงคอมบิเนชันของอัตราส่วน และระยะเวลาในการแช่เมล็ดข้าวพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกัน (interaction) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อแช่เมล็ดข้าวเปลือกด้วย NSK2 อัตราส่วน 1 : 1 v/v เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ให้ค่าร้อยละการงอกสูงที่สุด คือ 97.59 ± 2.11 รองลงมา คือ การแช่เมล็ดด้วย NSK2 อัตราส่วน 1 : 1 v/v เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ให้ค่า 96.66 ± 2.94 โดยให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ให้ผลร้อยละการงอกที่แตกต่างกับกลุ่มตัวอย่างอื่น ๆ และกลุ่มที่แช่ด้วยน้ำเปล่า 24 ชั่วโมง ให้ค่าร้อยละการงอกต่ำที่สุด คือ 47.40 ± 1.39 (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ร้อยละการงอกของเมล็ดข้าวเหนียวอุบล 2 หลังเพาะ 7 วัน

กลุ่มการทดลอง	ร้อยละการงอกของข้าวเหนียวอุบล 2
กลุ่มควบคุม (น้ำเปล่า) ระยะเวลาแช่ 24 ชั่วโมง	47.40 ± 1.39^{i}
กลุ่มควบคุม (น้ำเปล่า) ระยะเวลาแช่ 48 ชั่วโมง	81.29 ± 0.85^{e}
NSK1 (24 ชม. 1 : 1 v/v)	88.88 ± 2.55^{cd}
NSK1 (48 ชม. 1 : 1 v/v)	94.44 ± 2.42^{b}
NSK1 (24 ชม. 1 : 10 v/v)	77.77 ± 4.01^{e}
NSK1 (48 ชม. 1 : 10 v/v)	85.18 ± 2.63^{d}
NSK1 (24 ชม. 1 : 100 v/v)	80.92 ± 1.70^{e}
NSK1 (48 ชม. 1 : 100 v/v)	72.03 ± 4.02^{f}
NSK1 (24 ชม. 1 : 1000 v/v)	51.11 ± 0.96^{i}
NSK1 (48 ชม. 1 : 1000 v/v)	61.85 ± 2.80^{gh}
NSK2 (24 ชม. 1 : 1 v/v)	96.66 ± 2.94^{a}
NSK2 (48 ชม. 1 : 1 v/v)	97.59 ± 2.11^{a}
NSK2 (24 ชม. 1 : 10 v/v)	91.48 ± 1.39^{c}
NSK2 (48 ชม. 1 : 10 v/v)	94.44 ± 2.42^{b}
NSK2 (24 ชม. 1 : 100 v/v)	60.55 ± 2.42^{h}
NSK2 (48 ชม. 1 : 100 v/v)	88.51 ± 0.64^{cd}
NSK2 (24 ชม. 1 : 1000 v/v)	65.18 ± 1.79^{g}
NSK2 (48 ชม. 1 : 1000 v/v)	71.48 ± 1.79^{f}

หมายเหตุ: อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง (a, b, c, d, e, f, g, h และ i) คือ ร้อยละการงอกของเมล็ดข้าวเหนียวอุบล 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3. ผลของน้ำซาวข้าวต่อความสูง น้ำหนักสด เส้นรอบวง และจำนวนใบ ของระยะต้นกล้าข้าวเหนียวอุบล 2 หลังเพาะ 30 วัน

การศึกษาผลของน้ำซาวข้าวต่อความสูง น้ำหนักสด เส้นรอบวง และจำนวนใบ ของระยะต้นกล้าข้าวเหนียวอุบล 2 หลังเพาะ 30 วัน โดยศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนของน้ำต่อน้ำซาวข้าว ระยะเวลาในการแช่เมล็ดข้าวเปลือก และศึกษาคอมบิเนชันระหว่างอัตราส่วนและระยะเวลาในการแช่เมล็ด พบว่าอัตราส่วน และระยะเวลาในการแช่เมล็ดมีผลต่อค่าความสูง น้ำหนักสด เส้นรอบวง และจำนวนใบของระยะต้นกล้าข้าวเหนียวอุบล 2 ที่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงคอมบิเนชันของอัตราส่วนและระยะเวลาในการแช่เมล็ดพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าดังกล่าวข้างต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อแช่เมล็ดข้าวเปลือกด้วย NSK1 อัตราส่วน 1 : 1000 แช่เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ให้ค่าความสูงเฉลี่ย เส้นรอบวงเฉลี่ย และจำนวนใบเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 30.37 ± 0.14 เซนติเมตร, 0.95 ± 0.01 มิลลิเมตร และ 4.41 ± 0.06 ใบ ตามลำดับ โดยให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับ NSK1 อัตราส่วน

1 : 100 แช่เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งค่าความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 30.22 ± 0.05 เซนติเมตร และค่าเส้นรอบวงเฉลี่ยเท่ากับ 0.94 ± 0.01 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ส่วนค่าน้ำหนักเฉลี่ยให้ค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยพบว่า NSK1 อัตราส่วน 1 : 10, 1 : 100 และ 1 : 1000 แช่เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และ NSK1 อัตราส่วน 1:1, 1 : 10, 1 : 100 และ 1 : 1000 แช่เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง และ NSK2 อัตราส่วน 1 : 1000 แช่เป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ให้ค่าน้ำหนักสดสูงที่สุด คือ 0.23 กรัม และกลุ่มที่แช่ด้วยน้ำเปล่า 24 และ 48 ชั่วโมง NSK1 และ NSK2 อัตราส่วน อื่น ๆ ให้ค่าเท่ากัน คือ 0.22 กรัมต่อต้น

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่ากลุ่มควบคุม (น้ำเปล่า) ระยะเวลาแช่ 24 ชั่วโมง ให้ค่าการเจริญเติบโต ทั้งความสูง (25.82 ± 0.05 เซนติเมตร) น้ำหนักสด (0.22 ± 0.01 กรัมต่อต้น) เส้นรอบวง (0.84 ± 0.01 มิลลิเมตร) และจำนวนใบ (3.30 ± 0.01 ใบ) ของระยะต้นกล้าข้าวเหนียวอุบล 2 หลังเพาะ 30 วัน ต่ำที่สุด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความสูง น้ำหนักสด เส้นรอบวง และจำนวนใบเฉลี่ย ของต้นกล้าข้าวเหนียวอุบล 2 หลังเพาะ 30 วัน

กลุ่มกาทดลอง	ค่าความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ค่าน้ำหนักสดเฉลี่ย (กรัม/ต้น)	ค่าเส้นรอบวงเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	ค่าจำนวนใบเฉลี่ย (ใบ)
กลุ่มควบคุม (น้ำเปล่า) ระยะเวลาแช่ 24 ชม.	25.82 ± 0.05^{k}	0.22 ± 0.01^{c}	0.84 ± 0.01^{h}	3.30 ± 0.01^{m}
กลุ่มควบคุม (น้ำเปล่า) ระยะเวลาแช่ 48 ชม.	26.14 ± 0.04^{ij}	0.22 ± 0.00^{bc}	0.86 ± 0.01^{fg}	3.51 ± 0.01^{kl}
NSK1 (24 ชม. 1 : 1)	29.85 ± 0.10^{c}	0.22 ± 0.01^{bc}	0.91 ± 0.03^{cd}	4.11 ± 0.04^{c}
NSK1 (48 ชม. 1 : 1)	28.95 ± 0.03^{ef}	0.23 ± 0.00^{a}	0.88 ± 0.03^{ef}	3.63 ± 0.01^{ij}
NSK1 (24 ชม. 1 : 10)	30.04 ± 0.03^{bc}	0.23 ± 0.00^{a}	0.93 ± 0.01^{bc}	4.24 ± 0.01^{b}
NSK1 (48 ชม. 1 : 10)	29.08 ± 0.14^{de}	0.23 ± 0.00^{a}	0.89 ± 0.01^{de}	3.73 ± 0.01^{gh}
NSK1 (24 ชม. 1 : 100)	30.22 ± 0.05^{ab}	0.23 ± 0.00^{a}	0.94 ± 0.01^{ab}	4.29 ± 0.02^{b}
NSK1 (48 ชม. 1 : 100)	29.14 ± 0.06^{de}	0.23 ± 0.00^{a}	0.91 ± 0.01^{cd}	3.81 ± 0.03^{fg}
NSK1 (24 ชม. 1 : 1000)	30.37 ± 0.14^{a}	0.23 ± 0.01^{a}	0.95 ± 0.01^{a}	4.41 ± 0.06^{a}
NSK1 (48 ชม. 1 : 1000)	29.24 ± 0.06^{d}	0.23 ± 0.01^{a}	0.92 ± 0.00^{bc}	4.06 ± 0.04^{cd}
NSK2 (24 ชม. 1 : 1)	26.05 ± 0.04^{ij}	0.22 ± 0.00^{c}	0.86 ± 0.02^{f}	3.50 ± 0.03^{kl}
NSK2 (48 ชม. 1 : 1)	26.01 ± 0.01^{jk}	0.22 ± 0.01^{bc}	0.84 ± 0.02^{gh}	3.40 ± 0.06^{lm}
NSK2 (24 ชม. 1 : 10)	26.18 ± 0.10^{hi}	0.22 ± 0.00^{c}	0.87 ± 0.01^{fg}	3.59 ± 0.07^{jk}
NSK2 (48 ชม. 1 : 10)	26.25 ± 0.00^{hi}	0.22 ± 0.00^{c}	0.86 ± 0.01^{f}	3.62 ± 0.09^{ij}
NSK2 (24 ชม. 1 : 100)	26.37 ± 0.22^{g}	0.22 ± 0.00^{c}	0.87 ± 0.01^{fg}	3.70 ± 0.01^{gh}
NSK2 (48 ชม. 1 : 100)	26.32 ± 0.00^{gh}	0.22 ± 0.00^{c}	0.87 ± 0.01^{fg}	3.66 ± 0.18^{hi}
NSK2 (24 ชม. 1 : 1000)	29.00 ± 0.04^{e}	0.23 ± 0.00^{a}	0.91 ± 0.00^{cd}	3.95 ± 0.03^{de}
NSK2 (48 ชม. 1 : 1000)	28.76 ± 0.00^{f}	0.23 ± 0.00^{a}	0.91 ± 0.02^{cd}	3.89 ± 0.16^{ef}

หมายเหตุ อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l และ m) คือ ค่าความสูง น้ำหนัก เส้นรอบวง และจำนวนใบเฉลี่ยของต้นกล้าข้าวเหนียวอุบล 2 ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาผลของน้ำซาวข้าวต่อการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวอุบล 2 พบว่ากลุ่มการทดลองที่แช่และรดด้วย NSK2 ต่อน้ำอัตราส่วน 1 : 1 v/v ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ให้ค่าร้อยละการงอกสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 97.59 ± 2.11 ซึ่งให้ค่าไม่แตกต่างกันกับ NSK2 ต่อน้ำอัตราส่วน 1 : 1 v/v ระยะเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งให้ค่าร้อยละการงอกเท่ากับ 96.66 ± 2.94 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบในน้ำซาวข้าว ประกอบไปด้วยแบคทีเรียในสกุล *Streptococcus Lactococcus* และ *Lactobacillus* ซึ่งจัดเป็นกลุ่ม Lactic acid bacteria ที่สามารถหมักน้ำตาลแลคโทส ให้เกิดกรดแลคติกทำให้น้ำซาวข้าวมีสภาวะเป็นกรด สอดคล้องกับรายงานของ Bradford [3] ที่กล่าวว่าการแช่เมล็ดด้วยน้ำ การแช่เมล็ดในกรด สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) และสารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น กรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic acid; GA3) กรดซาลิไซลิก (salicylic acid; SA) สามารถทำลายการพักตัวของเมล็ดได้ และ Herrera et al. [13] ที่กล่าวว่าสภาวะที่เป็นกรดสามารถช่วยให้เกิดการย่อยสลายเปลือกของเมล็ดพืชส่งผลทำให้เปลือกของเมล็ดมีการอ่อนตัวลง และเปลือกเมล็ดแตกได้ง่ายขึ้นทำให้สารสำคัญต่าง ๆ ในน้ำหมักสามารถซึมเข้าสู่เมล็ดพืชได้ดีและกระตุ้นให้เมล็ดเกิดการงอกได้ แต่อย่างไรก็ตามเมล็ดพืชบางชนิดมีเปลือกหุ้มบางหากมีการนำไปแช่ในน้ำหมักที่มีค่าเป็นกรดสูงในระยะเวลานานอาจทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญของพืช มีรายงานว่าน้ำที่ใช้ในกระบวนการล้างข้าวหรือน้ำซาวข้าวที่ไม่ได้ใช้แล้วสามารถนำมาใช้ในการรดน้ำต้นไม้ได้เนื่องจากช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้ น้ำซาวข้าวมีลักษณะสีขาวขุ่นเป็นแหล่งที่มีโปรตีนและวิตามิน B1 ซึ่งเป็นกลุ่มวิตามินที่มีบทบาทในกระบวนการเผาผลาญของพืช มีประโยชน์ในการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานที่เกี่ยวกับเจริญเติบโตของพืช ได้เป็นอย่างดี [14] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าในน้ำซาวข้าวยังมีธาตุอาหารที่สำคัญประกอบด้วย ไนโตรเจน (N) 0.015 % ฟอสฟอรัส (P) 16.306% โพแทสเซียม (K) 0.02% และแคลเซียม (Ca) 2.944% ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช โดยจะช่วยให้รากของพืชแข็งแรง และแผ่กระจายได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ลำต้นแข็งแรงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามหากปริมาณน้ำซาวข้าวที่ให้แก่พืชน้อยกว่าปริมาณที่พืชต้องการส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารพืชก็จะลดลงเช่นกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช [8] งานวิจัยครั้งนี้สามารถชี้ให้เห็นว่าน้ำซาวข้าวสามารถนำมาใช้ในการกระตุ้นการงอก และเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวเหนียวอุบล 2 ได้แต่ต้องใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งหากต้องการกระตุ้นการงอกควรแช่และรดเมล็ดข้าวเปลือกด้วยน้ำซาวข้าว NSK2 อัตราส่วน 1 : 1 v/v ระยะเวลาแช่ 24 และ 48 ชั่วโมง ที่ให้ค่าร้อยละการงอกของเมล็ดข้าวเหนียวอุบล 2 สูงที่สุด อาจเนื่องจากในน้ำซาวข้าวอัตราส่วน 1 : 1 มีความเข้มข้นของน้ำซาวข้าวที่สูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ จึงช่วยให้แปลือกเมล็ดข้าวอ่อนตัวและแตกง่ายขึ้นจึงช่วยให้เมล็ดข้าวดูดซึมธาตุอาหารต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น ส่วนผลการเจริญเติบโตระยะต้นกล้าอายุ 30 วัน ในด้านความสูง น้ำหนักสด เส้นรอบวง และจำนวนใบ กลุ่มที่แช่และรดด้วย NSK1 ต่อน้ำอัตราส่วน 1 : 1000 แช่เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ให้ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุธีรา สุนทรารักษ์ [15] ที่รายงานว่าน้ำซาวข้าวที่ผสมกับวัตถุดิบต่าง ๆ สามารถเพิ่มผลผลิตของพืชผลไม้ และต้องใช้ให้เหมาะสมกับระยะการเจริญเติบโตของพืช และในอัตราส่วนที่เหมาะสมของพืชแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าชนิดของสารที่ใช้ในการกระตุ้นการงอก ชนิดของเมล็ด อัตราส่วนของสาร ระยะเวลาในการแช่ ค่าความเป็นกรดด่าง แสง ความชื้น และอุณหภูมิ ล้วนแต่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืช โดยงานวิจัยของกรองกาญจน์ จันต๊ะและคณะ [7] ที่ทำการศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการงอกของเมล็ดข้าวเหนียวเขี้ยวงู โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหมักชีวภาพต่อน้ำกลั่นที่แตกต่างกัน โดยอัตราส่วน 1 : 250 v/v แช่เมล็ด 12

ชั่วโมง และ 1 : 750 v/v แช่เมล็ด 9 ชั่วโมง ให้ร้อยละการงอกสูงที่สุด เท่ากับ 97.78 และอัตราส่วน 1 : 750 v/v ส่งผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูง น้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้งสูงที่สุดซึ่งให้ผลที่แตกต่างกับงานวิจัยในครั้งนี้

จากองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปเผยแพร่แก่เกษตรกรในการนำน้ำซาวข้าวที่เหลือทิ้งจากครัวเรือนมากระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวที่งอกช้า และส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวได้ เนื่องจากอัตราส่วนของน้ำซาวข้าวและระยะเวลาแช่เมล็ดก่อนปลูกมีผลต่อการทดลอง ดังนั้นในการนำไปใช้ควรที่จะมีการปรับอัตราส่วนและระยะเวลาในการแช่เมล็ดข้าวให้เหมาะสมข้าวในแต่ละสายพันธุ์ เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาในสเกลขนาดเล็กซึ่งต่อไปควรมีการนำน้ำซาวที่ได้ไปทดสอบแช่เมล็ดข้าวเหนียวอุบล 2 และทดสอบการงอกจริงในสภาพแปลงนาเพื่อศึกษาถึงอัตราการงอกและการเจริญของเมล็ดในพื้นที่แปลงปลูก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. สุรัสวดี นางแล ที่ช่วยเหลือเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และขอขอบคุณโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร. (2541). ข้าวเหนียวพันธุ์อุบล. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2566, จาก http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.phpfile=content. php&id=41. htm?fbclid =IwAR2PwAR j7A84-dpruBA-UR5L3ayx9ifY-EbYRBfVFzpQ7jtpTvn2v8mqquM
2. กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. (2559). องค์ความรู้เรื่องข้าว. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2566 . จาก https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/Varieties.htm
3. Bradford KJ. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to Improve germination under stress conditions. Horticultural science, 21, 1105-1112.
4. McDonald MB. (1999). Seed priming. Pp. 287-325. In Michael B and Bewley JD, eds. Seed Technology and its Biological Basis. Sheffield Academic Press, England.
5. มนฑนา รุจิระศักดิ์ พรศิลป์ สีเผือก และ พิทยา เกิดนุ่น. (2553). การใช้น้ำหมักหมูในการเพิ่มคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว. การประชุมทางวิชาการเมล็ดพันธุ์พืชแห่งชาติ ครั้งที่ 7. โรงแรมท็อปแลนด์, พิษณุโลก.
6. สิปปวิชญ์ ปัญญาตุ้ย ธงชัย มาลา และ ศุภชัย อำคา. (2558). ผลของแคลเซียมซิลิเกตที่มีต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 34. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
7. กรองกาญจน์ จันต๊ะ สโรชา ป๊อกยะดา และนันภัทร บัวเย็น. (2561). ผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญของเมล็ดข้าวเหนียวเขี้ยวงู. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. ธัญบุรี, ปีที่ 8 ฉบับที่ 3, หน้า 152-164.
8. Himayana ATS, Aini N. (2018). The Effect of Rice Washing Wastewater on Pakcoy Growth. Department of Agronomy Faculty of Agriculture Brawijaya.
9. วสันต์ ชุณห์วิจิตรา และ ยุพวัลย์ ทองใบอ่อน. (2553). น้ำสกัดชีวภาพ น้ำผักและผลไม้ น้ำซาวข้าว นำข้าว กล้องและน้ำหมักกรดแลคติค. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม.

10. ณัฏฐ์วรินท์ ธุวะคำ และ วัชรี ฟั่นเฟือนหา. (2562) ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษเหลือผลไม้ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค. (การค้นคว้าแบบอิสระวิทยาศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. เชียงใหม่.
11. ชื่นจิต แก้วกัญญาและ พนิดา หนูกลาง. (2557). ผลของวันปลูกที่มีต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วแลบแลบ. แก่นเกษตร, ปีที่ 42 ฉบับพิเศษ 1, หน้า 395-402.
12. Zanotti RF, Dias DCFS, Barros RS, DaMatta FM, Oliveira GL. (2014). Germination and biochemical changes in 'Formosa' papaya seeds treated with plant hormones. Acta Scientiarum Agronomy, 36(4), 435-442.
13. Herrera CM, Medrano M, Bazaga P. (2016). Comparative spatial genetics and epigenetics of plant populations: heuristic value and a proof of concept. Molecular ecology, 25,1653-1664.
14. Andriyanto H. (2007). Effect of Rice Wash Water on Adenium. Thesis of the Faculty of Teacher Training and Education, University of Muhammadiyah Surakarta.
15. สุธีรา สุนทรารักษ์. (2554). ผลของการใช้น้ำหมักซาวข้าวร่วมกับพืชสมุนไพรเพื่อกำจัดหอยเชอรี่. (การค้นคว้าแบบอิสระวิทยาศาสตรบัณฑิต) มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. บุรีรัมย์.

การศึกษาฤทธิ์ทางเคมีและชีวภาพของสารสกัดจากรกจันทน์

Study on chemical and biological properties of extracts from aril of *Myristica fragrans*

ขวัญจรัส เชิงปัญญา[1*], กมลวดี ประชาราษฎร์[2], จิรพงศ์ ศรศักดานุภาพ[1], ฉันทนา ซูแสวงทรัพย์[1] และ อภิรดี เสียงสืบชาติ[3]

Khuanjarat Choengpanya[1*], Kamolwadee Pracharach[2], Jirapong Sornsakdanuphap[1], Chanthana Susawaengsup[1] and Apiradee Siangsuepchart[3]

บทคัดย่อ

จันทน์เทศ (*Myristica fragrans* Houtt.) เป็นพืชสมุนไพรที่เป็นไม้ยืนต้น พบมากทางภาคใต้ของประเทศไทย ส่วนของรกจันทน์เป็นส่วนที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของเครื่องเทศปรุงแต่งกลิ่นอาหารและใช้เป็นยา การใช้ประโยชน์รกจันทน์ในด้านอื่นมีข้อมูลอยู่จำกัด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาฤทธิ์ทางเคมีและชีวภาพของสารสกัดจากรกจันทน์เพื่อประยุกต์ใช้ทางด้านเครื่องสำอาง รกจันทน์ถูกสกัดโดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน คือ น้ำกลั่น เหล้าขาวสี่สิบดีกรี เอทานอล (EtOH) ความเข้มข้น 40 และ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ได้สารสกัดรกจันทน์ MfA-DW, MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH ตามลำดับ ที่มีค่าร้อยละการสกัดอยู่ในช่วง 5.47 ± 0.81 ถึง 25.15 ± 0.75 โดยการสกัดด้วย 95% EtOH ให้ร้อยละการสกัดสูงที่สุด การศึกษาปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด (TPC) โดยใช้ 10% Folin reagent พบว่า MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH ให้ปริมาณ TPC ใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 27.42 ± 0.69 – 29.52 ± 0.84 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่า MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH ต้านอนุมูลอิสระได้ดี โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.046 ± 0.001 และ 0.060 ± 0.001 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สารสกัดทั้งสี่แบบไม่แสดงฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* และมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของ *Bacillus megaterium* ต่ำ สารสกัดทั้งสี่แบบแสดงฤทธิ์ต้านการอักเสบ โดยมีค่าร้อยละเฉลี่ยการต้านอักเสบอยู่ในช่วง 37.93 ± 3.81 ถึง 49.78 ± 3.22 ส่วนยามาตรฐาน diclofenac มีค่าร้อยละการต้านอักเสบเท่ากับ 69.94 ± 2.47 สารสกัด MfA-DW, MfA-Liq และ MfA-40%EtOH แสดงฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสในระดับปานกลาง โดยมีค่าร้อยละการยับยั้งอยู่ในช่วง 59.77 ± 1.57 ถึง 66.75 ± 0.80 ส่วนสารมาตรฐาน Koji acid มีค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสเท่ากับ 80.73 ± 1.38 จากข้อมูลข้างต้นสารสกัดจากรกจันทน์จึงน่าสนใจที่จะนำไปศึกษาในเชิงลึกเพื่อพัฒนาสารสกัดสำหรับการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางบำรุงผิวต่อไป

คำสำคัญ: รกจันทน์, สารสกัด, ฤทธิ์ต้านการอักเสบ, การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

---

[1] กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

[2] สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

[3] สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

[1] Basic Science Group, Maejo University-Phrae Chaloem Phrakiat, Phrae, 54140

[2] Agriculture Forestry, Maejo University-Phrae Chaloem Phrakiat, Phrae, 54140

[3] Agro-Industrial Biotechnology, Maejo University-Phrae Chaloem Phrakiat, Phrae, 54140

* Corresponding author: Khuanjarat@mju.ac.th

Abstract

Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) is a perennial herbaceous plant, which can be found in the southern Thailand. Its mace (aril) is usually used as spices, food flavoring as well as medicine. However, there is limited information on other applications of *M. fragrans* aril. Therefore, this research aimed to study the chemical and biological properties of *M. fragrans* aril for cosmetic application. The aril was extracted with 4 different solvent, which were distilled water, 40-degree liquor, 40 and 99.5% ethanol (EtOH), yielding extracts MfA-DW, Mfa-Liq, MfA-40%EtOH, and MfA-99.5%EtOH, respectively, with percentage extraction yields of 5.47 ± 0.81 to 25.15 ± 0.75. Extraction with 99.5% EtOH gave the highest percentage extraction yield. Total phenolic content (TPC) analysis using 10% Folin reagent showed that MfA-Liq, MfA-40%EtOH and MfA-99.5%EtOH gave comparable TPC, with values of 27.42 ± 0.69 to 29.52 ± 0.84 mg GAE/g extract. Antioxidant analysis using DPPH assay revealed that MfA-40%EtOH and MfA-99.5%EtOH showed good antioxidant activities with IC_{50} values of 0.046 ± 0.001 and 0.060 ± 0.001 mg/ml, respectively. All extracts could not inhibit the growth of *E. coli* and had low inhibiting activity against *B. megaterium*. All extracts showed anti-inflammatory activity with percentages relative inhibition ranged from 37.93 ± 3.81 to 49.78 ± 3.22, while the drug diclofenac showed the value of 69.94 ± 2.47. MfA-DW, MfA-Liq, and MfA-40%EtOH showed moderate anti-tyrosinase activity. The percentages relative inhibition ranged from 59.77 ± 1.57 to 66.75 ± 0.80. Koji acid showed a percentage relative anti-tyrosinase of 80.73 ± 1.38. From these results, it is of interest to perform more research on *M. fragrans* aril extract for further application in cosmetics.

Keywords: *Myristica fragrans* aril, Extract, anti-inflammation, Anti-tyrosinase

บทนำ

จันทน์เทศ (*Myristica fragrans* Houtt.) จัดอยู่ในวงศ์ Myristicaceae เป็นพืชพื้นถิ่นที่พบในหมู่เกาะโมลุกกะ ประเทศอินโดนีเซีย (Ashokkumar et al., 2022) ในปัจจุบันพบว่ามีการปลูกทั่วไปในเขตเมืองร้อน โดยในประเทศไทยพบว่ามีการเพาะปลูกทางภาคใต้ จันทน์เทศถูกนำมาใช้ประโยชน์หลากหลาย เช่น ทำน้ำหอม ใช้ปรุงแต่งกลิ่นเครื่องดื่มและอาหาร และพบว่ามีการใช้เป็นสมุนไพรเพื่อบรรเทาอาการของโรคที่เกิดที่กระเพาะอาหาร และไต บรรเทาอาการนอนไม่หลับ รักษาโรคไขข้ออักเสบ ไอ เป็นต้น (Gils and Cox, 1994) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในส่วนเมล็ด (kernel) และดอกจันทน์หรือรกหุ้มเมล็ด (aril) พบว่าประกอบด้วย primary metabolites เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน กรดไขมัน และโปรตีนมากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง และยังประกอบด้วย secondary metabolites ที่เป็น essential oils, terpenes, phenylpropanoids, phenolic compounds (เช่น caffeic acid, ferulic acid, protocatechuic acid, lignans/neolignans และ diarylalaknes เป็นต้น), polyphenols, catechins, epicatechins, falvonoids และ cyanidins เป็นจำนวนมาก (Abourashed and El-Alfy, 2016) การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดของจันทน์เทศพบว่า ในส่วน essential oils ซึ่งเป็น secondary metabolites ที่พบมากในเมล็ดจันทน์เทศมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านจุลชีพ ต้านอักเสบ ยับยั้งเซลล์มะเร็ง (Abourashed and El-Alfy, 2016; Ashokkumar et al., 2022) บรรเทาปวด (Olajide et al., 1999) ต้านภูมิแพ้ (Champasuri and Itharat, 2016) เป็นต้น จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าสารสกัดจากจันทน์เทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่เป็น essential oils มีองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ชีวภาพที่หลากหลาย จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านอาหารและยา อย่างไรก็ตามการศึกษาการใช้สารสกัดจากจันทน์เทศเพื่อประยุกต์ใช้ทางด้านเครื่องสำอางยังมีข้อมูลอยู่จำกัด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ทางเคมีและชีวภาพของสารสกัดจาก

รกจันทน์ เช่น ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียบางชนิด ฤทธิ์ต้านอักเสบ และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวิจัยต่อยอดเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากรกจันทน์ เป็นการสร้างมูลค่าจากฐานทรัพยากรชีวภาพที่มีอยู่ในประเทศต่อไป

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมสารสกัดจากรกจันทน์

นำส่วนรกจันทน์อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2-3 วัน บดเป็นผงด้วยเครื่องบด จากนั้นนำมาสกัดด้วยน้ำกลั่น เหล้าขาว 40 ดีกรี หรือเอทานอลความเข้มข้น 40 และ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนผงรกจันทน์ต่อตัวทำละลาย 1:10 โดยปริมาตร บ่มสารสกัดบนเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเร็ว 120 รอบต่อนาที นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารสกัดที่ได้กรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วลดปริมาตรโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นำสารสกัดเข้มข้นที่ได้ไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2-3 วัน หรือจนกว่าสารสกัดจะแห้ง ทำการสกัดจำนวน 3 ซ้ำ คำนวณหาร้อยละปริมาณสารที่สกัดได้ และเก็บสารสกัดแห้งที่ได้เพื่อนำไปทดสอบในขั้นตอนถัดไป

2. การศึกษาทางเคมี

2.1 การหาปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

นำสารสกัดจากรกจันทน์มาตรวจสอบหาปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด (Total phenolic content หรือ TPC) โดยใช้ 10% Folin reagent ทำการละลายสารสกัดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น จากนั้นดูดสารสกัดปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย 10% Folin reagent ปริมาตร 100 ไมโครลิตร แล้วบ่มปฏิกิริยาในที่มืดนาน 5 นาที เมื่อครบกำหนดนำออกมาเติม 7.5% (w/v) Na_2CO_3 ปริมาตร 80 ไมโครลิตร แล้วบ่มในที่มืดต่ออีก 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Microplate reader (Synergy™ H1 Multi-Mode Microplate Reader, BioTak, USA) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ คำนวณหาปริมาณ TPC จากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid) ปริมาณ TPC ที่ได้จะอยู่ในรูปมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด (mg GAE/g extract)

2.2 การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ DPPH

ทำการเตรียมสารสกัดความเข้มข้น 0.1, 1 และ 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในเมทานอล ผสมสารสกัดปริมาตร 100 ไมโครลิตร กับ DPPH ความเข้มข้น 0.4 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ในไมโครเพลท บ่มปฏิกิริยาในที่มืดนาน 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ คำนวณหาค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระจากสมการ : $[A_{Control}-(A_{Reaction}-A_{Blank})]x100/A_{Control}$ เมื่อ $A_{Control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงในปฏิกิริยาที่มีเฉพาะ DPPH $A_{reaction}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงในปฏิกิริยาที่มี DPPH และสารสกัด และ A_{Blank} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัด นอกจากนั้น ทำการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ทำให้ค่าร้อยละการต้านอนุมูลลดลงครึ่งหนึ่งจากค่ายับยั้งสูงสุด (IC_{50}) โดยเจือจางสารสกัดในเมทานอลทีละสองเท่าให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.0049-25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แล้วนำไปทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและคำนวณหาค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระที่ได้ไปคำนวณหา IC_{50} โดยใช้โปรแกรม Graph Pad Prism (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA)

3. การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ

3.1 การศึกษาการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียบางชนิด

ศึกษาผลของสารสกัดจากรกจันทน์ทั้งสี่แบบต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจำนวน 2 ชนิด คือ *Escherichia coli* และ *Bacillus megaterium* โดยวิธี disc diffusion ทำการเตรียมเชื้อโดยการเลี้ยงเชื้อในอาหาร NB บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 16–18 ชั่วโมง จากนั้นนำเชื้อมาทำการปรับความขุ่นโดยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วให้เท่ากับ 0.5 McFarland standard เกลี่ยเชื้อให้ทั่วผิวหน้าบนอาหาร NA ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นทำการเตรียมสารสกัดในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 10 และ 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แล้วดูดสารสกัดปริมาตร 10 ไมโครลิตร หยดลงบนกระดาษกรอง ยาปฏิชีวนะ streptomycin ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และน้ำกลั่นถูกใช้เป็นตัวควบคุมเชิงบวกและลบ ตามลำดับ ทำการบ่มเพลทที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 16–18 ชั่วโมง ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ตรวจสอบการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียจากวงใสที่เกิดขึ้น (clear zone)

3.2 การศึกษาฤทธิ์การต้านอักเสบในหลอดทดลอง

ศึกษาฤทธิ์การต้านอักเสบของสารสกัดจากรกจันทน์ในหลอดทดลองโดยตรวจสอบความสามารถในการยับยั้งการเสียสภาพของอัลบูมิน (albumin denaturation inhibition) ตามวิธีของ Truong et al. (2021) โดยมีการปรับเปลี่ยนวิธีการทดลองเล็กน้อย ทำการเตรียมสารสกัดใน 1x PBS buffer pH 6.8 ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารสกัดปริมาตร 400 ไมโครลิตร ผสมกับไข่ขาวสดปริมาตร 40 ไมโครลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 ไมโครลิตร ด้วย 1x PBS buffer pH 6.8 นำปฏิกิริยาไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที วางปฏิกิริยาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 660 นาโนเมตร ใช้ diclofenac ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 1x PBS buffer pH 6.8 เป็นตัวควบคุมเชิงบวกและลบ ตามลำดับ ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ คำนวณหาร้อยละการต้านอนุมูลอิสระจากสมการ : $(A_{Positive} - A_{Sample})x100/A_{Positive}$ เมื่อ $A_{Positive}$ และ A_{Sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 660 นาโนเมตรของปฏิกิริยาที่มี diclofenac และสารสกัดเป็นองค์ประกอบ ตามลำดับ

3.3 การศึกษาความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase)

ศึกษาความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสตามวิธีของ Muddathir et al. (2017) โดยมีการปรับเปลี่ยนวิธีการทดลองเล็กน้อย ทำการเตรียมสารสกัดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใน 1x PBS buffer pH 6.8 จากนั้นผสมสารสกัดปริมาตร 70 ไมโครลิตร กับเอนไซม์ไทโรซิเนสความเข้มข้น 23.9 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 30 ไมโครลิตร เริ่มปฏิกิริยาโดยการเติม L–DOPA ความเข้มข้น 1.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 110 ไมโครลิตร บ่มปฏิกิริยาที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ใช้ koji acid ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 1x PBS buffer pH 6.8 เป็นตัวควบคุมเชิงบวกและลบ ตามลำดับ ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ คำนวณหาร้อยละการต้านอนุมูลอิสระจากสมการ : $(A_{Control} - A_{Sample})x100/A_{Control}$ เมื่อ $A_{Control}$ และ A_{Sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 660 นาโนเมตรของปฏิกิริยาที่ไม่มีและมีตัวยับยั้งเป็นองค์ประกอบ ตามลำดับ

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่จนครบทุกคู่ โดยใช้วิธี ANOVA with Post–Hoc test (Bonferroni correction) พิจารณาที่ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

ผลการศึกษา

1. การสกัดสารจากรกจันทน์

การสกัดสารจากรกจันทน์โดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 4 แบบ คือ น้ำกลั่น เหล้าขาว เอทานอลความเข้มข้น 40 และ 99.5 เปอร์เซ็นต์ จะได้สารสกัด MfA-DW, MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH ตามลำดับ และมีค่าร้อยละปริมาณสารที่สกัดได้ (% yield) เฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 1 เอทานอลความเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์ให้ร้อยละปริมาณสารสกัดเฉลี่ยสูงที่สุด ซึ่งเท่ากับร้อยละ 25.15 ± 0.75

ตารางที่ 1 ร้อยละปริมาณสารสกัดจากรกจันทน์ที่ใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน

สารสกัด	ร้อยละปริมาณสารที่สกัดได้
MfA-DW	5.47 ± 0.81[a]
MfA-Liq	6.11 ± 0.52[a]
MfA-40%EtOH	6.99 ± 1.33[a]
MfA-99.5%EtOH	25.15 ± 0.75[b]

หมายเหตุ อักษร a และ b ในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณสารสกัดจากรกจันทน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ α = 0.05

2. ผลการทดสอบทางเคมี

2.1 ปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด

ปริมาณ TPC ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด (mg GAE/g extract) ของสารสกัดทั้งสี่ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าสารสกัด MfA-99.5%EtOH และ MfA-DW มีปริมาณ TPC สูงที่สุดและต่ำที่สุด ตามลำดับ การวิเคราะห์สถิติโดยวิธี ANOVA with Post-Hoc test (Bonferroni correction) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ α = 0.05 พบว่าค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง MfA-DW กับ MfA-Liq มีค่าเท่ากับ 0.001 ค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง MfA-DW กับ MfA-40%EtOH มีค่าเท่ากับ 0.000085 และค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง MfA-DW กับ MfA-99.5%EtOH มีค่าเท่ากับ 0.0011 และเมื่อพิจารณาค่า p-value เทียบกับ correction α = 0.0083 พบว่าปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด (TPC) ที่ได้จาก MfA-DW มีค่าน้อยกว่า TPC ที่ได้จาก MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH และเมื่อพิจารณาด้วยวิธีการเดียวกันพบว่า TPC ที่ได้จาก MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH มีค่าไม่แตกต่างกัน จากผลการทดลองที่ได้จะพบว่าการสกัดด้วยเหล้าขาว 40 ดีกรี 40% EtOH และ 99.5% EtOH ให้ปริมาณ TPC ที่สูงกว่าการสกัดด้วยน้ำกลั่น ดังนั้นการใช้ตัวสกัดที่มี EtOH เป็นองค์ประกอบจะให้ประสิทธิภาพการสกัดที่มี TPC สูงกว่าการใช้น้ำกลั่น

ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด (TPC) และค่า IC_{50} ของการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay

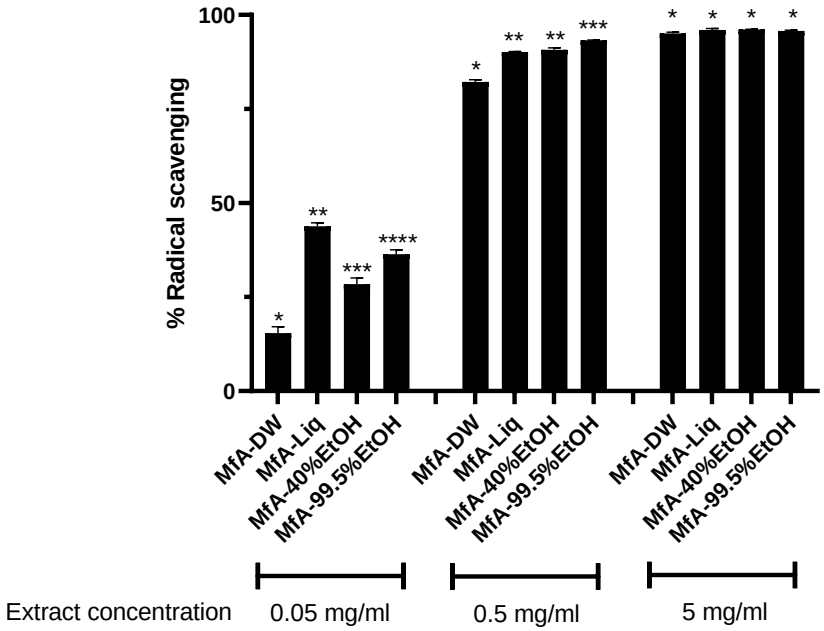
สารสกัด	TPC (mg GAE/g extract)	IC_{50} (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)
MfA-DW	15.66 ± 0.08^{a}	0.204 ± 0.002^{a}
MfA-Liq	27.42 ± 0.69^{b}	0.086 ± 0.005^{b}
MfA-40%EtOH	28.73 ± 0.31^{b}	0.046 ± 0.001^{c}
MfA-99.5%EtOH	29.52 ± 0.84^{b}	0.060 ± 0.001^{c}

หมายเหตุ อักษร a, b และ c ในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยของ TPC หรือค่า IC_{50} มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$

2.2 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

ค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ (% radical scavenging) ของสารสกัดทั้งสี่แบบที่ความเข้มข้นแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 1 ที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สารสกัด MfA-Liq มีค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.80 ± 0.95 ตามด้วยสารสกัด MfA-99.5%EtOH และ MfA-40%EtOH ซึ่งมีค่าเท่ากับ 36.41 ± 1.17 และ 28.45 ± 1.60 ตามลำดับ ส่วนสารสกัด MfA-DW ให้ค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 15.40 ± 1.68 และเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มมากขึ้น สารสกัดทั้งสี่แบบให้ค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นในลักษณะที่ขึ้นกับความเข้มข้น (รูปที่ 1) การหาค่า IC_{50} ของการต้านอนุมูลอิสระดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า MfA-40%EtOH และ MfA-DW มีค่า IC_{50} ต่ำและสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.046 ± 0.001 และ 0.204 ± 0.002 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

การวิเคราะห์สถิติโดยวิธี ANOVA with Post-Hoc test (Bonferroni correction) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย IC_{50} ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง MfA-DW, MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH ที่ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ พบว่าค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง MfA-DW กับ MfA-Liq มีค่าเท่ากับ 0.0000046 ค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง MfA-DW กับ MfA-40%EtOH มีค่าเท่ากับ 0.0001724 และค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง MfA-DW กับ MfA-99.5%EtOH มีค่าเท่ากับ 0.0000020 เมื่อพิจารณาค่า p-value ข้างต้นเทียบกับ correction $\alpha = 0.0083$ พบว่าค่า IC_{50} ของ MfA-DW มีค่ามากกว่าค่า IC_{50} ของ MfA-Liq, MfA- 40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาด้วยวิธีการเดียวกันพบว่า ค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง MfA-Liq กับ MfA-40%EtOH และ MfA-Liq กับMfA-99.5%EtOH มีค่าเท่ากับ 0.0021 และ 0.0009 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า p-value ข้างต้นเทียบกับ correction $\alpha = 0.0083$ พบว่าค่า IC_{50} ของ MfA-Liq มีค่ามากกว่าค่า IC_{50} ของ MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH และจากการพิจารณาในทำนองเดียวกันพบว่า ค่า IC_{50} ของ MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระจากวิธี DPPH ของสารสกัดจากรกจันทน์ MfA-DW, MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH ที่ความเข้มข้น 0.05, 0.5 และ 5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

3. ผลการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ

3.1 ฤทธิ์การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียบางชนิด

การตรวจสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียโดยวิธี disc diffusion ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า สารสกัดทั้งสี่แบบที่ความเข้มข้น 10 และ 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E. coli* ได้ ในกรณีของเชื้อ *B. megaterium* พบว่า เฉพาะสารสกัด MfA-Liq และ MfA-99.5%EtOH ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *B. megaterium* โดยมีค่าเฉลี่ยการเกิดวงใสเท่ากับ 0.60 ± 0.05 และ 0.62 ± 0.04 เซ็นติเมตร ตามลำดับ ส่วน streptomycin (ชุดควบคุม) สามารถยับยั้งได้ทั้ง *E. coli* และ *B megaterium* มีค่าเฉลี่ยการเกิดวงใสเท่ากับ 2.63 ± 0.06 และ 2.83 ± 0.60 เซ็นติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยการเกิดวงใส (clear zone) (เซ็นติเมตร) ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียโดยสารสกัดจากรกจันทน์

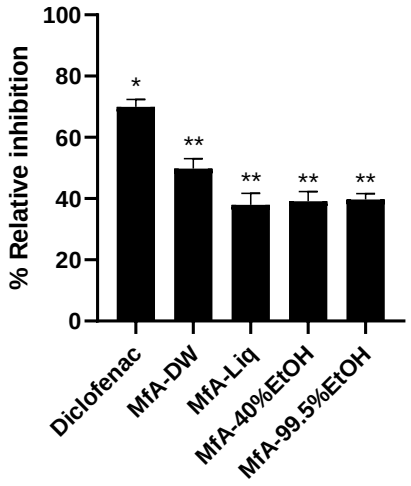
สารสกัด	ค่าเฉลี่ยการเกิดวงใส (clear zone) (เซ็นติเมตร)	
	E. coli	*B. megaterium*
1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร streptomycin	2.63 ± 0.06	2.83 ± 0.60
น้ำกลั่น	nd	nd
10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร MfA-DW	nd	nd
100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร MfA-DW	nd	nd
10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร MfA-Liq	nd	nd
100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร MfA-Liq	nd	0.60 ± 0.05
10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร MfA-40%EtOH	nd	nd
100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร MfA-40%EtOH	nd	nd

สารสกัด	ค่าเฉลี่ยการเกิดวงใส (clear zone) (เซ็นติเมตร)	
	E. coli	*B. megaterium*
10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร MfA-99.5%EtOH	nd	nd
100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร MfA-99.5%EtOH	nd	0.62 ± 0.04

หมายเหตุ nd คือ ไม่มีการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (no clear zone detected)

3.2 ฤทธิ์การต้านอักเสบในหลอดทดลอง

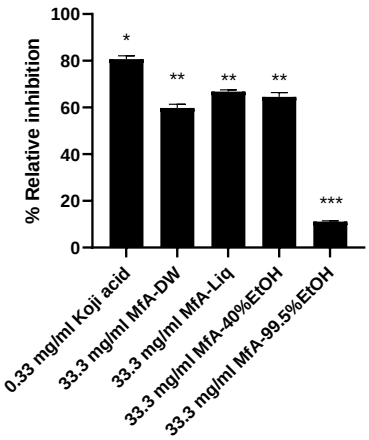
การศึกษาฤทธิ์การต้านอักเสบของสารสกัดจากรกจันทน์ในหลอดทดลองจากความสามารถในการยับยั้งการเสียสภาพของโปรตีนในไข่ขาวสด ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2 ที่พบว่า สารสกัด MfA-DW ให้ฤทธิ์ยับยั้งการเสียสภาพของโปรตีนในไข่ขาวสดดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มของสารสกัด แต่ยังมีฤทธิ์น้อยกว่ายา diclofenac โดยมีค่าร้อยละการยับยั้งเฉลี่ยเท่ากับ 49.78 ± 3.22 และ 69.94 ± 2.47 ตามลำดับ การวิเคราะห์สถิติโดยวิธี ANOVA with Post-Hoc test (Bonferroni correction) เพื่อทดสอบความแตกต่างของร้อยละการต้านการอักเสบระหว่างกลุ่มตัวอย่าง Diclofenac, MfA-DW, MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH ที่ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ α = 0.05 พบว่าค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง Diclofenac กับ MfA-DW มีค่าเท่ากับ 0.00132 ค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง Diclofenac กับ MfA-Liq มีค่าเท่ากับ 0.00060 ค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง Diclofenac กับ MfA-40%EtOH มีค่าเท่ากับ 0.00026 และค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง Diclofenac กับ MfA-99.5%EtOH มีค่าเท่ากับ 0.00011 เมื่อพิจารณาค่า p-value ข้างต้นเทียบกับ correction α = 0.005 พบว่าค่าร้อยละการต้านการอักเสบ ของ Diclofenac มีค่ามากกว่าของ MfA-DW, MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาด้วยวิธีการเดียวกันพบว่า ค่าร้อยละการต้านการอักเสบของ MfA-DW, MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-99.5%EtOH จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันและมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะพบว่า สารสกัดรกจันทน์ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวสกัดแตกต่างกันมีฤทธิ์การต้านการอักเสบไม่แตกต่างกัน และมีฤทธิ์การต้านการอักเสบน้อยกว่ายา Diclofenac เท่ากับ 1.40 เท่า



รูปที่ 2 ฤทธิ์การต้านการอักเสบของสารสกัดจากรกจันทน์และยา diclofenac ที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

3.3 ความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

ผลการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสโดย koji acid และสารสกัดจากรกจันทน์ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า Koji acid แสดงค่าร้อยละการยับยั้งเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 80.73 ± 1.38 ตามด้วย MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-DW ซึ่งมีค่าร้อยละการยับยั้งเฉลี่ยเท่ากับ 66.75 ± 0.80, 64.57 ± 1.79 และ 59.77 ± 1.57 ตามลำดับ ส่วน MfA-99.5%EtOH ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเดสได้ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 11.10 ± 0.34 การวิเคราะห์สถิติโดยวิธี ANOVA with Post-Hoc test (Bonferroni correction) เพื่อทดสอบความแตกต่างของร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ α = 0.05 พบว่าค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง Koji acid กับ MfA-DW มีค่าเท่ากับ 0.000072 ค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง Koji acid กับ MfA-Liq มีค่าเท่ากับ 0.00042 ค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง Koji acid กับ MfA-40%EtOH มีค่าเท่ากับ 0.00035 ค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง Koji acid กับ MfA-99.5%EtOH มีค่าเท่ากับ 0.000055 เมื่อพิจารณาค่า p-value ข้างต้นเทียบกับ correction α = 0.005 พบว่าค่าร้อยละการยับยั้งการทำงานเอนไซม์ไทโรซิเนสของ Koji acid แตกต่างจากสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย Koji acid สามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ดีกว่าสารสกัดทั้งสี่แบบ ส่วนค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง MfA-DW กับ MfA-Liq, MfA-40%EtOH และ MfA-9.5%EtOH พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.0065, 0.02584 และ 0.00019 ตามลำดับ ค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง MfA-Liq กับ MfA-40%EtOH และ MfA-9.5%EtOH พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.1579 และ 0.0000048 ตามลำดับ และค่า p-value ของการวัด t-test ระหว่าง MfA-40%EtOH กับ MfA-9.5%EtOH เท่ากับ 0.00024 ดังนั้นค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของ MfA-DW, MfA-Liq และ MfA-40%EtOH จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันและมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ต่างจากค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของ MfA-99.5%EtOH



รูปที่ 3 ความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของ Koji acid และสารสกัดจากรกจันทน์

อภิปรายและสรุปผล

รกจันทน์คือส่วนห่อหุ้มเมล็ดจันทน์ที่อยู่ภายในผลเมื่อกะเทาะเปลือกออก ส่วนของรกจันทน์ประกอบด้วยสาร primary และ secondary metabolites หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง essential oils จึงมีการนำรกจันทน์ใช้ประโยชน์เป็นเครื่องเทศปรุงแต่งอาหารและมีสรรพคุณเป็นยา การทดลองสกัดสารจากรกจันทน์โดยใช้ตัวทำละลายแตกต่างกัน 4 แบบ คือ น้ำกลั่น เหล้าขาวสี่สิบดีกรี เอทานอลความเข้มข้น 40 และ 99.5 เปอร์เซ็นต์พบว่า การใช้ตัวทำละลายที่มีเอทานอลเป็นองค์ประกอบให้ปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด (TPC) ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 2) ส่วนสารสกัดน้ำ (MfA-DW) ให้ปริมาณ TPC ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเมื่อพิจารณาจากค่า IC_{50} ใน DPPH

assay (ตารางที่ 2) ซึ่งพบว่าสารสกัดที่มีเอทานอลเป็นตัวทำละลาย (MfA–Liq, MfA–40%EtOH และ MfA–99.5%EtOH) ให้ค่า IC_{50} ต่ำกว่าสารสกัดจากน้ำ (MfA–DW) ซึ่งบ่งชี้ถึงการมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าของ MfA–Liq, MfA–40%EtOH และ MfA–99.5%EtOH เมื่อเทียบกับ MfA–DW สาเหตุอาจเนื่องมาจากสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบในรกจันทน์ เช่น สารกลุ่มสารประกอบฟินอลิก essential oils, terpenes, lignans, neolignans และ Diphenylalkanes เป็นต้น เป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วน้อย (Abourashed and El–Alfy, 2016; Ha et al., 2020; Ashokkumar et al., 2022)

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากรกจันทน์พบว่า สารสกัดทั้งสี่แบบไม่สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ที่เป็นแบคทีเรียแกรมลบ แต่สารสกัด MfA–Liq และ MfA–99.5%EtOH มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของ *B. megaterium* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Paneerchelvan et al. (2015) ที่พบว่าสารสกัดเมทานอลจากใบจันทน์เทศไม่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบที่ใช้ในการศึกษา (*Pseudomonas aeruginosa*, *E. coli* และ *Klebsiella pneumoniae*) แต่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวกที่ใช้ในการศึกษาได้ทุกตัว (*Micrococcus luteus*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus* และ *B. cereus*) สาเหตุอาจเนื่องมาจากสารสกัดไม่สามารถซึมผ่านผนังเซลล์ชั้นนอกของแบคทีเรียแกรมลบ จึงไม่ส่งผลในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบ (Paneerchelvan et al., 2015) ส่วนฤทธิ์ต้านการอักเสบพบว่าสารสกัดทั้งสี่แบบมีฤทธิ์ต้านการอักเสบใกล้เคียงกัน (รูปที่ 2) ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Ozaki et al. (1989) และ Zhang et al. (2015) ที่พบว่าสารสกัดจากส่วนรกจันทน์และเปลือกหุ้มเมล็ดมีฤทธิ์ต้านอักเสบ Abourashed and El–Alfy (2016) ได้รวบรวมรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบที่พบในจันทน์เทศและพบว่า นอกจาก essential oils จะพบเป็นองค์ประกอบในเมล็ดจันทน์มากถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้งแล้ว ยังพบ lignans และ neolignans เป็นองค์ประกอบหลักของ secondary metabolites ในเมล็ดและรกจันทน์ macelignan สามารถยับยั้งการเกิด LPS–induced activation ใน Toll–like receptor 4 pathway โดยไปยับยั้ง nuclear factor NF–ĸB ลดการแสดงออกของ cyclooxygenase type–2 (COX–2) และการเกิด reactive oxygen species (ROS) (Ma et al., 2009) สาร malabaricone C ซึ่งจัดเป็น diphenylalkanes ที่พบในจันทน์เทศก็พบว่ามีฤทธิ์ต้านอักเสบด้วย (Maity et al., 2009)

เอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นหนึ่งในเอนไซม์เป้าหมายที่ใช้ในค้นหาสารสกัดจากธรรมชาติที่มีสรรพคุณช่วยเพิ่มความกระจ่างใสของผิว (skin–lightening agent) เอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์เมลานิน (melanin synthesis) (Pillaiyar et al., 2017) สารสกัดจากรกจันทน์ที่ได้จากการทดลองนี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส (รูปที่ 3) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Paneerchelvan et al. (2015) ที่พบว่าสารสกัดจากใบและเปลือกหุ้มเมล็ดมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส macelignan ที่ความเข้มข้น 10 M พบว่าสามารถลดการเคลื่อนย้าย melanosome และ dendrite formation ใน B16F10 melanoma cells จึงอาจประยุกต์ใช้ macelignan เป็น depigmenting agent ในผลิตภัณฑ์บำรุงผิว (Choi et al., 2011) นอกจากความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสและการเกิดเม็ดสีแล้ว macelignan และ neolignane ที่ชื่อ licarin E มีความสามารถในการปกป้อง skin fibroblasts จากรังสี UVB ลดการเกิด premature skin aging ผ่านกระบวนการเพิ่ม matrix metalloproteinases และลดการสังเคราะห์คอลลาเจน (Kwon et al., 2011; Lee et al., 2012)

จากผลการทดลองและข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่า สารสกัดจากรกจันทน์เป็นสารสกัดที่มีศักยภาพเพื่อพัฒนาต่อยอดสำหรับการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางบำรุงผิว การสกัดสารสามารถทำได้โดยใช้เอทานอลความเข้มข้นต่ำ (40 เปอร์เซ็นต์) หรือลดต้นทุนในการสกัดโดยใช้น้ำกลั่น ซึ่งเอทานอลความเข้มข้นต่ำและน้ำกลั่นให้สารสกัดที่มีฤทธิ์ในการต้านอักเสบและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสในระดับใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการศึกษาเพิ่มเติมในเชิงลึกเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์บำรุงผิวจากสารสกัดจากรกจันทน์ยังเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากรกจันทน์ที่สามารถใช้ได้จริงและตรงตามความต้องการของผู้บริโภค

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่โจ้–แพร่เฉลิมพระเกียรติ ที่สนับสนุนพื้นที่และอุปกรณ์วิจัยในการดำเนินโครงการวิจัย และขอขอบคุณคุณอังคณา ชมภูมิ่ง ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Abourashed EA, El–Alfy AT. (2016). Chemical diversity and pharmacological significance of the secondary metabolites of nutmeg (Myristica fragrans Houtt.). **Phytochem Rev**, 15(6), 1035–1056.

Ashokkumar K, Simal–Gandara J, Murugan M, Dhanya MK, Pandian A. Nutmeg (Myristica fragrans Houtt.) essential oil: A review on its composition, biological, and pharmacological activities. (2022). **Phytother Res**, 36(7), 2839–2851.

Champasuri S, Itharat A. (2016). Bioactivities of ethanolic extracts of three parts (wood, nutmeg and mace) from *Myristica fragrans* Houtt. **J Med Assoc Thai**, 99, Suppl 4, S124–130.

Choi EJ, Kang YG, Kim J, Hwang JK. (2011). Macelignan inhibits melanosome transfer mediated by protease–activated receptor–2 in keratinocytes. **Biol Pharm Bull**, 34, 748–754.

Gils CV, Cox PA. (1994). Ethnobotany of nutmeg in the Spice Islands. **J Ethnopharmacol**, 42, 117–124.

Ha MT, Vu1 NK, Tran TH, Kim JA, Woo MH, Min BS. (2020). Phytochemical and pharmacological properties of Myristica fragrans Houtt.: an updated review. **Arch Pharm Res**, 43, 1067–1092.

Kwon YY, Kim D, Kim J, Hwang JK. (2011). Effect of licarin E on expression of matrix metalloproteinase–1 and type–1 procollagen in UVB–irradiated human skin fibroblasts. **Phytother Res**, 25, 1891–1894.

Lee KE, Mun S, Pyun HB, Kim MS, Hwang JK. (2012). Effects of macelignan isolated from Myristica fragrans (nutmeg) on expression of matrix metalloproteinase–1 and type I procollagen in UVB–irradiated human skin fibroblast. **Biol Pharm Bull**, 35, 1669–1675.

Ma J, Hwang YK, Cho WH, Han SH, Hwang JK, Han JS. (2009). Macelignan attenuates activations of mitogen–activated protein kinases and nuclear factor kappa B induced by lipopolysaccharide in microglial cells. **Biol Pharm Bull**, 32, 1085–1090.

Maity B, Banerjee D, Bandyopadhyay SK, Chattopadhyay S. (2009). Regulation of arginase/nitric oxide synthesis axis via cytokine balance contributes to the healing action of malabaricone B against indomethacin–induced gastric ulceration in mice. **Int Immunopharmacol**, 9, 491–498.

Muddathir AM, Yamauchi K, Batubara I, Mohieldin EAM, Mitsunaga T. (2017). Anti–tyrosinase, total phenolic content and antioxidant activity of selected Sudanese medicinal plants. **S Afr J Bot**, 109, 9–15.

Olajide OA, Ajayi FF, Ekhelar AI, Awe SO, Makinde JM, Alada ARA. (1999). Biological effects of *Myristica fragrans* (nutmeg) extract. **Phytother Res**, 13, 344–345.

Ozaki Y, Soedigdo S, Wattimena YR, Suganda AG. (1989). Antiinflammatory effect of mace, aril of *Myristica fragrans* Houtt., and its active principles. **Jpn J Pharmacol**, 49(2), 155–163.

Paneerchelvan S, Lai H–Y, Kailasapathy K. (2015). Antioxidant, antibacterial and tyrosinase inhibiting activities of extracts from *Myristica fragrans* Houtt. **European J Med Plants**, 8(1): 39–49.

Pillaiyar T, Manickam M, Namasivayam V. (2017). Skin whitening agents: medicinal chemistry perspective of tyrosinase inhibitors. **J Enzyme Inhib Med Chem**, 32(1), 403–425.

Truong DH, Ta NTA, Pham TV, Huynh TD, Do QTG, Dinh NCG, Dang CD, Nguyen TKC, Bui AV. (2021). Effects of solvent–solvent fractionation on the total terpenoid content and in vitro anti–inflammatory activity of *Serevenia buxifolia* bark extract. **Food Sci Nutr**, 9(3), 1720–1735.

Zhang CR, Jayashree E, Kumar PS, Nair MG. (2015). Antioxidant and antiinflammatory compounds in nutmeg (*Myristica fragrans*) pericarp as determined by in vitro assays. **Nat Prod Commun**, 10(8), 1399–1402.

มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

(Poster Presentation)

การพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย

Improving the quality of life for the elderly at Ban Bu-Hom Subdistrict, Chiang-Khan District, Loei Province

ชมภูนาฏ ชมภูพันธ์[1*], สรินทร คุ้มเขต[1], ปานฤทัย พุทธทองศรี[2], ชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร[2], สุภาวดี สำราญ[2], กานต์ จันทระ[3] และ ยุทธศิลป์ ชัยสิทธิ์[3]

Chomphunat Chomphuphan[1*], Sarinthorn Khumkhet[1], Panruethai Putthongsri[2], Chaiyapruek Hongladdaporn[2], Supawadee Sumran[2], Kan Jantara[3] and Yuthasin Chaisit[3]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตสำหรับผู้สูงอายุ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ชาวบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย อายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 20 คน วิธีดำเนินการใช้หลักการวิจัยเชิงคุณภาพ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบบสัมภาษณ์ การอบรมเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม การสนทนากลุ่ม นำเสนอข้อมูลแบบพรรณนาวิเคราะห์ ผลการวิจัยพบว่า แนวทางการพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยการจัดให้มีโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการที่เกิดจากความต้องการของผู้สูงอายุที่มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความรู้ ลดรายจ่าย เพิ่มรายได้ รวมถึงการส่งเสริมสุขภาพกาย สุขภาพใจ ได้แก่ กิจกรรมพัฒนาผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนเพื่อลดรายจ่ายเพิ่มรายได้ และกิจกรรมนันทนาการสำหรับผู้สูงวัยด้วยการเต้นบาสโลบ จะช่วยสร้างการมีส่วนร่วม สนับสนุนความสามัคคีในชุมชน ส่งเสริมพฤติกรรมการออกกำลังกาย รวมทั้งเป็นการเตรียมความพร้อมให้กับผู้สูงอายุเพื่อรับมือสังคมสูงอายุโดยสมบูรณ์ในอนาคต

คำสำคัญ: ผู้สูงอายุ, สังคมสูงอายุโดยสมบูรณ์, พัฒนาคุณภาพชีวิต

[1] คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

[3] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

[1] Faculty of Education, Loei Rajabhat University, Loei, 42000

[2] Faculty of Science and Technology Loei Rajabhat University, Loei, 42000

[3] Faculty of Industrial Technology Loei Rajabhat University, Loei, 42000

*Corresponding author: chomphunat@yahoo.com

Abstract

This research aims to improve the quality of life for the elderly. The target group consisted of 20 elderly persons (60 years of age and older) in Ban Bu-Hom, Bu-Hom Sub District, Chiang-Khan District, Loei Province. The qualitative research method was used. This study's instruments featured interview forms, participation workshops, and group study. Use descriptive and analytical forms. The results revealed guidelines for improving the quality of life through the provision of a workshop program prompted by the requirements of the elderly. The objectives are to enhance knowledge, reduce expenses, and increase income while also promoting both mental and physical health, such as household product development activities to reduce expenses and increase income, as well as activities for preparing for retirement with Paslop dance to encourage participation, support community unity, promote exercise behavior and prepare the elderly to deal with an aged society in the future.

Keywords: Elderly, Aged society, Quality of life

บทนำ

สหประชาชาติ ได้นิยาม “ผู้สูงอายุ” คือประชากรทั้งเพศชายและเพศหญิงซึ่งมีอายุมากกว่า 60 ปีขึ้นไป โดยเป็นการนิยามนับตั้งแต่อายุเกิด ตามนิยามนี้ ประเทศไทยเป็น “สังคมสูงอายุ” (ageing society) ตั้งแต่ปี 2548 เพราะในเวลานั้นประเทศไทยมีประชากรตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป มีสัดส่วนร้อยละ 10.4 และคาดว่าในอนาคตอันใกล้ ประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปจะมีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 20 ซึ่งหมายความว่า ประเทศไทยจะก้าวจากสังคมสูงอายุเป็น “สังคมสูงอายุโดยสมบูรณ์” (aged society) (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2566) จึงเป็นเหตุผลที่สังคมไทยต้องตระหนัก รับรู้ เตรียมการรับมือ และเตรียมความพร้อมการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ โดยควรให้ความสำคัญต่อความต้องการและการสนับสนุนแก่ผู้สูงอายุในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านร่างกาย จิตใจ และสังคม ทั้งนี้เพราะผู้สูงอายุจัดเป็นทรัพยากรมนุษย์ที่มีคุณค่าเพราะเป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถที่ฝังลึกในตัว ประสบการณ์ที่มีคุณค่าโดยมีทุนทางสังคมวัฒนธรรมในชุมชนท้องถิ่นที่สามารถพัฒนาถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับคนรุ่นหลังต่อไปได้ (สมปอง สุวรรณภูมิ, 2560) นอกจากนี้ ผู้สูงอายุยังเปรียบเสมือนศูนย์รวมจิตใจของครอบครัวที่คอยให้ความอบอุ่น ให้คำแนะนำตามประสบการณ์ที่ผ่านมา การส่งเสริมสุขภาพกายใจของผู้สูงวัยให้สามารถพึ่งพาตนเองได้ดี และดำรงชีวิตด้วยตนเองได้อย่างมีคุณค่าจะเป็นส่วนหนึ่งที่นำไปสู่ความสำเร็จในการพึ่งตนเองของชุมชนให้มีความยั่งยืน บ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย มีประชากรอยู่อาศัยจำนวน 221 ครัวเรือน ประชากรรวม 877 คน แต่จากข้อมูลระบบ 3 หมอรู้จักคุณ พบว่าบ้านบุฮมมีจำนวนผู้สูงอายุ สูงถึง 253 คน (กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ, 2566) คิดเป็นร้อยละ 28.85 จากประชากรทั้งหมด ตัวเลขดังกล่าวแสดงว่าบ้านบุฮมมีประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป มีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 20 ซึ่งอยู่ในนิยามของ “สังคมสูงอายุโดยสมบูรณ์” ทั้งนี้ ผู้สูงอายุทั้งหมดในบ้านบุฮมเป็น กลุ่มติดสังคม กล่าวคือ เป็นผู้สูงอายุที่ช่วยเหลือตัวเองได้ดี ดำเนินชีวิตในสังคมได้อย่างอิสระ มีสุขภาพทั่วไปดี ไม่มีโรคเรื้อรัง สามารถช่วยเหลือผู้อื่น ชุมชน สังคมได้ (กรมกิจการผู้สูงอายุ, 2564) การสนับสนุนส่งเสริมให้ผู้สูงอายุในกลุ่มติดสังคมได้มีกิจกรรมด้านต่าง ๆ ร่วมกัน จึงเป็นแนวทางในการให้คุณค่าและพัฒนาคุณภาพผู้สูงอายุของประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

พัฒนาคุณภาพชีวิตสำหรับผู้สูงอายุบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธีวิจัยเชิงคุณภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

1. **การกำหนดพื้นที่** ผู้วิจัยกำหนดพื้นที่เป้าหมายคือ บ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย

2. กลุ่มเป้าหมายในการวิจัย คือ ชาวบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย อายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 20 คน

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้เครื่องมือในการวิจัยที่สร้างขึ้นให้สอดคล้องกับระเบียบวิธีวิจัยในเชิงคุณภาพ คือ แบบสัมภาษณ์ การอบรมเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม และการสนทนากลุ่ม

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) การเตรียม/วางแผนดำเนินการวิจัยศึกษาเอกสาร และข้อมูลที่เกี่ยวข้องสร้างเครื่องมือในการวิจัย และติดต่อประสานงานกลุ่มเป้าหมาย

2) เก็บข้อมูลทั่วไปและศึกษาเกี่ยวกับการดำเนินชีวิต รายรับ-รายจ่าย การกินอาหาร สุขภาพ และพฤติกรรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุในปัจจุบัน โดยการสังเกตแบบมีส่วนร่วม สัมภาษณ์ผู้นำชุมชน และชาวบ้าน เพื่อให้ได้ข้อมูลตามประเด็นที่ต้องการ

3) ดำเนินกระบวนการจัดกิจกรรมเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตสำหรับผู้สูงอายุบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย

4) จัดสนทนากลุ่มร่วมกันสรุปแนวปฏิบัติในการพัฒนาคุณภาพชีวิต เพื่อคืนข้อมูลสู่ชุมชนบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย

5) สรุปผลการวิจัยในเชิงพรรณนาวิเคราะห์/นำเสนอผู้เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษา

บ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ตั้งอยู่บริเวณทิศเหนือสุดเยื้องไปทางทิศตะวันออกของเขตอำเภอเชียงคาน มีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มสลับภูเขา สภาพแวดล้อมยังมีความอุดมสมบูรณ์ ติดแม่น้ำโขง ประชากรส่วนใหญ่ ประกอบอาชีพทางการเกษตรเป็นหลัก โดยเฉพาะการทำสวนผลไม้ ซึ่งพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ มะขามหวาน มะม่วง กล้วย รวมถึงผลไม้ชนิดอื่น เช่น เงาะ ฝรั่ง มะยงชิด กระท้อน และทุเรียน ซึ่งในแต่ละปีล้วนให้ผลผลิตที่มีคุณภาพและมีปริมาณมาก บุฮมเป็นแหล่งส่งออกผลไม้ที่สำคัญแห่งหนึ่งในอำเภอเชียงคาน จนได้รับขนานนามว่าเป็น "เมืองผลไม้ตลอดปี" จากการที่ตั้งชุมชนอยู่ในตำแหน่งภูมิศาสตร์ที่ดี ส่งผลให้สินค้าการเกษตรที่ผลิตสร้างรายได้ที่ดีให้ชุมชน จึงมีน้อยคนที่ไปรับจ้างทำงานที่อื่น นอกจากนี้ ชาวบ้านบุฮม ส่วนใหญ่มีเชื้อสายไทพวน ซึ่งมีถิ่นฐานเดิมอยู่ที่เมืองเตาไห หลวงพระบาง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ได้อพยพล่องตามแม่น้ำโขงมาตั้งถิ่นฐานที่บ้านบุฮม และส่วนหนึ่งย้ายต่อไปบ้านกลาง อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย เมื่อครั้งที่พวกจีนฮ่อ กุลา เงี้ยว รุกรานเมืองเตาไห (เกศรี วิวัฒนปฐพี และคณะ, 2565) ส่งผลให้ชาวไทพวนบ้านบุฮมมีความเป็นอยู่ที่เรียบง่ายแบบสังคมชนบท ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน มีความขยัน อดทน และยังคงรักษาความรักใคร่กลมเกลียวจนถึงปัจจุบัน

จากการศึกษาพฤติกรรมของผู้สูงอายุบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ด้านการดำเนินชีวิต พบว่า ส่วนใหญ่ยังคงประกอบอาชีพเกษตรกรรม แต่ลดบทบาทและเวลาในการทำงานลงมากกว่าช่วงวัยทำงาน เนื่องจากส่วนหนึ่งมีปัญหาด้านสุขภาพ หรือลูกหลานให้เลิกทำงาน บางส่วนเน้นการทำงานบ้านเท่านั้น นอกจากนี้ บางคนที่ไม่มีที่ดินเป็นของตนเอง จะเปลี่ยนจากการรับจ้างทำเกษตรกรรมเป็นรับจ้างช่วยทำงานที่ล้ง (ร้านรับซื้อ-ขาย

สินค้าเกษตร) ส่งผลให้รายรับลดลง หรือไม่มีเลย แต่ผู้สูงอายุส่วนใหญ่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้จากการกินอยู่ใช้ชีวิตร่วมกันกับสมาชิกในครอบครัว และได้รับเบี้ยผู้สูงอายุอีกทางหนึ่ง ซึ่งจากการสอบถามส่วนใหญ่เพียงพอกับการดำรงชีวิตเพราะไม่ค่อยมีรายจ่ายในแต่ละวันมากนัก ส่วนพฤติกรรมด้านอาหาร สุขภาพ และการออกกำลังกาย พบว่า การรับประทานอาหารส่วนใหญ่เน้นผัก ผลไม้ ปลา เป็นการรับประทานโดยไม่ได้คำนึงถึงความรู้ด้านการรักษาสุขภาพ แต่เพราะเป็นผลผลิตในชุมชน ราคาไม่แพง หาซื้อง่าย และเป็นเมนูที่ “เคยกินเคยทำมา” ส่วนของการดูแลรักษาสุขภาพ ผู้สูงอายุที่สำรวจทุกคนไม่เคยตรวจสุขภาพประจำปี แต่จะไปพบแพทย์ต่อเมื่อเจ็บป่วย ไม่สบายหนัก จนกระทั่งซื้อยารักษาอาการเองแล้วไม่หาย ทั้งนี้ ส่วนใหญ่รับทราบข้อมูลด้านสุขภาพ และการรักษาสุขภาพจากอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) โดยนอกจากสมาชิกครอบครัวแล้วยังมีเพื่อนบ้านในชุมชนหรือบ้านใกล้เรือนเคียงคอยดูแล จัดหาอาหารและผลไม้ให้รับประทานเมื่อเจ็บป่วย สำหรับพฤติกรรมด้านการออกกำลังกาย พบว่า มีส่วนหนึ่งที่เคยเข้าร่วมกิจกรรมแอโรบิคของหมู่บ้าน แต่ไม่ได้ทำต่อเนื่อง และปัจจุบันเลิกปฏิบัติแล้ว นอกจากนี้ บางส่วนเคยรวมกลุ่ม 5–6 คน เต้นบาสโลบเพื่อแสดงต้อนรับเมื่อมีกลุ่มคนมาศึกษาดูงาน แสดงในเทศกาลประจำปี โดยผู้สูงอายุส่วนใหญ่ทราบดีว่าการออกกำลังกายที่เหมาะสมจะส่งผลให้ร่างกายแข็งแรง มีสุขภาพดี

การดำเนินกระบวนการจัดกิจกรรม เริ่มต้นจากการหาแนวทางการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ โดยการสนทนากลุ่มกับแกนนำกลุ่มเป้าหมาย เพื่อให้ได้กรอบความต้องการของสมาชิกในการพัฒนาตนเอง ผลการสนทนาสรุปประเด็นที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกหัวข้อจัดกิจกรรมคือ เตรียมความพร้อมการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ โดยควรให้ความสำคัญต่อความต้องการและการสนับสนุนแก่ผู้สูงอายุในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านร่างกาย จิตใจ และสังคม โดยผู้เข้าร่วมสนทนากลุ่มต้องการทำกิจกรรมที่ให้ความรู้ที่เน้นการปฏิบัติมากกว่าการฟังบรรยาย เน้นกิจกรรมที่สามารถนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวันได้ ช่วยลดรายจ่ายให้กับครอบครัว ในขณะเดียวกันต้องเป็นกิจกรรมที่ทำได้ง่าย ไม่เป็นภาระ และใช้เวลาไม่มากเกินไป ได้ข้อสรุปคือ “กิจกรรมพัฒนาผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนเพื่อลดรายจ่ายเพิ่มรายได้” โดยเมื่อสอบถามความต้องการผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้พัฒนา ได้แก่ ยาสระผม ครีมอาบน้ำ สบู่ และยานวดบรรเทาปวด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้เป็นประจำ สามารถทำได้ง่าย ราคาไม่แพง เมื่อสิ้นสุดโครงการแล้วสมาชิกสามารถทำได้เอง และเมื่อนำเสนอกิจกรรมที่เป็นการส่งเสริมสุขภาพกาย ผู้เข้าร่วมสนทนาต้องการให้เป็นกิจกรรมที่เน้นการปฏิบัติมากกว่าฟังบรรยายเรื่องสุขภาพ เช่น การออกกำลังกาย การเต้น หรือการรำพื้นบ้านอย่างง่าย แต่ต้องไม่ใช้แรงมาก ไม่ยากเกินไป และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เวลาต้อนรับกลุ่มศึกษาดูงาน หรือแสดงในงานบุญประเพณีของหมู่บ้าน ได้ข้อสรุปคือ “กิจกรรมนันทนาการสำหรับผู้สูงวัยด้วยการเต้นบาสโลบ”



ภาพที่ 1 การสนทนาเพื่อหากรอบความต้องการของสมาชิกในการพัฒนาตนเอง

การจัดกิจกรรมเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตสำหรับผู้สูงอายุบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ได้แก่ การอบรมเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม 2 เรื่อง คือ กิจกรรมพัฒนาผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนเพื่อลดรายจ่ายเพิ่มรายได้ และกิจกรรมนันทนาการสำหรับผู้สูงวัยด้วยการเต้นบาสโลบ มีขั้นตอนดำเนินกิจกรรม ดังนี้

1. ดำเนินการร่วมกับแกนนำกลุ่ม เพื่อกำหนดวันเวลาที่เหมาะสม วางแผนการทำกิจกรรม สมาชิกที่จะเข้าร่วม สำรวจสถานที่ เตรียมความพร้อมของวัสดุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการจัดกิจกรรม

2. กิจกรรมพัฒนาผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนเพื่อลดรายจ่ายเพิ่มรายได้ จากข้อสรุปของกลุ่มที่ต้องการนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน ช่วยลดรายจ่ายให้กับครอบครัว จึงจัดกิจกรรมพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันที่สามารถทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องมือยุ่งยาก หาวัตถุดิบได้ง่าย และต้องการใช้วัตถุที่หาได้ในท้องถิ่นเป็นส่วนผสม รูปแบบกิจกรรมเป็นการอบรมเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม มีขั้นตอนดังนี้

2.1 ให้กลุ่มเป้าหมายร่วมกันสำรวจและคัดเลือกพืชผักผลไม้ท้องถิ่นในพื้นที่ เพื่อนำมาสกัดสารสำคัญสำหรับนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนา ได้พืช 4 ชนิด ได้แก่ มะม่วง ขิง ไพล และขมิ้น

2.2 ร่วมกันเตรียมวัตถุดิบสำหรับทำยาสระผม ครีมอาบน้ำ สบู่ และยานวดบรรเทาปวด รวมถึงสาระสำคัญที่สกัดจากพืชท้องถิ่นโดย

- ยาสระผม เตรียมสารสกัดจากขิง
- ครีมอาบน้ำ เตรียมสารสกัดจากขมิ้นกับมะม่วง
- สบู่ เตรียมสารสกัดจากขมิ้น
- ยานวดบรรเทาปวด เตรียมสารสกัดจากไพล

2.3 จัดกิจกรรมถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารสกัดสำคัญพืชท้องถิ่นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เริ่มจากคณะผู้วิจัยแนะนำเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ สาธิตการสกัดสารสำคัญจากพืชแต่ละชนิด จากนั้นแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมอบรมเป็น 4 กลุ่ม เพื่อให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมทดลองปฏิบัติร่วมกันโดยมีทีมวิจัยเป็นพี่เลี้ยงกำกับดูแลในแต่ละกลุ่ม ผู้วิจัยจึงสาธิตการทำยาสระผม ครีมอาบน้ำ สบู่ และยานวดบรรเทาปวด ตามลำดับ โดยในแต่ละผลิตภัณฑ์จะให้แต่ละกลุ่มปฏิบัติตามไปพร้อม ๆ กัน ทั้งนี้ การแบ่งกลุ่มย่อยเพื่อลงมือปฏิบัติจะทำให้สมาชิกทุกคนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองทั้งหมด นอกจากนี้ มีการทำคู่มือในการทำผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด พร้อมชี้แจงแหล่งจัดหาวัตถุดิบแต่ละชนิด ให้ผู้เข้าร่วมอบรมสามารถอ่านทบทวนและลงมือปฏิบัติได้ด้วยตนเองในภายหลัง

เมื่อปฏิบัติการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิดเรียบร้อยแล้ว ให้ตัวแทนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มลงมือทำด้วยตนเอง 1 ชนิด พร้อมสรุปขั้นตอนและวัตถุดิบที่ใช้เพื่อเป็นการทบทวน จากนั้นให้สมาชิกภายในกลุ่มบอกข้อดีของการพัฒนาผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วยตนเอง และสรุปบทเรียนร่วมกัน เมื่อเสร็จสิ้นการทำกิจกรรมแล้ว หัวหน้ากลุ่มดำเนินการจัดสรรแจกจ่ายผลิตภัณฑ์ให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมนำกลับไปใช้ในครอบครัวต่อไป



ภาพที่ 2 ปฏิบัติการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนเพื่อลดรายจ่ายเพิ่มรายได้ 1




ภาพที่ 3 ปฏิบัติการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนเพื่อลดรายจ่ายเพิ่มรายได้ 2






ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนที่สมาชิกลงมือทำเพื่อลดรายจ่ายเพิ่มรายได้

3. กิจกรรมนันทนาการสำหรับผู้สูงวัยด้วยการเต้นบาสโลบ จากการสรุปความต้องการกิจกรรมที่เป็นการส่งเสริมสุขภาพกาย สมาชิกต้องการให้เน้นการปฏิบัติการออกกำลังกายแบบง่ายๆ ไม่ใช้แรงมาก ไม่ยากเกินไป สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นการแสดงได้ จึงได้ข้อสรุปเป็นการเต้นบาสโลบ (Paslop) ของสปป.ลาว ที่คนลาวนิยมเต้นเวลาออกงานสังคม งานสังสรรค์ หรือรับแขกบ้านแขกเมือง บาลโลบมีการเตะเท้าเป็นจังหวะ ใช้จังหวะง่าย ๆ ไม่ใช้แรงมาก ที่สำคัญมีสมาชิกกลุ่มส่วนหนึ่งสามารถเต้นพื้นฐานได้อยู่แล้ว โดยกระบวนการดำเนินกิจกรรม มีขั้นตอนดังนี้

3.1 ให้กลุ่มเป้าหมายดูคลิปวิดีโอการเต้นบาสโลบแต่ละจังหวะ และเลือกจังหวะที่ต้องการ เมื่อเลือกแล้ว ผู้วิจัยจะสาธิตท่าทางและให้ตัวแทนสมาชิกปฏิบัติตาม ถ้าปฏิบัติตามไม่ได้จะเปลี่ยนจังหวะ ได้ข้อสรุปเลือกจังหวะที่นำไปใช้ในการอบรม คือ จังหวะพื้นฐาน ที่คาดว่าสมาชิกทั้งหมดสามารถปฏิบัติได้ หลังจากนั้น สมาชิกมีข้อตกลงร่วมกันว่าต้องการให้การเต้นบาสโลบมีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ จึงขอให้มีการผสมผสานทำนองไทพวน ซึ่งเป็นเพลงที่นำเสนอชนเผ่าต้นกำเนิดของชาวบ้านบุฮมในการเต้น

3.2 จัดกิจกรรมนันทนาการสำหรับผู้สูงวัยด้วยการเต้นบาสโลบ เริ่มจากวิทยากรแนะนำตัวเอง และให้ผู้เข้าอบรมแนะนำตนเอง พร้อมนำเสนอความคาดหวังในการเข้ารับการอบรม และพื้นฐานการรำ การเต้น หรือการออกกำลังกายของแต่ละคน แลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับประสบการณ์ในการเต้นและให้รับชมคลิปวิดีโอการเต้น

บาสโลบ ของ สปป.ลาว หลังจากนั้น วิทยากรให้ความรู้เกี่ยวกับหลักสำคัญของการเต้นบาสโลบ แล้วจึงสาธิตท่าเต้นบาสโลบพื้นฐาน หลังจากวิทยากรสาธิตแล้ว แบ่งผู้เข้าร่วมอบรมเป็น 4 กลุ่ม ตามความสมัครใจ โดยกำหนดให้แต่ละกลุ่มมีสมาชิกที่สามารถเต้นบาสโลบพื้นฐานได้อยู่แล้ว และมอบหมายให้เป็นพี่เลี้ยงประจำกลุ่มร่วมกับวิทยากร

ให้ผู้เข้าร่วมอบรมตั้งแถวตอนลึก 4 แถว ให้สมาชิกที่เป็นพี่เลี้ยงอยู่ด้านหน้าและด้านท้ายของแถว จากนั้นปฏิบัติตามที่วิทยากรสาธิต โดยเปลี่ยนทิศทางการเต้นไปตามจังหวะ เมื่อปฏิบัติตามได้ระยะหนึ่งให้แบ่งกลุ่มเพื่อฝึกซ้อมทบทวนกันเองโดยมีทีมวิทยากรช่วยเป็นพี่เลี้ยงประจำกลุ่ม หลังจากปฏิบัติได้แล้ว วิทยากรสาธิตการเต้นประกอบทำนองไทพวนให้ผู้เข้าร่วมอบรมปฏิบัติตาม และแบ่งกลุ่มฝึกซ้อมจนสามารถปฏิบัติได้เอง วิทยากรทดสอบโดยให้ผู้เข้ารับการอบรมแต่ละกลุ่มปฏิบัติท่าเต้นบาสโลบตามจังหวะไทพวนทีละกลุ่ม จากนั้นสรุปบทเรียนร่วมกันถึงหลักวิธีการเต้นบาสโลบ และอภิปรายถึงข้อดีการเต้นบาสโลบเพื่อสุขภาพ ทั้งนี้ ในการอบรมเชิงปฏิบัติการการเต้นบาสโลบ ใช้ระยะเวลาในการอบรม รวม 2 วัน

หลังจากเสร็จสิ้นการอบรม สมาชิกร่วมกันเลือก และกำหนดรูปแบบการแต่งกายสำหรับใช้การแสดงในโอกาสต่าง ๆ โดยเน้นให้สื่อถึงความนิยมของคนพื้นถิ่นที่ใช้ผ้าฝ้ายในการแต่งกาย แต่ต้องไม่เป็นการสร้างภาระค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมให้สมาชิกมากเกินไป จึงกำหนดให้ใช้ผ้าซิ่นพื้นเมืองของแต่ละคนที่มีอยู่แล้ว แต่เน้นโทนสีเข้ม เช่น สีน้ำเงิน คราม หรือน้ำตาลเป็นหลัก สวมเสื้อแขนกระบอกผ้าฝ้ายสีขาวที่ใช้ใส่ไปทำบุญที่วัด ตกแต่งด้วยผ้าสไบสีน้ำเงิน ซึ่งตกลงใช้เป็นแบบเดียวกันเพื่อสร้างความเป็นเอกภาพ ส่งผลให้การชุดแต่งกายที่จะใช้สวยงามสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น



ภาพที่ 5 ปฏิบัติการกิจกรรมการเต้นบาสโลบเพื่อสุขภาพ



ภาพที่ 6 การแต่งกายกิจกรรมการเต้นบาสโลบเพื่อสุขภาพ

ผลการจัดกิจกรรมเพื่อสรุปแนวปฏิบัติในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ เป็นการจัดสนทนากลุ่มเพื่อร่วมกันทบทวนกระบวนการ แนวปฏิบัติในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุของกลุ่มผู้สูงอายุบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย โดยให้ผู้สูงอายุร่วมกันทบทวนกระบวนการ การได้มาซึ่งกิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อสร้างความรู้ ลดรายจ่าย เพิ่มรายได้ รวมถึงการส่งเสริมสุขภาพกาย ซึ่งได้แก่ กิจกรรมพัฒนาผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนเพื่อลดรายจ่ายเพิ่มรายได้ และกิจกรรมนันทนาการสำหรับผู้สูงวัยด้วยการเต้นบาสโลบ สมาชิกสนทนาสรุปว่าเมื่อหัวข้อกิจกรรมเริ่มต้นจากการมีส่วนร่วมในการคิด นำเสนอ และความต้องการร่วมกันแล้ว ก็จะส่งผลให้เกิดความร่วมมือร่วมใจในการทำกิจกรรม การจัดกิจกรรมในหัวข้อที่หลากหลายช่วยทำให้ผู้สูงอายุไม่เบื่อ รู้สึกถึงคุณค่าในตัวเองในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในครัวเรือนต่อไป

อภิปรายและสรุปผล

บ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความอุดมสมบูรณ์ ติดน้ำโขง ส่งผลดีต่ออาชีพทางการเกษตร ชาวบ้านส่วนใหญ่มีเชื้อสายไทพวนทำให้คนในชุมชนมีความใกล้ชิด และมีความเป็นอยู่คล้าย ๆ กัน ส่วนใหญ่รับทราบข้อมูลด้านสุขภาพ และการรักษาสุขภาพจาก อสม. โดยนอกจากสมาชิกครอบครัวแล้วยังมีเพื่อนบ้านในชุมชนหรือบ้านใกล้เรือนเคียงค่อยดูแลเมื่อเจ็บป่วย สอดคล้องกับ ศันสนีย์ วงศ์ชนะ (2565) ที่ศึกษาพฤติกรรมสุขภาพของผู้สูงอายุในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า ผู้สูงอายุค่อนข้างมีความรู้ความเข้าใจในการดูแลสุขภาพ และคนในชุมชนมีความใกล้ชิดกันและมีความเป็นอยู่คล้ายๆ กัน ดูแลช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ชาวบ้านบุฮมส่วนหนึ่งเคยเข้าร่วมกิจกรรมแอโรบิค และบางส่วนเคยเต้นบาสโลบ แต่ไม่ได้ทำเป็นประจำ โดยผู้สูงอายุส่วนใหญ่ทราบดีว่าการออกกำลังกายที่เหมาะสมจะส่งผลให้ร่างกายแข็งแรง มีสุขภาพดี

การวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตสำหรับผู้สูงอายุ รองรับการที่ประเทศไทยจะก้าวจาก “สังคมสูงอายุ” เป็น “สังคมสูงอายุโดยสมบูรณ์” (aged society) โดยแนวทางการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุด้วยการจัดให้มีโครงการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความรู้ให้แก่ผู้สูงอายุหรือโครงการที่ช่วยส่งเสริมและสนับสนุนความรักใคร่ ความสามัคคีกันในครอบครัวเป็นการเตรียมความพร้อมให้สถาบันครอบครัวในการรับมือกับสังคมผู้สูงวัยในอนาคต (สุภัคชัย ดำสีใหม่ และคณะ, 2565) การกำหนดกิจกรรมพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ ด้วยการจัดให้มีโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการที่เกิดจากความต้องการของผู้สูงอายุ เป็นการให้ความสำคัญต่อความต้องการและการสนับสนุนแก่ผู้สูงอายุในด้านร่างกาย จิตใจ และสังคม ยังสอดคล้องกับนโยบายและมาตรการของรัฐที่มุ่งไปสู่ “การสูงวัยอย่างมีสุขภาวะ” (healthy ageing) และ “การสูงวัยอย่างมีพลัง” (active ageing) (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2566) กิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน เป็นกิจกรรมที่ผู้สูงอายุได้ทั้งความรู้ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในครัวเรือน ยังเป็นการช่วยลดรายจ่ายของครอบครัว ช่วยทำให้ผู้สูงอายุรู้สึกถึงคุณค่าในตัวเอง เป็นไปตามแผนปฏิบัติการด้านผู้สูงอายุ ระยะที่ 3 (พ.ศ. 2566–2580) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณค่าและศักดิ์ศรีของผู้สูงอายุด้วยการส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้สูงอายุได้เพิ่มพูนศักยภาพของตนเอง ผู้สูงวัยสามารถถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ให้แก่ลูกหลานและเยาวชนรุ่นหลังได้ ทั้งยังเป็นผู้ทำประโยชน์ให้แก่สังคม หากมีสุขภาพแข็งแรง และสุขภาพจิตที่ดีก็จะเป็นขวัญกำลังใจของครอบครัวและเป็นผู้ถ่ายทอดมรดกทางวัฒนธรรมให้แก่คนรุ่นหลัง (จิราพร ไชยเชนิทร, 2555) นอกจากนี้ กิจกรรมนันทนาการสำหรับผู้สูงวัยด้วยการเต้นบาสโลบ จะช่วยสร้างการมีส่วนร่วม สนับสนุนความสามัคคีในชุมชน ส่งเสริมพฤติกรรมการออกกำลังกาย และสามารถจัดแสดงในโอกาสต่างๆ ได้ สอดคล้องกับ ประภาศรี ศรีประดิษฐ์ และคณะ (2564) ที่กล่าวถึงการใช้นาฏศิลป์พื้นเมืองเพื่อเป็นแนวทางการส่งเสริมคุณภาพชีวิตสำหรับผู้สูงอายุ โดยการเผยแพร่ในพื้นที่สาธารณะก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้สำหรับผู้สูงอายุ สร้างความภาคภูมิใจที่มีต่อตนเองของผู้สูงอายุ ที่ได้มีส่วนร่วมในการแสดงออกอันเป็นงานสำคัญของท้องถิ่นที่ได้จัดขึ้นแสดงให้เห็นถึงความสำคัญในขนบธรรมเนียมประเพณี การพัฒนาคุณภาพชีวิตสำหรับผู้สูงอายุ ด้วยการส่งเสริมสุขภาพกายใจของผู้สูงวัยให้สามารถพึ่งพาตนเองได้ดี และดำรงชีวิตด้วยตนเองได้อย่างมีคุณค่าในระดับที่เหมาะสมตามความจำเป็นพื้นฐานในสังคมหนึ่งในช่วงเวลาหนึ่ง จะเป็นส่วนหนึ่งที่นำไปสู่ความสำเร็จในการพึ่งตนเองของชุมชนให้มีความยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ชาวบ้านบุฮม ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล และขอขอบคุณ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับนำเสนองานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมกิจการผู้สูงอายุ. (3 มีนาคม 2564). **คู่มือระบบดูแลและคุ้มครองพิทักษ์สิทธิผู้สูงอายุในระดับพื้นที่.** กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. https://www.dop.go.th/th/know/15/196

กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ. (9 พฤศจิกายน 2566). **ระบบ 3 หมอรู้จักคุณ.** กระทรวงสาธารณสุข. https://3doctor.hss.moph.go.th/main/

เกศรี วิวัฒนปฐพี, โสภา ชัยพัฒน์ บงกช เจนชัยภูมิ, มาลินี ผลประเสริฐ เดือนฉาย ผ่องใส. (2565). อัตลักษณ์และพื้นที่ทางสังคม: ภาพสะท้อนวิถีชีวิตไทพวน ในภาคอีสาน, **วารสารมหาจุฬานาครทรรศน์**, ปีที่ 9 ฉบับที่ 10, หน้า 62–77.

จิราพร ไชยเชนิทร. (2555). **การพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุในตำบลท่าทองใหม่ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี.** สุราษฎร์ธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี.

ประภาศรี ศรีประดิษฐ์, วารีรัตน์ แก้วอุไร, อังคณา อ่อนธานี และจักรกฤษ จันทะคุณ. (2564). นาฏศิลป์พื้นเมือง : แนวทางการส่งเสริมคุณภาพชีวิตสำหรับผู้สูงอายุ, **ศิลปกรรมสาร,** ปีที่ 14 ฉบับที่ 1, หน้า 90–106.

ศันสนีย์ วงศ์ชนะ. (2565). พฤติกรรมสุขภาพของผู้สูงอายุในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี, **วารสารสุขศึกษา**, ปีที่ 45 ฉบับที่ 1, หน้า 181–191.

สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล. (2566). **สุขภาพคนไทย 2566 : คำสัญญาของไทยในคอป (COP: Conference of Parties) กับการรับมือโลกรวน** (พิมพ์ครั้งที่ 1). นครปฐม: สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล.

สมปอง สุวรรณภูมิ. (2560). ภูมิปัญญาผู้สูงอายุ, **วารสาร มจร. มนุษยศาสตร์ปริทรรศน์**, ปีที่ 3 ฉบับที่ 1, หน้า 101–117.

สุภัคชัย ดำสีใหม่ และคณะ. (2565). แนวทางการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ, **วารสารมหาจุฬาคชสาร**, ปที่ 13 ฉบับที่ 1, หน้า 1–10.

สื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

The influence of public relations media on students' decision to study at school of information and communication technology, University of Phayao

มยุเรศ แสงสว่าง[1*]

Mayures Sangsawang[1*]

บทคัดย่อ

ปัญหาที่สถาบันอุดมศึกษาต้องประสบ คือ ปัญหาจำนวนผู้เรียนที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากประชากรวัยเรียนในระดับมัธยมศึกษาที่จะเข้าสู่มหาวิทยาลัยลดลงสถาบันอุดมศึกษา โดยเฉพาะ มหาวิทยาลัยจึงต้องปรับตัว โดยเน้นการประชาสัมพันธ์ สื่อประชาสัมพันธ์จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้องค์กรมีภาพลักษณ์ที่ดีในสังคม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อของนิสิตชั้นปีที่ 1 และ 2) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับรู้สื่อประชาสัมพันธ์ของนิสิตในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นิสิตชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2566 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 210 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐาน และส่วนที่ 2 ช่องทางสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

ผลการวิจัยพบว่าสื่อประชาสัมพันธ์ที่นิสิตให้ความสนใจมากที่สุดในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา คือ ช่องทางสื่อประชาสัมพันธ์ที่เข้าศึกษาจาก เฟซบุ๊ก (Facebook) เรียนต่อคณะ ICT ม.พะเยา (https://www.facebook.com/ictupadmission) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.11 มีระดับความคิดเห็นมากที่สุด และอันดับรองลงมา คือ ทางเว็บไซต์ (Website) ของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร(http://ict.up.ac.th) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.03 มีระดับความคิดเห็นมากที่สุด และอันดับสุดท้าย ทราบจากการแนะแนวหลักสูตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.00 มีระดับความคิดเห็นมากตามลำดับ

คำสำคัญ: สื่อประชาสัมพันธ์, อิทธิพลต่อการตัดสินใจ, การศึกษาต่อ, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

[1] คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Office of Secretary, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: mayurate.sa@up.ac.th

Abstract

The problem that educational institutions have to face is the continuously decreasing number of students. This also has resulted in a decrease in the secondary school-age population entering university. Consequently, the university itself must adjust with emphasis on public relations. Public Relations Media is important for organizations to help create a good image in the society. The objectives of the study are 1) to investigate the influence of public relations media on students' decision making and 2) to study the media perceptions and behaviors of students at the School of Information and Communication Technology, University of Phayao.

The subjects of the study are the 210 freshmen, academic year 2023 in School of Information and Communication Technology, University of Phayao. The research instruments are the questionnaires, divided into 2 parts, consisting of two parts, part 1 students' basic information and part 2 the decision in choosing the School of Information and Communication Technology, University of Phayao.

The results showed that the public relations media that freshmen are most interested in studying in the School of Information and Communication Technology, University of Phayao are Facebook media to https://www.facebook.com/ictupadmission with an average of 4.11 with the highest level of opinion and the second ranked on the website of the School of Information and Communication Technology, University of Phayao (http://ict.up.ac.th) had the average at 4.03 with the highest opinion level and the last place is known from course guidance the average value is 4.00 with a high level of opinion, respectively.

Keywords: Public Relation Media, Influence on decision, Further Education, School of Information and Communication Technology

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาที่แทบจะทุกสถาบันการศึกษาต้องประสบ คือ ปัญหาเรื่องจำนวนผู้เรียนที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีข้อมูลระบุชัดเจนจากการสำรวจประชากรไทย เมื่อ 10 ปีก่อน พบเด็กเกิดใหม่ 1.1 ล้านคน/ปี แต่ปัจจุบันลดลงเหลือ 7 แสนคน/ปี กรณีนี้ส่งผลต่อเนื่องไปถึงประชากรวัยเรียนในระดับมัธยมที่จะเข้าสู่มหาวิทยาลัยลดลงตามไปด้วย สถาบันอุดมศึกษา ทั้งมหาวิทยาลัย วิทยาลัย สถาบันการศึกษา ทั้งของรัฐ ในกำกับรัฐและเอกชน ที่มีอยู่ในประเทศไทยมากกว่า 170 แห่ง เมื่อเทียบกับจำนวนประชากรในวัยเรียนที่ลดลงทำให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมา ประจวบกับปัจจุบันในโลกออนไลน์ ที่รวดเร็วทันใจ เข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างง่ายดายไม่จำกัดทั้งเวลา และสถานที่ จึงทำให้สถาบันการศึกษาต่างพากันตื่นตัวแข่งขันกันปรับปรุงหลักสูตร และเพิ่มวิชาน่าเรียนให้ทันสมัยดึงดูดใจกลุ่มเป้าหมายกันมากขึ้น มหาวิทยาลัยยังต้องปรับตัวเป็นเน้นการพัฒนาอาชีพ ยึดตัวผู้เรียนเป็นสำคัญ เติมเต็มความรู้และทักษะที่จำเป็นหรือสิ่งที่ขาด สร้างการเรียนรู้จากประสบการณ์จริงจากนอกโรงเรียน กระตุ้นให้เกิดการคิดวิเคราะห์ได้ ต้องเน้นให้เรียนรู้ได้ทุกช่วงอายุ รวมถึงเน้นหลักสูตรที่ไม่มีประกาศนียบัตรหรือปริญญา เป็นการสอนที่ทำให้บัณฑิตประสบความสำเร็จในการทำงาน และการเป็นพลเมืองของโลกในศตวรรษที่ 21 และทั้งหมดเป็นสิ่งที่กำลังจะเกิดขึ้น หากมหาวิทยาลัยไม่ปรับตัวให้เข้ากับยุคสมัย สอดคล้องกับงานวิจัยของทัศนีย์ หมอสอน (2559) พบว่า จำนวนนักศึกษาที่ลดน้อยลง ข้อมูลเบื้องต้นทราบว่านักเรียนได้รับรู้ข่าวสารการประชาสัมพันธ์ยังไม่ทั่วถึง ดังนั้นการเลือกใช้สื่อประชาสัมพันธ์ที่ตรงกับกลุ่มเป้าหมาย มีการชี้แนะข้อมูลหลักสูตรให้กับผู้ที่สนใจศึกษาต่อ จึงมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อเพิ่มจำนวนผู้เข้ารับการศึกษาของหลักสูตรให้มีจำนวนมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังได้สรุปผลการวิจัยไว้ว่า

สื่อประชาสัมพันธ์ที่มีความเหมาะสมในการประชาสัมพันธ์ไปยังกลุ่มนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย คือ สื่อสิ่งพิมพ์ แผ่นพับประชาสัมพันธ์หลักสูตร ประกอบกับ เสรี วงษ์มณฑา (2540) ได้กล่าวถึงการประชาสัมพันธ์ คือการกระทำทั้งสิ้นทั้งหลายทั้งปวงที่เกิดจากการวางแผนล่วงหน้าในการสร้างความเข้าใจกับสาธารณชนที่เกี่ยวข้อง เพื่อก่อให้เกิดทัศนคติและภาพพจน์ที่ดีอัน จะนำไปสู่สัมพันธภาพที่ดีระหว่างหน่วยงานและสาธารณชนที่เกี่ยวข้องก่อให้เกิดการสนับสนุนและความร่วมมือเป็นอย่างดี

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา เป็นอีกหนึ่งองค์กรที่อยู่ในสถาบันอุดมศึกษาชั้นนำในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ซึ่งเป็นองค์กรที่สร้างสรรค์องค์ความรู้ สร้างสานชีวิตสู่สากล เทคโนโลยีสารสนเทศเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันและอนาคต การที่เทคโนโลยีสารสนเทศมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ไม่หยุดนิ่งที่จะสร้างนิสิตนักศึกษาที่มีความพร้อมทั้งทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีชั้นนำต่าง ๆ ในประเทศและต่างประเทศ แต่จะเห็นได้ว่าสถาบันอุดมศึกษาในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบนมีสถาบันการศึกษาหลายแห่งทำให้เกิดการแข่งขันในตลาดการศึกษามากยิ่งขึ้นหากสถาบันการศึกษามีการเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารที่เข้าถึงกลุ่มเป้าหมายที่อย่างเหมาะสม และต้องอาศัยการประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อต่าง ๆ ที่หลากหลาย สอดคล้องกับงานวิจัยของสุนทร นิลอรุณ (2565) ที่ได้กล่าวถึงการสื่อสารเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเพื่อสื่อในการประชาสัมพันธ์สถาบันไปยังกลุ่มเป้าหมาย เพื่อการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา โดยนำสื่อประชาสัมพันธ์รูปแบบการสื่อสารเข้ามาเป็นเครื่องมือในการสื่อสารกับกลุ่มเป้าหมาย ไม่ว่าจะเป็นสื่อดั้งเดิม หรือสื่อสมัยใหม่ ซึ่งคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยาให้ความสำคัญกับการเลือกใช้สื่อประชาสัมพันธ์ให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย และคำนึงถึงยุคสมัยในปัจจุบันที่เด็กรุ่นใหม่เห็นคุณค่าของใบปริญญาน้อยลง จึงมุ่งเน้นการประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อต่าง ๆ ทั้งสื่ออิเล็กทรอนิกส์ สื่อนิทรรศการ สื่อบุคคล และสื่อมวลชนต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารไปสู่กลุ่มเป้าหมายและสังคมวงกว้าง ข้อมูลข่าวสารที่ดีและทันสมัยจะเป็นสิ่งที่ช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่สถาบัน อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นความเชื่อมั่นต่อกลุ่มเป้าหมายให้เกิดการตัดสินใจรับข่าวสารและเปิดใจให้กับสถาบัน

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาอิทธิพลสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อของนิสิตในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพัฒนาสื่อประชาสัมพันธ์ของสถาบันให้เหมาะสมและตรงกับกลุ่มเป้าหมายอย่างสูงสุด เพื่อสร้างสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลในการช่วยกระตุ้นและสร้างความเชื่อมั่นให้กับนักเรียนนักศึกษาที่ให้ความสนใจในการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยาได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อศึกษาสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อของนิสิตในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยาให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ กลุ่มนิสิตใหม่ ชั้นปีที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2566 ที่ตัดสินใจเข้ามาศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 210 คน ใช้วิธีการสุ่มแบบสะดวก (Convenience Sampling)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการวิจัย ดังนี้

1) แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยได้จัดเก็บจากเอกสาร รายงาน หนังสือ และวารสารจากแหล่งต่าง ๆ ทั้งจากภายในมหาวิทยาลัยพะเยา สถานศึกษาในเขตภาคเหนือ และหน่วยงานต่าง ๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเพื่อการวิจัย ได้แก่ เอกสารดังต่อไปนี้

1.1 ข้อมูลแนวคิดและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้ โดยมีการศึกษาและทบทวนจากเอกสารวิชาการ รายงาน หนังสือ และวารสาร รวมทั้งสืบค้นข้อมูลออนไลน์

1.2 ข้อมูลผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ โดยการทบทวนผลงานวิจัย วิทยานิพนธ์ ภาคนิพนธ์ งานวิจัย และเอกสารทางวิชาการ รวมทั้งสืบค้นข้อมูลทางเว็บไซต์ต่าง ๆ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องมือที่ใช้รวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถามสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ในรูปแบบออนไลน์

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังนี้

1) ผู้วิจัยได้ออกแบบ แบบสอบถามสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา และดำเนินการจัดส่งให้กับผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน ให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับรายการคำถาม และดำเนินการจัดทำแบบสอบถาม

2) นำแบบสอบถามไปหาค่าความสอดคล้องระหว่างคำถามและวัตถุประสงค์ ด้วยดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objectives Congruence: IOC) จากผู้เชี่ยวชาญในคณะ ฯ

3) ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง โดยทำแบบสอบถามในรูปแบบออนไลน์เก็บรวบรวมข้อมูลจากนิสิตชั้นปีที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2566 รวมทั้งสิ้นจำนวน 210 คน ที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง และสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

<u>การคำนวณการใช้สูตร</u>

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \qquad S.D. = \sqrt{\frac{(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย **S.D.** คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum x$ คือ ผลรวมของข้อมูล X คือ ข้อมูล (ตัวที่ 1,2,3...,n)

n คือ จำนวนของข้อมูล $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

คือ n จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

และให้คะแนนความต้องการ ดังนี้

ระดับ ความคิดเห็น	มากที่สุด	5	คะแนน
ระดับ ความคิดเห็น	มาก	4	คะแนน
ระดับ ความคิดเห็น	ปานกลาง	3	คะแนน
ระดับ ความคิดเห็น	น้อย	2	คะแนน
ระดับ ความคิดเห็น	น้อยที่สุด	1	คะแนน

การสรุปผลการประเมิน เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของคะแนนแต่ละข้อแล้ว นำมาเทียบกับเกณฑ์การประเมินผล ซึ่งมีการแปลผล ดังนี้

คะแนนเฉลี่ยสูงกว่า 4.50	ระดับมากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 3.50 – 4.49	ระดับมาก
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 2.50 – 3.49	ระดับปานกลาง
คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 1.50 – 2.49	ระดับน้อย
คะแนนเฉลี่ยต่ำกว่า 1.50	ระดับน้อยที่สุด

ผลการศึกษา

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จากกลุ่มตัวอย่างที่ตอบแบบสอบถามทั้งหมด จำนวน 210 คน ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามเพศ

		จำนวน	**ร้อยละ**
เพศ	ชาย	148	70.50
	หญิง	62	29.50
	รวม	210	100.00

จากตารางที่ 1 พบว่ากลุ่มตัวอย่าง เป็นเพศชายจำนวน 148 คน คิดเป็นร้อยละ 70.50 และเพศหญิง จำนวน 62 คน คิดเป็นร้อยละ 29.50 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามปัจจุบันกำลังศึกษาในสาขาวิชา

		จำนวน	ร้อยละ
กำลังศึกษาในสาขาวิชา	1. วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	59	28.10
	2. ธุรกิจดิจิทัล	18	8.60
	3. วิทยาการคอมพิวเตอร์	37	17.60
	4. เทคโนโลยีสารสนเทศ	19	9.00
	5. ภูมิสารสนเทศศาสตร์	5	2.40
	6. วิศวกรรมซอฟต์แวร์	17	8.10
	7. คอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย	55	26.20
	รวม	210	100.00

จากตารางที่ 2 พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จำนวน 59 คน คิดเป็นร้อยละ 28.10 ตามลำดับ รองลงมาเป็นสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย จำนวน 55 คน คิดเป็นร้อยละ 26.20 และลำดับสุดท้ายเป็นสาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 2.40 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามภูมิลำเนา

		จำนวน	ร้อยละ
ภูมิลำเนา	ภาคเหนือ	135	64.30
	ภาคกลาง	60	28.60
	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	12	5.70
	ภาคใต้	2	1.00
	ไม่ตอบ	1	0.50
	รวม	210	100.00

จากตารางที่ 3 พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีภูมิลำเนาทางภาคเหนือ จำนวน 135 คน คิดเป็นร้อยละ 64.30 และรองลงมามีภูมิลำเนาทางภาคกลาง จำนวน 60 คน คิดเป็นร้อยละ 28.60 และลำดับสุดท้ายมีภูมิลำเนาทางภาคใต้ จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 1 ตามลำดับ

ตอนที่ 2 ช่องทางสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ช่องทางสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเข้าศึกษา

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	การแปลผล
	$\bar{x}$	S.D.	
1. สื่ออิเล็กทรอนิกส์			
1.1 Website (เว็บไซต์) ของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร http://ict.up.ac.th/	4.03	.933	มากท
1.2 Facebook เรียนต่อคณะ ICT ม.พะเยา https://www.facebook.com/ictupadmission/	4.11	.796	มาก
1.3 วีดีทัศน์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารใน YouTube	3.73	.936	มาก
2. สื่อสิ่งพิมพ์			
2.1 แผ่นพับประชาสัมพันธ์หลักสูตร	3.86	.990	มาก
2.2 โปสเตอร์ / ป้ายโฆษณา	3.63	.995	มาก
3. สื่อบุคคล			
3.1 การแนะแนวหลักสูตร	4.00	.956	มาก
3.2 รุ่นพี่จากสถาบันการศึกษาเดิมที่เข้ามาศึกษาในคณะ ฯ	3.70	.999	มาก
4. สื่อนิทรรศการ			
4.1 การจัดนิทรรศการ / ออกบูธหลักสูตร	3.85	.900	มาก

จากตารางที่ 4 พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ ทราบช่องทาง Facebook เรียนต่อคณะ ICT ม.พะเยา มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.11 มีระดับความคิดเห็นมาก และอันดับรองลงมา ทราบทาง Website (เว็บไซต์) ของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.03 มีระดับความคิดเห็นมาก และอันดับสุดท้าย ทราบจากโปสเตอร์/ป้ายโฆษณา มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.63มีระดับความคิดเห็นมาก ตามลำดับ

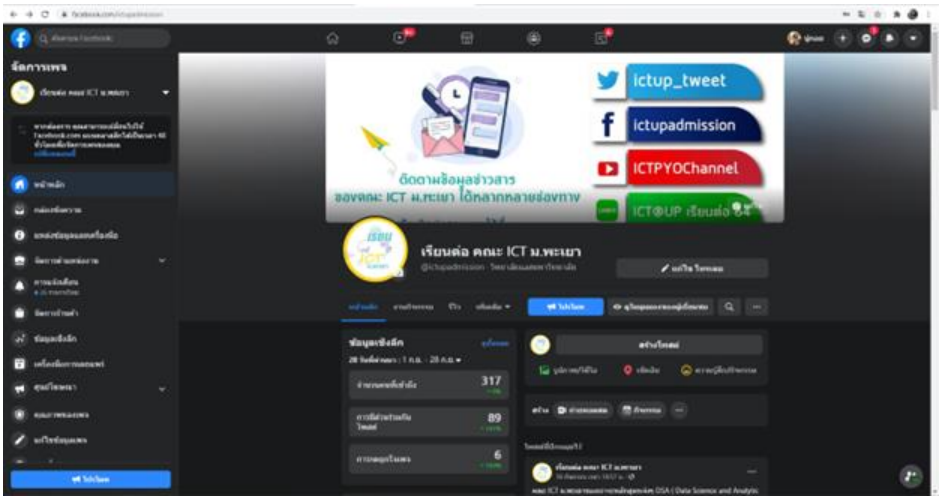
สรุปผลและอธิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับรู้สื่อประชาสัมพันธ์ของนิสิตในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อศึกษาระดับการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อศึกษาสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อของนิสิตในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยาให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และเพื่อนำผลการวิจัยไปพัฒนาสื่อประชาสัมพันธ์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยาให้ทันสมัย เข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย

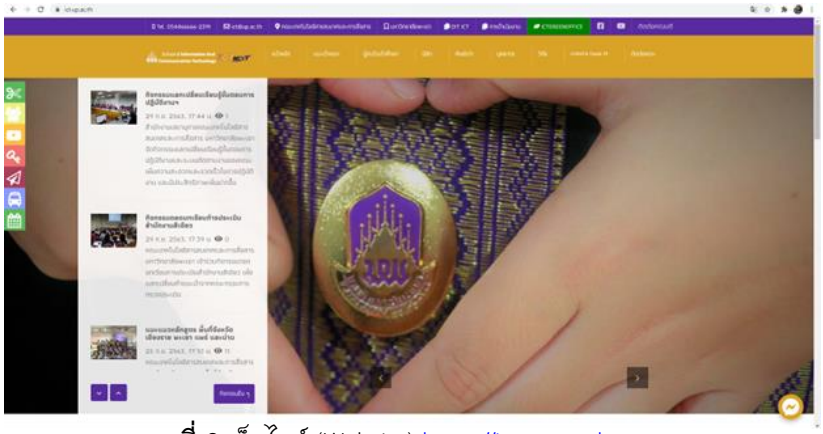
มากยิ่งขึ้น จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคลในด้าน เพศ ช่วงอายุ ระดับการศึกษา และสายงาน โดยใช้แบบสอบถามในการวิจัยเป็นหลัก และใช้เอกสารอื่น ๆ ประกอบ เพื่อสนับสนุนการวิจัย ซึ่งมีประชากร และกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลและการแปรผล โดยแบ่งแบบสอบถาม ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วยคำถามเกี่ยวกับ เพศ ระดับการศึกษา ภูมิลำเนาผู้ตอบแบบสอบถาม เกรดเฉลี่ยสะสม และรายได้รวมต่อเดือนของครอบครัวส่วนที่ 2 สอบถามเกี่ยวกับช่องทางของสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการ ตัดสินใจเข้าศึกษาต่อคณะ ฯ ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า กลุ่มตัวอย่าง เป็นเพศชายจำนวน 148 คน คิดเป็นร้อยละ 70.50 และเพศหญิง จำนวน 62 คน คิดเป็นร้อยละ 29.50 นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นนิสิตสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จำนวน 59 คน คิดเป็นร้อยละ 28.10 ตามลำดับ รองลงมาเป็นสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย จำนวน 55 คน คิดเป็นร้อยละ 26.20 และลำดับสุดท้ายเป็นสาขาภูมิสารสนเทศศาสตร์ จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 2.40 ในส่วนของภูมิลำเนาของนิสิตส่วนใหญ่ อยู่ทางภาคเหนือ จำนวน 135 คน คิดเป็นร้อยละ 64.30 และรองลงมามีภูมิลำเนาทางภาคกลาง จำนวน 60 คน คิดเป็นร้อยละ 28.60 และลำดับสุดท้ายมีภูมิลำเนาทางภาคใต้ จำนวน 2 คน คิดเ ป็ น ร้อยละ 1

2. ช่องทางสื่อประชาสัมพันธ์ที่ทำให้นิสิตตัดสินใจเข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา คือ ช่องทาง Facebook เรียนต่อคณะ ICT ม.พะเยา มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.11 มีระดับความคิดเห็นมาก และรองลงมา Website (เว็บไซต์) ของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.03 มีระดับความคิดเห็นมาก นอกจากนี้สื่อประชาสัมพันธ์ประเภทสื่อบุคคล คือ การแนะแนวหลักสูตร มีค่าเฉลี่ย 4.00 มีระดับความคิดเห็นมาก ประกอบกับสื่อบุคคลที่มาจากรุ่นพี่จากสถาบันการศึกษาเดิมที่เข้ามาศึกษาต่อในคณะฯ ก็ถือเป็นสื่อประชาสัมพันธ์ที่ได้รับความนิยมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.70 มีระดับความคิดเห็นมาก และอันดับสุดท้าย โปสเตอร์/ป้ายโฆษณา มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.63 มีระดับความคิดเห็นมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ ไชยา ยิ้มวิไล และคณะ (2566) ที่ศึกษาพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามรับรู้สื่อประชาสัมพันธ์จากสื่อใหม่มากที่สุด การตัดสินใจเข้าศึกษาต่อพิจารณาจากความคาดหวังของตนเอง หลักสูตร ลักษณะทางกายภาพของมหาวิทยาลัยและเศรษฐกิจและสังคม ตามลำดับ ทางด้าน สาริณี ช้างเจริญ (2557) ได้ให้ความหมายของสื่อสมัยใหม่ คือ สื่อที่นำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ ในการประชาสัมพันธ์ หลักสูตรรัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิตของวิทยาลัยการบริหารรัฐกิจ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้แก่ เว็บไซต์มหาวิทยาลัยบูรพา เว็บไซต์วิทยาลัยการบริหารรัฐกิจ SMS ส่งข้อความประชาสัมพันธ์การรับสมัครเรียน และข้อความประชาสัมพันธ์ทางตู้เอทีเอ็ม (กรุงไทย)



ภาพที่ 1 Page Facebook เรียนต่อ คณะ ICT ม.พะเยา



ภาพที่ 2 เว็บไซต์ (Website) https://ict.up.ac.th



ภาพที่ 3 โปสเตอร์/ป้ายโฆษณา

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาในลักษณะนี้อย่างต่อเนื่องทุกปี เพื่อให้ทราบถึงความเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อ

2. ควรศึกษาในประเด็นคุณลักษณะที่แตกต่างกันของนิสิตชั้นปีที่ 1 ของคณะ ได้แก่ สาขาวิชา เพศ ภูมิลำเนาสถาบันที่จบการศึกษามา เป็นต้น ซึ่งอาจทำให้ค้นพบความสัมพันธ์บางประการที่มีผลต่อการรับรู้สื่อประชาสัมพันธ์ได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัย เรื่อง สื่อประชาสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยานี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความร่วมมืออย่างดียิ่ง จากผู้บริหาร บุคลากร และนิสิตคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูล ร่วมประเมินผลและข้อเสนอแนะ รวมทั้งได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคล หน่วยงาน และแหล่งอ้างอิงต่าง ๆ ที่เป็นแหล่งศึกษาค้นคว้าข้อมูลเพื่อการวิจัย จนทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ และที่ขาดไม่ได้อย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

ไชยา ยิ้มวิไล และคณะ. (2566). การรับรู้สื่อประชาสัมพันธ์และการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อ หลักสูตร A มหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง. **วารสารการเมือง การบริหาร และกฎหมาย,** 15(1), 53–67.

ทัศนีย์ หมอสอน. (2559). การรับรู้ข้อมูลของนักเรียนจากสื่อประชาสัมพันธ์หลักสูตรการจัดการสารสนเทศ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. **วารสารนาคบุตรปริทรรศน์**, 8(2), 70–74.

สาริณี ช้างเจริญ. (2557) **การรับรู้ข้อมูลจากสื่อประชาสัมพันธ์หลักสูตรรัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาลัยการบริหารรัฐกิจ มหาวิทยาลัยบูรพาของประชาชนในพื้นที่อำเภอเมืองชลบุรี**. งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรรัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารทั่วไป วิทยาลัยการบริหารรัฐกิจ มหาวิทยาลัยบูรพา.

เสรี วงษ์มณฑา. (2540). **การประชาสัมพันธ์เชิงปฏิบัติ.** กรุงเทพฯ: A.N. การพิมพ์.

สุนทร นิลอรุณ. (2565). อิทธิพลของรูปแบบการสื่อสารที่มีต่อการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. **วารสารกลยุทธ์และความสามารถทางการแข่งขันองค์กร**, 1(1), 60–70.

การพัฒนาและออกแบบจำลองอินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืนครุภัณฑ์ กรณีศึกษา: สาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

Developing and designing an interactive model for borrowing–returning equipment Case Study: in computer graphics and multimedia Faculty of Information and Communication Technology University of Phayao

ดลทิชา เชี่ยวสุวรรณ[1*]

Donticha Chiewsuwan[1*]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาสื่ออินเตอร์แอคทีฟ เรื่องการยืม – คืนครุภัณฑ์ กรณีศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังการใช้สื่ออินเตอร์แอคทีพการยืม – คืน ครุภัณฑ์ของนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือ นิสิตที่ศึกษารายวิชาการสร้างสรรค์อินเตอร์แอคทีฟและดิจิทัลคอนเทนต์ ชั้นปีที่ 3 กลุ่มเรียนที่ 1 จำนวน 40 คน เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบไปด้วย 1) สื่ออินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืน ครุภัณฑ์ 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังจากการใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ เรื่อง การยืม – คืน ครุภัณฑ์ สำหรับนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที

ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลประเมินคุณภาพสื่ออินเตอร์แอคทีฟ เรื่อง การยืม – คืน ครุภัณฑ์ มีประสิทธิภาพ 82.5/89.25 2) ผลสัมฤทธิ์จากก่อนและหลังการใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืน ครุภัณฑ์ สำหรับนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย พบว่าคะแนนหลังใช้สื่อสูงกว่าก่อนใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืน ครุภัณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ ($\bar{x}$ = 25.35, S.D.= 0.19)

คำสำคัญ: อินเตอร์แอคทีฟ, ผลสัมฤทธิ์, สื่อการเรียนรู้

[1] คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] School of information and communication technology, University of Phayao, Phayao, 56000

* Correspond author: Donticha.ch@up.ac.th

Abstract

The objectives of this research are 1) to develop interactive media regarding the borrowing and return of equipment, a case study in the field of computer graphics and multimedia. Faculty of Information and Communication Technology University of Phayao 2) Compare the results before and after using interactive media to borrow and return equipment of students in the Computer Graphics and Multimedia Department. The sample group used is 40 students studying Interactive and Digital Content Creation, Year 3, Study Group 1. The tools used in this study include: 1) Interactive media borrowing – Return of equipment 2) Achievement test before and after using interactive media on the topic of borrowing – returning equipment for students in the Computer Graphics and Multimedia Department. Data were analyzed using percentage and average values.
standard deviation and t-test

The results of the research found that 1) the results of evaluating the quality of interactive media on borrowing – returning equipment Effective 82.5/89.25 2) Achievement results from before and after using interactive media, borrowing – returning equipment for students in the Computer Graphics and Multimedia Department. It was found that scores after using the media were higher than before using it. Interactive media for borrowing and returning equipment with statistical significance at the .01 level has an average at ($\bar{x}$ = 25.35, S.D.= 0.19)

Keywords: Interactive, Achievement, Learning

บทนำ

สื่อมัลติมีเดียเพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเอง เป็นการใช้คอมพิวเตอร์ผสมผสานรูปแบบการนำเสนอข้อมูลข่าวสารเพื่อก่อให้เกิดการรับรู้ที่หลากหลายต่อกลุ่ม ไม่ว่าจะเป็นการมองเห็น การได้ยินเสียง รวมไปถึงความสามารถในการโต้ตอบกับสื่อ ทำให้มีการนำสื่อมัลติมีเดียมาประยุกต์ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสื่อที่สามารถสร้างแรงจูงใจและกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ และเข้าใจเนื้อหาได้ดี สื่อสามารถโต้ตอบกับปฏิสัมพันธ์ของผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนรับทราบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ทันที นอกจากนี้การใช้สื่อมัลติมีเดียยังประหยัดกำลังคน เวลา และงบประมาณ โดยลดความจำเป็นในการใช้ผู้สอน หรือเครื่องมือที่มีราคาแพงหรืออันตราย และเมื่อนำสื่อมัลติมีเดียนี้ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนผ่านเว็บทำให้สื่อสามารถเข้าถึงผู้เรียนได้ในวงกว้างมากขึ้น (ณัฐกร สงคราม, 2553)

การใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟนั้น เป็นสื่อที่สามารถใช้งานได้ตามที่ต้องการ สามารถนำรูปแบบของการสื่อหลากหลายมาผสมกัน เช่น ภาพ เสียง วีดิโอ เกม เพื่อให้เกิดความเข้าใจง่ายแตกต่างจากสื่อที่ผ่านมามากกว่า คือมีการโต้ตอบกันไปมาได้ระหว่างสื่อกับผู้ใช้งาน สื่ออินเตอร์แอคทีฟยังช่วยให้ความสนใจให้เกิดการโต้ตอบเกิดความเพลินเพลิน ก็นำไปสู่การเข้าใจในกระบวนการยืม-คืนครุภัณฑ์ได้ในที่สุด สื่ออินเตอร์แอคทีฟจะทำให้ผู้ใช้บริการเกิดความเข้าใจได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะจะทำให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาได้ง่ายขึ้น สื่อจะช่วยกระตุ้นให้ผู้ใช้บริการเกิดความสนใจ

เนื่องจากปัจจุบันขั้นตอนและระเบียบการยืม – คืนครุภัณฑ์สาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดียผู้ใช้บริการยังขาดความเข้าใจในขั้นตอนและระเบียบของการยืม – คืนครุภัณฑ์ โดยส่วนใหญ่ผู้ใช้บริการดำเนินการยืมโดยที่ไม่แจ้งล่วงหน้าและไม่กรอกแบบฟอร์มการยืมครุภัณฑ์ อีกทั้งยังส่งคืนครุภัณฑ์ล่าช้ากว่ากำหนด ทำให้ผู้ใช้บริการท่านอื่นที่ต้องการยืมครุภัณฑ์ไม่สามารถยืมได้ นอกจากนี้การยืมครุภัณฑ์จำเป็นต้องกรอกแบบฟอร์ม

ขอยืมครุภัณฑ์ล่วงหน้า เพราะการคืนอุปกรณ์จำเป็นจะต้องตรวจสอบว่าครุภัณฑ์ชำรุดหรือพร้อมใช้งานหรือไม่ก่อนที่จะให้ผู้ใช้บริการท่านอื่นยืมครุภัณฑ์ต่อไป

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการนำสื่ออินเตอร์แอคทีฟมาใช้เป็นสื่อให้ความรู้ เพื่อให้ผู้ใช้บริการได้ทราบและปฏิบัติตามเพื่อเข้าใจในกฎระเบียบและปฏิบัติตามเพื่อเป็นแนวทางเดียวกัน อีกทั้งช่วยในการบริหารจัดการการยืม- คืนครุภัณฑ์ ให้ได้ตามความต้องการของผู้ใช้บริการได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและออกแบบจำลองอินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืนครุภัณฑ์ กรณีศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จากความเข้าใจก่อนและหลังการใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟการยืม–คืนครุภัณฑ์ กรณีศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

วิธีการศึกษา

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาสื่ออินเตอร์แอคทีฟ เรื่อง การยืม – คืนครุภัณฑ์ สาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย ผู้วิจัยได้กำหนดประชากร กลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือ และสถิติที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

1. ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ นิสิตสาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ นิสิตที่ศึกษารายวิชาการสร้างสรรค์อินเตอร์แอคทีฟและดิจิทัลคอนเทนต์ ชั้นปีที่ 3 กลุ่มเรียนที่ 1 สาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 40 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย สื่ออินเตอร์แอคทีฟเรื่องการยืม–คืนครุภัณฑ์ สำหรับนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย มหาวิทยาลัยพะเยา และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

3. การพัฒนาเครื่องมือวิจัย

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis)

3.1 ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับสื่ออินเตอร์แอคทีฟและการยืม – คืนครุภัณฑ์เพื่อกำหนดปัญหาและแนวทางในการพัฒนาสื่อ เพื่อนำมาสร้างกรอบแนวความคิดในการพัฒนาสื่ออินเตอร์แอคทีฟ รวมถึงวิธีการสร้างและพัฒนาสื่ออินเตอร์แอคทีฟ

ขั้นตอนการออกแบบ (Design)

การออกแบบสื่ออินเตอร์แอคทีฟ เริ่มจากการวิเคราะห์และสร้างกรอบเนื้อหา การลำดับขั้นตอนการทำงานของสื่ออินเตอร์แอคทีฟ ให้มีความเหมาะสม เข้าใจได้ในเวลาอันรวดเร็ว เมื่อกำหนดทิศทางได้จึงเขียนกรอบแสดงเรื่องราวในส่วนของสตอรี่บอร์ด เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างสื่ออินเตอร์แอคทีฟ และถ่ายทอดสื่ออินเตอร์แอคทีฟให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายในเวลาอันรวดเร็ว

ขั้นตอนการพัฒนา (Development)

สร้างสื่ออินเตอร์แอคทีฟ ประกอบไปด้วย ลำดับขั้นตอนการทำงานของสื่ออินเตอร์แอคทีฟ รวมถึงการสร้างสื่ออินเตอร์แอคทีฟ ตรวจสอบข้อผิดพลาดในการทำงานของสื่ออินเตอร์แอคทีฟ การทดลองใช้และปรับปรุงแก้ไข จากนั้นนำเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 1 ท่าน ด้านออกแบบสื่อ 2 ท่าน เพื่อตรวจสอบ

ความถูกต้องและความเหมาะสมของเนื้อหา ทำการตรวจสอบความถูกต้องก่อนจะอัพโหลด สื่ออินเตอร์แอคทีฟ เรื่องการยืม–คืนครุภัณฑ์ สำหรับนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย มหาวิทยาลัยพะเยา

ขั้นการทดลองใช้ (Implementation)

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้นำสื่ออินเตอร์แอคทีฟ ที่พัฒนาเสร็จสมบูรณ์ นำไปทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อ โดยนำไปใช้กับกลุ่มทดลองที่มีคุณสมบัติเกี่ยวกันกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของเสื่ออินเตอร์แอคทีฟในขั้นตอนดำเนินการเหมือนกับการใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟในสภาพจริงทุกประการ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการทำงานของสื่ออินเตอร์แอคทีฟตั้งแต่ต้นจนจบ เพื่อตรวจหาข้อมผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้บทเรียนที่สมบูรณ์พร้อมที่จะนำไปประเมินผลในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนการประเมินผล (Evaluation)

การประเมินผลสื่ออินเตอร์แอคทีฟ เรื่องการยืม–คืนครุภัณฑ์ สำหรับนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย มหาวิทยาลัยพะเยา โดยการทำแบบทดสอบ เพื่อหาผลสรุปประสิทธิภาพของสื่อ ผลจากการเรียนรู้ของนิสิตที่ทดสอบก่อนและหลังใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยดำเนินการโดยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง แบบ One Group Pretest – Posttest Design (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2544 : 77) ซึ่งเป็นการทดลองเพียง 1 กลุ่ม ไม่มีกลุ่มควบคุม โดยใช้วิธีการทดลองด้วยการทดสอบก่อนเรียน (Pretest) และทดสอบหลังเรียน (Posttest) เมื่อผู้วิจัยได้สร้างสื่ออินเตอร์แอคทีฟที่ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

4.1 ผู้วิจัยได้ให้นิสิตทำแบบทดสอบก่อนเรียนให้ครบ 10 ข้อ ก่อนจึงจะสามารถเข้าถึงเนื้อหาของสื่ออินเตอร์แอคทีฟได้ ซึ่งเป็นการทดสอบด้วยแบบวัดผลสัมฤทธิ์การใช้สื่ออินเตอ์แอคทีฟการยืม–คืนครุภัณฑ์ สำหรับนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย มหาวิทยาลัยพะเยา

4.2 ทดสอบหลังใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ ให้นิสิตทำแบบทดสอบหลังจากที่ได้ทำการใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ ซึ่งแบบทอดสอบมีจำนวนทั้งหมด 10 ข้อ เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังการใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ และเทียบเกณฑ์ที่กำหนดและนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 การวิเคราะห์ประเมินคุณภาพของสื่ออินเตอร์แอคทีฟ เรื่องการยืม – คืนครุภัณฑ์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังจากใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ ของนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย โดยหาค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยนำมาเทียบกับเกณฑ์ ดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

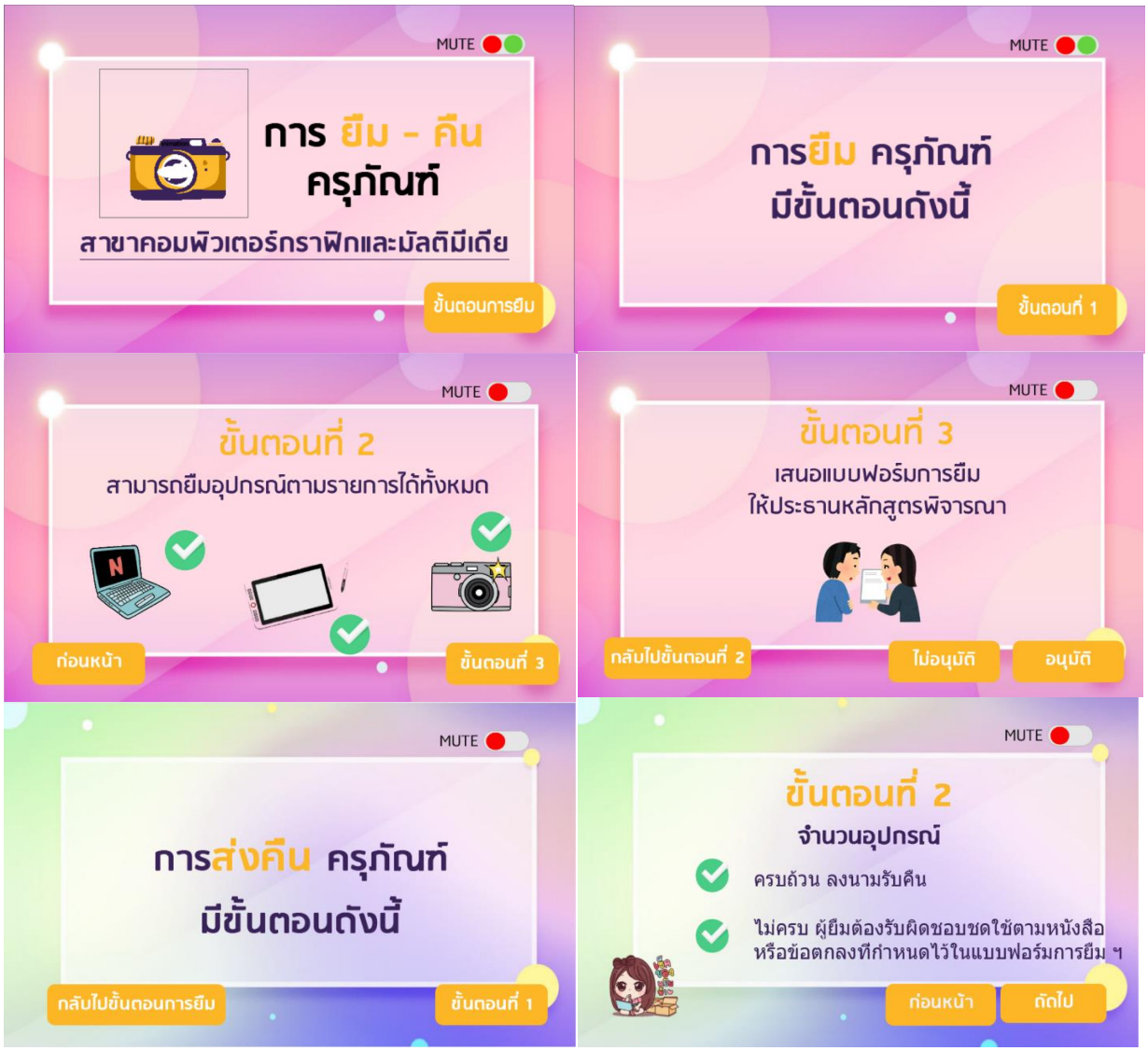
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51–5.00	หมายความว่า	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51–4.50	หมายความว่า	มาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51–3.50	หมายความว่า	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51–2.50	หมายความว่า	น้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00–1.50	หมายความว่า	น้อยที่สุด

5.2 วิเคราะห์ประสิทธิผลของการทดสอบผลสัมฤทธิ์เรื่องการยืม–คืนครุภัณฑ์ สำหรับนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย มหาวิทยาลัยพะเยา โดยใช้การวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ย $\bar{x}$

5.3 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังการใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืน ครุภัณฑ์ โดยใช้สถิติ t–test (Dependent Samples)

ผลการศึกษา

1. การพัฒนาสื่ออินเตอร์แอคทีฟเรื่องการยืม–คืนครุภัณฑ์ สำหรับนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย มหาวิทยาลัยพะเยา ในครั้งนี้ ประกอบไปด้วย ข้อความ ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหวและเสียงดนตรีประกอบ ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ผู้ใช้สื่อสามารถปฏิสัมพันธ์กับคอมพิวเตอร์ได้ตลอดเวลาด้วยตนเอง แสดงตัวอย่างดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 1 – 6 แสดงผลการพัฒนาสื่ออินเตอร์แอคทีฟ การยืม–คืนครุภัณฑ์ สำหรับนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย มหาวิทยาลัยพะเยา

การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำเสนอผลดังนี้

ตอนที่ 1 การประเมินคุณภาพสื่ออินเตอร์แอคทีฟจากผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 2 ผลการหาประสิทธิภาพของสื่ออินอินเตอร์แอคทีฟ

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ

ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเพื่อการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาและด้านการออกแบบสื่ออินเตอร์แอคทีฟ แสดงผลการประเมินคุณภาพดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมของสื่ออินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืนครุภัณฑ์ ด้านเนื้อหา

รายละเอียดการประเมิน	**ระดับความคิดเห็น**	
	$\bar{x}$	**ระดับคุณภาพ**
การเรียงลำดับขั้นตอนของเนื้อหา	5	มากที่สุด
เนื้อหามีความถูกต้อง	4	มาก
การใช้ภาษาเหมาะสม	4	มาก
สื่อความหมายได้ชัดเจน	4	มาก
เนื้อหามีประโยชน์และสามารถนำไปใช้ได้จริง	4	มาก
รูปแบบการนำเสนอเข้าใจง่าย	4	มาก
รวม	**4.16**	**มาก**

จากตารางที่ 1 แสดงความเหมาะสมสำหรับผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา การพัฒนาสื่ออินเตอร์แอคทีฟ เรื่อง การยืม – คืนครุภัณฑ์ กรณีศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ผลการประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับเหมาะสมมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.16 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า การเรียงลำดับขั้นตอนของเนื้อหา ผลการประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมของสื่ออินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืนครุภัณฑ์โดยผู้เชี่ยวชาญด้านออกแบบสื่อ

รายละเอียดการประเมิน	**ระดับความคิดเห็น**	
	$\bar{x}$	**การแปลผล**
การจัดวางตำแหน่งของภาพและตัวอักษร	4.5	มากที่สุด
ความเหมาะสมของรูปแบบและขนาดตัวอักษร	4.5	มากที่สุด
ความเหมาะสมของภาพ สี เสียงภาพประกอบ	4.5	มากที่สุด
สื่อมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนอย่างเหมาะสม	4.5	มากที่สุด
การใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน	4.5	มากที่สุด
รวม	**4.5**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 2 แสดงความเหมาะสมสำหรับผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบสื่อ การพัฒนาสื่ออินเตอร์แอคทีฟ เรื่อง การยืม – คืนครุภัณฑ์ กรณีศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา พบว่า ผลการประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.5

ตอนที่ 2 ผลการหาประสิทธิภาพของสื่ออินโฟกราฟิก

ผู้วิจัยได้ปรับปรุงและแก้ไขสื่ออินเตอร์แอคทีฟ การยืม – คืนครุภัณฑ์ ตามคำแนะนำและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำไปทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของสื่ออินเตอร์แอคทีฟ ตามเกณฑ์ 80/80 ของกลุ่มทดลอง จำนวน 40 คน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการหาประสิทธิภาพจากคะแนนร้อยละของกลุ่มทดลองก่อนใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟและหลังใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืนครุภัณฑ์ ของกลุ่มทดลอง 40 คน

การทดลอง	แบบทดสอบก่อนใช้สื่อ		แบบทดสอบหลังใช้สื่อ		E1	E2
	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	ร้อยละ	ร้อยละ
รายบุคคล	40	32	40	35.7	82.5	89.25

จากตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของสื่ออินเตอร์แอคทีฟ การยืม – คืนครุภัณฑ์ ของนิสิตที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน พบว่า สื่ออินเตอร์แอคทีฟ มีประสิทธิภาพ 82.5/89.25 ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ

นำสื่ออินเตอร์แอคทีฟที่ผ่านการหาประสิทธิภาพแล้ว ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นคนละกลุ่มกับที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพ จำนวน 40 คน เพื่อหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยเปรียบเทียบผลคะแนนจากการทำแบบทดสอบก่อนและหลังการใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ ก่อนและหลังใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ จำนวน 40 คน

	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ค่า S.D	t	p-value
ก่อนเรียน	40	40	23.38	0.27798	3.594434	0.001
หลังเรียน	40	40	25.35	0.19813		

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01

จากตารางที่ 4 การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยระหว่างทดสอบก่อนใช้สื่อและคะแนนผลสัมฤทธิ์จากการใช้สื่อของนิสิต พบว่า นิสิตมีคะแนนทดสอบผลสัมฤทธิ์สูงกว่าคะแนนการทดสอบก่อนใช้สื่อและหลังใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน โดยพบว่า การทดสอบก่อนใช้สื่อและหลังใช้สื่อเพื่อหาผลสัมฤทธิ์การใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟของนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย มีคะแนนก่อนใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ ($\bar{x}$ = 23.38, S.D.= 0.28) และคะแนนหลังใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ ได้ผลสัมฤทธิ์ ($\bar{x}$ = 25.35, S.D.= 0.19)

อภิปรายและสรุปผล

การวิจัยเรื่อง สื่ออินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืนครุภัณฑ์ ของนิสิตสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย อภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. จากการวิจัยเพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์จากการใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟ พบว่า สื่ออินเตอร์แอคทีฟที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 82.5/89.25 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้ แสดงว่าสื่ออินเตอร์แอคทีฟมีกระบวนการพัฒนาศักยภาพการเรียนรู้การยืม – คืนครุภัณฑ์สูงขึ้น นิสิตเกิดความรู้ความเข้าใจในกระบวนการและขั้นตอนก่อนการใช้สื่อ 82.5 และนิสิตทำแบบทดสอบหลังใช้สื่อ ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 89.25 แสดงให้เห็นว่า สื่ออินเตอร์แอคทีฟที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการยืม – คืน ครุภัณฑ์ ทั้งของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารและของมหาวิทยาลัยพะเยา ดำเนินการวิเคราะห์ แล้วนำไปจัดทำสื่ออินเตอร์แอคทีฟ โดยได้คำนึงถึงหลักการออกแบบสื่ออินเตอร์แอคทีฟ โดยในการออกแบบต้องเน้นผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีกับทฤษฎีการเรียนรู้ และจิตวิทยาการเรียนรู้เพื่อส่งทอดไปยังผู้เรียน โดยผู้เรียนจะเป็นคนคอยควบคุมลำดับขั้นตอนการเรียนรู้ด้วยตนเองทั้งหมด บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์และคณะ (2544:15) อีกทั้งยังได้ผ่านผู้เชี่ยวชาญเพื่อตรวจสอบ ปรับปรุงแก้ไข ทั้งด้านเนื้อหาและด้านการออกแบบสื่ออินเตอร์แอคทีฟ ทั้งนี้ผู้วิจัยยังได้นำสื่ออินเตอร์แอคทีฟ ไปทดลองใช้ก่อน แล้วนำมาปรับปรุงก่อนไปใช้งานจริงกับกลุ่มตัวอย่าง จึงทำให้สื่ออินเตอร์แอคทีฟมีประสิทธิภาพ สามารถตอบสนองผู้เรียนที่มีความสามารถในการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และทบทวนเนื้อหาได้ตามความต้องการผู้เรียนรู้สึกพึงพอใจและไม่เกิดความกังวลในระหว่างเรียน จึงส่งผลให้ผู้เรียนมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้ที่สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของอมรรักษ์ สวนชูผล (2563) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาชุดการเรียนรู้ด้วยการนำตนเอง วิชาความรู้เบื้องต้นทางรัฐศาสตร์สำหรับนักศึกษาคณะรัฐประศาสนศาตร์ สถาบันรัชต์ภาคย์ พบว่า ชุดการเรียนรู้ด้วยการนำตนเองที่สร้างมีประสิทธิภาพเท่ากับ 79.33/82.00 และ 81.12/85.38และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ก่อเกียรติ ขวัญสกุล (2561) ศึกษางานวิจัยเรื่อง การพัฒนาสื่อประสม หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบมีปฏิสัมพันธ์กับวิดีโอโมชั่นกราฟิก เรื่อง พัฒนาการและระบบการพิมพ์ สำหรับนิสิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษาและคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พบว่า สื่อประสมหนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบมีปฏิสัมพันธ์กับวิดีโอโมชั่นกราฟิกเรื่อง พัฒนาการและระบบการพิมพ์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ (80.85/83.24) และสื่อประสมฯ ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพในระดับเหมาะสมมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.52 ,S.D.= 0.62)

2. สื่ออินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืนครุภัณฑ์ กรณีศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ศึกษาความต้องการต่าง ๆ ที่จะนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาสื่ออินเตอร์แอคทีฟ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทวีศักดิ์ กาญจนสุวรรณ (2552: 2–4) สรุปว่า การนำองค์ประกอบของสื่อชนิดต่าง ๆ มารวมเข้าด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วยสื่อชนิดต่าง ๆ โดยประกอบไปด้วย ตัวอักษร รูปภาพ เสียง วิดีโอ และแอนิเมชั่น” โดยวิดีโอเป็นองค์ประกอบของมัลติมีเดียที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากวิดีโอในระบบดิจิทัลสามารถนำเสนอข้อความหรือรูปภาพ ประกอบกับเสียงได้สมบูรณ์มากกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ ผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบสื่อให้มีความสามารถในการปฏิสัมพันธ์กันที่หลากหลายให้เป็นสื่ออินเตอร์แอคทีฟ เพื่อเป็นการกระตุ้นให้นิสิตสนใจในบทเรียนต่าง ๆ จึงส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ของนิสิตหลังใช้สื่ออินเตอร์แอคทีฟเฉลี่ยร้อยละ 89.25 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ร้อยละ 80 ของคะแนนเต็มอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ .01 สอดคล้องกับงานวิจัยของ ดร.อัญชริกา จันจุฬา, ผศ.สกล สมจิตต์ และดร.สุภาพร จันทรคีรี (2563) ศึกษางานวิจัยเรื่อง การพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิก เพื่อสร้างการรับรู้และจดจำสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย จังหวัดยะลา พบว่า ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนเฉลี่ยร้อยละ 83.22 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ร้อยละ 80 ของคะแนนเต็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.1 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิสกาว มรรคสินธุ์, กนกกาญจน

กิตติชาติเชาวลิต และจิรศักดิ์ แซ่โคว (2565) ศึกษางานวิจัยเรื่อง การพัฒนาความสามารถในการอ่านภาษาอังกฤษเพื่อความเขาใจโดยใชโมชั่นกราฟิกของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปที่ 1 พบว่า ประสิทธิภาพของโมชั่นกราฟก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปที่ 1 มีประสิทธิภาพ เทากับ 84.87/82.48 (E1/E2) ซึ่งมีคาประสิทธิภาพสูงกวาเกณฑที่กำหนดไว้ และความสามารถด้านการอ่านเพื่อความเขาใจโดยใชโมชั่นกราฟิกของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปที่ 1 หลังเรียนสูงกวาก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ศึกษากระบวนการพัฒนาสื่อในรูปแบบอื่น เพื่อสร้างความหลากหลายในการเรียนรู้ให้แก่นิสิตหรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง

2. การสร้างสื่ออินเตอร์แอคทีฟ ผู้วิจัยควรศึกษาลักษณะหรือจัดทำแบบสอบถามวัดความสนใจของนิสิตเพื่อสร้างสื่อที่เหมาะสมกับความต้องการของนิสิต อีกทั้งเพื่อง่ายต่อการเข้าถึงสื่อและเกิดประโยชน์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการพัฒนาและออกแบบจำลองอินเตอร์แอคทีฟการยืม – คืนครุภัณฑ์ กรณีศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้จากทุนสนับสนุนการวิจัยจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยจากคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

เอกสารอ้างอิง

ณัฐกร สงคราม. (2553). **การออกแบบและพัฒนามัลติมีเดียเพื่อการเรียนรู้**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

ทวีศักดิ์ กาญจนสุวรรณ. (2552). **เทคโนโลยีมัลติมีเดีย**. กรุงเทพมหานคร: เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.

บุญชม ศรีสะอาด. (2545). **การวิจัยเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 7.กรุงเทพฯ: สุริยาสาส์น.

บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์ และคณะ. (2544). **ความรู้เกี่ยวกับสื่อมัลติมีเดียเพื่อการศึกษา**. กรุงเทพฯ: คุรุสภาลาดพร้าว.

ศิสกาว มรรคสินธุ์, กนกกาญจน กิตติชาติเชาวลิต และจิรศักดิ์ แซ่โค้ว. (2022). **การพัฒนาความสามารถในการอ่านภาษาอังกฤษ เพื่อความเข้าใจโดยใช้ โมชั่นกราฟิกของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1**. Narkbhutparitat Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 14(2), 205–215.

อมรรักษ์ สวนชูผล. (2013). **การพัฒนาชุดการเรียนรู้ด้วยการนำตนเองวิชาความรู้เบื้องต้นทางรัฐศาสตร์สำหรับนักศึกษา คณะรัฐประศาสนศาสตร์ สถาบันรัชต์ภาคย์ DEVELOPMENT OF SELF-DIRECTED LEARNING PACKET ON INTRODUCTION TO POLITICAL SCIENCE FOR PUBLIC ADMINISTRATION STUDENTS IN RAJAPARK.** Journal of Graduate Studies Valaya Alongkorn Rajabhat University, 7(2), 31–41.

อัชริกา จันจุฬา, สกล สมจิตต์ และสุภาพ รจันทรคีรี. (2563). **การพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิกเพื่อสร้างการรับรู้และจดจำสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลายจังหวัดยะลา.** สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2566, จาก https://wb.yru.ac.th/handle/yru/5054

Kwunsakul, K. (2018). **การพัฒนาสื่อประสมหนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบมีปฏิสัมพันธ์กับวีดิโอโมชั่น กราฟิก เรื่อง พัฒนาการและระบบการพิมพ์สำหรับนิสิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษาและคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.** Walailak Journal of Learning Innovations, 4(2), 59–76.

คุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

The quality of audiovisual services, school of information and communication technology, University of Phayao

ภานุวัฒน์ โลมากุล[1*] และ พิพัฒน์พงษ์ แซ่พู่[2]

Panuwat Lomakul[1*] and Pipatpong Saephoo[2]

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายของการวิจัย เพื่อศึกษาความพึงพอใจของการใช้บริการโสตทัศนศึกษา ภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา โดยใช้เครื่องมือคือแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้บริการงานโสตทัศนศึกษา เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากบุคลากรภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ประกอบไปด้วย ผู้บริหาร อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ จากจำนวนประชากรทั้งหมด 87 ที่ความเชื่อมั่น 95% ระดับความคลาดเคลื่อน (e) ±5% กลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างของเครซี่และมอร์แกน คือ จำนวน 71 คนใช้สถิติค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลจากการวิเคราะห์ความพึงพอใจของบุคลากรต่อการรับบริการโสตทัศนศึกษา ด้านมาตรฐานของการปฏิบัติงานภาพรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{x}$ = 4.26 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D.= 0.76 อยู่ในระดับความพึงพอใจ มากที่สุด โดยในด้านความเต็มใจในการให้บริการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{x}$ = 4.33 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D.= 0.77 อยู่ในระดับความพึงพอใจ มากที่สุด ด้านคุณภาพการให้บริการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{x}$ = 4.19 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานS.D.= 0.80 อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก ด้านการปรับปรุงการให้บริการ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{x}$ = 4.06 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D.= 0.78 อยู่ในระดับความพึงพอใจ มาก และด้านความพึงพอใจโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{x}$ = 4.30 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D.= 0.67 อยู่ระดับความพึงพอใจมากที่สุด ตามลำดับ

คำสำคัญ: คุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษา, ความพึงพอใจในการใช้บริการ, งานโสตทัศนศึกษา

[1] คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Office of Secretary, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: panuwat.lo@up.ac.th

Abstract

This research aims to study the satisfaction of using audio-visual services in the school of information and communication technology, university of Phayao. The research data was collected by using satisfaction survey form of audio-visual services from the staffs in the school of information and communication technology. The samples used in this study are dean, vice dean, lecturers and personnel from the number of Total population 87 people at 95 percent confidence and level error at (e) ±5 percent. The 71 samples were sampling by using statistic, percentage, mean and standard deviation.

From the study on general data respondents, it was found that the standard aspect of overall performance level is highest ($\bar{x}$ = 4.26, S.D.= 0.76). Most satisfaction levels ($\bar{x}$ = 4.33, S.D.= 0.77) of service mind. The quality of services is in very satisfied ($\bar{x}$ = 4.19, S.D.= 0.80). The most satisfied level of service improvement ($\bar{x}$ = 4.06, S.D.= 0.78) and the overall of user satisfaction was at the highest level ($\bar{x}$ = 4.30, S.D.= 0.67).

Keywords: Quality of audio-visual services, Satisfaction in services, Audio-visual officer

บทนำ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จัดบริการโสตทัศนศึกษาแก่ผู้ใช้บริการโดยการเข้าถึงอุปกรณ์โสตทัศนศึกษาที่มีความหลากหลาย ทั้งนี้เพื่อให้คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมีการพัฒนาการให้บริการเกิดความพร้อมและลดปัญหาในการใช้บริการ ซึ่งความหลากหลายของอุปกรณ์โสตทัศนศึกษาเป็นส่วนหนึ่งในการให้บริการหน่วยงานภายในและภายนอก บทบาทในการใช้งานรวมถึงการสนับสนุนการจัดการเรียนการสอน การอบรม การบรรยาย การจัดประชุมและกิจกรรมต่าง ๆ ด้านการให้บริการห้องประชุม นับได้ว่ามีความจำเป็นในการให้บริการเพื่อการสื่อสารภายในหน่วยงานและสำคัญยิ่งในสภาวะปัจจุบันซึ่งเทคโนโลยีมีความสำคัญต่อการใช้งานและการให้บริการจึงต้องพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการบริการโสตทัศนศึกษาซึ่งเป็นตัวกลางในการให้บริการห้องประชุม และอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์ต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ ผู้บริหาร อาจารย์ เจ้าหน้าที่สายสนับสนุนสาขาวิชาภายในคณะ ฯ ในการใช้บริการโสตทัศนูปกรณ์ที่หลากหลาย สิ่งที่ส่งผลต่อการให้บริการซึ่งมีหลายปัจจัยประกอบด้วย การติดต่อขอจองใช้งานห้องประชุมการใช้งานอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์ภายในห้องประชุม ทั้งระบบภาพ ระบบเสียง เทคนิควิธีการ คำแนะนำเบื้องต้นการใช้งานอุปกรณ์และมีปัญหาระหว่างการใช้งานขณะจัดการประชุมทั้งหมดมีผลต่อคุณภาพความพึงพอใจของการให้บริการรวมถึงการจัดเตรียมการนำเสนองานผ่านอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้การบรรยายสามารถถ่ายทอดได้ดีแล้ว งานให้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารจึงต้องมีการพัฒนาการให้บริการเพื่อให้มีความพร้อมและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

จากปัญหาการให้บริการด้านโสตทัศนศึกษาคือ การรับบริการและการอำนวยความสะดวกต่อการใช้งาน การทำความเข้าใจต่อการรับบริการของผู้ใช้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา โดยจัดการให้บริการที่สำนักงานคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารชั้น 3 โซน A ห้อง ICT1307 มีการกำหนดให้ใช้เฉพาะผู้ที่เป็นบุคลากรมหาวิทยาลัยพะเยา และหน่วยงานภายใน มหาวิทยาลัยและคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ตลอดถึงโสตทัศนูปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เครื่องขยายเสียง ชุดไมโครโฟนไร้สาย ชุดไมโครโฟนประชุม จอทีวี เครื่องฉายภาพโปรเจคเตอร์ จอรับภาพโปรเจคเตอร์ ชุดลำโพงเคลื่อนที่ อุปกรณ์สายต่อพ่วงสัญญาณ VGA และสายสัญญาณ HDMI ในการให้บริการและให้คำแนะนำช่วยเหลือปรึกษาในการใช้บริการเทคนิคการใช้

งานรวมถึงความต้องการขอยืม-คืน หรือใช้ภายในห้อง สำหรับการให้บริการในเวลาราชการอยู่ในความดูแลของหน่วยโสตทัศนศึกษา งานบริหารทั่วไปผู้ให้บริการเป็นนักวิชาการโสตทัศนศึกษาและเป็นผู้รับผิดชอบการให้บริการและทำหน้าที่จัดเก็บดูแลบำรุงรักษา

ดังจะเห็นว่าการบริการโสตทัศนศึกษา มีความจำเป็นเกี่ยวข้องกับคนจำนวนมากในการให้บริการ จึงต้องมีแนวทางการปฏิบัติที่เป็นมาตรฐาน การให้บริการปัจจุบันนั้นมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้สอดรับการการใช้บริการและการเปลี่ยนแปลงไปมากขึ้น เพื่อให้ทันต่อความต้องการใช้บริการและเกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าและประหยัดงบประมาณของหน่วยงานหรือองค์กร เช่นการจัดบริการอุปกรณ์โสตทัศนศึกษาแบบออนไลน์ ตลอดจนพฤติกรรมความต้องการใช้บริการห้องประชุมที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทำให้ผู้ปฏิบัติงานด้านโสตทัศนศึกษามีขอบเขตงานเพิ่มขึ้น ดังนั้น การศึกษาเพื่อพัฒนาบริการโสตทัศนศึกษา จึงมีความสำคัญในการศึกษาคุณภาพความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ เนื่องจากความพึงพอใจในการปฏิบัติงานเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อคุณภาพในการปฏิบัติงานจึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาถึงความพึงพอใจในการให้บริการเพื่อนำผลการศึกษามาเป็นแนวทางตอบสนองความต้องการของบุคลากร เสริมสร้างความพึงพอใจในการปฏิบัติงานบริการต่อไปเพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงการดำเนินงานโสตทัศนศึกษาให้มีประสิทธิภาพและคุณภาพของการให้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของการใช้บริการโสตทัศนศึกษา ภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ บุคลากรภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ดังนี้ บุคลากรสายวิชาการ จำนวน 64 คน และบุคลากรสายสนับสนุน จำนวน 23 คน รวมจำนวนทั้งสิ้น 87 คน คำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ตารางสำเร็จรูปของเครจซี่และมอร์แกน (Krejicie & Morgan,1970 อ้างอิงในธีรวุฒิ เอกะกุล,2543) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และระดับความคาดเคลื่อน (e) ±5% ซึ่งจะได้จำนวนตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 71 คน

1. รวบรวมข้อมูล ปัญหาการให้บริการงานโสตทัศนศึกษาศึกษาความเป็นไปได้จากปัญหาความต้องการต่อการรับใช้บริการ และรวบรวมแหล่งข้อมูลจากการศึกษาเพื่อกำหนดประเด็นการวิจัยศึกษาแนวคิดทฤษฎีที่เหมาะสมเพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบมาใช้พัฒนากับข้อมูลการใช้บริการภายในโสตัทศนศึกษา เพื่อข้อมูลที่มีความหลากหลาย ทั้งความรู้สึกและความพึงพอใจ ร่วมถึงคุณภาพการบริการ ลดข้อผิดพลาดให้น้อยที่สุด ตลอดถึงการเข้าถึงการให้บริการที่รวดเร็วและมีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือแบบสอบถามคุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษาของอาจารย์และเจ้าหน้าที่สายสนับสนุน ซึ่งผู้วิจัยได้จัดสร้างขึ้นตามขั้นตอน ดังนี้

2.1 ทำการศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร สื่อสิ่งพิมพ์ และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้บริการโสตทัศนศึกษาและความพึงพอใจคุณภาพการให้บริการ เพื่อข้อมูลที่มีความหลากหลายทั้งความรู้สึกและความพึงพอใจ ร่วมถึงคุณภาพการบริการ ลดข้อผิดพลาดให้น้อยที่สุด ตลอดถึงการเข้าถึงการให้บริการที่รวดเร็วและมีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นกรอบในการสร้างแบบสอบถาม

2.2 ทำการศึกษาวิธีการและหลักเกณฑ์ในการสร้างหรือออกแบบสอบถาม

2.3 การดำเนินการสร้างเครื่องมือ ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการสร้างแบบสอบถามประเมินคุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษาจากเอกสารและแหล่งข้อมูลหลายแหล่งเพื่อนำมากำหนดกรอบเนื้อหาที่จะมาพิจารณาออกแบบสร้างแบบประเมิน

2.4 การเสนอพิจารณาเครื่องมือหรือแบบประเมินความพึงพอใจต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่านทำการตรวจสอบความเที่ยงตรงในเชิงโครงสร้างของเครื่องมือแบบประเมินคุณภาพการให้บริการเพื่อหาค่าความสอดคล้องและคุณลักษณะที่ต้องการวัด โดยใช้สูตร IOC (Index of Item – Objective Congruence หรือเรียกย่อว่า IOC) และมีแนวทางพิจารณาใช้คะแนน (ธีระ กุลสวัสดิ์,2558, หน้า 1)

2.5 มุ่งเน้นเพื่อศึกษาระดับคุณภาพในด้านการให้บริการ ด้านความสะดวกด้านกระบวนการขั้นตอนการปฏิบัติงาน การรับบริการจากเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ ภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา โดยการนำผลวิจัยและข้อมูลมาจัดการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนางานบริการโสตทัศนศึกษาให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งครอบคลุมถึงการให้ข้อมูลและงานบริการที่ปฏิบัติของผู้ให้บริการอันได้แก่ ด้านมาตรฐานของการปฏิบัติงาน ด้านความเต็มใจในการให้บริการ ด้านคุณภาพการให้บริการ การปรับปรุงการให้บริการ ด้านความพึงพอใจโดยรวม

3. ประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยเพื่อให้บุคลกรได้ทราบและเข้าใจเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลการให้บริการคุณภาพโสตทัศนศึกษาและชี้แจงการจัดเก็บรักษาความลับของข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างเลือกใช้ข้อมูลในส่วนที่จำเป็นต่อการวิจัย

4. วิเคราะห์ข้อมูลรวบรวมข้อมูลแบบสอบถาม ข้อเสนอแนะ นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยระดับคุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษา ในการเลือกใช้ข้อมูลจากส่วนที่จำเป็นด้านข้อมูลที่เกี่ยวกับการให้บริการโสตทัศนศึกษา

5. สรุปผล อภิปรายข้อสรุปการดำเนินโครงการและผลค่าเฉลี่ยรวมและค่าความต่างระหว่าง

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังนี้

1) กลุ่มตัวอย่างวิจัยได้จากวิธีการแบบเจาะจงและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง จากผู้ใช้บริการโสตทัศนศึกษาภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ประกอบไปด้วย

1.1 อาจารย์สายวิชาการ	จำนวน 64 คน
2.2 เจ้าหน้าที่สายสนับสนุน	จำนวน 23 คน

บุคลากรสายวิชาการ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 64 คน แบ่งเป็น สาขาวิชา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ	จำนวน 11 คน
2. สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	จำนวน 9 คน
3. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ	จำนวน 8 คน
4. สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์	จำนวน 9 คน
5. สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์	จำนวน 10 คน
6. สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์	จำนวน 6 คน
7. สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร	จำนวน 3 คน

8. สาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย จำนวน 8 คน

รวมทั้งสิ้น 64 คน

บุคลากรสายสนับสนุน คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 23 คน แบ่งเป็น 4 งาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. งานบริหารทั่วไป จำนวน 7 คน
2. งานวิชาการ จำนวน 7 คน
3. งานแผนงาน จำนวน 5 คน
4. งานปฏิบัติการ จำนวน 4 คน

รวมทั้งสิ้น 23 คน

2) การศึกษาความพึงพอใจการใช้บริการงานโสตทัศนศึกษาที่ เพื่อใช้นำผลที่ได้มาสรุปและพัฒนากระบวนการทำงานให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในด้านการให้บริการ โสตทัศนูปกรณ์งานโสตทัศนศึกษาภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบประเมินความพึงพอใจคุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้บริการของอาจารย์และเจ้าหน้าที่สายสนับสนุน ซึ่งผู้วิจัยได้จัดสร้างขึ้นตามขั้นตอน ดังนี้

3.1 ศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร สื่อสิ่งพิมพ์ และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้บริการและความพึงพอใจของผู้ใช้บริการภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ตลอดจนถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้บริการโสตทัศนศึกษา เพื่อเป็นกรอบในการสร้างแบบสอบถาม

3.2 ศึกษาวิธีการและหลักเกณฑ์ในการสร้างหรือออกแบบสอบถาม

4) แบบประเมินความพึงพอใจการให้บริการโสตทัศนศึกษา โดยแบ่งตอนข้อคำถาม เป็นจำนวน 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ประกอบไปด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา สถานะภาพ

ตอนที่ 2 คุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา โดยมีแยกเป็นด้านบริการต่างๆ ดังนี้

ด้านมาตรฐานของการปฏิบัติงาน	จำนวน 4 ข้อ
ด้านความเต็มใจในการให้บริการ	จำนวน 4 ข้อ
ด้านคุณภาพการให้บริการ	จำนวน 4 ข้อ
การปรับปรุงการให้บริการ	จำนวน 1 ข้อ
ความพึงพอใจโดยรวม	จำนวน 1 ข้อ

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม/ปัญหา เพื่อปรับปรุงคุณภาพการให้บริการ

5) สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องมือทางสถิติ ได้แก่ ค่าความถี่ (Frequency) อัตราส่วนร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งมีระดับของการให้คะแนน 5 ระดับ

สูตรคำนวณช่วงกว้างของอันตรภาคชั้น

$$\text{ความกว้างของอันตรภาคชั้น} = \frac{\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}}$$

$= (5-1)/5 \qquad = 0.8$

ระดับการให้คะแนน

ระดับการให้คะแนนที่	5	หมายถึง	พึงพอใจมากที่สุด
ระดับการให้คะแนนที่	4	หมายถึง	พึงพอใจมาก
ระดับการให้คะแนนที่	3	หมายถึง	พอใจปานกลาง
ระดับการให้คะแนนที่	2	หมายถึง	พึงพอใจน้อย
ระดับการให้คะแนนที่	1	หมายถึง	ไม่พึงพอใจ

เกณฑ์การแปลความหมาย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	4.21 – 5.00	หมายความว่า	ระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	3.41 – 4.20	หมายความว่า	ระดับมาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	2.61 – 3.40	หมายความว่า	ระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	1.81 – 2.60	หมายความว่า	ระดับน้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	1.00 – 1.80	หมายความว่า	ระดับน้อยที่สุด

ผลการศึกษา

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามช่องทางการสื่อสารองค์กรโดยใช้โซเชียลเน็ตเวิร์ค (Social Network) ของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้รับความพึงพอใจจากผู้รับสารมากที่สุด จากกลุ่มตัวอย่างที่ตอบแบบสอบถามทั้งหมด จำนวน 55 คน ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงความพึงพอใจของผู้รับบริการโสตทัศนศึกษา ด้านมาตรฐานของการปฏิบัติงาน

หัวข้อประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
มาตรฐานของการปฏิบัติงาน			
1. การติดต่อประสานงานขอใช้บริการ	4.35	0.78	มากที่สุด
2. ความพร้อมของเจ้าหน้าที่ขณะปฏิบัติงาน	4.28	0.76	มากที่สุด
3. ความพร้อมของอุปกรณ์	4.22	0.74	มากที่สุด
4. การส่งข้อมูลไฟล์ภาพและเสียงครบถ้วน	4.18	0.771	มาก
รวม	**4.26**	**0.76**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 พบว่า ความพึงพอใจของผู้รับบริการโสตทัศนศึกษา ด้านมาตรฐานของการปฏิบัติงาน โดยรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.26) เมื่อแยกพิจารณาการติดต่อประสานงานขอใช้บริการพบว่า ได้รับความพึงพอใจจาก ผู้บริหาร อาจารย์ เจ้าหน้าที่ ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.35) รองลงมาความพร้อมของเจ้าหน้าที่ขณะปฏิบัติงานค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.26) ความพร้อมของอุปกรณ์ ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.22) การส่งข้อมูลไฟล์ภาพและเสียงครบถ้วน ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มาก ($\bar{x}$ = 4.18)

ตารางที่ 2 แสดงความพึงพอใจของผู้รับบริการโสตทัศนศึกษา ด้านความเต็มใจในการให้บริการ

หัวข้อประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
ความเต็มใจในการให้บริการ			
1. ให้บริการด้วยความสุขภาพ อ่อนโยน	4.42	0.71	มากที่สุด
2. ให้บริการด้วยอัธยาศัยอันดีทั้งในและนอกเวลา	4.32	0.80	มากที่สุด
3. ให้บริการโดยเท่าเทียมกัน	4.30	0.74	มากที่สุด
4. ให้บริการด้วยความเต็มใจ กระตือรือร้น	4.28	0.84	มากที่สุด
รวม	**4.33**	**0.77**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 2 พบว่า ความพึงพอใจต่อการใช้บริการ ด้านความเต็มใจในการให้บริการภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.33) เมื่อพิจารณาแยกตามการให้บริการแต่ละอย่างพบว่า ให้บริการด้วยความสุขภาพอ่อนโยน มีค่าเฉลี่ยนความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.42)รองลงมา ให้บริการด้วยอัธยาศัยอันดีทั้งในและนอกเวลา ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.32)ให้บริการโดยเท่าเทียมกัน ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.30) ให้บริการด้วยความเต็มใจ กระตือรือร้น ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.28)

ตารางที่ 3 แสดงความพึงพอใจของผู้รับบริการโสตทัศนศึกษา ด้านคุณภาพการให้บริการ

หัวข้อประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
คุณภาพการให้บริการ			
1. ความสามารถในการติดตั้งอุปกรณ์ให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.22	0.72	มากที่สุด
2. การติดต่อประสานงานการขอใช้บริการเป็นไปด้วยความรวดเร็ว	4.18	0.87	มาก
3. ความสะดวกรวดเร็วในการให้บริการ	4.16	0.81	มาก
รวม	**4.19**	**0.80**	**มาก**

จากตารางที่ 3 พบว่า ความพึงพอใจต่อการใช้บริการ ด้านคุณภาพการให้บริการ ภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มาก ($\bar{x}$ = 4.19) เมื่อพิจารณาแยกตามการให้บริการแต่ละอย่างพบว่า ความสามารถในการติดตั้งอุปกรณ์ให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.22) รองลงมา การติดต่อประสานงานการขอใช้บริการเป็นไปด้วยความรวดเร็ว ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มาก ($\bar{x}$ = 4.18) ความสะดวก รวดเร็วในการให้บริการค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มาก ($\bar{x}$ = 4.16)

ตารางที่ 4 แสดงความพึงพอใจของผู้รับบริการโสตทัศนศึกษา ด้านการปรับปรุงการให้บริการ

หัวข้อประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
การปรับปรุงการให้บริการ			
1. การปรับปรุงให้บริการ และอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ ตามข้อเสนอแนะ	4.06	0.78	มาก
รวม	**4.06**	**0.78**	**มาก**

จากตารางที่ 4 พบว่า ความพึงพอใจต่อผู้รับบริการ ด้านการปรับปรุงการให้บริการ ภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มาก ($\bar{x}$ = 4.06) เมื่อพิจารณาแยกตามหารให้บริการแต่ละอย่างพบว่า การปรับปรุงให้บริการและอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ ตามข้อเสนอแนะ มีค่าเฉลี่ยนความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก ($\bar{x}$ = 4.06)

ตารางที่ 5 แสดงความพึงพอใจของผู้รับบริการโสตทัศนศึกษา ด้านความพึงพอใจโดยรวม

หัวข้อประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
ความพึงพอใจโดยรวม			
1. ความพึงพอใจโดยรวมในทุกด้าน	4.30	0.67	มากที่สุด
รวม	**4.30**	**0.67**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 5 พบว่า ความพึงพอใจของผู้รับบริการโดยรวม ด้านคุณภาพการให้บริการ ภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.30) เมื่อพิจารณาแยกตามการให้บริการพบว่า ความพึงพอใจโดยรวม มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.30)

ข้อเสนอแนะ

ผลจากการดำเนินการวิเคราะห์ของข้อมูลที่ผู้ตอบแบบสอบถามข้อเสนอแนะอื่น ๆ สำหรับความคิดเห็นของผู้ที่ตอบแบบสอบถามเกี่ยวข้องกับตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมคุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา มีรายละเอียดเป็นข้อ ๆ มีจำนวน 3 ข้อ ดังนี้

สำหรับข้อเสนอแนะของผู้ตอบแบบสอบถามแยกเป็นชื่นชมประกอบไปด้วยข้อที่ 3 ให้เหตุผลว่า ผู้ให้บริการทำหน้าที่ได้เป็นอย่างดีและบริการเป็นไปด้วยความเรียบร้อยดีมากตามด้วยข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความเห็นว่าควรมีขั้นตอนและวิธีการในการให้บริการเป็นมาตรฐานร่วมถึงเอกสารแบบฟอร์มที่ยึดถือปฏิบัติในการให้บริการและไม่เลือกปฏิบัติต่อผู้ใช้บริการและแนะนำให้มีการเพิ่มจุดบริการปลั๊กไฟฟ้าทั้งจำนวนและคุณภาพ

ของจุดเชื่อมต่อ เช่นปลั๊กไฟ เพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการให้บริการที่ดียิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป

สรุปผลและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยค้นคว้าด้วยตนเอง ความมุ่งหมายของการวิจัย เรื่องคุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความพึงพอใจของการใช้บริการโสตทัศนศึกษา ภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เป็นการสนับสนุนการดำเนินงานขององค์กรให้เกิดการให้บริการที่มีคุณภาพในด้านการให้บริการและลดขั้นตอนการให้บริการ ช่วยให้การดำเนินการเกิดความสะดวกรวดเร็วมีผลต่อการให้บริการจึงต้องพัฒนาปรับปรุงกระบวนการให้บริการเพื่อให้เกิดประโยชน์ในการบริการจัดการภายในงานโสตทัศนศึกษา การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการวิเคราะห์การให้บริการโสตทัศนศึกษาด้านการใช้งานโสตทัศนูปกรณ์การรับบริการห้องประชุม การอำนวยความสะดวกในการให้บริการ ความพร้อมในการจัดเตรียมการให้บริการคุณภาพการให้บริการของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อนำมาวิเคราะห์ความต้องการการใช้งานและคุณภาพการรับบริการและให้บริการโสตทัศนศึกษาภายในคณะ ฯ ในการนำมาพัฒนาปรับปรุงและสนับสนุนงานโสตทัศนศึกษา และประเมินความพึงพอใจคุณภาพการให้บริการงานโสตทัศนศึกษาจากผู้รับบริการคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

จากการวิจัย พบว่า คุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จากผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของบุคลากรต่อการรับบริการโสตทัศนศึกษา ด้านมาตรฐานของการปฏิบัติงานภาพรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{x}$ = 4.26 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D. 0.76 อยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยในด้านความเต็มใจในการให้บริการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{x}$ = 4.33 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D. 0.77 อยู่ในระดับความพึงพอใจ มากที่สุด ด้านคุณภาพการให้บริการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{x}$ = 4.19 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D. 0.80 อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก ด้านการปรับปรุงการให้บริการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{x}$ = 4.06 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D. 0.78 อยู่ในระดับความพึงพอใจ มาก และด้านความพึงพอใจโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{x}$ = 4.30 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D. 0.67 อยู่ในระดับความพึงพอใจ มากที่สุด

อธิปรายผล

จากการศึกษาค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้บริหาร อาจารย์ เจ้าหน้าที่สายสนับสนุน คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ต่อการใช้บริการงานโสตทัศนศึกษา พบว่าความพึงพอใจในภาพรวมของการใช้งานอยู่ในระดับ มากที่สุด และการวิจัยด้านกลุ่มประชากรที่ศึกษา คือ ผู้บริหาร อาจารย์ เจ้าหน้าที่สายสนับสนุนภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จากจำนวนทั้งสิ้น 87 คน วิจัยต่างประเทศที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้บริการงานโสตทัศนศึกษา พบว่า ความพึงพอใจว่า เป็นความรู้สึกรับรู้ของแต่ละบุคคลที่เกิดขึ้นระยะยาวและระยะสั้นและมีผลต่อคุณภาพการให้บริการต่าง ๆ ทั้งเชิงแคบที่มีความเกี่ยวข้องในลักษณะบริการ ที่มีองค์ประกอบการบริการ ดังเช่น ความรับผิดชอบ ความเชื่อมั่น ความน่าเชื่อถือ การไว้วางใจของผู้รับบริการ เป็นต้น และเชิงกว้างที่เป็นลักษณะมุมมองของผู้รับบริการที่ได้จากการให้บริการทุกรูปแบบการให้บริการ ที่มีการนำไปเป็นข้อมูลและข้อสรุปความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มีต่อหน่วยงานและองค์กร(คัลเลน Cullen. 1995: 664-665) สำหรับความพึงพอใจมีการเปลี่ยนแปลงได้อยู่ตลอดเวลาขึ้นกับปัจจัยสภาพแวดล้อม บริบทและสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ความพึงพอใจเป็นความรู้สึกเกิดจากความชอบสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่มีการแปรผันไปตามปัจจัยที่เข้ามามีบทบาทเกี่ยวข้องกับความคาดหวังของบุคคลแล้วแต่ละสถานการณ์ (สุรางค์ โค้วตระกูล, 2541 : 9) ให้ความหมายว่า เป็นความรู้สึกทางบวก ความรู้สึกทางลบ และความสุขที่มีความสัมพันธ์

กันอย่างซับซ้อนโดยความพึงพอใจจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีความรู้สึกทางบวกมากกว่าความรู้สึกทางลบ ซึ่งช่วงเวลาหนึ่งบุคคลอาจจะมีความไม่พอใจต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งเพราะไม่เป็นไปตามที่คาดหวังหรือหากสิ่งที่คาดหวังไว้รับรับจากการบริการและการตอบสนองอย่างถูกต้อง บุคคลก็สามารถเปลี่ยนความรู้สึกเดิมต่อสิ่งนั้นได้อย่างทันทีไม่ว่าจะเป็นความรู้สึกที่ตรงกันข้ามและนอกจากนี้ความพึงพอใจยังเป็นความรู้สึกที่สามารถแยกออกเป็นระดับมากน้อยได้ก็ขึ้นกับความแตกต่างของการประเมินที่ได้รับกับสิ่งที่คาดหวัง ส่วนใหญ่มักจะใช้เวลาเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบจากความคาดหวังของบริการต่าง ๆ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2540: 27–35) เมื่อพิจารณารายด้านสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ด้านมาตรฐานของการปฏิบัติงาน โดยรวมอยู่ในระดับ มากที่สุด พบว่าผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจต่อการติดต่อประสานงานขอใช้บริการอยู่ในระดับ มากที่สุด เป็นอันดับแรก รองลงมาได้แก่ความพร้อมของเจ้าหน้าที่ขณะปฏิบัติงาน อยู่ในระดับ มากที่สุด และความพร้อมของอุปกรณ์ อยู่ในระดับ มากที่สุด จากการติดต่อหรือมีบริการติดตั้งไว้ให้ใช้งานและลพดับสุดท้าย การส่งไฟล์ภาพและเสียงครบถ้วน ทั้งในทางระบบออนไลน์ และเครื่องขยายเสียงพร้อมจอฉายภาพภายในห้องประชุมและพื้นที่ให้บริการในงานโสตทัศนศึกษา อยู่ในระดับ มาก ตามลำดับโดยมีด้านมาตรฐานของการปฏิบัติงาน มีค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ = 4.26 ความถี่ S.D. = 0.76 ค่าแปลผล อยู่ในระดับ มากที่สุด

2. ด้านความเต็มใจในการให้บริการ โดยรวมอยู่ในระดับ มากที่สุด พบว่าผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจในการให้บริการด้วยความสุภาพ อ่อนโยน อยู่ในระดับ มากที่สุด เป็นอันดับแรก รองลงมาได้แก่การให้บริการด้วยอัธยาศัยอันดีทั้งในและนอกเวลา อยู่ในระดับ มากที่สุด และตามด้วยการให้บริการโดยเท่าเทียมกัน อยู่ในระดับ มากที่สุด ตามลำดับ โดยมีด้านความเต็มใจในการให้บริการ มีค่าเฉลี่ยรวมที่ $\bar{x}$ = 4.33 ความถี่ S.D. = 0.77 ค่าแปลผล อยู่ในระดับมากที่สุด

3. ด้านคุณภาพการให้บริการ โดยรวมอยู่ในระดับ มาก พบว่าผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจด้านความสามารถในการติดตั้งอุปกรณ์ให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อยู่ในระดับ มากที่สุด เป็นอันดับแรก รองลงมาได้แก่การติดต่อประสานงานการขอใช้บริการเป็นไปด้วยความรวดเร็ว อยู่ในระดับ มาก และสุดท้ายความสะดวกรวดเร็วในการให้บริการ อยู่ในระดับ มาก ตามลำดับ โดยด้านคุณภาพการให้บริการมีค่าเฉลี่ยรวมที่ $\bar{x}$ = 4.19 ความถี่ S.D. = 0.80 ค่าแปลผลอยู่ในระดับ มาก

4. ด้านการปรับปรุงการให้บริการ โดยรวมอยู่ในระดับ มาก พบว่าผู้ขอใช้บริการมีความพึงพอใจการปรับปรุงการให้บริการและอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ ตามข้อเสนอแนะ อยู่ในระดับ มาก โดยด้านการปรับปรุงการให้บริการ มีค่าเฉลี่ยรวมที่ $\bar{x}$ = 4.06 ความถี่ S.D. = 0.78 ค่าแปลผลอยู่ในระดับ มาก

5. ด้านความพึงพอใจโดยรวม อยู่ในระดับ มากที่สุด พบว่าผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจโดยรวมทุกด้าน อยู่ในระดับ มากที่สุด โดยความพึงพอใจโดยรวมมีค่าเฉลี่ยรวมที่ $\bar{x}$ = 4.30 ความถี่ S.D. = 0.67 ค่าแปลผลอยู่ในระดับ มากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยได้พบประเด็นจากการดำเนินงานวิจัย ที่เป็นข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาในงานประจำอื่น ๆ โดยมีขั้นตอนและวิธีการในการให้บริการเป็นมาตรฐาน ร่วมถึงเอกสารแบบฟอร์มที่ยึดถือปฏิบัติในการให้บริการและไม่เลือกปฏิบัติต่อผู้ใช้บริการ ซึ่งสอดคล้องตามแนวทางการปฏิบัติของมาตรฐานคุณภาพการบริการของมหาวิทยาลัย รวมทั้งแนะนำให้มีการเพิ่มจุดบริการปลั๊กไฟฟ้าทั้งจำนวนและคุณภาพของจุดเชื่อมต่อ เช่นปลั๊กไฟซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานของงาน ให้บริการโสตทัศนศึกษาสำหรับข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป มีดังนี้

1. ศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับความต้องการและความพึงพอใจของผู้รับบริการงานโสตทัศนศึกษา รวมทั้งปัจจัยเงื่อนไขของการให้บริการโสตทัศนศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขและพัฒนางานได้ตรงกับความต้องการของผู้รับบริการ

2. ศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบการปฏิบัติงานที่มีคุณภาพในสายงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานบริการของมหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าวิจัยเรื่องคุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา เล่มนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์และความกรุณาอย่างยิ่งจาก นายพิพัฒน์พงษ์ แซ่พู่ ที่ปรึกษาและได้รับคำแนะนำ ความรู้ และคำปรึกษา ตลอดจนตรวจแก้ไข ปรับแก้ข้อผิดพลาดและข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี และเพื่อให้วิจัยมีความสมบูรณ์เรียบร้อยจึงขอขอบพระคุณท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้เพื่อให้ได้นำเอาองค์ความรู้นั้น มาต่อยอดให้เกิดประโยชน์ได้อย่างยิ่ง

ท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยคุณภาพการให้บริการโสตทัศนศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้และผู้ที่มีความสนใจได้บ้างตามสมควรหากมีข้อเสนอแนะประการใดเพื่อปรับปรุงงานวิจัยครั้งนี้ให้ดีขึ้น ทางผู้วิจัยขอน้อมรับคำเสนอแนะด้วยความขอบพระคุณยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

ธีรวุฒิ เอกะกุล. (2543). **ระเบียบวิธีวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์.** อุบลราชธานี: สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี.มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2540: 27-35

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2540). **เอกสารการสอนชุดวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ.** นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สุรางค์ โค้วตระกูล. (2541). **จิตวิทยาการศึกษา.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Cullen, Rowena. (2001, Spring). **Perspectives on User Satisfaction Surveys**. Library trends. 664-665.

นาฏยประดิษฐ์ชุด “พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี”

Artificial Dance “Phra Isuan keaw Phra Maha Dhevi”

ผุสดี โกมาสถิตย์[1*], จุฑาภรณ์ วิลัยแก้ว[1], ชมภูนาฏ ชมภูพันธ์[1], สรินทร คุ้มเขต[1], สังคม พรหมศิริ[1], ภูรินทร์ บุปผาพวง[1] และ สุธัณญา ฐานะ[1]

Pudsadee Komasathit[1*], Jutaporn Wilaikaew[1], Chomphunat Chomphuphan[1], Sarinthorn Khumkhet[1], Sungkom Promsiri[1], Purin Bupphaphuang[1] and Sutanya Thana[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสรรค์การแสดงนาฏยประดิษฐ์ ชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี ด้วยกระบวนการวิจัยเชิงสร้างสรรค์ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ ศึกษาเอกสาร วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการพรรณนา และนำเสนอผลงานการแสดง จากการศึกษาพบว่า นาฏยประดิษฐ์ ชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี เป็นการแสดงที่กล่าวถึงเหตุการณ์ที่พระอิศวรแปลงกายเป็นหญิง เพื่อหยอกล้อกับพระอุมา ปรากฏอยู่ในวรรณคดีเรื่อง อิลราชคำฉันท์ รูปแบบการแสดงเป็นนาฏศิลป์ไทย มุ่งเน้นความอ่อนช้อย สวยงามและสอดประสานกันตามหลักการรำคู่ ดนตรีและบทร้องได้ประพันธ์คำร้องขึ้นใหม่จากบทวรรณคดี โดยใช้เพลงปี่พาทย์และเพลงร้องของไทยประกอบการแสดง เครื่องแต่งกายเป็นการแต่งกายชุดยืนเครื่อง การออกแบบท่ารำและการแปรแถว นำเอาแนวคิดการประดิษฐ์ท่ารำทั้งจากการใช้นาฏยศัพท์ภาษาท่าและท่าแม่บทของนาฏศิลป์ไทย มาเป็นแนวทางในการออกแบบท่ารำ การเคลื่อนที่และการใช้พื้นที่ให้เหมาะสมสอดคล้องกับลักษณะการรำคู่

คำสำคัญ: นาฏยประดิษฐ์, นาฏศิลป์ไทย, พระอิศวรแปลง

[1] สาขาวิชานาฏศิลป์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

[1] Dramatic Arts, Faculty of Education, Loei Rajabhat University, Loei, 42000

*Corresponding author: Pusadee.kom@lru.ac.th

Abstract

The objective of this research was to create an artificial dance, Phra Isuan keaw Phra Maha Dhevi, with the creative research process. Data were collected by interviewing, studying documents, literature, and related research. The results of data analysis are presented using descriptive methods and present performance. The study it was found that Phra Isuan keaw Phra Maha Dhevi is a performance that describes an event Shiva transforms into a woman to tease Phra Uma. The story is in the literature II Ratcha Khamchan. The performance style is Thai classical dance that focus on delicacy posture and harmonious according to the principles of Thai classical duo dancing. The music and lyrics were composed from poetry. Using the Piphat song and Thai singing songs to accompany the performance. The outfit is a Thai traditional outfit, Yuen-kreang. Dance design and line variation are taking the idea of creating dance postures from the Thai classical dance term, Thai classical body language, and Mae Bot of Thai dance as a guideline for designing dance moves. The movement and deployment consistent with the style of Thai classical duo dancing.

Keywords: Artificial Dance, Thai classical dance, Shiva Transformation

บทนำ

อิลราชคำฉันท์ เป็นวรรณคดีสันสกฤต มีที่มาจากเรื่องรามายณะ (รามเกียรติ์) มีการกล่าวถึงเรื่องของท้าวอิลราช ในหนังสือ “บ่อเกิดแห่งรามเกียรติ์” ซึ่งเป็นบทพระราชนิพนธ์ของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 6 ปรากฏอยู่ในอุตตรกัณฑ์ (กัณฑ์แถม) ซึ่งเป็นการให้รายละเอียดของเรื่องรามเกียรติ์ ในส่วนที่นอกเหนือจากเส้นเรื่องหลัก ภาคที่ 12 พิธีอัศวเมธของพระราม และรับสีดาคืนนคร เป็นการเล่านิทานให้เห็นถึงคุณของการทำพิธีอัศวเมธ เพื่อชำระล้างบาป (พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าฯ, 2503) จากนั้นมีการนำเรื่องของท้าวอิลราช มาประพันธ์ขึ้นใหม่เป็นกวีนิพนธ์คำฉันท์ โดยพระยาศรีสุนทรโวหาร (ผัน สาลักษณ) เจ้ากรมพระอาลักษณ์ในแผ่นดินพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ประพันธ์ขึ้นแต่ครั้งยังมีบรรดาศักดิ์เป็นหลวงสารประเสริฐ ตำแหน่งปลัดกรมพระอาลักษณ์ โดยนำเค้าเรื่องมาจาก “บ่อเกิดแห่งรามเกียรติ์” พระราชนิพนธ์ของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 6 พระราชนิพนธ์ขึ้นเมื่อพุทธศักราช 2456

อิลราชคำฉันท์ เป็นเรื่องราวของท้าวอิลราช กษัตริย์แห่งแคว้นพลหิ ที่ต้องสาปให้กลายเป็นหญิง รวมถึงเหล่าทหาร ข้าราชบริพารที่ร่วมขบวนเสด็จล่าสัตว์ เนื่องจากได้ล่วงล้ำเข้าไปในเขตเขาไกรลาสอันเป็นที่ประทับของพระอิศวรและพระอุมา ซึ่งในขณะนั้นพระอิศวรกำลังหยอกล้อกับพระอุมา โดยแปลงกายเป็นผู้หญิงและเนรมิตให้ทุกสิ่งที่อยู่ ณ บริเวณเขาไกรลาสเป็นเพศหญิงหมด รวมทั้งท้าวอิลราชและเหล่าข้าราชบริพารที่อยู่แถวนั้นด้วย ท้าวอิลราชต้องได้ขอโทษพระอิศวรเพื่อขอให้พระอิศวรถอนคำสาปกลับมาเป็นดังเดิม แต่ทว่าพระอิศวรไม่ประทานพร พระอุมาจึงให้พรครึ่งหนึ่งเฉพาะท้าวอิลราช โดยให้เดือนหนึ่งเป็นหญิงที่งดงาม แล้วกลับมาเป็นผู้ชายในเดือนต่อมาสลับกัน และในขณะที่เป็นหญิงนั้นก็จำเรื่องราวตอนเป็นผู้ชายไม่ได้ เช่นเดียวกับตอนที่กลับคืนมาเป็นผู้ชายที่จำตอนเป็นผู้หญิงไม่ได้เช่นกัน ตั้งแต่นั้นมาท้าวอิลาราชก็สลับร่างกลายเป็นผู้หญิงที่ชื่อว่านางอิลาไปมาคนละเดือน

วรรณคดีเรื่องนี้ จึงเป็นที่น่าสนใจในประเด็นที่ตัวละครในเรื่องมีการกลายร่าง เปลี่ยนเพศสภาพ จากชายเป็นหญิง ถึงสองครั้ง ครั้งแรกคือ พระอิศวร ที่แปลงกายเป็นหญิงเพื่อหยอกล้อกับพระอุมาเทวี และครั้งที่สองคือท้าวอิลราช ที่ต้องกลายเป็นนางอิลา ซึ่งจะได้พบรักกับพระพุธต่อไป ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดและแรงบันดาลใจ ในการหยิบยกเหตุการณ์ตอนพระอิศวรแปลงเป็นผู้หญิง เพื่อเย้าแหย่หยอกล้อกับพระอุมาเทวี ซึ่งเป็นจุดกำเนิดเรื่องราวสำคัญใน

เรื่องอิลราชคำฉันท์ มาถ่ายทอดเรื่องราวผ่านการแสดงในรูปแบบของการแสดงนาฏยประดิษฐ์ ชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี

วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างสรรค์การแสดงนาฏยประดิษฐ์ ชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี

วิธีการศึกษา

กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย ผู้เชี่ยวชาญด้านนาฏศิลป์ไทย 1 คน

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการถ่ายทอดนาฏศิลป์ไทย ชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี ได้แก่ นักศึกษาสาขาวิชานาฏศิลป์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย เป็นนักศึกษาหญิงจำนวน 2 คน และนักศึกษาชาย จำนวน 1 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ในการวิจัยครั้งนี้ใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง โดยกำหนดขอบเขตของรายละเอียดในประเด็นที่จะสัมภาษณ์ สร้างแบบสัมภาษณ์ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ นำแบบสัมภาษณ์ที่สร้างขึ้นประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ และปรับแก้ไขข้อคำถามในแบบสัมภาษณ์ให้เหมาะสมกับประเด็นที่ศึกษาตามข้อเสนอแนะ จากนั้นนำแบบสัมภาษณ์ไปใช้เพื่อศึกษาองค์ความรู้และภูมิปัญญาด้านศิลปะการแสดงจากกลุ่มเป้าหมาย มีรายละเอียดครอบคลุมประเด็น ความเป็นมาของเรื่องอิลราชคำฉันท์ รูปแบบ ขั้นตอนการแปลงกายของพระอิศวร หลักการสร้างนาฏยประดิษฐ์ทางด้านนาฏศิลป์ไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงสร้างสรรค์ มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. วางแผนการดำเนินการวิจัย กำหนดกลุ่มเป้าหมาย รูปแบบวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และกำหนดระยะเวลาการวิจัย
2. ศึกษาตำราที่เกี่ยวข้อง บทประพันธ์อิลราชคำฉันท์ หลักการใช้นาฏยศัพท์และภาษาท่า ท่ารำแม่บทใหญ่ การแต่งกายของตัวนาง ตัวพระ และลักษณะการรำของตัวพระตัวนาง
3. สร้างเครื่องมือที่ในการวิจัย นำเครื่องมือไปสัมภาษณ์กับกลุ่มเป้าหมาย โดยผู้วิจัยได้เลือกเก็บข้อมูลแบบเจาะจงจากผู้เชี่ยวชาญด้านนาฏศิลป์ไทยและผู้ที่มีความรู้เรื่องอิลราชคำฉันท์
4. วิเคราะห์ข้อมูล และสร้างชุดการแสดงตามขั้นตอนการสร้างนาฏยประดิษฐ์
5. นำเสนอชุดการแสดงต่อผู้ทรงคุณวุฒิและประเมินผลการแสดง
6. สรุปผล อภิปรายผล และจัดทำรายงานการวิจัย

การสร้างนาฏยประดิษฐ์ มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ศึกษารูปแบบการแสดงตามหลักวิชาการด้านนาฏศิลป์ ศิลปะการแสดง และหลักการประดิษฐ์ท่ารำ
2. วิเคราะห์ข้อมูลจากการเก็บข้อมูลเพื่อเข้าสู่กระบวนกำหนดแนวคิดการแสดง และพัฒนารูปแบบการแสดง
3. พัฒนาองค์ประกอบของชุดการแสดง ได้แก่ ดนตรี เพลงร้อง ท่ารำ การแปรแถว การแต่งกาย และอุปกรณ์ประกอบการแสดง
4. นำเสนอผลงานการแสดง ประเมินผลงานโดยผู้ทรงคุณวุฒิ และนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการพรรณนา ประกอบภาพถ่าย

ผลการศึกษา

ผลการสร้างสรรค์นาฏยประดิษฐ์ชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี

แนวคิดและรูปแบบของการแสดง

การแสดงนาฏยประดิษฐ์ชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี นำเสนอเหตุการณ์จากเรื่อง อิลราชคำฉันท์ ในตอนหนึ่งที่กล่าวถึงพระอิศวร ที่กำลังพักผ่อนกายาอยู่กับพระแม่อุมาในพื้นที่เขาไกรลาส ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนพระองค์ แล้วทรงแปลงกายเป็นสตรีเพื่อหยอกล้อ เกี้ยวโลมพระอุมา นำเสนอในลักษณะนาฏศิลป์ไทยเพื่อคงไว้ซึ่งความงดงาม อ่อนช้อย ตามแนวทางของนาฏศิลป์ไทย กระบวนท่าที่ใช้แสดงความหมายการรำเกี้ยวนางของพระอิศวรและพระอุมา แบ่งการแสดงออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ช่วงที่ 1 เสด็จถึงสวนขวัญ เป็นการแสดงออกว่าวันหนึ่งในวสันตฤดู ดินแดนโดยรอบเชิงเขาไกรลาสสว่างไสว สวยสดชื่น ตระการตาด้วยพรรณไม้ดอก ใบ หลากสีสัน พร้อมใจกันผลิดอกออกช่อ ส่งกลิ่นอบอวลในยามลมพัดไหว ส่งให้สรรพชีวิตรื่นรมย์เริงร่า แม้แต่องค์พระอิศวรมหาเทพก็ไม่ยกเว้น ทอดพระเนตรความสวยงามแล้วแย้มสรวลในที่อุทยานอันน่ารื่นรมย์

ช่วงที่ 2 แปลงกายา เป็นการแสดงออกว่าทรงหยอกล้อกันสนุกสนานเพลิดเพลิน ทันใดนั้นพระอิศวรทรงนึกสนุก จึงแปลงร่างเป็นสตรีเพื่อหยอกล้อเกี้ยวโลม เล่นกับพระอุมา

ช่วงที่ 3 ไคลคลาสู่ไกรลาส เป็นการแสดงออกว่าพระอิศวรและพระอุมา เสด็จกลับยอดเขาไกรลาสที่ประทับฝ่ายใน

การกำหนดองค์ประกอบรูปแบบการแสดง

ด้านดนตรีและบทร้องประกอบการแสดง ผู้วิจัยกำหนดให้มีจังหวะที่หลากหลาย ประกอบบทร้อง เพื่อเล่าเรื่องตามช่วงของการแสดงทั้ง 3 ตอน ได้รับความอนุเคราะห์ทำนองเพลงต้นแบบจากดุริยางคศิลปินระดับชำนาญงาน สำนักการสังคีตกรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม เป็นผู้บรรเลงดนตรีประกอบการแสดง นายภวัต จันทร์ดารักษ์ ตำแหน่งศิลปินอิสระ เป็นผู้ประพันธ์เนื้อเพลง และเป็นผู้ขับร้องประกอบการแสดง และ รศ.ดร.เสาวณิต วิงวอน ผู้ตรวจแก้ไข

บทการแสดงชุด “พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี”

ตามเค้าตอนต้นเรื่องอิลราชคำฉันท์ ของ พระยาศรีสุนทรโวหาร (ผัน สาลักษณ)

ภวัต จันทร์ดารักษ์ : ประพันธ์บท

รศ.ดร. เสาวณิต วิงวอน : ตรวจแก้ไข

ปี่พาทย์ทำเพลง วา

ร้องเพลง ว่าย

มาถึงเชิง หิมวันต์ บรรพตา สองเทพ ลีลา เข้าไพรสัณฑ์

พิศดู รุกขชาติ หลากพรรณ สอดสี สลับกัน อยู่เรียงราย

ร้องเพลง พัดชา

สกุณี ส่งเสียง สำเนียงก้อง เพราะพ้อง เพียงบรรเลง เพลงถวาย

สุริยา ทอแสง เป็นประกาย วะวาวรุ้ง ฟุ้งกระจาย ลออตา

พระพายพริ้ว หวิวไหว ให้ฉ่ำชื่น หอมระรื่น กลิ่นระรวย ด้วยบุปผา

ดอกดวง พวงห้อย ย้อยระย้า ภุมรา ดมกลิ่น แล้วบินไป

ร้องเพลง ร่าย

ชมพลาง ตริตรึก นึกสนุก จะสร้างสุข ให้เทวี ศรีใส
พลางสำแดง แผลงอิทธิ์ ฤทธิไกร แปลงเป็น อรไท ในทันที

ปี่พาทย์ทำเพลง รัว

(พระอิศวรร่ายเวทจำแลงกาย แล้วหายเข้าโรง)

(ท้ายเพลงรัวนางแปลงปรากฏตัว)

ร้องเพลง มุล่ง

นางจำแลง อิงแอบ แนบชิด ภวานี1 วางจริต ค่อยผายผัน
พระประโลม โฉมแฉล้ม แจ่มจันทร์ เด็ดผกา มาแซมกรรณ ศรีอุมา
นิลุบล รวยริน ส่งกลิ่นอ่อน เหมือนกลิ่นเนื้อ นวลสมร ชื่นนาสา
สัพยอก หยอกเย้า เร้าอุรา กัลยา ขวนเขิน สะเทิ้นอาย

ร้องเพลง ร่าย

เดินทาง พลางพิศ ชิดชม อภิรมย์ สมหวัง ดั่งใจหมาย
สองเทพ ยุรยาตร นาดกราย ผันผาย ไปตาม มรคา

ปี่พาทย์ทำเพลง เร็ว

(พระอิศวร จูงกรพระอุมา รำตามกระบวนท่า แล้วหายเข้าโรง)

จบการแสดง

ด้านการกำหนดผู้แสดง

นาฏยประดิษฐ์ ชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี กำหนดให้มีนักแสดงชายจำนวน 1 คน รับบทเป็นองค์พระอิศวร โดยเลือกผู้แสดงมีรูปร่างดี สมส่วน ใบหน้ารูปไข่ มีความสง่างาม และมีลีลาการร่ายรำที่อ่อนช้อยสวยงาม และนักแสดงหญิงจำนวน 2 คน ผู้รับบทเป็นพระอุมา มีใบหน้ารูปไข่รับกับมงกุฎ รูปร่างโปร่งบาง มีลีลาท่ารำที่อ่อนช้อยสวยงาม ผู้รับบทพระอิศวรแปลง มีรูปร่างสมส่วน ใบหน้ารูปไข่ คมคาย ควรสูงโปร่งกว่าผู้รับบทเป็นพระอุมาเล็กน้อย

ด้านการแต่งกาย

รูปแบบการแต่งกายของนักแสดงได้ยึดตามแบบแผนของการแต่งกายยืนเครื่องแบบตัวละครพระ และตัวละครนาง ประกอบไปด้วย

1) การแต่งกายของพระอิศวร แต่งกายยืนเครื่องแบบตัวละครพระ ฉลองพระองค์สีขาว ตามขนบเครื่องแต่งกายชุดยืนเครื่องของพระอิศวร สวมชฎาพระยอดน้ำเต้าทัดพระจันทร์ ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของพระอิศวร



ภาพที่ 1 การแต่งกายของพระอิศวร (ด้านหน้า)



ภาพที่ 2 การแต่งกายของพระอิศวร (ด้านหลัง)

2) การแต่งกายพระอุมา แต่งกายยืนเครื่องแบบตัวละครนาง ห่มผ้าห่มนางสีขาว เพื่อให้สอดคล้องเข้าคู่กับฉลองพระองค์ของพระอิศวร สวมมงกุฎกษัตรีย์



ภาพที่ 3 การแต่งกายของพระอุมา (ด้านหน้า)



ภาพที่ 4 การแต่งกายของพระอุมา (ด้านหลัง)

3) การแต่งกายของพระอิศวรแปลง แต่งกายยืนเครื่องแบบตัวละครนาง ห่มสไบนางสีชมพูอ่อน เพื่อสื่อถึงความอ่อนหวาน สวมมงกุฎกษัตรีย์



ภาพที่ 5 การแต่งกายของพระอิศวรแปลง (ด้านหน้า)



ภาพที่ 6 การแต่งกายของพระอิศวรแปลง (ด้านหลัง)

ด้านการออกแบบท่ารำและการแปรแถว

ผู้วิจัยได้คิดประดิษฐ์ท่ารำจากท่ารำแม่บท ผสมผสานกับท่าเชื่อม ให้สอดประสานกับดนตรีและบทร้อง การร่ายรำนอกจากเป็นการรำตีบทตามเนื้อร้องแล้ว ในการใช้พื้นที่บนเวทีสำหรับการแสดงคำนึงถึงหลักการรำคู่และการเข้าคู่ของตัวละครพระ นาง อย่างเหมาะสม

แม่ท่าที่ใช้ในการแสดงชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี เป็นแม่ท่าที่สื่อให้เห็นถึงความหมายที่สำคัญและบ่งบอกความเป็นเอกลักษณ์ของชุดการแสดง มี 4 ท่า ดังนี้



ภาพที่ 7 ท่าประทานพรของพระอิศวรและพระอุมา



ภาพที่ 8 ท่าดมกลิ่นแล้วบินไป



ภาพที่ 9 ท่าดมกลิ่นเนื้อนวลสมร



ภาพที่ 10 ท่าชื่นนาสา

อภิปรายและสรุปผล

การสร้างสรรค์นาฏยประดิษฐ์ ชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี เป็นการแสดงที่ผู้วิจัยศึกษาวรรณคดีจากการค้นคว้าเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการสัมภาษณ์ผู้มีความรู้ที่เกี่ยวข้อง ผสมผสานหลักในการคิดสร้างสรรค์ชุดการแสดง บทร้อง กระบวนท่ารำ เครื่องแต่งกาย นำมาพัฒนารูปแบบการแสดง จากนั้นนำเสนอผลงานและประเมินงานโดยผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านนาฏศิลป์และดนตรี

แนวคิดและรูปแบบของการสร้างสรรค์นาฏยประดิษฐ์ ชุด พระอิศวรแปลงเกี้ยวพระมหาเทวี ผู้วิจัยกำหนดรูปแบบของการแสดงในรูปแบบนาฏศิลป์ไทย โดยดำเนินการสร้างสรรค์การแสดงตามหลักการ ระเบียบแบบแผนของการแสดงนาฏศิลป์ไทย เพื่อนำเสนอเรื่องราววรรณคดีเรื่อง อิลราชคำฉันท์ ในตอนต้นเรื่องที่กล่าวถึงพระอิศวร ได้เสด็จพักผ่อนกายาที่สวนขวัญในเขาไกรลาศ แล้วทรงแปลงกายเป็นสตรีเพื่อหยอกล้อ เกี้ยวโลมพระอุมา อาจกล่าวได้ว่า เหตุการณ์นี้ เป็นจุดเริ่มเรื่องที่สำคัญที่นำไปสู่เรื่องของท้าวอิลราช ที่ต้องมนตร์ให้กลายเป็นหญิง จนเกิดเรื่องราวต่อมา เป็นการนำเรื่องราวมาขับเน้นให้เห็นความสำคัญของเหตุการณ์ดังกล่าว อีกทั้งการแปลงกายของพระอิศวรยังเป็นการแสดงให้เห็นลักษณะความมีอยู่ทั้งในความเป็นชายและความเป็นหญิง อยู่เหนือเพศสภาวะของมนุษย์ โดยเพศภาวะเป็นสิ่งสมมติจิตที่แท้ไม่มีเพศ ตามความเชื่อของศาสนาฮินดู การสร้างสรรค์ชุดนาฏยประดิษฐ์ตามระเบียบแบบแผนของนาฏศิลป์ไทยนี้ สอดคล้องกับ สุรพล วิรุฬห์รักษ์ (2547) ที่กล่าวถึงการกำหนดรูปแบบของนาฏศิลป์ชุดใหม่ไว้ 4 แนวทาง โดยแนวทางหนึ่งคือ “การกำหนดให้อยู่ในหนึ่งนาฏยจารีต นักนาฏยประดิษฐ์โดยทั่วไปนิยมสร้างสรรค์ผลงานในแนวนี้ เพราะเป็นแนวที่ทำได้ง่าย เพราะมีกฎเกณฑ์ หรือข้อกำหนดในลักษณะของไวยากรณ์หรือฉันทลักษณ์ทางนาฏยศิลป์ให้หยิบใช้ในการสร้างสรรค์ได้อย่างเป็นระบบระเบียบ”

องค์ประกอบของการแสดง กำหนดขึ้นให้สอดคล้องกับแนวคิดของชุดการแสดงที่กำหนดไว้ โดยยึดหลักการของการแสดงนาฏศิลป์ไทย นำหลักคิดมาเป็นหลักในการออกแบบดนตรี บทร้อง เครื่องแต่งกาย การออกแบบท่ารำและการแปรแถว

ดนตรีและบทร้อง ผู้วิจัยได้กำหนดให้นำเสนอด้วยทำนองเพลงหลากหลาย ให้สอดคล้องกับจังหวะของการแสดงในแต่ละช่วง นำเพลงปี่พาทย์มาใช้ในการเรียบเรียงดนตรี โดยเป็นไปตามขนบนิยมและหลักการใช้เพลงปี่พาทย์ประกอบการแสดง สลับกับร้องเพลงร่าย และเพลงร้องอื่น ๆ เพื่อช่วยในการเล่าเรื่องให้กระชับ และผู้แสดงสามารถรำตีบทเพื่อสื่อสารกับผู้ชมได้อย่างชัดเจน สอดคล้องกับ จันทนา คชประเสริฐ (2564) ที่กล่าวว่า “ร่ายในและร่ายนอกเป็นทำนองร้องสำหรับดำเนินเรื่องของโขนละคร ด้วยเพราะบทบรรยายการร่ายรำต้องการความรวดเร็วจึงไม่บรรจุเพลงร้อง จึงใช้เพลงร่ายแทน”

การออกแบบเครื่องแต่งกาย ยึดหลักการออกแบบเครื่องแต่งกายอย่างโขน ละคร และการแสดงนาฏศิลป์ไทย ที่สวมชุดยืนเครื่อง ในแบบของตัวละครตัวพระ ตัวนาง ผสมผสานการเลือกใช้เครื่องประดับ และเครื่องแต่งกายที่ประดิษฐ์อย่างวิจิตรสวยงาม โดยขับเน้นอัตลักษณ์ของตัวละครไว้ อาทิ ชฎาพระยอดน้ำเต้าทัดพระจันทร์ ซึ่งเป็น

ลักษณะสำคัญของศิราภรณ์ของพระอิศวร เพื่อให้สอดคล้องกับแนวคิด รูปแบบการแสดง ดนตรี และบทร้อง ที่กำหนดแนวทางตามขนบของนาฏศิลป์ไทย สอดคล้องกับ มาลินี อาชายุทธการ (2547) ที่กล่าวว่า “ในการสร้างงานแต่ละครั้งผู้สร้างงานควรคำนึงถึงเครื่องแต่งกายควบคู่ไปกับการดำเนินงานส่วนอื่น ๆ ด้วย เพราะเครื่องแต่งกายมีบทบาทต่อการแสดงไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าแนวคิด รูปแบบการแสดง ท่าที่ใช้ในการแสดง และเพลงดนตรี ซึ่งทุกอย่างล้วนต้องสอดคล้องกลมกลืนกัน”

การออกแบบท่ารำ ผู้วิจัยประดิษฐ์ท่ารำจากท่านาฏยศัพท์ ภาษาท่า ท่าแม่บทแม่ท่ารำของไทย มาเป็นแนวทางและประยุกต์ใช้ในการออกแบบท่ารำ โดยให้ความสำคัญกับหลักการรำคู่ เพื่อให้เกิดความสอดคล้องของท่วงท่าของผู้แสดง เนื่องจากในการแสดงเป็นลักษณะการรำคู่ และการหยอกล้อ เกี้ยวกันของตัวละคร จึงต้องให้ความสำคัญกับการออกแบบท่ารำที่มีความสอดคล้องกลมกลืนกัน และแสดงให้เห็นการมีปฏิสัมพันธ์ของตัวละครที่แตกต่างกัน ทั้งระหว่างพระอิศวรกับพระอุมา และระหว่างพระอิศวรแปลง(เพศหญิง)กับพระอุมา อีกทั้งเป็นการรำประกอบบทร้อง จึงต้องให้ความสำคัญกับการตีบทตามคำร้อง โดยการใช้ภาษาท่าทางนาฏศิลป์อย่างเหมาะสม และยังคงไว้ซึ่งความอ่อนช้อยสวยงามตามแบบนาฏศิลป์ไทย

ในส่วนของการแปรแถวของการแสดงในลักษณะการรำคู่ ผู้วิจัยกำหนดให้ผู้แสดงใช้พื้นที่ตรงกลางเวทีเป็นหลัก การแปรแถวไม่ซับซ้อน แต่ให้ความสำคัญกับการเคลื่อนไหวบนเวทีที่เป็นการเข้าคู่ตัวพระตัวนาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตอนพระอิศวรแปลง ซึ่งเป็นตอนสำคัญของการแสดงนั้น มีการวางตำแหน่งของผู้แสดง ให้น้ำหนักและความสำคัญอยู่ที่ผู้แสดงเป็นพระอิศวร แล้วจึงเดินเข้าฉากแล้วแปลงกายเป็นผู้แสดงอีกคนออกมา สอดคล้องกับสุรพล วิรุฬห์รักษ์ (2547) ที่กล่าวว่า “การแปรแถวในนาฏยประดิษฐ์ของไทยค่อนข้างจำกัด เป็นการแปรแถวที่ไม่สลับซับซ้อน อาจเป็นไปได้ว่านักนาฏยประดิษฐ์ไทยเน้นการประดิษฐ์ท่ารำเดี่ยวมากกว่าการแปรแถว”

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เพราะความร่วมมืออันดีของคณาจารย์และนักศึกษา สาขาวิชานาฏศิลป์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ขอขอบคุณคณะครุศาสตร์ ในการสนับสนุนการทำวิจัย และการนำเสนอบทความในครั้งนี้ รวมถึงขอขอบคุณผู้ให้ข้อมูล และนักศึกษาสาขาวิชานาฏศิลป์ทุกชั้นปี ที่เสียสละเวลาเป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินการวิจัยและการจัดการแสดง

เอกสารอ้างอิง

จันทนา คชประเสริฐ. (2564). ร่ายใน-ร่ายนอก: การดำเนินเรื่องของโขนละคร. **วารสารดนตรีและการแสดง**, ปีที่ 7 (ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน), 134-143.

พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าฯ. (2503). **บ่อเกิดแห่งรามเกียรติ์** (พิมพ์ครั้งที่ 1). องค์การค้าของคุรุสภา ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์.

มาลินี อาชายุทธการ. (2547). **พื้นฐานนาฏยประดิษฐ์** (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรพล วิรุฬห์รักษ์. (2547). **หลักการแสดง นาฏยศิลป์ปริทรรศน์** (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

Student's satisfaction with cooperative education preparation training, school of information and communication technology, University of Phayao

กิตติคุณ นุผัด[1*], วราพงษ์ คล่องแคล่ว[1] และ นครินทร์ ชัยแก้ว [2]

Kittikun Nupat[1*], Warapong Klongklaew[1] and Nakarin Chaikaew[2]

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ นิสิตที่เข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา ประจำปี 2565 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 35 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นแบบสอบถาม มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่า นิสิตมีความพึงพอใจในภาพรวมต่อโครงการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษาในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.13, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.66)

คำสำคัญ: สหกิจศึกษา, ความพึงพอใจ

Abstract

The objective of this study was to estimate the student's satisfaction with cooperative education preparation training. The simple used in this study were 35 people of the undergraduate students participating in the cooperative education program at 2020 academic years of the School of Information and Communication Technology, University of Phayao. The study instrument for collecting questionnaire made by the researcher. The data was a rating scale, were analyzed using the program to mean and standard deviation. The results of the study showed that the satisfaction of the undergraduate students participating in the cooperative education program to summarize were high level ($\bar{x}$ = 4.13, S.D. = 0.66).

Keywords: Cooperative education, Satisfaction

[1] คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Geographic Information Science, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: Kittikun.nu@gmail.com

บทนำ

สหกิจศึกษา (Cooperative Education) คือ การศึกษารูปแบบผสมผสานความรู้ที่ใช้ในห้องเรียนกับการทำงานที่ใช้ประสบการณ์จริง ซึ่งเป็นการบูรณาการณ์ระหว่างสถานศึกษากับสถานประกอบการหรือองค์กรผู้ใช้บัณฑิต โดยองค์กรผู้ใช้บัณฑิตจะเข้ามาร่วมจัดการเรียนการสอนอย่างเต็มรูปแบบให้นิสิตมีการปฏิบัติงานตรงตามสาขาที่ศึกษาโดยเน้นการเรียนรู้โดยใช้ประสบการณ์จากการทำงานจริงเป็นหลัก (Work-based Learning) ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นเสมือนเจ้าหน้าที่หรือพนักงานปฏิบัติงานชั่วคราวในองค์กรผู้ใช้บัณฑิต ดังนั้น สหกิจศึกษาจึงมีความจำเป็นต่อสถานศึกษา เพื่อเตรียมความพร้อมของนิสิตนักศึกษาก่อนที่จะเข้าสู่การทำงานจริง และให้นิสิตนักศึกษามีคุณสมบัติตอบโจทย์ของตลาดแรงงานหรือตรงตามความต้องการขององค์กรผู้ใช้บัณฑิต รวมทั้งสามารถปรับความต้องการให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันที่เปลี่ยนแปลงไป [1] โดยปัจจุบันสหกิจศึกษามีความสำคัญและมีบทบาทมากขึ้นในสถาบันอุดมศึกษาของประเทศไทย จากผลการประเมินของสถาบันอุดมศึกษา และคณะกรรมการอุดมศึกษา พบว่าบัณฑิตที่ผ่านโครงการสหกิจศึกษาได้งานเร็วและมากกว่าบัณฑิตที่ไม่ได้ร่วมโครงการ ผู้ใช้บัณฑิตมีความพึงพอใจต่อคุณภาพบัณฑิตสหกิจศึกษาสูงกว่าบัณฑิตที่ไม่ได้เข้าร่วมโครงการ รวมถึงสถาบันอุดมศึกษาให้ความเห็นว่าผู้ที่ผ่านสหกิจจะเป็นผู้ที่มีวุฒิภาวะความรับผิดชอบและวินัยที่สูงขึ้น จะเห็นได้ว่าสถาบันอุดมศึกษาต่าง ๆ นำสหกิจศึกษามาเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษา โดยมีเป้าประสงค์ตรงกัน คือ การส่งเสริมคุณภาพบัณฑิตผ่านประสบการณ์การทำงานในสถานประกอบการ เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพบัณฑิตให้เป็นไปตามมาตราฐานวิชาการและวิชาชีพ รวมทั้งตรงกับความต้องการของตลาดแรงงาน ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญของการเตรียมบัณฑิตให้พร้อมที่จะเลือกอาชีพ และเข้าสู่ระบบการทำงานทันทีที่จบการศึกษา [2]

หนึ่งในแนวทางการดำเนินงานด้านสหกิจด้านการเตรียมความพร้อมนิสิตสหกิจศึกษาก่อนปฏิบัติงาน ถือว่าเป็นกระบวนการเตรียมความพร้อมระยะแรกที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยสามารถดำเนินการจัดการเตรียมความพร้อมได้ทั้งในรูปแบบของรายวิชาเตรียมความพร้อมสหกิจศึกษา การปฐมนิเทศ และรูปแบบโครงการเสริมทักษะวิชาชีพจากวิทยากรผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาของนิสิต รวมถึงวิทยากรจากสถานประกอบการหรือองค์กรผู้ใช้นิสิตมาให้ความรู้ในมุมมองของสถานประกอบการ นอกเหนือจากความรู้ด้านวิชาการที่เกี่ยวข้องกับสาขาแล้ว ยังต้องรวมถึงทักษะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ทักษะทางสังคมที่ใช้เพื่อปฏิสัมพันธ์กับผู้คน (Soft Skill) มารยาท หรือ การตรงต่อเวลา เป็นต้น [3] ซึ่งการจัดกิจกรรมอบรม หรือการดำเนินโครงการต่าง ๆ ที่มีลักษณะต่อเนื่อง หรือจัดประจำนั้น ขั้นตอนหนึ่งของการดำเนินการเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการตัดสินใจ วางแผน และปรับปรุงโครงการหรือกิจกรรมให้มีความเหมาะสม และสอดคล้องกับความต้องการของผู้เข้าร่วมหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องนั้น นั่นคือขั้นตอนของการประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมกิจกรรม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของตัวชี้วัดในเชิงคุณภาพ นอกเหนือจากการประเมินจากจำนวนผู้เข้าร่วมที่เป็นตัวชี้วัดในเชิงปริมาณ และประเด็นส่วนใหญ่ที่ถูกนำมาพิจารณาในการประเมินการจัดกิจกรรมโครงการจากงานวิจัยด้านการศึกษาความพอใจนั้นส่วนใหญ่จะเป็นประเด็นในเรื่อง หัวข้อในการอบรม สถานที่ วิทยากรหรือผู้ให้ความรู้ ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรม เป็นต้น ผลที่ได้จากการประเมินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของค่าคะแนนเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยสามารถแบ่งผลการประเมินความพึงพอใจออกมา 5 ระดับ ได้แก่ ความพึงพอใจมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ซึ่งผลจากการประเมินดังกล่าวสามารถนำข้อมูลไปใช้ประกอบการตัดสินใจวางแผน ปรับปรุง และแก้ไขการดำเนินกิจกรรมโครงการครั้งถัดไป ในประเด็นที่มีระดับของการประเมินในระดับต่ำได้ [4, 5, 6]

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ได้ตระหนักถึงความสำคัญของสหกิจศึกษา จึงได้จัดโครงการสหกิจศึกษาของคณะฯ ขึ้น โดยมีจุดมุ่งหมายให้นิสิตเข้าสู่การทำงานอย่างเป็นรูปธรรมและตรงกับสาขาวิชาที่ได้เรียนมา เปิดโอกาสให้นิสิตได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ด้านการประกอบอาชีพและการทำงานร่วมกับสถานประกอบการ รวมทั้งได้รับการจ้างงานในอนาคต ในขั้นตอนกระบวนการการเตรียมความพร้อมก่อนให้นิสิตเข้าสู่การปฏิบัติสหกิจศึกษาในสถานประกอบการนั้น คณะฯ ได้มีการจัดทำโครงการปฐมนิเทศและอบรมเตรียมความพร้อมการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาให้กับนิสิต เพื่อเป็นการสร้างระบบและกลไกในการควบคุม ตรวจสอบและประเมินการดำเนินงานสหกิจศึกษาให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด [7] เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล ข้อเสนอแนะ ที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงการดำเนินงานในปีถัดไป ผู้ศึกษาจึงมีความสนใจทำการประเมินความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการเข้าร่วมอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา ทั้งในรูปแบบโครงการอบรม 4 ด้าน ได้แก่ ด้านหัวข้ออบรม ด้านการนำไปใช้ในการทำงาน ด้านวิทยากรและด้านเวลาที่ใช้ในการอบรม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการจัดอบรมและเตรียมความพร้อมของนิสิตที่เข้าร่วมสหกิจศึกษาให้มีความเหมาะสม และเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดด้านสหกิจศึกษาของคณะต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

วิธีการศึกษา

วิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามแบบวิจัยตัดขวาง (Cross sectional studies)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1) ประชากร ในการศึกษาครั้งนี้คือ นิสิตที่เข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา ประจำปี 2565 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 35 คน

2) กลุ่มตัวอย่าง ในการศึกษาครั้งนี้ คือ นิสิตที่เข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา ประจำปี 2565 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 35 คน โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา 4 ด้าน ได้แก่ ด้านหัวข้ออบรม ด้านการนำไปใช้ในการทำงาน ด้านวิทยากร และ ด้านเวลาที่ใช้ในการอบรม

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้ศึกษาได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการใช้แบบสอบถาม โดยการนำแบบสอบถามไปสอบถามกลุ่มตัวอย่างนิสิตที่เข้าร่วมโครงการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา 4 หัวข้อ ได้แก่ 1) กล้าคิด กล้าแสดงออก การสร้างความสัมพันธ์กับสังคมในการทำงาน 2) การทำงานร่วมกันเป็นทีม 3) การพัฒนาบุคลิกภาพเพื่อการทำงาน และ 4) การสื่อสารและการประสานงานที่มีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินความพึงพอใจจะวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก คาเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยมีเกณฑในการแปลความหมายคาคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจตามแนวคิดของเบสท์ อ้างใน อุม่าและคณะ [8] ดังนี้

คาคะแนนเฉลี่ย 4.50–5.00 เทากับ มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด

คาคะแนนเฉลี่ย 3.50–4.49 เทากับ มีความพึงพอใจระดับมาก

คาคะแนนเฉลี่ย 2.50–3.49 เทากับ มีความพึงพอใจระดับปานกลาง

คาคะแนนเฉลี่ย 1.50–2.49 เทากับ มีความพึงพอใจระดับนอย

คาคะแนนเฉลี่ย 1.00–1.49 เทากับ มีความพึงพอใจระดับนอยที่สุด

ผลการศึกษา

จากการสอบถามความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ในช่วงปี พ.ศ. 2562 – พ.ศ. 2564 จำนวน 35 คน ผู้วิจัยได้ศึกษา 4 หัวข้อ ดังนี้ 1) กล้าคิด กล้าแสดงออก การสร้างความสัมพันธ์กับสังคมในการทำงาน 2) การทำงานร่วมกันเป็นทีม 3) การพัฒนาบุคลิกภาพเพื่อการทำงาน และ 4) การสื่อสารและการประสานงานที่มีประสิทธิภาพ อบรม ด้านการนำไปใช้ในการทำงาน ด้านวิทยากร และ ด้านเวลาที่ใช้ในการอบรม โดยมีผลการศึกษาแสดงไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างนิสิตที่มีต่อโครงการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา

ความพึงพอใจรายด้าน	หัวข้ออบรม									
	กล้าคิด กล้าแสดงออก การสร้างความสัมพันธ์กับสังคมในการทำงาน		การทำงานร่วมกันเป็นทีม		การพัฒนาบุคลิกภาพเพื่อการทำงาน		การสื่อสารและการประสานงานที่มีประสิทธิภาพ		รวม	
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
ด้านหัวข้ออบรม	4.17 (มาก)	0.57	3.97 (มาก)	0.66	4.26 (มาก)	0.61	4.17 (มาก)	0.71	**4.14 (มาก)**	**0.64**
ด้านการนำไปใช้ในการทำงาน	4.2 (มาก)	0.63	4.14 (มาก)	0.73	4.17 (มาก)	0.66	4.14 (มาก)	0.73	**4.16 (มาก)**	**0.69**
ด้านวิทยากร	4.34 (มาก)	0.48	4.14 (มาก)	0.55	4.34 (มาก)	0.68	4.29 (มาก)	0.71	**4.27 (มาก)**	**0.61**
ด้านเวลาที่ใช้ในการอบรม	4.00 (มาก)	0.64	3.94 (มาก)	0.73	3.97 (มาก)	0.66	3.91 (มาก)	0.74	**3.95 (มาก)**	**0.69**
รวม	**4.17 (มาก)**	**0.58**	**4.04 (มาก)**	**0.67**	**4.18 (มาก)**	**0.65**	**4.12 (มาก)**	**0.72**	4.13 (มาก)	0.66

ตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างนิสิตที่มีต่อโครงการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา พบว่า นิสิตมีความพึงพอใจในภาพรวมต่อโครงการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษาในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.13, S.D. = 0.66) ซึ่งนิสิตมีระดับความพึงพอใจที่มีต่อหัวข้ออบรมทั้ง 4 หัวข้อ อยู่ในระดับมากทุกหัวข้อ โดยหัวข้อการอบรมที่นิสิตมีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจสูงสุด ได้แก่ หัวข้อการพัฒนาบุคลิกภาพเพื่อการทำงาน ($\bar{x}$ = 4.18, S.D. = 0.65) รองลงมาได้แก่ หัวข้อกล้าคิด กล้าแสดงออก การสร้างความสัมพันธ์กับสังคมในการทำงาน ($\bar{x}$ = 4.17, S.D. = 0.58) ส่วนหัวข้อการทำงานเป็นทีม จะเป็นหัวข้อการอบรมที่นิสิตมีค่าคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจน้อยที่สุด ($\bar{x}$ = 4.04, S.D. = 0.67) ถ้าพิจารณาความพึงพอใจของนิสิตรายด้าน พบว่า นิสิตมีความพึงพอใจด้านหัวข้ออบรม ด้านการนำไปใช้ในการทำงาน ด้านวิทยากร และด้านเวลาที่ใช้ในการอบรม อยู่ในระดับมากทั้ง 4 ด้าน โดยมีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจด้านความรู้ความสามารถของวิทยากรมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.27, S.D. = 0.61) รองลงมาได้แก่ ด้านการนำไปใช้ในการทำงาน ($\bar{x}$ = 4.16, S.D. = 0.69) ส่วนด้านเวลาที่ใช้ในการอบรมมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจน้อยที่สุด ($\bar{x}$ = 3.95, S.D. = 0.69)

วิจารณ์และสรุปผล

จากผลการประเมินความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ที่พบว่า นิสิตสหกิจศึกษามีความพึงพอใจต่อการอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษาอยู่ในระดับมากแทบทุกด้านทั้งด้านหัวข้อที่ใช้ในการจัดอบรม รวมถึงด้านการนำความรู้ไปใช้ในการทำงานที่ได้จากการถ่ายทอดจากผู้สอน/วิทยากร รวมทั้งช่วงเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมอบรม สอดคล้องกับงานวิจัย ที่ศึกษาด้านความคาดหวัง และ ความพึงพอใจของนิสิตนักศึกษา ที่มีต่อการเข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษาที่มหาวิทยาลัยจัดขึ้น ที่พบว่า นิสิตสหกิจศึกษามีความพึงพอใจในการเข้าร่วมโครงการสหกิจในทุกด้าน ทุกระยะตั้งแต่ระยะปฏิบัติงาน ระหว่างปฏิบัติงาน และภายหลังปฏิบัติงาน [9, 10]

การจัดอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ในช่วงปี พ.ศ. 2562 – พ.ศ. 2564 เนื่องจากอยู่ในช่วงสถานการณ์แพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ส่งผลกระทบเป็นวงกว้างไปทั่วโลกและประเทศไทย จึงทำให้เกิดผลกระทบกับการจัดการเรียนการสอนของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ดังนั้น การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างสถานการณ์แพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จึงเลือกใช้รูปแบบการจัดการเรียนการสอนและการจัดกิจกรรมต่าง ๆ ในรูปแบบออนไลน์ (Online) ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดในสถานการณ์ดังกล่าว ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการจัดอบรมในรูปแบบออนไลน์จะไม่สามารถเทียบเท่ากับการจัดอบรมในรูปแบบในชั้นเรียน (On site) แต่ด้วยความจำเป็นในการพัฒนาการศึกษาต่อไปนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องจัดการอบรมในรูปแบบออนไลน์ ในการนี้จึงมีข้อเสนอแนะจากการนิสิตที่เข้าร่วมอบรมเตรียมความพร้อมก่อนสหกิจศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ให้เป็นการจัดรูปแบบในชั้นเรียน (On site)

กิตติกรรมประกาศ

งานศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปี 2563

เอกสารอ้างอิง

1. ปรีชา พินชุนศรี. (2558). ระบบการจัดการสหกิจศึกษาในสถาบันอุดมศึกษา. วารสารมหาวิทยาลัยคริสเตียน, ปีที่ 11 ฉบับที่ 1, หน้า 12–21.
2. สมาคมสหกิจศึกษาไทย. (2552). ประมวลสาระชุดฝึกอบรม สหกิจศึกษา (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สมาคมสหกิจศึกษาไทย
3. กชพร เมฆานิมิตดี. (2564). การศึกษาการดำเนินงานสหกิจศึกษาของคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยปทุมธานี. ปีที่ 13 ฉบับที่ 2, 125–139.
4. รัชนีพร นาพุทธา. (2549). ความพึงพอใจต่อการฝึกอบรมและประสิทธิภาพของการฝึกอบรม บริษัท ปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด : กรณีศึกษา บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ท่าหลวง) จำกัด. (ปริญญานิพนธ์ เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
5. สมัคร ภูมิเขต. (2551). ความพึงพอใจของนิสิตระดับปริญญาตรีที่มีตอการเขาร่วมกิจกรรมตามหลักสูตรการศึกษาของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
6. ธนภณ นิธิเชาวกุล และ กีรติกร พุฒิวิญญ. (2558). ความพึงพอใจของนิสิต คณะการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา ต่อการศึกษาดูงานรายวิชา การจัดการผลิตและการดำเนินงาน. (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยบูรพา.
7. มหาวิทยาลัยพะเยา. (2563). คู่มือสหกิจศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา. พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.
8. Umar, Noer JS, Abdul HY, Nasmilah. (2020). Adult EFL Learning in Digital Era. ELS Journal on Interdisciplinary Studies on Humanities, 3(3), 344–351.
9. ย่าร่อนะ ศรีอาหมัด, มณีรัตน์ รัตนพันธ์, ดรุณี มูเก็ม. (2556). ความคาดหวังและความพึงพอใจของนักศึกษาสหกิจศึกษาที่มีต่อตนเอง อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา และสถานประกอบการ. ในการประชุมหาดใหญ่วิชาการครั้งที่ 4 วันที่ 10 พฤษภาคม 2556. หาดใหญ่: สงขลา.
10. ศิริพร สว่างอารีย์รักษ์, รัชดา สุวรรณเกิด, ปานแก้วตา ลัคนาวานิช, อลิศรา สระโมฬี, ประภาดา ศรีสุวรรณ, วชรวรรษ พรหมมา, สมนึก เอื้อจิระพงษ์พันธ์. (2562). ความคาดหวัง ความพึงพอใจ และการประเมินความต้องการจำเป็นในการสหกิจศึกษาของนักศึกษาและบัณฑิตหลักสูตรบัญชี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. วารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. ปีที่ 8 ฉบับที่ 2, 96–111.

วิทยาศาสตร์สุขภาพ

(Oral Presentation)

การออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อความปลอดภัยในการทำงานของแรงงานข้ามชาติในโรงงานอุตสาหกรรมของจังหวัดเชียงราย

Application design for safety of migrant worker in Chiang Rai Factory

วริยา โชคราช[1], เบญญาภา ทองแดง[1], เฉลิมพันธ์ แก้วกันทะ[1*], สหรัตถ์ อารีราษฎร์[1], ณิชารัศม์ ปัญจโพธิวัฒน์[1] และ ศิริวรรณ กันติสินธุ์[1]

Wariya Chokarad[1], Benyapha Thongdang[1], Chaloemphan Kaewkanta[1*], Saharat Arreeras[1], Nicharuch Panjaphothiwat[1] and Siriwan Kantisin[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันที่เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรม และใช้เป็นแนวทางการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุให้กับพนักงานในโรงงาน โดยยึดหลักการออกแบบเพื่อมวลชน (Universal Design) และ ADDIE model ผลการศึกษาพบว่า 1) การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน มีความเหมาะสมและสามารถเข้าใจได้ง่ายให้กับโรงงาน 2) การประเมินความรู้ความเข้าใจของพนักงานหลังจากใช้งานมากกว่าร้อยละ 80 มีความเข้าใจในแอปพลิเคชันมากที่สุด (Mean = 4.63, SD = 0.800) ในด้านของเนื้อหาและรายละเอียดที่เข้าใจได้ง่าย และเมื่อมีเหตุฉุกเฉินพนักงานสามารถปฏิบัติตัวตามคำแนะนำในแอปพลิเคชัน โดยไปถึงยังจุดรวมพลได้ ในขณะเดียวกันการศึกษานี้ยังมีการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการเกี่ยวกับความปลอดภัยและการให้สวัสดิการในการรักษาพยาบาลของพนักงานอีกช่องทางหนึ่ง และยังเป็นข้อมูลให้สถานประกอบการนำไปใช้ในการจัดการให้กับพนักงานในโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในบริบทที่ใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: การออกแบบแอปพลิเคชัน, ความปลอดภัย, แรงงานข้ามชาติ

[1] สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย, สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย 57100

[1] Department of Occupational Health and Safety, School of Health Science, Mae Fah Luang University, Mueang Chiang Rai, 57100

* Corresponding author: chaloemphan.kae@mfu.ac.th

Abstract

This research objective was to design and create a safety at work application that effectively mitigates the risks of fire incidents and accidents. The application was applied on the principles of universal design and the ADDIE instructional design approach. The findings indicate that the created application is deemed suitable for implementation within the industry. The application has been found to significantly enhance employees' knowledge by more than 80 percent (mean = 4.63, SD = 0.800). This knowledge mostly pertains to emergency preparedness and response, specifically focusing on procedures for handling such situations and ensuring that all individuals may safely gather at the assembly point. In addition, this study also assesses the economic value of utilizing it as a source of information for management pertaining to the safety and medical well-being of employees as an alternative avenue. This information may also be utilized by enterprises to successfully manage employees inside the industries settings, in a comparable context.

Keywords: Application design, Safety, Migrant worker

บทนำ

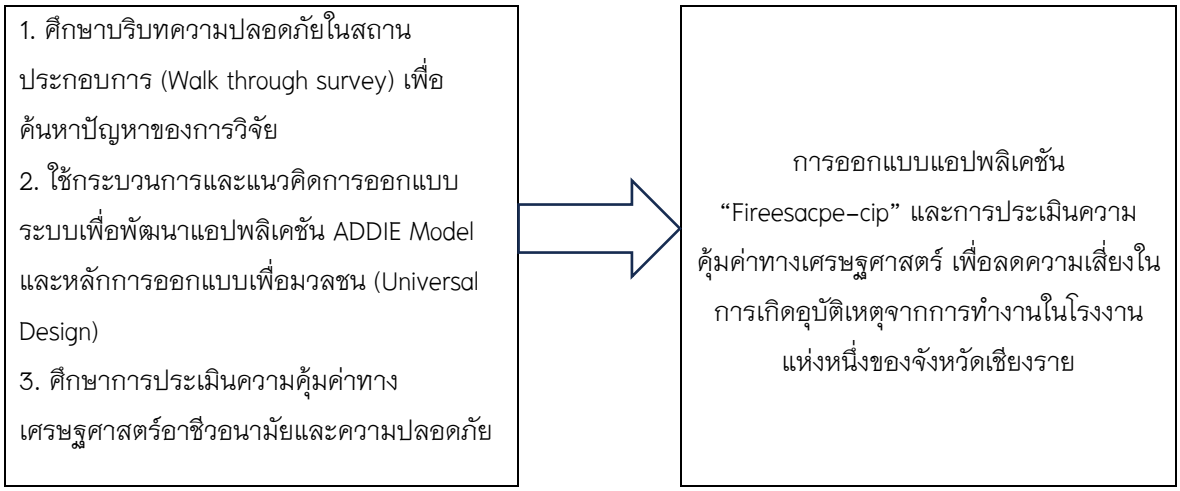
เพลิงไหม้ เป็นอันตรายที่คุกคามชีวิตของพนักงานในโรงงานทั้งในและต่างประเทศ โดยส่งผลกระทบอย่างมากทั้งด้านร่างกายและจิต นอกจากนี้แล้วยังเป็นสาเหตุของความรุนแรงและเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน (กิจจา จิตรภิรมย์, 2557) รวมถึงมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจในหลายประเทศ รวมถึงประเทศไทยด้วย ดังนั้นประเทศไทยจึงได้มีการออกกฎกระทรวงเรื่อง กำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2556 เพื่อป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการให้เป็นไปตามมาตรฐานและกฎระเบียบที่กำหนดเพื่อไม้ให้เกิดอุบัติเหตุจากเพลิงไหม้ในสถานประกอบการ (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2556)

งานภาคอุตสาหกรรมของไทย เช่น กิจการงานก่อสร้าง การผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม มีการใช้แรงงานมาก สถิติที่คนงานต้องประสบอุบัติเหตุการณ์บาดเจ็บ การตายจากการประกอบอาชีพมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นทุกปี โดยเฉพาะการเกิดเพลิงไหม้และอุบัติเหตุอันทำให้เสียหายในชีวิตและทรัพย์สิน ในช่วงปี 2565 ที่ผ่านมาพบว่า ประเทศไทยเกิดอบุติเหตุเพลิงไหม้ในโรงงานมากถึง 92 ครั้ง ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนกว่า 82% ของเหตุการณ์ทั้งหมด จึงต้องให้ความสำคัญในการให้ความระมัดระวังและระมัดระวังเพื่อป้องกันอุบัติเหตุไฟไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่หลายแห่ง โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ความร้อนสูงหรือใช้ก๊าซโปรแปนท์เหลวที่เป็นเชื้อเพลิงในปริมาณมาก เนื่องจากลักษณะงานที่ซับซ้อน มีความเสี่ยงมาก การทำงานในที่สูง เจ้าของกิจการต้องการมุ่งแต่ผลผลิตจนกระทั่งขาดความสนใจในงานด้านความปลอดภัย จากการที่คนทำงานต้องพยายามปรับตัวให้ทันกับเทคโนโลยีใหม่ตลอดเวลานั้นจะเกิดปัญหาทางด้านจิตใจ เกิดความเครียดมีผลต่อการทำงานตามมาประสิทธิภาพการทำงานลดลงเกิดอุบัติและการบาดเจ็บมากขึ้น ในการทำงานถ้าระบบการทำงานไม่ดีพอจะเกิดความไม่ปลอดภัย ก่อให้เกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บจากการทำงานรัฐบาลโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบของรัฐจากกระทรวงต่าง ๆ และฝ่ายจัดการของภาคเอกชนได้ให้ความสำคัญของงานด้านการป้องกันอุบัติเหตุและการบาดเจ็บมากยิ่งขึ้น รัฐได้ออกกฎหมายด้านความปลอดภัยในการทำงานเข้าควบคุมกิจการต่าง ๆ หลายฉบับทำให้เจ้าของกิจการต้องปฏิบัติตาม ทำให้งานความปลอดภัยเริ่มก้าวหน้าไปในทางที่ดี (วิทยา อยู่สุข, 2552)

จังหวัดเชียงราย เป็นพื้นที่การค้าและการลงทุนของนักลงทุนจากต่างประเทศ จึงทำให้เกิดการตั้งโรงงานอุตาหกรรมขึ้น ซึ่งจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่จังหวัดเชียรายโดยส่วนใหญ่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมทางด้านอาหาร ประกอบกับการรับเข้ามาของแรงงานข้ามชาติที่มีอัตราการเข้ามาทำงานในประเทศไทย และจังหวัดเชียงรายสูงพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดเชียงราย จึงมีพนักงานที่เป็นแรงงานข้ามชาติอยู่ค่อนข้างมาก แรงงานข้ามชาติเหล่านี้เมื่อเข้ามาทำงานแล้วปัญหาที่พบส่วนใหญ่ของแรงงานข้ามชาติ คือเรื่องของภาษา อันจะนำไปสู่การไม่เข้าใจและไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบด้านความปลอดภัย จึงมีโอกาสทำให้แรงงานดังกล่าวได้รับอันตราย ดังนั้นการออกแบบเครื่องมือจะช่วยให้แรงงานข้ามชาติเข้าใจและตระหนักถึงเรื่องความปลอดภัยได้ หนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารนั่นคือ โรงงานที่ผลิตกระเทียมแห้งและสด ทำการแปรรูปเพื่อส่งออกไปยังอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงงานผลิตบะหมี่สำเร็จรูป โรงงานผลิตซอส กระเทียม ฯลฯ ในกระบวนการผลิตกระเทียมสดและกระเทียมแห้ง มีการใช้ความร้อนที่สูง ประกอบกับการใช้ก๊าซโปรแปนท์เหลวในปริมาณมาก อีกทั้งยังมีการวางก๊าซโปรแปนท์เหลวไว้ในจุดต่าง ๆ ของโรงงาน ทำให้มีความเสี่ยงจากไฟไหม้ได้ง่าย จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้ศึกษา จึงมีแนวคิดที่เชื่อว่าการออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันความปลอดภัยที่เหมาะสมจะช่วยลดอุบัติเหตุจากเพลิงไหม้ลดลง และช่วยให้พนักงานรวมถึงผู้ประกอบการโรงงานได้มีแนวทางที่เหมาะสมเพื่อนำไปปฏิบัติให้กับพนักงานในโรงงานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการออกแบบแอปพลิเคชันความปลอดภัยที่เหมาะสมกับแรงงานข้ามชาติที่เข้ามาปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งของจังหวัดเชียงราย โดยอาศัยหลักการออกแบบเพื่อมวลชน (Universal Design) และแนวคิดการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ADDIE Model (Seels, B. & Glasgow, Z., 1998) ซึ่งคำนึงถึงความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการของแรงงานข้ามชาติ ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุเพลิงไหม้ในโรงงาน ดังกรอบแนวคิดและขั้นตอนต่อไปนี้



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1: คณะผู้ศึกษาได้ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแอปพลิเคชันบน Webpage และทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้ได้เครื่องมือในการออกแบบที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2: ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันโดยอาศัยหลักการออกแบบเพื่อมวลชน (Universal Design) และแนวคิดการวิเคราะห์และออกแบบ ADDIE Model โดยคำนึงถึงความสามารถตอบสนองต่อความต้องการของแรงงานข้ามชาติ ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุในโรงงาน ซึ่งเนื้อหาและโครงสร้างของแอปพลิเคชันครอบคลุมวิธีการในการจัดการและระงับอัคคีภัยในโรงงาน

ขั้นตอนที่ 3 นำแอปพลิเคชันที่ได้ทำการออกแบบมาทำการทดสอบ โดยการประเมินความเข้าใจของแรงงานข้ามชาติ โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจ ซึ่งแบ่งเป็น 5 ระดับ ตาม Likert's scale ดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2560)

ระดับ 5 ระดับความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจมากที่สุด
ระดับ 4 ระดับความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจมาก
ระดับ 3 ระดับความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจปานกลาง
ระดับ 2 ระดับความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจน้อย
ระดับ 1 ระดับความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจน้อยที่สุด

กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนวัดระดับความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจ การแปลผลของช่วงคะแนนค่าเฉลี่ย 5 ระดับ ดังนี้

4.50–5.00 หมายถึง พึงพอใจระดับมากที่สุด
3.50–4.49 หมายถึง พึงพอใจระดับมาก
2.50–3.49 หมายถึง พึงพอใจระดับปานกลาง
1.50–2.49 หมายถึง พึงพอใจระดับน้อย
1.00–1.49 หมายถึง พึงพอใจระดับน้อยที่สุด

โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจในการใช้แอปพลิเคชัน Fireesacpe-cip

ขั้นตอนที่ 4 ผู้วิจัยได้ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อาชีวอนามัยและความปลอดภัย เพื่อให้โครงการวิจัยเกิดความคุ้มค่าและเป็นแนวทางในการบริหารจัดการค่าใช้จ่ายและความคุ้มทุนให้กับโรงงานอุตสาหกรรม

ขั้นตอนที่ 5 จัดทำรายงานผลการดำเนินงานและติดตั้งการใช้แอปพลิเคชัน Fireesacpe-cip

ผลการศึกษา

ผลจากการพัฒนาและออกแบบแอปพลิเคชัน แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่

1. การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน Fireesacpe-cip บน Webpage

การพัฒนาและออกแบบแอปพลิเคชัน Fireesacpe-cip 2 ภาษา เพื่อช่วยให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน ใช้ในการสื่อสารให้กับแรงงานข้ามชาติที่ปฏิบัติงานอยู่ในโรงงาน ให้มีความรู้ความเข้าใจ และปฏิบัติตัวให้มีความปลอดภัยในการทำงาน โดยอาศัยการออกแบบตามโมเดล ADDIE Model กล่าวคือ การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น จนเกิดเป็นการสร้างและออกแบบโครงสร้างและเนื้อหาในแอปพลิเคชันที่เหมาะสมกับบริบทของโรงงาน หลังจากนั้นมีการพัฒนา นำไปใช้ และมีการวัดและประเมินผลความพึงพอใจของเครื่องมือ ดังนี้



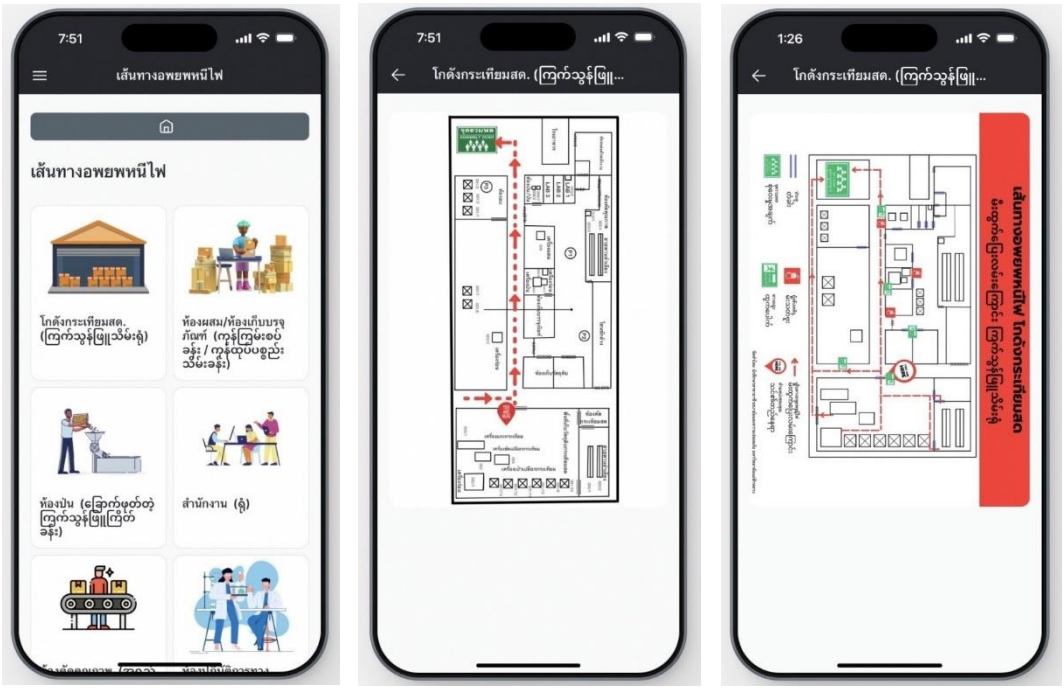
รูปที่ 2 Fireesacpe-cip

การออกแบบหน้าหลักของแอปพลิเคชัน 2 ภาษาได้แก่ ภาษาไทย และภาษาพม่า



รูปที่ 3 หน้าหลักของแอปพลิเคชัน Fireesacpe-cip

เมื่อทำการออกแบบตามหลักแล้ว ได้แอปพลิเคชันที่มีองค์ประกอบสำคัญเพื่อช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากเพลิงไหม้ของพนักงานในโรงงาน ประกอบด้วย เส้นทางหนีไฟ วิธีการใช้ถังดับเพลิง ชนิดของเชื้อเพลิง คำแนะนำสำหรับการใช้ถังดับเพลิงในแผนกต่าง ๆ



รูปที่ 4 เส้นทางอพยพหนีไฟในแอปพลิเคชัน



รูปที่ 5 ขั้นตอนวิธีการใช้ถังดับเพลิง 2 ภาษา



รูปที่ 6 ชนิดของเชื้อเพลิงและการใช้ถังดับเพลิงให้ตรงกับประเภทของเพลิงไหม้

จากกระบวนการออกแบบทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการสร้างแอปพลิเคชัน ได้ดำเนินการตามโมเดล ADDIE เพื่อให้ได้มาซึ่งแอปพลิเคชันที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการ สามาถสื่อความหมายและทำให้พนักงานสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น

2. ผลการประเมินความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแอปพลิเคชันป้องกันเพลิงไหม้ของพนักงานในโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

ตารางที่ 1 ระดับความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจในการใช้แอปพลิเคชันของพนักงานในโรงงาน

คำถามในการประเมินความเข้าใจ	Mean	S.D.	ระดับความเข้าใจ
1. ป้ายแผนผังภายในอาคาร ป้ายเส้นทางอพยพหนีไฟและป้ายทางออก ติดตั้งในบริเวณที่สังเกตได้ง่าย	5.00	0.00	มากที่สุด
2. ท่านเข้าใจรายละเอียด เนื้อหา หรือข้อความ ภายในป้ายแผนผังภายในอาคาร ป้ายเส้นทางอพยพหนีไฟและป้ายทางออก	4.50	1.225	มากที่สุด
3. ท่านเข้าใจสัญลักษณ์ภายในป้ายแผนผังภายในอาคาร ป้ายเส้นทางอพยพหนีไฟและป้ายทางออก	5.00	0.00	มากที่สุด
4. ท่านคิดว่าเมนูป้ายแผนผัง ป้ายเส้นทางอพยพหนีไฟและป้ายทางออก ที่ติดตั้งให้กับสถานประกอบการ มีประโยชน์ต่อตัวผู้ปฏิบัติงาน	4.00	1.096	มาก

คำถามในการประเมินความเข้าใจ	Mean	S.D.	ระดับความเข้าใจ
5. หากเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นจริง ท่านคิดว่าจะสามารถอพยพไปยังจุดรวมพล ตามป้ายแผนผังภายในอาคาร ป้ายเส้นทางอพยพหนีไฟและป้ายทางออกได้	4.67	0.817	มากที่สุด
6. แอปพลิเคชัน มีเนื้อหา และรายละเอียดที่เข้าใจได้ง่าย	4.98	0.877	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	**4.63**	**0.800**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 เมื่อนำแอปพลิเคชันไปใช้ทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างได้แก่พนักงานที่เป็นแรงงานข้ามชาติในโรงงานแล้ว พบว่า มีพนักงานให้การตอบแบบสอบถามความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแอปพลิเคชัน จำนวน 6 คน แบ่งเป็นเพศชาย 3 คน (ร้อยละ 50) และเพศหญิง 3 คน (ร้อยละ 50) โดยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในแอปพลิเคชันอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.63, SD = 0.800) และเมื่อพิจารณารายข้อ พนักงานมีความพึงพอใจและความรู้ความเข้าในในเรื่องของการอ่านและติดตั้งป้ายในบริเวณที่สังเกตได้ รวมถึงสามารถเข้าใจในสัญลักษณ์และเครื่องหมายของเส้นทางอพยพหนีไฟอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 5.00, SD = 0.000) รองลงมาได้แก่ พนักงานมีความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแอปพลิเคชันโดยเนื้อหามีความละเอียด สามารถเข้าใจได้ง่าย อยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.67, SD = 0.817)

3. การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ผลจากการประเมินความค้าค่า โดยคิดอัตราการรักษาพยาบาล และอัตราการเจ็บป่วยที่เกิดขึ้น จากการได้รับอุบัติเหตุถ้าหากพนักงานที่เป็นแรงงานข้ามชาติได้รับอันตราย ดังนี้

ตารางที่ 2 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

Fire Accident	Medical expenses	Cost at the factory payable to employees
Minor injury	1,000–2,000 baht per person	Total number of employees 49*2,000 = 98,000 baht
Severe injury	4,000–12,000 baht per person	Total number of employees 49*12,000 = 588,000 baht
Take a break to heal	Compensation 70 percent of wages 233 baht per person per day	Total number of employees 49*233 = 11,417 baht per day
Death	Funeral cost 50,000 baht per person	Total number of employees 49*50,000 = 2,450,000 baht

จากตารางที่ 2 สรุปได้ว่าเมื่อพนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงาน จะทำให้มีโอกาสในการสูญเสียเวลา และทรัพย์สินของพนักงาน รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการเข้ารับการรักษาพยาบาลและอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และค่าจ้างงานที่ต้องจ่ายให้กับพนักงานที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติเหตุดังกล่าว แบ่งได้เป็น 4 กรณี ได้แก่ ในกรณีบาดเจ็บเล็กน้อย ค่ารักษาพยาบาลมีค่าประมาณ 1,000–2,000 บาทต่อคน และมีจำนวนพนักงานทั้งหมด 49 คน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทางการแพทย์รวมทั้งหมดจะเป็น 98,000 บาท สำหรับกรณีบาดเจ็บรุนแรง ค่ารักษาพยาบาลมีค่าระหว่าง 4,000–12,000 บาทต่อคน และมีจำนวนพนักงานทั้งหมด 49 คน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทางการแพทย์รวมทั้งหมดจะเป็น 588,000 บาท กรณีต้องลาพักการทำงานเพื่อรักษา มีการจ่ายค่าชดเชย 70 เปอร์เซ็นต์ของค่าจ้างงานต่อวัน โดยมีจำนวนวันลาทั้งหมด 49 คน ดังนั้น ค่าชดเชยรวมทั้งหมดจะเป็น 11,417 บาทต่อวัน ในกรณีเสียชีวิตมีค่าจัดงานศพที่ต้องจ่าย 50,000 บาทต่อคน และมีจำนวนพนักงานทั้งหมด 49 คน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะเป็น 2,450,000 บาท ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมีความสำคัญในการตัดสินใจและวางแผนการจัดการทรัพยากรในอนาคตที่มีความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุทางไฟ

อภิปรายและสรุปผล

ผลการศึกษาในครั้งนี้เป็นการออกแบบแอปพลิเคชันที่เหมาะสมกับการใช้งานในการเกิดเพลิงไหม้ให้กับแรงงานข้ามชาติที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย โดยการคำนึงถึงหลักความปลอดภัยและการออกแบบเพื่อมวลชน เชื่อมโยงกับประโยชน์ทั้งการลดความสูญเสียและเสียหายในชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งทำให้การพนักงานในโรงงานมีความพึงพอใจต่อการใช้แอปพลิเคชันในการป้องกันอุบัติเหตุเพลิงไหม้มากที่สุด และในขณะเดียวกันเมื่อพนักงานมีความพึงพอใจและความรู้ความเข้าใจในการป้องกันตนเองจากเหตุการอุบัติเหตุ จะสามารถลดความสูญเสียและเสียหายในชีวิตและทรัพย์สินได้ ในส่วนของเนื้อหาของแอปพลิเคชันมีความทันสมัยเข้าถึงได้ง่าย รวมถึงมีเนื้อหาที่ง่ายต่อการเข้าใจ ซึ่งสอดคล้องกับ Jozan, B. et al, (2023) ที่ได้ทำการประเมินผลกระทบของการฝึกออนไลน์ในด้านความปลอดภัยและสุขภาพที่เกี่ยวกับการทำงาน: การทบทวนวรรณกรรม พบว่าการฝึกออนไลน์สามารถปรับปรุงความปลอดภัยและสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับการทำงานได้อย่างมีนัยสำคัญ สามารถเพิ่มความรู้และความพึงพอใจได้อย่างมี ทำให้มีพนักงานมีความรู้ความเข้าใจสามารถลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บในที่ทำงาน (Jozan et al, 2023) ในขณะที่งานวิจัยของ Ismail et al. (2018) ทำการศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันมือถือเพื่อเพิ่มความรู้ ทัศนคติ และการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและสุขภาพของนักศึกษาในมหาวิทยาลัย พบว่า แอปพลิเคชันมือถือสามารถเพิ่มคะแนนความรู้ ทัศนคติ และการปฏิบัติอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้นแล้วผลการศึกษายังพบว่ามากกว่าร้อยละ 60 ของผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่าแอปมีความเข้าใจง่ายสะดวกในการเข้าถึง และมีเนื้อหาที่น่าสนใจ (Ismail et al, 2018) ในส่วนของการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถลดภาระและค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล รวมถึงการเสียเวลาในการรักษาตัว ซึ่งจะทำให้พนักงานแรงงานข้ามชาติขาดรายได้และเสียเวลาในการทำงาน และช่วยให้ผู้บริหารหรือผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าใจถึงผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์เพลิงไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรม ผลการวิจัยนี้จะถูกนำไปใช้ในการพัฒนานโยบายและมาตรการในการป้องกันเพื่อลดความเสี่ยงและสร้างสภาพทำงานที่ปลอดภัยมากยิ่งขึ้นในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงงานอุตสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์ในการลงพื้นที่ดำเนินงานวิจัยและเก็บข้อมูลตลอดโครงการวิจัย มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2556). **กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ.2556**. ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 130 ตอนที่ 2 ก, หน้า 25–30, 32 เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2566. จาก https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/A/002/24.PDF

กิจจา จิตรภิรมย์. (2557). ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอัคคีภัย. **ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์**, 14(1):1–17

บุญชม ศรีสะอาด. (2560). **การวิจัยเบื้องต้น** (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

สมมาศ เลิศลักษณ์อรรยา. (2559). ระบบป้องกันอัคคีภัยกับการจัดการด้านอัคคีภัย. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอิสเทิร์นเอเชีย,** 6(3), 351–358.

วิทยา อยู่สุข. (2552). **อาชีวอนามัยและความปลอดภัย.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

Barati Jozan, M.M., Ghorbani, B.D., Khalid, M.S. et al. (2023). Impact assessment of e–trainings in occupational safety and health: a literature review. **BMC Public Health** 23, 1187. https://doi.org/10.1186/s12889–023–16114–8

Ismail, S. N. S., Rangga, J. U., Rasdi, I., Rahman, U. R. A., & Samah, M. A. A. (2018). Mobile Apps Application to Improve Safety and Health Knowledge, Attitude and Practice among University Students. **Malaysian Journal of Medicine & Health Sciences**, 14.

Seels, B., & Glasgow, Z. (1998). **Making instructional design decisions** (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Merrill/Prentice Hall.

Xanthopoulos, G., Athanasiou, M., Nikiforaki, A., Kaoukis, K., Mantakas, G., Xanthopoulos, P., Papoutsakis, C., Christopoulou, A., Sofronas, S., Gletsos, M., & Varela, V. (2022). Innovative Action for Forest Fire Prevention in Kythira Island, Greece, **through Mobilization and Cooperation of the Population: Methodology and Challenges. Sustainability**, 14(2), 594. https://www.mdpi.com/2071–1050/14/2/594

การจำแนกสปีชีส์และลักษณะทางอณูชีววิทยาของ *Acinetobacter* spp. ที่ให้ผลยีน bla_{Oxa51} เป็นลบแยกจากโรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ ประเทศไทย

Species identification and molecular characterization of bla_{OXA-51} negative *Acinetobacter* spp. isolated from Chiangrai Prachanukroh hospital in Thailand

Sonam Jamtsho[1*], ศิรฐิกานต์ เตีย[1], ปัณภัทร์ รอทอง[1], อัญชลี ฐานวิสัย[1], กัญณิภา ทัศนภักดิ์[1], ธวัชชัย กิตติ[2], เฉลิมชัย บุญเลา[3] และ สุทธิรัตน์ สิทธิศักดิ์[1,4]

Sonam Jamtsho[1*], Sirathikarn Teoh[1], Punnaphat Rothong[1], Aunchalee Thanwisai[1], Kannipa Tasanapak[1], Thawatchai Kitti[2], Chalermchai Boonlao[3] and Sutthirat Sitthisak[1,4]

บทคัดย่อ

Acinetobacter spp. เป็นแบคทีเรียแกรมลบที่มีความหลากหลายและสามารถพบได้ทั่วไปในดิน น้ำ หรือในโรงพยาบาล โดยเชื้อกลุ่มนี้ทำให้เกิดการติดเชื้อในโรงพยาบาล (nosocomial infection) การศึกษาของเชื้อ *Acinetobacter* spp. ที่ก่อให้เกิดการติดเชื้อในโรงพยาบาลยังมีน้อยเมื่อเทียบกับการศึกษาของ *Acinetobacter baumannii* ดังนั้นในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการดื้อยาปฏิชีวนะ ตรวจหายีนดื้อยาและรูปแบบพลาสมิดของเชื้อ bla_{OXA-51} negative *Acinetobacter* spp. ที่แยกได้จากโรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ จังหวัดเชียงราย ประเทศไทย เมื่อปี พ.ศ. 2563 และ 2565 เชื้อ *Acinetobacter* spp. ที่แยกได้จาก 192 ตัวอย่าง พบ bla_{OXA-51} negative 22 ตัวอย่างจากการทำ Polymerase chain reaction เมื่อทำการระบุสายพันธ์ด้วย *rpo*B gene sequencing พบ *A. nosocomialis* (63.64%) และ *A. pittii* (22.73%) ซึ่งมีรูปแบบการดื้อยาปฏิชีวนะแบบ carbapenem-resistant (CR) *Acinetobacter* spp. และ multidrug-resistant (MDR) *Acinetobacter* spp. ที่ 68.18% และไม่พบรูปแบบการดื้อยาแบบ Extensively drug-resistant (XDR) โดยมีอัตราการดื้อยาต่อยาต่างๆดังต่อไปนี้ amikacin (9.09%), cefepime (59.09%), cefotaxime (9.09%), ceftazidime (22.73%), ceftriaxone (9.09%), ciprofloxacin (4.54%), doripenem (54.55%), gentamicin (68.18%), imipenem (45.45%), meropenem (72.73%), piperacillin-tazobactam (68.18%), tetracycline (4.54%), trimethoprim-sulfamethoxazole (54.55%) และ colistin (59.09%) การตรวจหายีนดื้อยาของเชื้อจากการทำ monoplex และ multiplex

[1] ภาควิชาชีววิทยาและปรสิตวิทยา มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[2] ภาควิชาแพทย์แผนจีน วิทยาลัยเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57000

[3] แผนกจุลชีววิทยาคลินิก โรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ จังหวัดเชียงราย 57000

[4] สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Department of Microbiology and Parasitology, Faculty of Medical Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

[2] Department of Oriental Medicine, ChiangRai College, Chiangrai, 57000

[3] Department of Clinical Microbiology, Chiangrai Prachanukroh Hospital, Chiang Rai

[4] Centre of Excellence in Medical Biotechnology, Faculty of Medical Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author: sonamj65@nu.ac.th

PCR พบ *bla*$_{OXA-23}$, *bla*$_{OXA-58}$, *bla*$_{ADC}$ และ *bla*$_{NDM}$ ร้อยละ 54.55, 50, 13.64 และ 4.55 ตามลำดับ และตรวจไม่พบ *bla*$_{OXA-24}$ และ *bla*$_{PER}$ นอกจากนี้ในการตรวจหาชนิดพลาสมิดจำนวน 19 กลุ่มจาก 22 ตัวอย่างด้วยการทำ PCR-based plasmid replicon typing พบ พลาสมิดกลุ่ม 12 มากที่สุดซึ่งพบร้อยละ 72.73 รองลงมาคือ พลาสมิดกลุ่ม 2 (22.73%) และ กลุ่ม 6 (13.64%) ตามลำดับ การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าเชื้อ *bla*$_{OXA-51}$ negative *Acinetobacter* spp. ที่มีรูปแบบการดื้อยาแบบ carbapenem-resistant และ multidrug-resistant จะพบพลาสมิดซึ่งเป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของยีนดื้อยาร่วมด้วย นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นถึงความชุกของ non-baumannii *Acinetobacter* spp. ที่พบในตัวอย่างส่งตรวจของผู้ป่วยที่ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของยีนดื้อยาต่อไป

คำสำคัญ: อะซิเนโตแบคเตอร์, *bla*$_{OXA-51}$, *rpoB*, beta-lactamases, รูปแบบพลาสมิด

Abstract

Acinetobacter spp. is a diverse group of Gram-negative bacteria which are ubiquitous in soil and water and hospital environment that causes nosocomial infections. The prevalence of non-*baumannii Acinetobacter* spp. in the clinical settings are less studied compared to *A. baumannii* in Thailand. The aim of this study is to identify *bla*$_{OXA-51}$ negative *Acinetobacter* spp., determine the antibiotic susceptibility patterns, detect drug resistance genes and characterize plasmid profiles from all the isolates. The isolates were collected from Chiangrai Prachanukroh hospital in two years (2020 & 2022). A total of 192 *Acinetobacter* spp. was collected, and 22 isolates were confirmed as *bla*$_{OXA-51}$ negative by Polymerase chain reaction. Species identifications were performed by *rpo*B gene sequencing. *A. nosocomialis* (63.64%) is the most identified species followed by *A. pittii* (22.73%). Our results also showed the prevalence rate of carbapenem-resistant (CR) and multidrug-resistant (MDR) *Acinetobacter* spp. at 68.18%. Extensively drug-resistant (XDR) isolates were not detected. Drug resistance rates for amikacin, cefepime, cefotaxime, ceftazidime, ceftriaxone, ciprofloxacin, doripenem, gentamicin, imipenem, meropenem, piperacillin-tazobactam, tetracycline, trimethoprim-sulfamethoxazole and colistin are 9.09%, 59.09%, 9.09%, 22.73%, 9.09%, 4.54%, 54.55%, 68.18%, 45.45%, 72.73%, 68.18%, 4.54%, 54.55% and 59.09% respectively. Beta-lactamase genes were investigated by monoplex and multiplex PCR. The prevalence rates of *bla*$_{OXA-23}$ and *bla*$_{OXA-58}$ genes were 54.55% and 50%. The *bla*$_{NDM}$ gene was detected in only one isolate (4.55%) while *bla*$_{ADC}$ gene was detected in three isolates (13.64%). However, *bla*$_{OXA-24}$ and *bla*$_{PER}$ gene were not detected in all the isolates. All the isolates were subjected to PCR-based plasmid replicon typing. We detected plasmid group Gr12(72.73%) the most, followed by Gr2 (22.73%) and Gr6(13.64%). Our data suggests that most of the isolates that are classified as CR and MDR carry plasmids that play an important role in dissemination of drug resistance genes. The data from our study indicates the prevalence of non-*baumannii Acinetobacter* spp. in clinical settings and needs stringent measures to control the spread of antibiotic resistant strains.

Keywords: *Acinetobacter*, *bla*$_{OXA-51}$, *rpo*B, beta-lactamases, plasmid profiles

INTRODUCTION

Acinetobacter spp. are Gram–negative coccobacilli that are widely distributed in environmental sources such as soil and water and found in the hospital environment (Khosravi et al., 2015). Due to their existence in the hospital environment, they are an important cause of nosocomial infections. *Acinetobacter* species are known to cause a variety of human illnesses, including pneumonia, which is frequently linked to endocarditis, meningitis, skin and wound infections, peritonitis in peritoneal dialysis patients, urinary tract infections (UTIs), and bacteremia (Gupta et al., 2015). Although there are more than a hundred species within the diverse *Acinetobacter* genus, the majority are non–pathogenic environmental organisms. The most common species to cause infections is *Acinetobacter baumannii* which accounts for 80 percent of total infections caused by the bacteria of *Acinetobacter* genus. However, clinical infections caused by non–*baumannii Acinetobacter* species are rapidly increasing and have become a growing concern worldwide. The non–*baumannii* species including *A. haemolyticus*, *A. johnsonii*, *A. junii*, *A. nosocomialis*, *A. pittii*, *A. schindleri*, and *A. ursingii, A. calcoaceticus* and *A. lwoffii* have been occasionally reported as pathogens (Wong et al., 2017). The *Acinetobacter* spp. have also evolved multiple resistance strategies, such as increased expression of efflux pumps, reduced permeability of porins and a diverse array of hydrolytic enzymes, resulting in resistance to carbapenems and other various antibiotics (Ayobami et al., 2020). *Acinetobacter* spp. are resistant to several antibiotics, including priority Watch group antibiotics (Mahto et al., 2021), such as cephalosporin and carbapenems. Resistance to other reserve drugs such as colistin (polymyxin E) is also developing at an alarming rate. Carbapenems are drugs used for treatment of infection caused by multidrug–resistant *Acinetobacter* infections. A major mechanism to carbapenem resistance is the production of class D (oxacillinase) and class B beta–lactamase (metallo–β–lactamase). These enzymes are encoded by bla_{NDM}, bla_{OXA-23}, bla_{OXA-24}, bla_{OXA58} and intrinsic bla_{OXA-51} genes (Zarrilli et al., 2009). It has been reported that bla_{OXA-51} is chromosomally encoded and intrinsic to *A. baumannii* and used as an intrinsic marker for the identification and differentiation of *A. baumannii* from other non–*baumannii* species (Tolba et al., 2019). Resistance to antimicrobial agents is mainly associated with mobile genetic elements like plasmids. Generally, plasmids are circular double stranded extra–chromosomal DNA, that replicates independently from the host chromosome. They play an important role in the transmission of antibiotic resistance genes in the bacteria. Plasmids in *Acinetobacter* spp. have been characterized into nineteen distinct homology groups by plasmid replicon typing (Bertini et al., 2010). There are limited studies being done for the non–*baumannii Acinetobacter* spp. that causes clinical infections in. the hospitals. Therefore, this study is aimed at species identification and determining the prevalence rate of bla_{OXA-51} negative non–*baumannii Acinetobacter* spp. from clinical specimens isolated from Prachanukroh hospital in Chiangrai province in Thailand. In addition to the above, this study also determined the drug resistance pattern and detected the beta–lactamase resistance genes. We further characterized the plasmid profiles of all the isolates by plasmid replicon typing method as described previously (Bertini et al., 2010).

MATERIALS AND METHODS

Bacterial isolation and species identification

A total of 192 *Acinetobacter* spp. isolates were collected from the patients hospitalized in the year 2020 and 2022 in Prachanukroh hospital in Chiangrai province in Thailand. Among them 22 isolates were identified as bla_{OXA-51} negative *Acinetobacter* spp. by Polymerase chain reactions (PCR) (Table 1). PCR for *rpo*B gene were performed to confirm the *Acinetobacter* spp. as described by (La Scola et al., 2006). The primers are shown in Table 1. The purified PCR products were sent to Macrogen Inc. South Korea for Sanger sequencing. Nucleotide sequence homology searches of the *rpo*B gene sequences were performed using BLASTn (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST). Sequences were aligned and compared with the published *rpo*B sequences of the *Acinetobacter* type strains.

Table 1. Details of *Acinetobacter* spp. isolates collected from Chiangrai Prachanukroh hospital.

Sl no	El strains	Year of isolation	Province/Hospital	Ward	Specimen type
1	CA9	2020	Chiangrai	Female Medicine	Sputum
2	CA16	2020	Chiangrai	Male Medicine	Sputum
3	CA19	2020	Chiangrai	Male Medicine	Sputum
4	CA40	2020	Chiangrai	ICU	Sputum
5	CA58	2020	Chiangrai	Male Medicine	Sputum
6	CA60	2020	Chiangrai	ICU	Sputum
7	CA73	2020	Chiangrai	Male Medicine	Sputum
8	CR65-03	2022	Chiangrai	Surgical Neuro	Sputum
9	CR65-11	2022	Chiangrai	ICU Infant	Sputum
10	CR65-14	2022	Chiangrai	ICU Medicine	Sputum
11	CR65-17	2022	Chiangrai	ICU Neuro	Sputum
12	CR65-18	2022	Chiangrai	Trauma	Sputum
13	CR65-28	2022	Chiangrai	Medicine	Urine
14	CR65-44	2022	Chiangrai	ICU Medicine	Sputum
15	CR65-46	2022	Chiangrai	ICU Medicine	Sputum
16	CR65-52	2022	Chiangrai	Medicine	Urine
17	CR65-57	2022	Chiangrai	Surgical Neuro	Sputum
18	CR65-63	2022	Chiangrai	ICU Medicine	Sputum
19	CR65-73	2022	Chiangrai	CCU	Sputum
20	CR65-77	2022	Chiangrai	Trauma	Sputum
21	CR65-82	2022	Chiangrai	Trauma	Sputum
22.	CR65-99	2022	Chiangrai	ICU pediatrics	Sputum

Determination of antibiotic susceptibility and MIC

The antibiotic susceptibility of all the isolates were determined by disc diffusion method. Disc diffusion test was performed with the following thirteen antibiotics: Piperacillin–tazobactam (100/10µg), Ceftazidime (30µg), Cefepime (30µg), Cefotaxime (30µg), Ceftriaxone (30µg), Imipenem (10µg), Meropenem (10µg), Doripenem (10µg), Gentamicin (10µg), Amikacin (30µg), Tetracycline (30µg), Ciprofloxacin (5µg) and Trimethoprim–sulfamethoxazole (1.25/23.75 µg). The results were interpreted according to CLSI (2023). Multidrug resistant (MDR), extensively drug resistant (XDR) and carbapenem resistant (CR–AB) were classified as previously described by (Magiorakos et al., 2012). The minimum inhibitory concentration (MIC) of colistin was performed by broth microdilution method. *Acinetobacter baumannii* strain ATCC 19606 was used as quality control. The results were interpreted according to CLSI guidelines (2023) (*CLSI M100–ED33:2023 Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing, 33rd Edition*, 2023).

Detection of antibiotic resistance genes (Beta–lactamase classes)

Multiplex polymerase chain reaction (Multiplex PCR) assay was used to detect bla_{OXA-23}, bla_{OXA-24} and bla_{OXA-58} genes (Class D) and monoplex PCR to detect bla_{NDM} gene (Class B), bla_{PER} gene (Class A) and bla_{ADC} gene (Class C). The primers used are shown in Table 2. Amplification reactions were performed in a final volume of 20 µL. Each reaction mixture consisted of 2 µL of 10X buffer, 2.5 mM of dNTPs, 50 mM of $MgCl_2$, 20 µM of each primer, 5U of *Taq* DNA polymerase and 2 µL of cell lysate as the template. Amplification was carried out for the multiplex PCR conditions: 95°C for 5 minutes, followed by 35 cycles of denaturation at 94°C for 30 seconds, annealing at 52°C for 40 seconds, extension at 72°C for 50 seconds and then final extension at 72°C for 5 minutes. Amplification reaction will be performed with the following condition for monoplex PCR for bla_{NDM} gene: 1 cycle of pre–denaturation at 94°C for 10 min followed by 36 cycles of denaturation at 94°C for 30 sec, annealing at 52°C for 40 sec, extension at 72°C for 50 sec and a 1 cycle of final extension at 72°C for 5 min. Amplification reaction will be performed with the following condition for monoplex PCR for bla_{PER} gene: 1 cycle of pre–denaturation at 95°C for 5 min followed by 30 cycles of denaturation at 94°C for 60 sec, annealing at 50°C for 60 sec, extension at 72°C for 60 sec and a 1 cycle of final extension at 72°C for 5 min. Amplification reaction will be performed with the following condition for monoplex PCR for bla_{ADC} gene: 1 cycle of pre–denaturation at 95°C for 5 min followed by 35 cycles of denaturation at 94°C for 30 sec, annealing at 54°C for 40 sec, extension at 72°C for 50 sec and a 1 cycle of final extension at 72°C for 5 min. PCR products were electrophoresed though 1% agarose in 0.5X Tris–Boric acid–EDTA buffer at 95 V for 35 minutes.

Table 2. List of primers used in this study.

Primers	Oligonucleotide sequence (5'–3')	Amplicon size (bp)	Annealing temperature (°C)	Reference
bla$_{OXA-51}$ F	TAATGCTTTGATCGGCCTTG	353	52	(Woodford et al., 2006)
bla$_{OXA-51}$ R	TGGATTGCACTTCATCTTGG			
bla$_{OXA-23}$ F	GATCGGATTGGAGAACCAGA	501	52	(Woodford et al., 2006)
bla$_{OXA-23}$ R	ATTTCTGACCGCATTTCCAT			
bla$_{OXA-24}$ F	GGTTAGTTGGCCCCCTTAAA	246	52	(Woodford et al., 2006)
bla$_{OXA-24}$ R	AGTTGAGCGAAAAGGGGATT			
bla$_{OXA-58}$ F	AAGTATTGGGGCTTGTGCTG	599	52	(Woodford et al., 2006)
bla$_{OXA-58}$ R	CCCCTCTGCGCTCTACATAC			
bla$_{NDM}$ F	GGTTTGGCGATCTGGTTTTC	621	52	(Poirel et al., 2012)
bla$_{NDM}$ R	CGGAATGGCTCATCACGATC			
bla$_{PER}$ F	ATGAATGTCATTATAAAAGC	900	52	(Lee et al., 2008)
bla$_{PER}$ R	AATTTGGGCTTAGGGCAAGAAA			
bla$_{ADC}$ F	TAAACACCACATATGTTCCG	663	57	(Liu & Liu, 2015)
bla$_{ADC}$ R	ACTTACTTCAACTCGCGACG			
*rpo*B F	GTGATAARATGGCBGGTCGT	468	59	(La Scola et al., 2006)
*rpo*B R	CGBGCRTGCATYTTGTCRT			

Plasmid profile analysis

PCR based plasmid grouping (replicon typing) were tested for all the isolates according to the method by (Bertini et al., 2010). The primers for detection of plasmid groups are given in Table 3. Nineteen plasmid groups (Gr1–Gr19) were detected for all the isolates. The PCR amplifications were organized into six multiplexes, each recognizing three or four different homology groups. The six multiplexes are as follows: multiplex1 (Gr1, Gr2 and Gr3), multiplex 2 (Gr5, Gr7 and Gr18), multiplex 3 (Gr4, Gr9 and Gr11), multiplex 4 (Gr10, Gr12 and Gr13), multiplex 5 (Gr8, Gr14 and Gr15) and multiplex 6 (Gr6, Gr16, Gr17 and Gr19). Amplification reaction will be performed with the following condition for multiplex PCR: 1 cycle of pre–denaturation at 95°C for 5 min followed by 35 cycles of denaturation at 94°C for 30 sec, annealing at 52°C for 40 sec,

extension at 72°C for 90 sec and a 1 cycle of final extension at 72°C for 5 min. PCR products were electrophoresed though 1% agarose in 0.5X Tris–Boric acid–EDTA buffer at 95 V for 35 minutes.

Table 3. List of primers for plasmid replicon typing (Bertini et al., 2010).

Primers	Oligonucleotide sequence (5'–3')	Amplicon size (bp)	Annealing temperature(°C)
GR1 F	CATAGAAATACAGCCTATAAAG	350	56
GR1 R	TTCTTCTAGCTCTACCAAAAT		
GR2 F	AGTAGAACAACGTTTAATTTTATTGGC	851	56
GR2 R	CCACTTTTTTTAGGTATGGGTATAG		
GR3 F	TAATTAATGCCAGTTATAACCTTG	505	56
GR3 R	GTATCGAGTACACCTATTTTTTGT		
GR4 F	GTCCATGCTGAGAGCTATGT	508	55
GR4 R	TACGTCCCTTTTTATGTTGC		
GR5 F	AGAATGGGGAACTTTAAAGA	202	56
GR5 R	GACGCTGGGCATCTGTTAAC		
GR6 F	AGCAAGTACGTGGGACTAAT	662	55
GR6 R	AAGCAATGAAACAGGCTAAT		
GR7 F	GAACAGTTTAGTTGTGAAAG	885	56
GR7 R	TCTCTAAATTTTTCAGGCTC		
GR8 F	AATTAATCGTAAAGGATAATGC	233	54
GR8 R	GACATAGCGATCAAATAAGC		
GR9 F	GCAAGTTATACATTAAGCCT	191	55
GR9 R	AAAAATAAACGCTCTGATGC		
GR10 F	TTTCACTAGCTACCAACTAA	371	53
GR10 R	ACACGTTGGTTTGGAGTC		
GR11 F	GGCTATTCAAAACAAAGTTAC	852	55
GR11 R	GTTTCCTCTCTTACACTTTT		
GR12 F	TCATTGGTATTCGTTTTTCAAAACC	165	53

Primers	Oligonucleotide sequence (5'–3')	Amplicon size (bp)	Annealing temperature(°C)
GR12 R	ATTTCACGCTTACCTATTTGTC		
GR13 F	CAAGATCGTGAAATTACAGA	780	53
GR13 R	CTGTTTATAATTTGGGTCGT		
GR14 F	TTAAATGGGTGCGGTAATTT	622	54
GR14 R	GCTTACCTTTCAAAACTTTG		
GR15 F	GGAAATAAAAATGATGAGTCC	876	54
GR15 R	ATAAGTTGTTTTTGTTGTATTCG		
GR16 F	CTCGAGTTCAGGCTATTTTT	233	55
GR16 R	GCCATTTCGAAGATCTAAAC		
GR17 F	AATAACACTTATAATCCTTGTA	380	55
GR17 R	GCAAATGTGACCTCTAATATA		
GR18 F	TCGGGTTATCACAATAACAA	676	56
GR18 R	TAGAACATTGGCAATCCATA		
GR19 F	ACGAGATACAAACATGCTCA	815	55
GR19 R	AGCTAGACATTTCAGGCATT		

Bioinformatics analysis

Phylogenetic tree was constructed using DendroUPGMA program and compared using Dice method. The tree was uploaded and annotated in iTOL v6 database (https://itol.embl.de). The plasmid groups detected have been represented against the isolates collected in two years (2020 & 2022). Heatmap of antibiotic resistance profile was constructed using Microsoft excel (Fig. 3).

RESULTS

Bacterial strains and prevalence of *bla*$_{OXA-51}$ negative *Acinetobacter* spp.

Chiangrai Prachanukroh hospital is a large hospital located in northern part of Thailand. We collected a total of 192 *Acinetobacter* spp. isolates and confirmed 22 *bla*$_{OXA-51}$ negative *Acinetobacter* spp. clinical isolates from different inpatients wards from the year 2020 (n=7) and 2022 (n=15). All the isolates were taken from ICU (40.91%), medicine ward (31.82%), trauma ward (13.64%), surgical neuro ward (9.09%) and coronary care unit (CCU) (4.55%). All samples were recovered from sputum (90.91%) and urine (9.09%) as shown in Table 1. All the isolates were confirmed negative for *bla*$_{OXA-51}$ gene by PCR method. The prevalence rate of *bla*$_{OXA-51}$ negative *Acinetobacter* spp. in the year 2020 and 2022 were 8.43% (7/83) and 13.76% (15/109) respectively. Using *rpo*B gene sequencing, we

confirmed the following *Acinetobacter* spp. in our isolates: *A. nosocomialis* (n=14), *A. pittii* (n=5), *A. junii* (n=1), *A. soli* (n=1) and *A. seifertii* (n=1) in both the years (Fig. 1).

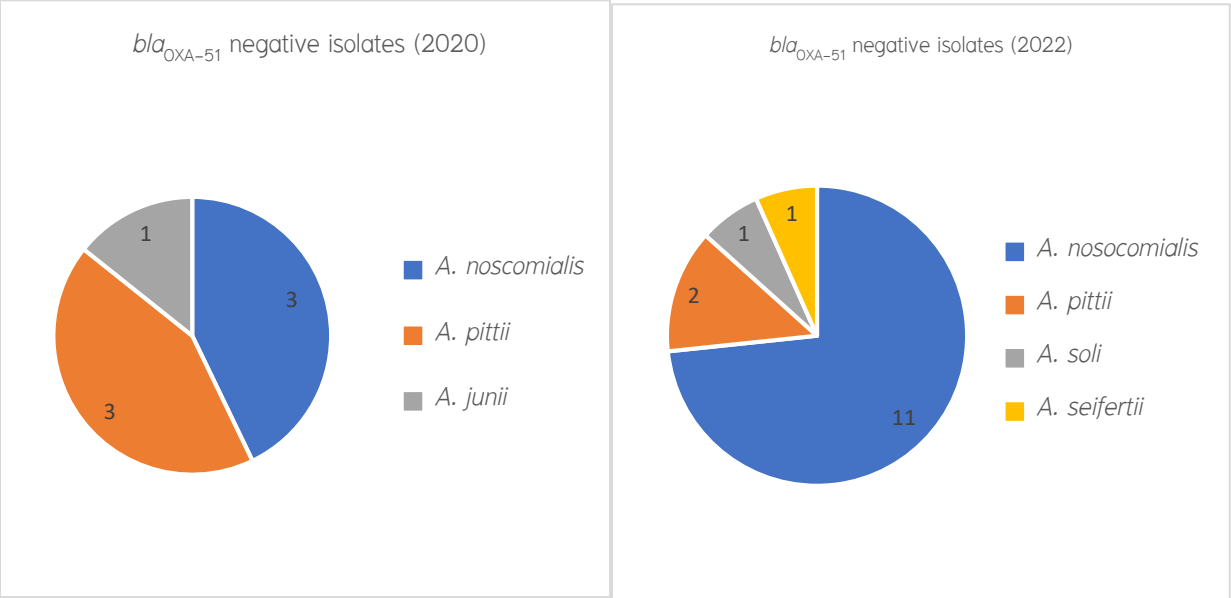


Fig.1 bla_{OXA-51} negative *Acinetobacter* spp. isolates identified by *rpo*B gene sequencing.

Antimicrobial susceptibility patterns

All antimicrobial susceptibility results of *Acinetobacter* spp. isolates are shown in Fig.2. Drug resistance rates for amikacin, cefepime, cefotaxime, ceftazidime, ceftriaxone, ciprofloxacin, doripenem, gentamicin, imipenem, meropenem, piperacillin–tazobactam, tetracycline, trimethoprim–sulfamethoxazole and colistin are 9.09%, 59.09%, 9.09%, 22.73%, 9.09%, 4.54%, 54.55%, 68.18%, 45.45%, 72.73%, 68.18%, 4.54%, 54.55% and 59.09% respectively. The prevalence of CR and MDR *Acinetobacter* spp. were 68.18% (15/22) and 68.18% (15/22) respectively. None of the isolates were classified as XDR. Among all isolates, 3 (13.64%) isolates were susceptible to all the drugs.

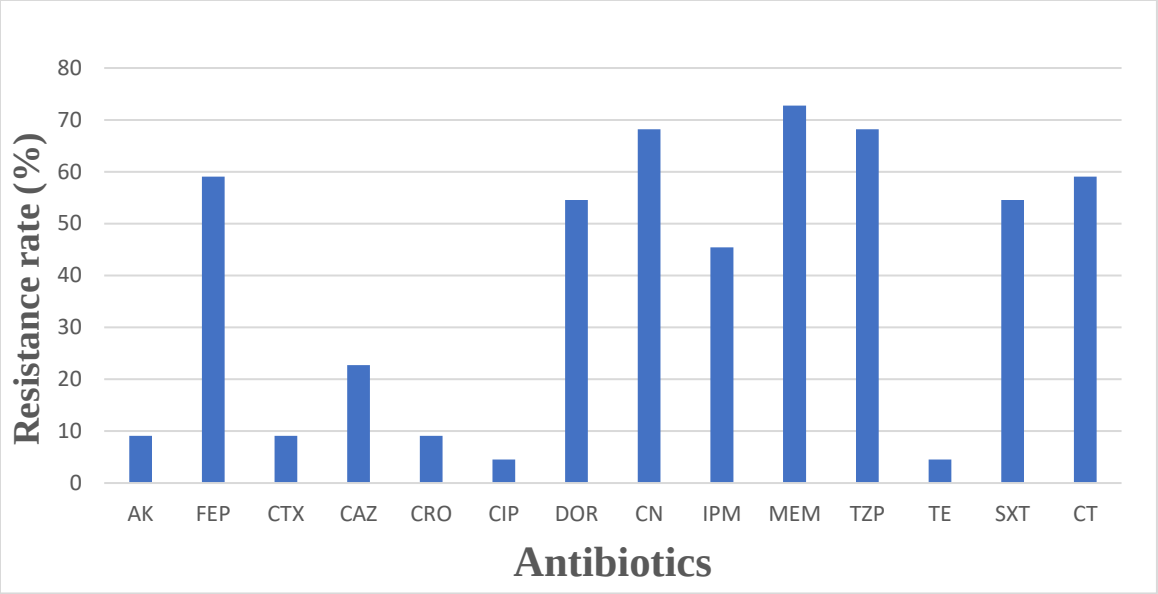


Fig. 2. Antibiotic resistance patterns of *Acinetobacter* spp. isolates from Chiangrai Prachanukroh hospital. Amikacin (AK), Cefepime (FEP), Cefotaxime (CTX), Ceftazidime (CAZ), Ceftriaxone (CRO), Ciprofloxacin (CIP), Doripenem (DOR), Gentamicin (CN), Imipenem (IPM), Meropenem (MEM), Piperacillin/tazobactam (TZP), Tetracycline (TE), trimethoprim/sulfamethoxazole (SXT) and Colistin (CT).

Detection of antibiotic resistance genes (Beta-lactamase classes)

Multiplex PCR were used to detect the presence of bla_{OXA-23}, bla_{OXA-24} and bla_{OXA-58} genes. The amplicon sizes for bla_{OXA-23}, bla_{OXA-24}, bla_{OXA-58} genes were 501 bp, 246 bp and 599 bp respectively. The prevalence rates of bla_{OXA-23} and bla_{OXA-58} genes are 54.55% (12/22) and 50% (11/22). However, bla_{OXA-24} gene was not detected in all the isolates. The bla_{PER} gene was not detected in any of the isolates while bla_{NDM} gene was detected in only one isolate (4.55%). The bla_{ADC} gene was detected in three isolates (13.64%). Fig. 3 showed the heatmap of antibiotic resistome and plasmid profiles of all the isolates.

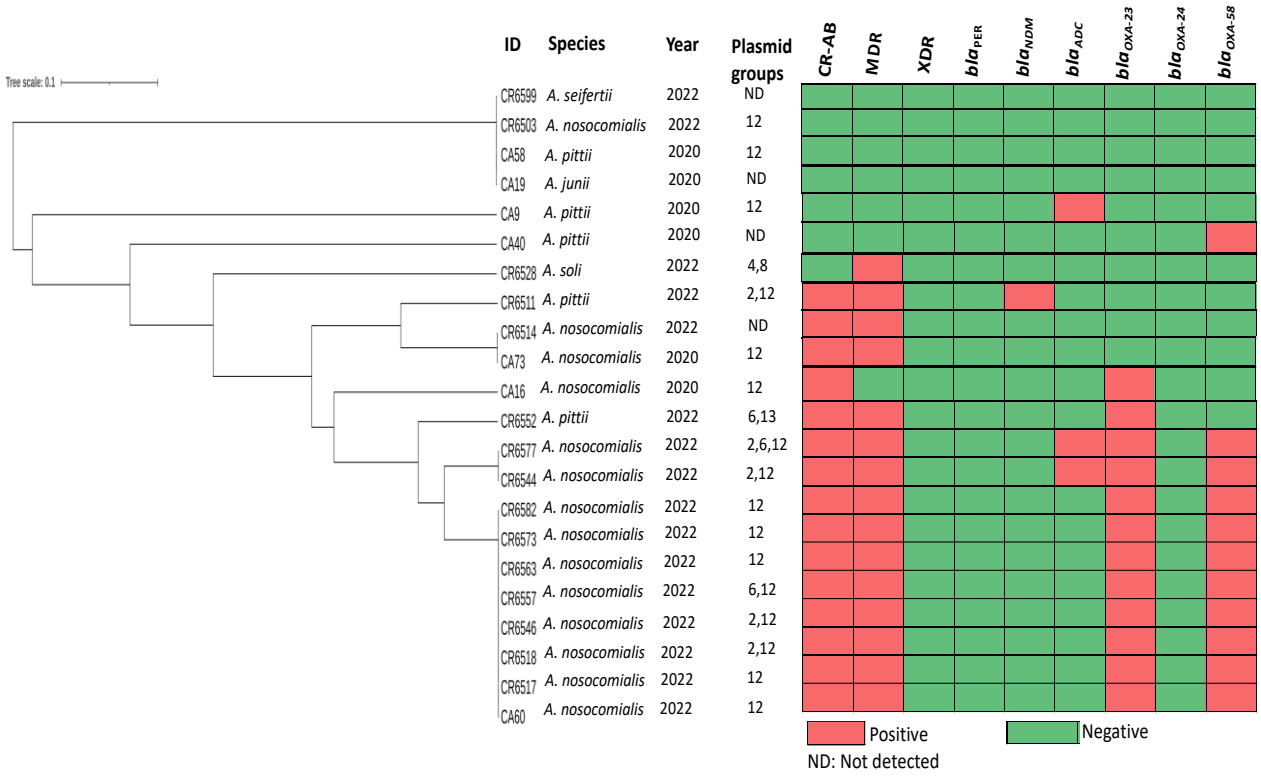


Fig.3 Phylogenetic tree based on year of isolation, plasmid groups and antibiotic resistance genes of 22 isolates from Chiangrai Prachanukroh hospitals in two years (2020 & 2022). The presence of CR, MDR and XDR *Acinetobacter* spp. and antibiotic resistance genes (Ambler classes) are highlighted in red (positive) and green (negative) colour.

Plasmid profile analysis

All isolates were subjected to PCR based replicon typing for plasmid profile as previously described. Nineteen plasmid groups were tested which were organized into six multiplexes. Plasmid groups Gr12, Gr2, Gr6, Gr4, Gr8 and Gr13 were detected in this study. The prevalence rate of plasmid groups Gr12, Gr2, Gr6, Gr4, Gr8 and Gr13 are 72.73%, 22.73%, 13.64%, 4.55%, 4.55% and 4.55% respectively. Comparing the prevalent plasmid groups in two years, we found plasmid group 12 the most in both the years with prevalence rate of 71.43% and 73.33% in 2020 and 2022 respectively.

DISCUSSION

A. baumannii has frequently been considered as the most clinically relevant *Acinetobacter* species worldwide (Dijkshoorn et al., 2007). It accounts for about 80% of total infections caused by *Acinetobacter* genus. However, the increasing number of clinical infections caused by non–*baumannii Acinetobacter* spp. have been reported from other few studies too (Abo–Zed et al., 2020; Li et al., 2021; Nithichanon et al., 2022; Wang et al., 2013). Therefore, the

need to determine the prevalence of non–*baumannii Acinetobacter* spp. in clinical settings has become important. In the present study, we determined the prevalence and identified bla_{OXA-51} negative *Acinetobacter* spp. from Chiangrai Prachanukroh hospital from two years (2020 and 2022). The majority of the specimens were recovered from sputum (90.91%). The prevalence rate of bla_{OXA-51} negative *Acinetobacter* spp. in the year 2020 and 2022 were 8.43% (7/83) and 13.76% (15/109) respectively. Species identification was performed by *rpo*B gene sequencing which is considered a gold standard method for bacterial species identification (Khosravi et al., 2015). The prevalence of bla_{OXA-51} negative *Acinetobacter* spp. were *A. nosocomialis* (68.18%), *A. pittii* (22.73%), *A. junii* (4.55%), *A. soli* (4.55%) and *A. seifertii* (4.55%) respectively. The highest prevalence of *A. nosocomialis* and *A. pittii* among non–*baumannii* species have also been reported in one of the studies (Chusri et al., 2014).

The prevalence of carbapenem resistance in *Acinetobacter* spp. are increasing in Thailand and worldwide. In the United States, South America, India, and China, more than 50% of *Acinetobacter* species are resistant to carbapenems (Kim et al., 2014). Carbapenems are drug of choice to treat *Acinetobacter* infections. However, due to emerging resistance to carbapenems, it has limited therapeutic options. In our present study. We found the carbapenem resistance rate that includes meropenem, imipenem and doripenem at 72.73%, 45.45% and 54.55% respectively. Colistin is the last resort antibiotic that is used to treat MDR *Acinetobacter* infections. However, in our study we found colistin resistance rate at 59.09% which is a huge concern that leaves no option for treatment of infections. Therefore, there must be rational use of antibiotics in place. The prevalence of CR and MDR *Acinetobacter* spp. were 68.18% (15/22). However, we did not find any XDR isolates. Other notable finding is only three isolates (13.64%) are susceptible to all the drugs.

Mechanism of carbapenem resistance in *Acinetobacter* spp. is due to production of class D carbapenemases that are mostly associated with OXA–type β–lactamase, including bla_{OXA-23}, bla_{OXA-24}, bla_{OXA-58} and intrinsic bla_{OXA-51} genes (Zarrilli et al., 2009). In our study the prevalence rate of bla_{OXA-23} and bla_{OXA-58} are 54.55% and 50% respectively. The bla_{OXA-24} gene was not detected in any of the isolates. This result is similar to previous study which found the highest prevalence of bla_{OXA-23} gene followed by bla_{OXA-58} gene in hospitals in Thailand (Leungtongkam et al., 2018). We detected bla_{NDM} gene in one isolate (4.55%) and bla_{ADC} in three isolates (13.64%). Interestingly, there was no co–existence of bla_{NDM} positive isolates with OXA–type carbapenemases as previously reported by (Joshi et al., 2017). The bla_{PER} gene was not detected in any of the isolates. The highest prevalence of CR and MDR among the species is *A. nosocomialis* (59.09%) and most of them are associated with Class D carbapenemase genes bla_{OXA-23} and bla_{OXA-58} as shown in Fig. 3. Previous studies in Thailand also reported the presence of Class D carbapenemase genes in CR–AB and MDR species (Leungtongkam et al., 2018; Santimaleeworagun et al., 2014).

PCR based replicon typing was performed in all the isolates to screen for the presence of plasmid groups according to the method by (Bertini et al., 2010). Out of nineteen plasmid groups (Gr1–Gr19), we detected plasmid groups Gr12, Gr2, Gr6, Gr13, Gr4 and Gr8 (Fig.3). Plasmid group Gr12 is detected most with prevalence rate of 72.73% followed by Gr2 (22.73%), Gr6 (13.64%) and Gr13, Gr4 and Gr8 at 4.55% each. In the present study, we found that

mostly plasmid group G12 is associated with OXA-type carbapenemases (bla_{OXA-23} and bla_{OXA-58}) as shown in Fig 3. The prevalence of plasmid group Gr12 associated with OXA-type carbapenemases in non-*baumannii Acinetobacter* spp. has been reported in one of the study (Lasarte-Monterrubio et al., 2022). Due to limited studies on this aspect, it is deemed necessary to further establish the prevalence and association of plasmid Gr12 in non-*baumannii Acinetobacter* spp. However, in *Acinetobacter baumannii*, the highest prevalence of plasmid groups detected are group Gr2 and Gr6 as reported in the study by (Kongthai et al., 2021; Leungtongkam et al., 2018). Our study indicated the prevalence of drug resistance genes and plasmids in non-*baumannii Acinetobacter* spp. and more research is needed on this aspect.

CONCLUSION

The present study showed the low prevalence of bla_{OXA-51} negative *Acinetobacter* spp. in clinical settings. The most common species identified is *A. nosocomialis.* The prevalence of CR and MDR *Acinetobacter* spp. are also quite high, which is associated with OXA-type carbapenemase genes. The majority of the species carried plasmids which are responsible for transfer of antibiotic resistance genes. These data can help in monitoring and controlling the spread of drug resistant *Acinetobacter* spp. strains in Thailand.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank all the staff members at the Chiangrai Prachanukroh hospital for providing us the bacterial isolates. SJ was supported by TICA-RGOB (Royal Govt. of Bhutan) cost sharing scholarship to study M.Sc. in Microbiology program at Naresuan University.

REFERENCES

Abo-Zed, A., Yassin, M., & Phan, T. (2020). *Acinetobacter junii* as a rare pathogen of urinary tract infection. *Urol Case Rep*, *32*, 101209. https://doi.org/10.1016/j.eucr.2020.101209

Ayobami, O., Willrich, N., Suwono, B., Eckmanns, T., & Markwart, R. (2020). The epidemiology of carbapenem-non-susceptible *Acinetobacter* species in Europe: analysis of EARS-Net data from 2013 to 2017. *Antimicrob Resist Infect Control*, *9*(1), 89. https://doi.org/10.1186/s13756-020-00750-5

Bertini, A., Poirel, L., Mugnier, P. D., Villa, L., Nordmann, P., & Carattoli, A. (2010). Characterization and PCR-based replicon typing of resistance plasmids in *Acinetobacter baumannii*. *Antimicrob Agents Chemother*, *54*(10), 4168-4177. https://doi.org/10.1128/aac.00542-10

Chusri, S., Chongsuvivatwong, V., Rivera, J. I., Silpapojakul, K., Singkhamanan, K., McNeil, E., & Doi, Y. (2014). Clinical outcomes of hospital-acquired infection with *Acinetobacter nosocomialis* and *Acinetobacter pittii*. *Antimicrob Agents Chemother*, *58*(7), 4172-4179. https://doi.org/10.1128/aac.02992-14

CLSI M100-ED33:2023 Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing, 33rd Edition. (2023).

Dijkshoorn, L., Nemec, A., & Seifert, H. (2007). An increasing threat in hospitals: multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*. *Nat Rev Microbiol*, *5*(12), 939-951. https://doi.org/10.1038/nrmicro1789

Gupta, N., Gandham, N., Jadhav, S., & Mishra, R. N. (2015). Isolation and identification of *Acinetobacter* species with special reference to antibiotic resistance. *J Nat Sci Biol Med*, *6*(1), 159-162. https://doi.org/10.4103/0976-9668.149116

Joshi, P. R., Acharya, M., Kakshapati, T., Leungtongkam, U., Thummeepak, R., & Sitthisak, S. (2017). Co-existence of bla(OXA-23) and bla(NDM-1) genes of *Acinetobacter baumannii* isolated from Nepal: antimicrobial resistance and clinical significance. *Antimicrob Resist Infect Control*, *6*, 21. https://doi.org/10.1186/s13756-017-0180-5

Khosravi, A. D., Sadeghi, P., Shahraki, A. H., Heidarieh, P., & Sheikhi, N. (2015). Molecular Methods for Identification of *Acinetobacter* Species by Partial Sequencing of the *rpo*B and *16S rRNA* Genes. *J Clin Diagn Res*, *9*(7), DC09-13. https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/13867.6188

Kim, U. J., Kim, H. K., An, J. H., Cho, S. K., Park, K. H., & Jang, H. C. (2014). Update on the Epidemiology, Treatment, and Outcomes of Carbapenem-resistant *Acinetobacter* infections. *Chonnam Med J*, *50*(2), 37-44. https://doi.org/10.4068/cmj.2014.50.2.37

Kongthai, P., Thummeepak, R., Leungtongkam, U., Pooarlai, R., Kitti, T., Thanwisai, A., Chantratita, N., Millard, A. D., & Sitthisak, S. (2021). Insight into Molecular Epidemiology, Antimicrobial Resistance, and Virulence Genes of Extensively Drug-Resistant *Acinetobacter baumannii* in Thailand. *Microb Drug Resist*, *27*(3), 350-359. https://doi.org/10.1089/mdr.2020.0064

La Scola, B., Gundi, V. A., Khamis, A., & Raoult, D. (2006). Sequencing of the *rpo*B gene and flanking spacers for molecular identification of *Acinetobacter* species. *J Clin Microbiol*, *44*(3), 827-832. https://doi.org/10.1128/jcm.44.3.827-832.2006

Lasarte-Monterrubio, C., Guijarro-Sánchez, P., Bellés, A., Vázquez-Ucha, J. C., Arca-Suárez, J., Fernández-Lozano, C., Bou, G., & Beceiro, A. (2022). Carbapenem Resistance in *Acinetobacter nosocomialis* and *Acinetobacter junii* Conferred by Acquisition of bla(OXA-24/40) and Genetic Characterization of the Transmission Mechanism between *Acinetobacter* Genomic Species. *Microbiol Spectr*, *10*(1), e0273421. https://doi.org/10.1128/spectrum.02734-21

Lee, H. W., Koh, Y. M., Kim, J., Lee, J. C., Lee, Y. C., Seol, S. Y., Cho, D. T., & Kim, J. (2008). Capacity of multidrug-resistant clinical isolates of *Acinetobacter baumannii* to form biofilm and adhere to epithelial cell surfaces. *Clin Microbiol Infect*, *14*(1), 49-54. https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2007.01842.x

Leungtongkam, U., Thummeepak, R., Tasanapak, K., & Sitthisak, S. (2018). Acquisition and transfer of antibiotic resistance genes in association with conjugative plasmid or class 1 integrons of *Acinetobacter baumannii*. *PLoS One*, *13*(12), e0208468. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208468

Li, L. H., Yang, Y. S., Sun, J. R., Huang, T. W., Huang, W. C., Chen, F. J., Wang, Y. C., Kuo, T. H., Kuo, S. C., Chen, T. L., & Lee, Y. T. (2021). Clinical and molecular characterization of *Acinetobacter seifertii* in Taiwan. *J Antimicrob Chemother*, *76*(2), 312–321. https://doi.org/10.1093/jac/dkaa432

Liu, Y., & Liu, X. (2015). Detection of AmpC β–lactamases in *Acinetobacter baumannii* in the Xuzhou region and analysis of drug resistance. *Exp Ther Med*, *10*(3), 933–936. https://doi.org/10.3892/etm.2015.2612

Magiorakos, A. P., Srinivasan, A., Carey, R. B., Carmeli, Y., Falagas, M. E., Giske, C. G., Harbarth, S., Hindler, J. F., Kahlmeter, G., Olsson–Liljequist, B., Paterson, D. L., Rice, L. B., Stelling, J., Struelens, M. J., Vatopoulos, A., Weber, J. T., & Monnet, D. L. (2012). Multidrug–resistant, extensively drug–resistant and pandrug–resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance. *Clin Microbiol Infect*, *18*(3), 268–281. https://doi.org/10.1111/j.1469–0691.2011.03570.x

Mahto, M., Chaudhary, M., Shah, A., Show, K. L., Moses, F. L., & Stewart, A. G. (2021). High antibiotic resistance and mortality with *Acinetobacter* species in a tertiary hospital, Nepal. *Public Health Action*, *11*(Suppl 1), 13–17. https://doi.org/10.5588/pha.21.0036

Nithichanon, A., Kewcharoenwong, C., Da–Oh, H., Surajinda, S., Khongmee, A., Koosakunwat, S., Wren, B. W., Stabler, R. A., Brown, J. S., & Lertmemongkolchai, G. (2022). *Acinetobacter nosocomialis* Causes as Severe Disease as *Acinetobacter baumannii* in Northeast Thailand: Underestimated Role of *A. nosocomialis* in Infection. *Microbiol Spectr*, *10*(6), e0283622. https://doi.org/10.1128/spectrum.02836–22

Poirel, L., Bonnin, R. A., Boulanger, A., Schrenzel, J., Kaase, M., & Nordmann, P. (2012). Tn125–related acquisition of blaNDM–like genes in *Acinetobacter baumannii*. *Antimicrob Agents Chemother*, *56*(2), 1087–1089. https://doi.org/10.1128/aac.05620–11

Tolba, S., El Shatoury, E. H., & Abo AlNasr, N. M. (2019). Prevalence of carbapenem resistant *acinetobacter baumannii* (CRAB) in some Egyptian hospitals: evaluation of the use of blaOXA–51–like gene as species specific marker for CRAB. *Egyptian Journal of Botany*, *59*(3), 723–733.

Wang, X., Chen, T., Yu, R., Lü, X., & Zong, Z. (2013). *Acinetobacter pittii* and *Acinetobacter nosocomialis* among clinical isolates of the *Acinetobacter calcoaceticus–baumannii* complex in Sichuan, China. *Diagn Microbiol Infect Dis*, *76*(3), 392–395. https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2013.03.020

Wong, D., Nielsen, T. B., Bonomo, R. A., Pantapalangkoor, P., Luna, B., & Spellberg, B. (2017). Clinical and Pathophysiological Overview of *Acinetobacter* Infections: a Century of Challenges. *Clin Microbiol Rev*, *30*(1), 409–447. https://doi.org/10.1128/CMR.00058–16

Woodford, N., Ellington, M. J., Coelho, J. M., Turton, J. F., Ward, M. E., Brown, S., Amyes, S. G., & Livermore, D. M. (2006). Multiplex PCR for genes encoding prevalent OXA carbapenemases in *Acinetobacter* spp. *Int J Antimicrob Agents*, *27*(4), 351–353. https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2006.01.004

Zarrilli, R., Giannouli, M., Tomasone, F., Triassi, M., & Tsakris, A. (2009). Carbapenem resistance in *Acinetobacter baumannii*: the molecular epidemic features of an emerging problem in health care facilities. *J Infect Dev Ctries*, *3*(5), 335–341. https://doi.org/10.3855/jidc.240

ผลของการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบต่อสมรรถภาพทางกายของนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา

Effects of interactive video games on physical fitness of Demonstration School University of Phayao students

สุริยนต์ เหลืองตรงกิจ[1*], ปราณี อยู่ศิริ[2] และ ปิติรัฐ คงทองคำ[2]

Suriyon Luangtrongkit[1*], Pranee U-siri[2] and Pitirat Kongtongkum[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบต่อสมรรถภาพทางกายของนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา และเพื่อพัฒนาแนวทางในการสร้างโปรแกรมการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบ กลุ่มตัวอย่างเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา ที่มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ตั้งแต่ 25 กก./ม ขึ้นไป และมีสุขภาพร่างกายแข็งแรงไม่เป็นอุปสรรคต่อการออกกำลังกายจำนวน 26 คน แบ่งเป็นเพศชาย 11 คน เพศหญิง 15 คน โดยใช้แบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายของเด็ก เยาวชน และประชาชนไทย สำหรับเด็กและเยาวชน อายุ 7-18 ปี ของสำนักวิทยาศาสตร์การกีฬากรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา พ.ศ. 2562 เก็บข้อมูลสมรรถภาพทางกายก่อนและหลังการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบ แอปพลิเคชัน Fit force และแอปพลิเคชัน HOMECOURT นำผลมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติการวิเคราะห์ Paired Samples t-test ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีสมรรถภาพทางกายดีขึ้นในด้าน องค์ประกอบของร่างกาย ความอ่อนตัว ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ และความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 การออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบส่งผลต่อสมรรถภาพทางกายในกลุ่มตัวอย่างที่มีภาวะโภชนาการเกิน

คำสำคัญ: สมรรถภาพทางกาย, วิดีโอเกมแบบโต้ตอบ, การออกกำลังกายโดยใช้เกม

[1] โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Demonstration School University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Exercise and Sports Science, Faculty of Science University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: suriyon.koe@gmail.com

Abstract

The purpose of this research was to study the effects of exercise using an interactive video game on the physical fitness of students at the University of Phayao Demonstration School. And to develop guidelines for creating exercise programs using interactive video games. The sample was purposefully selected to be middle school students at the University of Phayao Demonstration School. With a body mass index (BMI) of 25 kg/m or more and having good physical health that is not an obstacle to exercising, there were 26 people, divided into 11 males and 15 females, using tests and fitness standards. physical health of children, youth, and Thai people for children and youth aged 7–18, the Sports Science Office, Department of Physical Education the Ministry of Tourism and Sports 2019 collected physical fitness data before and after exercise using interactive video games, the Fitforce application, and the HOMECOURT application. The results were analyzed for statistical data, including values. Average standard deviation and statistical analysis of paired samples t-test. The results found that the sample group had better physical fitness in terms of body composition, flexibility, muscle strength, and endurance. and cardiovascular endurance at a statistical significance level of 0.05. Exercise using interactive video games affects the physical fitness of subjects with overnutrition.

Keywords: Physical fitness, Interactive video games, Exercise using games

บทนำ

โรคระบาดที่เกิดจากไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ (COVID-19) ได้รับการยอมรับจากองค์การอนามัยโลก (WHO) เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2020 ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา ในประเทศไทยจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันและข้อจำกัด ซึ่งรวมถึงการเว้นระยะห่างทางสังคมและการล็อกดาวน์ เพื่อลดและป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค อย่างไรก็ตามมาตรการเหล่านี้สะท้อนให้เห็นในการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของประชากร รวมถึงการจำกัดกิจกรรมทางกาย การเปลี่ยนแปลงกิจวัตรในการทำงานและการเรียนและการเข้าสังคมที่ลดลง (Garces et al, 2022) ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกายและจิตใจของประชาชน

ซึ่งจากเหตุการณ์ในปัจจุบันที่มีการแพร่เชื้อระบาดไวรัสโควิด-19 ส่งผลให้สวนสาธารณะ สนามกีฬา และฟิตเนสปิดให้บริการ ทำให้เกิดข้อจำกัดเรื่องการเว้นระยะห่างทางสังคม (social distancing) เพื่อเป็นการป้องกันการแพร่ระบาดและการติดเชื้อที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ประชาชนที่ต้องการออกกำลังกายหรือมีกิจกรรมทางกาย จำเป็นต้องปรับตัวมีการเว้นระยะห่างและไม่สามารถออกกำลังกายหรือมีกิจกรรมทางกายแบบรวมกลุ่มพร้อมกันหลาย ๆ คนได้ ซึ่งอาจจะทำให้บางคนขาดการเคลื่อนไหวหรือมีกิจกรรมทางกายเท่าที่ควร ส่วนใหญ่แม้ยังคงออกกำลังกายแต่ก็ไม่สามารถออกกำลังกายได้อย่างเต็มที่หรือเล่นได้เหมือนเดิม ทุกคนจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการออกกำลังกาย โดยหันมาออกกำลังกายที่บ้านหรือออนไลน์แทน (Renzo, 2020) แต่การออกกำลังกายที่บ้าน หรือออนไลน์นั้นก็อาจจะดูน่าเบื่อจนเกินไปไม่ทำให้เกิดแรงจูงใจในการออกกำลังกาย เพราะไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกกำลังกาย หรือมีไม่เพียงพอต่อความต้องการอีกทั้งยังมีพื้นที่ที่ใช้ในการออกกำลังกายไม่มากพอเหมือนตามสวนสาธารณะ ซึ่งสอดคล้องกับผลการสำรวจของกองกิจกรรมทางกายเพื่อสุขภาพ กรมอนามัย กองโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค, 2564 สำรวจภายใต้โครงการพัฒนาระบบเฝ้าระวังติดตามการมีกิจกรรมทางกายของประชากรไทย (Thailand Physical Activity Surveillance System SPA) ในช่วง

สถานการณ์โควิด-19 (ระลอกที่ 1) ระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 พบว่าประชากรไทยส่วนใหญ่มีกิจกรรมทางกายที่เพียงพอลดลง โดยลดลงจากร้อยละ 74.6 ซึ่งเป็นช่วงก่อนการระบาดโรคโควิด-19 ในปีพ.ศ. 2562 เป็นร้อยละ 53.1 และในประชากรช่วงวัยเด็กและวัยรุ่นอายุ (5-17 ปี) พบว่ามีกิจกรรมทางกายเพียง ร้อยละ 14.7 ซึ่งส่งผลต่อการถดถอยของสมรรถภาพทางกาย ซึ่งสอดคล้องกับสุพิตร, 2549 กล่าวไว้ว่าสมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness) บ่งบอกความสามารถของร่างกายในการประกอบกิจกรรมทางกายอย่างใดอย่างหนึ่งได้เป็นอย่างดี สมรรถภาพทางกายยังเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาด้านร่างกายของมนุษย์ที่เกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนไหวร่างกายหรือออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ ถ้าหยุดออกกำลังกายหรือหยุดการเคลื่อนไหวของร่างกายน้อยลงสมรรถภาพทางกายจะลดลง โดยสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพ (health-related physical fitness) เป็นสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสุขภาพและเพิ่มความสามารถในการทำงานของร่างกายซึ่งจะมีส่วนช่วยในการลดปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคปวดหลัง ตลอดจนปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดจากการขาดการออกกำลังกาย

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งในปัจจุบันคือ ความเจริญทางด้านเทคโนโลยีได้แพร่กระจายไปสู่เด็กและเยาวชน การเล่นเกมคอมพิวเตอร์ การใช้เวลานั่งนานจะเป็นเหตุให้เยาวชนมีการเคลื่อนไหวและการออกกำลังกายลดน้อยลง การขาดการออกกำลังกายของเด็กและเยาวชนอันเนื่องมาจากรูปแบบการใช้ชีวิตในปัจจุบันจึงอาจเป็นพฤติกรรมหนึ่งที่ทำให้เกิดความเจ็บป่วยต่อไปในอนาคตทั้งโรคติดต่อและโรคไม่ติดต่อ โรคที่เกี่ยวกับระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต และโรคอ้วนได้ (มนตรี, 2562)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบต่อสมรรถภาพทางกายของนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อระบาดไวรัสโควิด-19 มีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด โดยใช้แบบทดสอบสมรรถภาพทางกายประกอบไปด้วย 5 ด้าน คือ ดัชนีมวลกาย (BMI) นั่งงอตัวไปข้างหน้า ดันพื้นประยุกต์ 30 วินาที ลุก-นั่ง 60 วินาที และยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบต่อสมรรถภาพทางกายของนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา
2. เพื่อเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายของนักเรียนก่อนและหลังการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบ

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ ใช้รูปแบบวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียว และการศึกษาในครั้งนี้ผ่านการรับรองจริยธรรมงานวิจัยในมนุษย์ของมหาวิทยาลัยพะเยา (UP-HEC 1.3/041/65) มีวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีการศึกษา 2565 จำนวน 205 คน กลุ่มตัวอย่างเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) เป็นนักเรียนที่มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ตั้งแต่ 25 กก./ม ขึ้นไป และมีสุขภาพร่างกายแข็งแรงไม่เป็นอุปสรรคต่อการออกกำลังกาย จำนวน 26 คน แบ่งเป็น นักเรียนชาย จำนวน 11 คน และนักเรียนหญิง จำนวน 15 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แอปพลิเคชันวิดีโอเกมแบบโต้ตอบ (Interactive video games) ในสมาร์ทโฟน ประกอบไปด้วยแอปพลิเคชันโฮมคอร์ด (Home courts) และแอปพลิเคชันฟิตฟอส (Fitforce) เป็นเกมที่ได้มีการนำเทคโนโลยี Interactive มาใช้ผ่านการตรวจจับการเคลื่อนไหวท่าทางต่าง ๆ ของผู้ร่วมกิจกรรม ใช้การขยับร่างกายโต้ตอบวิดีโอเกมให้ได้คะแนนสูงสุด เพื่อเก็บแต้มแล้วนำคะแนนขึ้นไปแสดงผลบนหน้าจอ โดยก่อนการเล่น ผู้เล่นเพียงนำสมาร์ทโฟนขึ้นมาสแกน QR Code บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อเชื่อมต่อระบบเข้าด้วยกัน จากนั้นจะมีเกมต่าง ๆ ปรากฏขึ้นมาให้เลือก ซึ่งในแต่ละเกมจะเน้นการออกกำลังกายเป็นส่วน ๆ

3. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียว จัดให้มีการทดสอบสมรรถภาพทางกายก่อนและหลังการทดลอง โดยใช้โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยวิดีโอเกมแบบโต้ตอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามหลักการ FITT ของ ACSM (American College of Sports and Medicine) และได้ผ่านการหาคุณภาพของโปรแกรมการฝึกด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีค่าเท่ากับ 0.96 และนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างโดยออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาในแต่ละวัน และกำหนดระดับความหนัก (Intensity) อยู่ที่ 60–75% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน คือวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ใช้เวลาวันละ 60 นาที เมื่อครบ 8 สัปดาห์ ทำการทดสอบสมรรถภาพทางกายของกลุ่มตัวอย่างหลังการเข้าร่วมโครงการเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อน–หลังการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบตามเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา (อายุ 13 – 18 ปี) จากสำนักงานวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา ปี พ.ศ.2562

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพทางกายของนักเรียนแต่ละรายการ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่อหาค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean : $\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation : S.D.) ทำการจำแนกระดับสมรรถภาพทางกายโดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานด้านสมรรถภาพทางกายของนักเรียน (ทั้งชายและหญิง) แต่ละรายการโดยใช้เกณฑ์อายุ 14 ปี จากนั้นแปลผลคะแนนเฉลี่ยของระดับสมรรถภาพของนักเรียนระหว่างก่อนกับหลังการเข้าร่วมกิจกรรมออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบ เพื่อสำรวจพัฒนาการด้านสุขภาพและสมรรถภาพทางกายของนักเรียน และนำผลคะแนนเฉลี่ยของระดับสมรรถภาพทางกายของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างหลังการเข้าร่วมกิจกรรมการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบไปเปรียบเทียบกับก่อนเข้าร่วมกิจกรรมโดยใช้การทดสอบค่าสถิติที (Paired samples t–test) และเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา (อายุ 13 – 18 ปี) จากสำนักงานวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา ปี พ.ศ.2562 และนำเสนอการผลการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปตารางประกอบความเรียง

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบต่อสมรรถภาพทางกายของนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา โดยอ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา (อายุ 13 – 18 ปี) จากสำนักงานวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา ปี พ.ศ. 2562 สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 57.69 และเป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 42.31 ร้อยละอายุของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุ 13–15 ปี คิดเป็นร้อยละ 34.62, 30.77 และ 34.62 ตามลำดับ

ข้อมูลผลการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายของกลุ่มตัวอย่าง ระหว่างก่อนและหลังการเข้าร่วมโครงการ การออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบต่อสมรรถภาพทางกายของนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 การทดสอบระดับสมรรถภาพทางกายของนักเรียนก่อนการเข้าร่วมโครงการการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบ

รายการทดสอบ	นักเรียนชาย (N=11)				t	P-Value
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ดัชนีมวลกาย	29.29	5.63	29.07	6.11	3.12	0.001*
นั่งงอตัวไปข้างหน้า	2.46	29.29	10.04	26.73	-6.44	<0.001*
ดันพื้นประยุกต์ 30 วินาที	12.09	6.89	26.55	10.07	-14.54	<0.001*
ลุกนั่ง 60 วินาที	28.55	34.87	39.45	25.67	-5.13	<0.001*
ยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที	135.73	334.82	159.64	97.25	-6.08	<0.001*

จากตารางที่ 1 พบว่า นักเรียนชายมีผลการทดสอบสมรรถภาพดัชนีมวลกาย นั่งงอตัวไปข้างหน้า ดันพื้นประยุกต์ 30 วินาที ลุกนั่ง 60 วินาที และยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที พบว่าสมรรถภาพทางกายโดยรวมหลังการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบทุกรายการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 2 การทดสอบระดับสมรรถภาพทางกายของนักเรียนหลังการเข้าร่วมโครงการการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบ

รายการทดสอบ	นักเรียนหญิง (N=15)					
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง		t	P-Value
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ดัชนีมวลกาย	27.51	7.02	26.77	6.72	6.81	<0.001*
นั่งงอตัวไปข้างหน้า	1.24	27.01	12.26	15.60	-15.36	<0.001*
ดันพื้นประยุกต์ 30 วินาที	11.60	6.54	25.67	9.52	-19.35	<0.001*
ลุกนั่ง 60 วินาที	20.67	22.52	31.73	29.21	-11.55	<0.001*
ยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที	123.47	154.84	150.80	182.74	-6.79	<0.001*

จากตารางที่ 2 พบว่า นักเรียนหญิงมีผลการทดสอบสมรรถภาพดัชนีมวลกาย นั่งงอตัวไปข้างหน้า ดันพื้นประยุกต์ 30 วินาที ลุกนั่ง 60 วินาที และยืนยกเข่าขึ้นลง 3 นาที พบว่าสมรรถภาพทางกายโดยรวมหลังการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบทุกรายการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษานักเรียนที่มีภาวะโภชนาการเกิน ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีการศึกษา 2565 ข้อมูลทั่วไป พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 57.69 และเป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 42.31 ตามลำดับ ร้อยละอายุของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุ 13-15 ปี คิดเป็นร้อยละ 34.62, 30.77 และ 34.62 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสรีระวิทยาอธิบายได้ว่า เนื่องจากเพศหญิงมีมวลกล้ามเนื้อน้อยกว่าเพศชาย ทำให้อัตราการเผาผลาญต่ำกว่าเพศชาย จึงทำให้เพศหญิงมีโอกาสที่จะเกิดภาวะโภชนาการเกินสูงกว่าเพศชาย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของวิชชุพร (2563) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อภาวะน้ำหนักเกินของบุคลากรสำนักส่งเสริมสุขภาพ ปีงบประมาณ 2564 พบว่า เพศหญิงมีภาวะน้ำหนักเกินมากกว่าเพศชายเช่นกัน คิดเป็นร้อยละ 71.43 ของบุคลากรที่มีภาวะน้ำหนักเกิน ในขณะที่เพศชาย คิดเป็นร้อยละ 28.57 ตามลำดับ

การเปรียบเทียบความแตกต่างระดับสมรรถภาพทางกายก่อนและหลังเข้าร่วมโครงการการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบ และทำการทดสอบสมมุติฐานด้วย Paired Samples t-test พบว่า นักเรียนมีสมรรถภาพทางกายเปลี่ยนแปลงดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ทั้งเพศชายและเพศหญิง ทั้งนี้เนื่องมาจากวิดีโอเกมแบบโต้ตอบเป็นการเคลื่อนไหวร่างกายเพื่อควบคุมตัวละครในเกม เป็นการส่งเสริมกิจกรรมทางกายและการโต้ตอบที่ดีขึ้นตลอดการเล่นเกมโดยกระตุ้นการเคลื่อนไหวร่างกายทั้งหมดผ่านแอปพลิเคชันของคอนโทรลเลอร์มือถือไร้สาย (Gao and et al., 2019) จึงส่งผลให้นักเรียนมีผลการทดสอบสมรรถภาพทางกายก่อนและหลังการฝึกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกรายการ ผลการวิจัยยังสอดคล้องกับผลการวิจัยของมนัสภูมิ (2565) ที่ได้ทดลองใช้เกมเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายของนักเรียนเพื่อศึกษาค่าดัชนีมวลกาย และเปรียบเทียบระดับสมรรถภาพทางกายของนักเรียน โดยใช้เกมสำหรับการออกกำลังกาย เก็บรวบรวมข้อมูลทดสอบสมรรถภาพทางกายก่อน-หลังการเล่นเกมโดยใช้แบบทดสอบสมรรถภาพทางกาย (ICSPFT) ผลการวิจัยพบว่า หลังการเล่นเกมนักเรียนมีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในระดับพอดี ผลการเปรียบเทียบสมรรถภาพ

ทางกายของนักเรียนชายและหญิงระหว่างก่อนกับหลังการทดลอง พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Santos and et all. (2021) ได้ศึกษาผลของการใช้ AVG (Active Video Games) ในเด็ก 30 คนและวัยรุ่น 4,728 คน อายุระหว่าง 6–19 ปี กลุ่มประชากรเป็นกลุ่มที่มีน้ำหนักเกินและเป็นโรคอ้วน การวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า การใช้ AVG (Active Video Games) ที่มีความถี่ 1–3 ครั้งต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 10–90 นาที ส่งผลให้สุขภาพจิตและสมรรถภาพทางกายดีขึ้น มีการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักและดัชนีมวลกายลดลงในเด็กและวัยรุ่น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับสรายุธ และคณะ (2561) ได้ทำการวิจัยเรื่อง ผลของการออกกำลังกายด้วยเกมเต้นนินเทนโดวี ผลการศึกษาวิจัย พบว่า น้ำหนักและดัชนีมวลกาย มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในกลุ่มที่ได้รับการออกกำลังกายด้วยเกมเต้นนินเทนโดวี

สรุปผลการวิจัย

หลังการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบ กลุ่มตัวอย่างมีสมรรถภาพทางกายดีขึ้นในด้าน องค์ประกอบของร่างกาย ความอ่อนตัว ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ และความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ทั้งเพศชาย และเพศหญิง ทำให้เห็นว่าการออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบ เป็นการออกกำลังกายที่มีความสนุกสนานและมีคะแนนแสดงหลังจากออกกำลังกายครบตามเวลาที่กำหนด ทำให้นักเรียนเห็นการพัฒนาขึ้นจากการเล่นเกมในครั้งที่ผ่านมา ซึ่งเป็นการสร้างแรงจูงใจให้เด็กนักเรียนอยากออกกำลังกายมากขึ้น และส่งผลดีต่อสมรรถภาพทางกายของนักเรียนด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะทำการศึกษาในนักเรียนกลุ่มปกติทั่วไป และกลุ่มช่วงอายุที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น
2. การออกกำลังกายโดยใช้วิดีโอเกมแบบโต้ตอบจำเป็นต้องเข้าถึงอินเตอร์เน็ต เพื่อเชื่อมต่อและเข้าไปเล่นเกมได้
3. มีการบันทึกกิจวัตรประจำวันในอาสาสมัครเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถระบุได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพที่เพิ่มขึ้นของนักเรียนที่ออกกำลังกายด้วยวิดีโอเกมแบบโต้ตอบมาจากโปรแกรมการออกกำลังกายที่ได้รับตลอดการฝึก เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนมีวิถีชีวิตที่มีสุขภาพดีขึ้นซึ่งนำไปสู่ประโยชน์ด้านองค์ประกอบของร่างกาย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

กองกิจกรรมทางกายเพื่อสุขภาพ กรมอนามัย กองโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค (2564). **รายงานผลการทบทวนผลกระทบจากการระบาดของโรคโควิด–19 ต่อการมีกิจกรรมทางกายเดือนตุลาคม 2564**.

มนัสภูมิ ศาสนศาสตร์. (2565). ผลการใช้เกมและเกมนำเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายของ นักเรียนโรงเรียนเอกชนสอนศาสนาอิสลามจังหวัดชายแดนภาคใต้. **วารสารชุมชนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา**, 16(1), 129–140.

มนตรี อารีย์. (2562). การศึกษาสมรรถภาพทางกายเพื่อสุขภาพของผู้เรียนที่เข้าร่วมกิจกรรมการ ออกกำลังกายโดยใช้เกมและเกมนำเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกาย. **วารสารศาสตร์การศึกษาและการพัฒนามนุษย์**, 3(2), 52–61.

วิชชุพร เกตุไหม. (2563). **ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อภาวะน้ำหนักเกินของบุคลากรสำนักส่งเสริมสุขภาพ ปีงบประมาณ 2564**. สำนักส่งเสริมสุขภาพ, 1–7.

ศิรินภา ใจเมือง. (2565). ผลการออกกำลังกายในรูปแบบเกมอินเตอร์แอคทีฟที่มีผลต่อสมรรถภาพ ทางกายของนักศึกษาจากการเรียนออนไลน์ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019**. Health Science Journal of Thailand**, 5(1), 18–24.

สรายุธ มงคล, ดลภา กังวานไชยสิน สุทธิดา, ปัสสาพันธ์ อัจฉรา แสงศรีจันทร์. (2561). **ผลของการออกกำลังกายด้วยเกมเต้นนินเทนโดวีต่อสมรรถภาพปอดของเพศหญิงสุขภาพดี**. คณะกายภาพบำบัด วิทยาลัยเซนต์หลุยส์ กรุงเทพฯ

สุพิตร สมาหิโต. (2541). **แบบทดสอบสมรรถภาพทางกาย KASETSART Youth Fitness Test**. พรานนกการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพละศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยว. (2562). **แบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายของนักเรียน ระดับมัธยมศึกษา (อายุ 13 – 18 ป)**. สำนักพิมพ์ ซันแพคเกจจิ้ง (2014) จำกัด, กรุงเทพฯ

Di Renzo, L., Gualtieri, P., Pivari, F. 2020. Eating habits and lifestyle changes during COVID–19 lockdown: an Italian survey. **Journal of Translational Medicine** 18, 229.

Gao, Z., Lee, J. E., Zeng, N., Pope, Z. C., Zhang, Y., & Li, X. (2019). Home–based exergaming on preschoolers' energy expenditure, cardiovascular fitness, body mass index and cognitive flexibility: a randomized controlled trial. **Journal of clinical medicine**, 8(10), 1745

Garces, C.P., Oliveira e Silva, L., Nunes, S.M. 2022. Effects of social distancing caused by the COVID–19 pandemic on physical activity level, sitting time, and binge eating: a comparison between overweight/obese and normal–weight adults. **Sport Sci Health** 18, 1505–1512.

Santos, I.K.D. and et all. Active Video Games for Improving Mental Health and Physical Fitness—An Alternative for Children and Adolescents during Social Isolation: An Overview. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 18, 1641.

การศึกษาประสิทธิภาพและผลของสารสกัดธรรมชาติเพื่อทดแทนทรายอะเบทในการควบคุมและป้องกันโรคไข้เลือดออกด้วยภูมิปัญญาไทย

Study on developing natural extracts to replace Abate sand in controlling and preventing dengue fever using Thai wisdom

ยุวพา ไวนุแก้ว[1], อินทิรา อินทรา[1], ศศิวิมล ถาวรสุข[1], ปิยะพงษ์ ยงเพชร[2] และ เทอดเกียรติ แก้วพวง[3*]
Yuwapa Wainukaeo[1], Intira Intra[1], Sasiwimol Thawronsuk[1], Piyaphong Yongphet[2] and Teadkait Kaewpuang[3*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาประสิทธิภาพและผลของสารสกัดธรรมชาติ เพื่อทดแทนทรายอะเบทในการกำจัดลูกน้ำยุงลาย ผลจากการศึกษาวิจัย พบว่า น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์สามารถลดการเจริญเติบโตและกำจัดลูกน้ำยุงลายได้จากคุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์นั้นมีคุณสมบัติสารเคมีที่ช่วยสร้างสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของลูกน้ำยุงลายเช่นเดียวกับทรายอะเบท การใช้น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์กำจัดลูกน้ำยุงลายในอัตราส่วน 30 mL ต่อน้ำ 1000 mL สามารถกำจัดลูกยุงลายได้ร้อยละ 100 รองลงมาคืออัตราส่วน 15 mL ต่อน้ำ 1000 mL สามารถกำจัดลูกยุงลายได้ร้อยละ 66.67 และสุดท้ายคืออัตราส่วน 5 mL ต่อน้ำ 1000 mL สามารถกำจัดลูกยุงลายได้ร้อยละ 53.33 เมื่อเทียบกับการใช้ทรายอะเบทในการกำจัดลูกยุงลายในอัตราส่วน 1 กรัม ต่อน้ำ 1000 mL สามารถกำจัดลูกยุงลายได้ร้อยละ 83.33 ผลจากการทดลองทั้ง 3 ชุดนั้น พบว่า ลักษณะของลูกน้ำยุงลายนั้นมีลักษณะที่มีการว่ายน้ำที่ช้าลงหรืออ่อนแอลง ไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นตัวโม่งในระยะต่อไปได้ดังนั้นน้ำส้มควันไม้อาจพัฒนาเป็นสารทดแทนทรายอะเบทที่ช่วยสร้างสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของลูกน้ำยุงลาย

คำสำคัญ: ไข้เลือดออก, ทรายอะเบท, สารสกัดธรรมชาติ, น้ำส้มควันไม้, ภูมิปัญญาไทย

[1] สาขาสาธารณสุขศาสตร์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180
[2] สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180
[3] สาขาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180
[1] Department of Public Health, Faculty of Public Health, Valaya Alongkorn Rajabhat University under royal patronage, Pathum Thani, 13180
[2] Department of Environmental Science, Faculty of Science, Valaya Alongkorn Rajabhat University under royal patronage, Pathum Thani, 13180
[3] Department of Technology Management, Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under royal patronage, Pathum Thani, 13180
* Corresponding author: teadkait@vru.ac.th, tkaewpuang@gmail.com

Abstract

This research aims to study the efficiency and effects of natural extracts. To replace Abate sand in eliminating mosquito larvae. The results of the research study found that pure distilled wood vinegar can reduce the growth and eliminate Aedes mosquito larvae from the properties of pure distilled wood vinegar. It has chemical properties that help create conditions that are not suitable for growth. Growth of mosquito larvae. It possesses chemical characteristics that contribute to the development of unfavorable environmental circumstances. Mosquito larvae grow in a manner akin to that of Abate sand. Aedes mosquito larvae can be completely eradicated with pure distilled wood vinegar at a ratio of 30 mL per 1000 mL of water, and they can also be completely eradicated at a ratio of 15 mL per 1000 mL of water. Finally, a ratio of 5 mL per 1000 mL of water may kill 53.33% of Aedes mosquitoes, compared to a ratio of 1 gram per 1000 mL of water when using Abate sand, which can kill 83.33% of Aedes mosquitoes. According to the findings of all three sets of trials, the Aedes mosquito larvae have inferior or slower swimming abilities. It is unable to develop into the subsequent mosquito larval stage. As a result, wood vinegar might be created as a replacement for Abate sand, which fosters unfavorable conditions for the development of Aedes mosquito larvae.

Keywords: Dengue fever, Abate sand, Natural extracts, Wood vinegar, Thai wisdom

บทนำ

ปัจจุบันโรคไข้เลือดออกเป็นปัญหาที่สำคัญและทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ โดยปี 2563 มีผู้ป่วยไข้เลือดออก 10,093 ราย และเสียชีวิต 9 ราย [1] และในปี 2566 ประเทศไทยต้องเผชิญสถานการณ์ ไข้เลือดออกที่ระบาดอย่างรุนแรง จากรายงานกระทรวงสาธารณสุขระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน 2566 พบว่า มีผู้ป่วยแล้ว 19,503 ราย อัตราผู้ป่วยคิดเป็น 29.47ต่อหนึ่งแสนประชากรซึ่งมากกว่าปี 2565 ในช่วงเวลาเดียวกันถึง 3.8 เท่า ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตจากไข้เลือดออก 17 ราย โดยสาเหตุของการเกิดไข้เลือดออกมาจากยุงลายที่เป็นพาหะนำเชื้อไวรัสที่ชื่อว่า Dengue Hemorrhagic Fever (DHF) เชื้อเดงกี่ เป็น RNA virus จัดอยู่ใน Family Flaviviridae จำแนกได้ 4 ชนิด คือ DEN–1, DEN–2, DEN–3 และ DEN–4 ที่มี Antigen ที่ทำให้เกิดการ cross reaction และ cross protection ได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ ก็สามารถเกิดการติดเชื้อและจะมีภูมิคุ้มกันตลอดชีวิต (permanent immunity) แต่จะมีภูมิคุ้มกันต่อเชื้อไวรัสเดงกี่อีก 3 ชนิดในช่วงเวลาสั้น ๆ [3] ผลดังกล่าวส่งผลต่อสถานการณ์ โรคไข้เลือดออกในปี 2563 จากรายงานของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสระแก้ว ด้วยเหตุผลดังกล่าวสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสระแก้ว ได้ให้นโยบายการดำเนินงานในการทำลายและป้องการยุงลายด้วยวิธีการทำลายแหล่งเพาะพันธุ์ยุงลาย และสนับสนุนวัสดุทรายอะเบทเพื่อทำลายแหล่งเพาะพันธุ์ ซึ่งใช้งบประมาณมากกว่า 5 ล้านบาทต่อปี [2] โดยทรายอะเบทเป็นทรายที่เคลือบด้วยสารเคมีสังเคราะห์ในกลุ่มออกาโนฟอสเฟส (organophosphate) ซึ่งสารกลุ่มนี้ส่งผลต่อระบบประสาทของแมลงจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cholinesterase ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถไปย่อยสลายสารสื่อประสาท acetycholine ทำให้เกิดการสะสมของ acetycholine และมีผลทำให้แมลงตายในที่สุด [4] กระทรวงสาธารณสุขได้นำมาช่วยในการกำจัดลูกยุงลายตามบ้านเรือนแหล่งน้ำท่วมขังเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงลาย จากการศึกษาวิจัย พบว่ากลุ่มสารออกาโนฟอสเฟสมีความปลอดภัยต่อคนและสัตว์ โดยสารเคมีจะมีปริมาณ มีสารเคมีเทมีฟอส 1 ส่วนต่อน้ำ 1 ล้านส่วน เป็นปริมาณที่น้อยมาก จึงสามารถใส่ทรายอะเบทได้ทั้งในน้ำดื่ม และน้ำใช้ องค์การอนามัยโลกได้แนะนำให้ใช้ทรายอะเบทใส่ในแหล่งน้ำ เพื่อจัดลูกน้ำยุงลายเพื่อเป็นการป้องกันการแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออก [12] แต่ปัจจุบัน พบว่า ทรายอะเบทมีการจำหน่ายในหน่วยงานสาธารณสุขและจำหน่ายตามตลาดทั่วไป ส่งผลต่อมาตรฐาน

ของทรายอะเบทที่ไม่เท่ากันทำให้ยุงเกิดการดื้อต่อสารเคมี อีกทั้งยังมีผู้ที่เกิดอาการแพ้และเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจของผู้บริโภคและสัตว์ จึงมีนักวิจัยได้ศึกษาการนำพืชสมุนไพรมาใช้ในการกำจัดลูกน้ำยุงลาย อาทิเช่น เมล็ดน้อยหน่า [6] ใบสาบเสื้อ [5] เมล็ดละหุ่ง [9] เป็นต้น

ผลจากการศึกษางานวิจัยและทรัพยากรในพื้นที่จังหวัดสระแก้วพบน้ำส้มควันไม้ดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านมีองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ acetic acid (47.36%) สารประกอบ phenolic compounds (18.96%) และในสาร tar มี pentanoic acid (90.29%) เป็นองค์ประกอบ [10] น้ำส้มควันไม้ หรือ กรดไพโรลิกเนียส (อังกฤษ: pyroligneous acid) เป็นของเหลวใสสีน้ำตาล มีกลิ่นควันไฟ ได้จากการควบแน่นของควันที่เกิดจากการเผาไม้ให้กลายเป็นถ่านในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด โดยมีอุณหภูมิในเตาอยู่ระหว่าง 300 – 400 องศาเซลเซียส อุณหภูมิปากปล่องระหว่าง 80 – 150 องศาเซลเซียส สารประกอบต่างๆ ในไม้จะสลายด้วยความร้อนเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ เมื่อนำของเหลวที่ได้จากการควบแน่นมาเก็บในที่ร่มประมาณ 3 เดือน เพื่อให้เกิดการตกตะกอน ประโยชน์ของน้ำส้มควันไม้ด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ ใช้ผลิตสารดับกลิ่นตัว สารปรับผิวนุ่ม อุตสาหกรรมอาหารรมควัน อุตสาหกรรมย้อมผ้าและยารักษาโรคผิวหนัง ด้านครัวเรือน เช่น ใช้รักษาแผลสด แผลถูกน้ำร้อน และไฟลวก รักษาโรคน้ำกัดเท้าและเชื้อราที่ผิวหนัง ราดทำลายปลวกและมด ป้องกันสัตว์ต่าง ๆ จากคุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้ที่เป็นสารจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติทางเคมีและประโยชน์ที่หลากหลายดังกล่าว

ดังนั้น คณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพและฤทธิ์ของน้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการกลั่นที่สามารถออกฤทธิ์ในการกำจัดลูกลูกยุงลายตามบ้านเรือนและพื้นที่น้ำท่วมขังเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาทดแทนผลิตภัณฑ์ทรายอะเบทในการควบคุมลูกน้ำยุงลายบ้านลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดยุงลายต่อไป

วิธีวิจัยเชิงทดลอง

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

- ชุดกลั่นน้ำส้มควันไม้แบบลดความดัน จำนวน 1 ชุด
- น้ำส้มควันไม้ดิบ จำนวน 2 ลิตร
- ขวดน้ำพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร จำนวน 11 ใบ
- Syringe ขนาด 5 mL, 15 mL และ 30 mL อย่างละ 1 ชิ้น
- กระบอกตวงขนาด 1000 mL
- ทรายอะเบท จำนวน 1 กรัม
- น้ำเปล่า จำนวน 13 ลิตร

กรอบแนวคิดการวิจัยเชิงทดลอง

- ศึกษาทบทวนงานวิจัยการที่เกี่ยวข้อง
- ศึกษาคุณสมบัติน้ำส้มควันไม้
  ตัวแปรต้น : ปริมาณน้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์
  ตัวแปรตาม : จำนวนลูกยุงลายที่เหลือรอด
  ตัวแปรควบคุม : จำนวนและชนิดของลูกยุงลาย, น้ำเปล่า, พื้นที่ทดลอง
- ศึกษางานวิจัยการเจริญเติบโตลูกน้ำยุงลาย

→

- ทดลองการกำจัดลูกยุงลายด้วยน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์
- วิเคราะห์แนวทางการพัฒนาต่อยอดสู่สารทดแทนทรายอะเบท

ระเบียบวิธีการศึกษาวิจัย

1. การเตรียมน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์

เริ่มจากการนำชุดกลั่นน้ำส้มควันไม้แบบลดความดันตั้งบนเตาไฟหรือเตาแก๊สเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน จากนั้นเติมน้ำส้มควันไม้ดิบลงในชุดกลั่น ทำให้ติดไฟให้ความร้อน หลังจากนั้นเปิดระบบควบแน่นและลดความดันของชุดกลั่น ทิ้งระยะเวลา 1–2 ชั่วโมง จะได้น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ไม่มีสารทาร์พร้อมใช้งานได้ทันที

2. การเพาะเลี้ยงยุง

ลูกน้ำยุงที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ลูกน้ำยุงลายบ้าน (Ae. aegypti) ระยะที่ 3 การเพาะเลี้ยงยุงทำโดยนำไข่ยุงลายบ้าน โดยเพาะเลี้ยงในระบบเปิด โดยการเลี้ยงยุงลายบ้านจะเริ่มจากการนำแผ่นกระดาษที่มีไข่ยุงไปแช่น้ำประปาในถาดพลาสติก ใช้เวลา 1–2 วัน ไข่จะฟักเป็นลูกน้ำ จากนั้นจะทำการแยกเลี้ยงลูกน้ำ ลูกน้ำจะได้รับอาหารประมาณ 7–8 วัน ลูกน้ำจะเข้าสู่ระยะตัวโม่ง ผู้วิจัยจะคัดเลือกใช้ตัวโม่งอายุ 3–4 วัน มีลักษณะเป็นรูปตัว S แข็งแรงเคลื่อนที่ตลอดเวลามาทำการทดลอง

3. ชุดตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดที่ 1 ชุดควบคุม

ควบคุมที่ 1 ประกอบด้วย น้ำเปล่า + ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว จำนวน 1 ใบ

ควบคุมที่ 2 ประกอบด้วย น้ำเปล่า + ทรายอะเบท 1 กรัม + ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว จำนวน 1 ใบ

ชุดที่ 2 ชุดทดลอง

ทดลองที่ 1 ประกอบด้วย น้ำเปล่า + น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ 5 mL + ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว จำนวน 3 ใบ

ทดลองที่ 2 ประกอบด้วย น้ำเปล่า + น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ 15 mL + ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว จำนวน 3 ใบ

ทดลองที่ 3 ประกอบด้วย น้ำเปล่า + น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ 30 mL + ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว จำนวน 3 ใบ

4. นำชุดการทดลองที่เตรียมปิดฝาให้สนิท นำไปเก็บไว้ในที่พ้นจากแสงแสด อากาศชื้น มืด หรือในห้องน้ำ

5. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

6. วัดค่า pH ของน้ำ

7. สรุปผลการทดลอง



คัดเลือกลูกน้ำยุงลาย วัสดุอุปกรณ์ทดลอง น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ ทดลอง ตรวจสอบค่า pH

ภาพที่ 1 กระบวนการทดลองการกำจัดลูกน้ำยุงลายด้วยน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์

ผลการศึกษา

ผลการทดลองการใช้น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ในการกำจัดลูกน้ำยุงลายเพื่อทดแทนการใช้ทรายอะเบท รายละเอียดสรุปได้ดังต่อไปนี้

ผลการทดลองของชุดควบคุมที่ 1 ประกอบด้วย น้ำเปล่า และลูกน้ำยุงลาย พบว่า อัตราการรอดชีวิตของลูกน้ำยุงลายเฉลี่ย 7.67 ตัว ลักษณะสามารถว่ายน้ำได้ปกติมีสุขภาพแข็งแรงและสามารถพัฒนาสู่ตัวโม่งในระยะถัดไปของการเจริญเติบโต โดคุณสมบัติของน้ำมีค่า pH เฉลี่ยที่ 7.35 เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต และสีของน้ำก็ใสเป็นปกติ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองของชุดที่ 1 ชุดควบคุมที่ 1 ประกอบด้วย น้ำเปล่า และลูกน้ำยุงลาย

ชุด	**ควบคุมที่ 1 น้ำเปล่า +ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว**				
	อัตราการรอดชีวิต			**ลักษณะลูกน้ำยุงลาย**	**ลักษณะสีของน้ำ**
	ขวดที่ 1	**ขวดที่ 2**	**ขวดที่ 3**		
วันที่ 1	10	10	10	ว่ายเร็ว	ใส
วันที่ 2	10	10	10	ว่ายเร็ว	ใส
วันที่ 3	10	10	10	ว่ายเร็ว	ใส
วันที่ 4	10	10	10	ว่ายเร็ว	ใส
วันที่ 5	10	10	9	ว่ายเร็ว/โต	ใส
วันที่ 6	8	8	8	ว่ายเร็ว/โต	ใส
วันที่ 7	8	8	7	ว่ายเร็ว/โต	ใส
เฉลี่ย		**7.67**			
ค่า pH	7.44	7.44	7.18		
เฉลี่ย		**7.35**			

ผลการทดลองของชุดควบคุมที่ 2 ประกอบด้วย น้ำเปล่า ทรายอะเบท และลูกน้ำยุงลายพบว่า อัตราการรอดชีวิตของลูกน้ำยุงลายเฉลี่ย 1.67 ตัว ลักษณะสามารถว่ายน้ำได้ปกติช่วงแรก 2 วันแรก มีสุขภาพแข็งแรงและวันที่ 3 ลูกน้ำยุงลายมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงเนื่องจากทรายอะเบทมีค่า pH เฉลี่ยที่ 6.34 ซึ่งเป็นสภาวะความเป็นกรดเล็กน้อยส่งผลให้ลูกน้ำยุงลายไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ผลการทดลองสามารถแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองของชุดที่ 1 ชุดควบคุมที่ 2 ประกอบด้วย น้ำเปล่า ทรายอะเบท และลูกน้ำยุงลาย

ชุด	ควบคุมที่ 1 น้ำเปล่า +ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว				
	อัตราการรอดชีวิต			ลักษณะ	ลักษณะสีของน้ำ
	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	ขวดที่ 3		
วันที่ 1	10	10	10	ว่ายเร็ว	ใส
วันที่ 2	10	10	10	ว่ายเร็ว	ใส
วันที่ 3	8	8	9	ว่ายเร็ว	ใส
วันที่ 4	7	7	8	ว่ายช้า	ใส
วันที่ 5	6	5	6	ว่ายช้า/โต	ใส
วันที่ 6	3	4	3	ว่ายช้า/โต	ใส
วันที่ 7	2	2	1	ว่ายช้า/โต	ใส
เฉลี่ย		1.67			
ค่า pH	6.36	6.32	6.36		
เฉลี่ย		6.34			

ผลการทดลองของชุดที่ 2 ชุดทดลองที่ 1 ประกอบด้วย น้ำเปล่า น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ และลูกน้ำยุงลาย พบว่า อัตราการรอดชีวิตของลูกน้ำยุงลายเฉลี่ย 4.67 ตัว ลักษณะสามารถว่ายน้ำได้ปกติช่วงแรก 2 วันแรก มีสุขภาพแข็งแรงและวันที่ 3 –6 ลูกน้ำยุงลายลักษณะการว่ายที่ช้าลงอาจเนื่องจากน้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์มีค่า pH เฉลี่ยที่ 4.53 ซึ่งเป็นสภาวะความเป็นกรดที่แรงมากขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ทรายอะเบท แต่อัตราการรอดชีวิตของลูกน้ำยุงลายนั้นมีมากกว่าการใช้ทรายอะเบท อาจเป็นผลเนื่องจากความเข้มข้นน้ำส้มควันไม้ ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองของชุดที่ 2 ชุดทดลองที่ 1 ประกอบด้วย น้ำเปล่า น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ และลูกน้ำยุงลาย

ชุด	ทดลองที่ 1 ประกอบด้วย น้ำเปล่า + น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ 5 mL + ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว				
	อัตราการรอดชีวิต			ลักษณะ	ลักษณะสีของน้ำ
	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	ขวดที่ 3		
วันที่ 1	10	10	10	ว่ายเร็ว	เหลืองจาง
วันที่ 2	10	10	10	ว่ายเร็ว	เหลืองจาง
วันที่ 3	10	10	10	ว่ายช้าลง	เหลืองจาง
วันที่ 4	8	6	6	ว่ายช้าลง	เหลืองจาง
วันที่ 5	8	6	6	ว่ายช้าลง	เหลืองจาง
วันที่ 6	8	6	6	ว่ายช้าลง	เหลืองจาง
วันที่ 7	6	4	4	ว่ายช้าลง/โตตัวโม่ง	เหลืองจาง
เฉลี่ย		4.67			

ชุด	ทดลองที่ 1 ประกอบด้วย น้ำเปล่า + น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ 5 mL + ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว				
	อัตราการรอดชีวิต			ลักษณะ	ลักษณะสีของน้ำ
	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	ขวดที่ 3		
ค่า pH	4.53	4.56	4.50		
เฉลี่ย		4.53			

ผลการทดลองของชุดที่ 2 ชุดทดลองที่ 2 ประกอบด้วย น้ำเปล่า น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ และลูกน้ำยุงลาย พบว่า อัตราการรอดชีวิตของลูกน้ำยุงลายเฉลี่ย 3.33 ตัว ลักษณะสามารถว่ายน้ำได้ปกติช่วงแรก 2 วันแรก มีสุขภาพแข็งแรงและวันที่ 3 –6 ลูกน้ำยุงลายลักษณะการว่ายที่ช้าลงอาจเนื่องจากน้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์มีค่า pH เฉลี่ยที่ 4.21 ซึ่งเป็นสภาวะความเป็นกรดที่แรงมากขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ทรายอะเบท แต่อัตราการรอดชีวิตของลูกน้ำยุงลายนั้นลดน้อยลงอาจเป็นผลสืบเนื่องผลจากความเข้มข้นของสารที่อยู่ในน้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์ ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองของชุดที่ 2 ชุดทดลองที่ 2 ประกอบด้วย น้ำเปล่า น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ และลูกน้ำยุงลาย

ชุด	ทดลองที่ 2 ประกอบด้วย น้ำเปล่า + น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ 15 mL + ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว				
	อัตราการรอดชีวิต			ลักษณะ	ลักษณะสีของน้ำ
	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	ขวดที่ 3		
วันที่ 1	10	10	10	ว่ายเร็ว	เหลือง
วันที่ 2	6	6	7	ว่ายเร็ว	เหลือง
วันที่ 3	6	7	5	ว่ายช้าลง	เหลือง
วันที่ 4	5	6	4	ว่ายช้าลง	เหลือง
วันที่ 5	5	5	4	ว่ายช้าลง	เหลือง
วันที่ 6	5	5	3	ว่ายช้าลง	เหลือง
วันที่ 7	4	4	2	ว่ายช้าลง/โตตัวโม่ง	เหลือง
เฉลี่ย		3.33			
ค่า pH	4.20	4.25	4.18		
เฉลี่ย		4.21			

ผลการทดลองของชุดที่ 2 ชุดทดลองที่ 3 ประกอบด้วย น้ำเปล่า น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ และลูกน้ำยุงลาย พบว่า อัตราการรอดชีวิตของลูกน้ำยุงลายเฉลี่ย 0 ตัว ลักษณะสามารถว่ายน้ำได้ปกติช่วงแรก 1 วันแรก มีสุขภาพแข็งแรงและวันที่ 2 –6 ลูกน้ำยุงลายลักษณะการว่ายที่ช้าลงและอาจเนื่องจากน้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์มีค่า pH เฉลี่ยที่ 4.15 ซึ่งเป็นสภาวะความเป็นกรดที่แรงมากขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ทรายอะเบท และอัตราการรอดชีวิตของลูกน้ำยุงลายนั้นมีค่าเท่ากับ 0 อาจเป็นผลที่มาจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารที่อยู่ในน้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์ ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองของชุดที่ 2 ชุดทดลองที่ 3 ประกอบด้วย น้ำเปล่า น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ และลูกน้ำยุงลาย

ชุด	**ทดลองที่ 3 ประกอบด้วย น้ำเปล่า + น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ 30 mL + ลูกน้ำยุงลาย จำนวน 10 ตัว**				
	อัตราการรอดชีวิต			**ลักษณะ**	**ลักษณะสีของน้ำ**
	ขวดที่ 1	**ขวดที่ 2**	**ขวดที่ 3**		
วันที่ 1	10	10	10	ว่ายเร็ว	เหลืองเข้ม
วันที่ 2	10	10	8	ว่ายช้าลง	เหลืองเข้ม
วันที่ 3	0	0	0	–	เหลืองเข้ม
วันที่ 4	0	0	0	–	เหลืองเข้ม
วันที่ 5	0	0	0	–	เหลืองเข้ม
วันที่ 6	0	0	0	–	เหลืองเข้ม
วันที่ 7	0	0	0	–	เหลืองเข้ม
เฉลี่ย		**0**			
ค่า pH	4.20	4.25	4.18		
เฉลี่ย		**4.15**			

ผลจากการทดลองการศึกษาน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์เพื่อทดแทนการใช้ทรายอะเบท พบว่า น้ำส้มควันไม้สามารถยับยั้งและกำจัดลูกน้ำยุงลายได้ เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ 5 mL 15 mL และ 30 mL ตามลำดับ ส่งผลให้ลูกน้ำยุงลายไม่สามารถเจริญเติบโตและตายลงในสภาวะค่า pH อยู่ในช่วง 4.15 – 4.53 มีความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้น มากกว่าการใช้ทรายอะเบทและพบผลข้างเคียงของการเพิ่มปริมาณน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธินั้นทำให้สีของน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะสีเหลืองที่เข้มขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 6 สรุปผลการทดลองการใช้น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์กำจัดลูกน้ำยุงลาย

ชุดที่		อัตรารอดชีวิตเฉลี่ยลูกน้ำยุงลาย (ตัว)	คิดเป็นร้อยละ	ค่า pH เฉลี่ย	ลักษณะสีของน้ำ
ควบคุม	1	7.67	76.70	7.35	ใสไม่มีสี
ควบคุม	2	1.67	16.67	6.34	ใสไม่มีสี
ทดลอง	1	4.67	46.67	4.53	เหลืองจาง
ทดลอง	2	3.33	33.33	4.21	เหลือง
ทดลอง	3	0	0.00	4.15	เหลืองเข้ม

จากตารางที่ 6 สามารถสรุปได้ว่า การใช้น้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์กำจัดลูกน้ำยุงลายในอัตราส่วน 30 mL ต่อน้ำ 1000 mL สามารถกำจัดลูกยุงลายได้ร้อยละ 100 รองลงมาคืออัตราส่วน 15 mL ต่อน้ำ 1000 mL สามารถกำจัดลูกยุงลายได้ร้อยละ 66.67 และสุดท้ายคืออัตราส่วน 5 mL ต่อน้ำ 1000 mL สามารถกำจัดลูกยุงลายได้ร้อยละ 53.33 เมื่อเทียบกับการใช้ทรายอะเบทในการกำจัดลูกยุงลายในอัตราส่วน 1 กรัม ต่อน้ำ 1000 mL สามารถกำจัดลูกยุงลายได้ร้อยละ 83.33 นอกจากนี้ผลจากการทดลองทั้ง 3 ชุดนั้น พบว่า ลักษณะของลูกน้ำยุงลายนั้นมีลักษณะที่มีการว่ายน้ำที่ช้าลงหรืออ่อนแอลง ไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นตัวโม่งในระยะต่อไปได้ แต่ยังพบปัญหาของสีน้ำที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองตามลักษณะน้ำส้มควันไม้

อภิปรายและสรุปผล

ผลจากการทดลองประสิทธิภาพการใช้สารสกัดจากธรรมชาติเพื่อให้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของลูกน้ำยุงลาย พบว่า การใช้สารสกัดจากธรรมชาติน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์นั้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของน้ำ จากเดิม pH น้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.35 เมื่อการเติมสารสกัดจากธรรมชาติน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ลงไปแล้วส่งผลให้ pH ของน้ำนั้นลดลงอยู่ระหว่าง 4.15 – 4.53 ซึ่งมีความเป็นกรดทำให้สภาพของน้ำนั้นไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของลูกน้ำ ผลการทดลองเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่า สารสกัดจากธรรมชาติน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์ สามารถลดการเจริญเติบโตและกำจัดลูกน้ำยุงลายได้ในอัตราส่วน 30 mL ต่อน้ำ 1000 mL สามารถกำจัดลูกยุงลายได้ร้อยละ 100 ดีกว่าการใช้ทรายอะเบทเมื่อเทียบกับระยะเวลาในการทำการทดลอง เบื้องต้นคุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์นั้นมีคุณสมบัติสารเคมีที่ช่วยสร้างสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของลูกน้ำยุงลายเช่นเดียวกับทรายอะเบท แต่ยังพบปัญหาลักษณะสีของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมของคุณสมบัติของน้ำหลังจากเติมน้ำส้มควันไม้กลั่นบริสุทธิ์สามารถใช้ได้ตามปกติหรือไม่ และมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับงานวิจัย(ธำรงค์ ผลชีวิน และคณะ, 2559) ในการศึกษาฤทธิ์คงทนของทรายอะเบทในการควบคุมลูกน้ำยังลายบ้าน Aedes aegypti ที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 6–7 สามารถฆ่าลูกน้ำยุงลายได้ 100% และสอดรับกับงานวิจัย (ฉัตรลดา หงษ์วิลัย และคณะ, 2563) การใช้สารสกัดจากเปลือกสดและเปลือกแห้งสะแกนาที่ได้จากธรรมชาติที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของลูกน้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่เปิดโอกาสให้ผู้ที่ทำงาน ขาดโอกาสและอำนวยความสะดวกให้ได้เข้าศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น ขอบคุณอาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ สระแก้ว ที่อนุเคราะห์สละเวลาทุ่มเทในการสอนนอกสถานที่ตั้งอีกทั้งร่วมกิจกรรมถ่ายทอดองค์ความรู้และประสบการณ์จนทำให้ผลงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กองโรคติดต่อนำโดยแมลง กระทรวงสาธารณสุข. (2563). สถานการณ์โรคไข้เลือดออก ปี 2563. สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2563 จาก URL: http://www.http://phanhospital.go.th/.
2. กลุ่มงานควบคุมโรคติดต่อ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสระแก้ว. (2566). สถานการณ์โรคไข้เลือดออก ปี 2566. สืบค้นเมื่อ 28 กันยายน 2566. จาก URL: http://www.sko. moph.go.th
3. ฉัตรลดา หงษ์วิลัย และคณะ. (2563). ฤทธิ์ในการกำจัดลูกน้ำยุงลายบ้านและยุงรำคาญของสารสกัดจากเปลือกสะแกนา. วารสารหมอยาไทยวิจัย ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2563)
4. ธำรงค์ ผลชีวิน, สุนัยนา สท้านไตรภพ, อำนาจ บุญเครือพันธุ์ และสมชาย แสงกิจพร.(2559) การศึกษาฤทธิ์คงทนของทรายอะเบทในการควบคุมลูกน้ำายุงลายบ้าน Aedes aegypti ในสภาพธรรมชาติและกึ่งจำาลองธรรมชาติ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ปีที่ 58 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม – กันยายน 2559.
5. สำนักงานควบคุมโรคไข้เลือดออก กรมควบคุมโรคติดต่อ กระทรวงสาธารณสุข.โรคไข้เลือดออก ฉบับประเกียรณก ;2544.
6. สุธรรม อารีกุล. บทปฏิบัติการกีฏวิทยาและโรคพืช. กรุงเทพฯ : บูรพาศิลป์การพิมพ์; 2010.
7. ศรีสุดา หาญภาคภูมิ และคณะ. (2560). ฤทธิ์การกำจัดลูกน้ำยุงและการไล่ยุงของสารสกัดหยาบและน้ำมันหอมระเหยสาบเสือต่อยุงลายบ้าน ยุงรำคาญ และยุงก้นปล่อง. SDU research journal, 10(3),129–157.
8. นิดา นันทกรปรีดา และคณะ. (2560). ฤทธิ์ฆ่าลูกน้ำยุงลายบ้าน (Aedes aegypti) ของสารสกัดเมล็ดน้อยหน่า (Annona squamosa) ที่หมักด้วยน้ำส้มควันไม้. PSRU journal of science and technology, 2(3), 33–40.
9. Bureau of Vector Borne Disease, Department of Disease Control, Ministry of Public Health. An Annual report of dengue cases 2015, Thailand. [online]. 2015 [cited 2015 Dec 31]; Available from URL: http://www.thaivbd.org/n/home.
10. Hassan AA, Salmah MRC, Ngumbang J, Ramli SA, El-badri AM. Mosquitoes of urban areas of Penang abundance and control. Proceedings of the fifth international conference on urban pests. 2005; 257–263.
11. Nisha Sogan, Neera Kapoor, Himmat Singh, Smriti Kala, A. Nayak and B.N. Nagpal. (2018). Larvicidal activity of Ricinus communis extract against mosquitoes. Journal of Vector Borne Diseases, 55, 282–290.
12. Prianto A H, Yulizar Y, Budiawan and Simanjuntak P. (2020). Chemical characterization of wood vinegar from acacia barks. The 7th Symposium of JAPAN–ASEAN Science Technology Innovation Platform (JASTIP), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 591 (2020) 012012.

การคัดกรองหาฤทธิ์ต้านเชื้อเกลื้อน (*Malassezia*) ของสารสกัดพืชสกุลเทียนในประเทศไทย

Screening Anti–*Malassezia* activity of extracts from genus *Impatiens* in Thailand

ณัฐดนัย นันต๊ะสาร[1*], ณัจฉรียา ต๋าต๊ะ[1], จักรินทร์ ศรีวิไล[2], ปิยเกษตร สุขสถาน[3] และ วีรพงษ์ จันทะชัย[1]
Natdanai Nantahsan[1*], Nuchareeya Tata[1], Jukkarin Srivilai[2], Piyakaset Suksathan[3] and Weerapong Juntachai[1]

บทคัดย่อ

เชื้อเกลื้อน (*Malassezia*) เป็นยีสต์ชอบไขมันที่พบบนผิวหนังของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น และเป็นสาเหตุของโรคผิวหนังหลายชนิด เช่น เกลื้อน และ รังแค ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดกรองหาฤทธิ์ต้านเชื้อเกลื้อนของสารสกัดพืชตระกูลเทียนที่พบในประเทศไทย 25 สปีชีส์ ต่อเชื้อ *M. furfur* จำนวนทั้งสิ้น 5 ไอโซเลทด้วยวิธี agar disc diffusion พบว่าสารสกัดเอทานอลของ *Impatiens balsamina* และ *I. drepanophora* มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อเกลื้อนได้ จึงเลือก *I. balsamina* ไปทดสอบในตัวทำละลายชนิดอื่นต่อ ซึ่งสารสกัดเฮกเซนและเอทิลอะซิเตทให้ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อได้ดีที่สุด โดยไม่ต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อของสารสกัดเฮกเซน พบว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งเชื้อ (MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อ (MFC) คือ 0.25–0.5 mg/ml และ 0.5–2 mg/ml ตามลำดับ สปีชีส์เทียนที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อเกลื้อนนี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อประโยชน์ในทางการรักษาและผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: พืชสกุลเทียน, เชื้อเกลื้อน, การยับยั้งเชื้อรา, สารสกัดหยาบ

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50180
[2] คณะเภสัชศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
[3] สวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ เชียงใหม่ 50180
[1] Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50180
[2] School of Pharmaceutical Sciences, University of Phayao, Phayao, 56000
[3] Queen Sirikit Botanic Garden, Chiang Mai, 50180
* Corresponding author: nasdanai44@gmail.com

Abstract

Malassezia is a cutaneous lipophilic fungus found on human and warm-blooded animal skin. The fungus is also responsible for several skin diseases, such as pityriasis and dandruff. This study aimed to screen for anti-*Malassezia* activity among crude extracts obtained from 25 species of Impatiens in Thailand against five strains of *M. furfur* using agar disc diffusion method. The results revealed that *I. balsamina* and *I. drepanophora* exhibited notable anti-*Malassezia* activity. Specifically, *I. balsamina* was further investigated for its efficacy using various solvents. The hexane and ethyl acetate extracts displayed the highest activity against the fungus. The anti-*Malassezia* test of the hexane extract resulted in a minimum inhibitory concentration (MIC) and a minimum fungicidal concentration (MFC) ranging between 0.25-0.5 mg/ml and 0.5-2 mg/ml, respectively. The anti-*Malassezia* properties of *Impatiens* species can be further developed for medicinal use and cosmetics.

Keywords: *Impatiens, Malassezia*, antifungal, crude extract

Introduction

Malassezia species is a group of dimorphic fungi commonly found on both human and animal skin. Due to unique lipophilic characteristics, they prefer lipid-rich environments such as sebaceous glands, where they metabolize lipids, contributing significantly to skin health. *Malassezia* is related to various skin disorders such as dandruff, pityriasis versicolor, and seborrheic dermatitis by disrupting the skin's lipid barrier and triggering immune responses (Cabañes et al., 2016; Gaitanis et al., 2012; Guillot & Bond, 2020).

Recently, concerns have risen about antifungal resistance in *Malassezia* challenging in treatment strategies. Many groups reported resistant *Malassezia* strains to common antifungals like ketoconazole and fluconazole (Nijima et al., 2011; Kano et al., 2020; Leong et al., 2021). Therefore, it's imperative to adapt treatment approaches and develop new antifungal agents to treat infections caused by these resistant strains.

The uses of certain *Impatiens* species have been documented in traditional medicine across various cultures. In northern Thailand, the plant is used for its hematinic properties, improving hair condition, and as a therapy for skin rashes, minor burns, and skin irritations. A previous report indicated that the ethanolic extract of *I. balsamina* exhibited anti-androgenic activity, although the specific compound responsible has yet to be identified (Ishiguro K. et al., 2000). Furthermore, the crude extract also demonstrated antimicrobial activity against both bacteria and fungi (Sakunphueak A., Panichayupakaranant P. 2012; Su et al., 2012). However, the antifungal activity against *Malassezia* of the plant has not yet been studied, nor has it been determined which species exhibit such activity. Therefore, the purpose of this study was to screen the anti-*Malassezia* activity of the extracts from various *Impatiens* species found in Thailand. This finding may unveil the potential for novel drug development to treat diseases caused by *Malassezia*.

Materials and Methods

Plant materials

The fresh trunks and leaves of 25 species in the genus *Impatiens* were collected and identified by botanists at Queen Sirikit Botanic Garden (QSBG), Mae Rim, Chiang Mai, Thailand (Table 1). All herbarium specimens were kept in both at School of Pharmaceutical Sciences University of Phayao and at QSBG, Thailand. The plant materials were washed and dried at 55°C for 48 h. Then, the dried materials were ground and macerated with ethanol (plant powder: ethanol = 1:20 (w/v)) at 150 rpm, room temperature, for 24 h. The extracts were filtered and evaporated the solvent under reduced pressure to obtain crude extracts. The crude extracts were stored at –20 °C until use. For other solvents, the extraction was performed using the same method.

Table 1. List of the Impatiens species used in this study.

No.	species	Collection site
1	*Impatiens phulungensis*	QSBG, Chaingmai, Thailand
2	*Impatiens patula*	QSBG, Chaingmai, Thailand
3	*Impatiens zygosepala*	Phitsanulok, Thailand
4	*Impatiens clavigera*	QSBG, Chaingmai, Thailand
5	*Impatiens parishii*	QSBG, Chaingmai, Thailand
6	*Impatiens hawkeri*	Chaingmai, Thailand
7	*Impatiens mirabilis*	QSBG, Chaingmai, Thailand
8	*Impatiens pulchara*	Chaingmai, Thailand
9	*Impatiens tipusensis*	QSBG, Chaingmai, Thailand
10	*Impatiens spectabilis*	QSBG, Chaingmai, Thailand
11	*Impatiens rasemosa*	Chaingmai, Thailand
12	*Impatiens ducloxii*	QSBG, Chaingmai, Thailand
13	*Impatiens violiflora*	Chaingmai, Thailand
14	*Impatiens santisukii*	Chaingmai, Thailand
15	*Impatiens radiata*	Chaingmai, Thailand
16	*Impatiens balsamina*	Chaingmai, Thailand
17	*Impatiens adeniodes*	QSBG, Chaingmai, Thailand
18	*Impatiens chinensis*	Phitsanulok, Thailand
19	*Impatiens hians*	QSBG, Chaingmai, Thailand

No.	species	Collection site
20	*Impatiens longiloba*	Chaingmai, Thailand
21	*Impatiens phasiana*	QSBG, Chaingmai, Thailand
22	*Impatiens drepanophora*	QSBG, Chaingmai, Thailand
23	*Impatiens niamniamensis*	QSBG, Chaingmai, Thailand
24	*Impatiens porrecta*	QSBG, Chaingmai, Thailand
25	*Impatiens andersonii*	Chaingmai, Thailand

Strains and culture media

In this study, a total of five strains of *Malassezia* species were employed, including *M. furfur* CBS* 1878, *M. furfur* CBS 6001, *M. furfur* CBS 6046, *M. furfur* CBS 7019, and *M. furfur* CBS 9584. All these *Malassezia* strains were consistently maintained through subculture on YPD–Tween agar (1% yeast extract, 2% Bacto™ Peptone (BD Biosciences, USA), 2% glucose, 2% agar, and 0.5% Tween 80), and were incubated at 30 °C.*CBS= Centraalbureau voor Schimmelcultures, renamed as Westerdijk Fungal Biodiversity Institute, Utrecht, The Netherlands.

Agar disc diffusion assay

Initially, the yeasts were pre–cultured in YPD–Tween broth (containing 1% yeast extract, 2% Bacto™ Peptone, 2% glucose, and 0.5% Tween 60) at 150 rpm, 30 °C for 48 hours. The cells were harvested by centrifugation and washed twice with distilled water. The concentration of cell suspensions was determined spectrophotometrically at 600 nm and adjusted to an optical density (OD) of 1 (2.5×10^7 cells/ml). Following this, the inoculum was evenly spread onto YPD–Tween agar plates using a sterile cotton swab.

The concentration of the crude extracts was adjusted using Dimethyl sulfoxide (DMSO). Each Sterile paper disc (Advantec, Japan) impregnated with 10 µl of the extract was carefully placed onto the YPD–Tween agar and then incubated at 30 °C for 48 hours. The diameter of the inhibition zone surrounding the disc was measured and assessed as an anti–*Malassezia* activity. DMSO and 0.5 µg/disc ketoconazole (KTZ) was used as negative and positive controls, respectively. All experiments were performed in triplicate.

Determination of minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC)

As *I. balsamina* exhibited significant anti–*Malassezia* activity and its plant material was readily available, we selected this species for further experiments to determine the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) and Minimum Fungicidal Concentration (MFC) of the crude extracts using a macro broth dilution method. Three extracts prepared with different organic solvents were subjected to two–fold serial dilutions in DMSO. Each culture consisted of 940 µl of YPD–Tween broth, 10 µl of the inoculum (final OD = 0.01), and 50 µl of the plant extract (resulting in final concentrations ranging from 0.0156 to 8 mg/ml). The cultures were then incubated at 150 rpm and 30 °C for 72 hours. The MIC value was determined as the lowest concentration at which there was no visible growth of

Malassezia. For MFC value, a 100 µl sample from cultures with no visible growth was spread onto YPD–Tween agar plates, followed by incubation at 30 °C for 48 hours. The MFC value was determined as the lowest concentration that inhibited the growth of *Malassezia* by more than 99.9% of the initial inoculum. DMSO and ketoconazole were used as negative and positive controls, respectively. The assay was conducted in triplicate.

Statistical analysis

The disc diffusion, MIC, and results were statistically analyzed using the Microsoft Excel Data Analysis package (Official Microsoft 365®, Microsoft Corporation, USA). The diameters of the inhibition zones of each extract were compared, and the significance was estimated by one–way ANOVA post–hoc tests.

Results

Screening for anti–*Malassezia* activity of *Impatiens* species

For the preliminary phytochemical screening of anti–*Malassezia* activity within the genus *Impatiens*, we employed ethanolic extracts for the assay. Among ethanolic extracts of 25 Impatiens species, only *I. balsamina* and *I. drepanophora* exhibited anti–*Malassezia* activity. Notably, the inhibition zone diameters of *I. drepanophora* and *I. balsamin*a surpassed that of ketoconazole, indicating a higher potency in its anti–*Malassezia* activity (Figure 1). Despite demonstrating strong anti–*Malassezia* activity, *I. drepanophora* is relatively rare and difficult to obtain compared to the more widely available *I. balsamina*. Hence, we selected *I. balsamina* for further experiments.

Subsequently, plant material from *I. balsamina* was extracted under different polarity conditions using ethanol, ethyl acetate, and hexane. At 0.2 mg per disc, the inhibition zone diameters for ethanolic, ethyl acetate, and hexane extracts ranged from 6 to 12.5 mm, 10.2 to 22.9 mm, and 8.5 to 19.5 mm, respectively. In general, hexane and ethyl acetate extracts displayed significant anti–*Malassezia* activity (Figure 2). No distinguishable susceptibility to ketoconazole was found among the five different strains. However, *M. furfur* CBS 6046 and 9584 appeared to be more susceptible to *I. balsamina* extracts, suggesting a wide range of susceptibility among strains.

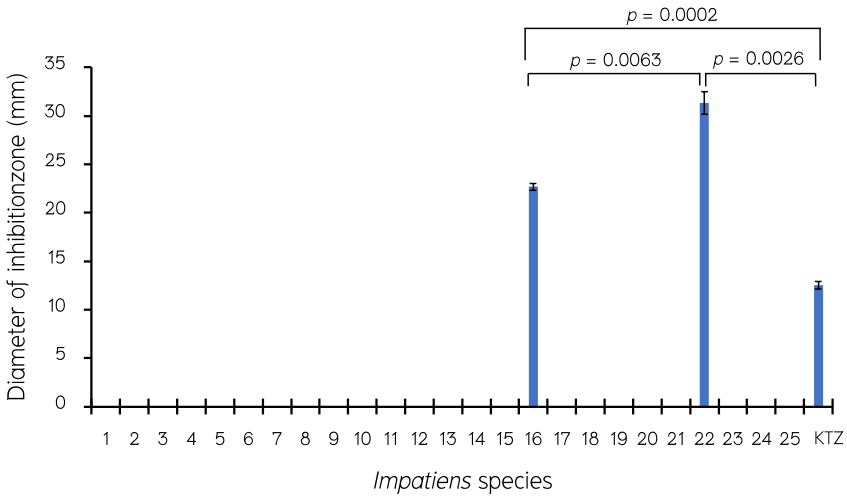


Figure 1. Anti-*Malassezia* activity of 25 *Impatiens* species in agar disc diffusion assay against *M. furfur* CBS 1878. The bars represent the mean diameters of the inhibition halos. Error bars depict the standard deviation (SD). The amount of ethanolic extract was 0.5 mg per disc. The assay was performed triplicate. The number of X axis is responsible to the species name as listed in Table 1. (KTZ = ketoconazole)

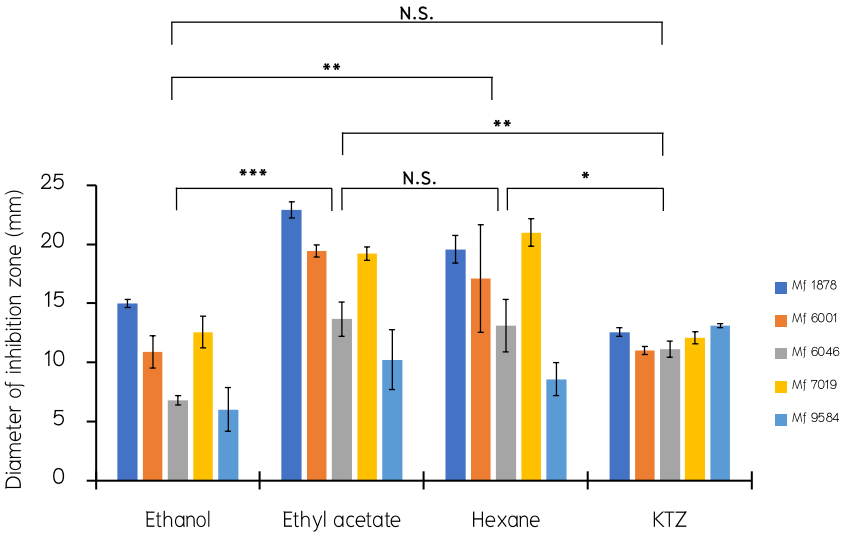


Figure 2. Anti-*Malassezia* activity of the crude extracts from *I. balsamina* in agar disc diffusion assay. The bars represent the mean diameters of the inhibition halos. Error bars depict the standard deviation (SD). Statistical significance between groups was estimated by one-way ANOVA. The amount of each extract was 0.2 mg per disc. The assay was performed triplicate. (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, N.S. = not significant)

Determination of minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC) of *I. balsamina* against *M. furfur*

The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC) values of the hexane extract from *I. balsamina* against *M. furfur* were determined using macro broth dilution. The MIC value of the hexane extract fell within the range of 0.25–0.5 mg/ml, while the MFC value ranged between 0.5–2 mg/ml. Intriguingly, the response of *M. furfur* strains to the hexane extract exhibited consistency comparable to the antifungal ketoconazole (Table 2).

Table 2. Minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC) of *I. balsamina* extracts against *M. furfur*. Ketoconazole was used as positive control. The assay was performed triplicate.

strains	Hexane extract (mg/ml)		Ketoconazole (µg/ml)	
	MIC	MFC	MIC	MFC
M. furfur CBS 1878	0.25 – 0.5	1	2	4
M. furfur CBS 6001	0.5	1	2	4
M. furfur CBS 6046	0.5	1–2	4	4
M. furfur CBS 7019	0.5	0.5	2	2–4
M. furfur CBS 9584	0.5	1	2	2

Discussion

In this study, we conducted a screening to determine the anti–*Malassezia* activity among various Impatiens species discovered in Thailand. Our findings highlight that *I. balsamina* and *I. drepanophora* demonstrated significant effectiveness against *M. furfur* in vitro, suggesting potential medicinal applications for these species.

Drug–resistant pathogenic fungi remain major health problems throughout the world. *I. basamina* has also been explored as a subject for an alternative approach to fungal therapy. According to a previous study, the ethanolic extract of *I. balsamina* had a remarkable antifungal activity against *Candida albicans* at a dose of 0.8 mg/disc (Kang et al., 2013). Nevertheless, we found that hexane and ethyl acetate extracts of *I. balsamina* revealed much lower doses to inhibit *M. furfur*, suggesting robust efficacy in anti–*Malassezia* and implying that the bioactive compounds must be of low polarity.

Comparing to ketoconazole, the MIC and MFC values of the hexane extract were about 250 times higher, meaning the potential application of this extract as a therapeutic agent for systemic mycoses may pose challenges. Nonetheless, considering its efficacies in hair and skin care in traditional medicine, this extract sufficiently holds promise for developing dermatological applications on the skin. In conclusion, our study provides valuable insights into the potential efficacy of *I. drepanophora* and *I. balsamina* in inhibiting the growth of *Malassezia*. Further studies will be conducted to characterize and identify the anti–*Malassezia* compounds of the extract.

Acknowledgements

This study was supported by Chiang Mai Rajabhat University Research Fund (2022). The authors are grateful to Prof. Susumu Kajiwara (Tokyo Institute of Technology, Japan) for kindly providing the *M. furfur* strains.

References

Cabañes, F. J., Coutinho, S. D., Puig, L., Bragulat, M. R., & Castellá, G. (2016). New lipid–dependent *Malassezia* species from parrots. *Revista iberoamericana de micologia*, *33*(2), 92–99.

Gaitanis, G., Magiatis, P., Hantschke, M., Bassukas, I. D., & Velegraki, A. (2012). The Malassezia genus in skin and systemic diseases. *Clinical microbiology reviews*, *25*(1), 106–141.

Guillot, J., & Bond, R. (2020). *Malassezia*Yeasts in Veterinary Dermatology: An Updated Overview. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, *10*, 79.

Ishiguro, K., Oku, H., & Kato, T. (2000). Testosterone 5alpha–reductase inhibitor bisnaphthoquinone derivative from Impatiens balsamina. *Phytotherapy research: PTR*, *14*(1), 54–56.

Kang, S. N., Goo, Y. M., Yang, M. R., Ibrahim, R. I., Cho, J. H., Kim, I. S., & Lee, O. H. (2013). Antioxidant and antimicrobial activities of ethanol extract from the stem and leaf of *Impatiens balsamina* L. (Balsaminaceae) at different harvest times. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *18*(6), 6356–6365.

Kano, R., Aramaki, C., Murayama, N., Mori, Y., Yamagishi, K., Yokoi, S., & Kamata, H. (2020). High multi–azole–resistant *Malassezia pachydermatis* clinical isolates from canine Malassezia dermatitis. *Medical mycology*, *58*(2), 197–200.

Leong, C., Kit, J. C. W., Lee, S. M., Lam, Y. I., Goh, J. P. Z., Ianiri, G., & Dawson, T. L., Jr (2021). Azole resistance mechanisms in pathogenic *Malassezia furfur*. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, *65*(5), e01975–20.

Nijima, M., Kano, R., Nagata, M., Hasegawa, A., & Kamata, H. (2011). An azole–resistant isolate of *Malassezia pachydermatis*. *Veterinary microbiology*, *149*(1–2), 288–290.

Sakunphueak, A., & Panichayupakaranant, P. (2012). Comparison of antimicrobial activities of naphthoquinones from Impatiens balsamina. *Natural product research*, *26*(12), 1119–1124.

Su, B. L., Zeng, R., Chen, J. Y., Chen, C. Y., Guo, J. H., & Huang, C. G. (2012). Antioxidant and antimicrobial properties of various solvent extracts from *Impatiens balsamina* L. stems. *Journal of food science*, *77*(6), C614–C619.

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(Oral Presentation)

ระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT

System for self-borrowing books through LINE BOT

สมภพ มุสิกร[1*]

Somphob Musikorn[1*]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT ร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib และ 2) ศึกษาผลการทดลองใช้งานระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT ร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib กลุ่มตัวอย่างจากบุคลากรผู้ปฏิบัติงานในห้องสมุดจำนวน 19 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ 1) แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT 2) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ สถิติที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการพัฒนาระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT ร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib มีองค์ประกอบ 2 ส่วน ได้แก่ (1) ระบบยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE @PSRU-LIB (2) เว็บแอปพลิเคชันสำหรับเจ้าหน้าที่ และผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญโดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 96 และ 2) ผลการทดลองใช้งานระบบ พบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT ร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib โดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 93.60

คำสำคัญ: ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ, บริการยืมหนังสือ, ไลน์บอท, ห้องสมุด 4.0

[1] สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Academic Resource and Information Technology Center, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000

*Corresponding author: somphob.m@psru.ac.th

Abstract

This research aims to 1) develop a self-service book borrowing system through LINE BOT in conjunction with the WALAI AutoLib automatic library system, and 2) study the results of the experimental use of the self-service book borrowing system through LINE BOT in conjunction with the WALAI AutoLib automatic library system with a sample group of 19 library staff members. The research tools include 1) an evaluation form for the efficiency of the self-service book borrowing system through LINE BOT, and 2) a satisfaction questionnaire for users of the system. Statistical measures used in the research include averages and standard deviations.

The research findings are as follows: 1) The development of the self-service book borrowing system through LINE BOT, in collaboration with the WALAI AutoLib automatic library system, consists of two components: (1) the self-service book borrowing system through LINE @PSRU-LIB, and (2) a web application for library staff. The overall evaluation of the system's efficiency by experts is at the highest level, with a 96% satisfaction rate. 2) The experimental use of the system reveals that users are highly satisfied with the self-service book borrowing system through LINE BOT, in conjunction with the WALAI AutoLib automatic library system, with an overall satisfaction rate of 93.60%.

Keywords: Library Automated System, self-borrowing Services, LINE BOT, Library 4.0

บทนำ

ความท้าทายของห้องสมุดกับนโยบายทางเศรษฐกิจรูปแบบใหม่ของรัฐบาลที่เรียกว่า ประเทศไทย 4.0 ประกอบไปด้วยความคิดสร้างสรรค์ สภาพสังคมยุคดิจิทัล และเทคโนโลยีสมัยใหม่ ห้องสมุด 4.0 เป็นการนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีมาช่วยในการขับเคลื่อนการให้บริการ เพื่อสอดคล้องกับนโยบายเศรษฐกิจและความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ห้องสมุด 4.0 ในแง่เทคโนโลยี คือ ห้องสมุดนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมต่าง ๆ มาใช้เพื่อเน้นการเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพการบริการ ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ทั้งในปัจจุบันและอนาคต มีพื้นที่สำหรับเรียนรู้และทำงานร่วมกัน รวมทั้งมีการออกแบบที่สวยงามทันสมัย ซึ่งสอดคล้องกับคุณลักษณะที่ว่า ห้องสมุดอัจฉริยะ (Intelligent library) หมายถึง ห้องสมุดที่จัดเตรียมบริการที่ตรงกับความต้องการและพฤติกรรมการใช้สารสนเทศของผู้ใช้มากที่สุด รวมทั้งจัดเตรียมบริการในอนาคต โดยการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยสำหรับปัจจุบันและอนาคตมาเป็นตัวขับเคลื่อนการให้บริการ รวมถึงบุคลากรห้องสมุดนั้นต้องมีความสามารถและทักษะเทคโนโลยีดิจิทัลในการบริการและการสื่อสารกับผู้ใช้บริการ ได้แก่ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โปรแกรมประยุกต์ด้านการจัดเก็บ รวบรวม วิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล การพัฒนาแอปพลิเคชัน และการใช้เครื่องมือธุรกรรมดิจิทัลต่าง ๆ ที่ทันสมัย สอดคล้องกับสภาพสังคมและเศรษฐกิจยุคดิจิทัลในปัจจุบัน (มัทนา บุญประเสริฐ, แววตา เตชาทวีวรรณ, และ วราภรณ์ วิยานนท์, 2561)

ห้องสมุดมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เปิดให้บริการตั้งแต่ พ.ศ.2478 ในยุควิทยาลัยครู จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2548 ได้ยกฐานะเป็นสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ ได้รับการพัฒนาให้เจริญก้าวหน้าและเติบโตขึ้นตามลำดับ โดยเน้นกระบวนการทำงานที่ท้าทายตามวิสัยทัศน์ “แหล่งการเรียนรู้ที่ทันสมัยเพื่อสนับสนุนมหาวิทยาลัยพัฒนาเทคโนโลยีและส่งเสริมการสร้างนวัตกรรม” เพื่อตอบสนอง Life Style ของผู้ใช้ในยุคดิจิทัล ในปัจจุบันสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศได้นำระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib Ultimate มาใช้งานในการบริหาร

จัดการทรัพยากรสารสนเทศและการให้บริการทรัพยากรสารสนเทศแก่ผู้ใช้บริการ รวมถึงยังได้นำระบบบริการ LINE Application มาประยุกต์ใช้ในการให้บริการต่าง ๆของห้องสมุดผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ได้แก่ ระบบบริการ LINE BOT : @PSRU-LIB ซึ่ง LINE Application นั้นมีบริการ LINE Developer ที่เปิดให้บุคคลทั่วไปสามารถพัฒนาระบบต่าง ๆเพื่อเชื่อมโยงเข้ากับระบบ LINE Application เช่น LINE Pay, LINE Messaging API และ LINE LIFF (LINE Front-end Framework) ซึ่งการวิจัยได้ศึกษา LINE LIFF พบว่า สามารถพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถทำงานอยู่ภายใน LINE Application ได้โดยตรง และสามารถนำมาพัฒนา LINE BOT ในการพิสูจน์ตัวตน (Authentication) เข้าใช้งานกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติผ่าน API Service และเชื่อมโยงข้อมูลการยืมทรัพยากรสารสนเทศผ่านโปรโตคอลมาตรฐานการยืมคืน (SIP2) เพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้บริการผ่าน LINE Application ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาระบบบริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการและเพิ่มช่องทางการใช้บริการยืมทรัพยากรสารสนเทศของสมาชิกให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ตามแนวทางของการพัฒนาห้องสมุด 4.0

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาระบบบริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT ร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib Ultimate ผ่าน SIP2 API Service
2. ศึกษาผลการทดลองใช้ระบบบริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT ร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib Ultimate ผ่าน SIP2 API Service

วิธีการศึกษา

1. เครื่องมือการวิจัย

1.1 ระบบบริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT ร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib Ultimate ผ่าน SIP2 API Service

1.2 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ

2. ขั้นตอนและวิธีการ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้หลักแนวคิดการวิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC) (โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2560) เพื่อพัฒนาระบบบริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT ร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib Ultimate ผ่าน SIP2 API Service โดยแบ่งขั้นตอนการพัฒนาออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

2.1 การวางแผน (Planning)

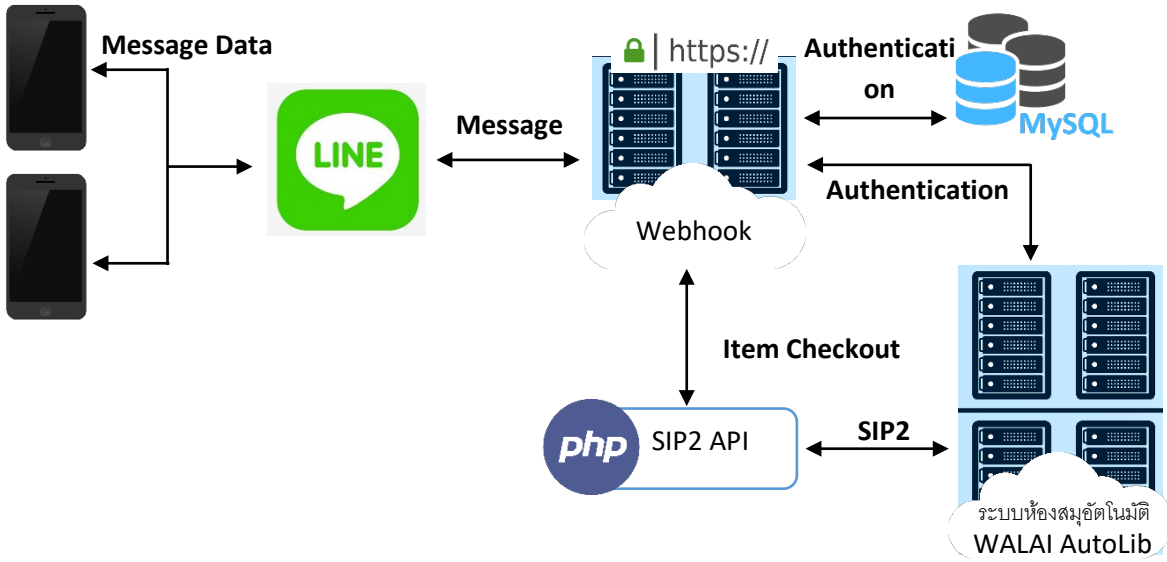
ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการให้บริการของห้องสมุดในปัจจุบัน โดยนำกระบวนการให้บริการยืมทรัพยากรสารสนเทศมาศึกษา พบว่า การให้บริการยืมทรัพยากรสารสนเทศมีขั้นตอนที่สามารถให้บริการได้อัตโนมัติโดยที่ไม่ต้องมีเจ้าหน้าที่ห้องสมุดคอยให้บริการ รวมถึงสมาชิกห้องสมุดส่วนใหญ่ใช้บริการผ่านระบบ LINE BOT อยู่แล้ว ทำให้ง่ายต่อการพัฒนาช่องทางการให้บริการ ดังนั้นผู้พัฒนาจึงนำกระบวนการยืมทรัพยากรสารสนเทศมาพัฒนาผ่าน LINE BOT เพื่อเพิ่มช่องทางการให้บริการให้มีความหลากหลายขึ้น

2.2 การวิเคราะห์ (Analysis)

จากการวางแผนพัฒนาระบบ พบว่าการพัฒนาระบบบริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT ต้องมีการเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib Ultimate ผ่านโปรโตคอลมาตรฐานการยืมคืน (3M(TM), 2006) เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลการยืมคืนของผู้ใช้บริการ และต้องมีการพิสูจน์ตัวตน (Authentication) ทั้งในส่วนของการลงทะเบียนใช้บริการ LINE BOT และตรวจสอบความเป็นสมาชิกกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติผ่าน API Service ก่อนการใช้บริการ เพื่อนำข้อมูลรหัสสมาชิกมาใช้เป็นข้อมูลผู้ยืมทรัพยากรสารสนเทศ

2.3 การออกแบบ (Design)

จากผลการวิเคราะห์แนวทางในการพัฒนาระบบ ผู้วิจัยได้ออกแบบการทำงานของระบบ (System Design) แสดงดังภาพที่ 1 โดยเมื่อผู้ใช้บริการเข้าสู่ระบบบริการยืมด้วยตนเองบน LINE BOT ในส่วนของ LINE LIFF ระบบจะเชื่อมต่อกับ Webhook Server โปรโตคอลการสื่อสารบนระบบอินเทอร์เน็ตแบบ HTTPS เพื่อตรวจสอบสิทธิ์การลงทะเบียนสมาชิกบนฐานข้อมูล MySQL และเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib ผ่าน REST API Service เพื่อพิสูจน์ตัวตน (Authentication) ข้อมูลสมาชิกห้องสมุดอีกครั้งและนำรหัสสมาชิกที่ได้จากการยืนยันตัวตนมาเป็นข้อมูลสมาชิกเพื่อทำรายการ เมื่อผู้ใช้บริการทำรายการสแกนบาร์โค้ดหนังสือเพื่อยืม ระบบจะส่งข้อมูลร้องขอ (Request) ในรูปแบบ JSON (ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard, 2021) มายังระบบ SIP2 API Service ซึ่งพัฒนาด้วยภาษา PHP ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงข้อมูลการยืมจากระบบบริการยืมด้วยตนเองกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติผ่านโปรโตคอล SIP2 และรับข้อมูลตอบสนอง (Response) จากระบบห้องสมุดอัตโนมัติเพื่อส่งข้อมูลกลับไปแสดงผลยังผู้ใช้บริการบน LINE BOT เพื่อแจ้งผลการทำรายการ



ภาพที่ 1 การออกแบบการทำงานของระบบ

2.4 การนำไปใช้ (Implementation)

หลังจากดำเนินการพัฒนาระบบเสร็จสิ้น ได้นำระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT ไปติดตั้งบนระบบบริการ LINE BOT ของห้องสมุดผ่านเมนู บัญชีของฉัน และทดสอบการใช้งานในกลุ่มของผู้บริหารและบุคลากรภายในห้องสมุดเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อการใช้งานระบบ

2.5 การบำรุงรักษา (Maintenance)

ระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เทคโนโลยี LINE LIFF ที่เป็นระบบเว็บแอปพลิเคชันทำงานอยู่ภายใน LINE Application ภายหลังจากติดตั้งและทดสอบการใช้งานเป็นระยะเวลา 1 เดือนและได้รับข้อเสนอแนะจากผู้ทดลองใช้งาน จึงได้ดำเนินการปรับปรุงระบบเพิ่มเติมเพื่อให้สอดคล้องกับข้อเสนอแนะและกระบวนการให้บริการของห้องสมุด ซึ่งในกระบวนการต่อไปผู้วิจัยได้วางแผนในการเปิดให้บริการอย่างเต็มรูปแบบบนระบบบริการ LINE BOT ของห้องสมุดต่อไป

ผลการศึกษา

1. การพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นโดยแบ่งส่วนการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

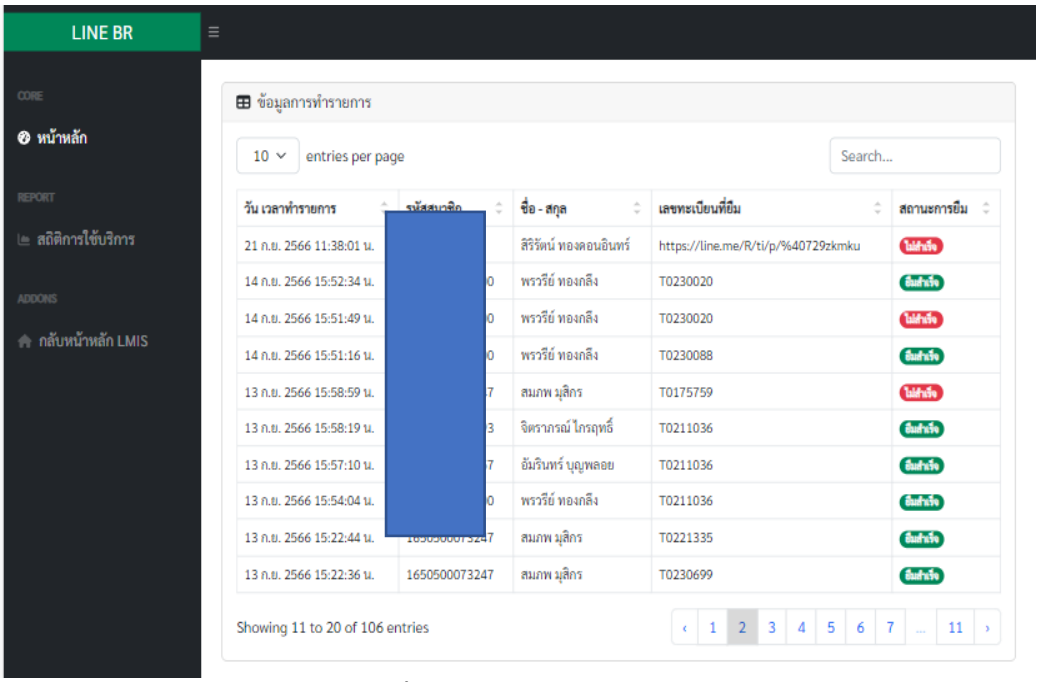
1) ระบบการเข้าใช้งานยืมด้วยตนเองบน LINE BOT ผ่านเทคโนโลยี LINE LIFF ที่มีการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันโดยพัฒนาด้วยภาษา PHP อยู่ภายใน ซึ่งระบบเว็บแอปพลิเคชันทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลการลงทะเบียนใช้บริการ LINE BOT จากฐานข้อมูลสมาชิก MySQL ของ Webhook Server และเชื่อมโยงกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib ผ่าน REST API Service เพื่อพิสูจน์ตัวตน (Authentication) สมาชิกห้องสมุดก่อนเข้าใช้งาน รวมถึงระบบเว็บแอปพลิเคชันนั้นได้ติดตั้งส่วนเสริม (Plugin) ที่ทำหน้าที่สแกนบาร์โค้ดทะเบียนของหนังสือเพื่อส่งคำขอทำรายการยืมไปยังระบบห้องสมุดอัตโนมัติผ่านระบบ SIP2 API Service ดังภาพที่ 2



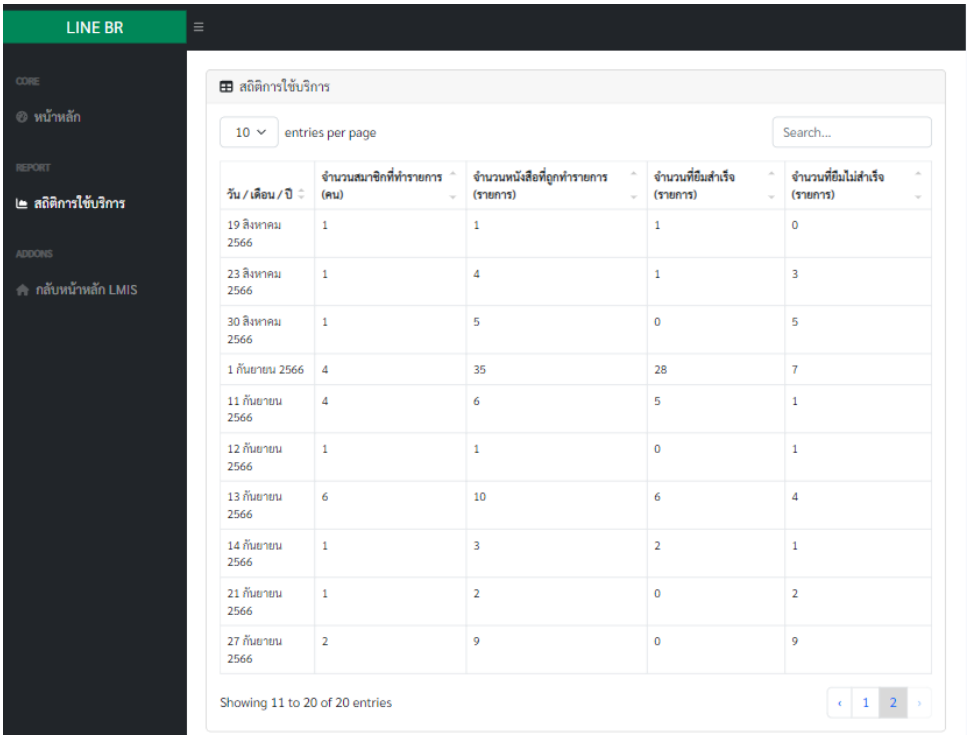
ภาพที่ 2 ระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT

2) ระบบ SIP2 API Service เป็นระบบกลางที่หน้าที่รับข้อมูลร้องขอจาก LINE BOT และแปลงชุดข้อมูลไปเป็นชุดคำสั่งมาตรฐาน SIP2 และส่งข้อมูลร้องขอไปยังระบบห้องสมุดอัตโนมัติ WALAI AutoLib เพื่อทำรายการยืม และมีส่วนบันทึกจัดเก็บข้อมูลการทำรายการในรูปแบบ ฐานข้อมูล MySQL สำหรับเรียกดูประวัติการทำรายการของสมาชิกและการเรียกดูรายงานจากช่วงเวลาที่กำหนด

3) ส่วนแสดงผลประวัติการทำรายงานยืมหนังสือของสมาชิกห้องสมุดและการเรียกดูรายงาน เป็นส่วนการทำงานในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันของเจ้าหน้าที่ ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นและติดตั้งในระบบบริหารจัดการองค์กรของสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ (LMIS) โดยกำหนดเป็นโมดูลหนึ่งภายในระบบสารสนเทศหลัก และกำหนดสิทธิ์การเข้าใช้งานตามนโยบาย (Policy) การเข้าใช้งาน ซึ่งสามารถเรียกดูประวัติการทำรายการยืมหนังสือของสมาชิกทั้งหมดและสามารถเรียกดูรายงานการยืมจากช่วงเวลาที่ต้องการได้ ดังภาพที่ 3 ถึง 4



ภาพที่ 3 ข้อมูลประวัติการทำรายการยืม



ภาพที่ 4 ข้อมูลรายงานการทำรายการยืม

2. การประเมินผล

การเก็บรวบรวมผลการประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบให้บริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT มีการประเมินความพึงพอใจจากสุ่มตัวอย่างบุคลากรที่ทดลองการใช้งานระบบ จำนวน 19 คน โดยกำหนดลักษณะคำตอบที่เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์ (บุญชม ศรีสะอาด, 2560) การประเมินดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายความว่า มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50 หมายความว่า มาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50 หมายความว่า ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50 หมายความว่า น้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.50 หมายความว่า น้อยที่สุด

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบต่อการใช้งาน

หัวข้อการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	สรุปผล
1. ความสวยงาม ความทันสมัย น่าสนใจ	4.68	0.48	มากที่สุด
2. การจัดรูปแบบเมนูต่าง ๆมีความเรียบง่าย	4.63	0.50	มากที่สุด
3. ความเร็วในการแสดงผลข้อมูล	4.74	0.45	มากที่สุด
4. ข้อความสื่อความหมายชัดเจน	4.63	0.50	มากที่สุด
5. ความสะดวกรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ	4.84	0.37	มากที่สุด
6. ข้อมูลตรงตามความต้องการ มีความถูกต้อง	4.74	0.45	มากที่สุด
7. ง่ายต่อการใช้งาน	4.58	0.51	มากที่สุด
8. ระบบมีความปลอดภัย	4.58	0.51	มากที่สุด
9. ระบบช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้บริการ	4.79	0.42	มากที่สุด
10. ภาพรวมมีความพึงพอใจในการใช้งานในระดับใด	4.79	0.42	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.68**	**0.47**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจำนวน 19 คน พบว่า ความพึงพอใจการใช้งานระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.68) คิดเป็นร้อยละ 93.60 และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดระดับมากที่สุด คือ ความสะดวกรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.84) คิดเป็นร้อยละ 96.80 รองลงมาคือ ระบบช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้บริการและความพึงพอใจในการใช้งาน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.79) คิดเป็นร้อยละ 95.80 และคะแนนค่าเฉลี่ยต่ำสุดระดับมากที่สุด คือ ความง่ายต่อการใช้งาน และระบบความปลอดภัย ($\bar{X}$ = 4.58) คิดเป็นร้อยละ 91.60 ตามลำดับ

อภิปรายและสรุปผล

การพัฒนาระบบบริการยืมหนังสือด้วยตนเองผ่าน LINE BOT เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้บริการและเพิ่มช่องทางการให้บริการให้มีความหลากหลายขึ้น ระบบมีความง่ายต่อการใช้งานภายใต้บริบทการให้บริการของห้องสมุดที่ใช้งานแอปพลิเคชัน LINE BOT เป็นหลักแบบครบวงจรและสนับสนุนการให้บริการของห้องสมุดในยุค 4.0 และยังมีส่วนช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถให้บริการตนเองได้โดยตรง ลดการรอคอยการยืมหนังสือจากเจ้าหน้าที่ รวมถึงงบประมาณที่ใช้ในการบำรุงรักษาและการจัดหาอุปกรณ์เครื่องยืมหนังสืออัตโนมัติ ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ ชัยพร คำเจริญคุณ (2563) ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบ LINE Bot NU Library เพื่อการให้บริการร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ KMUTT-LM ที่พบว่าการนำไลน์บอท (LINE Bot) มาประยุกต์ใช้กับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ เป็นช่องทางการติดต่อสื่อสารที่สะดวกและมีประสิทธิภาพ รวมถึงสอดคล้องกับผลวิจัยของ ปราชญ์ สงวนศักดิ์ และ ชัณษา สีแดง (2565) ที่ได้ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบยืมทรัพยากรห้องสมุดด้วยตนเองแบบออนไลน์ ที่พบว่า ได้ผลลัพธ์เหมือนกับการยืมผ่านระบบห้องสมุดอัตโนมัติโดยตรง สามารถลดงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องยืมทรัพยากรห้องสมุดด้วยตนเองได้ และผู้ใช้บริการได้รับความพึงพอใจโดยรวมในระดับมากที่สุด

ปัญหาและอุปสรรค

ในการทำวิจัยครั้งนี้พบปัญหาการสแกนบาร์โค้ดเลขทะเบียนหนังสือที่มีขนาดเล็กหรือปัญหาการพิมพ์บาร์โค้ดเลขทะเบียนหนังสือไม่สมบูรณ์ ทำให้ไม่สามารถสแกนหรือจับภาพบาร์โค้ดทะเบียนหนังสือจากกล้องสมาร์ทโฟนเพื่อทำรายการยืมได้ ซึ่งทำให้ต้องแก้ไขปัญหาเบื้องต้นโดยการนำหนังสือไปติดต่อและรอทำรายการยืมที่เคาน์เตอร์บริการยืมคืนจากบรรณารักษ์แทน

ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มรูปแบบการสแกนเลขทะเบียนหนังสือให้มีความหลากหลายมากขึ้นนอกเหนือจากการสแกนในรูปแบบบาร์โค้ด เช่น การสแกนผ่านคิวอาร์โค้ดเพื่อแก้ปัญหาการสแกนบาร์โค้ดที่มีขนาดเล็กหรือไม่สมบูรณ์ ทำให้สามารถทำรายการได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหารที่ให้ความกรุณาในการสนับสนุนผลักดันบุคลากรภายในหน่วยงานในการพัฒนาแนวคิดการพัฒนางานและต่อยอดผลงานสู่งานวิจัย เพื่อนำมาใช้ประโยชน์อันเป็นผลดีแก่หน่วยงาน และขอขอบคุณบุลากรภายในหน่วยงานทุกท่านที่สนับสนุนกระบวนการพัฒนางานตลอดจนให้ข้อเสนอแนะเพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

3M Standard Interchange Protocol, Version 2.00 [Internet]. (2006). Available from https://developers.exlibrisgroup.com/wp-content/uploads/2020/01/3M-Standard-Interchange-Protocol-Version-2.00.pdf

ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard [Internet]. (2021). Available from https://www.json.org/json-en.html

LINE Developer. (n.d.). LINE Front-end Framework (LIFF) [Internet]. Available from https://developers.line.biz/en/docs/liff/

ชัยพร คำเจริญคุณ. (2563). การพัฒนาระบบ LINE BOT NU Library เพื่อการให้บริการร่วมกับระบบห้องสมุดอัตโนมัติ KMUTT-LM. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ PULINET ครั้งที่ 10 “Library Transformation in a Disrupted World”, หน้า 39-49. มหาวิทยาลัยทักษิณ.

มัทนา บุญประเสริฐ, แววตา เตชาทวีวรรณ, และ วราภรณ์ วิยานนท์. (2561). ความหมาย คุณลักษณะ และการบริการของห้องสมุด 4.0 ในประเทศไทย: การวิจัยเชิงคุณภาพ. วารสารบรรณศาสตร์ มศว, 11(2), 1-16.

บุญชม ศรีสะอาด. (2560). การวิจัยเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ปราชญ์ สงวนศักดิ์, ชัณษา สีแดง. (2565). การพัฒนาระบบยืมทรัพยากรห้องสมุดด้วยตนเองแบบออนไลน์. การประชุมวิชาการระดับชาติ PULINET ครั้งที่ 12. หน้า 292-301.

โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2560). การวิเคราะห์และออกแบบระบบ ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

การพัฒนาระบบแจ้งซ่อมครุภัณฑ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

Development of equipment repair notification system of the Faculty of Science and Information Technology Pibulsongkram Rajabhat University

สุพิตจ์ชญา คำป้อง[1], นุชนาถ เรือนศิริ[1], ปริศนา สุขศิริ[2] และ ธนพงศ์ นิตยะประภา[1*]

Suphitchaya Kampong[1] Nutchanat Ruansiri[1] Prissana Suksiri[2] and Thanapong Nitayaprapha[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา วิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบแจ้งซ่อมครุภัณฑ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม โดยเริ่มจากการศึกษาระบบเก่า และสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาความต้องการของระบบ จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์และออกแบบโดยใช้หลักการ UML ซึ่งได้ทำการเลือก 3 ไดอะแกรมมาใช้ประกอบไปด้วย use case diagram, class diagram และ sequence diagram จากนั้นพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในรูปแบบ Responsive web design ทำให้สามารถใช้งานได้ทุกแพลตฟอร์ม พัฒนาระบบด้วยภาษา HTML5, PHP, CSS, JavaScript ใช้ google sheet เป็นฐานข้อมูล และใช้ AppSheet ในการอ่านข้อมูลเพื่อนำมาแสดงผล จากนั้นนำไปทดลองใช้และประเมินความพึงพอใจจากการใช้งาน โดยเจ้าหน้าที่ 2 คน อาจารย์ 3 คน และนักศึกษา 20 คน รวมทั้งหมด 25 คน ผลที่ได้อยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.38 แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถนำไปใช้งานได้ ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน และสามารถนำไปใช้ในการแจ้งซ่อมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ระบบแจ้งซ่อมออนไลน์, ครุภัณฑ์, เว็บแอปพลิเคชัน, แอปชีท

[1] สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

[2] สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจและการบัญชี มหาวิทยาลัยพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Major of Information Technology, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000

[2] Major of Information Technology, Faculty of Business Administration and Accounting, Phitsanulok University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author e-mail: Thanapong.n@psru.ac.th

Abstract

This research aims to study, analyze, and design, and develop a system for notifying equipment repairs Faculty of Science and Information Technology Pibulsongkram Rajabhat University. Starting from studying the old system and interview relevant people to find system requirements. The results were then analyzed and designed using UML principles. Three diagrams were selected: use case diagram, class diagram, and sequence diagram. Then develop web applications in Responsive web design makes it usable on every platform. Develop the system in HTML5, PHP, CSS, JavaScript, use google sheets as a database and use AppSheet to read data to display results. Then put it to use and span your satisfaction from use. By 2 staff members, 3 professors and 20 scholar, totaling 25 people the result is at the highest level. The average is 4.67 and the standard deviation is 0.38 it shows that the system can be used. Meets the needs of users and can be used to report repairs to various equipment as well.

Keywords: Online repair notification system, Furniture, Web Application, AppSheet

บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันมหาวิทยาลัยของไทยหลายแห่งกำลังประสบปัญหาจากการที่จำนวนนักศึกษามาสมัครเรียนลดลง ซึ่งการลดลงของนักศึกษาในระดับมหาวิทยาลัย ไม่เพียงแต่ทำให้รายได้ซึ่งเป็นค่าธรรมเนียมด้านการศึกษาของแต่ละมหาวิทยาลัยลดลง แต่ยังทำให้งบประมาณที่แต่ละมหาวิทยาลัยจะได้รับจัดสรรจากภาครัฐนั้นลดลงด้วย (ลงทุนแมน, 2562) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามก็เป็นหนึ่งในมหาลัยที่ได้รับผลกระทบดังกล่าวเช่นเดียวกัน จึงได้มีนโยบายการลดเจ้าหน้าที่ลงเพื่อบรรเทาผลกระทบที่เกิดขึ้น จึงทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการดูแลอุปกรณ์หรือครุภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ไม่ทั่วถึงเท่าที่ควร ทางคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ได้ให้ความสำคัญกับการดำเนินงานการแจ้งซ่อมและปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็วถูกต้อง จึงได้มีการนำเสนอเอาเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยสนับสนุนการ ปฏิบัติงาน นอกจากจะใช้งานเทคโนโลยีสารสนเทศในการวางแผนควบคุมการทำงาน และประกอบการตัดสินใจอย่างถูกต้องแล้ว ยังนำ ไปสู่แนวคิดใหม่ ๆ ให้กับคณะและสาขาอีกด้วย เพื่อให้บริการตอบสนองต่อความต้องการของคณะ สาขา และนักศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มีจำนวนอาคารรับผิดชอบ 6 อาคาร โดยส่วนใหญ่จะเป็นห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ห้องปฏิบัติการทางคอมพิวเตอร์ ห้องพักอาจารย์ และสำนักงาน ซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ต้องดูแลเป็นจำนวนมาก เมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์ของใช้ในอาคารไประยะหนึ่ง อาจมีการชำรุดโดยเจ้าหน้าที่ไม่ทราบเพราะดูแลได้ไม่ทั่วถึง ดังนั้นทางคณะจึงมีช่องทางรับแจ้งซ่อมอุปกรณ์ภายในคณะเพื่อทำการซ่อมแซมอุปกรณ์ ซึ่งการแจ้งซ่อมอุปกรณ์ในคณะยังเป็นการใช้รูปแบบของการเขียนจดบันทึกในแบบฟอร์มที่เป็นแบบคำร้องต่าง ๆ ตามกรณีโดยให้เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบทำการรับแจ้งซ่อมอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่ได้แจ้งไว้ จากนั้นเจ้าหน้าที่จะเก็บข้อมูลการรับแจ้งดังกล่าวไว้เป็นหลักฐาน และดำเนินการซ่อมแซมปรับปรุงต่าง ๆ เมื่อมีการแจ้งซ่อมสะสมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ในบางครั้งเจ้าหน้าดูใบแจ้งซ่อมได้ไม่ครบ จึงไม่ได้ซ่อมบางอย่าง หรือในบางกรณีเกิดใบแจ้งซ่อมหาย เป็นต้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยมีความคิดที่พัฒนาระบบแจ้งซ่อม สำหรับคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยสามารถแบ่งการใช้งานของระบบออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกผู้วิจัยได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ต

โฟนเพื่อใช้สำหรับการแจ้งซ่อมของผู้ใช้งานทั่วไปในมหาวิทยาลัย และสามารถติดตามสถานะรายการแจ้งซ่อมของตัวเองได้ตลอดเวลา ส่วนที่สองสำหรับเจ้าหน้าที่เป็นการใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์และสมาร์ตโฟน เพื่อให้บริการแจ้งซ่อม เช่น การรับเรื่อง การแจ้งซ่อม การดำเนินการซ่อม เบิกจ่ายอุปกรณ์ และการดูรายงาน และเมื่อมีการแจ้งซ่อมเข้ามาในระบบจะมีข้อความแจ้งเตือนให้เจ้าหน้าที่ได้ทราบ และมีสถานะแสดงถึงการซ่อมแซมของเจ้าหน้าที่ให้ทราบ ดังนั้นระบบแจ้งซ่อมจะช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศในการแจ้งซ่อม และการให้บริการแจ้งซ่อมของเจ้าหน้าที่ นอกจากนี้ข้อมูลการซ่อมบำรุงยังถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลทำให้ช่วยลดปริมาณการใช้กระดาษ ลดกระบวนการจัดเก็บเอกสารการแจ้งซ่อมของแผนกซ่อมบำรุง ยิ่งไปกว่านั้นยังช่วยให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำและเป็นปัจจุบันสามารถนำมาใช้งานได้อย่างทันท่วงที

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการของระบบแจ้งซ่อมครุภัณฑ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งซ่อมครุภัณฑ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานระบบแจ้งซ่อมครุภัณฑ์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุริยา ภูศร (2558) การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการระบบแจ้งซ่อมบำรุงวัสดุ-ครุภัณฑ์ออนไลน์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี การวิจัยครั้งนี้มุ่งพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการระบบแจ้งซ่อมบำรุงวัสดุ-ครุภัณฑ์ออนไลน์ ประเมินประสิทธิภาพ และความพึงพอใจต่อระบบแจ้งซ่อมบำรุง กลุ่มตัวอย่าง แบ่งเป็น ผู้ดูแลระบบ จำนวน 5 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบ จำนวน 3 คน ซึ่งมีประสบการณ์ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ส่วนกลุ่มผู้ใช้ระบบทั่วไป จำนวน 60 คน โดยการสุ่มแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ แบ่งเป็น เครื่องมือพัฒนาระบบ โดยเลือกใช้ระบบฐานข้อมูลบนเว็บพัฒนาระบบการจัดการฐานข้อมูลด้วย MariaDB โปรแกรมภาษา PHP CSS และ JavaScript ส่วนวิเคราะห์การพัฒนาระบบ ประกอบด้วยเครื่องมือ แผนภาพกระแสข้อมูล แบบจำลองข้อมูล พจนานุกรมข้อมูล และการออกแบบ ส่วนเครื่องมือแบบประเมินความพึงพอใจ ใช้สถิติพื้นฐานได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาที่สำคัญ ระบบแจ้งซ่อมบำรุงวัสดุ-ครุภัณฑ์ออนไลน์ ที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย 8 กระบวนการหลัก ดังนี้ แจ้งคำขอใช้บริการซ่อมบำรุง เลือกช่างซ่อมบำรุง ให้บริการซ่อมบำรุง ออกรายงาน จัดการข้อมูลผู้ใช้งาน จัดการข้อมูลผู้บริหาร จัดการข้อมูลช่างซ่อมบำรุง และจัดการข้อมูลหน่วยงาน ประสิทธิภาพของระบบพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากทั้งในส่วนระบบงานและโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น อีกทั้งผลสัมภาษณ์เชิงลึกพบว่า ระบบงานมีประสิทธิภาพสามารถทำงานได้ตรงกับความต้องการ ให้ผลการประมวลผลที่ถูกต้อง เพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการทำงานให้สูงขึ้น สร้างความพึงพอใจในระดับมาก การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในการใช้ระบบโดยรวมระดับมาก

อุบลวรรณา เกษตรเอี่ยม (2565) ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการใช้งานระบบแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์อัจฉริยะ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ งานวิจัยเรื่องนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการใช้งานระบบแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์อัจฉริยะ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัด

เชียงใหม่ ได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ที่ได้ทดลองใช้งานระบบแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์อัจฉริยะ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 400 คน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา เพื่อหาค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติอนุมานด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ผลการทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการใช้งานระบบแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์อัจฉริยะ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มี 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการใช้งานระบบแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์อัจฉริยะ คือ ปัจจัยด้านคุณภาพการบริการทางอิเล็กทรอนิกส์ ปัจจัยด้านการรับรู้ความเสี่ยง และปัจจัยด้านการยอมรับเทคโนโลยี โดยสามารถร่วมกันพยากรณ์ได้

ประทีป เทพยศ และอภิรมย์ อังสุรัตน์ (2564) งานวิจัยนี้ จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาระบบแจ้งซ่อมบำรุงครุภัณฑ์ออนไลน์ให้กับงานกายภาพและบริการพื้นฐาน คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นอกจากนี้ยังประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยวัดจากความพึงพอใจของผู้ให้และผู้ใช้บริการ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาข้อจำกัด และข้อเสนอแนะจากผู้ใช้บริการระบบแจ้งซ่อมบำรุงครุภัณฑ์เดิม ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาระบบแจ้งซ่อมบำรุงครุภัณฑ์ออนไลน์ ระบบนี้ได้ทำการพัฒนาบนระบบปฏิบัติการ Windows Server 2010 ภายใต้ Internet Information Service (IIS) ด้วยเทคโนโลยี .Net Framework บนฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2000 และประเมินความพึงพอใจหลังทดลองใช้ระบบจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 24 คน ซึ่งเป็นผู้ให้และผู้ใช้บริการระบบแจ้งซ่อมบำรุงครุภัณฑ์ออนไลน์ที่เคยให้บริการและทดลองใช้ระบบแจ้งซ่อมบำรุงครุภัณฑ์ออนไลน์ ผลการศึกษาพบว่า ระบบแจ้งซ่อมบำรุงครุภัณฑ์ออนไลน์พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ได้ดีในกระบวนการแจ้งซ่อมบำรุงครุภัณฑ์ออนไลน์ของคณะฯ

พรอนันต์ ลือสกุล และคณะ (2564) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินความเหมาะสมแอปพลิเคชันบันทึกพฤติกรรมนักเรียนในระบบดูแลช่วยเหลือนักเรียนด้วยแอปชีทและคู่มือการใช้งาน และประเมินความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันบันทึกพฤติกรรมนักเรียนในระบบดูแลช่วยเหลือนักเรียนด้วยแอปชีท กลุ่มตัวอย่างคือหัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้ของโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาพังงา ภูเก็ต ระนอง จำนวน 141 คน ได้มาด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามสภาพและความต้องการใช้แบบบันทึกพฤติกรรมนักเรียนในระบบดูแลช่วยเหลือนักเรียน แอปพลิเคชันบันทึกพฤติกรรมนักเรียนในระบบดูแลช่วยเหลือนักเรียนด้วยแอปชีทและคู่มือการใช้งาน และ แบบประเมินความเหมาะสมและประเมินความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันบันทึกพฤติกรรมนักเรียนในระบบดูแลช่วยเหลือนักเรียนด้วยแอปชีทและคู่มือการใช้งาน

ชวลิต บัวพรม และธารชุดา พันธ์นิกุล. (2566). การวิจัยครั้งนี้ศึกษากระบวนการปฏิบัติงานของธุรกิจร้านรับซื้อขยะรีไซเคิล โดยศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบัน เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการรับรายการเสนอขายจากลูกค้า จนถึงกระบวนการออกไปรับขยะจากลูกค้า พบว่ากระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานฝ่ายที่ออกไปรับซื้อขยะจากลูกค้าและพนักงานฝ่ายบัญชี มีการปฏิบัติงานบางขั้นตอนยังมีความยุ่งยากและซ้ำซ้อน ทั้งในการบันทึกข้อมูล การคำนวณ การสรุปยอดรายการประเภทขยะต่างๆ โดยงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับช่วยสนับสนุนร้านรับซื้อขยะรีไซเคิลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการทำงานโดยนำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ ได้แก่ การศึกษากระบวนการปฏิบัติงาน แผนผังการไหล แผนภูมิกระบวนการปฏิบัติงาน แผนภาพแสดงเหตุและผล การวิเคราะห์ 5W 1H และประยุกต์ใช้หลักการ ECRS เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน จากนั้นออกแบบและสร้างแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแอปพลิเคชัน ด้วยโปรแกรม AppSheet เชื่อมโยงฐานข้อมูลกับ Spread Sheet ซึ่งเป็นการเก็บฐานข้อมูลออน

ไลน์ ระบบสามารถบันทึกรายการรับซื้อ และคำนวณรายการ สร้างใบเสร็จ และแจ้งเตือนผ่านโปรแกรม Line และ E-mail ไปยังผู้ที่เกี่ยวข้องภายในองค์กร ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันเปรียบเทียบกับกระบวนการปฏิบัติงานแบบเดิมพบว่า กระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานฝ่ายรับซื้อขยะเดิมมีขั้นตอนการปฏิบัติงาน 7 ขั้นตอน ลดเหลือ 4 ขั้นตอน ใช้เวลาลดลงจากเดิม 9.12 นาที คิดเป็นร้อยละ 43.32 และกระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานฝ่ายบัญชี เดิมมีขั้นตอนการปฏิบัติงาน 8 ขั้นตอน ลดเหลือ 6 ขั้นตอน ใช้เวลาลดลงจากเดิม 13.69 นาที คิดเป็นร้อยละ 57.09

วิธีการศึกษา

การศึกษาเรื่อง การแจ้งซ่อมครุภัณฑ์ภายในอาคารผ่านระบบ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) ขั้นตอนการศึกษารูปแบบความต้องการของระบบ 2) ขั้นตอนออกแบบและพัฒนาระบบ 3) ขั้นตอนการประเมินความพึงพอใจในการใช้ระบบ มีรายละเอียดดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษาข้อมูล และรวบรวมข้อมูลปัญหา และความต้องการของระบบขั้นตอนนี้ใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการศึกษา โดยทำการสัมภาษณ์ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ ที่ใช้งาน ซึ่งในแบบสัมภาษณ์จะมีประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.1 ปัญหาจากการทำงานในปัจจุบัน

1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานมีอะไรบ้าง

1.3 ความต้องการแจ้งซ่อมครุภัณฑ์ภายในอาคารในส่วนของ ข้อมูลที่จำเป็นในการดำเนินงานแจ้งซ่อมมีอะไรบ้าง และรายละเอียดที่จำเป็นในการดำเนินงานการแจ้งซ่อมมีรายละเอียดอย่างไร

เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลแล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เชิงเนื้อหา และสรุปผลปัญหาและความต้องการระบบแจ้งซ่อมเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบการแจ้งซ่อมครุภัณฑ์ภายในอาคารในขั้นตอนนี้จะนำผลสรุปที่ได้จากการสัมภาษณ์เกี่ยวกับปัญหาและความต้องการของระบบมาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยการสร้างแผนภาพข้อมูล ซึ่งเป็นแผนภาพที่บอกถึงรายละเอียดของระบบ แบ่งดังนี้

2.1 วิเคราะห์และออกแบบระบบด้วย Unified Modeling Language (UML) โดยจะนำผลสรุปที่ได้จากการสัมภาษณ์เกี่ยวกับปัญหาและความต้องการของระบบมาทำการวิเคราะห์ โดยใช้ 3 ไดอะแกรมในการวิเคราะห์ คือ 1) use case diagram 2) class diagram 3) sequence diagram

2.2 พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วยหลักการ responsive web design เพื่อให้สามารถเปิดได้ทุกแพลตฟอร์ม โดยใช้ภาษา HTML5, CSS, PHP, JavaScript ใช้ Google sheet เป็นฐานข้อมูลแล้วใช้ AppSheet เป็นตัวเปิดข้อมูล

2.3 ทดสอบและปรับปรุงแก้ไขระบบ

3. ขั้นตอนการประเมินความพึงพอใจระบบการแจ้งซ่อมครุภัณฑ์ภายในอาคาร มีขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานระบบ

3.2 ประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานระบบ มีวิธีการเลือกแบบเจาะจงไปที่เจ้าหน้าที่ 2 คน ที่เป็นผู้ดูแลอุปกรณ์และครุภัณฑ์ อาจารย์ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 3 คน และเลือกสุ่มแบบบังเอิญโดยนักศึกษา 20 คน รวมทั้งหมด 25 คน ด้วยแบบสอบถามความพึงพอใจจากการใช้งานระบบ

ผลการศึกษา

1. ผลจากการศึกษารวบรวมข้อมูล ศึกษาระบบงานเดิม และสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาความต้องการของระบบที่นำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบโดยแสดงรายละเอียดดังนี้

1.1 ผลจากการศึกษาระบบงานเดิม และสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ 2 คน พบว่า

1) เนื่องจากเจ้าหน้าที่ที่ให้ข้อมูลเป็นเจ้าหน้าที่คุมห้องปฏิบัติการของสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ จึงมีจำนวนชั้นที่รับผิดชอบ 3 ชั้น โดยแบ่งเป็นห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ 8 ห้อง ห้องพักอาจารย์ 5 ห้อง รองรับนักศึกษาผู้ที่เข้ามาใช้งานในคณะเป็นจำนวนมาก

2) การแจ้งซ่อมอุปกรณ์ในคณะยังเป็นการใช้รูปแบบของการเขียนจดบันทึกในแบบฟอร์มที่เป็นแบบคำร้องต่าง ๆ

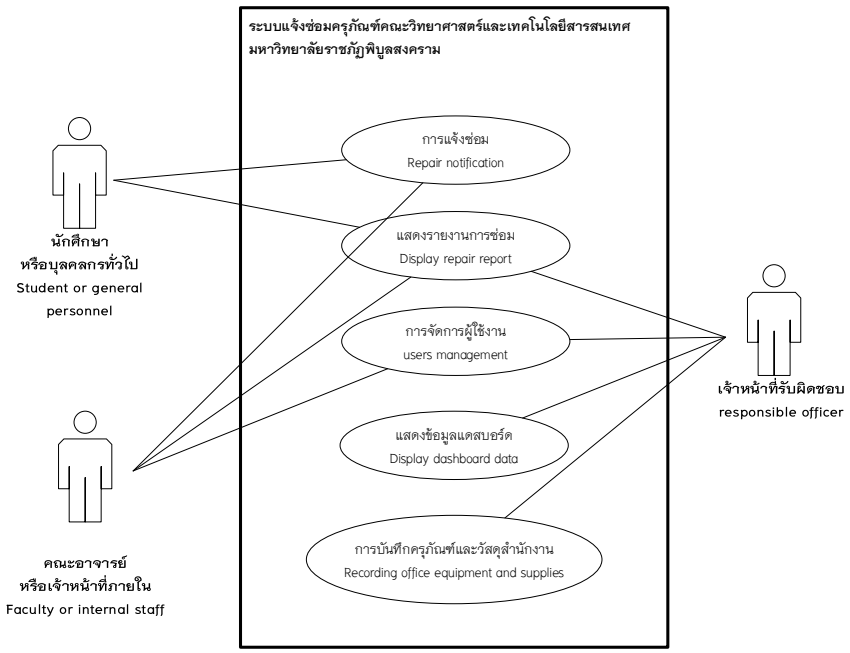
3) ข้อมูลอาจเกิดการสูญหายเพราะใช้แบบฟอร์มในการแจ้งซ่อมและมีข้อผิดพลาดของข้อมูลได้ง่าย เนื่องจากยังมีการจดบันทึกด้วยลายมือ

4) ทะเบียนวัสดุไม่ตรงกับความต้องการในการใช้งานเจ้าหน้าที่ไม่สามารถจัดงบประมาณในการจัดซื้อวัสดุคณะให้ตรงกับความต้องการใช้งานเพราะยังขาดรายงานการจัดซื้อวัสดุของคณะ

1.2 สรุปความต้องการของระบบ ในส่วนของผู้ใช้งานทั่วไปต้องสามารถแจ้งซ่อมได้ และสามารถติดตามสถานะหรือดูสถานะของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่แจ้งซ่อมได้ ในส่วนของเจ้าหน้าที่ต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุและครุภัณฑ์ทั้งหมด มีการจัดหมวดหมู่ให้จัดเจน มีการแจ้งเตือนเมื่อมีการแจ้งซ่อม มีหน้าสรุปข้อมูลการแจ้งซ่อมให้ดูในภาพรวม และข้อมูลที่แสดงต้องมีการระบุว่าอยู่ห้องไหน ตึกไหน เพื่อที่จะได้ระบุผู้รับผิดชอบในแต่ละส่วน

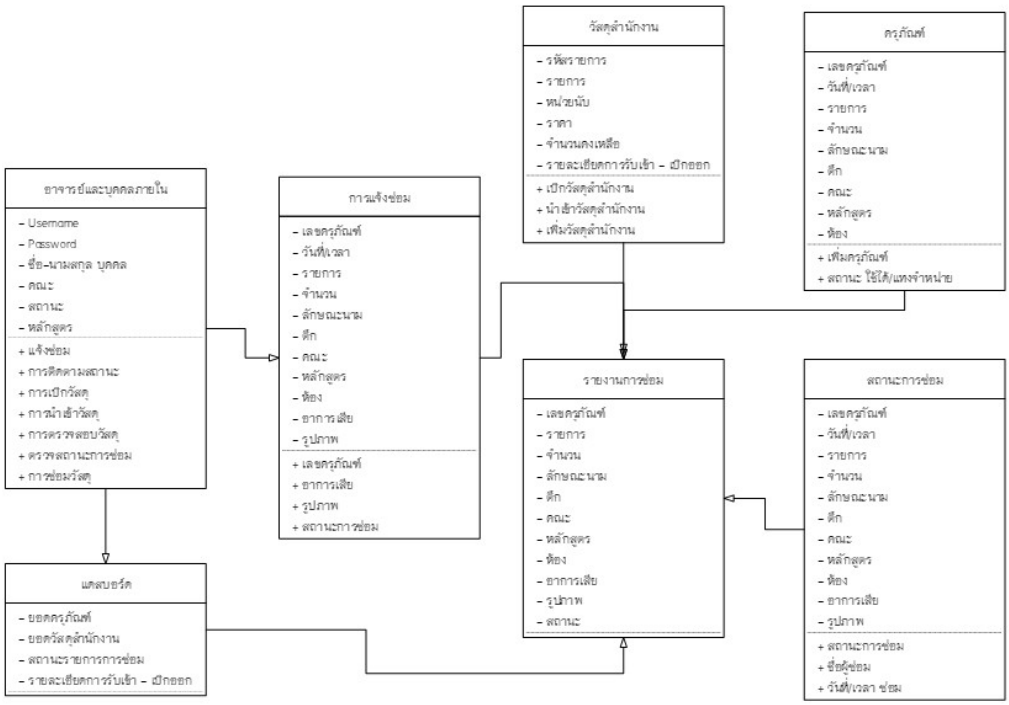
2. ผลจากการออกแบบระบบโดยการใช้หลักการของ UML ซึ่งได้เลือกใช้ Use Case Diagram, Class Diagram และ Sequence Diagram ดังนี้

2.1 ผลการออกแบบระบบด้วย Use Case Diagram เป็นการแสดงระบบย่อยต่าง ๆ ของระบบทั้งหมด ดังภาพที่ 1



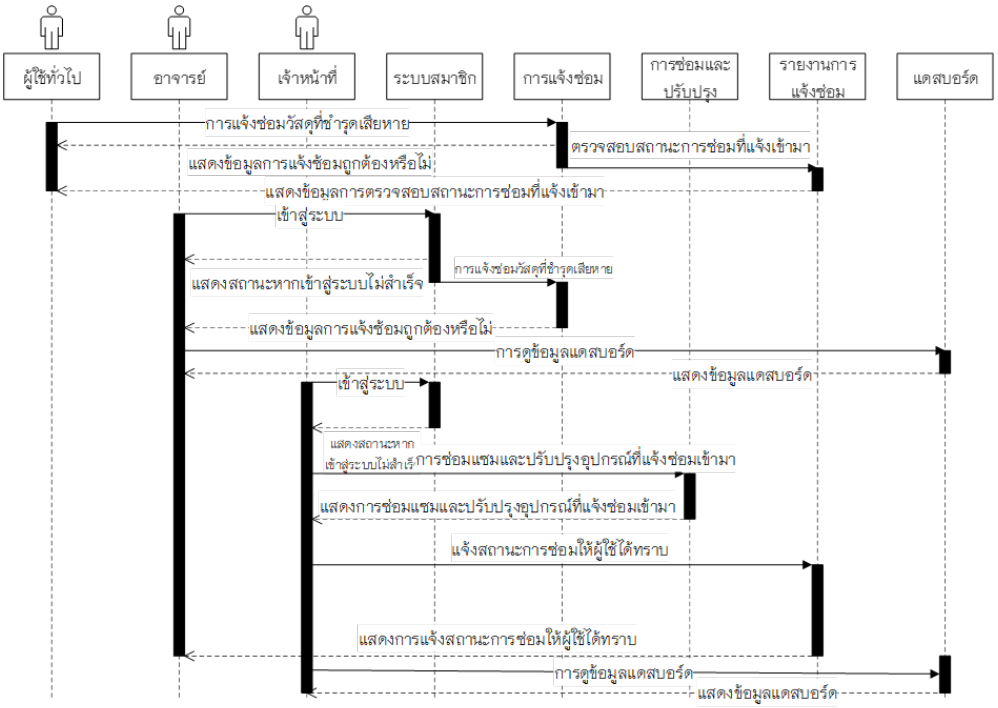
ภาพที่ 1 แสดงผลการออกแบบระบบด้วย Use Case Diagram

2.2 ผลการออกแบบระบบด้วย Class Diagram เป็นการแสดงองค์ประกอบที่ใช้ทั้งหมดในระบบ ดังภาพที่2



ภาพที่ 2 แสดงผลการออกแบบระบบด้วย Class Diagram

2.3 ผลการออกแบบระบบด้วย Sequence Diagram เป็นการแสดงรายละเอียดความสัมพันธ์ของการดำเนินงานทั้งหมดของระบบ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงผลการออกแบบระบบด้วย Sequence Diagram

2.4 ผลการพัฒนาระบบแจ้งซ่อมครุภัณฑ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พัฒนาระบบตามหลักการ responsive web design ให้สามารถรับรองการใช้งานได้ทุกแพลตฟอร์ม เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้งาน ระบบนี้ได้แบ่งผู้ใช้ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

ผู้ดูแลระบบ/เจ้าหน้าที่ สามารถตรวจสอบข้อมูลการแจ้งซ่อม แจ้งสถานการณ์แจ้งซ่อม ดูแลระบบสมาชิก และตรวจสอบข้อมูลเดสบอร์ดของพนักงาน ต่าง ๆ ภายในตัวเว็ปแอปพลิเคชัน

อาจารย์ สามารถแจ้งซ่อม สถานะการแจ้งซ่อม ตรวจสอบข้อมูลเดสบอร์ดของพนักงาน

ผู้ใช้ทั่วไป สามารถแจ้งซ่อม สถานการณ์แจ้งซ่อม ข้อมูลเดสบอร์ดของผู้ใช้ทั่วไป

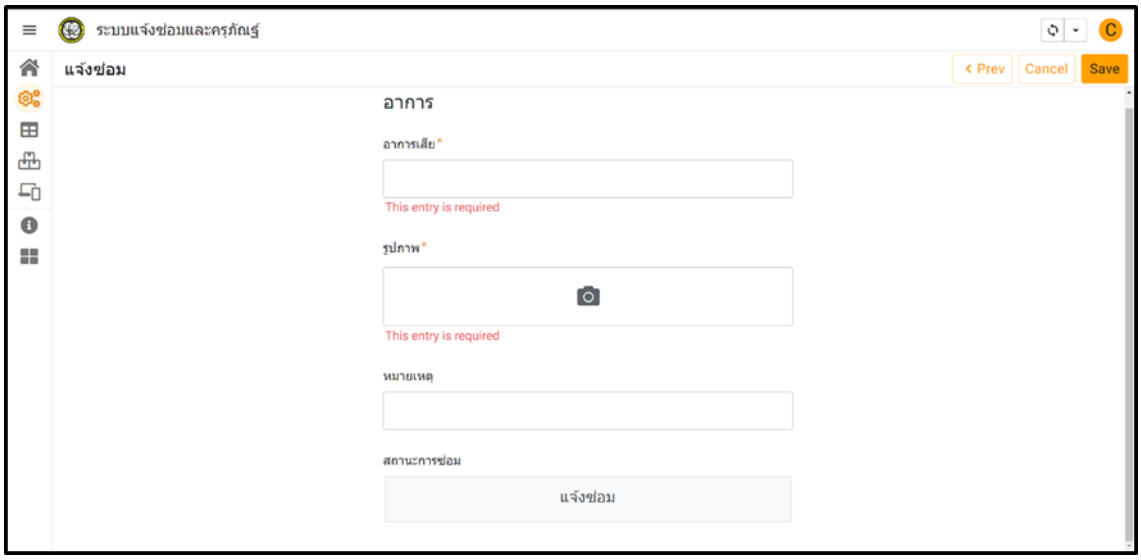
ผลการพัฒนาระบบจองโรงแรมห้องพักด้วยแอปพลิเคชั่น LINE แสดงในภาพที่ 4 – 10



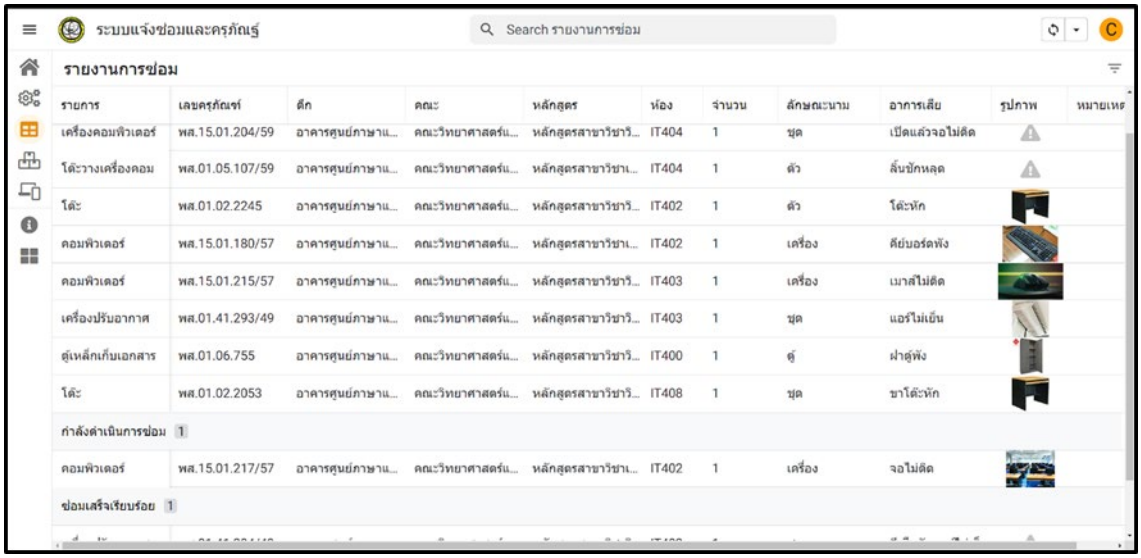
ภาพที่ 4 หน้าการแจ้งซ่อมบนเว็ปแอป และบนสมาร์ทโฟน



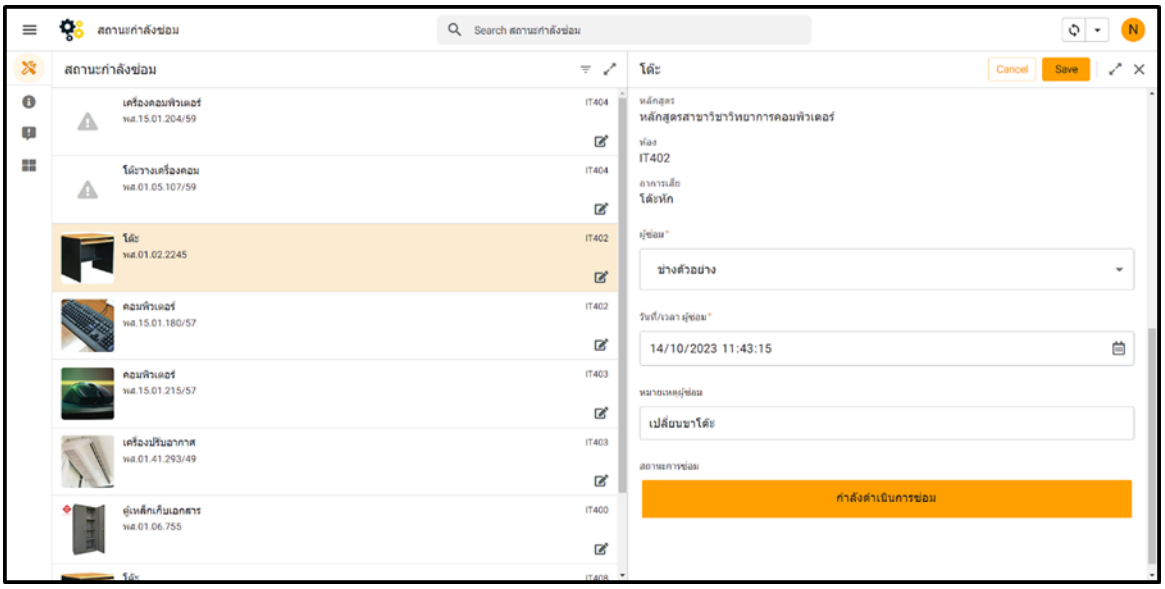
ภาพที่ 5 ขั้นตอนการกรอกเลขครุภัณฑ์ หรือแสกน Qr Code



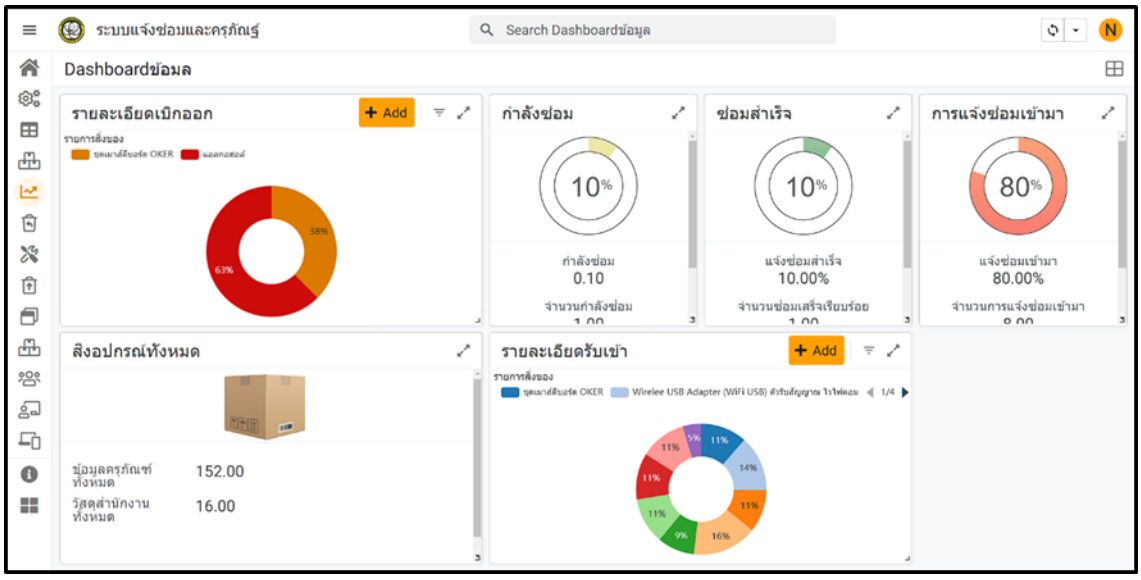
ภาพที่ 6 ขั้นตอนการกรอกอาการเสีย



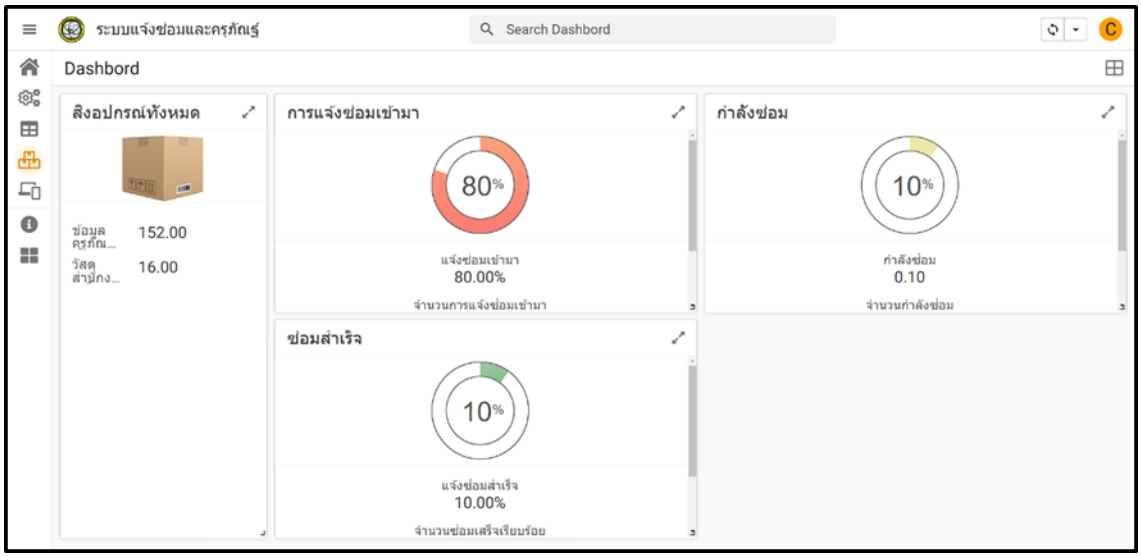
ภาพที่ 7 การแสดงสถานการณ์แจ้งซ่อม



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนสถานการณ์ซ่อม



ภาพที่ 9 การแสดงเดสบอร์ด ของพนักงาน



ภาพที่ 10 การแสดงเดสบอร์ด ของผู้ใช้ทั่วไป

3. ผลการประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานระบบแจ้งซ่อมครุภัณฑ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม มีวิธีการเลือกผู้ประเมินโดยเลือกแบบเจาะจงไปที่เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการแจ้งซ่อม 2 คน และอาจารย์สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ 3 คน จากนั้นใช้วิธีการสุ่มแบบบังเอิญ โดยนักศึกษา 20 คน รวมทั้งหมด 25 คน พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.67 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.38 ซึ่งแปรผลได้ว่ามีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงความพึงพอใจจากการใช้งานระบบของเจ้าหน้าที่ อาจารย์ และนักศึกษา

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{x}$	S.D.	ผลลัพธ์
ด้านการทำงานของแอปพลิเคชันไลน์ และเว็บแอปพลิเคชัน			
เว็บแอปพลิเคชันมีการเข้าถึงที่ง่ายและน่าสนใจ	4.04	0.76	มาก
มีการแสดงเป็นสัดส่วนและการแยกหมวดหมู่อย่างชัดเจน	4.80	0.16	มากที่สุด
ทันสมัยและเป็นปัจจุบันของข้อมูล	4.52	0.73	มาก
สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลได้	4.40	0.64	มาก
สามารถใช้งานในส่วนเมนูได้ง่าย	4.84	0.29	มากที่สุด
แสดงข้อมูลที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ	4.88	0.11	มากที่สุด
ด้านความง่ายของการใช้เว็บแอปพลิเคชัน			
ความเหมาะสมของการใช้ ขนาด สี อักษร	4.80	0.16	มากที่สุด
ความเหมาะสมของการใช้สัญลักษณ์ในการสื่อความหมาย	4.72	0.20	มากที่สุด
ความเหมาะสมของการใช้รูปภาพในการสื่อความหมาย	4.68	0.37	มาก
ความเหมาะสมของตำแหน่งในส่วนประกอบ และเมนูต่าง ๆ	4.56	0.57	มากที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{x}$	S.D.	ผลลัพธ์
ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล	4.68	0.43	มากที่สุด
การออกแบบใช้งานง่าย เข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็ว ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน	4.52	0.57	มากที่สุด
ระบบใช้งานได้ง่าย สะดวกรวดเร็ว	4.68	0.54	มากที่สุด
ความชัดเจนของคำอธิบาย และส่วนประกอบต่าง ๆ	4.92	0.15	มากที่สุด
ความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูล	4.92	0.07	มากที่สุด
ความน่าสนใจ และความหลากหลายของข้อมูล	4.80	0.32	มากที่สุด
รวม	4.67	0.38	มากที่สุด

อภิปรายและสรุปผล

จากผลการวิจัยพบว่าระบบแจ้งซ่อมครุภัณฑ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สามารถใช้งานได้ในระดับดี ผู้ใช้งานสามารถใช้สมาร์ทโฟนในการแสกนคิวอาร์โค้ดของอุปกรณ์ที่ชำรุดในการแจ้งซ่อมได้ เพื่อลดการผิดพลาดในการกรอกข้อมูลแจ้งซ่อม และเจ้าหน้าที่ที่ดูแลอุปกรณ์นั้น ๆ จะสามารถระบุได้ทันทีว่าอุปกรณ์ตัวไหนเสียเพื่อลดความผิดพลาดในการแจ้งซ่อม และในส่วนของรายงานการซ่อมนั้นยังมีการกำหนดสถานะว่า แจ้งซ่อม กำลังซ่อม ซ่อมเรียบร้อยแล้ว เพื่อใช้ในการแสดงสถานะของระบบติดตามการซ่อม อีกทั้งยังมีแดชบอร์ดแสดงรายงานการซ่อมทั้งหมด เพื่อให้ผู้บริหารของคณะเข้ามาดูประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ เกี่ยวกับการซ่อมอุปกรณ์ จากนั้นได้ทำการนำระบบไปประเมินความพึงพอใจจากเจ้าหน้าที่ อาจารย์ และ นักศึกษา ทั้งหมด 25 คน ผลที่ได้อยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.38 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติพงษ์ พันธุ์ทอง และ ธีระ สาธุพันธ์ ที่ได้พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการอุปกรณ์คอมพิวเตอร์การซ่อมบำรุง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี โดยมีการกำหนดปัญหา วิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา และทดสอบการใช้งาน จากนั้นได้ทำการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบรวมทั้งสิ้น 25 คน ผลที่ได้สรุปได้ว่าระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการอุปกรณ์คอมพิวเตอร์การซ่อมบำรุง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีมีค่าเฉลี่ยเชิงปริมาณ 4.43 และผลการประเมินเชิงคุณภาพเป็นระบบงานที่มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบแจ้งซ่อมครุภัณฑ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

ลงทุนแมน. (9 มกราคม 2562). วิกฤติ มหาวิทยาลัยไทย. สืบค้นจาก https://www.longtunman.com/12469

ธีรยุทธ ทรัพย์สันติสุข และสมชาย เล็กเจริญ. (2562). การพัฒนาระบบเฮลป์เดสก์แจ้งซ่อมฮาร์ดแวร์ซอฟต์แวร์ด้วยเทคนิคการจับคู่ของโรงพยาบาลแพทย์รังสิต. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ, 10(1). 1261–1271.

สุริยา ภูศร. (2558). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการระบบแจ้งซ่อมบำรุงวัสดุ-ครุภัณฑ์ออนไลน์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี(รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.

อุบลวรรณา เกษตรเอี่ยม. (2565). ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการใช้งานระบบแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์อัจฉริยะ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. วารสารลวะศรี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, 6(2). 34–47.

ประทีป เทพยศ และอภิรมย์ อังสุรัตน์. (2564). การพัฒนาและประเมินระบบแจ้งซ่อมบำรุงครุภัณฑ์ออนไลน์คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์. วารสารการพัฒนางานประจำสู่งานวิจัย, 8(2). 1–12

พรอนันต์ ลือสกุล, ชูศักดิ์ เอกเพชร และนัฏจรี เจริญสุข. (2564). การพัฒนาแอปพลิเคชันบันทึกพฤติกรรมนักเรียนในระบบดูแลช่วยเหลือนักเรียนด้วยแอปชีทของโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาพังงาภูเก็ต ระนอง. วารสารบัณฑิตวิจัย, 12(1). 123–135.

รัตยากร ไทยพันธ์, วลัยภรณ์ ศรเกลี้ยง ,ชวัลรัตน์ ศรีนวลปาน ,วีระยุทธ สุดสมบูรณ์ ,ฉัตรชัย แก้วดี และธิดารัตน์ ทองเทียบ. (2564). การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับการแจ้งซ่อมภายในหอพักนักศึกษา. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 16(1). 71–85.

ชวลิต บัวพรม และธารชุดา พันธ์นิกุล. (2566). การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับร้านรับซื้อขยะรีไซเคิล. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, 16(1). 64–78.

นันทวัฒน์ คำภา และ ธวัชชัย พรหมรัตน์. (2566). ระบบสารสนเทศแจ้งซ่อมส่วนงานช่างโดยใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา. วารสารวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, 2(1). 75–89.

เว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร

Web application for managing garbage truck: A case study of the Sub-District Administrative Organization of Sarajit

ชัยมงคล จรทอง[1] ธีรพล คัมภีร์[1] และ ธนพงศ์ นิตยะประภา[1*]

Chaimongkon Chonthong[1], Teerapol Campee[1] and Thanapong Nitayaprapha[1*]

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษา ออกแบบ และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ โดยเริ่มจากการศึกษาระบบเดิมและสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้อง เพื่อหาความต้องการของเว็บแอปพลิเคชัน จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ และออกแบบระบบโดยใช้หลักการ UML โดยเลือกใช้แผนภาพ use case diagram และ class diagram มาทำกาออกแบบ จากนั้นทำการพัฒนาแอปพลิเคชันบนเว็บในรูปแบบ Responsive web design เขียนโค้ดด้วยภาษา HTML5, PHP, CSS, JavaScript ร่วมกับการใช้ MySQL เป็นฐานข้อมูล จากนั้นนำไปทดลองใช้และประเมินความพึงพอใจของระบบโดยเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องจำนวน 10 คน ผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 4.49 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69 และประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานระบบทั้งหมด 10 คน ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบอยู่ในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 4.48 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.80 ซึ่งแสดงว่าเว็บแอปพลิเคชันบนนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริง และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสะดวกสบายให้กับชาวบ้านและเป็นประโยชน์ต่อเจ้าหน้าที่

คำสำคัญ: เว็บแอปพลิเคชัน, เส้นทาง, รถเก็บขยะ

Abstract

The research objective involves the comprehensive study, design, and development of a web application tailored for efficient management of garbage trucks. Initiated by an in-depth analysis of the existing system and extensive interviews with pertinent stakeholders, the investigation aims to discern the precise requirements indispensable for the effective operation of the proposed web application. The subsequent data collation undergoes meticulous scrutiny and is systematically organized utilizing UML principles, chose "use case diagrams" and "class diagrams" during the design phase. Then develop web applications in the form of Responsive web design, writing code in HTML5, PHP, CSS, JavaScript along with using MySQL as a database. It was then used for testing and evaluating the satisfaction of the system by 10 relevant officials. The results of the satisfaction assessment were at a very good level. with a mean of 4.49 and a standard deviation of 0.69. It was then used to evaluate the satisfaction of another 10 users of the system. The results of the evaluation

[1] สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Major of Information Technology, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000

[*] Corresponding author e-mail: Thanapong.n@psru.ac.th

of satisfaction with the use of the system are at a very good level. The mean is 4.48 and the standard deviation is 0.80, which shows that the web application here can actually be used. and respond to the needs of users It also increases convenience for villagers and is beneficial to officials.

Keywords: Web Application, Routes, garbage truck

บทนำ

องค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร ตั้งอยู่ที่ตำบลสารจิตรอำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ซึ่งมีหน้าที่ในการกำหนดเส้นทางและจัดเก็บขยะมูลฝอยภายในหมู่บ้าน โดยแบ่งเส้นทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยเป็น 5 เส้นทาง จำนวน 107 จุด เพื่อให้ชาวบ้านในหมู่บ้านสะดวกต่อการทิ้งขยะ และเพิ่มความสะอาดในชุมชน อย่างไรก็ตาม ปัญหาเกี่ยวกับการแสดงข้อมูลเส้นทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยคือรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลด้วยการจดบันทึกลงบนกระดาษและเอกสารเพื่อแสดงข้อมูลให้ชาวบ้านรับทราบ แต่การแสดงข้อมูลในรูปแบบเอกสารนั้นยากต่อการที่ชาวบ้านทั่วไปจะรับรู้ถึงรายละเอียด เป็นการลำบากต่อชาวบ้านในการติดต่อหรือสอบถามที่องค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร นอกจากนี้ ด้วยความยุ่งยากในการติดต่อสื่อสารระหว่างองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตรกับชาวบ้าน ทำให้ไม่สามารถสื่อสารถึงข้อมูลที่เป็นประโยชน์ได้อย่างตรงไปตรงมา ส่วนในด้านการประชาสัมพันธ์กับชาวบ้าน ยังไม่มีการแก้ไขให้เหมาะสมเท่าที่ควร จึงเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลให้ชาวบ้านไม่รู้ว่าจะติดต่อหน่วยงานขององค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตรอย่างไรในกรณีที่มีความต้องการ หรือสอบถามเรื่องการจัดเก็บขยะ นอกจากนี้การประชาสัมพันธ์ในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงตารางและเวลาการเก็บขยะในเส้นทางต่าง ๆ ยังไม่ได้รับการสื่อสารไปถึงชาวบ้านอย่างเหมาะสม ทำให้ชาวบ้านไม่สามารถวางแผนการจัดการขยะได้ตามที่เหมาะสม และอาจจะทำให้เกิดปัญหาการสะสมขยะหรือการจัดการขยะไม่ได้ตามหลักการอย่างเหมาะสม อีกทั้งในปัจจุบันได้มีนโยบายแนวทางการจัดการขยะในประเทศไทย ซึ่งจำเป็นต้องใช้การประชาสัมพันธ์และเอกสารอธิบายถึงวิธีการคัดแยกขยะ (สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, 2564) หากไม่มีการประชาสัมพันธ์ที่ดี ไม่มีสิ่งที่นำไปใช้บอกถึงวิธีการคัดแยกขยะจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นในอนาคตได้

ในปัจจุบันเว็บแอปพลิเคชันเป็นส่วนสำคัญของการสื่อสารอย่างมากจึงได้นำเว็บแอปพลิเคชันมาใช้ในรูปแบบการโฆษณา (Admin AI, 2566) การประชาสัมพันธ์เพื่อนำเสนอข้อมูลต่าง ๆ PHP สามารถช่วยในการสร้างและประมวลผลข้อมูลของเว็บและแอปพลิเคชันอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการเสริมสร้างเนื้อหาไดนามิกที่ตอบสนองต่อผู้ใช้และการจัดการกับการเชื่อมต่อข้อมูลสำคัญ เช่น การอัพเดตและแสดงผลข้อมูลเรียลไทม์จากแหล่งต่าง ๆ ซึ่งทำงานร่วมกับฐานข้อมูล SQL Web Responsive เป็นคุณสมบัติที่ทำให้เว็บแอปพลิเคชันสามารถปรับแต่งการแสดงผลได้อย่างเหมาะสมกับอุปกรณ์และหน้าจอที่แตกต่างกัน สามารถปรับปรุงเรียกดูได้อย่างถูกต้องในหลายขนาดของหน้าจอ เช่น คอมพิวเตอร์, แท็บเล็ต, สมาร์ทโฟน และอุปกรณ์อื่น ๆ การนำทางแผนที่ Google Maps เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลทางภูมิศาสตร์และการนำทางได้อย่างง่ายดาย โดยมีความสามารถที่ครอบคลุมทั้งการหาตำแหน่ง แสดงเส้นทาง และการนำทางเพื่อเดินทางไปยังจุดหมายปลายทาง (nearikii, 2563)

จากปัญหาและเทคโนโลยีที่มีผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะกรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร เพื่อใช้ในการแสดงข้อมูลค่าใช้จ่าย ข้อมูลประชาสัมพันธ์ และจัดการเส้นทางการเก็บขยะให้เป็นรูปแบบที่สะดวกและเข้าใจง่ายสำหรับชาวบ้านทั่วไป และหากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการแสดงข้อมูล หรือเส้นทางการเก็บขยะ ก็สามารถใช้เป็นอีกช่องทางหนึ่งเพื่อประชาสัมพันธ์หรือใช้เป็นช่องทางในการอธิบายข้อมูลเพิ่มเติมให้กับชาวบ้านได้เข้าใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งเว็บแอปพลิเคชันนี้จะถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานได้ทุกแพลตฟอร์มเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานให้มากที่สุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการของเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาญชัย ศุภอรรถกร และคณะ (2565) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เที่ยววัดเมืองไทย ใฝ่ธรรมะ เนื่องจากผู้วิจัยมองเห็นว่าการท่องเที่ยววัดหรือศาสนาสถานในประเทศไทย มีข้อมูลจำนวนมากอยู่บนอินเตอร์เน็ต เป็นเรื่องยากที่นักเที่ยวสืบค้นข้อมูลรายละเอียดวัดหรือตำแหน่ง อาจได้รับข้อมูลที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจท่องเที่ยว ซึ่งผู้วิจัยจึงพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่เป็นศูนย์รวมของข้อมูลวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศ มีการศึกษาความต้องการของผู้ใช้งาน ออกแบบระบบ ทำการพัฒนาระบบด้วยโปรแกรมภาษา PHP ร่วมกับ Bootstrap framework ในการติดต่อผู้ใช้งาน พร้อมจัดทำฐานข้อมูลด้วย MariaDB และใช้ Google Maps API ในการแสดงตำแหน่งที่อยู่ของวัด จากการที่ผู้วิจัยนำเว็บแอปพลิเคชันไปใช้งาน บุคคลทั่วไปสามารถใช้งานได้ สามารถทราบรายละเอียดสถานที่ประกอบการตัดสินใจในการท่องเที่ยวได้และเป็นช่องทางเผยแพร่ประชาสัมพันธ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว

ภาวพรรณ ขำทับ และธีรพงษ์ วิริยานนท์ (2565) ได้ทำวิจัยเรื่อง การออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้หลายรูปแบบบนเทคโนโลยีดิจิทัลในยุคสังคมผู้สูงอายุ เนื่องจากผู้สูงอายุในศตวรรษที่ 21 ภายใต้สถานการณ์ COVID 19 ผู้สูงอายุนั้นมีปัญหาเรื่องการมองเห็น ทำให้มีผลกระทบต่อการใช้งานสมาร์ทโฟนในการเรียนรู้หรือศึกษาหาข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับ COVID 19 เพราะตัวอักษรค่อนข้างเล็กและเข้าใจยากสำหรับผู้สูงอายุ ซึ่งผู้วิจัยจึงได้จัดทำเว็บแอปพลิเคชัน สูงวัยห่างไกลโควิด-19 โดยผู้วิจัยใส่ใจและให้ความสำคัญในหลักการออกแบบหน้าตาของเว็บแอปพลิเคชัน ในการพัฒนาผู้วิจัยใช้หลักการ responsive web design เนื่องจากสามารถรองรับได้หลายอุปกรณ์ ภายในเว็บแอปพลิเคชันได้มีการจัดองค์ประกอบ ไม่ว่าจะการใช้สีที่มีความเข้มตัดกัน ใช้ตัวอักษรที่มีขนาดใหญ่ ใช้ไอคอนหรือสัญลักษณ์ที่สื่อความหมายชัดเจน มีการจัดวางหน้าจอทัสกรีนโดยสร้างปุ่มที่มีขนาดใหญ่ มีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนจากการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันของผู้สูงอายุใช้งานเว็บแอปพลิเคชันเกิดการทำความเข้าใจและเกิดการเรียนรู้โดยที่ไม่ต้องศึกษาวิธีการใช้งานจากคู่มือหรือไม่ต้องขอคำแนะนำจากผู้วิจัย

พัชราภรณ์ หงษ์สิบสอง และคณะ (2564) ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อการจัดการข้อมูลธนาคารขยะ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนมหาโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดน่าน เนื่องจากโครงการธนาคารออมบุญ ของชุมชนเทศบาลเมืองน่าน ยังมีการจดบันทึกการซื้อขายด้วยสมุดบันทึก ทำให้ยากต่อการสืบค้นและการคำนวณ ซึ่งผู้วิจัยจึงพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อการจัดการข้อมูลธนาคารขยะ โดยออกแบบระบบขนาดเล็ก 4 ระบบ ได้แก่ ระบบจัดการข้อมูลสมาชิก ระบบรับซื้อ-ขายขยะ ระบบบริหารจัดการขยะ และระบบแสดงผลรายงาน ด้วยการใช้โปรแกรมภาษา PHP เป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนาร่วมกับฐานข้อมูลด้วย MySQL และยังใช้การพัฒนา Web Responsive ด้วย Bootstrap framework จากการใช้งานเว็บ แอปพลิเคชันการจัดการข้อมูลธนาคารขยะ เพิ่มความสะดวกในด้านการจัดเก็บข้อมูล ทำให้การเก็บข้อมูลเป็นระบบและช่วยให้ข้อมูลธนาคารขยะมีความเป็นปัจจุบัน

อารีรัตน์ ชูพันธ์ และเสาวคนธ์ ชูบัว (2565) ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวในชุมชน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช เนื่องจากอำเภอขนอม จังหวัดนครราชศรีธรรมราช ยังขาดช่องทางประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว ทำให้ในเขตพื้นที่อำเภอขนอม จังหวัดนครราชศรีธรรมราชนั้นมีจำนวนนักท่องเที่ยวน้อย ซึ่งผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวในชุมชน

อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราชขึ้นมา โดยรวบรวมข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว ตำแหน่งพื้นที่ด้วยการอ้างอิงจาก google map พัฒนาระบบด้วยโปรแกรมภาษา PHP โดยมี Bootstrap Front-end Framework เป็นแม่แบบในการพัฒนาเว็บไซต์ จัดการฐานข้อมูลผ่านโปรแกรม phpmyAdmin และใช้งาน Google Map เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเส้นทางและแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่ จากการนำเว็บไซต์ไปใช้งานนั้น ผู้ใช้งานสามารถสืบค้นข้อมูลและแสดงข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวในชุมชนได้พร้อมทั้งเป็นการสนับสนุนการท่องเที่ยวในชุมชน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้เป็นอย่างดี

พิชญา นิลรุ่งรัตนา และอติเทพ แจ้ดนาลาว (2565) ได้ทำวิจัยเรื่องการออกแบบส่วนประสานผู้ใช้งานสำหรับผู้สูงอายุไทยในยุคดิจิทัลเนื่องจากประเทศไทยจะก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้ประสบปัญหาในการใช้งานอุปกรณ์เทคโนโลยีต่าง ๆ ในกลุ่มผู้สูงอายุ เนื่องจากส่วนใหญ่ถูกพัฒนาและออกแบบสำหรับกลุ่มคนวัยหนุ่มสาวหรือวัยทำงานเป็นหลัก ซึ่งผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบส่วนประสานผู้ใช้งานสำหรับผู้สูงอายุโดยใช้ศาสตร์ HCI (Human Computer Interaction) การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และสมองกล ได้พูดถึงการออกแบบส่วนประสานผู้ใช้งานและประสบการณ์ผู้ใช้งาน ได้มีการออกสำรวจถึงสาเหตุ อุปสรรคการใช้งาน ลักษณะการออกแบบระบบในกลุ่มผู้สูงอายุ จากผลสำรวจผู้สูงอายุมีความต้องการการออกแบบส่วนประสานผู้ใช้งาน มีเรียบง่าย โล่ง สบายตา มีมิติมีแสงเงาชัดเจน สีสันเข้มจัด ใช้ภาพถ่ายชัดเจน วางภาพขนาดใหญ่เต็มภาพใช้สีน้อย ปุ่มกดสีตัดกันชัดเจน

วิธีการศึกษา

ในการวิจัยนี้ มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 3 ขั้นตอนประกอบด้วย 1) ขั้นตอนการศึกษารูปแบบความต้องการของระบบ 2) ขั้นตอนออกแบบและพัฒนาระบบ 3) ขั้นตอนการประเมินความพึงพอใจของระบบ มีรายละเอียดดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษารูปแบบความต้องการของระบบ มีขั้นตอนดังนี้

1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากระบบงานเดิมที่มีการทำงานในรูปแบบเอกสาร

1.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์พนักงานที่เกี่ยวข้องภายในองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร เพื่อหาความต้องการของระบบ จำนวน 5 คน

1.3 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากข้อ 1.1 และ 1.2 มาวิเคราะห์ และสรุปผลเพื่อหาความต้องการของระบบและนำไปใช้ในการพัฒนาเว็บแอพพลิเคชัน

2. ขั้นตอนออกแบบและพัฒนาระบบ มีขั้นตอนดังนี้

2.1 วิเคราะห์และออกแบบระบบด้วย Unified Modeling Language (UML) ซึ่งได้ทำการนำข้อมูลผลสรุปความต้องการระบบมาทำการวิเคราะห์ด้วย UML ประกอบไปด้วย 2 ไดอะแกรม คือ 1) Use Case Diagram 2) Class Diagram

2.2 พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ ตามโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้ภาษา HTML5, PHP, CSS, JavaScript ใช้ MySQL ในการเก็บข้อมูลทั้งหมด

2.3 ทดสอบและปรับปรุงแก้ไขเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ

3. ขั้นตอนการประเมินความพึงพอใจของระบบ มีขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างแบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ

3.2 ประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ ด้วยแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบโดยเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ไปที่เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับงาน และรับผิดชอบทำหน้าที่จัดเก็บขยะในองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร ทั้งหมด 10 คน

3.3 ประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ ด้วยแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานระบบโดยเลือกสุ่มแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) ไปที่ชาวบ้านในพื้นที่ตำบลสารจิตร ผู้ใช้บริการการจัดเก็บขยะที่มีความเข้าใจในกระบวนการและวิธีการจัดการขยะในพื้นที่ตำบลสารจิตร ทั้งหมด 10 คน

ผลการศึกษา

ผลจากการรวบรวมข้อมูลและศึกษาระบบงานเดิมเพื่อหาความต้องการของระบบเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ และพัฒนาระบบโดยแสดงรายละเอียดดังนี้

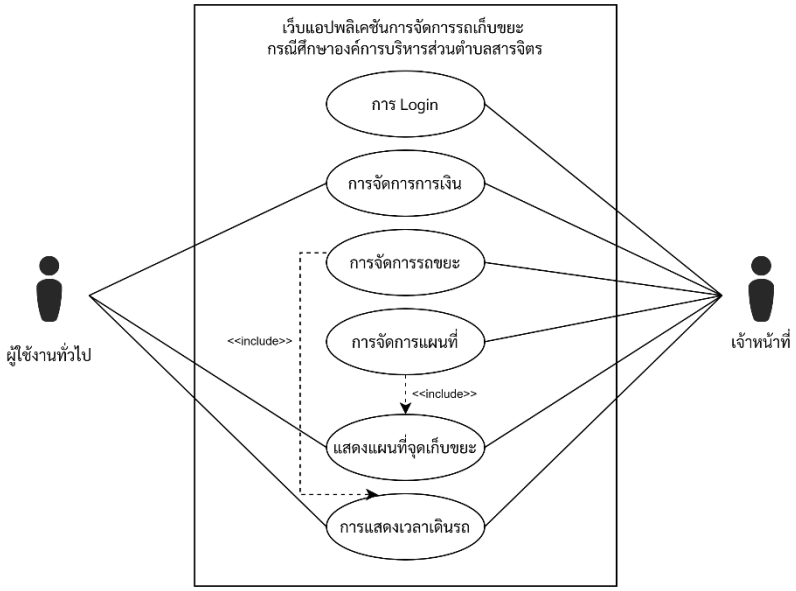
1. ผลจากการศึกษาเพื่อหาความต้องการของระบบ

1.1 ผลจากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 5 คน คือ พนักงานภายในองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร จำนวน 5 คน พบว่ายังประชาสัมพันธ์ แจ้งข่าวสารผ่านทางเสียงตามสายหรือบอร์ดที่หน่วยงาน ทำให้ได้รับข่าวสารที่ไม่ทั่วถึง อาจทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่ชัดเจน เกิดความล่าช้าในการเข้าถึงข้อมูล การจัดเก็บเอกสารที่ไม่เป็นระบบระเบียบ ยากต่อการค้นหา เอกสารบางส่วนได้มีการชำรุดและสูญหาย การสอบถามข้อมูลเส้นทางหรือจุดเก็บขยะ ที่ยังต้องเดินทางมาที่หน่วยงานยังใช้การแจ้งแบบจดบันทึก ปัญหาการเก็บข้อมูลของทางหน่วยงานยังอยู่ในรูปแบบเอกสาร

1.2 สรุปผลการศึกษาความต้องการของระบบ หน่วยงานต้องการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการประชาสัมพันธ์ข่าวสารและกิจกรรม การจัดเก็บเอกสารที่เป็นระบบระเบียบง่ายต่อการค้นหาการเก็บบันทึกข้อมูล การแสดงข้อมูลที่เป็นระบบระเบียบให้ง่ายต่อการค้นหาเส้นทางหรือจุดเก็บขยะ สามารถแสดงข้อมูลตารางการเดินรถขยะได้ง่าย และมีการนำระบบฐานข้อมูลมาใช้ในการเก็บข้อมูลและออกแบบให้ระบบสามารถเปิดใช้งานได้ทุกอุปกรณ์ ไม่ว่าจะเป็น สมาทโฟน แท็บเล็ต และ คอมพิวเตอร์

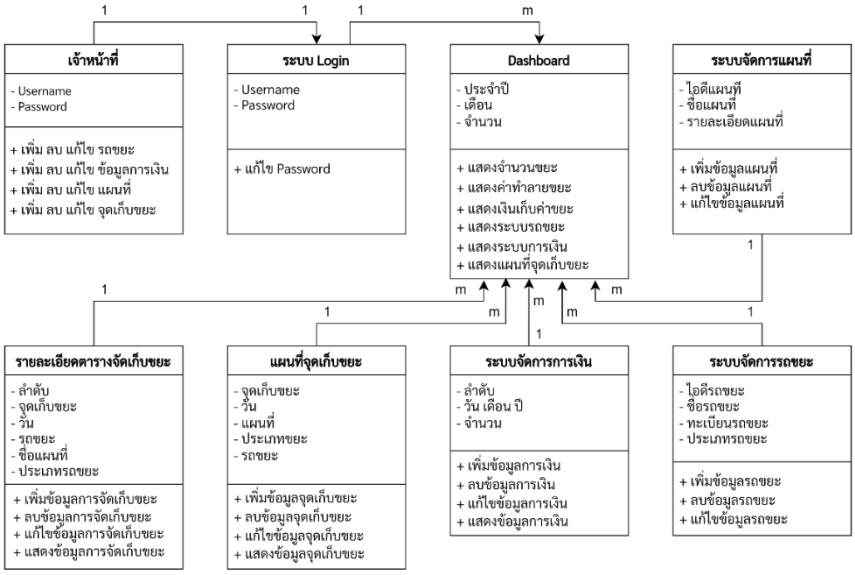
2. ผลจากการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะ โดยใช้หลักการของ UML ซึ่งได้เลือกใช้ Use Case Diagram และ Class Diagram ดังนี้

2.1 ผลการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะด้วย Use Case Diagram เป็นการแสดงระบบย่อยต่าง ๆ ของระบบทั้งหมด และแสดงถึงผู้ใช้งานระบบที่มีความสัมพันธ์กับระบบในส่วนต่าง ๆ ดังรูปภาพที่ 1



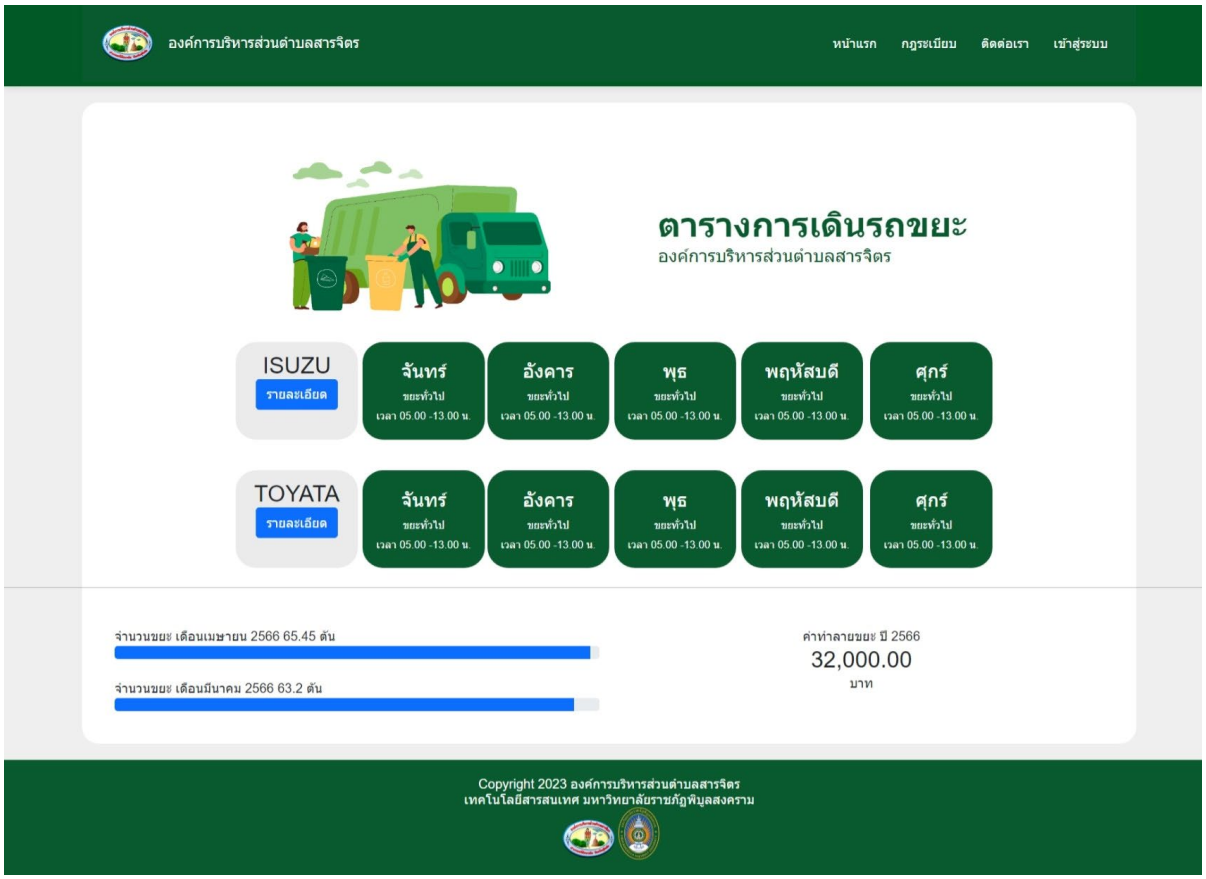
รูปภาพที่ 1 แสดงผลการออกแบบระบบด้วย Use Case Diagram

2.2 ผลการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะด้วย Class diagram เป็นการแสดงองค์ประกอบของระบบทั้งหมด ซึ่งมีการแสดง Class ที่มีความสัมพันธ์กับ Object ดังรูปภาพที่ 2



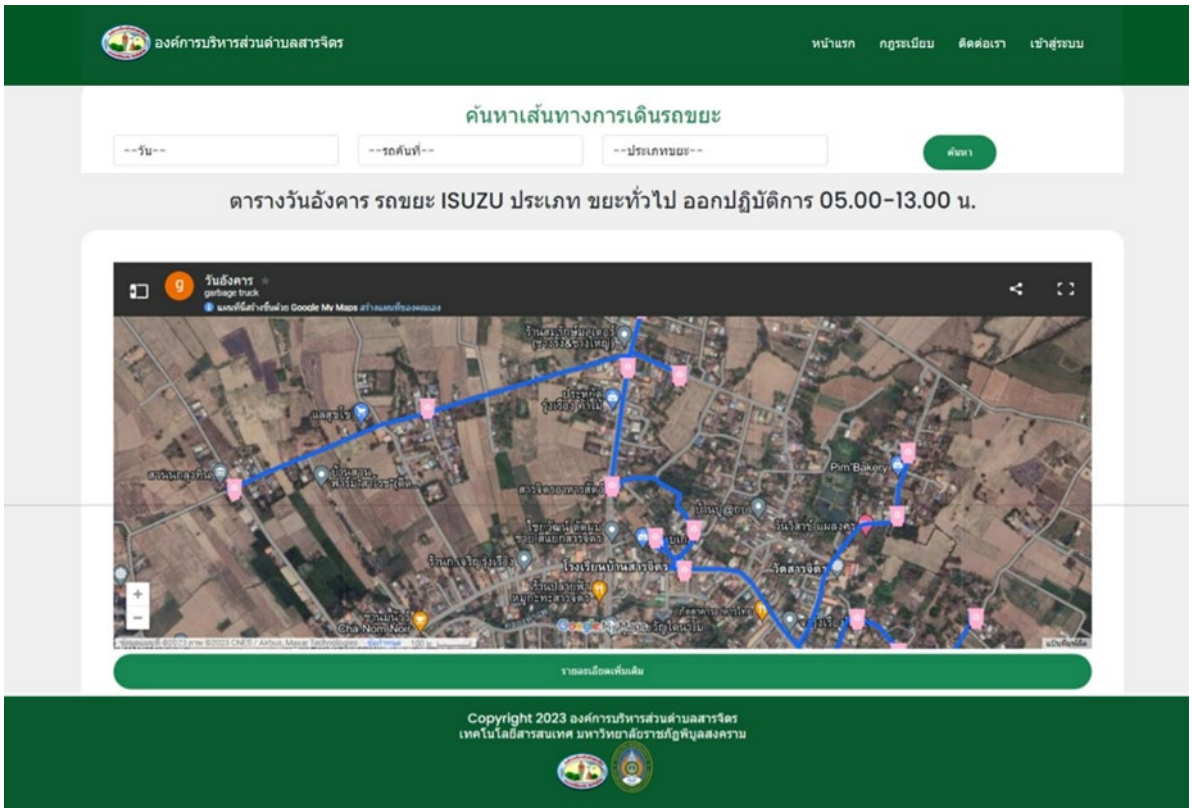
รูปภาพที่ 2 แสดงผลการออกแบบระบบด้วย Class Diagram

2.3 ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแสดงเส้นทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร โดยพัฒนาระบบตาม หลักการ responsive web design ให้สามารถรับรองการใช้งานได้ทุกแพลตฟอร์ม เพื่อเพิ่มความ สะดวกสบายให้กับผู้ใช้งาน เจ้าหน้าที่ สามารถเข้าสู่ระบบดูรายละเอียดข้อมูลภายในเว็บแอปพลิเคชัน จัดการ ข้อมูลผู้ใช้งาน เพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูล จัดการค่าทำลายขยะ จัดการรถขยะ จัดการรายรับขยะ จัดการจุดเก็บขยะ และจัดการแผนที่การเดินรถขยะ สามารถเข้ามาดูรายละเอียดข้อมูลภายในเว็บแอปพลิเคชันผู้ใช้งานทั่วไป สามารถเข้ามาดูรายละเอียดข้อมูลภายในเว็บแอพพลิเคชัน ดำเนินการสืบค้นข้อมูลจุดเก็บขยะ ข้อมูลต่าง ๆ ภายในเว็บแอปพลิเคชัน ตรวจสอบตารางเวลาการเดินรถขยะ ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะแสดงในรูปภาพที่ 3 –9 เมื่อเข้ามาสู่เว็บแอปพลิเคชัน ในหน้าแรกจะแสดงข้อมูลรายละเอียดของรถขยะที่มีทั้งหมด ดังรูปภาพที่ 3



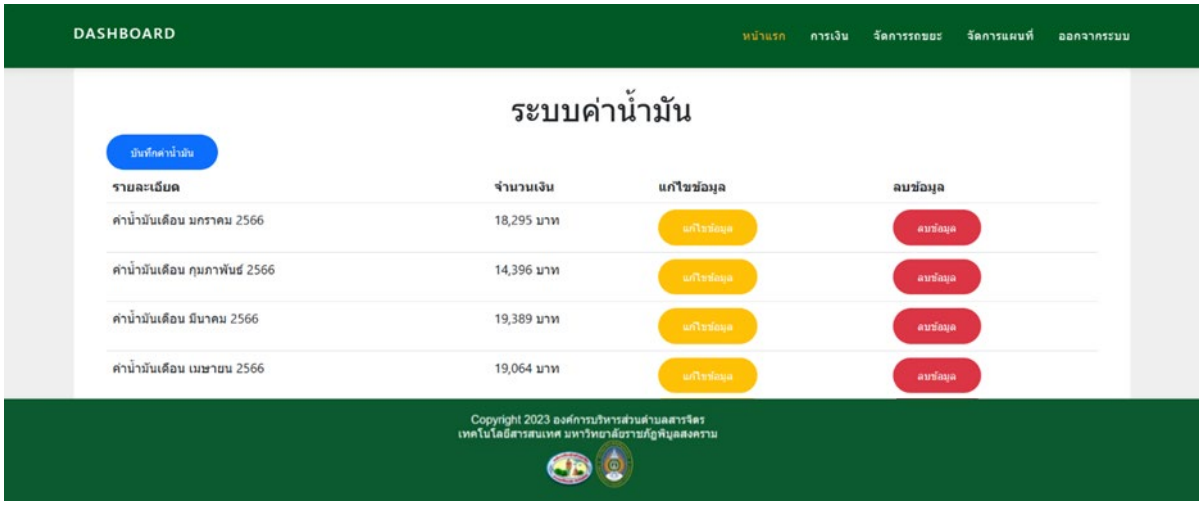
รูปภาพที่ 3 หน้าจอหลักของเว็บแอปพลิเคชัน

และเมื่อคลิกดูรายละเอียดของรถเก็บขยะแต่ละคัน จะแสดงเส้นทางการเก็บขยะ เวลาที่ออกเก็บขยะ และประเภทของขยะ ของรถคันที่เลือก ดังรูปภาพที่ 4



รูปภาพที่ 4 หน้าจอการค้นหาและแสดงแผนที่จุดเก็บขยะ

เมื่อเจ้าหน้าที่ล๊อกอินเข้าสู่ระบบจะสามารถทำการ เพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลต่าง ๆ ของระบบได้ เช่น บันทึกค่านำมันที่ใช้ในแต่ละเดือน ดังรูปภาพที่ 5

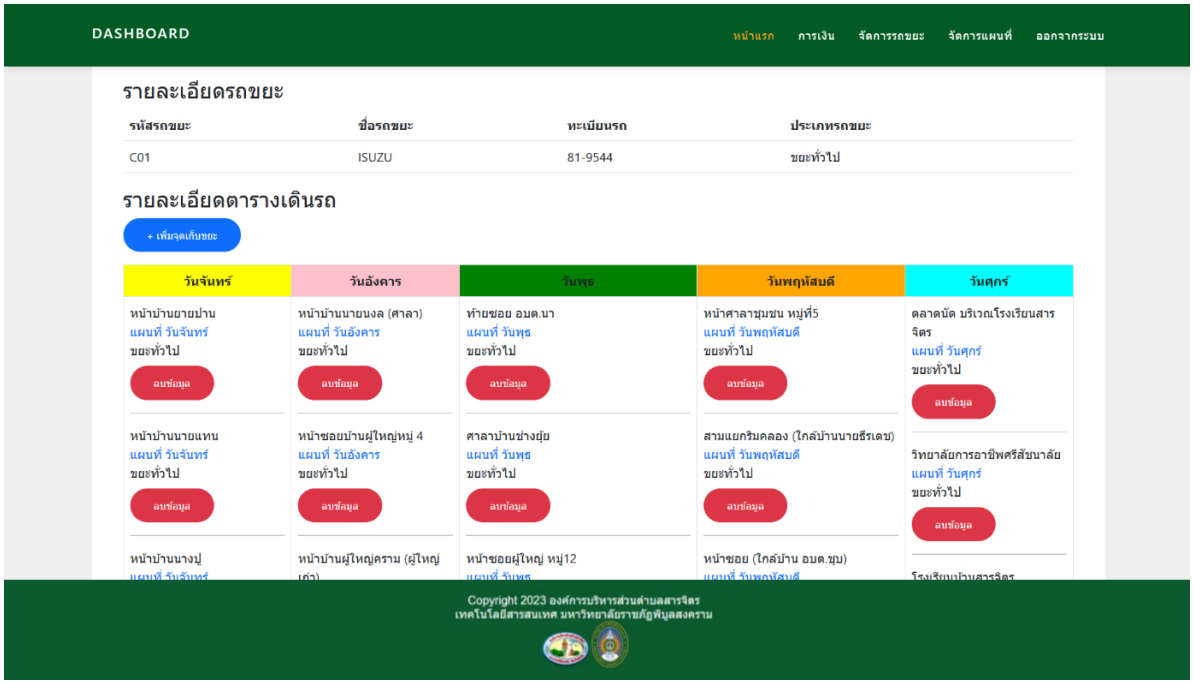


รูปภาพที่ 5 หน้าจอแสดงรายการด้านการเงิน

เมื่อเลือกเมนูจัดการรถขยะ จะสามารถเพิ่มข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงประเภทของรถขยะได้ ดังรูปภาพที่ 6 กับ รูปภาพที่ 7

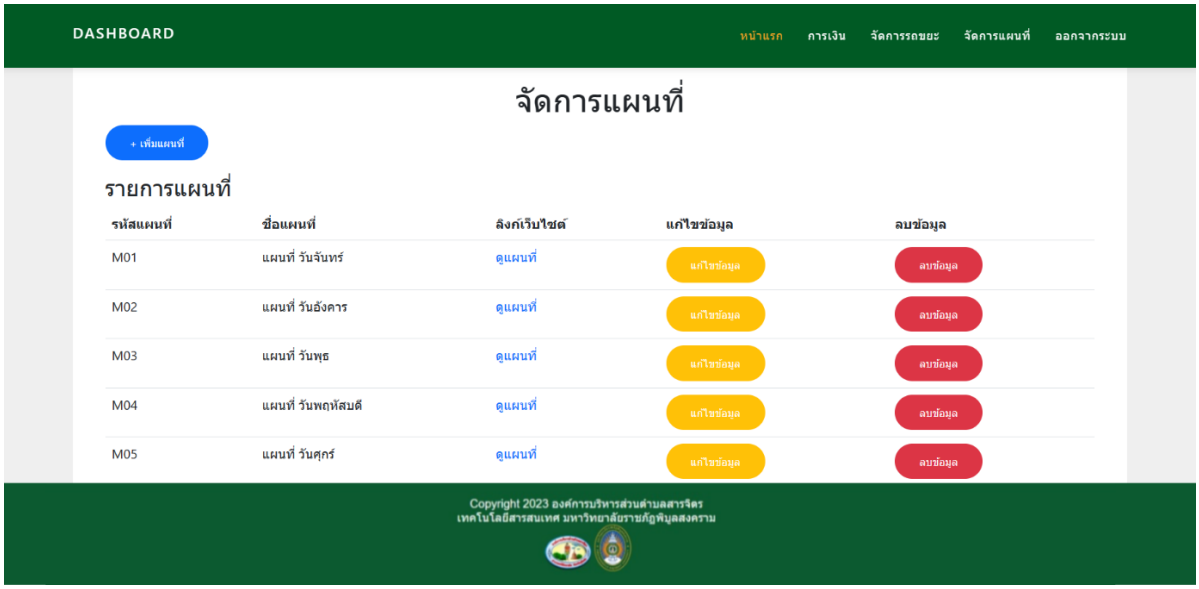


รูปภาพที่ 6 หน้าจอแสดงรายการรถขยะ



รูปภาพที่ 7 หน้าจอการจัดการจุดเก็บขยะของรถขยะ

และ เมื่อเลือกเมนูจัดการแผนที่ จะสามารปรับเส้นทางการเก็บขยะได้ ดังรูปภาพที่ 8



รูปภาพที่ 8 หน้าจอการจัดการแผนที่จุดเก็บขยะ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจในเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะกรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร ได้แบ่งการประเมินออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

3.1 ผลการประเมินความพึงพอใจจากการใช้งาน มีวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับงาน และรับผิดชอบทำหน้าที่จัดเก็บขยะในองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร จำนวน 10 คน พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจในประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับมากโดยมีค่าเฉลี่ย 4.49 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.69 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความพึงพอใจจากการใช้งานของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวของ

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{x}$	S.D	ผลลัพธ์
ด้านการทำงานของเว็บแอพพลิเคชัน			
1. เว็บแอปพลิเคชันมีการเข้าถึงที่ง่ายและน่าสนใจ	4.60	0.70	มากที่สุด
2. เว็บแอปพลิเคชันมีการแสดงเป็นสัดส่วนและมีการแยกหมวดหมู่อย่างชัดเจน	4.60	0.52	มากที่สุด
3. เว็บแอปพลิเคชันทันสมัยและเป็นปัจจุบันของข้อมูล	4.50	0.85	มาก
4. เว็บแอปพลิเคชันสามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลได้	4.60	0.70	มากที่สุด
5. เว็บแอปพลิเคชันสามารถใช้งานในส่วนเมนูได้ง่าย	4.70	0.48	มากที่สุด
6. เว็บแอปพลิเคชันแสดงข้อมูลที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ	4.40	0.70	มาก
ด้านความง่ายของการใช้เว็บแอปพลิเคชัน			
1. ความเหมาะสมของการใช้ชนิด ขนาด สี อักษรบนเว็บแอปพลิเคชัน	4.50	0.71	มากที่สุด
2. ความปลอดภัยในการใช้บริการเว็บแอพพลิเคชัน	4.30	0.67	มาก
3. ความเหมาะสมของการใช้รูปภาพในการสื่อความหมาย	4.30	0.95	มาก

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{x}$	S.D	ผลลัพธ์
4. ความเหมาะสมของการวางตำแหน่งส่วนประกอบและเมนูของเว็บแอปพลิเคชัน	4.40	0.52	มาก
5. ความเหมาะสมของรูปแบบการแสดงผล	4.70	0.48	มากที่สุด
6. การออกแบบใช้งานง่าย เข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็ว	4.30	0.95	มาก
รวม	4.49	0.69	มาก

3.2 ผลการประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานระบบ มีวิธีการเลือกการสุ่มแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) โดยชาวบ้าน และผู้ที่สนใจ ที่อยู่ในพื้นที่ตำบลสารจิตร ทั้งหมด 10 คน พบว่าผลการประเมิน ความพึงพอใจจากการใช้งานระบบอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 4.48 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.80 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจจากการใช้งานของผู้ใช้ทั่วไป

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{x}$	S.D	ผลลัพธ์
ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน			
1. ระบบใช้งานได้ง่าย สะดวกรวดเร็ว	4.70	0.67	มากที่สุด
2. ความชัดเจนของคำอธิบาย ส่วนประกอบต่าง ๆ	4.20	0.92	มาก
3. มีการจัดหมวดหมู่ของข้อมูล ทำให้สะดวกต่อการค้นหาและเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย	4.50	0.71	มาก
4. ความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูล	4.30	0.95	มาก
5. ความน่าสนใจ และความหลากหลายของข้อมูล	3.60	1.17	มาก
6. ความเหมาะสมของรูปแบบที่ใช้	4.60	0.70	มากที่สุด
7. ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ และถูกต้อง	4.90	0.32	มากที่สุด
ความพึงพอใจด้านประสิทธิภาพ			
1. รูปแบบระบบใช้งานได้ง่าย และไม่ซับซ้อน	4.80	0.42	มากที่สุด
2. สามารถค้นหา และตอบสนองได้รวดเร็ว	4.40	0.84	มาก
3. ข้อมูลมีความถูกต้องสมบูรณ์ และครบถ้วน	4.50	0.85	มาก
4. ข้อมูลมีการอัพเดต และเป็นปัจจุบัน	4.50	0.85	มาก
5. ข้อมูลมีประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน	4.70	0.67	มากที่สุด
6. ระบบสามารถช่วยลดขั้นตอนในการทำงาน	4.70	0.67	มากที่สุด
7. มีความพร้อมในการให้บริการต่อผู้ใช้อยู่เสมอ	4.50	0.85	มาก
8. มีการจัดการกำหนดสิทธิในการเข้าถึงข้อมูล	4.30	0.67	มาก
รวม	4.48	0.80	มาก

อภิปรายและสรุปผล

จากผลการวิจัยพบว่าเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะกรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตร สามารถแสดงเส้นทาง และจุดเก็บขยะได้อย่างชัดเจน มีการแสดงประเภทของรถขยะอย่างชัดเจนเพื่อรองรับหากในอนาคตมีการแยกประเภทการเก็บขยะจะสามารถระบุได้ อีกทั้งระบบยังมีรายงานแสดงค่าใช้จ่ายและรายรับจากการบริการจัดการขยะเพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้ทราบ ผลการประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานของเจ้าหน้าที่พบว่าอยู่ในระดับ มาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69 อีกทั้งผลการประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานของผู้ใช้ทั่วไปในการใช้งานระบบอยู่ในระดับ มาก โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนเท่ากับ 4.48 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.80 จึงสามารถเห็นได้ว่าในทั้งสองแบบสอบถามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสอดคล้องกับการวิจัยของ มริษา สุดอุดม และภัทรา สวนโสกเชือก (2566) ที่ได้ทำเรื่องการพัฒนาแอปพลิเคชันธนาคารขยะเพื่อจัดการขยะชุมชน ที่มีการประเมินผลความพึงพอใจจากการใช้งานระบบ ผลการศึกษาพบว่าผู้ใช้ระบบมีความพึงพอใจในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.26 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.71

ในส่วนผลการประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานของผู้ใช้ทั่วไป ในด้านความน่าสนใจและความหลากหลายของข้อมูล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.60 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.17 ที่ได้คะแนนน้อยที่สุด และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเกิน 1 ซึ่งแสดงถึงความไม่สอดคล้องกันของแบบประเมิน เนื่องมาจากปัจจุบันรถเก็บขยะในตำบลสารจิตร มี 2 คัน ชาวบ้านที่ทำแบบประเมินความพึงพอใจบางคนจึงเห็นว่าไม่น่าสนใจ หากรถเก็บขยะมีมากกว่านี้และแยกประเภทการเก็บขยะตามที่ได้ออกแบบระบบไว้จะน่าสนใจมากยิ่งขึ้น และจะได้ใช้ระบบในการดูว่าวันไหนเก็บขยะประเภทอะไร ส่วนบางคนที่เห็นประโยชน์ว่าหากในอนาคตมีการแยกประเภทรถขยะก็จะได้มีระบบใช้ในทันที

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเว็บแอปพลิเคชันการจัดการรถเก็บขยะกรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลสารจิตรเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการจัดการขยะอย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการปรับปรุงการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันนี้ให้เหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถเข้าถึงข้อมูลและบริการของเว็บแอปพลิเคชันนี้ได้อย่างทั่วถึง

เอกสารอ้างอิง

สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. (กุมภาพันธ์ 2564). **แผนปฏิบัติการลด และคัดแยกขยะมูลฝอยสำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรีประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564.** สืบค้นจาก https://www.soc.go.th/wp-content/uploads/2021/02/garbage2564.pdf

Admin AI. (28 ตุลาคม 2566). **ไขข้อข้องใจ Web Application คืออะไร มีประโยชน์อย่างไรบ้าง?.** สืบค้นจาก https://www.advancedis.co.th/en/blog/ไขข้อข้องใจ-web-application-คืออะไร-มีประโยชน์อย่างไรบ้าง

nearikii. (18 พฤศจิกายน 2563). **Google Maps ทำงานอย่างไร ? Google Maps ได้ข้อมูลมาจากแหล่งไหนบ้าง ?.** สืบค้นจาก https://tips.thaiware.com/1433.html

ชาญชัย ศุภอรรถกร, จิรายุ แสงศรี, และอัญชลีกร คำหล้า. (2565). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เที่ยววัดเมืองไทย ใฝ่ธรรมะ. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (JSSE),** 5(1), 12-22.

ภาวพรรณ ขำทับ, และธีรพงษ์ วิริยานนท์. (2565). การออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้หลายรูปแบบบนเทคโนโลยีดิจิทัลในยุคสังคมผู้สูงอายุ. **วาสารครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย** (Journal of Education Studies), 50(1), 5–13.

พัชราภรณ์ หงษ์สิบสอง, ภัทธีรา ธุระยศ, และพสิษฐ์ กันละนนท์. (2564). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อการจัดการข้อมูลธนาคารขยะ โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนมหาโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดน่าน. **วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม,** 8(1), 73–86.

อารีรัตน์ ชูพันธ์, และเสาวคนธ์ ชูบัว. (2565). การพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวในชุมชน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช. **วารสารวิชาการ" การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ",** 8(1), 19–30.

พิชญา นิลรุ่งรัตนา และอติเทพ แจ้ดนาลาว. (2565). การออกแบบส่วนประสานผู้ใช้งานสำหรับผู้สูงอายุไทยในยุคดิจิทัล. **Journal of Fine and Applied Arts Chulalongkorn University,** 9(1), 99–113

มริษา สุดอุดม, & ภัทรา สวนโสกเชือก. (2566). การพัฒนาแอปพลิเคชันธนาคารขยะเพื่อจัดการขยะชุมชน. **PBRU Science Journal,** 20(1), 34–47.

ระบบบริหารจัดการวัตถุพยานในคดี กรณีศึกษาศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9

Evidence management system in the case, case study of Police Forensic Science Center 9

นราธร หนูพุ่ม[1], ปิยาวรรณ อารักษ์คุณากร[1], วรรณรัตน์ นองมณี[2] และสุภาภรณ์ กานต์สมเกียรติ[1*]

Narathorn Noophum[1], Piyawan Arakkunakorn[1], Wannarat Nongmanee[2]and Supaporn Kansomkeat[1*]

บทคัดย่อ

ระบบบริหารจัดการวัตถุพยานในคดี กรณีศึกษาศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9 ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยบริหารจัดการข้อมูลของวัตถุพยานในคดี ระบบนี้ถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะ Progressive web application (PWA) ที่สามารถปรับการแสดงผลให้เหมาะกับอุปกรณ์ที่ใช้ ภาษาที่ใช้พัฒนาคือ React, JavaScript, Node.js และ Express และใช้ phpMyAdmin เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล ระบบมีฟังก์ชันการทำงานที่ช่วยให้ผู้ใช้งานจัดการ และติดตามการตรวจสอบวัตถุพยานในแต่ละคดี โดยกลุ่มผู้ใช้งานระบบมีห้ากลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่ง พนักงานตรวจสถานที่เกิดเหตุ สามารถทำการบันทึกคดีพร้อมวัตถุพยานในคดี และมอบหมายการตรวจวัตถุพยานให้แก่กลุ่มงานต่างๆ กลุ่มที่สอง ผู้บังคับการ สามารถดูสรุปผลการตรวจวัตถุพยานของคดีทั้งหมด กลุ่มที่สาม ผู้กำกับ สามารถมอบหมายงานตรวจให้ผู้ชำนาญการ กลุ่มที่สี่ ผู้ชำนาญการ สามารถบันทึกผลการตรวจ และปิดงานตรวจของตนเอง และกลุ่มที่ห้า ผู้ดูแลระบบ สามารถจัดการผู้ใช้ในระบบ ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยให้การจัดการวัตถุพยานในคดีสะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบโดยผู้ใช้งานทั่วไปพบว่า ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดี ด้วยค่าเฉลี่ย 4.47

คำสำคัญ: การบริหารจัดการวัตถุพยานในคดี, วัตถุพยาน และศูนย์พิสูจน์หลักฐาน

[1] สาขาวิทยาศาตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

[2] ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9 ตำบลฉลุง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

[1]Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112

[2]Police Forensic Science Center 9, Chalung, Hat Yai, Songkhla, 90112

*Corresponding author e-mail: supaporn.k@psu.ac.th

Abstract

An evidence management system was developed for Police Forensic Science Center 9's case studies, designed to facilitate in the management of case-related evidence data. This system was developed as a Progressive Web Application (PWA), capable of adjusting its interface based on the device being used. The programming languages employed included React, JavaScript, Node.js, and Express, while phpMyAdmin was used as the database management system. The system comprises features designed to facilitate evidence management and tracking for users in various roles. It is designed for five distinct user groups. Group 1, the Crime Scene Investigators, is equipped to document cases, input evidence particulars, and delegate evidence examination responsibilities to different teams. Meanwhile, Group 2, the Police Major Generals, can access concise summaries of evidence examination outcomes across all cases. In Group 3, the Police Captains have the authority to assign examination tasks to experts. Group 4, represented by Experts, is given the privilege to document examination outcomes and complete their assigned examination tasks. Lastly, Group 5, the Administrators, is tasked with the responsibility of overseeing user accounts within the system. The developed system enhances the convenience and efficiency of evidence management within cases. From the user satisfaction evaluation of general users, it was found that overall satisfaction is at a good level, with an average rating of 4.47.

Keywords: Evidence Management System in the Case, Evidence and Police Forensic Science Center 9

บทนำ

ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9 [1] เป็นศูนย์พิสูจน์หลักฐานที่รับผิดชอบในพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง จังหวัดตรัง และจังหวัดสตูล โดยแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มงาน ได้แก่ กลุ่มงานตรวจสถานที่เกิดเหตุ กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กลุ่มงานตรวจยาเสพติด กลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง กลุ่มงานตรวจพิสูจน์ทางเคมีฟิสิกส์ กลุ่มงานตรวจชีววิทยาและดีเอ็นเอ และกลุ่มงานผู้เชี่ยวชาญ ศูนย์พิสูจน์หลักฐานมีหน้าที่และความรับผิดชอบเกี่ยวกับงานตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานและของกลางในคดีต่างๆ ดังนั้นการจัดการวัตถุพยานในแต่ละคดี ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายสะดวกรวดเร็ว ลดความผิดพลาด และลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ ถึงแม้นว่าปัจจุบันสำนักงานพิสูจน์หลักฐาน (สพฐ.) มีระบบเครือข่ายและงานสารสนเทศที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับใช้งานร่วมกันทั่วประเทศ แต่ระบบเครือข่ายและงานสารสนเทศนี้ไม่สามารถตอบสนองการปฏิบัติใช้งานของผู้ใช้งานจริงในระดับภูมิภาค เช่นไม่มีข้อมูลสรุปที่สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปัจจุบันผู้ชำนวญการมีภาระงานรับผิดชอบการตรวจวัตถุพยานอยู่จำนวนเท่าไร เพื่อช่วยตัดสินใจการมอบหมายงานตรวจเพิ่ม ไม่มีส่วนติดตามสถานะคดี และสถานะการดำเนินการตรวจพยานวัตถุ เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบบริหารจัดการวัตถุพยานในคดี กรณีศึกษาศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9 โดยพัฒนาต้นแบบซึ่งให้ความสนใจในขอบเขตการตรวจพิสูจน์ของกลุ่มงานตรวจชีววิทยาและดีเอ็นเอ ระบบถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน มีการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดในรูปแบบฐานข้อมูล เพื่อสามารถช่วยในการจัดการกับข้อมูลของวัตถุพยานให้มีความเป็นระเบียบมากขึ้น และยังสามารถออกรายงานสรุปผลจากการตรวจสอบวัตถุพยานได้

วิธีดำเนินการวิจัย

ระบบบริหารจัดการวัตถุพยานในคดี ได้มีการดำเนินการวิจัยและพัฒนาตามขั้นตอนของวงจรชีวิตการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) [2] โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1.การวิเคราะห์ความต้องการ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ความต้องการกลุ่มผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมความต้องการของระบบจากผู้ที่เกี่ยวข้องโดยวิธีการสัมภาษณ์ พบว่าข้อมูลต่างๆ มีการจัดเก็บอยู่ในรูปแบบหลากหลาย ทั้งในรูปแบบกระดาษ ในไฟล์เอ็กเซล และบางส่วนถูกบันทึกลงในระบบเครือข่ายและงานสารสนเทศ ทำให้ขาดความเชื่อมโยงของข้อมูล ขาดความสะดวกในการจัดการข้อมูล และการใช้ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ จากการรวบรวมและวิเคราะห์ความต้องการเพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการวัตถุพยานในคดี ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน สามารถสรุปความต้องการตามกลุ่มผู้ใช้ได้ 5 กลุ่ม ดังนี้

1. พนักงานตรวจสถานที่เกิดเหตุ
   - 1.1 สามารถ login เข้าใช้งานในระบบ
   - 1.2 สามารถแก้ไขข้อมูลส่วนตัว และรหัสผ่านได้
   - 1.3 สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลคดีที่ตนเองรับผิดชอบได้ โดยการแก้ไขจะกระทำได้ในกรณีที่คดีนั้นผู้กำกับยังไม่ได้รับคดี ซึ่งแต่ละคดีสามารถมีพยานวัตถุได้หลายชิ้น
   - 1.4 สามารถเรียกดูคดีทั้งหมดได้
   - 1.5 สามารถมอบหมายการตรวจสอบพยานวัตถุในคดีที่ตนเองรับผิดชอบให้แก่กลุ่มงาน
   - 1.6 สามารถดูความคืบหน้าการตรวจสอบวัตถุพยานในคดีที่ตนเองรับผิดชอบ และออกรายงานสรุปคดีได้ โดยรายงานสรุปจะออกได้ก็ต่อเมื่อวัตถุพยานทุกชิ้นถูกตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว
   - 1.7 สามารถดาวน์โหลดรายการคดีในรูปแบบไฟล์ CSV ได้
2. ผู้บังคับการ
   - 2.1 สามารถ login เข้าใช้งานในระบบ
   - 2.2 สามารถแก้ไขข้อมูลส่วนตัว และรหัสผ่านได้
   - 2.3 สามารถดูคดีทั้งหมด
   - 2.4 สามารถดูสรุปสถานการณ์ตรวจสอบของแต่ละคดี
   - 2.5 สามารถดูรายงานสรุปผลของคดีที่ปิดแล้วในรอบเดือน และรอบปี
3. ผู้กำกับ
   - 3.1 สามารถ login เข้าใช้งานในระบบ
   - 3.2 สามารถแก้ไขข้อมูลส่วนตัว และรหัสผ่านได้
   - 3.3 สามารถดู และรับคดีที่มอบหมายมายังกลุ่มงานของตนได้
   - 3.4 สามารถยกเลิกคดีที่รับมาได้ หากรายละเอียดในคดีไม่มีความเกี่ยวข้องกับกลุ่มงานของตนเอง
   - 3.5 สามารถอนุมัติงานตรวจที่ได้รับการปิดงานตรวจจากผู้ชำนาญการ และรายงานผลกลับไปยังพนักงานตรวจสถานที่เกิดเหตุของคดี
   - 3.6 สามารถดูรายงานสรุปผลการตรวจพยานวัตถุของคดีที่ปิดแล้วในรอบเดือน และรอบปี
   - 3.7 สามารถมอบหมายการตรวจสอบพยานวัตถุในคดีให้กับผู้ชำนาญการได้
   - 3.8 สามารถดูข้อมูลของผู้ชำนาญการได้
   - 3.9 สามารถดูสถานะการตรวจที่ผู้ชำนาญการได้รับมอบหมายอยู่ ณ ปัจจุบัน

4. ผู้ชำนาญการ

4.1 สามารถ login เพื่อเข้าใช้งานในระบบ

4.2 สามารถแก้ไขข้อมูลส่วนตัว และรหัสผ่านได้

4.3 สามารถดู และรับงานตรวจวัตถุพยานที่ตนได้รับมอบหมายได้

4.4 สามารถดูรายละเอียดของวัตถุพยานที่ได้รับมอบหมายให้ตรวจได้

4.5 สามารถบันทึกผลการตรวจวัตถุพยานที่ตนได้รับมอบหมายได้

4.6 สามารถดูรายงานสรุปผลการตรวจพยานวัตถุของคดีที่ปิดแล้วในรอบเดือน และรอบปีของตนเองได้

4.8 สามารถดาวน์โหลดรายการคดีที่ได้รับมอบหมายในรูปแบบไฟล์ CSV ได้

5. ผู้ดูแลระบบ

5.1 สามารถ login เพื่อเข้าใช้งานในระบบ

5.2 สามารถเพิ่ม ลบ และแก้ไขผู้ใช้งานในระบบได้

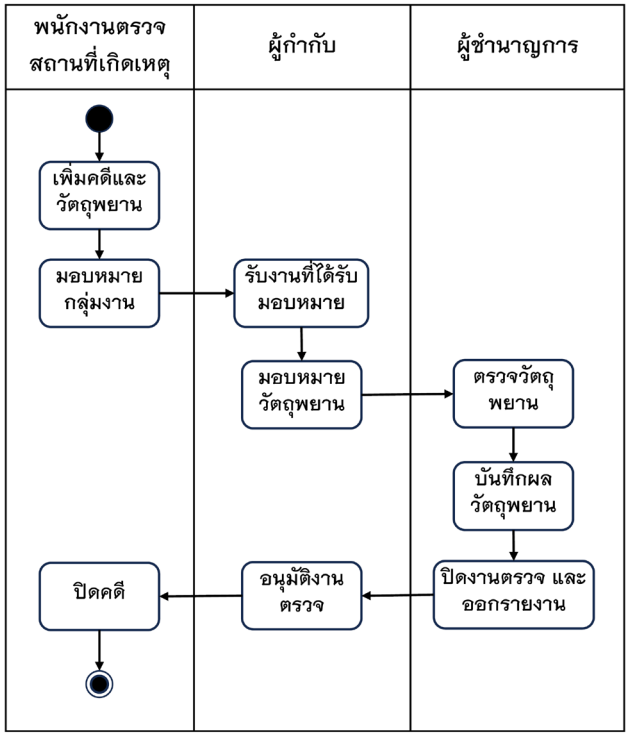
5.3 สามารถเพิ่ม ลบ และ แก้ไขกลุ่มงานในระบบได้

5.4 สามารถจัดการสถานะเปิด-ปิดของกลุ่มงานได้

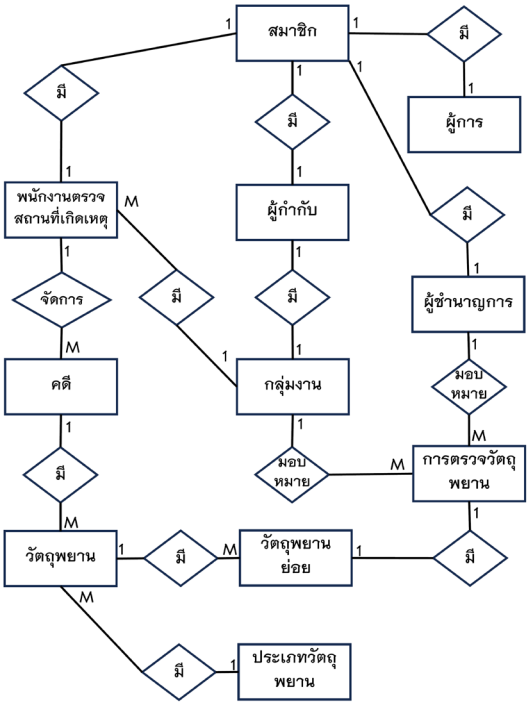
5.5 สามารถดาวน์โหลดรายชื่อของผู้ใช้งานระบบในรูปแบบไฟล์ CSV ได้

2. การออกแบบ

กลุ่มผู้วิจัยได้ออกแบบระบบตามความต้องการที่ได้วิเคราะห์ไว้ กลุ่มผู้ใช้แต่ละกลุ่มสามารถดำเนินการกิจกรรมต่างๆ ตามลำดับ เพื่อจัดการวัตถุพยานในคดี แสดงดังในภาพที่ 1 และออกแบบการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล MariaDB ซึ่งข้อมูลจะถูกจัดเก็บในรูปแบบตาราง (table) โครงสร้างของข้อมูลในระบบแสดงด้วยแผนภาพความสัมพันธ์ (Entity Relationship Diagram: ER diagram) [3] ดังภาพที่ 2



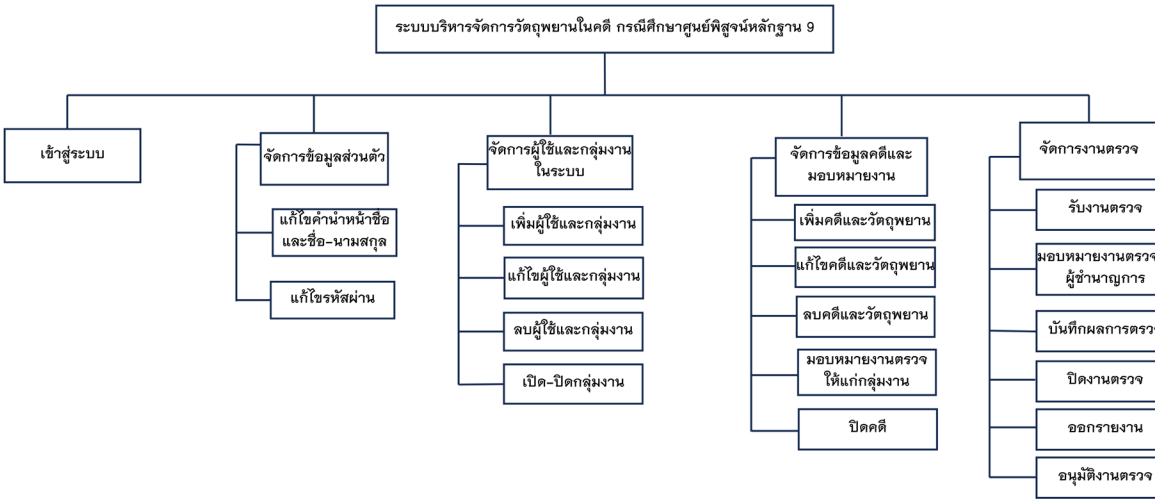
ภาพที่ 1 กิจกรรมการจัดการวัตถุพยานในคดี



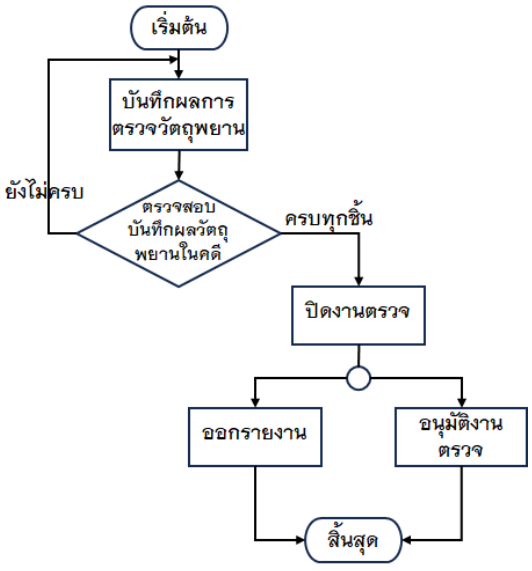
ภาพที่ 2 โครงสร้างของข้อมูลในระบบ

3. การพัฒนา

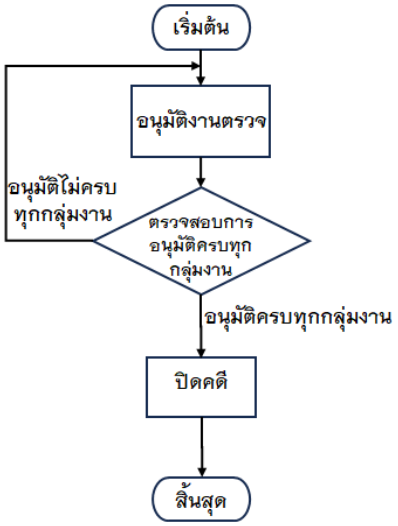
ระบบถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะ Progressive web application (PWA) [4] ด้วยภาษา React, JavaScript, Node.js และ Express และใช้ phpMyAdmin เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล โครงสร้างระบบบริหารจัดการวัตถุพยานในคดีที่ได้พัฒนาแสดงดังภาพที่ 3 สำหรับขั้นตอนการจัดการงานตรวจ และการปิดคดี แสดงดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ตามลำดับ ในการจัดการงานตรวจผู้ชำนาญการทำการบันทึกผลการตรวจวัตถุพยานทุกชิ้นก่อนการปิดงานตรวจ โดยระบบทำการตรวจสอบการบันทึกผลการตรวจวัตถุพยานครบทุกชิ้นในคดีแล้วหรือไม่ กรณีที่การบันทึกผลการตรวจวัตถุพยานในคดียังไม่ครบทุกชิ้น จะต้องดำเนินการบันทึกผลการตรวจเพิ่ม กรณีที่มีการบันทึกผลการตรวจวัตถุพยานในคดีครบทุกชิ้นเรียบร้อยแล้ว ผู้ชำนาญการจึงจะสามารถปิดงานตรวจได้ และหลังจากปิดงานตรวจแล้วผู้ชำนาญการสามารถออกรายงานการตรวจได้ และผู้กำกับสามารถอนุมัติงานตรวจได้



ภาพที่ 3 โครงสร้างระบบบริหารจัดการวัตถุพยานในคดี



ภาพที่ 4 การจัดการงานตรวจ



ภาพที่ 5 การปิดคดี

4. การทดสอบ และการประเมินระบบ

การทดสอบระดับหน่วย และการทดสอบระดับการรวมหน่วยได้ถูกดำเนินการระหว่างการพัฒนาในแต่ละส่วนย่อย และเมื่อพัฒนาระบบเสร็จเรียบร้อย ผู้พัฒนาได้ดำเนินการทดสอบระบบ ผลการทดสอบสอบระบบพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามความต้องการที่ถูกกำหนดไว้ทั้งหมด นอกจากนั้นในเบื้องต้นกลุ่มผู้วิจัยยังได้ทำการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน โดยผู้ใช้งานทั่วไป ซึ่งได้คัดเลือกโดยสุ่มจากนักศึกษาสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ชั้นปีที่ 4 จำนวน 10 คน เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินคือ แบบสอบถามที่มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) ตามมาตรวัดลิเคอร์ท (Likert Scale) [5] มี 5 ระดับ ให้เลือกตอบได้เพียงคำตอบเดียว สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำผลมาแปลความหมาย โดยค่าเฉลี่ยมีเกณฑ์แปลความหมาย ดังตารางที่ 1

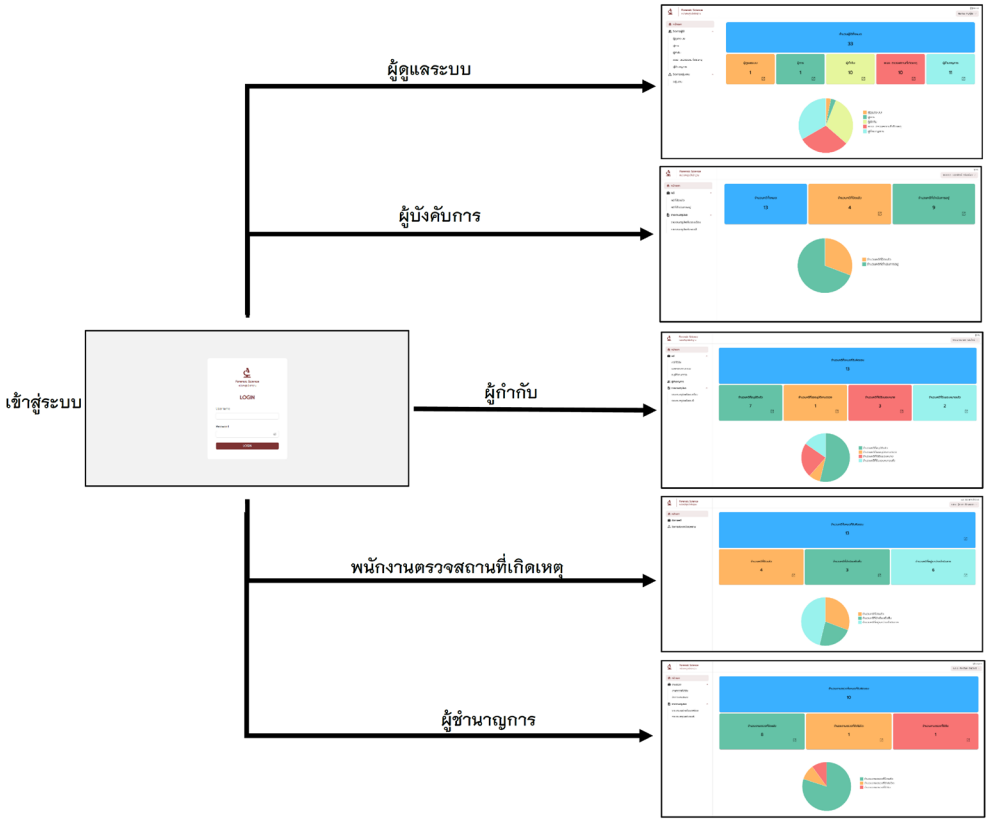
ตารางที่ 1 เกณฑ์แปลความหมาย

ระดับคะแนน	ค่าเฉลี่ย	ความหมาย
ระดับ 5	4.51 – 5.00	พึงพอใจมากที่สุด หรือดีมาก
ระดับ 4	3.51 – 4.50	พึงพอใจมาก หรือดี
ระดับ 3	2.51 –3.50	พึงพอใจปานกลาง
ระดับ 2	1.51 – 2.50	พึงพอใจน้อย หรือพอใช้
ระดับ 1	1.00 – 1.50	พึงพอใจน้อยที่สุด หรือควรปรับปรุง

ผลการวิจัย

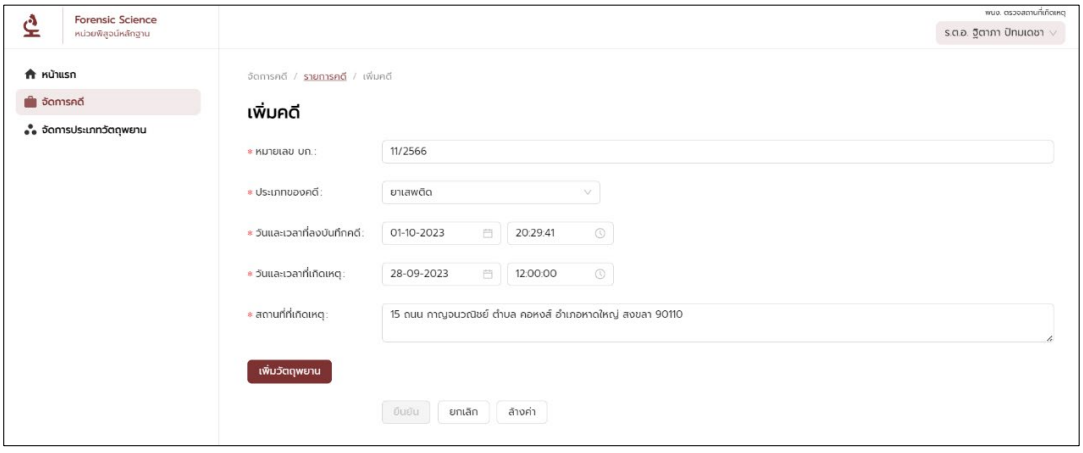
จากการพัฒนาระบบจัดการวัตถุพยานในคดี กรณีศึกษาศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9 โดยพัฒนาต้นแบบซึ่งให้ความสนใจในขอบเขตการตรวจพิสูจน์ของกลุ่มงานตรวจชีววิทยาและดีเอ็นเอ พบว่าสามารถช่วยในการเข้าถึงข้อมูลได้สะดวก และมีความเป็นระบบมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการทำงานแบบเดิม

ตัวอย่างภาพหน้าจอของระบบที่ได้พัฒนา เช่นภาพที่ 6 แสดงการเข้าสู่ระบบโดยผู้ใช้ทุกกลุ่มสามารถเข้าสู่ระบบจากหน้าจอเดียวกัน และเมื่อสามารถเข้าสู่ระบบได้ ระบบจะแสดงหน้าจอหลักที่แตกต่างกันตามกลุ่มของผู้ใช้งาน โดยในหน้าจอหลักนอกจากจะแสดงเมนูสำหรับการทำงานที่สอดคล้องกับกลุ่มของผู้ใช้งานแล้ว ยังแสดงแผนภูมิสรุปให้เห็นภาพรวมตามกลุ่มผู้ใช้ เช่นแสดงแผนภูมิสรุปคดีสำหรับผู้บังคับการ แสดงแผนภูมิสรุปการตรวจวัตถุพยานสำหรับผู้ชำนาญการ ซึ่งแผนภูมิเหล่านี้ทำให้สามารถติดตามการดำเนินงานต่างๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

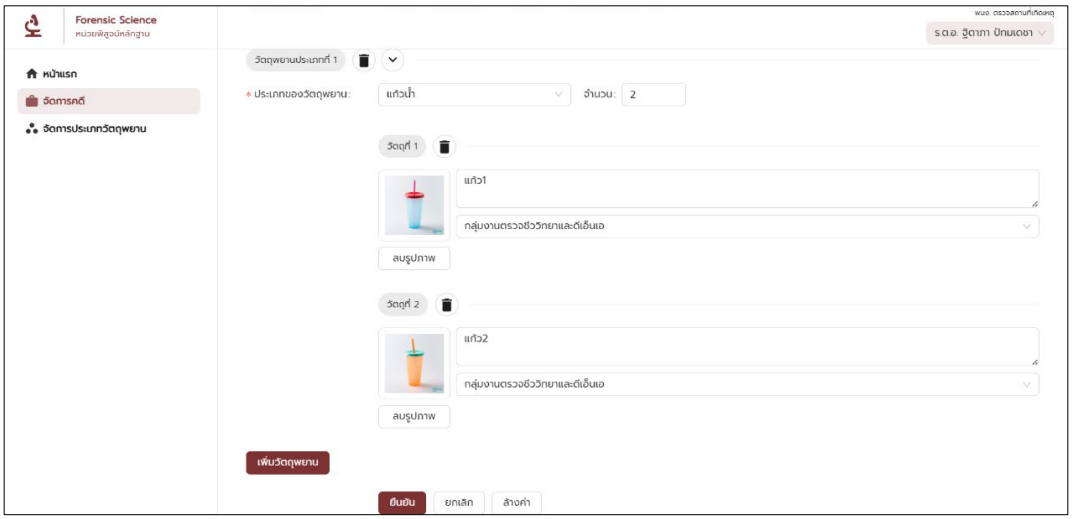


ภาพที่ 6 หน้าจอเข้าสู่ระบบ และหน้าจอหลักของผู้ใช้แต่ละกลุ่ม

ภาพที่ 7 และภาพที่ 8 แสดงหน้าจอเพิ่มคดี และเพิ่มวัตถุพยานในคดี ตามลำดับ โดยในแต่ละคดีสามารถมีวัตถุพยานได้หลายประเภท แต่ละประเภทสามารถมีได้หลายชิ้น เช่นมีแก้วน้ำ 3 ใบที่พบในสถานที่เกิดเหตุ



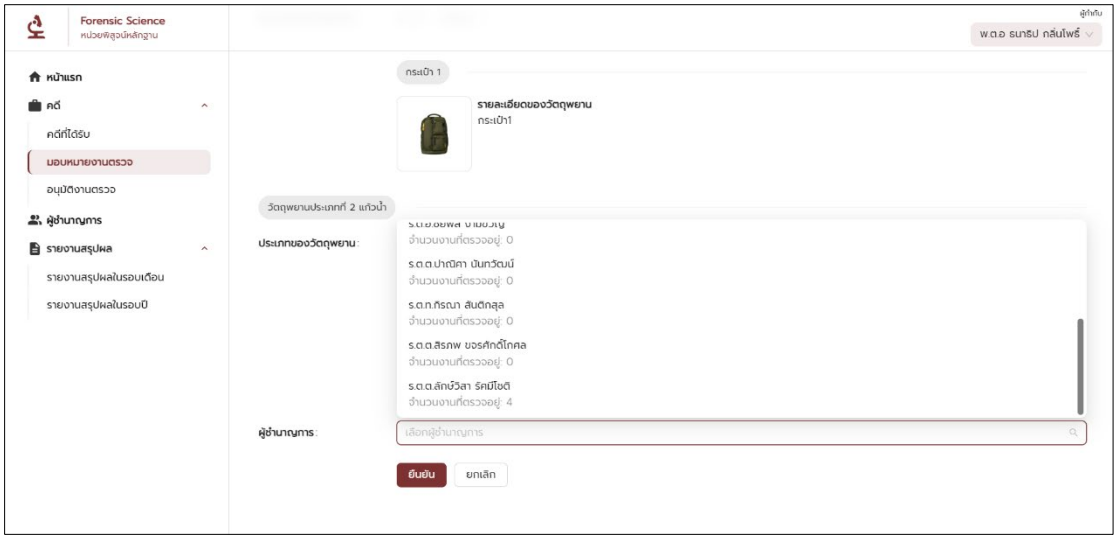
ภาพที่ 7 หน้าจอเพิ่มคดี



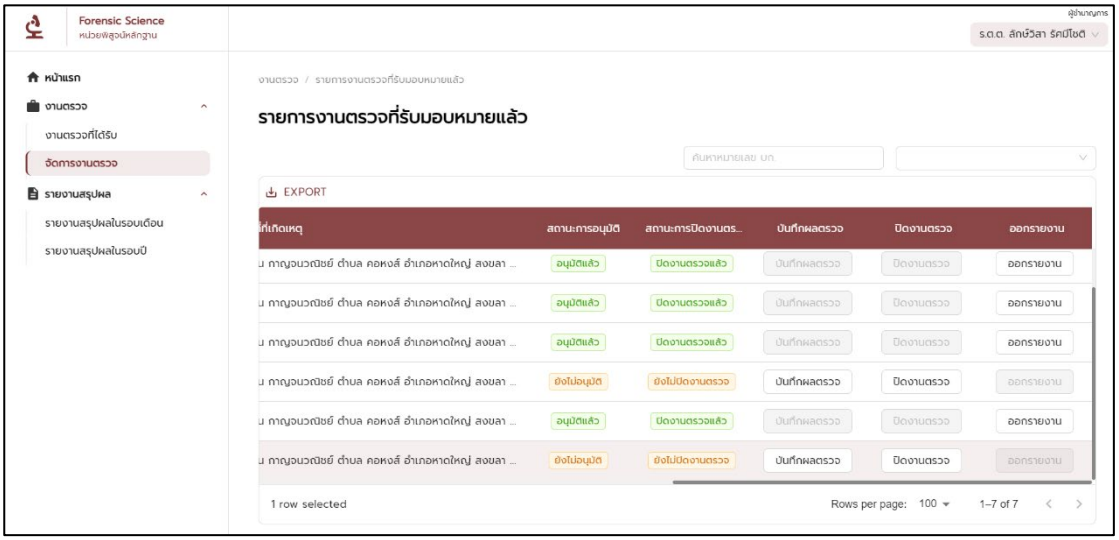
ภาพที่ 8 หน้าจอเพิ่มวัตถุพยาน

ภาพที่ 9 แสดงหน้าจอมอบหมายงานตรวจ โดยระบบจะแสดงภาระงานตรวจของผู้ชำนาญการเพื่อเป็นข้อมูลประกอบให้ผู้กำกับใช้ตัดสินใจเลือกผู้ชำนาญการ ที่จะรับผิดชอบตรวจวัตถุพยานในคดี ภาพที่ 10 แสดงหน้าจอจัดการงานตรวจของผู้ชำนาญการ ระบบแสดงงานตรวจของผู้ชำนาญการทั้งหมด โดยแสดงสถานะต่างๆ ไว้อย่างชัดเจน เช่นงานตรวจของคดีที่ได้ปิดหรือออกรายงานไปเรียบร้อยแล้วจะไม่สามารถดำเนินการได้

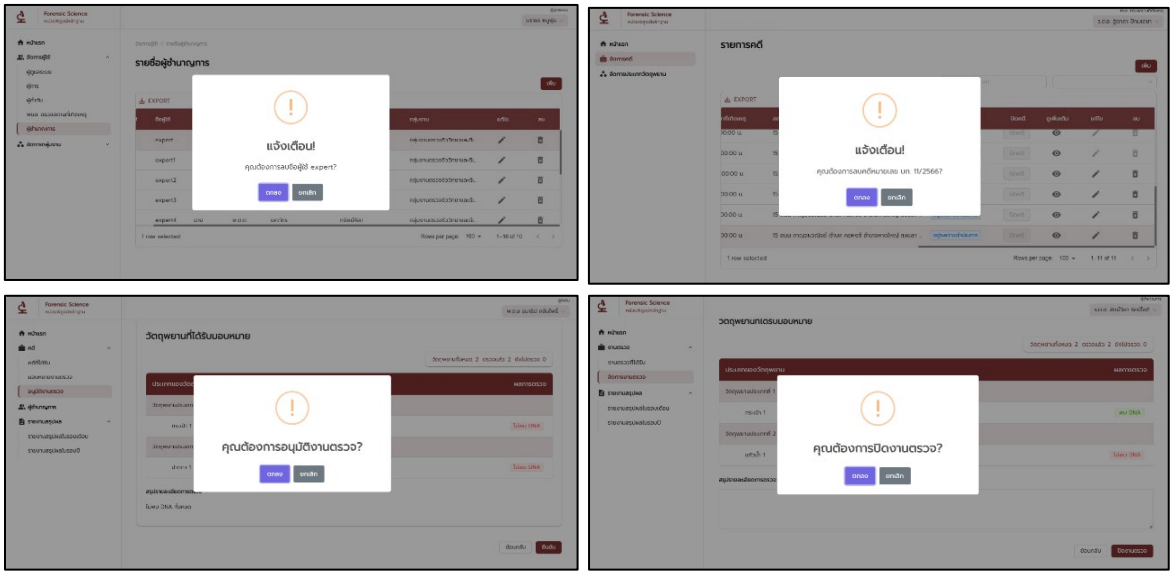
นอกจากนั้นระบบได้ถูกพัฒนาตามหลักการออกแบบส่วนต่อประสานที่ดี ควรมีการป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น เช่นการลบ การอนุมัติ หรือการปิดงานตรวจ เป็นส่วนงานที่มีความสำคัญ เพื่อป้องกันความผิดพลาดและสามารถย้อนกลับ จึงได้พัฒนาระบบให้มีการยืนยันการดำเนินการสิ่งเหล่านี้ ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 9 หน้าจอมอบหมายงานตรวจ



ภาพที่ 10 หน้าจอจัดการงานตรวจ



ภาพที่ 11 หน้าจอแสดงการยืนยัน

กลุ่มผู้วิจัยทำการประเมินความพึงพอใจในการใช้งาน โดยผู้ใช้งานทั่วไป ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบ ภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$=4.47, S.D.=0.66) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อเรียงตามค่าเฉลี่ยจากมากไปน้อย พบว่าการใช้งานง่ายและเป็นมิตรกับผู้ใช้ มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\overline{X}$=4.70, S.D.=0.48) และความเร็วในการตอบสนอง ($\overline{X}$=4.20, S.D.=0.63) มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ระบบจัดการวัตถุพยานในคดี กรณีศึกษาศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9 ได้ถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ผู้ใช้งานระบบมี 5 กลุ่ม ได้แก่ พนักงานตรวจสถานที่เกิดเหตุ ผู้บังคับการ ผู้กำกับ ผู้ชำนาญการ และผู้ดูแลระบบ ผู้ใช้งานแต่ละกลุ่มสามารถใช้งานตามสิทธิ์ การพัฒนาระบบเป็นไปตามขั้นตอนของวงจรชีวิตการพัฒนาระบบอย่างสมบูรณ์ ระบบที่ได้พัฒนานี้สามารถช่วยให้การบริหารจัดการวัตถุพยานในคดีมีความถูกต้อง ช่วยให้การมอบหมายและติดตามการตรวจวัตถุพยานทำได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ จากการประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้ทั่วไปพบว่า ภาพรวมอยู่ในระดับดี ด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.47 อย่างไรก็ตามเนื่องจากเวลาที่จำกัด การพัฒนาระบบจึงมุ่งเน้นที่กลุ่มงานตรวจชีววิทยาและดีเอ็นเอ ดังนั้นควรมีการพัฒนาเพิ่มเติมให้รองรับกลุ่มงานอื่นๆ และประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งานจริงในอนาคต

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งาน

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	S.D.	ความหมาย
1. ความพึงพอใจด้านการทำงานของระบบ			
1.1 ความถูกต้องของการทำงาน	4.40	0.70	ดี
1.2 ความครบถ้วนและสมบูรณ์ของผลลัพธ์	4.40	0.52	ดี
1.3 ความเร็วในการตอบสนอง	4.20	0.63	ดี
1.4 ความสามารถในการป้องกันความผิดพลาดจากผู้ใช้	4.40	0.84	ดี
2. ความพึงพอใจในด้านการติดต่อกับผู้ใช้งาน			
2.1 การใช้งานง่ายและเป็นมิตรกับผู้ใช้ เช่น การจัดลำดับข้อมูลบนหน้าจอ	4.70	0.48	ดีมาก
2.2 ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งองค์ประกอบบนหน้าจอ	4.30	0.82	ดี
2.3 ความชัดเจนในการสื่อความหมายของส่วนต่างๆ	4.60	0.52	ดีมาก
2.4 ในกรณีที่มีข้อผิดพลาดมีการแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน	4.60	0.70	ดีมาก
2.5 ความสวยงามของการแสดงผลบนหน้าจอ เช่น การใช้สีหรือขนาดของตัวอักษร	4.60	0.52	ดีมาก
ภาพรวมทั้งหมด	**4.47**	**0.64**	**ดี**

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มงานตรวจชีววิทยาและดีเอ็นเอ ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9 ที่กรุณาให้ข้อมูลสนับสนุนจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

โครงสร้างของศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2566
จาก http://www. scdc9.forensic.police.go.th/division.php?tab=division/

Roger S. Pressman. (2005). Software Engineering A Practitioner's Approach. Sixth Edition: McGraw-Hill.

โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2560). การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

Addy Osmani. (2015). Getting started with Progressive Web Apps. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2566
จาก https:// addyosmani.com /blog/getting-started-with-progressive-web-apps

ไพฑูรย์ โพธิสาร. มาตรวัดลิเคอร์ท - SWU eJournals System. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2566
จาก https://ejournals.swu.ac.th/index.php/ENEDU/article/download/5830/5467/18905

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บนพื้นที่ขนาดใหญ่ด้วยวิธีประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลสังเกตการณ์ดาวเทียมจาก OCO-2 และการตรวจวัดภาคพื้นดิน CarbonTracker กรณีศึกษา: ประเทศไทย

Large-Scale Evaluation of CO_2 Emission with Interpolation Method Using Satellite Observations from OCO-2 and ground-based measurement CarbonTracker Case Study: Thailand

สุริยะเวช บุญธรารัตน์[1*], นครินทร์ ชัยแก้ว[1] และ ไพศาล จี้ฟู[1]

Suriyawate Boonthalarath[1*], Nakarin Chaikaew [1] and Phaisarn Jeefoo [1]

บทคัดย่อ

การตรวจวัดความผกผันของระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในชั้นบรรยากาศมีความสำคัญต่อการศึกษาและความเข้าใจในที่มาและแหล่งกักเก็บตามธรรมชาติของวัฏจักรคาร์บอนในแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ ซึ่งส่งผลกระทบและมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจวบจนปัจจุบัน อย่างไรก็ตามการติดตามการเปลี่ยนแปลงก๊าซ CO_2 ด้วยข้อมูลทั้งภาคพื้นและดาวเทียมยังคงมีอุปสรรคต่อการแปรผลลัพธ์ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาโดยเปรียบเทียบวิธีตรวจวัดความแปรปรวนของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศเชิงพื้นที่และพลวัตของเวลาบนขอบเขตประเทศไทยระหว่างชุดข้อมูลตรวจวัดภาคพื้น CarbonTracker และชุดข้อมูลติดตามจากดาวเทียม OCO-2 ผ่านแบบจำลองเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติ ระหว่างปี พ.ศ.2558 – 2563 พบว่า ความเข้มข้นก๊าซ CO_2 มีลักษณะเป็นวัฏจักรและแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 2 ppm/ปี อีกทั้งแบบจำลอง IDW และ Spline Interpolation แสดงการแปรผันของก๊าซ CO_2 มีลักษณะความเชื่อมโยงในพื้นที่แต่ละภูมิภาคคล้ายคลึงกัน โดยแบบจำลองทั้งสองสามารถบ่งชี้เชิงปริมาณ และความแม่นยำได้อย่างดี อีกทั้งแสดงค่า RMSE อยู่ในระดับต่ำ เพียงแต่ Spline Interpolation ยังคงมีความแตกต่างในผลลัพธ์ด้วยการแทรกสอดช่องว่างข้อมูลด้วยผลลัพธ์ให้พอดีกับแต่ละพื้นที่ส่งผลให้การประเมินแม่นยำยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการเลือกใช้แบบจำลองต้องคำนึงถึงประเภทข้อมูลตามความหนาแน่นของจุดตรวจวัดและระยะเวลาที่ใช้จำลองเป็นสำคัญ

คำสำคัญ: แบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติ, การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ} ชุดข้อมูลตรวจวัดภาคพื้น, CarbonTracker, ชุดข้อมูลติดตามจากดาวเทียม OCO-2

[1] คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ภาควิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] School of Information and Communication of Technology Department of Geoinformatics, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author e-mail: suriyawate.bl@gmail.com

Abstract

Measuring fluctuations in atmospheric carbon dioxide (CO_2) is crucial for studying and understanding the natural source and sink of the carbon cycle in different areas, especially anthropogenic CO_2, which affects and influences climate change. However, interpreting the results of monitoring changes in CO2 gas with both ground and satellite data still poses challenges. Therefore, this research aims to study and compare methods for measuring the spatial and temporal dynamics of CO_2 gas variations in the atmosphere over the Thailand boundary using two datasets between CarbonTracker for ground measurements, and the OCO-2 satellite tracking dataset. The study found that atmospheric CO_2 concentrations are cyclical and tend to increase by approximately 2 ppm/year. Both the CarbonTracker and the OCO-2 satellite datasets through the geostatistical spatial model of the period between 2015 to 2020 were used to show this. Both IDW and Spline Interpolation were used to demonstrate the variation of atmospheric CO_2 with similar characteristics in each region. The results of the evaluation with both models provided quantitative indicators and were highly accurate. Moreover, the root mean square error (RMSE) value was shown to be at a low level. However, only Spline Interpolation still differences in results by interpolating data with created results to fit each space resulting in more accurate estimates. Therefore, choosing a model must take into account the type of data based on the density of measurement points and the duration of the simulation.

Keywords: Spatial Interpolation, Atmospheric CO_2 Emission, CarbonTracker, OCO-2 dataset,

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นหนึ่งในมูลเหตุหลักในการเปลี่ยนแปลงวิถีการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน ซึ่งต้นเหตุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเนื่องจากการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ (CO_2) โดยก๊าซดังกล่าวเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดสภาวะโลกร้อน **(1)** และก่อเกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Anthropogenic Emissions) ทั้งนี้การปล่อยปริมาณก๊าซ CO_2 จำนวนมากจากมนุษย์โดยเฉพาะในเขตชุมชนเมือง **(2)** มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและชีวมวล ดังนั้นการควบคุมการปล่อยก๊าซ CO_2 ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศจึงเป็นสิ่งสำคัญในการบรรเทาภาวะโลกร้อนเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนของมนุษย์ ส่งผลให้การศึกษาเพื่อตรวจสอบการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 จากกิจกรรมของมนุษย์อย่างแม่นยำจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินผลกระทบของมาตรการลดการปล่อยก๊าซและการควบคุม ซึ่งมีผลบังคับใช้ทั่วโลกมากยิ่งขึ้นในปัจจุบัน

อนึ่ง การติดตามและตรวจวัดปริมาณความแปรผันของการปล่อยก๊าซ CO_2 จึงมักนิยมตรวจสอบด้วย 2 วิธี ได้แก่ 1) การตรวจวัดด้วยข้อมูลภาคพื้น (bottom-up approach) และ 2) การติดตามด้วยข้อมูลดาวเทียม (top-down approach) โดยวิธีแรกเป็นการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศบริเวณพื้นผิวโลกที่มีความแม่นยำเชิงข้อมูลสูง อีกทั้งสามารถใช้เป็นข้อมูลตัวแทนที่ตรวจวัดจากแหล่งกำเนิดโดยตรงที่มีความต่อเนื่อง (*in-situ* measurements) และความละเอียดทางเวลา (high temporal resolution) โดยข้อมูลดังกล่าวปราศจากการรบกวนจากปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ในชั้นโทรโพสเฟียร์ (Tropospheric Conditions) **(3,4)** ทั้งนี้ข้อมูลการตรวจวัดมักขึ้นกับจุดตรวจสอบภาคพื้น อาทิ บริเวณหอคอยสูงภายในเครือข่าย Global Atmosphere Watch (GAW) **(5)** เส้นทางการบินประจำของอากาศยาน **(6)** ดังนั้นข้อมูลดังกล่าวจึงสามารถใช้เป็นตัวแทนระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ตามมาตราส่วนทั้งในภูมิภาคและระดับโลกได้ ดังเห็นได้จากการประยุกต์ใช้ข้อมูลประเภทนี้เพื่อศึกษา

การแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศสุทธิ (Carbon Fluxes) จากการผกผันทั้งหมดซึ่งตรวจพบจากแหล่งกักเก็บคาร์บอน และเป็นกลไกที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (7–9) หรือการใช้เป็นฐานข้อมูลร่วมกับแบบจำลอง (Modeling) เพื่อการทดสอบข้อมูลการหมุนเวียนทางชีวธรณีของวัฏจักรคาร์บอนสำหรับศึกษาความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม (10–12) อย่างไรก็ตามในการตรวจวัดความแปรผันของระดับความเข้มข้นก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศซึ่งเกี่ยวเนื่องกับภูมิประเทศ ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (Spatiotemporal Variations) เป็นการตรวจวัดลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากแหล่งคาร์บอนและแหล่งกักเก็บในแต่ละพื้นที่ (13,14) ยังคงเป็นขีดจำกัดของการตรวจวัดด้วยข้อมูลภาคพื้นที่สำคัญ เนื่องจากการตรวจวัดดังกล่าวยังคงไม่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงให้ครอบคลุมพื้นที่ได้มากเพียงพอ ณ จุดตรวจวัด (15,16) แม้จะดำเนินการเพิ่มจำนวนจุดตรวจวัดภาคพื้นให้มากขึ้นแล้วก็ตาม (6) ยังคงถูกจำกัดความแม่นยำของข้อมูลด้วยปัจจัยด้านภูมิอากาศและการวัดซ้ำข้อมูลเชิงพื้นที่โดยละเอียด (17) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงวัฏจักรคาร์บอนในระดับภูมิภาค รวมถึงองค์ประกอบร่วมทั้งจากมนุษย์และองค์ประกอบทางธรรมชาติ

ในขณะเดียวกัน ความต้องการวิธีในการติดตามการเปลี่ยนแปลงก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศอย่างต่อเนื่องยิ่งเพิ่มขึ้น จึงนำไปสู่การพัฒนากระบวนการที่แตกต่างจากการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงก๊าซ CO_2 โดยตรงจากแหล่งกำเนิด ทั้งข้อมูลจากสถานีภาคพื้นดิน บอลลูน เครื่องบิน เรือ และหอคอยสูง (18–20) ซึ่งมีความเที่ยงตรงและแม่นยำเชิงข้อมูลแต่ถูกจำกัดด้วยขอบเขตการตรวจวัด (21) จนกระทั่งเกิดการติดตามการเปลี่ยนแปลงด้วยข้อมูลดาวเทียมจากเทคนิคการรับรู้ระยะไกลซึ่งใช้การประมาณความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศด้วยค่า column-averaged CO_2 dry air mole fraction (XCO2) ซึ่งให้ความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลาที่ค่อนข้างสูงในมาตราส่วนระดับโลก (Global Scale) (22,23) ส่งผลให้ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา งานวิจัยเพื่อติดตามการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศมีการประยุกต์ใช้ข้อมูลเหล่านี้และเผยแพร่การศึกษาในหลายมิติ อาทิ การติดตามการปลดปล่อยทั้งปริมาณและความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 รวมถึงผลผลิตเกี่ยวเนื่องขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศในแต่ละพื้นที่และช่วงเวลา (24) อีกทั้งศึกษาประสิทธิภาพการปล่อยก๊าซ CO_2 โดยคำนึงถึงอิทธิพลทางการเมือง เศรษฐกิจ นิเวศน์วิทยา เทคโนโลยี และปัจจัยอื่น ๆ (25) ยิ่งกว่านั้นยังสามารถระบุลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาจากแต่ละพื้นที่ซึ่งมีแหล่งปลดปล่อยก๊าซแตกต่างตามโครงสร้างอุตสาหกรรมได้อีกด้วย (26,27) ทว่า ข้อมูลดาวเทียมยังคงมีข้อผิดพลาดและแฝงความไม่แน่นอนบางประการจากการตรวจวัดพารามิเตอร์ในบรรยากาศด้วยเครื่องมือและการแสดงผลเชิงพื้นที่ (28–31) แสดงให้เห็นว่าข้อมูลยังคงมีลักษณะไม่สมบูรณ์ ขาดหาย และมักได้รับผลกระทบจากปัจจัยบางประการ เช่น การรบกวนสัญญาณการตรวจวัดของละอองลอยและเมฆในชั้นบรรยากาศ ส่งผลต่อความไม่เสถียรจากการแปรผลซึ่งแสดงตามข้อมูลในรูปแบบ XCO2

เนื่องจากพื้นที่และช่วงเวลาที่แตกต่างกันส่งผลให้ แหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซ CO_2 และวิธีการวิเคราะห์การศึกษาในปัจจุบันที่เกี่ยวพันกับประสิทธิภาพการปล่อยก๊าซ CO_2 จึงแตกต่างกันด้วย แม้ว่าวัตถุการวิจัย (ชุดข้อมูลการตรวจวัด) จะเหมือนกันในการอ้างอิงที่ต่างกันก็ตาม จึงเป็นการยากที่จะติดตามการเปลี่ยนแปลงของการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ในแต่ละพื้นที่ทั้งระดับประเทศ ภูมิภาค ทวีป จากการสังเกตด้วยชุดข้อมูลใดเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการวิเคราะห์ระดับการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ในแต่ละพื้นที่จึงต้องการข้อมูลจุดตรวจวัดที่หนาแน่นและคลอบคลุมพื้นที่เพียงพอ อีกทั้งขั้นตอนการประมวลผลต้องไม่เปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลเดิมและต้องสอดคล้องกันในทุกบริบทของขอบเขตศึกษาอย่างเหมาะสม ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงต้องใช้เทคนิคอื่นเสริมเพื่อช่วยแก้ปัญหาด้านการประเมินเชิงคุณภาพ โดยเฉพาะการติดตามการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ซึ่งเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับแนวโน้มการกระจายตัวของมลพิษในชั้นบรรยากาศ การสร้างแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติ

(Geostatistical Spatial Prediction Models) จึงเป็นเครื่องมือสำคัญและมีความแม่นยำสูงในการตรวจจับรูปแบบการถ่ายเทและการกระจายตัวของมลพิษในชั้นบรรยากาศเพื่อการตรวจวัดแต่ละพื้นที่ได้อย่างดี **(32,33)**

บทความนี้จึงแสดงให้เห็นกระบวนการวิเคราะห์ความแปรผันของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศเชิงเปรียบเทียบด้วยเทคนิคการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation Techniques) โดยอภิปรายความแปรปรวนของกลุ่มก๊าซจากความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และเชิงเวลาบนขอบเขตประเทศไทยเพื่อข้ามขีดจำกัดของการตรวจวัดด้วยข้อมูลภาคพื้น (ด้านความหนาแน่นของเครือข่ายการตรวจวัด) และอุปสรรคจากการตรวจวัดจากดาวเทียม (เรื่องการขาดหายของข้อมูล) เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแต่ละเทคนิคการประมาณค่าได้ชัดเจนยิ่งขึ้น พร้อมวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และพลวัตของเวลาซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นของ CO_2 ในชั้นบรรยากาศ

วิธีการศึกษา

แหล่งข้อมูลการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน

วิธีการศึกษานี้จะนำเสนอชุดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา โดยอธิบายคุณลักษณะของข้อมูลประเภทต่าง ๆ พร้อมแจกแจงหลักการเครื่องมือในการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศของก๊าซ CO_2 เหนือขอบเขตศึกษาตามพลวัตของเวลาที่กำหนด ประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

แหล่งข้อมูลการศึกษา

ก่อนการศึกษาทุกข้อมูลจะทำการสอบเทียบด้วยชุดข้อมูลภาคพื้น TCCON เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์และความโน้มเอียงของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ทั้งนี้ข้อมูล TCCON เป็นข้อมูลที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากละอองลอย ความไม่แน่นอนของมวลอากาศ และการแปรผันของคุณสมบัติผิวดินในการแปรผลจึงนิยมใช้เป็นข้อมูลสอบเทียบ โดยครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากสถานีบูร์โกส อิโลคอสนอร์เต ประเทศฟิลิปปินส์

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของชุดข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลภาคพื้นที่ใช้ในการศึกษา

คุณลักษณะเฉพาะ	ข้อมูลดาวเทียม	ข้อมูลภาคพื้น
ชุดข้อมูล	oco2_GEOS_L3CO2_month	CT2022.molefrac_glb3x2
พื้นที่ครอบคลุม	ทั่วโลก	ทั่วโลก
วงรอบการตรวจวัด	ทุก 16 วัน	รายวัน
ความละเอียดเชิงพื้นที่	0.5° x 0.625° (lon. × lat.)	3° × 2° (lon. × lat.)
ช่วงเวลาการศึกษา	ม.ค. 2558 – ม.ค. 2563	ม.ค. 2558 – ม.ค. 2563
แหล่งที่มาของข้อมูล	https://disc.gsfc.nasa.gov/	https://gml.noaa.gov/

ชุดข้อมูลดาวเทียม OCO-2 ดาวเทียม OCO-2 เป็นดาวเทียมลำดับที่สองที่ถูกส่งขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศรองจากดาวเทียม GOSAT ที่ใช้ในการติดตามระดับก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศโดยเฉพาะ เพื่อสร้างความเข้าใจให้มากยิ่งขึ้นเกี่ยวกับวัฏจักรคาร์บอน โดยวัตถุประสงค์หลักของภารกิจคือการติดตามระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ด้วยความถูกต้องและแม่นยำทั้งความละเอียดเชิงพื้นที่และเวลา เพื่อประเมินปริมาณก๊าซ CO_2 จากแหล่งที่มาและแหล่งกักเก็บในมาตราส่วนทั้งระดับภูมิภาคและระดับโลก ทั้งนี้ดาวเทียมเป็นแบบซิงโครนัส (The sun-synchronous) ซึ่งติดตั้งสเปกโตรมิเตอร์ความละเอียดสูงแบบตรวจวัดสามช่วงคลื่น ได้แก่ การวัดคลื่นสะท้อนจากแสงอาทิตย์ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่ 1.61 และ 2.06 μm ตามลำดับ และโมเลกุลออกซิเจน (O_2) A-Band ที่ 0.76 μm โดยโคจรกลับมาที่เดิมทุก ๆ 16 วัน (Temporal Resolution) ทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกสองครั้งต่อเดือน **(34)** ซึ่งคุณลักษณะต่าง ๆ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูล XCO2 แบบรายเดือน เวอร์ชัน 10r ระดับ 3

ชุดข้อมูลภาคพื้น CarbonTracker ชุดข้อมูลนี้ (CT) ถูกพัฒนาขึ้นจากแบบจำลองที่ใช้ตรวจวัดความผกผันของก๊าซ CO_2 ที่กระจายตัวในชั้นบรรยากาศและคาร์บอนฟลักซ์บริเวณพื้นผิวของขอบเขตจุดตรวจวัดเข้าด้วยกัน ซึ่งรองรับข้อมูลความละเอียดสูงในมาตราส่วนระดับภูมิภาคและข้อมูลความละเอียดหยาบขึ้นเมื่อใช้พิจารณาในมาตราส่วนระดับทั่วโลก **(35)** ทั้งนี้ชุดข้อมูล CT ใช้คาดการณ์สัดส่วนโมลของก๊าซ CO_2 (CO_2 mole fraction) จากการผนวกแบบจำลองการแลกเปลี่ยนพื้นผิวของ CO_2 ร่วมกับแบบจำลอง TM5 อีกทั้งถูกวิเคราะห์ซ้ำ **(36)** เพื่อให้ได้ผลลัพธ์การกระจายตัวของก๊าซ CO_2 ทั้งสามมิติและถูกสุ่มตัวอย่างที่จำลองได้จากค่าทั้งหมด ณ ช่วงเวลาและสถานที่ที่มีการสังเกต ส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างค่าการสังเกตและค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองลดลง ทำให้ชุดข้อมูลมีความแม่นยำในการประเมินสูงขึ้น **(6)** ซึ่งคุณลักษณะต่าง ๆ ของข้อมูลแสดงตามตารางที่ 1

วิธีการดำเนินงาน

กระบวนการวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างวัตถุการวิจัย (ชุดข้อมูล) ซึ่งมีความแตกต่างในวิธีการตรวจวัดข้อมูลการแปรผันของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศ ผ่านแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติ โดยชุดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยชุดข้อมูลตรวจวัดภาคพื้น CarbonTracker และชุดข้อมูลติดตามด้วยดาวเทียม OCO-2 ทั้งนี้การเปรียบเทียบคุณลักษณะชุดข้อมูลการตรวจสอบก๊าซ CO_2 ไม่สามารถดำเนินการเปรียบเทียบได้โดยตรงในแง่ของความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลา (Spatial and Temporal Resolutions.) เนื่องจากแต่ละชุดข้อมูลมีความแตกต่างในวิธีการสุ่มตัวอย่างและแหล่งข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น ชุดข้อมูลดาวเทียม OCO-2 เป็นการสังเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยของเศษส่วนโมลอากาศแห้ง (XCO2) จากกระบวนการกรองข้อมูลพื้นหลัง (Cloud Filtering) ซึ่งเป็นข้อมูลจากอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ บนชั้นบรรยากาศที่รบกวนสัญญาณในขณะตรวจวัด เช่น กลุ่มเมฆ ละอองลอย เป็นต้น กระบวนการดังกล่าวช่วยลดทอนข้อมูลที่ทับซ้อนลงอย่างมาก ส่งผลให้เกิดช่องว่างของชุดข้อมูลดาวเทียม ในขณะที่ชุดข้อมูลภาคพื้นตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของก๊าซ CO_2 จากพื้นผิวแนวตั้งและมีการทวนสอบข้อมูลระหว่างกัน อีกทั้งมีการกระจายจุดตรวจวัดที่ดีในแต่ละพื้นที่และตรวจวัดซ้ำทุก ๆ 3 ชั่วโมง ด้วยเหตุนี้ จึงไม่สามารถเปรียบเทียบชุดข้อมูลทั้งสองชุดได้โดยตรง เนื่องจากไม่มีการจับคู่ระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองชุดในแง่ของความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลา เพื่อให้ทั้งสองชุดข้อมูลสามารถเปรียบเทียบกันได้จำเป็นต้องปรับความละเอียดแนวตั้ง (Vertical Resolutions) ของชุดข้อมูลให้สอดคล้องกัน โดยยึดจุดกริด (Grid Points) ของข้อมูลภาคพื้นเป็นมาตรฐาน เทียบกับชุดข้อมูลดาวเทียมที่ถูกแยกออกตามกรอบพื้นที่ (Spatial Window) ทุก ๆ 1.5° x1.5° เพื่อจัดลำดับข้อมูลที่แตกต่างกันของชุดข้อมูลทั้งสองให้สอดรับกันแล้วจึงดำเนินการเปรียบเทียบ **(37–39)**

หลังจากเตรียมชุดข้อมูลแล้ว จึงดำเนินการทดสอบผ่านแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติ ซึ่งการศึกษานี้จะใช้แบบจำลองในการศึกษา 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง Inverse Distance Weighting (IDW) Interpolation และแบบจำลอง Spline Interpolation โดยหลักการแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

Inverse Distance Weighting (IDW) Interpolation เป็นการประมาณค่าผลลัพธ์จุดที่ไม่ทราบค่าโดยการสุ่มตัวอย่างจากตำแหน่งที่ทราบค่าที่แท้จริงหรือมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ที่จะประมาณ โดยวิธีการประมาณค่านี้จะมีประสิทธิภาพน้อยลงเรื่อย ๆ ตามระยะทางของการประมาณค่า วิธีนี้เหมาะสำหรับการคาดการณ์ตัวแปรอ้างอิงตามระยะทางในการคำนวณ โดยยิ่งอยู่ใกล้ยิ่งมีอิทธิพลมากขึ้น (คล้ายกับการถ่วงน้ำหนักของปัจจัย) เช่นเดียวกับการคาดการณ์ระดับเสียงหรือความเข้มข้นของสารเคมี ในวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่โดยวิธี IDW ผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งที่ไม่รู้จัก (x, y), u(x, y) จะถูกคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของการวัดที่จุดตรวจสอบ แสดงตามสมการ **(40)**

$$u(x,y) = \frac{\sum_{n=1}^{N} \frac{u_n(x_n, y_n)}{d_n}}{\sum_{n=1}^{N} \frac{1}{d_n}}$$

โดยที่ u(x,y) คือค่าประมาณของตัวแปรหลัก ณ จุดสนใจ (x,y) $u_n(x_n,y_n)$ คือค่าที่สังเกตได้ที่จุดสุ่มตัวอย่าง x_n,y_n คือน้ำหนักที่กำหนดให้กับจุดสุ่มตัวอย่าง และ n แทนจำนวนจุดสุ่มตัวอย่างสำหรับการประมาณค่า $d_n = \sqrt[i]{(x-x_n)^2 + (y-y_n)^2}$ คือระยะกำลังสองทั่วไป (i = 2) ทั้งนี้การประมาณในช่วงแบบ IDW ส่วนใหญ่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างด้านมลพิษและวิทยาศาสตร์สุขภาพ รวมถึงนำมาประยุกต์ใช้งานด้านวิทยาศาสตร์ดินและธรณีวิทยา เช่นเดียวกับในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลบรรยากาศอีกด้วย **(41)**

Spline Interpolation เป็นการประมาณค่าแบบแทรกสอดประเภทของพหุนามแบบเชิงเดี่ยวที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้รวมถึงระดับการปรับแก้ค่าตัวแปรหลักสามารถปรับให้เรียบขึ้นอีกด้วย เทคนิคนี้เกี่ยวข้องกับการแทรกผลลัพธ์ให้พอดีกับการประมาณที่มีระดับความเว้าขั้นต่ำซึ่งสอดคล้องกับจุดข้อมูลตัวอย่างที่นำเข้า ซึ่งเลียนแบบการบิดงอของแผ่นยางขณะที่มันผ่านจุดตัวอย่าง และทำให้ความโค้งทั้งหมดของชุดตัวอย่างเข้าใกล้จุดเหล่านั้นเสมือนเป็นพื้นผิวอย่างแม่นยำ การประมาณค่าแบบนี้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับเปลี่ยนผลลัพธ์ให้เรียบเสมอกัน นิยมใช้เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น ความสูงและความลึกจากระดับผิวน้ำ สมการทั่วไปคือ **(42)**

$$s(x,y) = t(x,y) + \sum_{j=1}^{N} \lambda_j R(r_j)$$

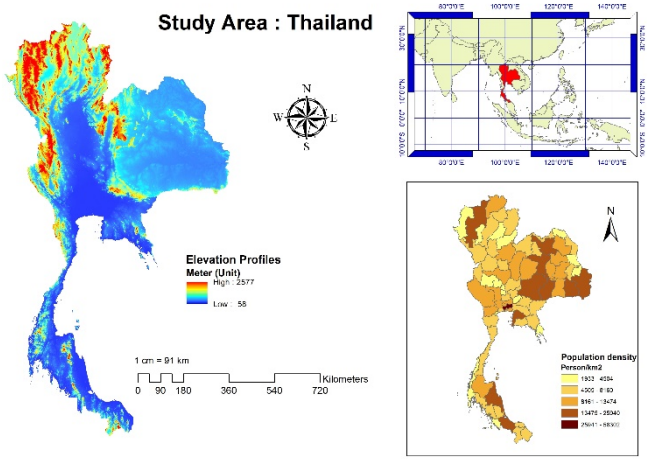
โดยที่ j = 1, 2,... N คือจำนวนคะแนน λ_j คือสัมประสิทธิ์ที่พบโดยการแก้ไขในระบบสมการเชิงเส้น r_j คือระยะห่างจากจุด (x, y) ถึงจุดที่ j ตัวประมาณค่าแบบแทรกสอดมีสองประเภทที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ Thin-Plate Splines (TPS) และ Regularized Spline with Tension and Smoothing (RST) โดยวิธีการประมาณค่าแบบ RST เป็นวิธีการประมาณค่าที่เหมาะสมในการสร้างผลลัพธ์ที่ยืดหยุ่นมากขึ้น โดยเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงตัวแปรที่ไม่ทราบค่าปรับให้ค่าประมาณทั้งหมดเข้าหาจุดตัวอย่างเหล่านั้นและแสดงออกมาเป็นพื้นผิว ซึ่งการประยุกต์ใช้ดังกล่าวเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการประมาณค่าแบบเรียบของวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง ตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้กับการปรับเทียบความสูงและตัวแปรด้านภูมิอากาศ **(43)** สมการคือ **(44)**

$$\Phi(r) = \ln(\frac{\sigma \cdot r}{2}) + K_0(\sigma \cdot r)^2 + C_E$$

โดยที่ r คือระยะห่างระหว่างจุดทำนายกับตัวอย่าง σ คือพารามิเตอร์ความตึงเครียด E1 คือฟังก์ชันอินทิกรัลเอ็กซ์โปเนนเชียล C_E คือค่าคงที่ของออยเลโร (0.577215) และ K_0 คือฟังก์ชัน Bessel ที่แก้ไขแล้ว

ขอบเขตศึกษา

ประเทศไทยถูกใช้เป็นพื้นที่ศึกษาการแปรผันของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศครั้งนี้ตั้งอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อยู่ระหว่างละติจูด 5° ถึง 21° เหนือ และลองติจูด 97° ถึง 106° ตะวันออก มีพื้นที่ประมาณ 513,115 ตารางกิโลเมตร ประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศที่หลากหลายทั้งพื้นที่ภูเขาสูงสลับซับซ้อนบริเวณภาคเหนือ พื้นที่ราบสูงครอบคลุมทั้งบริเวณภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึงตั้งแต่ภาคเหนือตอนล่างจรดภาคใต้แสดงดังภาพที่ 1 (ซ้าย) ประเทศไทยมีประชากรราว 70 ล้านคน กระจายอยู่ทุกภูมิภาคทั่วประเทศซึ่งแหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซ CO_2 อาจมาจากอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็ก การเผาไหม้ชีวมวล หรือเชื้อเพลิงชีวภาพ รวมถึงภาคครัวเรือนซึ่งกระจายตามความหนาแน่นของประชากรแสดงดังภาพที่ 1 (ขวาล่าง) **(45)**

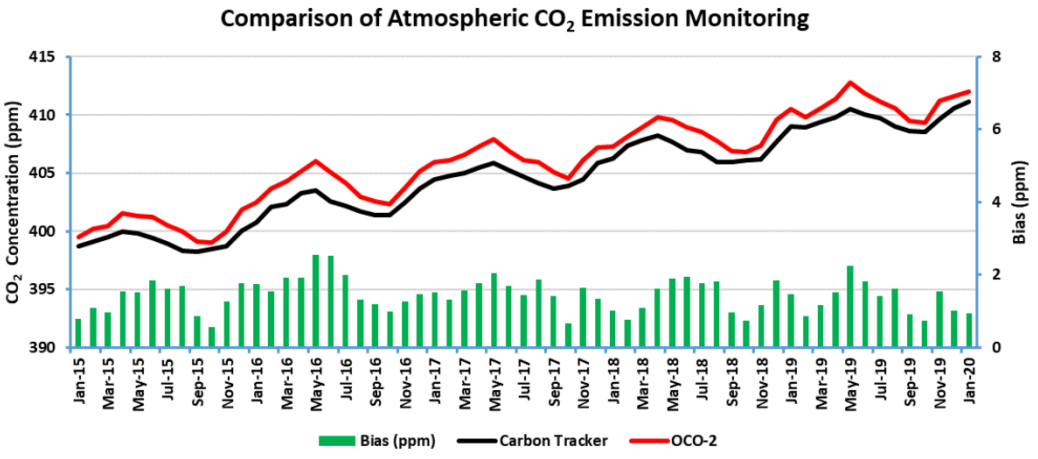


ภาพที่ 1 ภูมิประเทศและความหนาแน่นของประชากรบนพื้นที่ศึกษา: ประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2558 – 2563

ผลการศึกษา

คุณลักษณะความแปรผันของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศตามช่วงเวลาศึกษา

ในเบื้องต้นได้ดำเนินการจัดเรียงชุดข้อมูลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศรูปแบบเฉลี่ยรายเดือน โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลการตรวจวัดภาคพื้น CT กับ ชุดข้อมูลติดตามด้วยดาวเทียม OCO-2 แสดงดังภาพที่ 2 พบว่า ชุดข้อมูลทั้งสองแสดงลักษณะของข้อมูลที่คล้ายคลึงกันทั้งเฟสและแอมพลิจูดรวมถึงแสดงแนวโน้มความเข้มข้นในชั้นบรรยากาศที่เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละช่วงปี แม้ว่าจะมีความแตกต่างกันจากการตรวจวัดปริมาณก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศในแต่ละชุดข้อมูลก็ตาม แต่ยังคงแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันของกระบวนการสังเคราะห์ข้อมูลในแต่ละรูปแบบของชุดข้อมูลที่ใช้แสดงผลในการตรวจวัด โดยที่ชุดข้อมูลดาวเทียม OCO-2 แสดงผลลัพธ์การตรวจวัดระดับก๊าซ CO_2 สูงกว่าการตรวจวัดด้วยชุดข้อมูลภาคพื้น CT ในทุกช่วงข้อมูลเนื่องจากระบบการประมวลผลจากแบบจำลอง ACOS XCO2 retrievals ของชุดข้อมูล OCO-2 ยังคงประเมินผลลัพธ์ที่เกิดจากอิทธิพลของเมฆและละอองลอยในชั้นบรรยากาศร่วมด้วย (31) ส่งผลให้ระดับ CO_2 ในชั้นบรรยากาศที่สูงเกินจริง ทั้งนี้ความโน้มเอียง (Bias) ของระดับก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศในแต่ละปีอยู่ระหว่าง 1–2 ppm ของทั้งสองข้อมูลยังคงแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

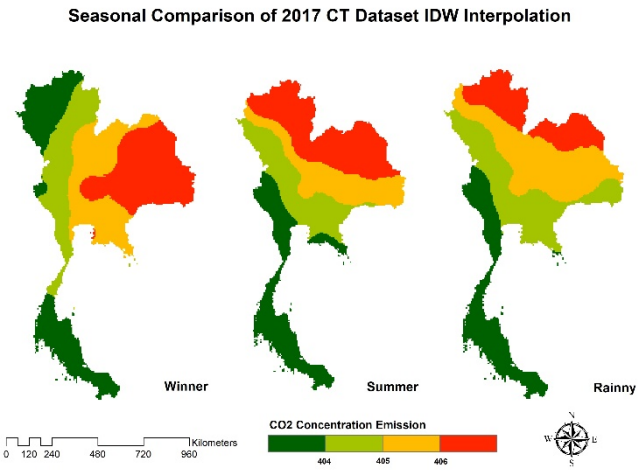


ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบชุดข้อมูลการประเมินระดับความเข้มข้นก๊าซ CO_2 เหนือประเทศไทย และความโน้มเอียงของข้อมูล ระหว่างปี พ.ศ.2558 – พ.ศ.2563

อนึ่ง ความเปลี่ยนแปลงของระดับก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศของทั้งสองชุดข้อมูลเป็นที่น่าสังเกตว่ามีลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นวงรอบคล้ายวัฏจักร กล่าวคือ ระดับความเข้มข้นของการปล่อยก๊าซ CO_2 ต่ำสุดในช่วงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างปลายฤดูฝนและต้นฤดูหนาวในประเทศไทย หลังจากนั้นระดับความเข้มข้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในฤดูหนาว และทยอยลดลงเล็กน้อยในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ เหมือนกับรูปแบบกราฟหัวไหล่ (Head and Shoulders) แล้วจึงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อฤดูร้อนเริ่มต้นในเดือนมีนาคมและถึงค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม จากนั้นความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 จึงค่อย ๆ ลดลงเมื่อย่างเข้าสู่ฤดูฝนระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคมอีกครั้ง และจะเป็นวัฏจักรแบบนี้ต่อไปในปีหน้า แสดงให้เห็นว่าลักษณะความผันแปรของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศที่ตรวจวัดได้จากทั้งสองชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงกับฤดูกาล ดังนั้นการอ้างอิงตามอนุกรมเวลาผ่านแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติซึ่งจะเป็นการอธิบายในหัวข้อถัดไปจะดำเนินการผ่านการศึกษาตามช่วงฤดูกาลเป็นหลัก

การเปรียบเทียบแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติจากอนุกรมเวลาในช่วงฤดูกาล

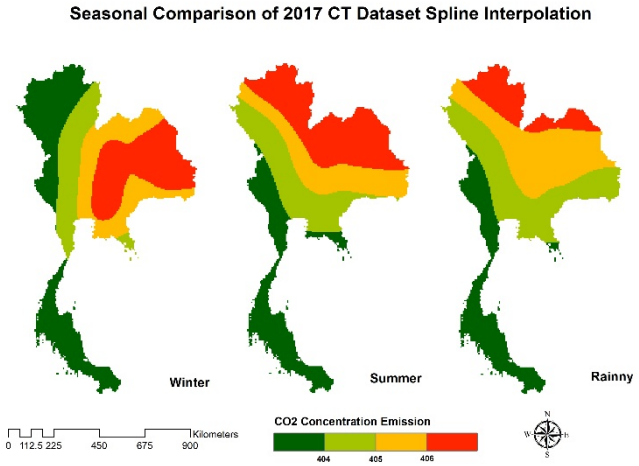
เพื่อขยายความเข้าใจรูปแบบการแปรผันของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศได้ดียิ่งขึ้น การศึกษานี้จึงวิเคราะห์ผลลัพธ์อิงตามอนุกรมเวลาในแต่ละฤดูกาลจากข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับพื้นผิวและการติดตามด้วยดาวเทียมโดยการสังเกตแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน (มรสุม) ทั้งนี้ชุดข้อมูลทั้งสองรูปแบบแสดงผลการแปรผันของก๊าซ CO_2 ในลักษณะเป็นวัฏจักร ดังนั้นการนำเสนอจึงแสดงการแปรผันของก๊าซ CO_2 บนขอบเขตศึกษาในปี 2560 เป็นตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3 อนึ่งชุดข้อมูลมลพิษทางอากาศที่ตรวจวัดภาคพื้นมักไม่สมบูรณ์ในบางพื้นที่และขาดหายไปบางตำแหน่ง การใช้เทคนิคการประมาณค่าเชิงพื้นที่จึงเป็นการแก้ไขที่มีประสิทธิภาพสูงและช่วยวิเคราะห์ข้อมูลที่ขาดหายไปได้ (46) โดยแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติด้วยวิธี IDW กับชุดข้อมูลตรวจสอบภาคพื้นแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่สามารถสังเคราะห์ระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ซึ่งมีลักษณะการกระจายตัวในชั้นบรรยากาศได้ทั่วทั้งขอบเขตศึกษา อีกทั้งการกระจายตัวของกลุ่มก๊าซยังแตกต่างกันไปอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล ซึ่งบ่งบอกถึงปรากฏการณ์ในชั้นบรรยากาศและการปล่อยก๊าซสุทธิ (Net Emission) ที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 3 การแปรผันก๊าซ CO2 ในชั้นบรรยากาศเหนือประเทศไทยตามฤดูกาลในปี พ.ศ. 2560 ด้วยชุดข้อมูลตรวจวัดภาคพื้นผ่านการจำลองด้วยวิธี IDW Interpolation

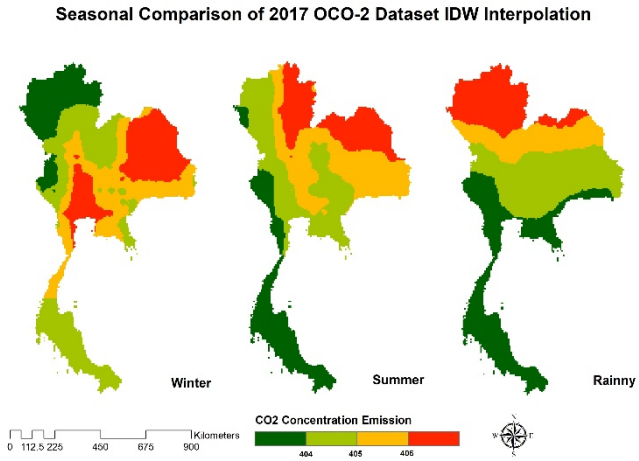
ในฤดูหนาวแสดงดังภาพที่ 3 ระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นจากพื้นที่ทางทิศตะวันตก และมีระดับสูงสุดบริเวณภาคตะวันออก ครอบคลุมทั้งภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางบางส่วนของประเทศไทย ด้วยสภาพพื้นที่และ

ช่วงเวลาการกระจายตัวของกลุ่มก๊าซความเข้มข้นสูงนี้อาจได้รับอิทธิพลมาจากการลดลงอย่างมากของกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชพรรณต่าง ๆ ในพื้นที่ (Photosynthesis) อีกทั้งการเร่งกระบวนการหายใจโดยใช้ออกซิเจน (Respiration) ในจุลชีพเพื่อการย่อยสลายเนื่องจากสภาพอากาศแห้งและเย็น **(47)** และอีกหลายปัจจัยที่เกิดจากมนุษย์ อาทิ ประชากร การเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ ต่างมีอิทธิพลโดยตรงต่อก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศ **(48)** รวมถึงลักษณะทางภูมิประเทศของพื้นที่เป็นที่ราบสูงและมีแนวเขาโอบล้อมทำให้ยากต่อการถ่ายเทอากาศ ผลลัพธ์การจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติจึงแสดงความเข้มข้นสูงสุด ณ บริเวณดังกล่าว เมื่อย่างเข้าสู่ฤดูร้อนสภาพอากาศเริ่มโปร่งขึ้นจากอิทธิพลของกระแสลมที่ปรับเปลี่ยนตามฤดูกาล และเกิดการถ่ายเทระหว่างกันของกลุ่มก๊าซในชั้นบรรยากาศ อนึ่ง กระแสลมในฤดูร้อนยังคงส่งเสริมการผสมกันของกลุ่มก๊าซในบรรยากาศได้ไม่ดีนักส่งผลให้โดยภาพรวมความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 จะสูงขึ้นทั่วพื้นที่ศึกษา **(49)** อย่างไรก็ตามบริเวณภาคเหนือของไทยเป็นพื้นที่สูงชันและมีผืนป่าสลับซับซ้อนจึงยิ่งยากต่อการถ่ายเทอากาศ ดังนั้นผลลัพธ์ของการจำลองจึงแสดงความเข้มข้นสูงสุดบริเวณภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเวลานี้ตามลำดับจนกระทั่งเข้าสู่ฤดูฝนหรือฤดูมรสุม ด้วยปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิทุกส่วนของขอบเขตศึกษาลดลง อีกทั้งส่งเสริมและเร่งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชพรรณ ซึ่งการสังเคราะห์แสงของพืชจะช่วยดูดซับก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศทำให้ความเข้มข้นลดลง **(50)** ดังนั้นผลลัพธ์การจำลองจึงแสดงแนวโน้มทั้งขนาดขอบเขตพื้นที่และระดับความเข้มข้นที่ลดลง



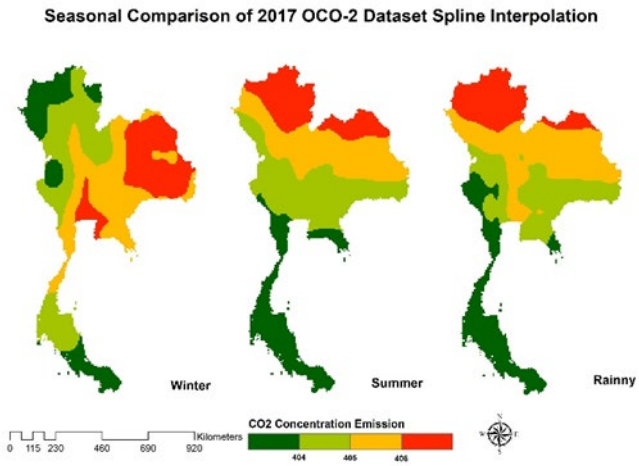
ภาพที่ 4 การแปรผันก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศเหนือประเทศไทยตามฤดูกาลในปี พ.ศ. 2560 ด้วยชุดข้อมูลตรวจวัดภาคพื้นผ่านการจำลองด้วยวิธี Spline Interpolation

เมื่อดำเนินการเปลี่ยนแบบจำลองเป็นวิธี Spline Interpolation ร่วมกับชุดข้อมูลตรวจวัดภาคพื้นเดิม พบว่าการแปรผลลัพธ์การผกผันของก๊าซ CO_2 เหนือขอบเขตศึกษาทางภูมิศาสตร์ (geo-visual display) ยังคงมีลักษณะคล้ายการแปรผลตามการจำลองด้วยวิธี IDW แสดงดังภาพที่ 4 เพียงแต่การประเมินจากมุมมองการแสดงผลเพียงอย่างเดียวไม่สามารถชี้ชัดถึงความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ดังนั้นเครื่องมือทางสถิติ เช่น ค่า MAE และค่า RMSE จึงถูกนำมาใช้อธิบายข้อผิดพลาดที่สอดคล้องกับวิธีการประมาณค่าจากแต่ละวิธีการจำลองและชุดข้อมูล ซึ่งจะอธิบายในช่วงถัดไป



ภาพที่ 5 การแปรผันก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศเหนือประเทศไทยตามฤดูกาลในปี พ.ศ. 2560 ด้วยชุดข้อมูลติดตามด้วยดาวเทียมผ่านการจำลองด้วยวิธี IDW Interpolation

ในขณะที่การจำลองด้วยวิธี IDW Interpolation โดยใช้ชุดข้อมูลติดตามด้วยดาวเทียม OCO-2 ให้ผลลัพธ์การผกผันของก๊าซ CO_2 เหนือขอบเขตศึกษาทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างออกไปจากการใช้ชุดข้อมูลติดตามภาคพื้นแสดงดังภาพที่ 5 โดยพื้นที่ในฤดูหนาวซึ่งมีระดับความเข้มข้นสูงมีสองพื้นที่แยกออกจากกันอย่างชัดเจนได้แก่ ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย แสดงให้เห็นว่าการติดตามการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 อย่างต่อเนื่องด้วยชุดข้อมูลดาวเทียมสามารถแยกแยะความแตกต่างของระดับความเข้มข้นเหนือพื้นที่ได้ดีกว่าการตรวจวัด ณ แหล่งกำเนิดบนพื้นผิว **(51)** อีกทั้งในช่วงเวลานี้การปลดปล่อยก๊าซ CO_2 เหนือบริเวณภาคกลางอาจแตกต่างจากการปล่อยก๊าซ CO_2 เหนือบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งได้รับอิทธิพลจากการคายก๊าซหลังฤดูเก็บเกี่ยว **(48)** และลักษณะภูมิประเทศที่โอบล้อมเอาไว้ แต่เป็นอิทธิพลจากการขยายตัวของประชากร (ชุมชนเมือง) และการปลดปล่อยก๊าซจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์เป็นหลัก **(52,53)** อย่างไรก็ตามผลการจำลองด้วยวิธี IDW ด้วยชุดข้อมูลดาวเทียมยังคงแสดงผลลัพธ์คล้ายคลึงกับการจำลองด้วยชุดข้อมูลติดตามภาคพื้นทุกช่วงฤดูกาล เพียงแต่ลักษณะผลลัพธ์อาจแสดงรูปแบบที่แตกต่างออกไป (Difference Emission and Reactivity Pattern) ตามลักษณะของจุดตรวจวัด ณ จุดข้อมูลใดข้อมูลหนึ่ง **(54)** และเห็นค่าประมาณที่แปลกแยกจากบริเวณอื่น ๆ ในพื้นที่มากยิ่งขึ้นตามกระบวนการประเมินค่าจากแบบจำลอง



ภาพที่ 6 การแปรผันก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศเหนือประเทศไทยตามฤดูกาลในปี พ.ศ. 2560 ด้วยชุดข้อมูลติดตามด้วยดาวเทียมผ่านการจำลองด้วยวิธี Spline Interpolation

อนึ่ง การแปรผลลัพธ์จากการจำลองด้วยวิธี Spline Interpolation จากชุดข้อมูลดาวเทียม พบว่า ผลลัพธ์การผกผันของก๊าซ CO_2 เหนือขอบเขตศึกษาทางภูมิศาสตร์มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบขึ้นแสดงดังภาพที่ 6 เมื่อเทียบกับการจำลองด้วยวิธี IDW และเริ่มเห็นความเคลื่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงอย่างสอดคล้องในชั้นบรรยากาศเหนือพื้นที่ในแต่ละช่วงเวลามากยิ่งขึ้น เนื่องจากอนุกรมเวลาตามฤดูกาลในชุดข้อมูลติดตามด้วยดาวเทียมจะถูกสร้างขึ้นตามแบบจำลอง Spline Interpolation ด้วยฟังก์ชันและการประมาณค่า (Fitted Curve and Interpolated Observations) โดยแต่ละข้อมูลจะถูกปรับค่าอย่างเหมาะสม **(55)** เพื่อลดความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลโดยใช้พารามิเตอร์ภายในอัลกอริทึมเองในการปรับแก้ รวมถึงประมาณค่าตามความเป็นไปได้และเหมาะสมเพื่อเติมข้อมูลในช่องว่าง โดยพยายามรักษาความแปรปรวนจากชุดข้อมูลทั้งหมดที่ประมาณขึ้นให้พอดีกับแต่ละเซลล์กริดของชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ **(56)** ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงพอดีกับฟังก์ชันลูกบาศก์ (Cubic Spline Function) ที่ถูกกำหนดขึ้นด้วยวิธีนี้และแสดงผลลัพธ์อย่างต่อเนื่องตามลำดับ

อย่างไรก็ตามการแสดงผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดจากการทดสอบชุดข้อมูลทั้งสองรูปแบบผ่านแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติ จำเป็นที่จะต้องได้รับการประเมินความถูกต้องด้วยวิธีทางสถิติ (Cross-Validation Technique) เพื่อหาข้อผิดพลาดและระดับความเชื่อมั่นของการแสดงผลในแต่ละครั้ง ทั้งนี้เครื่องมือที่นิยมใช้ในการประเมินด้วยวิธีทางสถิติมีหลากหลาย อาทิ ค่าคลาดเคลื่อนค่าเฉลี่ย (ME) และค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองค่าเฉลี่ยราก (RMSE) **(57)** ทั้งนี้ค่า RMSE สามารถใช้เป็นเครื่องมือบ่งชี้ทางสถิติที่น่าเชื่อถือได้มากที่สุด เนื่องจากการตรวจสอบชุดข้อมูลการตรวจวัดและติดตามระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศผ่านแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติเป็นการประเมินคุณภาพแต่ละแบบจำลองซึ่งไม่ได้เป็นการสุ่มตัวอย่างจากตำแหน่งของข้อมูล **(57)** ดังนั้นตารางที่ 2 จึงถูกนำเสนอเพื่อแสดงข้อมูลทางสถิติที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองและค่า RMSE ที่ได้จากแต่ละแบบจำลองและชุดข้อมูลการตรวจสอบ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงผลลัพธ์จากแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลการตรวจวัด CO_2 ในชั้นบรรยากาศและเครื่องมือทางสถิติ

Year		Observed (ppm)		IDW (ppm)			Spline (ppm)			
		CT	OCO-2	CT	RMSE	OCO-2	RMSE	CT	RMSE	OCO-2	RMSE
2558	(max)	399.490	401.375	399.470	0.0235	400.871	0.0038	399.447	0.0010	400.879	$2.701e^{-9}$
	(min)	398.971	399.816	398.220		399.837		398.912		399.835	
2559	(max)	402.932	404.971	402.758	0.1357	404.448	0.0038	402.677	0.0012	404.455	$2.726e^{-9}$
	(min)	400.845	403.167	400.970		403.256		401.916		403.257	
2560	(max)	405.585	407.452	405.324	0.0021	406.864	0.0042	405.346	0.0013	406.877	$3.029e^{-9}$
	(min)	404.319	405.492	404.423		405.633		404.424		405.614	
2562	(max)	407.538	409.143	407.333	0.0020	408.694	0.0041	409.168	0.0039	408.702	$2.913e^{-9}$
	(min)	406.450	407.677	406.590		407.794		406.756		407.810	
2563	(max)	410.242	411.936	410.090	0.0023	411.381	0.0037	410.153	0.0014	411.366	$2.611e^{-9}$
	(min)	408.987	410.204	409.083		410.351		409.065		410.301	

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงระดับความเข้มข้นก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศเฉลี่ยเหนือประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ.2558 ถึง พ.ศ.2563 มีแนวโน้มเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2 ppm / ปี และตารางได้สรุปรายละเอียดค่าที่ตรวจสอบและค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลองระดับก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศ รวมถึงแสดงสถิติ RMSE ไว้ตลอดทุกช่วงเวลาการศึกษา พบว่า ช่วงของชุดข้อมูลตรวจวัดภาคพื้น CarbonTracker ที่ถูกใช้ในการคำนวณผ่านแบบจำลอง Spline Interpolation จะใช้ช่วงของข้อมูลที่แคบกว่าการคำนวณผ่านแบบจำลอง IDW ทุกระยะเวลาการศึกษา ตัวอย่างเช่น ปี พ.ศ.2558 ระหว่าง 399.447 – 398.912 กับ 399.470 – 398.220 ตามลำดับเป็นต้น แสดงให้เห็นว่าการสร้างพื้นผิวจากชุดข้อมูลภาคพื้นด้วยแบบจำลอง IDW สามารถแสดงการแปรผลลัพธ์เชิงปริมาณและความแม่นยำที่ดีตามปริมาณของจำนวนข้อมูล **(48)** เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Spline Interpolation อย่างไรก็ตามแบบจำลองวิธี IDW ยังคงต้องการจำนวนข้อมูลที่มีระยะห่างเท่าๆ กันและมีความหนาแน่นเพียงพอ **(54)** ในขณะที่จำนวนข้อมูลตรวจวัดภาคพื้นจะถูกปรับอย่างเหมาะสมให้เข้าสู่การประมาณเชิงเส้น (Estimated Curves) **(58)** ด้วยแบบจำลอง Spline Interpolation ส่งผลให้ช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการประมาณแคบลง เมื่อพิจารณาชุดข้อมูลการติดตามจากดาวเทียมพบว่า ช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาผ่านแบบจำลองทั้ง IDW และ Spline Interpolation ยังคงมีช่วงของข้อมูลใกล้เคียงกันแสดงว่าชุดข้อมูลติดตามด้วยดาวเทียมมีความเหมาะสมและชุดข้อมูลหนาแน่นเพียงพอต่อมาตราส่วนพื้นที่ศึกษา

เมื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูลและแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติในแต่ละวิธีเชิงสถิติด้วยค่า RMSE สามารถบอกทิศทางความถูกต้องของการประมาณค่าว่ามีความถูกต้องเพียงใด โดยขั้นต้นพิจารณาจากชุดข้อมูลตรวจวัดภาคพื้นเทียบกับข้อมูลติดตามด้วยดาวเทียมจากการจำลองด้วยวิธี IDW พบว่าค่า RMSE ของชุดข้อมูลทั้งสองมีความใกล้เคียงกันและอยู่ในระดับต่ำซึ่งแปลผลว่ามีความน่าเชื่อถือในระดับสูง เพียงแต่ตรวจพบความไม่แน่นอนของค่า RMSE บางช่วงปีของการศึกษาที่มีค่าสูงผิดปกติด้วยข้อมูลตรวจวัดภาคพื้น (พ.ศ.2558–2559) ซึ่งบ่งชี้ถึงลักษณะความไม่เสถียรของชุดข้อมูลบางช่วงเวลาของการตรวจวัด ในขณะที่ค่า RMSE ของชุดข้อมูลทั้งสองจากการจำลองด้วยวิธี Spline Interpolation ให้ค่า RMSE ที่ต่ำและสม่ำเสมอ โดยเฉพาะชุดข้อมูลติดตามด้วยดาวเทียมแสดงให้เห็นว่าการจำลองมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก

อภิปรายและสรุปผล

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า การเลือกแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติเพื่อการประมาณค่าข้อมูลที่ถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็น ลักษณะของชุดข้อมูลที่สังเกตได้ ขนาดของชุดข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ตรวจวัดในระดับพื้นที่มาตรส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาการแสดงผลของชุดข้อมูล โดยการแปรผลลัพธ์จากการสร้างพื้นผิวระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 จากแต่ละแบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของชุดข้อมูลที่ตรวจวัดได้ (Observation Period) ทั้งนี้จากการตรวจสอบชุดข้อมูลทั้งการตรวจวัดภาคพื้นดินและติดตามด้วยดาวเทียมแสดงแนวโน้มของระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปีเฉลี่ยที่ 2 ppm และมีลักษณะแปรผันเป็นวัฏจักรส่งผลให้การแปรผลลัพธ์จากแต่ละแบบจำลองเชื่อมโยงกับลักษณะของภูมิประเทศในขอบเขตศึกษา โดยเหนือพื้นที่ซึ่งแสดงระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 สูงสุดตามระยะเวลา (ฤดูกาล) กระจายตัวมากสุดอยู่บริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในฤดูหนาว ทั้งนี้ด้วยวิธีการจำลองแบบ IDW แสดงให้เห็นว่าตรวจไม่พบความเข้มข้นสูงสุดบริเวณภาคกลางด้วยข้อมูลการตรวจวัดภาคพื้น ซึ่งเหตุผลอาจเนื่องมาจากขาดจุดตรวจวัดบริเวณดังกล่าวและยืนยันด้วยค่า RMSE ที่แสดงความเชื่อมั่นการตรวจวัดด้วยแบบจำลองนี้น้อยที่สุด อนึ่ง แบบจำลองการทำนายเชิงพื้นที่ทางภูมิสถิติทั้งวิธี IDW และ Spline Interpolation ยังให้ประสิทธิภาพการประมาณค่าที่สม่ำเสมอและเหมาะสมต่อการใช้การประเมินระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ในชั้นบรรยากาศ เพียงแต่การติดตามในช่วง

ฤดูกาลยังคงจำเป็นต้องเลือกใช้ข้อมูลที่มีความหนาแน่นในจุดตรวจวัด เนื่องจากพื้นผิวที่สร้างขึ้นมีความอ่อนไหวสูงต่อการกระจายของก๊าซ CO_2 ในแต่ละพื้นที่ตามช่วงเวลา ดังจะเห็นได้จากความแตกต่างของความเข้มข้นที่ตรวจวัดที่ใช้ในการทดสอบในแต่ละชุดข้อมูล โดยชุดข้อมูล OCO-2 จะให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 สูงกว่าชุดข้อมูลภาคพื้นในทุกช่วงเวลาเนื่องจากในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) ที่ดาวเทียมตรวจวัดนั้นมีการผสมของละอองลอยและก๊าซต่าง ๆ เข้ากับก๊าซ CO_2 เดิมที่ลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศนี้จึงมีส่วนให้การตรวจวัดด้วยดาวเทียมนั้นมีปริมาณสูงกว่าการตรวจวัด ณ บริเวณพื้นผิว ด้วยเหตุนี้เองการจำลองทั้งสองวิธีโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมจึงเห็นรูปแบบการแปรผันของก๊าซ CO_2 ได้ดีกว่าการใช้ข้อมูลภาคพื้น

อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดด้วยชุดข้อมูลทั้งสองยังคงแสดงแนวโน้มถึงการเพิ่มสูงขึ้นของระดับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 เฉลี่ยประมาณ 2 ppm/ปี ซึ่งเป็นปัจจัยส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิพื้นผิวโลกเฉลี่ยโดยตรงอย่างแน่นอน โดยเฉพาะบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกจะกระทบต่อการเพาะปลูกและลดทอนผลผลิตทางการเกษตรโดยตรง

กิตติกรรมประกาศ

วรรณกรรมฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ดร.ไพศาล จี้ฟู อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งเป็นผู้ให้ความอนุเคราะห์ด้านกระบวนการศึกษาและให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่เอื้อต่อการทำงานวิจัยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่าวรรณกรรมฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์และบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน และหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะได้รับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis — IPCC [Internet]. [cited 2023 Oct 5]. Available from: https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/
2. World urbanization prospects: the 2018 revision. New York: United Nations; 2019.
3. Kikuchi N, Yoshida Y, Uchino O, Morino I, Yokota T. An advanced retrieval algorithm for greenhouse gases using polarization information measured by GOSAT TANSO-FTS SWIR I: Simulation study. JGR Atmospheres [Internet]. 2016 Nov 16 [cited 2023 Oct 5];121(21). Available from: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2015JD024720
4. Kulawik SS, O'Dell C, Payne VH, Kuai L, Worden HM, Biraud SC, et al. Lower-tropospheric CO2 from near-infrared ACOS-GOSAT observations. Atmos Chem Phys. 2017 Apr 27;17(8):5407–38.
5. Schultz MG, Akimoto H, Bottenheim J, Buchmann B, Galbally IE, Gilge S, et al. The Global Atmosphere Watch reactive gases measurement network. Elem Sci Anth. 2015 Oct 16;3:000067.
6. Peters W, Jacobson AR, Sweeney C, Andrews AE, Conway TJ, Masarie K, et al. An atmospheric perspective on North American carbon dioxide exchange: CarbonTracker. Proc Natl Acad Sci USA. 2007 Nov 27;104(48):18925–30.
7. Ishtiaq KS, Abdul-Aziz OI. Relative Linkages of Canopy-Level CO2 Fluxes with the Climatic and Environmental Variables for US Deciduous Forests. Environmental Management. 2015 Apr;55(4):943–60.

8. Chen B, Zhang H, Coops NC, Fu D, Worthy DEJ, Xu G, et al. Assessing scalar concentration footprint climatology and land surface impacts on tall-tower CO2 concentration measurements in the boreal forest of central Saskatchewan, Canada. Theor Appl Climatol. 2014 Oct;118(1–2):115–32.
9. Aerocarb experimentalists, Rivier L, Peylin Ph, Ciais Ph, Gloor M, Rödenbeck C, et al. European CO2 fluxes from atmospheric inversions using regional and global transport models. Climatic Change. 2010 Nov;103(1–2):93–115.
10. Oda T, Bun R, Kinakh V, Topylko P, Halushchak M, Marland G, et al. Errors and uncertainties in a gridded carbon dioxide emissions inventory. Mitig Adapt Strateg Glob Change. 2019 Aug;24(6):1007–50.
11. Song MJ, Seo YJ, Lee HY. The dynamic relationship between industrialization, urbanization, CO2 emissions, and transportation modes in Korea: empirical evidence from maritime and air transport. Transportation. 2023 Dec;50(6):2111–37.
12. Li X, Ma H, Ran Y, Wang X, Zhu G, Liu F, et al. Terrestrial carbon cycle model-data fusion: Progress and challenges. Sci China Earth Sci. 2021 Oct;64(10):1645–57.
13. Ballav S, Patra PK, Takigawa M, Ghosh S, De UK, Maksyutov S, et al. Simulation of CO_2 Concentration over East Asia Using the Regional Transport Model WRF-CO_2. Journal of the Meteorological Society of Japan. 2012;90(6):959–76.
14. Umezawa T, Matsueda H, Sawa Y, Niwa Y, Machida T, Zhou L. Seasonal evaluation of tropospheric CO₂ over the Asia-Pacific region observed by the CONTRAIL commercial airliner measurements. Atmos Chem Phys. 2018 Oct 17;18(20):14851–66.
15. Sellers PJ, Schimel DS, Moore B, Liu J, Eldering A. Observing carbon cycle–climate feedbacks from space. Proc Natl Acad Sci USA. 2018 Jul 31;115(31):7860–8.
16. Yun SJ, Chun J. Long-term ecological research on Korean forest ecosystems: the current status and challenges. Ecological Research. 2018 Nov 1;33(6):1289–302.
17. Juncher Jørgensen C, Lund Johansen KM, Westergaard-Nielsen A, Elberling B. Net regional methane sink in High Arctic soils of northeast Greenland. Nature Geosci. 2015 Jan;8(1):20–3.
18. Inoue M, Morino I, Uchino O, Miyamoto Y, Saeki T, Yoshida Y, et al. Validation of XCH4 derived from SWIR spectra of GOSAT TANSO-FTS with aircraft measurement data. Atmos Meas Tech. 2014 Sep 17;7(9):2987–3005.
19. Ishizawa M, Mabuchi K, Shirai T, Inoue M, Morino I, Uchino O, et al. Inter-annual variability of summertime CO2 exchange in Northern Eurasia inferred from GOSAT XCO2. Environ Res Lett. 2016 Oct 1;11(10):105001.
20. Wang J, Zeng N, Wang M. Interannual variability of the atmospheric CO2 growth rate: roles of precipitation and temperature. Biogeosciences. 2016 Apr 21;13(8):2339–52.
21. He Q, Xu J. Congenital anterior midline cleft of the atlas and posterior atlanto-occipital fusion associated with symptomatic anterior atlantoaxial subluxation. Eur J Orthop Surg Traumatol. 2012 Nov;22(S1):35–9.
22. Hakkarainen J, Ialongo I, Tamminen J. Direct space-based observations of anthropogenic CO2 emission areas from OCO-2. \grl. 2016 Nov;43(21):11,400–11,406.
23. Crowell S, Baker D, Schuh A, Basu S, Jacobson AR, Chevallier F, et al. The 2015–2016 carbon cycle as seen from OCO-2 and the global in situ network. Atmos Chem Phys. 2019 Aug 2;19(15):9797–831.
24. Liu Z, Deng Z, He G, Wang H, Zhang X, Lin J, et al. Challenges and opportunities for carbon neutrality in China. Nat Rev Earth Environ. 2021 Dec 21;3(2):141–55.
25. Wang S, Wang Z, Fang C. Evolutionary characteristics and driving factors of carbon emission performance at the city level in China. Sci China Earth Sci. 2022 Jul;65(7):1292–307.
26. Zhu W, Zhang J, Dai J, Wang D, Ma C, Xu Y, et al. Study on the Spatiotemporal Evolution Characteristics and Influencing Factors on Green Building Development of City Clusters in the Yangtze River Delta Region in China. Sustainability. 2023 Jun 12;15(12):9457.
27. Li Z, Zhang C, Zhou Y. Spatio-temporal evolution characteristics and influencing factors of carbon emission reduction potential in China. Environ Sci Pollut Res. 2021 Nov;28(42):59925–44.

28. Wunch D, Wennberg PO, Osterman G, Fisher B, Naylor B, Roehl CM, et al. Comparisons of the Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) <i>X</i>_{CO₂} measurements with TCCON. Atmos Meas Tech. 2017 Jun 13;10(6):2209–38.
29. Kulawik S, Wunch D, O'Dell C, Frankenberg C, Reuter M, Oda T, et al. Consistent evaluation of ACOS-GOSAT, BESD-SCIAMACHY, CarbonTracker, and MACC through comparisons to TCCON. Atmos Meas Tech. 2016 Feb 29;9(2):683–709.
30. Jung Y, Kim J, Kim W, Boesch H, Lee H, Cho C, et al. Impact of Aerosol Property on the Accuracy of a CO2 Retrieval Algorithm from Satellite Remote Sensing. Remote Sensing. 2016 Apr 12;8(4):322.
31. O'Dell CW, Connor B, Bösch H, O'Brien D, Frankenberg C, Castano R, et al. The ACOS CO2 retrieval algorithm – Part 1: Description and validation against synthetic observations. Atmos Meas Tech. 2012 Jan 11;5(1):99–121.
32. Scribd [Internet]. [cited 2023 Oct 7]. Stan Aronoff – Geographic Information Systems – A Management Perspective-Wdl Pubns (1991) PDF | PDF | Teaching Mathematics. Available from: https://www.scribd.com/document/456236960/Stan-Aronoff-Geographic-Information-Systems-A-Management-Perspective-Wdl-Pubns-1991-pdf
33. Applications of Geostatistics. In: Statistics for Spatial Data [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 1993 [cited 2023 Oct 7]. p. 211–75. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119115151.ch4
34. Crisp D, Pollock HR, Rosenberg R, Chapsky L, Lee RAM, Oyafuso FA, et al. The on-orbit performance of the Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) instrument and its radiometrically calibrated products. Atmos Meas Tech. 2017 Jan 5;10(1):59–81.
35. Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P. TM5: a two-way nested zoom model. Q J R Meteorol Soc. 2004;137(656):553–828.
36. Dee DP, Uppala SM, Simmons AJ, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. QJR Meteorol Soc. 2011 Apr;137(656):553–97.
37. Jing Y, Wang T, Zhang P, Chen L, Xu N, Ma Y. Global Atmospheric CO2 Concentrations Simulated by GEOS-Chem: Comparison with GOSAT, Carbon Tracker and Ground-Based Measurements. Atmosphere. 2018 May 7;9(5):175.
38. Rodgers CD, Connor BJ. Intercomparison of remote sounding instruments: INTERCOMPARISON OF REMOTE SOUNDERS. J Geophys Res. 2003 Feb 16;108(D3):n/a-n/a.
39. Connor BJ, Boesch H, Toon G, Sen B, Miller C, Crisp D. Orbiting Carbon Observatory: Inverse method and prospective error analysis.
40. Hengl T. A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables. Luxembourg: Publications Office; 2007.
41. Matejicek L. Assessment of Energy Sources Using GIS. Assessment of Energy Sources Using GIS. 2017.
42. Mitasova H, Mitas L, Harmon RS. Simultaneous Spline Approximation and Topographic Analysis for Lidar Elevation Data in Open-Source GIS. IEEE Geosci Remote Sensing Lett. 2005 Oct;2(4):375–9.
43. Grundas S, Stepniewski A, Grundas S, Stepniewski A. Advances in Agrophysical Research [Internet]. 2013 [cited 2023 Oct 9]. Available from: https://www.intechopen.com/books/3039
44. Garnero G, Godone D. COMPARISONS BETWEEN DIFFERENT INTERPOLATION TECHNIQUES. Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci. 2014 Jan 7;XL-5/W3:139–44.
45. สถิติประชากรทางการทะเบียนราษฎร [Internet]. [cited 2023 Oct 10]. Available from: https://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statMONTH/statmonth/#/mainpage
46. Myslyva T, Kutsaeva O, Krundzikava N. Efficiency of Interpolation Methods Based on GIS for Estimating of Spatial Distribution of PH in Soil. Baltic Surveying. 2019 Nov 20;11:53–9.
47. Sreenivas G, Mahesh P, Subin J, Kanchana AL, Rao PVN, Dadhwal VK. Influence of Meteorology and interrelationship with greenhouse gases (CO2 and CH4/ at a suburban site of India. Atmos Chem Phys. 2016 Mar 24;16(6):3953–67.
48. Bezyk Y, Sówka I, Górka M, Blachowski J. GIS-Based Approach to Spatio-Temporal Interpolation of Atmospheric CO2 Concentrations in Limited Monitoring Dataset. Atmosphere. 2021 Mar 15;12(3):384.
49. Sharma N, Dadhwal VK, Kant Y, Mahesh P, Mallikarjun K, Gadavi H, et al. Atmospheric CO2 Variations in Two Contrasting Environmental Sites Over India. Air, Soil and Water Research. 2014 Jan;7:ASWR.S13987.

50. Mustafa F, Bu L, Wang Q, Ali Md, Bilal M, Shahzaman M, et al. Multi-Year Comparison of CO2 Concentration from NOAA Carbon Tracker Reanalysis Model with Data from GOSAT and OCO-2 over Asia. Remote Sensing. 2020 Aug 4;12(15):2498.
51. Yuan Y, Ries L, Petermeier H, Steinbacher M, Gómez-Peláez AJ, Leuenberger MC, et al. Adaptive selection of diurnal minimum variation: a statistical strategy to obtain representative atmospheric CO₂ data and its application to European elevated mountain stations. Atmos Meas Tech. 2018 Mar 15;11(3):1501–14.
52. Hernández-Paniagua IY, Lowry D, Clemitshaw KC, Fisher RE, France JL, Lanoisellé M, et al. Diurnal, seasonal, and annual trends in atmospheric CO2 at southwest London during 2000–2012: Wind sector analysis and comparison with Mace Head, Ireland. Atmospheric Environment. 2015 Mar 1;105:138–47.
53. Yuan Y, Ries L, Petermeier H, Trickl T, Leuchner M, Couret C, et al. On the diurnal, weekly, and seasonal cycles and annual trends in atmospheric CO₂ at Mount Zugspitze, Germany, during 1981–2016. Atmos Chem Phys. 2019 Jan 25;19(2):999–1012.
54. Fontes T, Barros N. INTERPOLATION OF AIR QUALITY MONITORING DATA IN AN URBAN SENSITIVE AREA: THE OPORTO/ASPRELA CASE.
55. Hastie TJ, editor. Statistical Models in S. New York: Routledge; 2017. 624 p.
56. Jones SD, Le Quéré C, Rödenbeck C, Manning AC, Olsen A. A statistical gap-filling method to interpolate global monthly surface ocean carbon dioxide data. J Adv Model Earth Syst. 2015 Dec;7(4):1554–75.
57. Karl JW, Maurer BA. Spatial dependence of predictions from image segmentation: A variogram-based method to determine appropriate scales for producing land-management information. Ecological Informatics. 2010 May 1;5(3):194–202.
58. Wang H, Zhao Z, Wu Y, Luo X. B-Spline Method for Spatio-Temporal Inverse Model. J Syst Sci Complex. 2022 Dec;35(6):2336–60.

ประสิทธิภาพการบำบัดแมงกานีสในน้ำเสียด้วยพืชน้ำ

Efficiency of manganese treatment in wastewater by aquatic plant

กัญญารัตน์ นารักษ์[1], ทิพย์ชกร สามารถ[1], อนุสรา สารักษ์[2], ปวีณา ลิมปิทีปราการ[2*]

Kanyarat Narak[1], Thipchakorn Samart[1], Anootsara Sarak[2] and Pawena Limpitiprakarn[2*]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยแบบทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแมงกานีสในน้ำเสียด้วยพืชน้ำ คือ จอกและผักกระเฉด โดยจำลองน้ำเสียจากการวิเคราะห์บีโอดีที่มีค่าความเข้มข้นของแมงกานีสตั้งต้นประมาณ 2.70-6.42 mg/L แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุม ชุดที่ใส่จอก และชุดที่ใส่ผักกระเฉด ใช้น้ำเสีย 30 ลิตร/ชุดการทดลอง ใช้ระยะเวลาการทดลอง 21 วัน เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการตรวจวัดค่า pH และค่าแมงกานีส ในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 โดยนำตัวอย่างไปย่อยด้วยวิธี Wet acid digestion ก่อนนำตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดแมงกานีสของแต่ละชุดการทดลอง ผลการทดลอง พบว่า ในระยะ 2 สัปดาห์แรกน้ำจะมีลักษณะเป็นด่างเล็กน้อย เมื่อการทดลองผ่านไปในช่วง 2 สัปดาห์หลัง ความเป็นด่างจะลดลงและมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 4.0 – 5.1 การเจริญเติบโตของจอกและผักกระเฉดพบว่า ผักกระเฉดสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าจอก สังเกตจากมวลของพืชน้ำหลังวันที่ 21 เพิ่มมากขึ้นกว่าจอก และการแตกแขนงของรากฝอยที่เพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 10 – 15 ซม. เมื่อเทียบกับจอก พืชทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการบำบัดแมงกานีสอยู่ในช่วงร้อยละ 63-86 โดยชุดการทดลองผักกระเฉดบ่อ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดแมงกานีสในน้ำเสียได้ดีที่สุด ร้อยละ 86.0 รองลงมา คือ ชุดการทดลองจอกบ่อ 2 มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 79.0 สรุปได้ว่าพืชทั้งสองชนิดสามารถบำบัดแมงกานีสได้ แต่ผักกระเฉดมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีกว่าจอก

คำสำคัญ : โลหะหนัก, น้ำเสีย, จอก, ผักกระเฉด

[1] หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต อนามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

[2] วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

[1] Bachelor of Science Program in Environmental Health, College of Medicine and Public Health Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190

[2] College of Medicine and Public Health Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190

* Corresponding author: pawena.l@ubu.ac.th

Abstract

This experimental study investigates the efficiency of manganese treatment in wastewater using aquatic plants, specifically water lettuce and water mimosa. Wastewater was simulated based on BOD analysis, with an initial manganese concentration of approximately 2.70–6.42 mg/L. The experimental setup was divided into three groups: a control group, a water lettuce group, and a water mimosa group, each using 30 liters of wastewater. The experiment spanned 21 days. Water samples were collected for pH and manganese measurements on days 0, 7, 14, and 21. The samples were prepared using the wet acid digestion method before being analyzed with an Atomic Absorption Spectrophotometer to compare the manganese treatment efficiency of each experimental group. The results revealed that the water was slightly alkaline during the first two weeks. As the experiment progressed over the next two weeks, the alkalinity decreased, and the acidity increased, with pH values between 4.0 and 5.1. Water lettuce and water mimosa growth was observed, with water mimosa exhibiting better growth than water lettuce. Because the biomass of water mimosa after 21 days increased significantly, and the fibrous root branching expanded by approximately 10–15 cm compared to the initial condition. When comparing the two types of plants, both showed the ability to treat manganese within the range of 63–86 percent. Among the experimental groups, the Water Mimosa Set, Pond 1, was the most effective in treating manganese in wastewater, achieving a treatment efficiency of 86.0 percent. It was followed by the Water Lettuce Set, Pond 2, with a treatment efficiency of 79.0 percent. In conclusion, both plants demonstrated the ability to treat manganese, but water mimosa showed superior efficiency to water lettuce.

Keywords: Heavy metals, Wastewater, Water Lettuce, Water mimosa

บทนำ

การจัดการเรียนการสอนในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มีรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดีและน้ำเสีย ในการตรวจหาพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น โลหะหนัก บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) และ ฟอสฟอรัส เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีโครงการบริการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งโรงพยาบาล ที่เป็นแหล่งก่อกำเนิดน้ำเสียจากการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเป็นจำนวนมาก น้ำเสียดังกล่าวจัดเป็นของเสียอันตรายที่จำเป็นต้องมีการจัดการที่ถูกต้องก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งในปัจจุบันน้ำเสียที่เกิดจากการตรวจวิเคราะห์ในแต่ละพารามิเตอร์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจะทำการรวบรวมไว้ในถังรวบรวมของเสียอันตราย บริเวณด้านหน้าห้องปฏิบัติการ ทำการติดฉลากประเภทของสารเคมีเพื่อรอนำส่งให้กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รวบรวมและนำส่งไปกำจัดต่อกับบริษัทเอกชนที่ได้รับอนุญาตต่อไป อย่างไรก็ตาม ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีเป็นจำนวนมาก เนื่องจากจำนวนนักศึกษาที่เรียนและทำงานวิจัยด้านการตรวจคุณภาพน้ำมีจำนวนมากขึ้น รวมทั้งมีหน่วยงานภายนอกที่สนใจส่งน้ำเสียมาตรวจคุณภาพน้ำทิ้งกับทางวิทยาลัยฯ ในจำนวนมากขึ้นเช่นเดียวกัน ทำให้ในแต่ละปีทางวิทยาลัยฯ ต้องจัดเตรียมงบประมาณในการกำจัดของเสียเหล่านี้เป็นจำนวนมาก

จากผลการสุ่มตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียที่เกิดจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดี พบว่า มีปริมาณแมงกานีสอยู่ในความเข้มข้นระดับที่สูงถึง 232 mg/L ดังนั้น เพื่อเป็นการศึกษาแนวทางการลดความเป็นอันตรายเบื้องต้นของน้ำเสียจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดีของห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่

จะนำพืชน้ำมาทดลองมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น โดยการใช้พืชน้ำนั้นถือเป็นวิธีการบำบัดทางชีวภาพวิธีหนึ่งที่นิยมนำใช้ในการบำบัดค่าสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เนื่องจากพืชที่ลอยอยู่ระดับน้ำหรือพืชลอยน้ำ (Floating plants) จะมีรากและลำต้นลอยอยู่ในน้ำซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญของพืชน้ำที่มีบทบาทในการบำบัดน้ำสีย โดยรากและลำต้นของพืชน้ำสามารถช่วยดูดซับสารอาหาร สารพิษ แร่ธาตุ และช่วยดักตะกอนของแข็งแขวนลอยในน้ำได้ (สุทธิดา พุทไธสง และคณะ, 2564)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของพืช 2 ชนิด คือ ต้นจอก (*Pistia stratiotes* L.) และ ผักกระเฉด (*Neptunia oleracea* Lour.) พบว่า ต้นจอกมีการบำบัด BOD และ COD ได้ดีที่สุด (Thongphanh Lartdavong, 2564) สำหรับผักกระเฉดก็มีการดูดซึมเหล็ก (Fe) และ แมงกานีส (Mn) ได้มากที่สุด (วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์, 2532) แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะนำพืชน้ำทั้งสองชนิดนี้มาใช้ในการบำบัดโลหะหนักตัวอื่นๆ ในน้ำเสีย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแมงกานีสในน้ำเสียที่เกิดจากการตรวจวิเคราะห์ค่าบีโอดีในห้องปฏิบัติการ โดยประยุกต์ใช้พืชลอยน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ จอกและผักกระเฉด เนื่องจากเป็นพืชลอยน้ำที่สามารถหาได้ง่ายโดยทั่วไป เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และมีความคงทนต่อน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงได้เป็นอย่างดี โดยทำการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ และเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดแมงกานีสระหว่างพืชน้ำทั้งสองชนิด ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น เพื่อลดความเป็นพิษของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ก่อนนำส่งไปบำบัดยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดแมงกานีสในน้ำเสียของจอกและผักกระเฉด ดำเนินการทดลองในช่วงวันที่ 27 สิงหาคม– 17 กันยายน 2566

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียสังเคราะห์จากการวิเคราะห์บีโอดีของห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข จำนวน 30 ขวด ขวดละ 300 มล. ปริมาตรรวมทั้งหมด 9 ลิตร มีความเข้มข้นของแมงกานีสอยู่ที่ประมาณ 47 มก./ลิตร (จากการสุ่มเก็บตัวอย่างไปตรวจวัด) โดยผู้วิจัยได้ทำการเจือจางให้น้ำเสียที่ต้องบำบัดให้มีความเข้มข้นลดลงในปริมาณที่ไม่เป็นพิษต่อพืชมากเกินไป ให้อยู่ในช่วงประมาณ 2.70–6.42 มก./ลิตร และมี pH ที่เป็นกลางในตอนเริ่มต้น

พืชน้ำที่ใช้ในการทดลอง คือ จอก (ชื่อสามัญ Water lettuce : ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pistia stratiotes* L.) และผักกระเฉด (ชื่อสามัญ Water mimosa : ชื่อวิทยาศาสตร์ *Neptunia oleracea* Lour.) สำหรับจอกจะคัดเลือกเฉพาะต้นที่ยังไม่ออกดอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3–5 เซนติเมตร หรืออายุประมาณ 15 วัน (รูปที่ 1) เก็บมาจากบ่อน้ำของชาวบ้านในเขตอำเภอสว่างวีระวงศ์ จังหวัดอุบลราชธานี สำหรับผักกระเฉดจะเลือกผักกระเฉดต้นที่มีความยาวประมาณ 30–35 เซนติเมตร (รูปที่ 1) เนื่องจากเป็นช่วงที่กำลังโตเต็มวัย และเก็บมากจากสระ 70 ไร่ บริเวณหน้าวิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข

ทำการจำลองการบำบัดในกะละมังพลาสติกขนาด กว้าง 59 ซม. ลึก 24 ซม.ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ในการบำบัด กะละมังละ 30 ลิตร มีระดับความลึกของน้ำจากก้นถัง 20 ซม.กำหนดค่าความหนาแน่นของพืชน้ำไว้ที่ 0.29 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อถัง ตั้งไว้นอกอาคาร บริเวณชั้น 2 ของ อาคารสมจิตต์ ยอดเศรณี วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เป็นบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก แสงแดดส่องถึงและอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกันทุกชุดการทดลอง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ต้นจอกและผักกระเฉดที่ใช้ในการทดลอง และสถานที่ตั้งวางชุดการทดลอง

ในกรณีที่จอกหรือผักกระเฉดตายขณะทดลอง จะทำการเก็บออกและนำต้นใหม่ตามเกณฑ์การคัดเลือกข้างต้นเข้าไปทดแทน เพื่อควบคุมให้มีความหนาแน่นตามที่กำหนดไว้ตลอดระยะเวลาการศึกษา ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาตรวจวัดค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) และแมงกานีสทุก ๆ 7 วัน ทำการทดลองทั้งหมด 21 วัน ตัวอย่างน้ำที่เก็บได้จากแต่ละชุดการทดลองจะถูกนำไปย่อยด้วยวิธี Wet acid digestion และนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของแมงกานีสด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS) ตาม Standard methods for the examination of water and wastewater ทำการทดลองชุดละ 2 ซ้ำ ทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดด้วยสถิติ Non parametric Mann Whitney U–test

ผลการศึกษา

ลักษณะสภาพอากาศตลอดการทดลอง มีสภาพอากาศที่แปรปรวนเนื่องจากอยู่ในช่วงหน้าฝน มีแสงแดดสลับในบางวัน ในแต่ละสัปดาห์ระดับน้ำในถังทดลองจะลดลงประมาณ 0.5 – 1 ซม. หรือประมาณ 500 มล. – 1 ลิตร จากการระเหยของน้ำและการเจริญเติบโตของพืช ตลอดทั้ง 4 สัปดาห์ที่ทำการทดลองระดับน้ำลดลงโดยรวมประมาณ 6 – 9 ลิตร/ถัง เมื่อทำการวัดการเจริญเติบโตของพืชน้ำที่ใช้ในการทดลองหลังเสร็จสิ้นการทดลอง พบว่าผักกระเฉดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าจอก โดยมีมวลน้ำหนักเพิ่มขึ้นประมาณ 121–122 กรัม ในขณะที่จอกมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นประมาณ 25–30 กรัม โดยในสัปดาห์แรกจอกมีความกว้าง 5 – 7 ซม. ขนาดของรากยาวเพียง 2–10 ซม. ในวันที่ 21 จอกมีขนาดใหญ่ขึ้น 1–2 ซม. และมีรากยาวขึ้นประมาณ 5–10 ซม. บริเวณขอบใบมีสีเหลืองแกมน้ำตาลอยู่เล็กน้อยทั้ง 2 ชุดการทดลอง ในขณะที่ผักกระเฉดมีการเจริญเติบโตได้ดี โดยดูจากขนาดรวบวงลำต้นของผักกระเฉด จากสัปดาห์แรกของการทดลอง ขนาดลำต้น 30–35 ซม. ความยาวราก 5–10 ซม. ในวันที่ 21 ลำต้นมีขนาดกว้างขึ้นประมาณ เป็น 40–50 ซม. และรากมีความยาวเพิ่มขึ้นเป็น 15–25 ซม. จากการสังเกตผักกระเฉดมีการแตกรากอย่างเห็นได้ชัดเจนมากกว่าจอก ดังรูปที่ 2



a. รากของจอกในสัปดาห์แรก



b. รากของจอกในวันที่ 21



c. รากของผักกระเฉดในสัปดาห์แรก



d. รากของผักกระเฉดในวันที่ 21

รูปที่ 2 การเปรียบเทียบความยาวของรากในพืชน้ำทั้งสองชนิดในสัปดาห์แรกและสัปดาห์สุดท้าย

ผลการตรวจวัดค่า pH พบว่า ในช่วงสัปดาห์แรกน้ำในถังของพืชทั้งสองชนิดมีค่าความเป็นด่างเล็กน้อยอยู่ในช่วง 7.88–8.39 แต่เมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้น (14–21 วัน) พบว่า น้ำในถังของพืชทั้งสองชนิดมีค่าความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้น อยู่ในช่วง 4.24–5.11 คาดว่าเกิดจากย่อยสลายของพืชที่ตายในแต่ละชุดการทดลอง รวมทั้งการหายใจของพืชน้ำที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในช่วงกลางคืน และปริมาตรของน้ำในถังที่ลดลงในแต่ละสัปดาห์ เมื่อดูค่าความเข้มข้นของแมงกานีสที่พืชน้ำทั้งสองชนิดบำบัดได้ พบว่า ผักกระเฉดบ่อ 1 มีความสามารถในการบำบัดแมงกานีสในน้ำเสียจากการวิเคราะห์บีโอดีได้ดีที่สุดโดยให้ประสิทธิภาพในการบำบัดคิดเป็นร้อยละ 86.0 รองลงมา คือ จอกบ่อ 2 และจอกบ่อ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดคิดเป็นร้อยละ 79.0 และร้อยละ 78.1 ตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 แต่เมื่อพิจารณาดูจากค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการ

บำบัดของพืชทั้งสองชนิดจากการทดลองสองซ้ำ พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Non parametric Mann Whitney U-test (p-value =0.999)

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าแมงกานีสในน้ำเสียก่อน-หลังการทดลอง

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของ Mn (mg/L) Mean (S.D.)				ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย
	วันเริ่มต้น	วันที่ 7	วันที่ 14	วันที่ 21		
ชุดควบคุม	6.42±0.60	5.79±0.28	6.53±0.29	6.65±0.68	-	-
จอก บ่อ 1	2.70±1.10	0.51±0.06	0.61±0.01	0.59±0.01	78.1	78.5
จอก บ่อ2	3.10±0.33	0.47±0.05	0.67±0.11	0.65±0.01	79.0	
กระเฉด บ่อ 1	4.29±0.33	0.35±0.01	0.46±0.02	0.60±0.00	86.0	74.5
กระเฉด บ่อ 2	2.79±1.14	0.35±0.06	0.60±0.03	1.03±0.03	63.0	

วิจารณ์และสรุปผล

จากผลการทดลองประสิทธิภาพในการบำบัดแมงกานีสของจอกและผักกระเฉด พบว่า พืชน้ำทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดแมงกานีสแตกต่างกันเล็กน้อย โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดแมงกานีสอยู่ที่ช่วงร้อยละ 63-86 จอกมีประสิทธิภาพในการในการบำบัดแมงกานีสร้อยละ 78.5 ในขณะที่ผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับร้อยละ 74.5 โดยในงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบว่ามีการนำจอกและผักกระเฉดมาใช้ในการบำบัดโลหะหนักที่เป็นแมงกานีส แต่พบว่ามีงานวิจัยที่ใช้จอกผักกาดในการลดความเข้นข้นของอาร์เซนิคได้เท่ากับร้อยละ 71.48 และ 51.85 (ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์, 2552) และมีงานวิจัยที่กล่าวว่าผักกระเฉดสามารถสะสมแคดเมียมได้สูงถึงร้อยละ 93 หลังการบำบัด 10 วัน (Syuhaida et al, 2014) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพืชน้ำทั้งสองชนิดมีความสามารถในการบำบัดโลหะหนัก อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองในครั้งนี้ พบว่า เมื่อเลยเวลาช่วงที่พืชมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดแล้วคือช่วง 7 วันแรก พบว่า ความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดมาจากการที่มีบางส่วนของพืชที่อาจเหี่ยวเฉาและตายในถังการทดลอง เกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยแมงกานีสกลับสู่น้ำอีกครั้ง โดยเบญจวรรณ นิลวงค์ และกรรณิการ์ แก้วกิ้ม (2559) ได้กล่าวว่า พืชน้ำจำพวกธูปฤาษี จอก แหน ผักตบชวา และพืชในตระกูลหญ้ามีการสะสมของโลหะหนักบริเวณรากมากกว่าลำต้น หน่อหรือใบ ดังนั้นในบริเวณรากเมื่อมีการย่อยสลายก็อาจจะมีโอกาสปล่อยโลหะหนักที่ดูดซึมไว้กลับมาสู่น้ำได้อีกครั้ง รวมทั้งระดับน้ำในสัปดาห์สุดท้ายมีปริมาณน้อยที่สุด ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ในบางชุดการทดลองมีความเข้มข้นของแมงกานีสสูงขึ้นได้

จากผลการตรวจวัด pH หลัง 21 วัน พบว่า ค่า pH มีค่าต่ำลงอยู่ในช่วง 4.0 – 6.7 ทั้งนี้เนื่องจากจอกเป็นพืชลอยน้ำในช่วงกลางวันมีการสังเคราะห์แสงปล่อยออกซิเจนออกมาก แต่ในช่วงกลางคืนจะมีการหายใจและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งหากมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ในน้ำมากขึ้น ก็จะทำให้ pH ของน้ำในทุกบ่อต่ำลงตามไปด้วย เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มี pH ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาของการทดลอง ทั้งนี้ pH ที่เหมาะสมของการเจริญเติบโตหรือการปลูกพืชน้ำ คือ 5.5 – 6.5 อย่างไรก็ตาม หากค่า pH ในน้ำมีค่าความเป็น

กรดสูงรากของพืชจะถูกกัดกร่อนจนทำให้รากพืชอ่อนแอส่งผลให้พืชตายเร็วได้ ในทางตรงกันข้ามหาก pH ในน้ำมีความเป็นด่างสูงก็จะส่งผลให้พืชเติบโตช้า ใบเหลือง ใบแห้ง และตายได้ในที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของพืชน้ำ พบว่า ผักกระเฉด มีคุณสมบัติเด่นคือลำต้นมีขนาดใหญ่ มีรากยาว ทำให้เกิดการดูดซับแมงกานีสได้มากในชุดการทดลองผักกระเฉดบ่อที่ 1 อีกทั้งยังสามารถหาได้ง่ายตามธรรมชาติมากกว่าจอก ในขณะที่จอกแม้จะเหมือนมีขนาดเล็ก แต่ก็มีรากยาวและมีการกระจายตัวครอบคลุมทั่วพื้นที่ได้ดีเช่นกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพจากค่าเฉลี่ยของการทดลองสองซ้ำ พบว่า พืชทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพืชเจริญเติบโตได้ไประยะหนึ่งแล้ว อาจจะไม่ได้มีความต้องการธาตุอาหารบางอย่างเพิ่มเติม ดังนั้น การใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย ควรจะมีการเปลี่ยนถ่ายพืชน้ำหมุนเวียนเป็นระยะ เพื่อให้อยู่ในช่วงที่พืชต้องการแร่ธาตุในการเจริญเติบโตมากที่สุด และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้อีกด้วย สำหรับการวิจัยครั้งต่อไปสามารถนำต้นจอกและผักกระเฉดไปทำการทดลองบำบัดสารโลหะหนักตัวอื่นที่พบในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เช่น สังกะสี และ ซัลไฟด์ ได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ ของวิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และค่อยช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

เบญจวรรณ นิลวงศ์ และ กรรณิการ์ แก้วกิ้ม. (2559). การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์และตัวดูดซับทางชีวภาพ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ**, ปีที่ 2 (ฉบับที่ 2), หน้า 52-61.

ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์. (2552). **การบำบัดอาร์เซนิคในน้ำโดยพืชน้ำ.** รายงานการวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

วนิดา ธนประโยนช์ศักดิ์. (2532). **ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับสารอาหารในบึงมักกะสัน.**กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย.

สุทธิดา พุทไธสง, ปวีณา แอบเพชร และ รวินิภา ศรีมูล. (2564). ประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยระบบการปลูกแบบไร้ดินจำลอง. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**, ปีที่ 40 (ฉบับที่ 6), หน้า 415-421.

Thongphanh Lartdavong. (2564). **การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยใช้พืชลอยน้ำเพื่อเป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์**.วิทยานิพนธ์ วทม. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

Syuhaida A, Wahab AS and Norkhadijah S. (2014). Heavy Metals Uptake of Water Mimosa (Neptunia oleracea) and Its Safety for Human Consumption. **Iranian Journal of Public Health,** 43(3), 103-111.

ผลของการเสริมโพรไบโอติก (*Bacillus lichenifermis*) ในอาหารต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดในการเลี้ยงปลานิล

Effects of probiotics supplementing (*Bacillus lichenifermis*) in the diet on growth and survival rates in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture

กิตติมา วานิชกูล[1*] บุณฑริกา ทองดอนพุ่ม[1] จิราพร จำปาศรี[1] ศุภมาศ ศรีวงศ์พุก[1] และสงบ ศรีเมือง[1]
Kittima Vanichkul[1*], Boontarika Thongdonphum[1], Jiraporn Champasri [1], Supamas Sriwongpuk[1] and Sangob Srimueang[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ผลของการเสริมโพรไบโอติก (*Bacillus lichenifermis*) ต่อการเจริญเติบโตและอัตรารอดของปลานิล ทำการทดลองโดยเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารเสริมโพรไบโอติก (*Bacillus licheniformis*) ที่ระดับ 0 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ (v/w) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทำการประเมินอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตาย โดยเมื่อเริ่มต้นการทดลองปลานิลมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.14±0.34–1.26±0.23 กรัม และความยาวเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.06±0.37–4.25±0.26 เซนติเมตร (P>0.05) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองปลานิลมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย และความยาวสุดท้ายเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในทุกชุดทดลอง โดยปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมโพรไบโอติก 1–3 เปอร์เซ็นต์มีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ยและความยาวสุดท้ายเฉลี่ยมากกว่าชุดควบคุมที่เลี้ยงด้วยอาหารไม่เสริมโพรไบโอติกแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย ความยาวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมโพรไบโอติกให้ผลดีกว่าปลานิลชุดควบคุมแต่ไม่แตกต่างทางสถิติเช่นกัน (P>0.05) อัตราการรอดในทุกชุดการทดลองมีค่ามากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์โดยทุกชุดทดลองไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ส่วนค่าพารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงพบว่า อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ไนไตรท์ และ แอมโมเนียอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

คำสำคัญ: โพรไบโอติก ปลานิล อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด

[1] สาขาประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12130
[1] Division of Fisheries, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thani Province 12130
* Corresponding author e-mail: Kittima_v@rmutt.ac.th

Abstract

The aims of research were to study effects of probiotic supplementation (*Bacillus lichenifermis*) on the growth and survival rates of Nile tilapia culture. Nile tilapia were fed with probiotic supplements (*B. licheniformis*) at 0, 1, 2 and 3 percentage (v/w) for 6 weeks. Growth and survival rates were evaluated. At the beginning of the experiment, tilapia had an average weight in the range of 1.14±0.34 to 1.26±0.23 grams and an average length in the range 4.06±0.37 to 4.25±0.26 centimeters (P>0.05) and at the end of the experiment, tilapia had an average final weight and length increased in every experiment. The tilapia were fed with 1–3 percent probiotic supplements had an average final weight and length were greater than the control group that fed without probiotic supplementation but not statistically difference (P>0.05). The average weight gain, average length gain, average daily gain and feed conversion ratio of tilapia fed with probiotic supplements were better than the control group but not statistically different (P>0.05). Survival rates in all experimental showed more than 90 percentage and not showed statistically significant difference (P>0.05). Water quality parameters were temperature, pH, dissolved oxygen, nitrite and ammonia that showed standard levels.

Keywords: Probiotic, Nile tilapia, Growth rate, Survival rate

บทนำ

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เลี้ยงง่าย โตเร็ว รสชาติดี ทนต่อสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน (ชาญวิทย์ สุวรรณ์ และ ชนกันต์ จิตมนัส, 2560) สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลากหลาย ทำให้มีผู้นิยมบริโภคปลานิลกันอย่างกว้างขวางส่งผลให้ตลาดมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งในประเทศและต่างประเทศเพื่อรองรับการบริโภคที่มีเพิ่มขึ้น โดยประเทศไทยได้มีการส่งออกปลานิลไปยังประเทศต่างๆ เช่น ไนจีเรีย สหรัฐอเมริกา กัมพูชา สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์และออสเตรเลีย โดยผลิตภัณฑ์ที่ถูกส่งออกมากที่สุดก็คือ ปลานิลแช่แข็ง ปลานิลฟิลเลรมควันและปลานิลอบแห้ง (เกษตรทูเดย์, มปป.) ทำให้ปลานิลในประเทศไทยมีจำนวนฟาร์มเลี้ยงเฉลี่ย 309,474 ฟาร์มต่อปี เนื้อที่ 455,430 ไร่ต่อปี มีผลผลิตเฉลี่ย 216,727 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 10,592 ล้านบาทต่อปี (กลุ่มสถิติการประมง, 2566) อย่างไรก็ตามในการขยายตัวการเลี้ยงที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิตตามความต้องการของตลาดนั้น ทำให้มีการพัฒนาการเลี้ยงเพื่อให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตโดยมีการใช้สารเร่งการเจริญเติบโต ยาปฏิชีวนะ และสารอื่นๆ ที่ช่วยให้ผลผลิตเป็นไปตามเป้า แต่การใช้สารเหล่านี้เมื่อมีการใช้ในปริมาณมากจะเป็นสาเหตุให้เกิดการสะสมและปนเปื้อนในผลผลิตได้และอาจส่งผลถึงผู้บริโภค

โพรไบโอติกเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ พบได้ในลำไส้ สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยสารอาหารได้บางประเภท (วารุณี ประดิษฐศรีกุล, 2549) ส่งเสริมการเจริญเติบโต และช่วยความต้านทานโรค ซึ่งทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณมากและมีคุณภาพที่ดี (Azarin, Aramli, Imanpour and Rajabpour, 2015) เสริมสุขภาพของปลา และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Yu et.al., 2023) การเสริมโพรไบโอติกเพื่อช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต ทำให้สัตว์น้ำมีสุขภาพแข็งแรง และกระตุ้นภูมิคุ้มกันในสัตว์น้ำ พบว่าให้ผลดี (Azarin, Aramli, Imanpour and Rajabpour, 2015; Adorian et.al., 2019; Yu et.al., 2023)

ดังนั้น การทดลองครั้งนี้จึงทำการเลี้ยงปลานิลโดยใช้อาหารเสริมโพรไบโอติก (*Bacillus licheniformis*) ที่แยกได้จากลำไส้ปลานิล มาประเมินการเจริญเติบโตและอัตรารอดของปลานิล เพื่อเป็นข้อมูลในการประยุกต์โพรไบโอติกเสริมในอาหารสำหรับการเลี้ยงปลานิลให้มีผลผลิตตามความต้องการของตลาดต่อไป

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง

ดำเนินการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 อาหารเม็ดสำเร็จรูป (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 อาหารเม็ดสำเร็จรูปเสริม *Bacillus licheniformis* 1 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 3 อาหารเม็ดสำเร็จรูปเสริม *Bacillus licheniformis* 2 เปอร์เซ็นต์และชุดการทดลองที่ 4 อาหารเม็ดสำเร็จรูปเสริม *Bacillus licheniformis* 3 เปอร์เซ็นต์ ดำเนินการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ

การเตรียมเชื้อ *Bacillus licheniformis*

ทำการแยกเชื้อจากลำไส้ปลานิลแล้วนำมาเจือจางด้วยวิธี serial ten fold dilution โดยทำการเจือจางน้ำตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ด้วยน้ำเกลือ 0.85 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 9 มิลลิลิตร แล้วทำการเจือจางจากหลอดแรกไปหลอดถัดไปด้วยวิธีเดียวกัน โดยก่อนเจือจางทุกหลอดต้องเขย่าหลอดด้วย vortex mixer เพื่อให้สารละลายกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอกัน ดูดสารละลายแต่ละหลอดที่เจือจางแล้ว 100 ไมโครลิตร เพื่อนำมาหยดบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy agar (TSA) และทำให้เชื้อกระจาย (spread plate) หลังจากนั้นทำการบ่มด้วยตู้บ่มเชื้อ (incubator) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18–24 ชั่วโมง แยกโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิดมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่เพื่อให้ได้โคโลนีเดี่ยว (เชื้อบริสุทธิ์) ทำการจำแนกแบคทีเรียเบื้องต้นโดยการย้อมแกรมดูลักษณะของเซลล์ และตรวจสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี (biochemical test) จำแนกชนิดของแบคทีเรียโดยใช้ชุดทดสอบสำเร็จรูป (Biomérieux) และตามวิธีของ Buchanan and Gibbons (1974) เก็บเชื้อแบคทีเรียไว้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA ก่อนนำมาทำการทดลอง

การเตรียมปลานิล

เตรียมปลานิลขนาด 3–5 เซนติเมตร เพื่อนำมาทำการทดลองจำนวน 350 ตัว โดยก่อนทำการทดลองมีการปรับสภาพในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 200 ลิตร เป็นเวลา 7 วัน และมีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป 2 มื้อต่อวัน ที่เวลา 08.30 น. และ 16.00 น. จากนั้นทำการสุ่มปลานิลที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 18 ตัว ลงเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 24x12 นิ้ว ที่มีการเติมน้ำพักปริมาตร 54 ลิตร จำนวน 12 ตู้ ที่มีการต่อระบบให้อากาศ

การเตรียมอาหารและการให้อาหาร

นำเชื้อ *Bacillus lichenifermis* เขี่ยลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำลงเลี้ยงต่อในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy broth (TSB) ที่บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อ ทำการรวบรวมเชื้อโดยนำสารละลายเชื้อที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วทำการปั่นล้างเซลล์ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.85 เปอร์เซ็นต์ นำเชื้อที่ได้มาเจือจางในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.85 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้ที่ระดับปริมาณเชื้อ 10^5 CFU/มิลลิลิตร นำสารละลายเชื้อที่ได้ฉีดพ่นลงบนอาหารสำเร็จรูป (โปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์) ตามสัดส่วนชุดทดลองที่กำหนด (v/w) และเคลือบด้วยน้ำมันปลาปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ผึ่งลมให้แห้ง นำอาหารที่ได้เลี้ยงปลานิลในแต่ละชุดทดลองจนอิ่มที่เวลา 08.30 น. และ 16.00 น. เป็นเวลา 6 สัปดาห์

การดำเนินการทดลองและการเก็บข้อมูล

ทำการทดลองเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารตามชุดทดลองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 20 เปอร์เซ็นต์ และตรวจวัดคุณภาพน้ำประกอบไปด้วยอุณหภูมิ และความเป็นกรดเป็นด่างด้วยเครื่อง pH meter รุ่น pH PAL ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำด้วยเครื่อง YSI รุ่น 550A ไนไตรท์ และแอมโมเนีย ตาม APHA, AWWA and WPCA (1992) ก่อนการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ในการประเมินการเจริญเติบโตและอัตราการรอดจะมีการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลานิลเมื่อเริ่มทดลอง และทุก ๆ 2 สัปดาห์ และมีการบันทึกปริมาณอาหารในการทดลอง รวมทั้งบันทึกจำนวนปลาที่ตายเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ น้ำหนักเฉลี่ย ความยาวเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย ความยาวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอด

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงบรรยาย โดยใช้ค่าร้อยละ หรือ เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (อนันต์ชัย เขื่อนธรรม, 2542)

ผลการศึกษา

จากการทดลองเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารชุดควบคุม และอาหารเม็ดสำเร็จรูปเสริม *Bacillus licheniformis* ที่ระดับความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า เมื่อเริ่มต้นการทดลองปลานิลมีน้ำหนักเฉลี่ยในช่วง 1.14±0.34–1.26±0.23 กรัม และความยาวเฉลี่ย 4.06±0.37–4.25±0.45 เซนติเมตร โดยไม่แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาทดลอง พบว่า ปลานิลน้ำหนักและความยาวเพิ่มขึ้น โดยปลานิลมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย และความยาวสุดท้ายเฉลี่ยในชุดปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมโพรไบโอติก (*Bacillus licheniformis*) มากกว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารชุดควบคุมซึ่งเป็นอาหารที่ไม่ได้เสริมโพรไบโอติก แต่ทุกชุดทดลองไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) โดยปลานิลมีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น 19.28±3.39 19.69±6.58 21.10±4.22 และ 20.38±0.88 กรัม ตามลำดับ และความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น 6.06±0.32 6.20±0.75 6.21±0.40 และ 6.29±0.16 เซนติเมตร ซึ่งปลานิลชุดที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมโพรไบโอติกมีค่าสูงกว่าปลานิลชุดควบคุมทุกชุดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 1)

สำหรับอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของปลานิลในการทดลอง พบว่ามีค่าสูงในปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมโพรไบโอติกทุกชุด โดยมีค่าสูงสุดในปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมโพรไบโอติกที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ส่วนค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลานิลที่ได้รับอาหารชุดทดลอง มีค่า 1.23±0.12 1.14±0.24 1.19±0.10 และ 1.29±0.03 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมโพรไบโอติก 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าชุดควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) และอัตราการรอดของปลานิลในชุดทดลองทุกชุด มีค่าสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์และไม่แสดงความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 1)

ในระหว่างการดำเนินการทดลองการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารสำเร็จรูปผสม *Bacillus licheniformis* ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ระหว่าง 5.30–8.40 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 24.60–27.60 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 6.90–9.70 ปริมาณไนไตรท์อยู่ระหว่าง 0.00–0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าแอมโมเนียอยู่ระหว่าง 0.00–0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 1 ผลการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมโพรไบโอติก

ค่าพารามิเตอร์	ชุดการทดลอง			
	อาหารชุดควบคุม	อาหารเสริม *Bacillus licheniformis* 1 เปอร์เซ็นต์	อาหารเสริม *Bacillus licheniformis* 2 เปอร์เซ็นต์	อาหารเสริม *Bacillu licheniformis* 3 เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	1.14±0.34[a]	1.17±0.40[a]	1.21±0.32[a]	1.26±0.23[a]
น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม)	20.50±6.36[a]	20.56±8.10[a]	22.47±7.89[a]	21.67±5.71[a]
ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร)	4.06±0.37[a]	4.06±0.38[a]	4.19±0.33[a]	4.25±0.45[a]
ความยาวสุดท้ายเฉลี่ย (เซนติเมตร)	10.13±1.04[a]	10.22±1.30[a]	10.42±1.17[a]	10.54±0.95[a]
อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (กรัม)	0.43±0.07[a]	0.44±0.14[a]	0.47±0.09[a]	0.45±0.02[a]
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.23±0.12[a]	1.14±0.24[a]	1.19±0.10[a]	1.29±0.03[a]
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	92.59±3.20[a]	92.59±8.49[a]	92.59±6.41[a]	94.44±5.55[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแถวตามแนวนอนมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

อภิปรายและสรุปผล

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสม *B. licheniformis* ทุกชุดทดลองมีค่าในด้านน้ำหนักและความยาวสูงกว่าปลาชุดควบคุมที่ได้รับอาหารไม่ผสม *B. licheniformis* แต่ไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ซึ่ง คณาธิป พรหมนวล และ สุภฎา คีรีรัฐนิคม (2561) รายงานว่าการเสริม *B. licheniformis* ลงในอาหารปลานิลแดงในระดับความเข้มข้น 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหาร ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มน้ำหนักปลานิลแดงได้มากกว่าชุดควบคุมร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P< 0.05) ในระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยปลานิลแดงในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้น 10^7 และ10^8 CFU/กิโลกรัมอาหาร สามารถเพิ่มน้ำหนักให้ปลานิลแดงได้ร้อยละ 8 และ 5 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแต่ไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) และ Adorian et.al. (2019) รายงานว่าปลากะพงขาวที่มีการเลี้ยงด้วยอาหารเสริมโพรไบโอติก (*B. licheniformis* และ *B. subtilis*) มีการเจริญเติบโตดีกว่าการได้รับอาหารปกติ เมื่อมีการเลี้ยงด้วยอาหารเสริมโพรไบโอติกที่ระดับความเข้มข้น 10^3 10^6 และ 10^9 CFU/กรัม นั้นมีการเจริญเติบโตจำเพาะสูงในปลากะพงที่ได้รับโพรไบโอติกทุกชุด แต่มีค่าสูงสุดที่ระดับ 10^9 CFU/กรัม ซึ่งระดับความเข้มข้นของโพรไบโอติกที่สูงขึ้นมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง และมีผลต่อค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ซึ่งในผลการทดลองนี้ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมโพรไบโอติกมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และเมื่อได้รับที่ 3

เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นระดับสูงสุดที่เสริมในการทดลองมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเช่นกัน การเสริมโพรไบโอติกในอาหารทำให้ปริมาณอาหารที่ได้รับต่อน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็นส่วนแสดงประสิทธิภาพของอาหารที่ปลาได้รับต่อการเจริญเติบโต เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. นั้นมีส่วนในระบบการย่อยอาหาร สามารถทำให้เพิ่มการเจริญเติบโตของปลาที่ได้รับได้ (Newaj-Fyzul, Al-Harbi & Austin, 2014) โดยมีการสร้างเอนไซม์ย่อยยสลายคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เป็นน้ำตาล กรดไขมัน และกรดอะมิโน (Sonenshein, Hoch and Losick (1993) และยังสามารถผลิตสารอาหารที่เป็นประโยชน์ เช่น กรดอะมิโน วิตามินเค และวิตามินบี 12 (Sanders, Morelli and Tompkins, 2003) ซึ่งช่วยส่งเสริมให้ปลามีการเจริญเติบโต การเลือกใช้โพรไบโอติกขึ้นอยู่กับการเกิด colonization หรือ antagonism กับเชื้อก่อโรคและสารประกอบที่เป็นประโยชน์ เช่น วิตามิน ไขมัน และเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องการย่อย (Newaj-Fyzul, Al-Harbi and Austin, 2014) อัตราการรอดตายของปลานิลเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 92.59±3.20 92.59±8.49 92.59±6.41 และ 94.44±5.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ วิลาวัณย์ และคณะ (2554) ที่รายงานว่าปลานิลที่ได้รับโพรไบโอติกผสมในอาหารเม็ดสำเร็จรูปในอัตรา 0 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ มีอัตรารอดตายไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ผลของค่าพารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองพบว่า อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ไนไตรท์ และแอมโมเนียอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (นิคม ละอองศิริวงศ์, 2562)

ผลจากการทดลองเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารเสริม *B. licheniformis* ในครั้งนี้พบว่า ปลานิลมีการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนัก ความยาว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ดีกว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารปกติ ($P>0.05$) โดยชุดการทดลองทุกชุดมีอัตราการรอดตายมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้อมูลที่ได้อาจสามารถบ่งบอกได้ว่าระดับความเข้มข้นของโพรไบโอติกที่ใช้ ระยะเวลา และชนิดของสัตว์ที่ใช้ในการทดลองน่าจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการทดลอง ข้อมูลที่ได้ในครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการทดลองการประยุกต์ใช้โพรไบโอติกกับการเลี้ยงปลาหรือสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ ได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ สถานที่ และสารเคมีสำหรับการทดลองวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มสถิติการประมง. (2566). **ประมาณการผลผลิตและมูลค่าสัตว์น้ำจากการประมงของประเทศไทย พ.ศ. 2565 – 2568**. กรุงเทพฯ: กรมประมง.

เกษตรทูเดย์. (มปป.). **ปลานิล ปลาน้ำจืดต่างแดนสู่เส้นทางสัตว์เศรษฐกิจของไทย**. สืบค้น 15 ตุลาคม 2566, จาก https://shorturl.asia/AWoxS.

คณาธิป พรหมนวล และ สุภฎา คีรีรัฐนิคม. (2561). ผลของการเสริม *Bacillus licheniformis* ในอาหารที่ระดับต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การใช้อาหาร และแบคทีเรียในลำไส้ของปลานิลแดง. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**, ปีที่ 21 ฉบับที่ 2, หน้า 43–50.

ชาญวิทย์ สุวรรณ์ และ ชนกันต์ จิตมนัส. (2560). การประยุกต์ใช้โพรไบโอติกในการเลี้ยงปลานิล. **เชียงใหม่สัตวแพทยสาร**, ปีที่ 15 ฉบับที่ 1, หน้า 15–24. DOI: 10.14456/cmvj.2016.2.

นิคม ละอองศิริวงศ์. (2562). **คู่มือการวิเคราะห์น้ำ เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการตรวจรับรองฟาร์ม** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เชียงใหม่: วนิดาการพิมพ์.

วารุณี ประดิษฐศรีกุล. (2549). ถั่วหมักอร่อย. **วารสารอาหาร**, ปีที่ 36 ฉบับที่ 3, หน้า 189–194.

วิลาวัณย์ รุ่มรวย, สุรวัฒน์ ชะลอสันติสกุล, สมฤดี ศิลาฤดี และจารุณี เกษรพิกุล. (2554). ผลของคิว.พี.โปรไบโอติกส์ต่อการเจริญเติบโตของปลานิล. **วารสารคณะสัตวศาสตร์คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร**, ปีที่ 2 ฉบับที่ 3, หน้า 1–7.

อนันต์ชัย เขื่อนธรรม. (2542). **หลักการวางแผนการทดลอง**. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adorian, T.J., Jamali, H., Farsani, H.G., Darvishi, P., Hasanpour, S., Bagheri, T., and Roozbehfar, R. (2019). Effects of probiotic bacteria *Bacillus* on growth performance, digestive enzyme activity, and hematological parameters of Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch). **Probiotics Antimicro**, 11(1), 248–55.

APHA, AWWA and WPCA. (1992). **Standard Method for the Examination of Water and Waste Water** (18th ed.). Washington, D.C.: American Public Health Association.

Azarin, H., Aramli, M.S., Imanpour, M.R., and Rajabpour, M. (2015). Effect of a probiotic containing *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis* and ferroin solution on growth performance, body composition and haematological parameters in Kutum (*Rutilus frisii* kutum) fry. **Probiotics Antimicro**, 7(1), 31–37.

Buchanan, R.E., and Gibbons, N.E. (1974). **The Shorten Bergey's Manual of Determination Bacteriology** (18th ed.). Baltimore: The Williams & Wilkins Co.

Newaj–Fyzul, A., Al–Harbi, A.H., and Austin, B. (2014). Developments in the use of probiotics for disease control in aquaculture. **Aquaculture** 431, 1–11.

Sanders, M.E., Morelli, L. and Tompkins, T.A. (2003). Sporeformers as Human Probiotics: *Bacillus*, *Sporolactobacillus*, and *Brevibacillus*, **Compr Rev Food Sci Food Saf**, 2, 101–110.

Sonenshein, A.L., Hoch, J.A., and Losick, R. (1993). ***Bacillus subtilis* and Other Gram–Positive Bacteria: Biochemistry, Physiology, and Molecular Genetics** (1st ed). Washington, DC: American Society of Microbiology.

Yu, X., Dai, Z., Cao, G., Cui, Z., Zhang, R., Xu, Y., Wu, Y. and Yang, C. (2023). Effects of Probiotic *Bacillus* on Growth Performance, Immune Response and Disease Resistance in Aquaculture**. Front. Immunology**, 14, 1–13. http://doi. 10.3389/fimmu.2023.1140564.

กรณีศึกษา การเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบโดยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์

Case study: Selecting a location for a raw milk receiving center using a multi-criteria decision-making method

พิทธินันท์ สมไชยวงค์[1], ผกามาศ มรรคระตานนท์[1*], หนึ่งฤทัย คำเทพ[1], พิศมัย แซ่ซ้ง[1] และ ณัฐนันท์ ปุ๊ดผัด[1]

Pitthinan Somchaiwong[1], Pakamard Mukkaranon[1*], Nuengruethai Khamtep[1], Phitsamai Saesong[1] and Natthanan Putphat[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยกรณีศึกษา เรื่องการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบโดยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบโดยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การสัมภาษณ์ แบบสอบถาม สถิติเชิงพรรณนา และวิธีการคำนวณ Fuzzy TOPSIS โดยเริ่มจากการสัมภาษณ์และเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลและสร้างแบบสอบถาม เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน ประเมินความสำคัญและทางเลือก ข้อมูลที่ได้จากการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน มีเกณฑ์การตัดสินใจจำนวน 7 เกณฑ์ ได้แก่ ทักษะและความสามารถของแรงงาน สภาพแวดล้อม ด้านเศรษฐกิจและสังคม สถานที่ตั้ง เส้นทางคมนาคม คุณสมบัติผู้ขับยานพาหนะ ประสิทธิภาพยานพาหนะ จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจด้วยวิธีการ Fuzzy TOPSIS ซึ่งผลวิจัยพบว่าอำเภอทางเลือก (A1-A3) ทั้ง 3 พื้นที่ A2(อำเภอเวียงเชียงรุ้ง) มีความเหมาะสมที่จะเป็นจุดรวบรวมน้ำนมดิบ กรณีศึกษาของสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงรายมากที่สุด เนื่องจากมีค่า CC (Closeness Coefficiency) เหมาะสมมากที่สุด รองลงมาคือ A3(อำเภอเมือง) และ A1(อำเภอพญาเม็งราย) ตามลำดับ ซึ่ง A2(อำเภอเวียงเชียงรุ้ง) ได้ให้ความสำคัญกับสถานที่ตั้งคิดเป็นร้อยละ 18.64 สภาพแวดล้อมคิดเป็นร้อยละ 16.70 เส้นทางคมนาคมและประสิทธิภาพยานพาหนะคิดเป็นร้อยละ 16.08 คุณสมบัติผู้ขับยานพาหนะคิดเป็นร้อยละ 13.34 เศรษฐกิจและสังคมคิดเป็นร้อยละ 9.92 ทักษะและความสามารถของแรงงานคิดเป็นร้อยละ 9.24 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การเลือกทำเลที่ตั้ง, การตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์, Fuzzy TOPSIS

[1] หลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน สาขาบริหารธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 57120

[1] Logistics and Supply Chain Management, Business Administration, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai 57120

* Corresponding author : bamboo1234zx@hotmail.com

Abstract

Case study research Regarding the selection of location, raw milk receiving center by multiple decision-making methods, the objective is to study the location selection of raw milk reception centers by multiple decision-making methods. Research tools In-depth interviews, questionnaires, descriptive statistics and methods Calculate Fuzzy TOPSIS, beginning with interviews and collecting data from a dairy cooperative in Chiang Rai. Then take the data to analyze the results and create a questionnaire. So that 7 experts assess the importance and options The data obtained from the evaluation of all 7 experts have criteria Decisions of 7 criteria, including skills and capabilities of labor Economic and social environment, location, transportation route, vehicle driver qualifications Vehicle efficiency Will be brought into the decision-making process using the Fuzzy TOPSIS method, which the research found that Alternative District (A1-A3) All 3 areas A2 (Viang Chiang Rung District) are suitable as a raw milk collection point. The case study of one of the dairy cooperatives in Chiang Rai Province is the most appropriate because of the CC (Closeness Coefficiency) value, followed by A3 (Mueang District) And A1 (Jaya Meng Rai District) respectively, in which A2 (Viang Chiang Rung District) places emphasis on location percentage 18.64, environment percentage 16.70, transportation routes and vehicle efficiency percentage 16.08, driver qualifications percentage 13.34, economy and society percentage 9.92 Skills and abilities of labor percentage 9.24 respectively.

Keywords : Site Selection , Multi-criteria Decision Making (MCDM) , Fuzzy TOPSIS

บทนำ

อุตสาหกรรมโคนมเป็นอุตสาหกรรมอาหารที่ไทยให้ความสำคัญต่อการบริโภคนม เพราะมีสารอาหารเสริมสร้างร่างกายให้แข็งแรง อาทิแคลเซียม ประกอบกับอุตสาหกรรมโคนมและผลิตภัณฑ์นมเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย โดยในปัจจุบันรัฐบาลให้ความสำคัญกับอุตสาหกรรมนมเป็นอย่างมาก โดยให้การส่งเสริมสนับสนุนเพื่อให้มีปริมาณน้ำนมดิบที่เพียงพอต่อการบริโภคภายในประเทศ โดยจังหวัดเชียงรายเป็นอีกหนึ่งจังหวัดที่มีเกษตรกรโคนมติดอันดับ 20 ของประเทศไทย ซึ่งมีจำนวนโคนม 4,747 ตัว คิดเป็นร้อยละ 0.58 ของยอดรวมโคนมทั้งประเทศไทย มีจำนวนเกษตรกร 157 ราย คิดเป็นร้อยละ 0.56 ของยอดรวมเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมทั้งประเทศไทย (กรมปศุสัตว์ , 2565) ซึ่งน้ำนมดิบจะถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการแปรรูปให้เป็นนมพาสเจอร์ไรซ์ โดยสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย จะมีสมาชิกสหกรณ์โคนมนำน้ำนมดิบมาส่งที่สหกรณ์โคนมทุกวันในช่วงเช้า 06.30 – 08.30 น. และช่วงเย็น 16.30 – 18.30 น. โดยเส้นทางจากฟาร์มโคนมถึงสหกรณ์โคนมมีระยะทางโดยประมาณ 50 – 70 กิโลเมตร ทำให้เกิดต้นทุนในการขนส่งสูง สมาชิกเกษตรกรจึงเลือกเก็บน้ำนมดิบไว้ให้เพียงพอต่อการขนส่งให้คุ้มทุนจึงทำการขนส่งน้ำนมดิบไปยังสหกรณ์โคนม ส่งผลให้สูญเสียคุณภาพน้ำนมดิบก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการแปรรูป ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวคือการสร้างจุดรวบรวมน้ำนมดิบแห่งใหม่ของสหกรณ์โคนม แต่ต้องเป็นจุดที่ส่งผลต่อการประหยัดต้นทุนการขนส่งและทำให้เกษตรกรเกิดการลดต้นทุน

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบโดยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ เพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งน้ำนมดิบ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นประโยชน์ในการลดต้นทุนค่าขนส่งในการขนส่งน้ำนมดิบของสหกรณ์โคนมแห่งอื่นได้

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

เพื่อศึกษาการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบโดยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์

วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลของสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย จากผลการศึกษาพบว่าสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงรายมีปัญหา คือ เส้นทางจากฟาร์มโคนมถึงสหกรณ์โคนมมีระยะทางโดยประมาณ 50 – 70 กิโลเมตร ทำให้เกิดต้นทุนในการขนส่งสูง ดังนั้นสมาชิกเกษตรกรจึงเลือกเก็บน้ำนมดิบไว้ให้เพียงพอต่อการขนส่งให้คุ้มทุนจึงทำการขนส่งน้ำนมดิบไปยังสหกรณ์โคนม ส่งผลให้สูญเสียคุณภาพน้ำนมดิบก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการแปรรูป หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ศึกษาวิจัยเอกสารและงานที่เกี่ยวข้องของธีรยุทธ มูเล็ง, (2561) ได้ศึกษาวิจัย เรื่องการตัดสินใจเลือกที่ตั้งศูนย์ กระจายสินค้าเกษตร ในจังหวัดยะลา ด้วยวิธี FUZZY TOPSIS โดยกำหนดให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 รายประเมินความสำคัญ และประเมินเกณฑ์แต่ละทางเลือกอีกครั้งหนึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการตัดสินใจเลือกด้วย วิธี FUZZY TOPSIS ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาทฤษฎี Fuzzy TOPSIS มาแก้ปัญหาปฐมพงษ์ หอมศรี, (2564) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นวิเคราะห์แบบฟัซซี่ โดยใช้เทคนิคกระบวนการแบบลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี่มาประเมินหาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่มีความสำคัญ 5 ลำดับแรกจากการกลั่นกรองปัจจัยของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งประกอบด้วย แหล่งวัตถุดิบ การคมนาคมขนส่ง ระบบสาธารณูปโภค แหล่งต้นกำลังและเชื้อเพลิง และแหล่งแรงงาน ซึ่งปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญมากที่สุด คือ แหล่งวัตถุดิบ จากการศึกษาทฤษฎีเหล่านี้ พบว่าทฤษฎีการแก้ไขปัญหาแบบ Fuzzy TOPSIS เหมาะสมที่นำมาแก้ไขปัญหา

2. ทำการออกแบบเครื่องมือในการลงพื้นที่เก็บข้อมูลของสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย โดยผู้วิจัยทำการออกแบบเครื่องมือเป็นแบบสัมภาษณ์ เพื่อใช้สัมภาษณ์สหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงรายในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาออกแบบ แบบประเมินการเลือกศูนย์รับน้ำนมดิบแห่งใหม่

3. ผู้วิจัยทำการออกแบบแบบประเมินการคัดเลือกสถานที่จัดตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบแห่งใหม่ โดยอาศัยข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์ก่อนหน้านี้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ทำการศึกษามา

4. ผู้วิจัยคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญในการประเมินแบบประเมินที่ได้ออกแบบไว้ โดยเลือกจากผู้ประกอบการสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย และนักวิชาการทางด้านโลจิสติกส์ จำนวนทั้งหมด 7 ท่าน ในการทำแบบประเมินหลังจากนั้นเมื่อได้ผลการประเมินก็ดำเนินการปรับแก้ตามที่ผู้เชี่ยวชาญให้ข้อแนะนำ

5. ผู้วิจัยนำแบบประเมินที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญแล้วลงพื้นที่เพื่อประเมินกับกลุ่มเป้าหมายของงานวิจัยซึ่งเป็นบุคลากรของสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย และนักวิชาการทางด้านโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการจัดตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบโดยใช้กลุ่มตัวอย่างการวิจัยทั้งหมด 7 ท่าน

การกำหนดผู้เชี่ยวชาญที่จะใช้เป็นผู้ประเมิน พร้อมทั้งสร้างแบบประเมินการจัดสรรหรือคัดเลือกซึ่งผู้เชี่ยวชาญในการประเมินความเหมาะสมของเกณฑ์ ต้องมีวุฒิภาวะ และมีความรู้ในเรื่องเฉพาะด้านเป็นอย่างดี การคัดสรรก็จะขึ้นอยู่กับระดับความน่าเชื่อถือ ตามเนื้อหาอยู่ ที่ผู้วิจัยจะพิจารณาว่าจะต้องมีความสามารถความรู้อย่างไรบ้าง ในงานวิจัยนี้ก็จะกล่าวถึง รายละเอียดผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้โดยผู้วิจัยได้พิจารณาความเหมาะสมแล้วดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์ของผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ประเมินแบบประเมิน

กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ	การกำหนดผู้เชี่ยวชาญ
ผู้เชี่ยวชาญที่ 1	ระดับผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับสหกรณ์โคนม เชียงราย จำกัด ต้องมีประสบการณ์ การทำงานกับสหกรณ์โคนม เชียงราย จำกัด มากกว่า 5 ปีขึ้นไป ได้แก่ ระดับผู้บริหาร 1 คน ต้องมีวุฒิการศึกษาในระดับปริญญาโทขึ้นไป เจ้าหน้าที่สหกรณ์โคนม เชียงราย จำกัด และสมาชิกสหกรณ์โคนม เชียงราย จำกัด เป็นระดับหัวหน้าสหกรณ์โคนม 1 คน และสมาชิกสหกรณ์ 1 คน ต้องมีวุฒิการศึกษาในระดับปริญญาตรีขึ้นไป
ผู้เชี่ยวชาญที่ 2	ผู้เชี่ยวชาญนักวิชาการด้านโลจิสติกส์ต้องมีประสบการณ์ในการทำงานอย่างน้อย 5 ปี จำนวน 4 คน

6. หลังจากนั้นคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์แบบประเมินโดยวิธีการ Fuzzy TOPSIS เพื่อคัดเลือกสถานที่จัดตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบแห่งใหม่ที่มีความเหมาะสม โดยจังหวัดเชียงรายมี 18 อำเภอ และผู้วิจัยได้เลือกอำเภอทางเลือกมา 3 อำเภอดังนี้ อำเภอเมือง อำเภอพญาเม็งราย และอำเภอเวียงเชียงรุ้ง เนื่องจากทั้ง 3 อำเภอทางเลือกมีจุดศูนย์กลางที่คุ้มทุนมากที่สุดโดยวัดจากระยะทางรัศมี 15 กิโลเมตรจากที่ตั้งฟาร์มของสมาชิกรายอื่น ๆ บริเวณใกล้เคียงทั้ง 3 อำเภอ

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกกลุ่มเป้าหมาย คือ สหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นสหกรณ์ที่รับซื้อน้ำนมดิบจากสมาชิกของสหกรณ์เพื่อทำการศึกษาในครั้งนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ใช้การสัมภาษณ์ (Interview) โดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง (Structured Interview) ซึ่งมีการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกทำเลที่ตั้ง โดยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ โดยใช้วิธีการคำนวณ Fuzzy TOPSIS และได้นำประเด็นแนวทางการศึกษาการคัดเลือกทำเลที่ตั้งของจุดรับนมของสมาชิกสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในเชียงราย โดยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ Fuzzy TOPSIS มาตั้งประเด็น

ข้อคำถามที่จะใช้ในการสัมภาษณ์ซึ่งครอบคลุมรายละเอียด ดังนี้

1. ปริมาณการส่งน้ำนมดิบขั้นต่ำที่สมาชิกสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงรายในการมาส่งแต่ละครั้ง

2. ข้อมูลจำนวนสมาชิก ชื่อสมาชิก ที่อยู่สมาชิก และปริมาณขั้นต่ำของน้ำนมดิบที่สมาชิกต้องนำมาส่งให้กับสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

3. ระยะทางจากฟาร์มมายังสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย และต้นทุนของค่าขนส่งน้ำนมดิบจากฟาร์มมายังสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเกี่ยวกับการเลือกทำเลที่ตั้งของจุดรับนม สามารถแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนตามประเภทข้อมูล คือข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) โดยมีรายละเอียด

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data)

การเก็บข้อมูลข้อมูลปฐมภูมิ ได้ทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในเชียงราย เพื่อทราบถึงปริมาณการส่งน้ำนมดิบในแต่ละครั้ง ระยะทางจากฟาร์มจากฟาร์มมายังสหกรณ์และต้นทุนของค่าขนส่งน้ำนมดิบจากฟาร์มมายังสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

1.1 การเก็บข้อมูล (interview)

โดยการสัมภาษณ์สหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย และสมาชิกสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ตั้งแต่กิจกรรมการรับซื้อน้ำนมดิบจากสมาชิกสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงรายไปจนถึงกระบวนการจำหน่ายน้ำนม เพื่อทราบถึงกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย เพื่อวิเคราะห์ปัญหาในแต่ละกระบวนการของสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data)

การเก็บข้อมูลทุติยภูมิผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับประวัติความเป็นมาการดำเนินงานของสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย และข้อมูลเกี่ยวกับกิจกรรมดำเนินงาน การหาทำเลที่ตั้ง รวมถึงศึกษาการคัดเลือกทำเลที่ตั้งของจุดรับนมของสมาชิกสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย โดยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์โดยใช้วิธีการคำนวณ Fuzzy TOPSIS ตลอดจนข้อมูลที่เกี่ยวข้องเอกสารวิทยานิพนธ์ รายงานการวิจัย บทความ และเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำการวิจัย และวิเคราะห์กิจกรรมดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

ผลการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการ Fuzzy TOPSIS

เมื่อได้รูปแบบหลักเกณฑ์ ซึ่งประกอบด้วย ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์และได้ทำการจัดเก็บข้อมูลของอำเภอทางเลือกตามรูปแบบโครงสร้างหลักเกณฑ์ รวมถึงได้สร้างแบบประเมิน 5 ระดับของแต่ละพื้นที่ทางเลือกแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการประยุกต์ใช้ การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Fuzzy TOPSIS ดังนี้

วิธีการ Fuzzy TOPSIS

สำหรับงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ด้วยวิธีการ Fuzzy TOPSIS วิเคราะห์ค่าน้ำหนักโดยวิธี Fuzzy TOPSIS ในขั้นตอนแรก พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิด (Closeness Coefficient, CC) เพื่อที่จะได้ทำการคำนวณให้ได้ค่า Fuzzy TOPSIS ต่อไป จึงจะให้ได้ผลสรุปอำเภอทางเลือกทั้ง 3 อำเภอ เพื่อเป็นคำตอบในการคัดเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบแห่งใหม่ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขหลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาอำเภอทางเลือก

ลำดับ	เงื่อนไขหลักเกณฑ์	ตัวแปรแทนเงื่อนไขหลักเกณฑ์
1	ต้องเป็นเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม	C_1
2	ต้องมียานพาหนะในการขนส่งน้ำนมดิบได้	C_2
3	ติดถนนทางหลวงหมายเลข 4 หลัก	C_3
4	รัศมีอยู่ที่ 15 กิโลเมตร	C_4
5	มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการรับน้ำนมดิบและมีพื้นที่เพียงพอสำหรับจอดยานพาหนะ	C_5

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขหลักเกณฑ์ข้างต้น ทำให้สรุปได้ว่า 3 อำเภอทางเลือกที่ผ่านเงื่อนไขหลักเกณฑ์ข้างต้น ได้แก่ อำเภอ A1, อำเภอ A2 และอำเภอ A3 หลังจากนั้นได้ทำการคัดเลือกเกณฑ์ที่เหมาะสมโดยการให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน เป็นผู้ประเมินเกณฑ์เพื่อนำเกณฑ์ที่ผ่านการประเมินไปทำการเลือกที่ตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบแห่งใหม่ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์ที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน

ลำดับ	เกณฑ์ที่เหมาะสม
1	ทักษะและความสามารถของแรงงาน
2	สภาพแวดล้อม
3	ด้านเศรษฐกิจและสังคม
4	สถานที่ตั้ง
5	เส้นทางคมนาคม
6	คุณสมบัติผู้ขับยานพาหนะ
7	ประสิทธิภาพยานพาหนะ

หลังจากนั้นนำเกณฑ์ดังกล่าวไปคัดเลือกผ่านวิธีการ Fuzzy TOPSIS โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิด ของกลุ่มอำเภอทางเลือก โดยมีขั้นตอนการคำนวณ ต่อไปนี้

การคำนวณด้วยวิธีการ Fuzzy TOPSIS

ขั้นตอนที่ 1 : ผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดทำการพิจารณาระดับคะแนนดังแสดงในตารางที่ 4 ในแบบฟังก์ชั่นสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Number) $\tilde{\mathbf{R}}_{\mathbf{k}} = (\mathbf{k} = \mathbf{1}, \mathbf{2}, .., \mathbf{k})$ ด้วยฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก $\boldsymbol{\mu}_{\tilde{\mathbf{R}}_{\mathbf{K}}} = (\boldsymbol{X})$ ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งจะนำไปใช้สำหรับการให้คะแนนของแต่ละทางเลือกในขั้นตอนที่ 3 โดยใช้การประมาณค่าในเชิงภาษาตามความเหมาะสมของทางเลือกต่อหลักเกณฑ์

ตารางที่ 4 แสดงผลการพิจารณาค่าตัวแปรตามระดับคะแนนความเหมาะสมในเชิงภาษาของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน

Rating	ผู้เชี่ยวชาญ 1	ผู้เชี่ยวชาญ 2	ผู้เชี่ยวชาญ 3	ผู้เชี่ยวชาญ 4	ผู้เชี่ยวชาญ 5	ผู้เชี่ยวชาญ 6	ผู้เชี่ยวชาญ 7
Very poor (VP)	0	0	0	0	0	3	0
Poor (P)	3	0	3	2	3	5	3
Fair (F)	5	2	5	5	5	8	5
Good (G)	7	5	7	7	7	10	7
Very good (VG)	10	7	10	10	10	10	10

ตารางที่ 5 แสดงค่าตัวแปรแบบ Fuzzy ตามระดับคะแนนความเหมาะสมในเชิงภาษา

Level	Min	Mode	Max	Mean
Very poor (VP)	0	0	3	0.500
Poor (P)	0	3	5	2.833
Fair (F)	2	5	8	5.000
Good (G)	5	7	10	7.167
Very good (VG)	7	10	10	9.500

จากตารางที่ 5 แสดงค่าตัวแปรแบบ Fuzzy ตามระดับคะแนนความเหมาะสมในเชิงภาษาที่ได้จากผลการคำนวณที่ตรงกับค่า Mean Weight ดังแสดงในตารางที่ 11

ขั้นตอนที่ 2 : ทำการพิจารณาค่าตัวแปรในแบบฟังก์ชั่นสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Number) ในแต่ละหลักเกณฑ์ในการพิจารณาความสำคัญหลักเกณฑ์ที่มีผลต่อการคัดเลือกที่ตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบ

ตารางที่ 6 แสดงผลการพิจารณาระดับคะแนนค่าน้ำหนักความสำคัญในเชิงภาษาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน

Weight	ผู้เชี่ยวชาญที่ 1	ผู้เชี่ยวชาญที่ 2	ผู้เชี่ยวชาญที่ 3	ผู้เชี่ยวชาญที่ 4	ผู้เชี่ยวชาญที่ 5	ผู้เชี่ยวชาญที่ 6	ผู้เชี่ยวชาญที่ 7
Very low (VL)	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3
Low (L)	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3	0.1	0.5
Medium (M)	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.3	0.7
High (H)	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.5	0.9
Very high (VH)	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.7	1.0

ตารางที่ 7 แสดงค่าคะแนนน้ำหนักความสำคัญในเชิงภาษา (Linguistic variables for the importance weight of each criterion)

Level	Min	Mode	Max	Mean
Very low (VL)	0.0	0.1	0.3	0.117
Low (L)	0.1	0.3	0.5	0.300
Medium (M)	0.3	0.5	0.7	0.500
High (H)	0.5	0.7	0.9	0.700
Very high (VH)	0.7	0.9	1.0	0.883

จากตารางที่ 7 แสดงค่าคะแนนตามน้ำหนักความสำคัญเชิงภาษา (Linguistic variables for the importance weight of each criterion) ที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในการให้ค่าน้ำหนักของเทคนิคการตัดสินใจเพื่อเลือกวิธีแก้ปัญหา ด้วยเทคนิค TOPSIS แบบคลุมเครือ

ขั้นตอนที่ 3 : พิจารณาความเหมาะสมของตัวแปรเชิงภาษา (LINGUISTIC Variables) ที่ใกล้เคียงกับหลักเกณฑ์และทางเลือก โดยขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลตามหลักเกณฑ์ตามรูปแบบโครงสร้างหลักเกณฑ์อย่างละเอียดเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มานั้นมีความแม่นยำ และมีค่าปรับเรียบเป็นมาตรฐานเดียวกันจากการคำนวณในขั้นตอนการจัดระดับช่วงของข้อมูล ซึ่งจะได้ช่วงของข้อมูลเชิงภาษา ดังตารางที่ 8 ซึ่งสามารถทำให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ $\tilde{\mathbf{R}}$ สามารถคำนวณได้และข้อมูลที่มีการปรับเรียบแล้วนั้นยังสามารถนำไปคำนวณด้วยวิธีอื่นได้หลายวิธีอีกด้วย

หลังจากที่ได้คำนวณจัดระดับช่วงข้อมูลแล้ว ให้นำค่าเฉลี่ยตัวแปรแบบ Fuzzy ระบุตามระดับของช่วงข้อมูลในเชิงภาษา (Linguistic variables for the ratings) ตารางที่ 4 ในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งระดับในเชิงภาษาจะสัมพันธ์กับค่าคะแนน ตามช่วงของข้อมูลไปในทิศทางเดียวกันทุกหลักเกณฑ์

ตารางที่ 8 แสดงระดับช่วงของข้อมูลเชิงภาษา ของอำเภอทางเลือกตามหลักเกณฑ์การพิจารณาที่มีผลการคัดเลือกที่ตั้งศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบ

เกณฑ์	อำเภอทางเลือก	ผู้เชี่ยวชาญ 1	ผู้เชี่ยวชาญ 2	ผู้เชี่ยวชาญ 3	ผู้เชี่ยวชาญ 4	ผู้เชี่ยวชาญ 5	ผู้เชี่ยวชาญ 6	ผู้เชี่ยวชาญ 7
ทักษะและความสามารถของแรงงาน	A1	F	G	P	P	P	P	F
	A2	P	F	G	F	P	F	G
	A3	P	G	G	F	P	F	F
สภาพแวดล้อม	A1	G	G	VG	G	F	F	F
	A2	G	G	VG	VG	G	F	F
	A3	P	P	G	G	VG	F	F
ด้านเศรษฐกิจและสังคม	A1	F	F	F	F	P	P	VP
	A2	G	G	G	G	F	F	F
	A3	P	P	G	G	VG	G	G
สถานที่ตั้ง	A1	F	F	P	G	P	F	P
	A2	G	F	G	G	VG	F	F
	A3	P	F	G	P	G	F	P
เส้นทางคมนาคม	A1	G	G	P	P	F	G	P
	A2	G	VG	F	P	G	F	F
	A3	P	P	G	VG	F	P	P
คุณสมบัติผู้ขับยานพาหนะ	A1	F	F	G	G	F	P	P
	A2	G	G	F	G	F	F	F
	A3	VG	P	F	P	G	P	P
ประสิทธิภาพยานพาหนะ	A1	VG	G	F	P	G	G	G
	A2	VG	VG	VG	G	F	F	F
	A3	VG	G	P	F	F	F	G

ตารางที่ 9 แสดงค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ โดยการใช้วิธีการประเมินเชิงภาษา (Linguistic variables) ในการให้ระดับความสำคัญของหลักเกณฑ์แบบคลุมเครือ โดยการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน

เกณฑ์	ผู้เชี่ยวชาญที่ 1	ผู้เชี่ยวชาญที่ 2	ผู้เชี่ยวชาญที่ 3	ผู้เชี่ยวชาญที่ 4	ผู้เชี่ยวชาญที่ 5	ผู้เชี่ยวชาญที่ 6	ผู้เชี่ยวชาญที่ 7
C1 ทักษะและความสามารถของแรงงาน	L	M	M	L	L	M	L
C2 สภาพแวดล้อม	H	VH	M	H	H	H	H
C3 ด้านเศรษฐกิจและสังคม	M	L	L	M	L	M	M
C4 สถานที่ตั้ง	H	H	H	VH	H	VH	VH
C5 เส้นทางคมนาคม	H	H	H	H	H	H	M
C6 คุณสมบัติผู้ขับยานพาหนะ	M	M	M	M	H	M	H
C7 ประสิทธิภาพยานพาหนะ	H	H	M	H	H	H	H

สามารถคำนวณการให้คะแนนเป็นการรวมค่าเฉลี่ยแบบให้คะแนนได้ และผลลัพธ์สุดท้ายสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} 4.071 & 6.571 & 3.738 & 4.381 & 5.000 & 5.000 & 6.571 \\ 5.000 & 7.214 & 6.238 & 6.571 & 5.952 & 5.929 & 7.238 \\ 5.000 & 5.643 & 6.262 & 4.690 & 4.714 & 4.714 & 5.952 \end{bmatrix}$$

การตัดสินใจเมทริกซ์สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 1.570 & 4.584 & 1.549 & 3.411 & 3.357 & 2.786 & 4.412 \\ 1.929 & 5.033 & 2.584 & 5.116 & 3.997 & 3.303 & 4.860 \\ 1.929 & 3.937 & 2.594 & 3.652 & 3.165 & 2.627 & 3.997 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์การตัดสินใจแบบปกติสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 0.499 & 0.583 & 0.390 & 0.477 & 0.550 & 0.551 & 0.574 \\ 0.613 & 0.640 & 0.650 & 0.715 & 0.655 & 0.653 & 0.632 \\ 0.613 & 0.501 & 0.652 & 0.511 & 0.519 & 0.519 & 0.520 \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 4 : กำหนดวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงบวกและวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงลบ วิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงบวกและวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงลบ สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mathbf{A}^{+} = (\tilde{v}_1^{*}, \tilde{v}_2^{*}, \ldots \tilde{v}_n^{*}) = (0.6128, 0.6400, 0.6525, 0.7154, 0.6547, 0.6532, 0.6324)$$
$$\mathbf{A}^{-} = (\tilde{v}_1^{-}, \tilde{v}_2^{-}, \ldots \tilde{v}_n^{-}) = (0.4990, 0.5006, 0.3895, 0.4769, 0.5185, 0.5194, 0.5201)$$

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณระยะห่างของแต่ละทางเลือกจากวิธีอุดมคติเชิงบวกและวิธีอุดมคติเชิงลบ คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิดของแต่ละทางเลือก ระยะทางของทางเลือกจาก A^{+} และ A^{-} ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การวัดระยะทาง

อำเภอทางเลือก	d+	d−
A1	0.4087	0.1081
A2	0.0025	0.4541
A3	0.3323	0.2885

ขั้นตอนที่ 6 : ค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิดลำดับชั้นทางเลือกทั้งหมด ได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Fuzzy TOPSIS

อำเภอทางเลือก (Alternatives)	Fuzzy TOPSIS	
	ค่าสัมประสิทธิ์ความใกล้ชิด (CC)	จัดอันดับความเหมาะสม
A1	0.2092	3
A2	0.9946	1
A3	0.4647	2

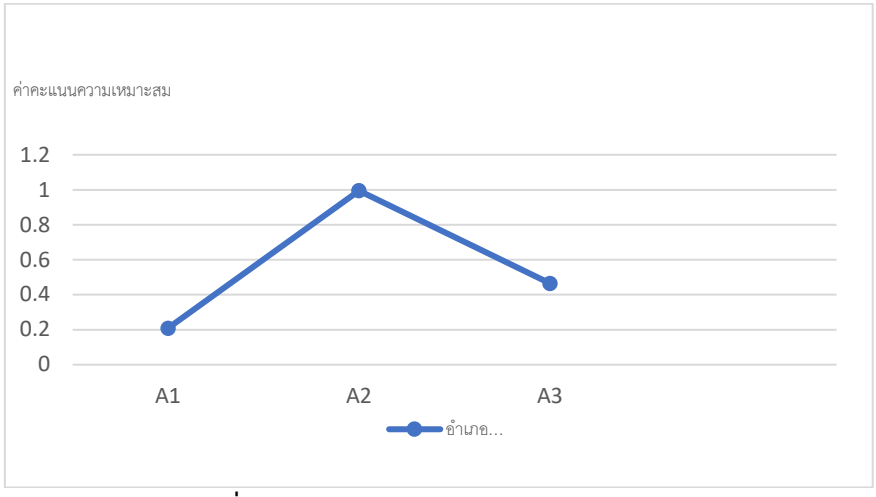
จากตางรางที่ 11 แสดงให้เห็นว่า อำเภอที่มีค่าสัมประสิทธิ์ (CC) เข้าใกล้ 1.0 มากที่สุดจะจัดเป็นคำตอบที่มีความเหมาะสม จึงเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ได้แก่

$CC_1 = 0.2092$

$CC_2 = 0.9946$

$CC_3 = 0.4647$

จะเห็นได้ว่า อำเภอทางเลือกที่มีความเหมาะสม ได้แก่ อำเภอ A2 ด้วยค่าคะแนนสูงที่สุด 0.9946 รองลงไปได้แก่ อำเภอ A3 ค่าคะแนน 0.4647 และ อำเภอ A1 ค่าคะแนน 0.2092 ตามลำดับ



รูปที่ 1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Fuzzy TOPSIS

จากวิธี Fuzzy TOPSIS ดังแสดงในรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่า อำเภอทางเลือกที่มีความเหมาะสม ได้แก่ อำเภอ A2 ด้วยค่าคะแนนสูงที่สุด 0.9946 รองลงไปได้แก่ อำเภอ A3 ค่าคะแนน 0.4647 และ อำเภอ A1 ค่าคะแนน 0.2092 ตามลำดับ

อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาวรรณกรรมและวิจัย การคัดเลือกทำเลที่ตั้งจุดรวบรวมน้ำนมดิบ กรณีศึกษา สหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์รับน้ำนมดิบ เพื่อแก้ไขปัญหาต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่สูง โดยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ โดยการใช้วิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ โดยวิธีการคำนวณโดยใช้ Fuzzy TOPSIS ซึ่งเป็นวิธีการเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุด โดยเริ่มจากการสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูลสำคัญจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 7 ท่าน ในเรื่องบทบาทหน้าที่เกณฑ์ ซึ่งมีเกณฑ์ทั้งหมด 7 เกณฑ์ ประกอบไปด้วย 1) ทักษะและความสามารถของแรงงาน คือ ระดับการศึกษาและทักษะของกลุ่มแรงงานที่

ตรงต่อความต้องการของสหกรณ์โคนม ซึ่งมีคุณสมบัติในการปฏิบัติงาน พร้อมเรียนรู้งาน เพื่อลดความผิดพลาดระหว่างการปฏิบัติงาน ยกตัวอย่างเช่น ทักษะการขนย้ายน้ำนมดิบโดยไม่ให้น้ำนมหกในระหว่างขนย้ายน้ำนมดิบ การจัดเรียงน้ำนมดิบเพื่อการขนส่งที่ดีไม่หกระหว่างการขนส่ง 2) สภาพแวดล้อม คือ พื้นที่ที่มีความปลอดภัย จากการเกิดภัยพิบัติ เช่น ฝนตกหนักน้ำท่วมขัง ฝนตกดินสไลด์ต้องปิดเส้นทางจราจรซึ่งเป็นที่ที่ไม่เหมาะสมในการตั้งศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายกับน้ำนมดิบที่รวบรวมไว้ 3) ด้านเศรษฐกิจและสังคม คือ การสนับสนุนจากภาครัฐและองค์กรท้องถิ่น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ต้องเข้าไปปรึกษาในด้านกฎหมาย และขอคำชี้แนะในเรื่องการจัดตั้งศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบชุมชน และผู้ประกอบการต้องมีการสื่อสารกันเพื่อให้ทราบถึงวัตถุประสงค์และประโยชน์ที่ชุมชนจะได้รับ 4) สถานที่ตั้ง คือ มีพื้นที่กว้างขวางเพียงพอสำหรับจอดรถให้เกษตรกรที่มาส่งน้ำนมดิบ และเป็นพื้นที่มีโฉนดถูกต้องตามกฎหมาย 5) เส้นทางคมนาคม คือ มีลักษณะทางภูมิประเทศหรือพื้นที่ราบเรียบ ไม่ลาดชัน สามารถเข้าถึงได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และเส้นทางคมนาคมที่เรียบ ไม่ขรุขระเกินไป รวมถึงอยู่ใกล้กับทางหลวงหมายเลขสี่หลักเพื่อช่วยให้สามารถขนถ่ายน้ำนมดิบได้สะดวกและรวดเร็ว ตลอดจนสามารถคงคุณภาพน้ำนมดิบไว้ได้ และจัดส่งน้ำนมดิบได้ทันเวลา 6) คุณสมบัติผู้ขับยานพาหนะ คือ ผู้ขับยานพาหนะต้องมีใบอนุญาตการขับขี่ยานพาหนะส่วนบุคคลที่ถูกต้องตามกฎหมาย 7) ประสิทธิภาพยานพาหนะ คือ ยานพาหนะต้องมี พ.ร.บ. รถยนต์ หรือประกันภัยรถยนต์ภาคบังคับ ตามที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ พ.ศ. 2535 จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผล และสร้างแบบประเมิน เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญไม่ประสงค์ออกนามทำการประเมินความสำคัญ และประเมินเกณฑ์แต่ละทางเลือกอีกครั้งหนึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการตัดสินใจเลือก ผู้วิจัยสามารถอภิปรายผลได้โดยทำการศึกษาข้อมูล วิเคราะห์และวิธีการคำนวณมีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยของธีรยุทธ์ มูเล็ง(2561), ณภัสส์ณิชา กรสลี(2556) ในการประยุกต์ใช้วิธีการ Fuzzy TOPSIS ในการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ในด้านการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้งและเกณฑ์ในการคัดเลือกทำเลที่ตั้ง ซึ่งผลการศึกษาพบว่าอำเภอทางเลือก (A1-A3) ทั้ง 3 พื้นที่ A2(อำเภอเวียงเชียงรุ้ง) มีความเหมาะสมที่จะเป็นจุดรวบรวมน้ำนมดิบ กรณีศึกษาของสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงรายมากที่สุด เนื่องจากมีค่า CC (Closeness Coefficiency) เหมาะสมมากที่สุด รองลงมาคือ A3 (อำเภอเมือง) และ A1 (อำเภอพญาเม็งราย) ตามลำดับ ซึ่ง A2 (อำเภอเวียงเชียงรุ้ง) ได้ให้ความสำคัญกับสถานที่ตั้งคิดเป็นร้อยละ 18.64 สภาพแวดล้อมคิดเป็นร้อยละ 16.70 เส้นทางคมนาคมและประสิทธิภาพยานพาหนะคิดเป็นร้อยละ 16.08 คุณสมบัติผู้ขับยานพาหนะคิดเป็นร้อยละ 13.34 เศรษฐกิจและสังคมคิดเป็นร้อยละ 9.92 ทักษะและความสามารถของแรงงานคิดเป็นร้อยละ 9.24 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย และบุคลากรของสำนักงานสหกรณ์โคนมแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่า ที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้กับผู้วิจัยในการเก็บรวบรวมข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. (2565). รายงานประชากรโคนมและปริมาณน้ำนมดิบจำแนกรายสหกรณ์ และศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบ. สืบค้นเมื่อ 7 กรกฎาคม 2566, จาก: https://region5.dld.go.th/

กรมปศุสัตว์. (2566). รายงานประชากรโคนมและปริมาณน้ำนมดิบจำแนกรายสหกรณ์และศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบในภาคเหนือ. สืบค้นเมื่อ 7 กรกฎาคม 2566, จาก: https://region5.dld.go.th/

กวินภพ ศรีวัฒนานุศาสตร์ และปนิทัศน์ สุรียธนาภาส. (2560). การคัดเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบโดยใช้วิธีการ TOPSIS และ ROC : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมร้านอาหาร. **วารสารบริหารธุรกิจเทคโนโลยีมหานคร**, 18(2), 1–26.

จักรินทร์ กลั่นเงิน และคณะ. (2565). การตัดสินใจเลือกที่ตั้งศูนย์กระจายพัสดุด่วนเอกชนเพื่อรองรับการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา**, 32(4), 1–10.

จันจิรา คงชื่นใจ. (2563). การเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกเครื่องแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี่. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา**, 31(4), 1–10.

ชลธิรา จันทร์ศรีราษฎร์ และ ปริญ วีระพงษ์. (2565). การวิเคราะห์สถานที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับเป็นสถานีบรรจุและคัดแยกสินค้านำเข้าและส่งออกเพื่อเป็นการรองรับการเติบโตของการขนส่งท่าเรือระนอง. **วารสารวิชาการการตลาดและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,** 9(2), 1–28.

ชลธิชา จันทิม และธรรมวิมล สุขเสริม. (2565). การศึกษาความเป็นไปได้ในการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานปาล์มน้ำมันในจังหวัดอุบลราชธานี. **วารสารวิจัยวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์,** 6(1), 1–13

ธรินี มณีศรี และชวลิต มณีศรี. (2566). การเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าเพื่อลดเวลาในการขนส่งผักสด. **รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตชลบุรี ครั้งที่ 12 ประจำปี 2566**, วันที่ 13 มิถุนายน 2566 ณ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตชลบุรี, 2–12.

ธีรยุทธ์ มูเล็ง. (2561). การตัดสินใจเลือกที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าเกษตรในจังหวัดยะลา ด้วยวิธี Fuzzy TOPSIS. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน**, มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์ และวาสนา จันทร์ขำ. (2565). การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน. **วารสารคณะวิทยาศาสตร์**, 10(2), 1–23.

ปฐมพงษ์ หอมศรี. (2564). การเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นวิเคราะห์แบบฟัซซี่. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม**, 3(3), 1–18.

ประภาพรรณ เกษราพงศ์ และสิรางค์ กลั่นคำสอน. (2563). การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์บริการยางโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี่. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา**, 31(1), 1–10.

ภัสส์ณิชา กรสลี. (2556). การคัดเลือกผู้บริการโลจิสติกส์ด้วยวิธี Fuzzy TOPSIS. **วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโซ่อุปทานแบบบูรณาการ**, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

วัชรวิทย์ แสนสุโพธ์ และคณะ. (2563). การคัดเลือกผู้ส่งมอบโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์สำหรับโรงงานผลิตกระสอบ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 28(5), 1–13.

วัชรีภรณ์ เสถียรนพเก้า และ กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข. (2563). การกำหนดค่าน้ำหนักเกณฑ์สำหรับการคัดเลือกซัพพลายเออร์ โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ กรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้าไก่แช่แข็งแห่งหนึ่งในภาคกลางตอนบนของประเทศไทย. **วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง**, 29(1), 1–15.

อนุรักษ์ สว่างวงศ์. (2552). การประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์เชิงแบบฟัซซี่ในการคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งและระบบเชื่อมต่อของสถานีของผู้โดยสาร จังหวัดเชียงใหม่แห่งที่3. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรรคเจตต์ อภิชจรศิลป์ และปริญญ์ บุญกนิษฐ. (2550). ทฤษฎี MCDM (Multi Criteria Decision Making) วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์. ปริญญานิพนธ์ บริหารธุรกิจระหว่างประเทศ สาขาโลจิสติกส์และการขนส่ง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Courtney Taylor. (2565). สถิติเชิงพรรณนา. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2566, จาก: https://www.udru.ac.th

Hwang, C.L. & Yoon, K. (2524). วิธี TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2566, จาก: https://link.springer.com

Thailand industry. (2553). Logistics corner. สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2566, จาก: http://www.thailandindustry.com

Tiger. (2564). ห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain). สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2566, จาก: https://thaiwinner.com

การจัดรูปแบบเส้นทางการขนส่งผักสลัดอินทรีย์ที่เหมาะสม: กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์อาหารปลอดภัย เชียงราย

Appropriate vehicle routing model for organic salad vegetable: a case study of the organic agriculture & safe agriculture community enterprise

สมควร สงวนแพง[1] หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด[1] รุ้งไพลิน บุญมาตย์[1*] ลภัสวรา ปัญญาปิน[1] และ กอบเกียรติ เพตรา[1]

Somkuan Sanguanpang[1] Harutairat Jantakard[1] Rungpirin Boonmart[1*], Lapatwara Panyapin[1]and Kopkiat Phetra [1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารูปแบบเส้นทางการขนส่งผักสลัดอินทรีย์คละชนิด กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์อาหารปลอดภัย เชียงราย ภายใต้ตราสินค้า สวนผักจ่าขาว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเส้นทางการขนส่งสินค้าในปัจจุบัน และ นำมาวิเคราะห์ พร้อมทั้งออกแบบเส้นทางในการจัดส่งสินค้ารูปแบบใหม่ที่เกิดความคุ้มค่า และ เหมาะสม โดยใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และ วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นในการคำนวณ โดยมีการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งสินค้าในแต่ละรูปแบบ ซึ่งปัจจุบันทางกลุ่มวิสาหกิจมีการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าทั้งสิ้น 12 ราย ในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย คิดเป็นระยะทางรวม 71.35 กิโลเมตร มีต้นทุนค่าขนส่ง 214 บาทต่อรอบการจัดส่ง รูปแบบการจัดส่งสินค้าด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด พบว่า มีระยะทางรวม 60.5 กิโลเมตรต่อรอบการจัดส่ง ทำให้ต้นทุนการขนส่งของวิสาหกิจชุมชนลดลงร้อยละ 15.21 และ วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น มีระยะทางรวม 52.1 กิโลเมตรต่อรอบการจัดส่ง ทำให้ต้นทุนการขนส่งของวิสาหกิจชุมชนลดลงร้อยละ 26.98 วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นก่อให้เกิดกระบวนการทำงานที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า สามารถสร้างการเติบโตให้ธุรกิจและความพึงพอใจแก่ลูกค้า

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางการขนส่ง, อัลกอริทึมแบบประหยัด, การโปรแกรมเชิงเส้น

[1] สาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงราย 57120

[1] Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Rai 57120

*Corresponding author: rungpirin.bo@hotmail.com

Abstract

This research was studied about the routing for organic salad vegetables transportation of the organic agriculture & safety food community enterprise in Chiang Rai. The aim of this study includes transportation routing, which brought to analysis and design the new transportation routing that worthy and suitable through Saving Algorithm and Linear Programing methods. The data collected to compare the transportation cost in each model. Currently, a community enterprise has main 12 drops to deliver organic salad vegetables about Muang Chiang Rai. The total distance transportation is 73.35 kilometers and 214 bath is the total transportation cost per route. The transportation routing by saving algorithm method has the total transportation distance at 60.5 kilometers per route, reducing 15.21 % from the initiate transportation cost. In addition, Linear Programing method has the total distance transportation is 52.1 kilometers per route, reducing 26.98 % from the initiate transportation cost. The Linear Programing method is better than Saving Algorithm method, which can make grown-up revenue to the organic agriculture & safety food community enterprise in the future, as well as, customer satisfaction.

Keywords: Vehicle routing problem, Saving algorithm, Linear programming

บทนำ

วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์อาหารปลอดภัย เชียงราย สถานที่ตั้ง เลขที่ 131 หมู่ที่ 15 หมู่บ้านป่ากุ๊ก ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100 รหัสทะเบียน 6-57-01-03/1-0068 [1] โดยมี คุณนิรัญ สาวิรส ตำแหน่งประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และคุณ กฤศ อรุณนภา ตำแหน่งรองประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ในการดำเนินธุรกิจเกษตรอินทรีย์ (Organic Agriculture) วัตถุประสงค์หลัก คือ การดำเนินกิจกรรมผลิตและส่งมอบผักสลัดอินทรีย์ เพื่อสุขภาพมีคุณภาพระดับพรีเมี่ยมถึงมือผู้บริโภคทั้งแบบออนไลน์และออฟไลน์ เริ่มตั้งแต่การเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ผักอินทรีย์ ปุ๋ยหมักและน้ำหมักชีวภาพ สารปรับปรุงดิน สารสกัดชีวภาพป้องกันกำจัดศัตรูพืช ที่จะนำมาซึ่งผักสลัดที่ปลอดภัยจากสารเคมี บนแปลงปลูกกลางแจ้งแบบยกพื้น จำนวน 30 แปลง ในพื้นที่ 5 ไร่ ผลผลิตของกลุ่มคือผักสลัดอินทรีย์ เช่น 1) มินิคอส (Mini Cos Lettuce), 2) บัตเตอร์เฮด (Butterhead Lettuce), 3) กรีนโอ๊ค (Green Oak Lettuce), 4) เรดโอ๊ค (Red Oak Lettuce), 5) ผักกาดหอม (Green Coral Lettuce), และ 6) ฟิลเลย์ ไอซ์เบิร์ก (Frillice Ice Berg Lettuce) เป็นต้น โดยมีการบริหารจัดการแปลงเพาะปลูกผ่านการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม SDGsPGS-16985 [2] ประเภทการรับรองอินทรีย์ (Organic) เพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงของอันตรายที่เกิดขึ้นในสินค้าเกษตรและอาหาร ซึ่งจะสามารถก่อให้เกิดความยั่งยืนทางการเกษตร สิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจ ภายใต้ตราสินค้า สวนผักจ่าขาว ในปัจจุบันได้ขยายกำลังการผลิตเพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มสูงขึ้น ตลอดจนพฤติกรรมการซื้อสินค้าสุขภาพของผู้บริโภคที่เปลี่ยนไป ทั้งนี้สถานประกอบการจึงมีแนวคิดในการยกระดับคุณภาพสู่ มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (Organic Thailand) และการปฏิบัติที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Manufacturing Practices: GMP) เพื่อเป็นเครื่องยืนยันความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ในระดับสากล [3] ตลอดจนเพื่อเพิ่มภาพลักษณ์ความน่าเชื่อถือให้กับสถานประกอบการถือเป็นใบเบิกทางในการต่อยอดธุรกิจด้านการส่งออกไปประเทศเพื่อนบ้านและต่างประเทศ ต่อไป

ยิ่งไปกว่านั้นสถานประกอบการยังมุ่งที่จะพัฒนาคุณภาพของสินค้าเกษตรอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการเติบโตไปพร้อมกับชุมชนผ่านการพัฒนาพื้นที่เป็นตั้งศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนทางด้านเกษตรอินทรีย์ ตลอดจนการพัฒนาและสร้างเครือข่ายเกษตรกรผู้ผลิตผักสลัดอินทรีย์ในจังหวัดเชียงราย ปัจจุบันผลผลิตจากสวนผักจ่าขาวได้รับความสนใจจากผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพทั้งในจังหวัดเชียงราย และทั่วประเทศ ผ่านช่องทางการประชาสัมพันธ์และจัดจำหน่ายบนสื่อสังคมออนไลน์ กระจายสินค้าด้วยบริษัทขนส่งที่ให้บริการส่งสินค้าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Cold Chain) จากการประเมินหัวข้อปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาจากการลงพื้นที่เก็บรวบรวมข้อมูลของสถานประกอบการ สามารถสรุปประเด็นปัญหาของสถานประกอบการ ออกเป็น 2 ประเด็นหลัก คือ ต้นทุนการขนส่งสินค้า และการบริหารจัดการรอบการผลิตในแปลงเพาะปลูก

การศึกษาครั้งนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของกิจกรรมทางโลจิสติกส์ในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของธุรกิจ เพราะการวางแผนการขนส่งสินค้าที่มีประสิทธิภาพจะส่งผลให้ธุรกิจมีความสามารถในการลดต้นทุน กรณีศึกษาของวิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์อาหารปลอดภัย เชียงราย ให้แก่ลูกค้า จำนวน 12 ราย พบปัญหาเรื่องต้นทุนในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ทั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาเส้นทางการขนส่งสินค้า และวิเคราะห์เส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบต้นทุนรวมของการขนส่งด้วยการวิเคราะห์ข้อมูล 2 รูปแบบได้แก่ วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) [4] และวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programing) [5] จากนั้นได้วางแนวทางการจัดเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ระยะทางสั้นที่สุด เพื่อลดต้นทุนการขนส่งสินค้า และ นำผลการศึกษาไว้เป็นแนวทางการในการพัฒนา ปรับปรุงเส้นทางการขนส่งให้แก่สถานประกอบการต่อไป

วิธีการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดระยะทางและคำสั่งซื้อของลูกค้า

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ได้แก่ ข้อมูลการขนส่งสินค้า โดยวิสาหกิจชุมชน กรณีศึกษา ได้มีการขนส่งสินค้าในเขตพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยมีลูกค้าหลัก 12 ราย ซึ่งประกอบด้วยสถานที่ต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลูกค้าหลัก 12 ราย และพิกัดสถานที่จัดส่งสินค้า

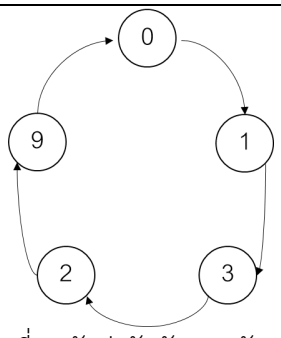
ลำดับ	ลูกค้า/ร้านค้า	สถานที่	พิกัด
1	ครัวบ้านสวน	ถนนบายพาสสนามบินแม่ฟ้าหลวงเชียงราย	19.999007382030054, 99.89224049325385
2	สนามบิน	สนามบินแม่ฟ้าหลวงเชียงราย	19.954535599561236, 99.87911730902141
3	หมวกฟางคาเฟ่	หมู่บ้านป่ากุ๊ก ตำบลบ้านดู่	19.972056464557344, 99.88286826643835
4	โรงแรมเดอฮัก เชียงราย	ตำบลรอบเวียง อำเภอเมืองเชียงราย	19.902645701362914, 99.81447969036577
5	สเต็กกันเอง	ถนนสันโค้ง	19.901698804430 65, 99.81856125052856
6	ธนาคารต้นไม้ ห้วยสัก- แม่กรณ์	ถนนสันโค้งน้อย (ใกล้ ๆ วัดเชตุพน)	19.898346666680784, 99.81809738068519

7	คุณครู	โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม	19.9068110020836, 99.8268231323903
8	บุคลากรโรงพยาบาล	โรงพยาบาลโอเวอร์บุ๊ค	19.912377866372935, 99.82904064664541
9	บุคลากรโรงพยาบาล	โรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์	19.900872722217137, 99.82916978761853
10	คุณครู	โรงเรียนดำรงราษฎร์สงเคราะห์	19.909258000112708, 99.83428969775659
11	ลูกค้าทั่วไป	หลังโกบอลเฮ้าส์ เชียงราย	19.871865675583027, 99.83663624892041
12	ร้านสลัด	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	19.980460244313498, 99.85030851087757

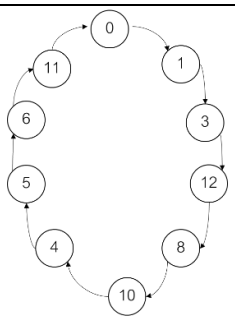
ขั้นตอนที่ 2 การจัดรูปแบบเส้นทางการขนส่งผักสลัดอินทรีย์ในปัจจุบัน

การจัดรูปแบบเส้นทางการขนส่งผักสลัดอินทรีย์ในปัจจุบันของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษา พบว่ามีการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า ให้แก่ ลูกค้าหลัก ทั้ง 12 ราย ซึ่งมีปริมาณคำสั่งซื้อในแต่ละรอบที่แตกต่างกัน สามารถแสดงรูปแบบการขนส่งสินค้าใน 1 เดือนของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ได้ทั้งหมด 8 เส้นทาง (1 สัปดาห์ มีตารางการขนส่งสินค้า ทุกวันอังคาร และ วันศุกร์ เป็นการขนส่ง 1 เที่ยวต่อวัน โดยแต่ละสัปดาห์จะมีรูปแบบการขนส่งสินค้าที่ต่างกัน) ยิ่งไปกว่านั้น จากการสัมภาษณ์เกษตรกรเพื่อรวบรวมข้อมูลเส้นทางการขนส่งหลักในปัจจุบัน ลำดับการส่งมอบของลูกค้าแต่ละราย ดังตารางที่ 2

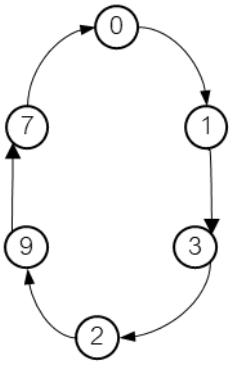
ตารางที่ 2 เส้นทางการจัดส่งสินค้าใน 1 เดือน



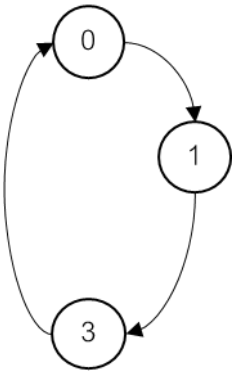
เส้นทางที่ 1: จัดส่งวันอังคาร สัปดาห์ที่ 1



เส้นทางที่ 2: จัดส่งวันศุกร์ สัปดาห์ที่ 1

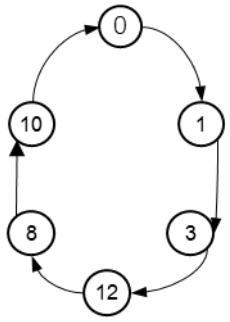


เส้นทางที่ 3: จัดส่งวันอังคาร สัปดาห์ที่ 2

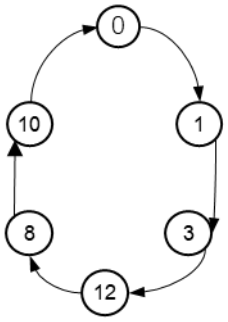


เส้นทางที่ 4: จัดส่งวันศุกร์ สัปดาห์ที่ 2

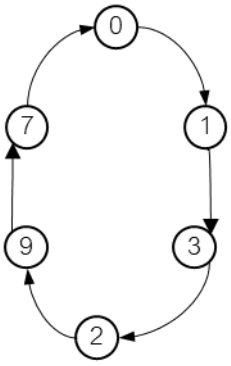
ตารางที่ 2 เส้นทางการจัดส่งสินค้าใน 1 เดือน (ต่อ)



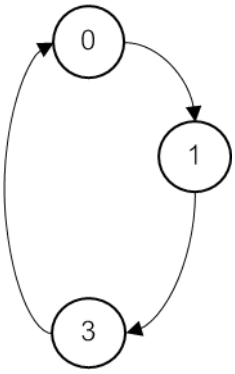
เส้นทางที่ 5: จัดส่งวันอังคาร สัปดาห์ที่ 3



เส้นทางที่ 6: จัดส่งวันศุกร์ สัปดาห์ที่ 3



เส้นทางที่ 7: จัดส่งวันอังคาร สัปดาห์ที่ 4



เส้นทางที่ 8: จัดส่งวันศุกร์ สัปดาห์ที่ 4

จากตารางที่ 2 สามารถแสดงรูปแบบเส้นทางการขนส่งผักสลัดอินทรีย์ปัจจุบันใน 1 เดือน ได้ 8 เส้นทาง ที่มีปริมาณความต้องการสินค้าลูกค้าในแต่ละสัปดาห์ที่ไม่แน่นอน ซึ่งมีระยะทาง ระยะเวลา และปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงโดยรวม ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะทาง ระยะเวลา และราคาน้ำมันที่ใช้

ลำดับเส้นทาง	จุดส่งสินค้า	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	ระยะเวลารวม (นาที)	ราคาน้ำมันที่ใช้ (บาท)
เส้นทางที่1	0–1–3–2–9–0	40.2	26.48	100.30
เส้นทางที่2	0–1–3–12–8–10–4–5–6–11–0	59.1	39.24	147.45
เส้นทางที่3	0–1–3–2–9–7–0	40.1	26.44	100.05
เส้นทางที่4	0–1–3–0	13.7	9.80	34.18
เส้นทางที่5	0–1–3–2–9–7–0	40.1	26.44	100.05
เส้นทางที่6	0–1–3–12–8–10–0	38.2	25.28	95.31
เส้นทางที่7	0–1–3–2–9–7–0	40.1	26.44	100.05
เส้นทางที่8	0–1–3–0	13.7	9.80	34.18
รวมทั้งสิ้น (หน่วยต่อเดือน)		**285.2**	**189.92**	**711.57**

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึง ระยะทาง ระยะเวลา ราคาน้ำมันที่ใช้ ของแต่ละเส้นทางการขนส่งสินค้าในรูปแบบการขนส่งปัจจุบันของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ นำมาสู่การศึกษาหาแนวทางลดต้นทุนการขนส่งสินค้าให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษาในครั้งนี้ เพื่อให้กลุ่มเกษตรกรดังกล่าวทราบถึงต้นทุนการขนส่งสินค้าที่แน่นอนตลอดจนการออกแบบเส้นทางการขนส่งสินค้าใหม่ให้แก่สถานประกอบการ โดยในเบื้องต้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาถึงต้นทุนการขนส่งสินค้าในปัจจุบัน เริ่มตั้งแต่การศึกษารูปแบบเส้นทางการขนส่ง นำมาสู่การวิเคราะห์ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิง จากนั้นทางจะได้เสนอรูปแบบการจัดเส้นทางใหม่ ด้วย วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) [6–10] และวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programing) [11–15] โดยมีเป้าหมาย คือ การจัดหาเส้นทางการขนส่งที่สั้นที่สุด ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า คือ รถกระบะ 4 ล้อ จำนวน 1 คัน สามารถบรรทุกได้สูงสุด 14 ตะกร้า ในแต่ละตะกร้าสามารถบรรจุได้ไม่เกิน 15 กิโลกรัม วิธีการบรรจุ คือ นำผักสลัดใส่ถุงแยกตามความต้องการของลูกค้า จากนั้นนำถุงไปจัดวางในตะกร้า แล้วห่อใบตองเพื่อเก็บรักษาอุณหภูมิและป้องกันแสงแดด

ขั้นตอนที่ 3 การจัดรูปแบบเส้นทางการขนส่งผักสลัดอินทรีย์ ด้วย วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Savings Algorithm)

ตารางที่ 4 ปริมาณความต้องการของลูกค้าใน 1 สัปดาห์ และ ปริมาณตะกร้าที่ใช้

ลำดับที่	ลูกค้า	ปริมาณการสั่งซื้อ (กิโลกรัม)	ปริมาณตะกร้าที่ใช้
1	ครัวบ้านสวน	6	1
2	สนามบิน	10	2
3	หมวกฟางคาเฟ่	6	1
4	โรงแรมเดอฮัก เชียงราย	5	1
5	สเต็กกันเอง	3	0.5
6	ธนาคารต้นไม้	3	0.5
7	โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม	5	1
8	โรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์	5	1
9	โรงพยาบาลโอเวอร์บุ๊ค	5	1
10	โรงเรียนดำรงราษฎร์สงเคราะห์	5	1
11	หลังโกบอลเฮ้าส์	4	1
12	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	10	2

จากการเก็บข้อมูลจึงทำให้ทราบปริมาณความต้องสินค้าของลูกค้าแต่ละราย และปริมาณตะกร้าที่ใช้บรรจุ โดยสามารถของรถสามารถบรรทุกได้ ไม่เกิน 14 ตะกร้า ต่อการจัดส่งแต่ละครั้ง ดังตารางที่ 4 หลังจากทราบพิกัดของลูกค้าแต่ละรายแล้ว ได้ทำการหาระยะห่างของแต่ละจุดจัดส่งสินค้าให้แก่ลูกค้า ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จาก Google Maps ซึ่งสามารถแสดงระยะห่างของแต่ละเส้นทาง ดังตารางที่ 5 นำไปพิจารณาหาค่าความประหยัด (Saving) ด้วย โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดในการจัดส่งสินค้า

ตารางที่ 5 ระยะทางของแต่ละจุด

ลำดับ	ชื่อสถานที่	ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		0		5.6	5.1	3.1	15.7	17.7	16.3	14.4	13.5	15.1	13.2	16.1	7.4
1	ครัวบ้านสวน	1	7.2		7	5	17.6	11.5	18.6	16.1	15.8	17.5	15.6	18	7.7
2	สนามบิน	2	5.2	5.7		3.1	11.4	13.7	12	10.1	9.6	10.9	9.4	11.8	6.3
3	หมวกฟางคาเฟ่	3	3.1	3.6	3.1		13.6	13.7	14.7	12.7	11.5	13.5	11.1	14	4.2
4	โรงแรมเดอฮัก เชียงราย	4	15.5	16	11.3	13.4		0.5	0.95	1.5	3.1	1.9	2.3	6	11.4
5	สเต็กกันเอง	5	15.9	16.4	11.7	13.8	0.5		1.3	1.8	2.4	1.4	2.5	6.2	11.7
6	ธนาคารต้นไม้ ห้วยสัก – แม่กรณ์	6	15.6	16	11.7	13.8	0.95	1.3		1.9	3.5	1.6	2.6	5.4	11.8
7	โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม	7	14.4	14.6	9.9	12.1	1.5	1.8	2.4		0.95	1.1	1	5.1	10.2
8	โรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคาระห์	8	13.5	13.9	9.2	11.4	2.9	3.2	3.7	2.5		2.4	1	6.5	9.3
9	โรงพยาบาลโอเวอร์บุ๊ค	9	15.6	15.4	16.7	12.9	1.9	1.4	1.5	1.1	2		1.7	4.1	10.9
10	โรงเรียนดำรง ราษฎร์สงเคราะห์	10	13	13.6	8.9	11.1	2.3	2.4	2.9	1	1	1.7		5.7	9.5
11	หลังโกบอลเฮาท์	11	16	16.5	11.7	13.9	6.3	5.7	5.7	5.4	6.8	4.4	5.9		17.1
12	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	12	10.5	7.9	6.2	4.3	11.6	11.7	12.7	10.3	9.4	11.1	9.6	14.4	

จากตารางที่ 5 นำระยะทางมาทำการคำนวณหาค่าความประหยัด (Saving) ของจุดจัดส่งสินค้าแต่ละคู่ ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$S_{ij} = D_{i0} + D_{0j} - D_{ij}$$

โดย S_{ij} = ค่าความประหยัดระหว่างคู่จุดรับส่ง i และ j
D_{i0} = ระยะทางจากจุดต้นทาง i ไปยังจุดปลายทาง 0
D_{0j} = ระยะทางจากจุดต้นทาง 0 ไปยังจุดปลายทาง j
D_{ij} = ระยะทางจากจุดต้นทาง i ไปยังจุดปลายทาง j

ตารางที่ 6 ระยะทางที่ประหยัดได้ ระหว่าง i กับ j

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0		5.6	5.1	3.1	15.7	17.7	16.3	14.4	13.5	15.1	13.2	16.1	7.4
1	7.2		3.7	3.7	3.7	11.8	3.3	3.9	3.3	3.2	3.2	3.7	5.3
2	5.2	5		5.1	9.4	9.1	9.4	9.4	9	9.3	8.9	9.4	6.2
3	3.1	5.1	5.1		5.2	7.1	4.7	4.8	5.1	4.7	5.2	5.2	6.3
4	15.5	5.3	9.5	5.4		32.9	31.05	28.6	26.1	28.9	26.6	25.8	11.7
5	15.9	6.9	11.1	7	32.9		32.7	30.3	28.8	31.4	28.4	27.6	13.4
6	15.6	5.9	9.7	5.6	31.05	32.7		28.8	26.3	29.8	26.9	27	11.9
7	14.4	5.4	9.6	5.4	28.6	30.3	28.3		26.95	28.4	26.6	25.4	11.6
8	13.5	5.2	9.4	5.2	26.3	28	26.1	25.4		26.2	25.7	23.1	11.6
9	15.6	5.3	3.5	5.3	28.9	31.4	29.9	28.4	26.6		26.6	27.1	11.6
10	13	5.2	9.4	5.2	26.6	28.5	26.6	26.6	25.7	26.6		23.6	11.1
11	16	5.2	9.5	5.3	25.5	28.1	26.7	25.1	22.8	26.8	23.4		6.4
12	10.5	5.1	4.6	2.6	15.2	17.2	15.8	13.9	13	14.6	12.7	15.6	

จากตารางที่ 6 จะทำการเรียงลำดับค่าความประหยัดแต่ละคู่จากมากไปหาน้อย และทำการจัดเส้นทางโดยพิจารณาเลือกค่าความประหยัดที่มีค่ามากที่สุดก่อน จากนั้นทำการตรวจสอบความจุของรถที่ใช้ในการรับส่ง หากบรรทุกเต็มความจุของยานพาหนะขนส่งให้ทำการเปิดเส้นทางใหม่และทำการจุดเส้นทางดำเนินการจนครบทุกจุด

ขั้นตอนที่ 4 การจัดรูปแบบเส้นทางการขนส่งผักสลัดอินทรีย์ ด้วย วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programing)

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

จากข้อมูลในข้างต้นสามารถสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยมีส่วนประกอบ ดังนี้

ดัชนี (Indices)

$\boldsymbol{i}$ = แทนลำดับของจุดต้นทาง โดยที่ $\boldsymbol{i}$ = *0, 1, 2, 3, ..., 12*

$\boldsymbol{j}$ = แทนลำดับของจุดปลายทาง โดยที่ $\boldsymbol{j}$ = *0, 1, 2, 3, ..., 12*

พารามิเตอร์ (Parameters)

$\boldsymbol{q_i}$ = จำนวนสินค้าที่สั่งซื้อของจุด $\boldsymbol{i}$

$\boldsymbol{C_{ij}}$ = ระยะทางระหว่างจุดต้นทาง $\boldsymbol{i}$ และจุดปลายทาง $\boldsymbol{j}$

$\boldsymbol{Q}$ = ปริมาณบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะ

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$\boldsymbol{X_{ij}}$ = 1, กรณีที่มีการจัดส่งสินค้าที่จุด $\boldsymbol{i}$ ก่อนจัดส่งสินค้าที่จุด $\boldsymbol{j}$ และ
= 0, กรณีอื่น ๆ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\boldsymbol{Minimize}\ \sum_{i=0}^{12}\sum_{j=0}^{12} C_{ij}X_{ij} \qquad \text{สมการที่ (1)}$$

สมการเงื่อนไข (Constrains Function)

$$\sum_{\forall_j} X_{ij} = 1 \quad ; i = 0, 1, 2, 3, ..., 12 \quad j = 0, 1, 2, 3, ..., 12 \qquad \text{สมการที่ (2)}$$

$$\sum_{\forall_i} X_{ij} = 1 \quad ; i = 0, 1, 2, 3, ..., 12 \quad j = 0, 1, 2, 3, ..., 12 \qquad \text{สมการที่ (3)}$$

$$X_{0,1} = 1 \qquad \text{สมการที่ (4)}$$

$$X_{2,0} = 1 \qquad \text{สมการที่ (5)}$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \qquad \text{สมการที่ (6)}$$

สมการเป้าหมาย (1) แสดงถึงวัตถุประสงค์หลักในการหาเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังร้านลูกค้าทั้ง 12 จุด โดยมีระยะทางที่สั้นที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (2) และ (3) แสดงว่าถ้ามีการเลือกขนส่งไปยังสถานที่นั้น ๆ แล้วจะสามารถเลือกได้เพียงแค่ครั้งเดียวเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (4) คือ การกำหนดเส้นทางการขนส่งจากที่ตั้งวิสาหกิจชุมชน กล่าวคือหมายเลข 0 ไปยังร้านลูกค้าจุดที่ 1 เท่ากับ 1 เพื่อให้เส้นทางการขนส่งเริ่มจากการนำส่งสินค้าที่จุดลูกค้าที่ 1 เป็นอันดับแรก เนื่องจากลูกค้ามีข้อกำหนดในการนำส่งสินค้าว่าให้สามารถนำส่งสินค้าได้ เวลา 13.00 น. หรือไม่ก็ 16.00 น. เท่านั้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากการขนส่งในปัจจุบันทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจะเลือกการจัดส่งสินค้าที่จุดดังกล่าวก่อนเสมอ หรือกล่าวคือเวลา 13.00 น. จากนั้นจึงนำส่งสินค้าไปยังร้านลูกค้ารายอื่น ๆ ต่อไป สมการเงื่อนไขที่ (5) คือ การกำหนดเส้นทางการขนส่งให้ร้านลูกค้าหมายเลข 2 เป็นจุดปลายทางสุดท้ายของการจัดส่งสินค้าในแต่ละรอบ เนื่องจากจุดดังกล่าวจะเป็นการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้ารายอื่น

ย่อยหลายรายที่ทำการสั่งซื้อสินค้าเข้ามารอบเดียวกัน เพื่อนำสินค้ากลับไปบริโภคที่บ้านก่อนเลิกงาน เวลา 16.00 น. จุดปลายทางสุดท้ายของการจัดส่งสินค้านี้จึงถูกกำหนดให้ เท่ากับ 1 สมการเงื่อนไขที่ (6) เป็นสมการบังคับให้ตัวแปรตัดสินใจ X_{ij} แสดงค่าเป็น Binary (0, 1)

ขั้นตอนที่ 5 การเปรียบเทียบรูปแบบการจัดเส้นทางการขนส่ง

จากการศึกษารูปแบบการขนส่งสินค้าปัจจุบันได้มีการแบ่งเส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 8 เส้นทาง โดยมีการจัดส่งสินค้าภายในระยะเวลา 1 เดือน ครั้งนี้ได้ทำการจัดรูปแบบเส้นทางการขนส่งสินค้าใหม่โดยการรวบรวมเส้นทางทั้งหมดแต่ยังคงคำนึงถึงลำดับก่อนหลังในการจัดส่งตามเดิม เพื่อนำมาเปรียบเทียบระยะทาง ระยะเวลา และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงกับการจัดเส้นทางโดยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และ วิธีโปรแกรมเชิงเส้น

ผลการศึกษา

การศึกษารูปแบบการจัดเส้นทางการขนส่งมีลูกค้า 12 ราย โดยใช้รถกระบะ 4 ล้อ จำนวน 1 คัน มีความสามารถในการบรรทุก คือ 14 ตะกร้า โดยแต่ละตะกร้าสามารถบรรจุได้ไม่เกิน 15 กิโลกรัม วิธีการบรรจุ คือ นำผักสลัดใส่ถุงแยกตามความต้องการของลูกค้าจากนั้นนำถุงไปจัดวางในตะกร้า แล้วห่อใบตองเพื่อเก็บรักษาอุณหภูมิ และ ป้องกันแสงแดด ผลการศึกษาข้อมูล พบว่า ในการขนส่งปัจจุบันเริ่มจากร้านครัวบ้านสวน ซึ่งมีระยะทางห่างจากสวน 5.7 กิโลเมตร จากนั้นส่งต่อไปยังลูกค้าแต่ละราย การศึกษาครั้งนี้มุ่งจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าให้กับวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษาเพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุด ด้วย วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น สามารถสรุปผลการจัดเส้นทางในแต่ละวิธีได้ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าในแต่ละวิธี

วิธี	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ร้อยละที่ลดลง	ระยะเวลา (นาที)	ร้อยละที่ลดลง	ค่าน้ำมันที่ใช้ (บาท)	ร้อยละที่ลดลง
แบบเดิม	0–1–2–3–4–5–6–7–8–9–10–11–12–0	71.4	–	160.33	–	214	–
อัลกอริทึมแบบประหยัด	0–5–4–6–9–7–8–10–11–3–12–2–1–0	60.5	15.20	167.56	-4.50	181	15.21
การโปรแกรมเชิงเส้น	0–1–3–12–8–10–7–4–5–6–9–11–2–0	52.1	26.97	154.73	3.49	156	26.98

อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาข้อมูลการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าผักสลัดอินทรีย์ของวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษา พบว่า สถานประกอบการเผชิญกับปัญหาหลัก 2 ประเด็น คือ ต้นทุนการขนส่งสินค้า และการบริหารจัดการรอบการผลิตในแปลงเพาะปลูก จากการสัมภาษณ์ตัวแทนจากสถานประกอบการมุ่งแก้ปัญหาในประเด็นต้นทุนการขนส่งสินค้าก่อน เนื่องจากการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าในปัจจุบันมีความหลากหลายของคำสั่งซื้อจากลูกค้าในแต่ละเดือน สถานประกอบการจึงต้องแบ่งเส้นทางการจัดส่งเป็น 8 เส้นทาง ปัจจุบันสถานประกอบการมียานพาหนะที่ใช้ในการจัดส่งสินค้า คือ รถกระบะ 4 ล้อ จำนวน 1 คัน โดยมีข้อจำกัดว่าในการบรรทุกแต่ละครั้งรถสามารถจุได้ไม่เกิน 14 ตะกร้า และระยะเวลาในการจัดส่งไม่ควรเกิน 4 ชั่วโมงของการจัดส่งรวม

ดังนั้น การศึกษานี้จึงให้ความสนใจที่จะจัดรูปแบบการขนส่งสินค้าให้กับสถานประกอบการใหม่ด้วยวิธีการอัลกอริทึมแบบประหยัด และ วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น ที่สามารถลดระยะทางรวมที่สั้นกว่าการจัดส่งในปัจจุบัน การจัดรูปการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการอัลกอริทึมแบบประหยัด สามารถลดระยะทางจัดส่งรวมลดลงจาก 71.35 กิโลเมตร เป็น 60.5 กิโลเมตร คิดเป็นระยะทางลดลงร้อยละ 15.20 ระยะเวลาในการจัดส่งรวมจาก 160.33 นาที เป็น 167.56 นาที คิดเป็นระยะเวลาเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.50 ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจากเดิม จำนวน 214 บาท เป็น 181 บาท คิดเป็นร้อยละ 15.21 การจัดรูปแบบการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น สามารถลดระยะทางจัดส่งรวมลดลงจาก 71.35 กิโลเมตร เป็น 52.1 กิโลเมตร คิดเป็นระยะทางลดลงร้อยละ 26.97 ระยะเวลาในการจัดส่งรวมจาก 160.33 นาที เป็น 154.73 นาที คิดเป็นระยะเวลาลดลงร้อยละ 3.49 ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจากเดิม จำนวน 214 บาท เป็น 156 บาท คิดเป็นร้อยละ 26.98 การจัดเส้นทางการขนส่งผักสลัดอินทรีย์ของสถานประกอบการกรณีศึกษาควรมีการจัดเส้นทางด้วยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น เนื่องจากวิธีดังกล่าวได้รูปแบบการขนส่งสินค้าที่สั้นที่สุดและเกิดต้นทุนการขนส่งสินค้าที่น้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์อาหารปลอดภัย เชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในศึกษารูปแบบเส้นการขนส่งสินค้าและต้นทุนการขนส่งสินค้า ตลอดจนให้ความร่วมมือในการสัมภาษณ์เชิงลึกครั้งนี้ อีกทั้ง ขอขอบคุณ อาจารย์ หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด, อาจารย์ กำพล หว่างลี้สกุล และอาจารย์ สมควร สงวนแพง อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ แขนงวิศวกรรมโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย เป็นอย่างยิ่งที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ จนกระทั่งการศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. ระบบสารสนเทศวิสาหกิจชุมชนกองส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน กรมส่งเสริมการเกษตร [อินเทอร์เน็ต] 2564; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2566. ได้จาก; https://smce.doae.go.th/index.php.
2. สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [อินเทอร์เน็ต] 2563; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2566. ได้จาก; https://www.opsmoac.go.th/site-home
3. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา [อินเทอร์เน็ต] 2564; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2566. ได้จาก; https://catalog.fda.moph.go.th/
4. เกศินี สือนิ. การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมและวิธีขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดอัลกอริทึม. วารสารเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยทักษิณ 2553; 12(2): 3-7.
5. เพชรายุทธ แซ่หลี, วชิระ วิจิตรพงษา และหทัยธนก พวงแย้ม. การจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มโดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้นกรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด รัศมี 2015. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 2560; 10(2): 49-50.
6. ปวรุตม์ สมตัว, ณัฐนรินทร์ คงบุรี และ ธัญภัส เมืองปัน. การจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม กรณีศึกษา บริษัท พีเจ ชลบุรี พาราวู้ด. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา; 2564.
7. ชลิตา มีแสง, ญาณิศา ช้างน้อย, ปภาวี วิตตานุช, ปรางค์ทิพย์ ไชยกิ่ง, กุสุมา พิริยาพรรณ, รักสกุล ชีวะโกเศรษฐ. การวางแผนการดำเนินงานและปรับปรุงเส้นทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยติดเชื้อโดยใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม กรณีศึกษา บริษัท ABC จำกัด. วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม ชลบุรี 2564; 7(2)22-33;

8. พันธนา นองมณี และ รชฎ ขำบุญ. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้รถขนส่งสินค้า กรณีศึกษา บริษัทไดนามิค แซทคอม จำกัด. วารสารบัณฑิตวิทยาลัย 2560; 1(3): 246-253.
9. รวีโรจน์ ป้องทรัพย์ และ ธัญภัส เมืองปัน. การจัดเส้นทางขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ กรณีศึกษาบริษัทขน ส่งชิ้นส่วนรถยนต์ 2564; 5(1): 12-23
10. ปารณัท กัญวิมล และ สราวุธ จันทร์สุวรรณ. การศึกษาเพื่อจัดเส้นทางเดินทางรถขนส่งรูปแบบมิลค์รันและการจัดการกำหนดการรับสินค้า: กรณีศึกษา การส่งชิ้นส่วนโรงงานประกอบรถยนต์ ABC. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2564 (ORNET2021) ครั้งที่ 18 มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพฯ 2564.
11. ณัตพร ไชยเสนา. การจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ : กรณีศึกษา บริษัทผู้ให้บริการขนส่ง. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์ 2561; 4(2):64-76.
12. พิสิษฐ์ บึงบัว และ ญาณิน พัดโสภา. การใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นวิเคราะห์การจัดสรรการขนส่งผลผลิตปาล์มน้ำมันจากแปลงปลูกไปยังแหล่งรับซื้อในจังหวัดสระแก้ว. วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2564; 11(3): 259-272.
13. วัชรีวรรณ แสงน้อย, ณภัทร ศรีนวล. การจัดเส้นทางขนส่ง โดยใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึ่ม กรณีศึกษา บริษัท AAA จำกัด. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 9, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. กรุงเทพฯ 2561. 1173-1181.
14. กิตติพงษ์ ถาวงษ์กลาง, ลัดดา ตันวาณิชกุล. การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิตและการจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จรูปแบบหลายโรงงาน. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 2564; 21(1):38-49.
15. ฐิติมา วงศ์อินตา, ชุติมา หวังรุ่งชัยศรี, และอนิรุทธ์ ขันธสะอาด. กระบวนการลดต้นทุนค่าขนส่งและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถแบบมิลค์รัน สำหรับกรณีศึกษา บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต 2561; 8(1): 71-90.

การยกระดับศักยภาพสถานที่ผลิต ตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนบ้านสันผักแค

Enhancing potential on production place based on Good Manufacturing Practices a case study of the Ban San Phak Khae community enterprise

หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด[1], สุจิตตา หงส์ทอง[2], พีรพล สุจา[1*] และ สหศวรรษ วิชัยคำ[1]

Harutairat Jantakard[1], Sujitta Hongthong[2], Phiraphon suja[1*]and Sahasawat Wichaikham[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของสถานที่ผลิต สถานที่จัดเก็บวัตถุดิบ และสถานที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์ เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพปัจจุบันกับหลักเกณฑ์ตรวจประเมินสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ตลอดจนเพื่อเสนอแนวทางการยกระดับศักยภาพสถานที่ผลิต ตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต โดยมีเป้าหมายในการยกระดับศักยภาพสถานที่ผลิต ผลิตภัณฑ์พริกลาบ ตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ให้กับวิสาหกิจชุมชนบ้านสันผักแค หมู่ที่ 5 ตำบลม่วงคำ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ให้สามารถสร้างรายได้หมุนเวียนแก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ โดยผลการประเมินสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ทั้ง 5 ด้าน พบว่า 1) ด้านสถานที่ตั้งอาคารผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา ได้คะแนนการประเมิน ร้อยละ 70.00, 2) ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิตการทำความสะอาดและการบำรุงรักษา ได้คะแนนการประเมิน ร้อยละ 37.50, 3) ด้านการควบคุมการผลิต ได้คะแนนการประเมิน ร้อยละ 69.23, 4) ด้านการสุขาภิบาล ได้คะแนนการประเมิน ร้อยละ 62.50, และ 5) ด้านสุขลักษณะส่วนบุคคล ได้คะแนนการประเมิน ร้อยละ 100 ผลการประเมินในข้างต้นจะนำมาสู่แนวทางการยกระดับศักยภาพสถานที่ผลิต ตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ให้แก่วิสาหกิจชุมชนบ้านสันผักแค ในท้ายที่สุด

คำสำคัญ: หลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต, การยกระดับสถานที่ผลิต, ผลิตภัณฑ์ชุมชน

[1] สาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงราย 57120

[2] สาขาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงราย 57120

[1] Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Rai 57120

[2] Department of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Rai 57120

*Corresponding author: nattaponsuttawong01@gmail.com

Abstract

This research aims to study the ability of production place, material and product storage areas, to compare the current ability by evaluation criteria of Good Manufacturing Practices (GMP). In additional, the research brings to propose production place enhancement guidelines based on Good Manufacturing Practices. This study specifically focuses on enhancing production place of northern Larb chili product following Good Manufacturing Practices within the context of the Ban San Phak Khae community enterprise, Moo 5, Maungkam, Phan District, Chiang Rai Province. The result of GMP evaluation covering 5 issues in the following findings: 1) the production site's building, cleanliness, and maintenance at 70.00%, 2) machinery, equipment for production, cleanliness, and maintenance at 37.50%, 3) production control at 69.23%. 4) sanitation practices as 62.50%. 5) personal hygiene as 100%. The evaluation result above will bring to guidelines for production place enhancement based on Good Manufacturing Practices, thus benefiting to the Ban San Phak Khae community enterprise in the last.

Keywords: Good Manufacturing Practices, Production place enhancement, Community Product

บทนำ

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) นับเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการตรวจรับรองระบบ GMP (Good Manufacturing Practice) อาหารในประเทศไทย รวมทั้งมีหน้าที่ในการตรวจติดตามการปฏิบัติของผู้ประกอบการอาหารและน้ำดื่มไทยให้มีการปฏิบัติให้สอดคล้องกับ GMP ที่บังคับใช้ตามกฎหมาย มีการจัดทำโครงการยกระดับมาตรฐานการผลิตอาหารประเภทต่าง ๆ โดยหลักการหลักการของ GMP จะครอบคลุมตั้งแต่สถานที่ตั้งของสถานประกอบการ โครงสร้างอาคารระบบการผลิตที่ดี มีความปลอดภัย มีคุณภาพได้มาตรฐานทุกขั้นตอน เริ่มต้นจากการวางแผนการผลิต การควบคุมคุณภาพ ตั้งแต่ วัตถุดิบระหว่างการผลิต จนกระทั่งได้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การจัดเก็บ และ การขนส่งจนถึงผู้บริโภค มีระบบบันทึกข้อมูล มีการตรวจสอบและติดตามผลคุณภาพผลิตภัณฑ์ รวมถึง มีระบบการจัดการที่ดีในเรื่องสุขอนามัย เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายมีคุณภาพและความปลอดภัยเป็นที่มั่นใจเมื่อถึงมือผู้บริโภค [1]

ทั้งนี้ชาวบ้านที่เป็นกลุ่มอาชีพและผู้นำชุมชนร่วมกับนายกองค์การบริหารส่วนตำบลม่วงคำ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนสู่การขอมาตรฐาน GMP โดยมีความต้องการยกระดับ ผลิตภัณฑ์ชุมชน “พริกลาบ สันผักแค” ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสันผักแค หมู่ที่ 5 ตำบลม่วงคำ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ขึ้นเป็นต้นแบบของชุมชน สมาชิกในกลุ่มเกิดจากการรวมตัวกันของประชาชน หมู่ที่ 5 บ้านสันผักแค หลังเก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตร โดยมี คุณ อาภร คุณจิตร ประธานกลุ่มพัฒนาสตรีหมู่บ้านสันผักแค ร่วมกับสมาชิกกลุ่มจำนวนทั้งสิ้น 20 ราย [2] ได้คิดค้นสูตรพริกลาบเพื่อจำหน่ายสร้างรายได้ในช่วงหลังฤดูเก็บเกี่ยว ซึ่งส่วนผสมหลักของพริกลาบ คือ เครื่องเทศและพืชสมุนไพรต่าง ๆ เช่น พริก มะแขว่น ดีปลี ลูกกระวาน เมล็ดผักชี ข่า ตะไคร้ จันทร์แปดกลีบ ไม้จันทร์หอม ที่มีสรรพคุณทางยา ยกตัวอย่าง เช่น มะแขว่น สามารถลดความดัน แก้ปวดฟัน เมล็ดผักชี สามารถสกัดน้ำมันหอมระเหย แก้ลมวิงเวียน บำรุงโลหิต

บำรุงหัวใจ ขับลม ดีปลี สามารถช่วยบำรุงธาตุไฟในการย่อยอาหาร ลมเบ่งของมดลูก หรือลมที่ค้างในลำไส้ รวมไปถึงอาการกำเริบของเสมหะและลมปอด เป็นต้น [3] โดยกระบวนการผลิตเริ่มจากการนำส่วนผสมมาหั่น สับ หรือบด จากนั้นนำไปทำให้แห้งหรือคั่วก่อนจะนำมาผสมให้เข้ากันแล้วคั่วรวมกันอีกครั้งให้สุก เพื่อให้เก็บได้นานขึ้น และชูกลิ่นหอมของเครื่องเทศสมุนไพร กว่า 9 ชนิด จนได้เป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน “พริกลาบ สันผักแค” พริกลาบที่มีเอกลักษณ์เฉพาะเป็นที่ต้องการและชื่นชอบของลูกค้าอย่างแพร่หลาย

นอกเหนือจากนั้นพริกลาบเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถสร้างรายได้หมุนเวียนให้กับชุมชน ผ่านการซื้อและรวบรวมวัตถุดิบหลักส่วนใหญ่จากคนในชุมชน กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถสร้างเศรษฐกิจหมุนเวียนภายในชุมชนได้อย่างแท้จริง รายได้จากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ชุมชน “พริกลาบ สันผักแค” ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อรายได้ของเกษตรกรรายย่อยในชุมชน ซึ่งเป็นผู้จัดจำหน่ายปัจจัยการผลิตที่จะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ตลอดจนมูลค่าของผลิตภัณฑ์ชุมชนจะสูงขึ้นได้ส่วนหนึ่งมาจากคุณภาพของวัตถุดิบ กล่าวคือ วัตถุดิบที่ผู้ผลิตเลือกใช้เป็นวัตถุดิบที่ได้จากการเพาะปลูกแบบปลอดภัย อีกทั้งเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตยังถูกนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ เช่น ทำปุ๋ยหมัก ผู้ผลิตได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีคุณภาพให้กับผู้บริโภคที่ชื่นชอบรับประทานลาบ ทั้งในและต่างประเทศ จึงมีแนวคิดในการยกระดับคุณภาพสู่มาตรฐานการผลิต ตลอดจนถ่ายทอดเรื่องราวคุณภาพ ความใส่ใจในกระบวนการผลิต ให้เกิดภาพลักษณ์และความน่าเชื่อถือเป็นโอกาสในการต่อยอดธุรกิจด้านการส่งออกไปต่างประเทศ อีกทั้งเพื่อเป็นเครื่องยืนยันด้านโภชนาการ ด้านกายภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนเพื่อสร้างความยั่งยืนของชุมชน ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านภูมิปัญญา

การศึกษาในครั้งนี้เล็งเห็นถึงความสำคัญที่จะผลักดันเพื่อยกระดับศักยภาพสถานที่ผลิต ผลิตภัณฑ์พริกลาบ ตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ซึ่งประกอบด้วย ด้านที่ 1) สถานที่ตั้งอาคารผลิต การทำความสะอาดและการบำรุงรักษา ด้านที่ 2) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต การทำความสะอาดและการบำรุงรักษา ด้านที่ 3) การควบคุมกระบวนการผลิต ด้านที่ 4) การสุขาภิบาล และ ด้านที่ 5) สุขลักษณะส่วนบุคคล สู่การขอมาตรฐาน GMP ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นชื่อของชุมชน ต่อไป

วิธีการศึกษา

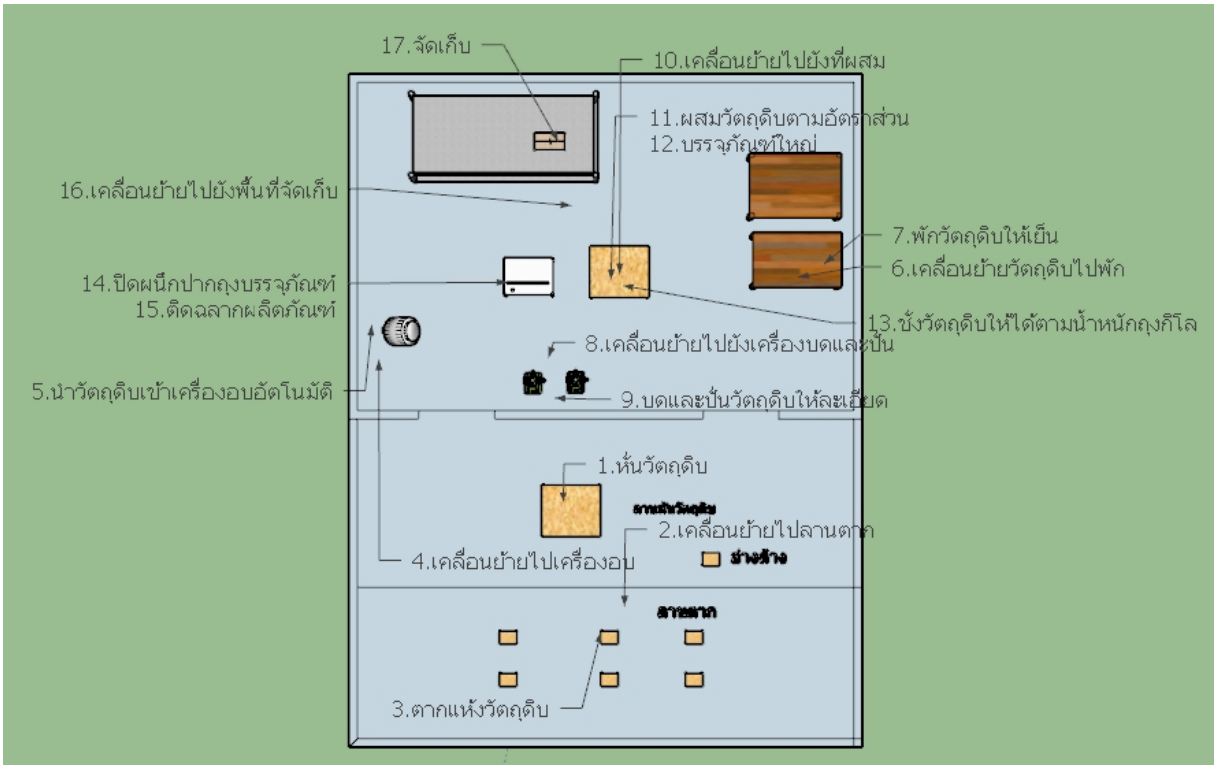
ขั้นตอนที่ 1 การศึกษากระบวนการผลิตและสถานที่ผลิต พริกลาบ สันผักแค ในปัจจุบัน

กระบวนการผลิต พริกลาบ สันผักแค ของวิสาหกิจชุมชนบ้านสันผักแค หมู่ที่ 5 ตำบลม่วงคำ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย จะทำการผลิตพริกลาบ ปริมาณ 70 กิโลกรัมต่อ 1 รอบการผลิต จากวัตถุดิบหลัก 9 ชนิด ได้แก่ พริกจินดา มะแขว่น ดีปลี ลูกกระวาน เมล็ดผักชี ข่า ตะไคร้ จันทร์แปดกลีบ ไม้จันทร์หอม และวัตถุดิบปรุงรส 3 ชนิด ได้แก่ กะปิ เกลือ และผงปรุงรส ผ่านกระบวนการผลิตทั้งสิ้น 17 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอน การดำเนินการ 6 ขั้นตอน การเคลื่อนย้าย 6 ขั้นตอน การรอคอย 2 ขั้นตอน การตรวจสอบ 2 ขั้นตอน และ การจัดเก็บ 1 ขั้นตอน ระยะทางทั้งสิ้น 119 เมตร ระยะเวลาทั้งสิ้น 3,020 นาที ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระบวนการผลิต พริกลาบ สันผักแค ก่อนปรับปรุง

ลำดับที่	ขั้นตอน	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
1	หั่นวัตถุดิบ	-	480		
2	เคลื่อนย้ายไปลานตาก	30.0	20		
3	ตากแห้งวัตถุดิบ	-	1,200		
4	เคลื่อนย้ายไปเครื่องอบอัตโนมัติ	35.0	30		
5	นำวัตถุดิบเข้าเครื่องอบอัตโนมัติ	-	300		
6	เคลื่อนย้ายวัตถุดิบไปพัก	20.0	15		
7	พักวัตถุดิบให้เย็น	-	180		
8	เคลื่อนย้ายไปยังเครื่องบดและปั่น	12.5	10		
9	บดและปั่นวัตถุดิบให้ละเอียด	-	360		
10	เคลื่อนย้ายไปยังที่ผสม	7.5	10		
11	ผสมวัตถุดิบตามอัตราส่วน	-	180		
12	บรรจุพริกลาบลงถุงใหญ่	-	20		
13	ชั่งวัตถุดิบให้ได้ตามน้ำหนักถุงกิโล	-	70		
14	ปิดผนึกปากถุงบรรจุภัณฑ์	-	70		
15	ตรวจสอบการปิดผนึกปากถุง พร้อมติดฉลาก	-	70		
16	เคลื่อนย้ายพื้นที่จัดเก็บ	14.0	5		
17	จัดเก็บ	-	-		
		119	**3,020**		

กระบวนการผลิต พริกลาบ สันผักแค จากตารางที่ 1 สามารถแสดงทั้ง 17 ขั้นตอน ในแผนผังโรงผลิต พริกลาบ สันผักแค ในปัจจุบัน ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ผลิต 9 โซน ได้แก่ 1) พื้นที่หั่นวัตถุดิบ 2) พื้นที่ตากวัตถุดิบ 3) พื้นที่อบวัตถุดิบ ด้วย เครื่องอบอัตโนมัติ 4) พื้นที่พักวัตถุดิบ 5) พื้นที่บดและปั่น 6) พื้นที่ผสมวัตถุดิบ 7) พื้นที่บรรจุพริกลาบ 8) พื้นที่บรรจุและติดฉลาก และ 9) พื้นที่จัดเก็บ โดยได้จำลองโรงผลิต พริกลาบ สันผักแค ของวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษา ด้วย โปรแกรมจำลอง 3 มิติ SketchUp [4] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โรงผลิต พริกลาบ สันผักแค ก่อนปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบประเมินสถานที่ผลิต ตามหลักการสุขลักษณะที่ดีในการผลิต

การศึกษาหลักการสุขลักษณะที่ดีในการผลิต จากเอกสารหลักการสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 420 พ.ศ. 2563 ประกอบด้วยข้อกำหนดพื้นฐานที่ผู้ผลิตจำเป็นต้องดำเนินการ ทั้งสิ้น 5 ข้อ ได้แก่ 1) ด้านสถานที่ตั้งอาคารผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา, 2) ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิตการทำความสะอาดและการบำรุงรักษา, 3) ด้านการควบคุมการผลิต, 4) ด้านการสุขาภิบาล, และ 5) ลักษณะส่วนบุคคล [5]

ด้านสถานที่ตั้งอาคารผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา ต้องพิจารณาถึงรายละเอียด ดังนี้ 1) ทำเลที่ตั้งห่างจากแหล่งที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อน, 2) บริเวณรอบอาคาร/ภายในอาคารไม่สะสมสิ่งของไม่ใช้แล้ว 3) ภายนอก/ภายในอาคารมีท่อระบายน้ำที่เหมาะสม, 4) อาคารผลิตมั่นคงแข็งแรงออกแบบง่ายต่อการทำความสะอาด, 5) อาคารผลิตป้องกันสัตว์แมลงเข้าสู่บริเวณผลิต/สัมผัสอาหาร 6) อาคารผลิตมีพื้นที่ในการผลิตที่เพียงพอ แยกพื้นที่การผลิตอาหารออกจากที่พักอาศัย/การผลิตผลิตภัณฑ์อื่นที่มิใช่อาหาร/บริเวณรับประทานอาหารของพนักงาน, 7) อาคารผลิต มีพื้นที่ในการผลิตเป็นสัดเป็นส่วน และเป็นไปตามสายงานการผลิต, 8) อาคารผลิต มีห้องบรรจุหรือมีมาตรการจัดการพื้นที่บรรจุเพื่อป้องกันการปนเปื้อนซ้ำหลังการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์แล้ว, 9) อาคารผลิต มีแสงสว่างเพียงพอ, และ 10) อาคารผลิต มีระบบระบายอากาศที่ควบคุมทิศทางการไหลของอากาศไม่ให้เกิดการปนเปื้อน และมีระบบระบายอากาศที่เพียงพอ

ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิตการทำความสะอาดและการบำรุงรักษา ต้องพิจารณาถึงรายละเอียดดังนี้ 1) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิตที่สัมผัสกับอาหาร มีการออกแบบที่ถูกสุขลักษณะ, 2) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิตติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม, 3) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิตความเหมาะสม สัมพันธ์กับชนิดของอาหารที่ผลิต กรรมวิธีการผลิต จำนวนที่เพียงพอ, 4) โต๊ะหรือพื้นผิวปฏิบัติงาน

สัมผัสกับอาหารโดยตรง ออกแบบถูกสุขลักษณะ, 5) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต มีที่การทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ และจัดเก็บอุปกรณ์ที่ทำความสะอาดแล้ว เป็นสัดเป็นส่วน ถูกสุขลักษณะ 6) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต ต้องมีการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดี, และ 7) อุปกรณ์การชั่งวัดตวง มีความเหมาะสม เพียงพอมีความเที่ยงตรงแม่นยำ มีการสอบเทียบอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

ด้านการควบคุมการผลิต ต้องพิจารณาถึงรายละเอียด ดังนี้ 1) วัตถุดิบ ส่วนผสม และวัตถุเจือปนอาหาร มีการคัดเลือก/เก็บรักษา/ลดการปนเปื้อน, 2) ภาชนะบรรจุที่สัมผัสอาหารมีการคัดเลือก/เก็บรักษาขนย้าย/ทำความสะอาดหรือฆ่าเชื้อก่อน, 3) การผสมมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารต้องเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด ชั่งตวงด้วยอุปกรณ์เหมาะสม ผสมอย่างทั่วถึง มีบันทึกผล รวมถึงสารช่วยในการผลิต, 4) มีการควบคุมกระบวนการการลดและขจัดอันตรายด้านจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย, 5) กรณีการผลิตไม่มีกระบวนการการลดและขจัดอันตรายด้านจุลินทรีย์ ต้องเข้มงวดในการควบคุมการปนเปื้อนตลอดกระบวนการผลิต, 6) การบรรจุและปิดผนึกอย่างเหมาะสม ตรวจสอบความสมบูรณ์ของการปิดผนึก ฉลากมีสภาพสมบูรณ์ มีข้อมูลผลิตภัณฑ์อย่างที่เพียงพอ, 7) ในกระบวนการผลิต มีการขนย้าย วัตถุดิบ ส่วนผสมและผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่ปนเปื้อนข้าม, 8) มีการบ่งชี้ชนิดรุ่นการผลิต แหล่งที่มาของวัตถุดิบ ส่วนผสม ภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์สุดท้าย ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานเพื่อตามสอบย้อนกลับ, 9) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามประกาศ โดยมีผลการตรวจวิเคราะห์ยืนยันอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง, 10) มีบันทึกเกี่ยวกับชนิด ปริมาณการผลิต และข้อมูลการจัดจำหน่าย รวมทั้งมีวิธีการเรียกคืนสินค้า, 11) มีการจัดการผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้รองรับมาตรฐานอย่างเหมาะสม, 12) เก็บบันทึกและรายงาน, และ 13) มีการตรวจประเมินตนเองโดยหน่วยงานภายในหรือหน่วยงานภายนอก

ด้านการสุขาภิบาล ต้องพิจารณาถึงรายละเอียด ดังนี้ 1) น้ำที่ใช้ ต้องเป็นน้ำสะอาดเหมาะสมตามวัตถุประสงค์, 2) ห้องส้วม และอ่างล้างมือสะอาด, 3) สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับเปลี่ยนเสื้อผ้าเก็บของใช้ส่วนตัวของผู้ปฏิบัติงาน, 4) อ่างล้างมือบริเวณผลิต, 5) มาตรการควบคุมและกำจัดสัตว์และแมลง, 6) การจัดการขยะ, 7) มาตรการจัดการสารเคมี, และ 8) มาตรการจัดการกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสัตว์และแมลง การทำความสะอาดฆ่าเชื้อ

ด้านลักษณะส่วนบุคคล ต้องพิจารณาถึงรายละเอียด ดังนี้ 1) ไม่เป็นโรคหรือพาหะของโรค, 2) รักษาความสะอาดของร่างกาย เช่น เล็บสั้น ไม่ทาสีเล็บ, 3) ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งก่อนเริ่มปฏิบัติงาน, 4) กรณีสวมถุงมือสัมผัสอาหาร ถุงมือต้องอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์สะอาด ถูกสุขลักษณะ, 5) สวมหมวกคลุมผม หรือผ้าคลุม ชุดกันเปื้อน และรองเท้าที่สะอาดขณะปฏิบัติงาน รวมทั้งผ้าปิดปากตามความจำเป็น, 6) ไม่บริโภคอาหาร ไม่สูบบุหรี่ในขณะปฏิบัติงาน และไม่นำของใช้ส่วนตัวเข้าไปในบริเวณผลิต, และ 7) มีการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานแต่ละระดับอย่างเหมาะสมพร้อมหลักฐานการฝึกอบรม และติดป้ายคำเตือนด้านสุขลักษณะ

จากเกณฑ์การประเมินสุขลักษณะที่ดีในการผลิตทั้ง 5 ด้าน ในข้างต้น ถูกนำมาใช้ในการออกแบบแบบประเมินศักยภาพปัจจุบันของสถานที่ผลิต พริกลาบ สันผักแค ของวิสาหกิจชุมชนบ้านสันผักแค หมู่ที่ 5 ตำบลม่วงคำ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย กับ หลักการสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 420 พ.ศ. 2563 ผลลัพธ์สุดท้ายของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อให้ผู้ผลิตได้ทราบถึงเสนอแนวทางการยกระดับศักยภาพสถานที่ผลิต พริกลาบ สันผักแค สำหรับการขอรับใบอนุญาตจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ตลอดจนการของรับรองมาตรฐานหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Manufacturing Practice: GMP) หรือ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงกระบวนการผลิต พริกลาบ สันผักแค

การปรับปรุงกระบวนการผลิต พริกลาบ สันผักแค เริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิต ด้วย แผนภูมิการไหลกระบวนการ (Flow Process Chart) จากนั้นทำการพิจารณาขั้นตอนที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต พริกลาบ สันผักแค นำไปสู่การประยุกต์ใช้แนวคิด ECRS เพื่อลดความสูญเสียจากการที่ต้นทุนเกิดความเสียหาย หรือต้นทุนที่ไม่ได้สร้างผลตอบแทนใด ๆ ให้กับองค์กร นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มผลผลิตและกำไรให้มากขึ้น โดยแนวคิดนี้เป็นวิธีการกำจัดความสูญเปล่าด้วยการกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และ การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหลักการบริหารจัดการแบบลีน (Lean Management) หรือ กล่าวคือเป็นหลักการที่สนับสนุนให้มีการบริหารจัดการองค์กรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน [6] อดิกานต์ ม่วงเงิน (2562) ทำการศึกษา เรื่อง การประยุกต์ใช้เทคนิคแบบลีน (ECRS+IT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานระบบตู้รับคืนหนังสืออัตโนมัติ [7] สรณ์ศิริ เรืองโลก (2561) ทำการศึกษา เรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพของสายการผลิตสมอลล์เอิรท์ลีคเบรกเกอร์ [8] จุฑาภรณ์ แก้วสุด (2562) ทำการศึกษา เรื่อง การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการประยุกต์ใช้แนวคิดลีน กรณีศึกษา: โรงงานผลิตถุงมือยาง จ. สงขลา [9] ธีรวัชร แก้วเปี้ย, ธนพล แสงสุวรรณ, พิมพ์ชนก ตามนต์ (2562) ทำการศึกษา เรื่อง การปรับปรุงเวลามาตรฐานในกระบวนการอบแห้งผลไม้โดยใช้หลักการ ECRS [10] อินทะโน, จุฑาทิพย์ (2565) ทำการศึกษา เรื่อง การลดความสูญเปล่าในกระบวนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยเทคนิคลีน [11]

ขั้นตอนที่ 4 การออกแบบสถานที่ผลิต สถานที่จัดเก็บวัตถุดิบ และสถานที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์

การออกแบบสถานที่ผลิต สถานที่จัดเก็บวัตถุดิบ และสถานที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์ เริ่มจากการดำเนินการหาความสัมพันธ์ของกิจกรรม ด้วย แผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart) ในรูปแบบของแผนการเชิงปฏิบัติการของการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning: SLP) เป็นการวิเคราะห์การไหลของวัสดุขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ ปริมาณ และขบวนการผลิต การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรมนั้นจะอาศัยผลิตภัณฑ์ ปริมาณ สิ่งสนับสนุนการผลิตและเวลา มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม แผนภูมิความสัมพันธ์เป็นเครื่องมือช่วยในการหาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ โดยการสร้างจะมีขั้นตอนดังนี้ 1) กำหนดกิจกรรมต่าง ๆที่จำเป็นสำหรับการจัดวาง แล้วกรอกลงในช่องที่บ่งบอกว่ากิจกรรมบนแผนภูมิความสัมพันธ์ 2) ระบุระดับความสัมพันธ์ของแต่ละคู่กิจกรรมลงในช่องสี่เหลี่ยม ซึ่งมีระดับความสัมพันธ์ในช่องที่ให้ไว้ 1 ช่องจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของคู่กิจกรรม 1 คู่ ค่าระดับความสัมพันธ์กำหนดเป็น A, E, I, O, U และ X โดยได้เลือกมาจากหลักการดังนี้ A (Absolutely Necessary) เมื่อระดับความสัมพันธ์มากที่สุด เป็นคู่กิจกรรมที่ต้องอยู่ติดก่อนหรือใกล้กันมากที่สุด, ที่ E (Especially Important) มีระดับความสัมพันธ์มาก เป็นระดับความสัมพันธ์พิเศษ แต่น้อยกว่าระดับ A, ที่ I (Important) มีระดับความสัมพันธ์ปานกลาง เป็นระดับความสัมพันธ์ที่สำคัญ แต่น้อยกว่าระดับ E, ที่ O (Ordinary) มีระดับความสัมพันธ์น้อย เป็นระดับความสัมพันธ์แบบธรรมดาน้อยกว่าระดับ I, ที่ U (Unimportant) มีระดับความสัมพันธ์น้อยที่สุด เป็นระดับความสัมพันธ์ที่ไม่มีความสำคัญ ตลอดจน ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย ที่ X (Prohibited) [12] พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล, อุษณีษ์ คำพูล, สมบุญ เจริญวิไลศิร(2563) ทำการศึกษา เรื่อง การออกแบบแผนผังทางเลือกสำหรับโรงงานแปรรูปผักและผลไม้ [13] นันทพันธ์ กนกศิริรุจิษยา (2560) ทำการศึกษา เรื่อง การปรับปรุงผังโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์ประตูหน้าต่างอลูมิเนียม [14] สหพล มรรคผล, บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์ (2563) ทำการศึกษา เรื่อง การออกแบบผังโรงซ่อมแซมถังก๊าซโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ [15] เจนจิรา

สุขศรีสวัสดิ์, ปาณิสรา เกิดทอง (2562) ทำการศึกษา เรื่อง การออกแบบและจัดวางผังโรงงาน กรณีศึกษาโรงงานเฟอร์นิเจอร์ [16] พิชญาภรณ์ เอกศิริ, รัฐยา พรหมหิตาทร (2562) ทำการศึกษา เรื่อง การออกแบบและวางผังสินค้าด้วยการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning: SLP) [17]

ผลการศึกษา

ผลการประเมินสุขลักษณะที่ดีในการผลิต พริกลาบ สันผักแค ปัจจุบันของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษา ด้านที่ 1 สถานที่ตั้งอาคารผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา มีศักยภาพความพร้อมตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ที่ร้อยละ 70.00 พบสิ่งที่ผู้ผลิตต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุง 3 จุด ได้แก่ 1.1) อาคารผลิต ยังไม่มีพื้นที่ในการผลิตเป็นสัดเป็นส่วน และไม่เป็นไปตามสายงานการผลิต 1.2) อาคารผลิต ยังมีแสงสว่างไม่เพียงพอ 1.3) อาคารผลิต ยังไม่มีระบบระบายอากาศที่เพียงพอ ด้านที่ 2 เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต การทำความสะอาดและการบำรุงรักษา มีศักยภาพความพร้อมตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ที่ร้อยละ 37.50 พบสิ่งที่ผู้ผลิตต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุง 4 จุด ได้แก่ 2.1) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิตที่สัมผัสกับอาหาร บางจุดยังไม่มีการออกแบบที่ถูกสุขลักษณะ 2.2) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต บางจุดยังไม่ถูกติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม 2.3) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต บางจุดยังไม่มีตารางการทำความสะอาด และยังไม่มีการจัดเก็บอุปกรณ์ที่ทำความสะอาดแล้วเป็นสัดเป็นส่วน ถูกสุขลักษณะ เท่าที่ควร 2.4) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต ยังไม่มีแผนการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดีอยู่เสมอ ด้านที่ 3 การควบคุมกระบวนการผลิต มีศักยภาพความพร้อมตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ที่ร้อยละ 69.23 พบสิ่งที่ผู้ผลิตต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุง 4 จุด ได้แก่ 3.1) ยังไม่มีแผนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนเกี่ยวกับการคัดเลือกภาชนะบรรจุที่สัมผัสอาหาร การเก็บรักษาการขนย้าย การทำความสะอาด การฆ่าเชื้อก่อนการผลิต เพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้าม 3.2) กระบวนการผลิตยังมีการขนย้าย วัตถุดิบ ส่วนผสมและผลิตภัณฑ์สุดท้ายปนเปื้อนข้าม เนื่องจากพื้นที่ในการผลิตยังไม่เป็นสัดเป็นส่วน และยังไม่เป็นไปตามสายงานการผลิต 3.3) สถานประกอบการยังไม่มีการบ่งชี้รุ่นการผลิต การบันทึกแหล่งที่มาของวัตถุดิบ เพื่อการตรวจสอบย้อนกลับ 3.4) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายยังไม่มีการตรวจวิเคราะห์ยืนยันคุณภาพ ด้านที่ 4 การสุขาภิบาลมีศักยภาพความพร้อมตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ที่ร้อยละ 62.50 พบสิ่งที่ผู้ผลิตต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุง 3 จุด 4.1) ยังขาดอ่างล้างมือสะอาดที่เหมาะสมให้กับผู้ปฏิบัติงาน 4.2) ยังขาดพื้นที่เปลี่ยนเสื้อผ้า ช่องเก็บของใช้ส่วนตัวของผู้ปฏิบัติงาน 4.3) ยังไม่มีมาตรการการกำจัดสัตว์และแมลง การทำความสะอาดฆ่าเชื้อ ดังแสดงสรุปผลการประเมินสุขลักษณะที่ดีในการผลิต พริกลาบ สันผักแค ทั้ง 5 ด้าน ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินสุขลักษณะที่ดีในการผลิต พริกลาบ สันผักแค

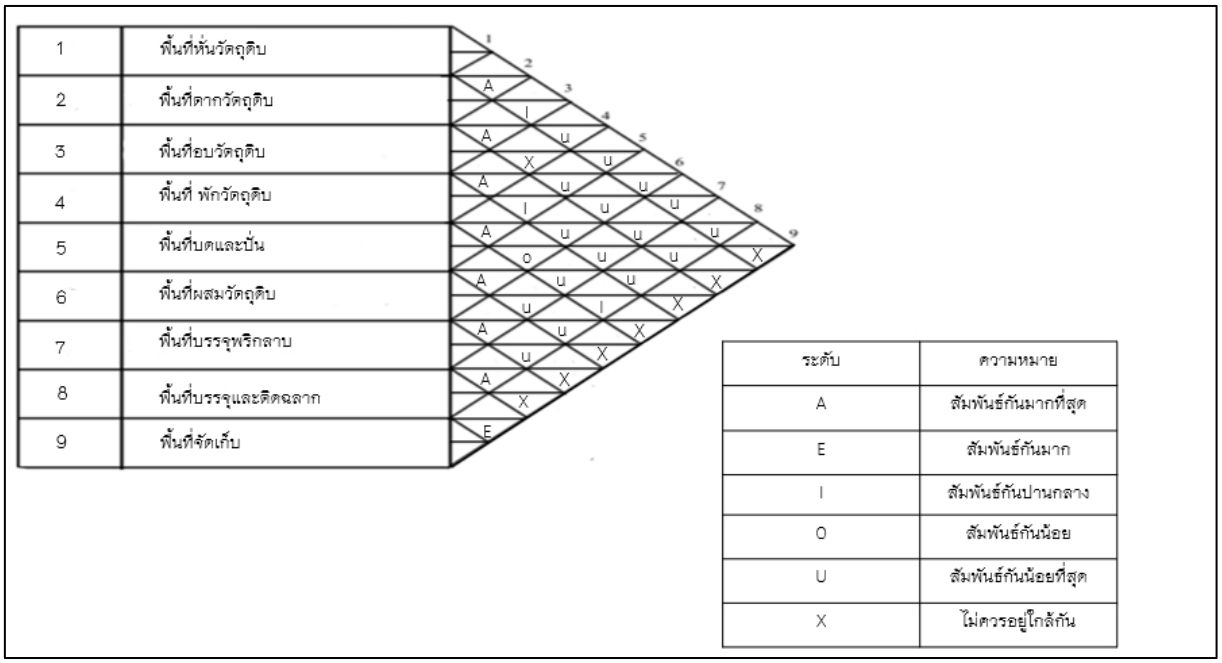
ข้อมูลในแต่ละด้าน	ร้อยละ
1) ด้านสถานที่ตั้งอาคารผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา	70.00
2) ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิตการทำความสะอาดและการบำรุงรักษา	37.50
3) ด้านการควบคุมการผลิต	69.23
4) ด้านการสุขาภิบาล	62.50
5) ด้านสุขลักษณะส่วนบุคคล	100.00
ค่าเฉลี่ย	**67.85**

จากข้อมูลตารางที่ 2 ผลการประเมินสุขลักษณะที่ดีในการผลิต พบว่า 1) ด้านสถานที่ตั้งอาคารผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา ซึ่งต้องมีการปรับปรุงในกระบวนการผลิต คือ 1.1) จัดพื้นที่ในอาคารผลิตให้เป็นสัดเป็นส่วน 1.2) เพิ่มแสงสว่างในพื้นที่อาคารผลิต และ 1.3) เพิ่มช่องระบายอากาศให้มีอากาศถ่ายเท 2) ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิตการทำความสะอาดและการบำรุงรักษา 2.1) ออกแบบเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิตที่สัมผัสกับอาหาร ให้ถูกสุขลักษณะ 2.2) ติดตั้งเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และ 2.3) ควรมีการจัดทำตารางการทำความสะอาดในแต่ละวัน 3) ด้านการควบคุมการผลิต 3.1) จัดทำแผนการเกี่ยวกับการคัดเลือกภาชนะบรรจุที่สัมผัสอาหาร 3.2) ทำการบ่งชี้รุ่นการผลิต จดบันทึกแหล่งที่มาของวัตถุดิบ และ 3.4) ส่งตรวจผลิตภัณฑ์เพื่อวิเคราะห์ยืนยันคุณภาพ ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และ 4) ด้านการสุขาภิบาล 4.1) สิ่งอำนวยความสะดวก เช่น อ่างล้างมือ ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า ช่องเก็บของใช้ส่วนตัวของผู้ปฏิบัติงาน และ 4.2) ควรมีมาตราการในเรื่องการกำจัดแมลง ทั้งนี้เพื่อให้การยกระดับศักยภาพสถานที่ผลิตตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิตกรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนบ้านสันผักแค ให้มีเปอร์เซ็นต์ร้อยละการประเมินที่สูงขึ้นภายหลังการปรับปรุงและพัฒนา โดยมุ่งปรับปรุงพื้นที่ในการผลิตให้เป็นสัดเป็นส่วนและเป็นไปตามสายงานการผลิต โดยในเบื้องต้นได้วิเคราะห์ถึงขั้นตอนการผลิตก่อนการปรับปรุงในตารางที่ 1 มาพิจารณาตามขั้นตอนที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต พริกลาบ สันผักแค และประยุกต์ใช้แนวคิด ECRS สู่การปรับปรุงกระบวนการผลิต ด้วย แผนภูมิการไหลกระบวนการ (Flow Process Chart) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กระบวนการผลิต พริกลาบ สันผักแค หลังปรับปรุง

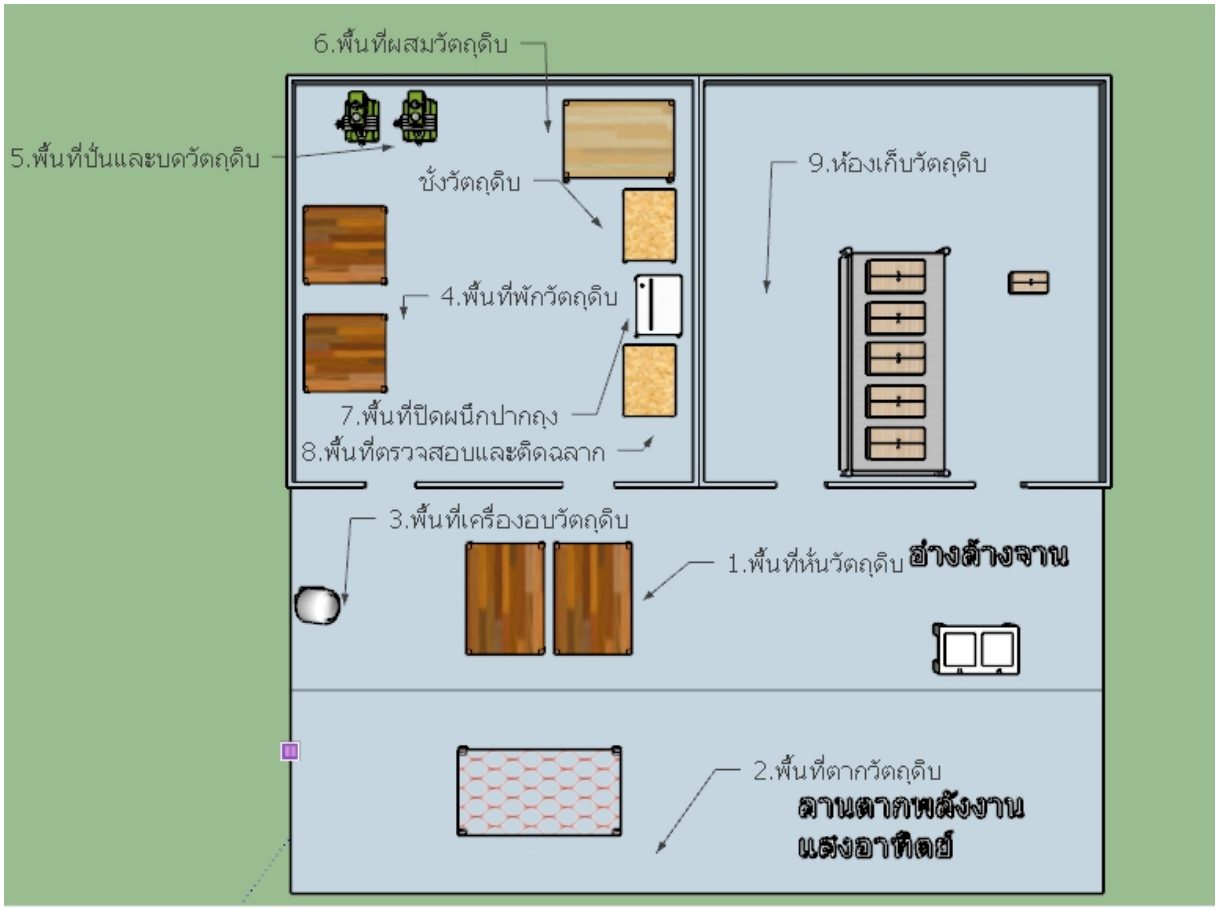
ลำดับที่	ขั้นตอน	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
1	หั่นวัตถุดิบ	-	480		
2	เคลื่อนย้ายไปลานตาก	20.00	14		
3	ตากแห้งวัตถุดิบ	-	1,200		
4	เคลื่อนย้ายไปเครื่องอบอัตโนมัติ	13.00	30		
5	นำวัตถุดิบเข้าเครื่องอบอัตโนมัติ	-	300		
6	เคลื่อนย้ายวัตถุดิบไปพัก	10.00	8		
7	พักวัตถุดิบให้เย็น	-	180		
8	เคลื่อนย้ายไปยังเครื่องบดและปั่น	9.00	8		
9	บดและปั่นวัตถุดิบให้ละเอียด	-	360		
10	เคลื่อนย้ายไปยังที่ผสม	9.00	12		
11	ผสมวัตถุดิบตามอัตราส่วน	-	180		
12	ชั่งวัตถุดิบให้ได้ตามน้ำหนักถุงกิโล	-	70		
13	ปิดผนึกปากถุงบรรจุภัณฑ์	-	70		
15	เคลื่อนย้ายพื้นที่จัดเก็บ	20.00	15		
16	จัดเก็บ	-	-		
		81.00	**2,809**		

กระบวนการผลิต พริกลาบ สันผักแค ของวิสาหกิจชุมชนบ้านสันผักแค หมู่ที่ 5 ตำบลม่วงคำ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตทั้งสิ้น 16 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอน การดำเนินการ 5 ขั้นตอน การเคลื่อนย้าย 6 ขั้นตอน การรอคอย 2 ขั้นตอน การตรวจสอบ 2 ขั้นตอน และ การจัดเก็บ 1 ขั้นตอน ระยะทางทั้งสิ้น 81 เมตร คิดเป็นร้อยละ 31.93 ของระยะทางก่อนการปรับปรุง ตลอดจนระยะเวลาทั้งสิ้น 2,809 นาที คิดเป็นร้อยละ 6.99 ของเวลาก่อนการปรับปรุง จากกระบวนการผลิตใหม่ในตารางที่ 3 นำมาสู่การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผลิตทั้ง 9 โซน ร่วมกับประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โรงผลิต พริกลาบ สันผักแค หลังปรับปรุง

จากภาพที่ 2 คณะผู้วิจัยได้แสดงความสัมพันธ์พื้นที่ที่มีกระบวนการต่อเนื่องกัน ตามตารางที่ 3 ให้มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด เช่น พื้นที่หั่นวัตถุดิบมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดกับพื้นที่ตากวัตถุดิบ พื้นที่ตากวัตถุดิบมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดกับพื้นที่อบวัตถุดิบ เป็นต้น จึงแทนสัญลักษณ์ความสัมพันธ์ ด้วย A พื้นที่ที่ให้ความสัมพันธ์รองลงมา ตัวอย่างเช่น พื้นที่บรรจุและติดฉลากมีความสัมพันธ์กันมากกับพื้นที่จัดเก็บจึงแทนสัญลักษณ์ความสัมพันธ์ ด้วย E พื้นที่ที่ให้ความสัมพันธ์รองลงมา ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่หั่นวัตถุดิบมีความสัมพันธ์กันปานกลางกับพื้นที่อบวัตถุดิบ พื้นที่อบวัตถุดิบสัมพันธ์กันปานกลางกับพื้นที่บดและปั่น พื้นที่พักวัตถุดิบสัมพันธ์กันปานกลางกับพื้นที่บรรจุและติดฉลากจึงแทนสัญลักษณ์ความสัมพันธ์ ด้วย I พื้นที่ที่ให้ความสัมพันธ์กันรองลงมาอีก ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่พักวัตถุดิบมีความสัมพันธ์กันน้อยกับพื้นที่ผสมวัตถุดิบจึงแทนสัญลักษณ์ความสัมพันธ์ด้วย O ไม่ใช่กระบวนการที่ต่อเนื่องกันและไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันพื้นที่จัดเก็บเป็นพื้นที่ที่ควรแยกออกจากพื้นที่ผลิตเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนข้าม ตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต แต่มีปฏิสัมพันธ์กันมากกับพื้นที่บรรจุและติดฉลาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องกัน นอกเหนือจากนั้นเพื่อให้เห็นถึงแนวทางการปรับปรุงผังการทำงานจึงได้นำเสนอถึงการวางแผนโรงผลิต พริกลาบ สันผักแค ใหม่ ด้วย โปรแกรมจำลอง 3 มิติ SketchUp ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โรงผลิต พริกลาบ สันผักแค หลังปรับปรุง

อภิปรายและสรุปผล

การประเมินสุขลักษณะที่ดีในการผลิต พริกลาบ สันผักแค ปัจจุบันของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษา ด้านที่ 1 สถานที่ตั้งอาคารผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา มีศักยภาพความพร้อมตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ที่ร้อยละ 70.00 พบสิ่งที่ผู้ผลิตต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุง 3 จุด ได้แก่ 1.1) อาคารผลิต ยังไม่มีพื้นที่ในการผลิตเป็นสัดเป็นส่วน และไม่เป็นไปตามสายงานการผลิต 1.2) อาคารผลิต ยังมีแสงสว่างไม่เพียงพอ 1.3) อาคารผลิต ยังไม่มีระบบระบายอากาศที่เพียงพอ ด้านที่ 2 เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต การทำความสะอาดและการบำรุงรักษา มีศักยภาพความพร้อมตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ที่ร้อยละ 37.50 พบสิ่งที่ผู้ผลิตต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุง 4 จุด ได้แก่ 2.1) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิตที่สัมผัสกับอาหาร บางจุดยังไม่มีการออกแบบที่ถูกสุขลักษณะ 2.2) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต บางจุดยังไม่ถูกติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม 2.3) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต บางจุดยังไม่มีตารางการทำความสะอาด และยังไม่มีการจัดเก็บอุปกรณ์ที่ทำความสะอาดแล้วเป็นสัดเป็นส่วน ถูกสุขลักษณะ เท่าที่ควร 2.4) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต ยังไม่มีแผนการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดีอยู่เสมอ ด้านที่ 3 การควบคุมกระบวนการผลิต มีศักยภาพความพร้อมตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ที่ร้อยละ 69.23 พบสิ่งที่ผู้ผลิตต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุง 4 จุด ได้แก่ 4.1) ยังไม่มีแผนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนเกี่ยวกับการคัดเลือกภาชนะบรรจุที่สัมผัสอาหาร การเก็บรักษาการขนย้าย การทำความสะอาด การฆ่าเชื้อก่อนการผลิต เพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้าม 4.2) กระบวนการผลิตยังมีการขนย้าย วัตถุดิบ ส่วนผสมและผลิตภัณฑ์สุดท้ายปนเปื้อนข้าม เนื่องจากพื้นที่ใน

การผลิตยังไม่เป็นสัดเป็นส่วน และยังไม่เป็นไปตามสายงานการผลิต 4.3) สถานประกอบการยังไม่มีการบ่งชี้รุ่นการผลิต การบันทึกแหล่งที่มาของวัตถุดิบ เพื่อการตรวจสอบย้อนกลับ 4.4) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายยังไม่มีการตรวจวิเคราะห์ยืนยันคุณภาพ ด้านที่ 4 การสุขาภิบาลมีศักยภาพความพร้อมตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ที่ร้อยละ 62.50 พบสิ่งที่ผู้ผลิตต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุง 3 จุด 5.1) ยังขาดอ่างล้างมือสะอาดที่เหมาะสมให้กับผู้ปฏิบัติงาน 5.2) ยังขาดพื้นที่เปลี่ยนเสื้อผ้า เก็บของใช้ส่วนตัวของผู้ปฏิบัติงาน 5.3) ยังไม่มีมาตรการการกำจัดสัตว์และแมลง การทำความสะอาดฆ่าเชื้อ

การวางผังโรงผลิต พริกลาบ สันผักแค ใหม่ข้างต้นจะสามารถแก้ไขปัญหาและช่วยเพิ่มคะแนนการประเมินสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ดังนี้ ด้านที่ 1 สถานที่ตั้งอาคารผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา สามารถแก้ไขในประเด็นที่ 1.1) อาคารผลิต ยังไม่มีพื้นที่ในการผลิตเป็นสัดเป็นส่วน และไม่เป็นไปตามสายงานการผลิต และ ด้านที่ 2 เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต การทำความสะอาดและการบำรุงรักษา สามารถแก้ไขในประเด็นที่ 2.2) เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต บางจุดยังไม่ถูกติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม ตลอดจน ด้านที่ 3 การควบคุมกระบวนการผลิต สามารถแก้ไขในประเด็นที่ 3.2) กระบวนการผลิตยังมีการขนย้าย วัตถุดิบ ส่วนผสมและผลิตภัณฑ์สุดท้ายปนเปื้อนข้าม เนื่องจากพื้นที่ในการผลิตมีการจัดใหม่อย่างเป็นสัดเป็นส่วน และเป็นไปตามสายงานการผลิต

การการวางผังโรงผลิต พริกลาบ สันผักแค ใหม่ อย่างเป็นสัดเป็นส่วน และเป็นไปตามสายงานการผลิตดังที่ได้อย่างในข้างต้นแล้ว กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมีแผนการย้ายอาคารผลิตใหม่ ซึ่งในการจัดโรงผลิตใหม่ พริกลาบ สันผักแค ต้องคำนึงถึงการทำ 5ส. ได้แก่ สะสาง คือ การลดความสูญเปล่า, สะดวก คือ การเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน, สะอาด คือ การตรวจสอบ, สร้างมาตรฐาน คือ การลดความผันแปรในการทำงาน, และ สร้างวินัย คือ การรักษาสภาพของ 5ส ไว้เพิ่มเติม [18] อีกทั้งอาคารผลิตใหม่อาจจะต้องคำนึงถึงแสงสว่างในอาคารผลิต และการระบายอากาศ กล่าวคือต้องมีการเพิ่มแสงสว่างให้มากเพียงพอต่อการปฏิบัติงานและมีการระบายอากาศที่เพียงพอ เพื่อไม่ให้ในอาคารผลิตเกิดการอับของอากาศ ตลอดจนการมีอ่างล้างมือและพื้นที่เปลี่ยนเสื้อผ้าหรือที่เก็บของให้กับผู้ปฏิบัติงานที่เหมาะสม เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ปฏิบัติงาน นอกเหนือจากนั้นต้องมีการฆ่าเชื้อ มาตรการกำจัดสัตว์และแมลงภายในอาคารผลิตใหม่ ร่วมถึงการกำหนดแนวทางการปฏิบัติงาน เกี่ยวกับเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิตที่สัมผัสกับอาหาร ต้องมีการออกแบบให้ถูกสุขลักษณะ เพื่อป้องกันการปนเปื้อน และต้องมีมาตรการในการทำความสะอาด การจัดเก็บอุปกรณ์ และการบำรุงรักษา ให้ถูกสุขลักษณะให้อยู่ในสภาพดีเสมอตลอดจนควรมีการฝึกอบรม ขั้นตอนการปฏิบัติงาน คู่มือการปฏิบัติงาน ตลอดจนป้ายประกาศในเรื่องของ การคัดเลือกภาชนะบรรจุที่สัมผัสอาหาร การเก็บรักษา การขนย้าย การทำความสะอาด การฆ่าเชื้อก่อนการผลิต เพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้าม ประการสุดท้ายกลุ่มวิสาหกิจชุมชนควรมีแผนการพัฒนาในอนาคต เรื่อง การชี้บ่งรุ่นการผลิต ให้ทราบถึงแหล่งที่มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต เพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ รวมถึงการประกันคุณภาพ โดยการนำสินค้าที่ผลิตไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ ของภาครัฐหรือห้อปฏิบัติการที่ได้รับการรองรับมาตรฐาน เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือให้กับผลิตภัณฑ์ชุมชน พริกลาบ สันผักแค

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิสาหกิจชุมชนบ้านสันผักแค หมู่ที่ 5 ตำบลม่วงคำ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาแนวทางการยกระดับศักยภาพสถานที่ผลิต ตามหลักสุขลักษณะที่ดีในการผลิต ตลอดจนให้ความร่วมมือระหว่างการประเมินสุขลักษณะที่ดีในการผลิต อีกทั้ง ขอขอบคุณ อาจารย์หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ แขนงวิศวกรรมโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย เป็นอย่างยิ่งที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ จนกระทั่งการศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Thailand kitchenware [อินเทอร์เน็ต]. 2563; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2566. ได้จาก https://thailandkitchenware.com/th/articles/203981GMP%20%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3
2. Moungkham [อินเทอร์เน็ต]. 2562; สืบค้นข้อมูล เมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม 2566. ได้จาก http://www.moungkham.go.th/index.php
3. ร้านแหนมนันทวัน [อินเทอร์เน็ต]. 2563; สืบค้นข้อมูล เมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม 2566. ได้จาก https://products.namnuntawan.com/%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%9A/
4. Trimble [อินเทอร์เน็ต]. 2566; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม 2566. ได้จาก https://www.sketchup.com/
5. กองด่านอาหารและยา [อินเทอร์เน็ต]. 2562; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม 2566. ได้จากhttps://logistics.fda.moph.go.th/related-laws/related-laws-food-5
6. HREK.asia [อินเทอร์เน็ต]. 2566; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2566. ได้จาก https://th.hrnote.asia/orgdevelopment/220207-what-is-ecrs/
7. อติกานต์ ม่วงเงิน. การประยุกต์ใช้เทคนิคแบบลีน (ECRS+IT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานระบบตู้รับคืนหนังสืออัตโนมัติสำนักบรรณสารการพัฒนา สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์, กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์; 2662.
8. สรณ์ศิริ เรืองโลก. การปรับปรุงประสิทธิภาพของสายการผลิตสมอลล์เอิรท์ลีคเบรกเกอร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2560.
9. จุฑาภรณ์ แก้วสุด. การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการประยุกต์ใช้แนวคิดลีน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2562.
10. ธีรวัชร แก้วเปี้ย. การปรับปรุงเวลามาตรฐานในกระบวนการอบแห้งผลไม้โดยใช้หลักการ ECRS. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.) 2564; 8(2): 13-26.
11. จุฑาทิพย์อนิทะโน. การลดความสูญเปล่าในกระบวนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยเทคนิคลีน. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2565.
12. Gotokhow [อินเทอร์เน็ต]. 2566; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2566. ได้จาก https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2556/inma40756ts_ch2.pdf
13. พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล. การออกแบบแผนผังทางเลือกสำหรับโรงงานแปรรูปผักและผลไม้. วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี 2563; 16(4): 28-38.
14. นันทพันธ์ กนกศิริรุจิษยา. การปรับปรุงผังโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์ประตูหน้าต่างอลูมิเนียม, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี 2565; 6(1): 41-54.

15. สหพล มรรคผล. การออกแบบผังโรงซ่อมแซมถังก๊าซโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ธรรมศาสตร์ (2560); 6: 74-83.
16. เจนจิรา สุขศรีสวัสดิ. การออกแบบและจัดวางผังโรงงาน กรณีศึกษาโรงงานเฟอร์นิเจอร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์; 2562.
17. พิชญาภรณ์ เอกศิริ. การออกแบบและวางผังสินค้าด้วยระบบ Systematic Layout Planning. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 4 และการประชุมระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1 การยกระดับงานวิจัยเพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมอย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ 2562.
18. หอสมุดรัฐสภา [อินเทอร์เน็ต]. 2564; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2566. ได้จาก: https://library.parliament.go.th/index.php/th/digest/digest-2564-jun35

ระบบการเฝ้าสังเกตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง

A Electrical Energy Monitoring System by Using Internet of Things

สมชาย กฤตพลวิวัฒน์[1*] และ ธีวรา กฤตพลวิวัฒน์[2]

Somchai Kritpolwiwattana[1*]and Teewara Kritpolwiwattana[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งสำหรับวัดข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านเรือน หรืออาคาร ขั้นตอนการดำเนินการประกอบด้วย การออกแบบ การทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้ของระบบตรวจวัดกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า และการทดลองการเก็บข้อมูลจริง อุปกรณ์ที่ใช้คือบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU ESP8266 และโมดูล PZEM-004T ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจะถูกเก็บบนคลาวด์ของเพลตฟอร์ม Google Sheet ผลการเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้ที่เวลาทุกๆ 30 นาที ของระบบตรวจวัดกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ขณะที่ต่อวงจรกับโหลดไฟฟ้าขนาด 600 วัตต์ จะได้ว่าค่าที่วัดได้จากระบบตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า และผลการทดสอบการเก็บข้อมูลจริงทุกๆ 10 นาที โดยใช้โหลดขนาด 100 วัตต์ ระบบตรวจวัดจะแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของโหลดในรูปตารางบนเพลตฟอร์ม Google Sheet ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า เพื่อวางแผนการประหยัดหรือการลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าต่อไป

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง, ไมโครคอนโทรเลอร์, มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า

Abstract

This research presents electrical energy monitoring system by using the Internet of Things to measure the electricity consumption of electrical load in home or building. The implementation consists of design, testing, comparison of the measured data with electrical instruments data, and actual experiments. The equipment based on NodeMCU ESP8266 microcontroller board and the PZEM-004T module. Electrical energy data was saved to a cloud storage of the Google Sheet platform. Results of comparing the measured data at every 30 minutes of the monitoring system with electrical instruments, while connected to 600 watts load. The data measured by the monitoring system are closed to the data measured by electrical instruments. And the results of collecting actual data every 10 minutes using 100 watts load, the monitoring system will display the data of the load in a table format on the Google Sheet platform. It can use to analyze the electricity consumption, planing energy savings or reductions in electricity costs in future.

Keywords: Internet of things, Microcontroller, Power Meter

---

[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[2] โรงเรียนบ้านตรอกนอง ต.ตรอกนอง อ.ขลุง จ.จันทบุรี 22110

[1] Department of Physics Faculty of Science Naresuan University, Phitsanulok, 65000

[2]Bantroknong School, troknong Subdistrict, Khlung District, Chanthaburi, 22110

* Corresponding author e-mail: somchaikr@nu.ac.th

บทนำ

การใช้ปริมาณไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทุกวันและราคาต่อหน่วยของพลังงานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ผู้บริโภคมีความสนใจในการหาวิธีการเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบและช่วยประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือน ทำให้ผู้บริโภคสามารถตรวจสอบค่าใช้จ่ายของค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ที่ใช้งานในบ้านเรือน ซึ่งทำการวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยมิเตอร์ไฟฟ้าเพื่อแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเรือนในช่วงระยะเวลาหนึ่งเดือนโดยแจ้งในบิลค่าไฟฟ้าที่ใช้แก่ผู้บริโภคแบบรายเดือน ซึ่งเป็นระยะเวลาของการอัปเดตข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่นานเกินไป ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าหรือใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเพื่อปรับเปลี่ยนการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ส่งผลให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้บิลค่าไฟฟ้ารายเดือนไม่สามารถแสดงข้อมูลการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชิ้นได้ ส่งผลให้ผู้บริโภคไม่สามารถประเมินการปรับลดการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ได้ [1],[2] เนื่องจากไม่สามารถสังเกตและตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ แบบรายวัน ในบางครั้งมิเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร/บ้านเรือนสามารถใช้ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เพื่อช่วยให้ผู้บริโภคสามารถควบคุมและระบุระดับความสำคัญของอุปกรณ์ไฟฟ้า และสามารถกำหนดมาตรการที่เหมาะสมสำหรับการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งการใช้มิเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชิ้นจะช่วยให้สามารถควบคุมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชิ้นได้ [3],[4],[5],[6]

เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนส่วนใหญ่มักเป็นอุปกรณ์ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมาก ได้แก่ พัดลม ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ซึ่งในบางช่วงเวลาที่เปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยไม่ได้ใช้งานจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ โดยพฤติกรรมของผู้บริโภคส่งผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงเกินความจำเป็น ส่งผลทำให้อายุการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนสั้นลง [7] รูปแบบการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าจะมีอยู่หลายวิธีซึ่งทุกวิธีของการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าจะต้องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ทำให้สามารถดำเนินการการเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยผู้บริโภคซึ่งส่งผลให้ลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ [1]

ปัจจุบันอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (IoT) ถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งอินเตอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งถูกกำหนดขึ้นโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เป็นเครือข่ายการสื่อสารที่ทำให้สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสาร เครื่องใช้ไฟฟ้า ยานพาหนะ อาคาร หรืออุปกรณ์ก่อสร้าง เป็นต้น โดยที่ส่วนประกอบของซอฟต์แวร์ เซ็นเซอร์ และส่วนเชื่อมต่อกับเครือข่าย จะถูกฝังอยู่ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อความสะดวกสำหรับการต่อเชื่อมกับหัววัด และการจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่อ่านค่าได้ หรือการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ วัตต์มิเตอร์จึงได้รับการพัฒนาให้มีส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้าที่ง่าย [8] และสามารถประยุกต์ใช้ IoT สำหรับการตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์และเฝ้าตรวจวัดระบบพลังงานไฟฟ้า [9],[10] การตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วย IoT มีความสะดวกมากเมื่อใช้บอร์ด NodeMCU ESP8266 และ PZEM-004T สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เพื่อคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ และค่าพลังงานไฟฟ้า โดยทำการเก็บรวบรวมและส่งข้อมูลปริมาณต่างๆ ของพลังงานไฟฟ้าไปยังแอปพลิเคชัน ซึ่งแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ [9] โดยเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Wi-Fi) ซึ่งทำให้สามารถใช้เครือข่ายไร้สายเพื่อส่งข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าไปยังเซิร์ฟเวอร์แบบคลาวด์ ทำให้การจัดเก็บข้อมูลด้วย IoT มีราคาถูกลง มีประสิทธิภาพสูง และเร็วขึ้น [11] โดยผู้บริโภคสามารถดึงข้อมูลที่เก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์แบบคลาวด์ได้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต [3] โดยใช้แอปพลิเคชัน Google Sheet เพื่อความสะดวกต่อการตรวจสอบปริมาณต่างๆ ของพลังงานไฟฟ้าโดยผู้ใช้ไฟฟ้า ในช่วงที่อยู่อาศัยภายในบ้านเรือนได้อย่างรวดเร็ว [4],[12]

ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีประสิทธิภาพสูง ที่เชื่อมต่อกับระบบ IoT โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ESP8266 ร่วมกับ PZEM-004T จำนวน 3 ชุดเพื่อเก็บข้อมูลและแสดงผลบนเพลตฟอร์ม

Google Sheet แบบเรียลไทย์ ที่มีการแสดงผลข้อมูลอย่างถูกต้องและมีตอบสนองที่รวดเร็วตามเวลาที่กำหนด สามารถใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งผู้วัดสามารถอ่านค่าข้อมูลพลังงานไฟฟ้าได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต หรือบนโทรศัพท์มือถือ ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตจากระยะทางไกลได้แบบเรียลไทม์ และสามารถดึงข้อมูลมาใช้สำหรับการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าได้ ส่งผลให้ผู้ใช้สามารถใช้เป็นเครื่องมือวัด เครื่องตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ ใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า และใช้เป็นข้อมูลในการจัดการเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร บ้านเรือน หรือสำนักงาน ซึ่งสามารถพัฒนาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการวิจัยด้านพลังงานไฟฟ้าได้ต่อไป

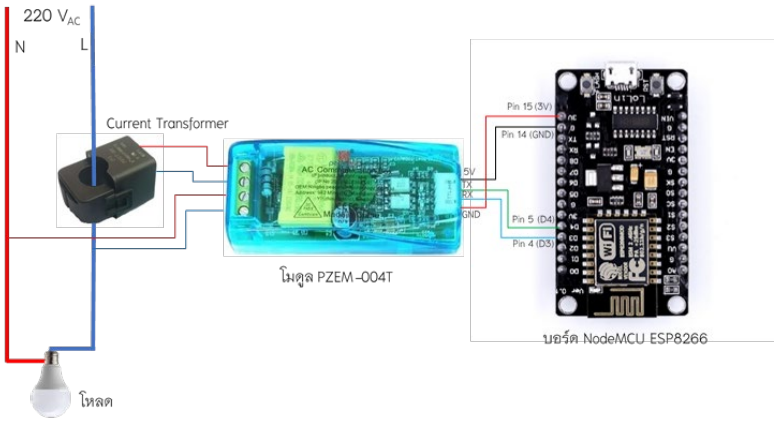
วิธีการศึกษา

วัสดุและอุปกรณ์

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับส่วนประกอบด้านฮาร์ดแวร์ ซอร์ฟแวร์ และทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง โดยมีส่วนประกอบสำคัญได้แก่บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU ESP8266 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก ใช้ไฟเลี้ยงวงจรปริมาณต่ำ มีพอร์ตสำหรับต่อเชื่อมกับวงจรด้านนอกจำนวนมาก มีวงจร Wi-Fi ฝังอยู่บนบอร์ดทำให้สามารถต่อเชื่อมกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้โดยตรง มีพอร์ต Micro-USB สำหรับต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับป้อนไฟเลี้ยงแก่บอร์ดและอัพโหลดโปรแกรมควบคุมการทำงานของบอร์ด ซึ่งสามารถพัฒนาโปรแกรมควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU ESP8266 ได้ด้วยโปรแกรม Arduino IDE โดยใช้ภาษา C/C++ และข้อดีของบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU ESP8266 คือมีพอร์ต RX และ TX สำหรับรับข้อมูลอินพุทและสามารถต่อเชื่อมกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทาง Wi-Fi ทำให้สามาถสื่อสารได้ระยะทางไกล โมดูล PZEM-004T เป็นโมดูลมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอล ที่วัดพารามิเตอร์ทางพลังงานไฟฟ้าได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า เพาเวอร์แฟกเตอร์ (power factor, pf) และความถี่ของไฟฟ้า ซึ่งสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 100 แอมแปร์ โมดูล PZEM-004T จะส่งสัญญานข้อมูลทางไฟฟ้าออกทางพอร์ตอนุกรม ทำให้การต่อวงจรใช้งานมีความง่ายมากขึ้นคือต่อสายไฟเลี้ยงวงจร จำนวน 2 เส้น และสายสัญญานจำนวน 2 เส้น รวมเป็นต่อสายไฟเพื่อเชื่อมวงจรเพียง 4 เส้นเท่านั้น

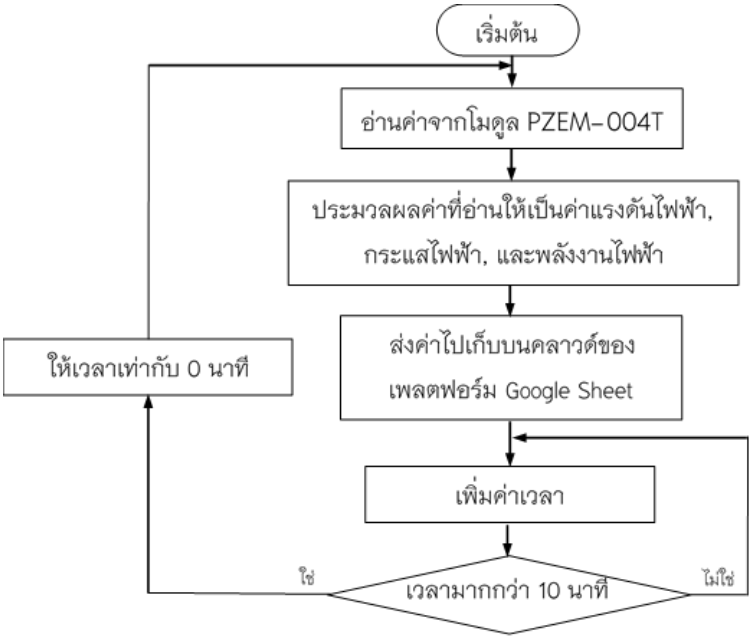
ส่วนประกอบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง

ระบบอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งที่ถูกประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้านี้ ประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU ESP8266 ที่สามารถเชื่อมต่อสัญญาน Wi-Fi เพื่อเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งสำหรับการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า โมดูล PZEM-004T เป็นเซ็นเซอร์เพื่อวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ของไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงรายละเอียดการต่อวงจรของระบบดังรูปภาพ 1 นั่นคือ ด้านเอาท์พุทของโมดูล PZEM-004T จะต่อเชื่อมขา RX และ TX กับ ขา Pin 4 (D3) และ Pin 5 (D4) ของบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU ESP8266 ตามลำดับ ส่วนด้านอินพุทของโมดูล PZEM-004T จะต่อกับหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer, CT) ที่ต่อครอบสายเฟส อยู่ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและต่อสายคร่อมสายเฟส และนิวทรอล เพื่อใช้วัดแรงดันไฟฟ้าของไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อมีโหลดไฟฟ้าต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน CT ระบบตรวจวัดจะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า โดยบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU ESP8266 จะอัพโหลดข้อมูลที่วัดได้จากโมดูล PZEM-004T เพื่อเก็บค่าบนเพลตฟอร์ม Google Sheet ทุกๆ 10 นาที แสดงรายละเอียดดังรูปภาพ 2



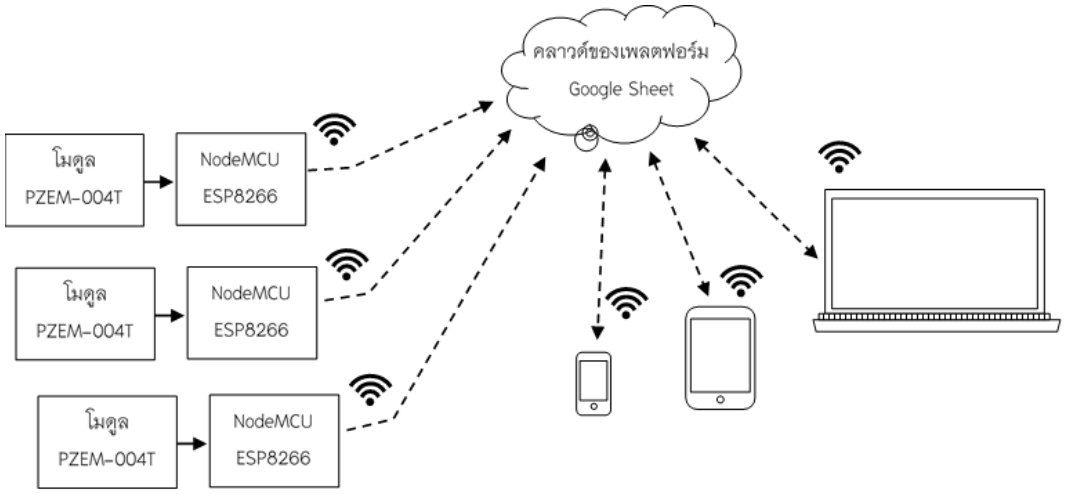
รูปภาพ 1 การต่ออุปกรณ์และโหลดของระบบตรวจวัดแต่ละชุด

เพลตฟอร์ม Google sheet เป็นเพลตฟอร์มแบบเปิด (Open-source) ที่สามารถพัฒนาได้โดยการพัฒนาโปรแกรมใน Google App Script เป็นเพลตฟอร์มที่สนับสนุน API (Application Programming Interface) สำหรับการใช้งานกับอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง เพื่อเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์โดยการใช้ HTTP protocols ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยข้อมูลจะถูกส่งจากบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU ESP8266 มาเก็บในเพลตฟอร์ม Google Sheet ทุกๆ 10 นาที ซึ่งเป็นการแสดงค่าบนเว็บไซต์แบบเรียลไทม์ในรูปของตารางแสดงข้อมูล และสามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าบนเพลตฟอร์ม Google sheet หรือแปลงไฟล์ให้อยู่ในรูป .xlsx



รูปภาพ 2 ขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจวัดแต่ละชุดที่ส่งข้อมูลไปยังเพลตฟอร์ม Google Sheet

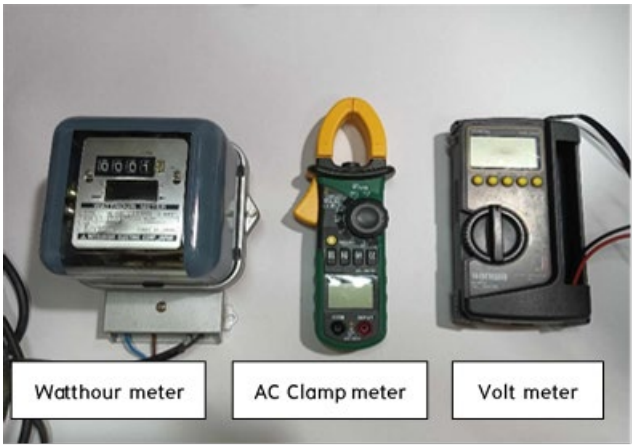
ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งในงานวิจัยนี้มีระบบตรวจวัดอยู่ 3 ชุด ซึ่งเป็นระบบที่ใช้สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยใช้โมดูล PZEM-004T เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า และส่งข้อมูลไปทางสายสัญญาณที่ต่อเชื่อมกับบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU ESP8266 ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณแล้วส่งค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าผ่านสัญญาณ Wi-Fi เพื่อต่อเชื่อมกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากนั้นข้อมูลทางไฟฟ้าที่วัดได้จะบันทึกบนคลาวด์ของเพลตฟอร์ม Google Sheet อย่างต่อเนื่อง ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลโดยใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต หรือโทรศัพท์มือถือ โดยการล็อกอินเข้าแอพพลิเคชัน Google และเปิดดูไฟล์ใน Google Sheet ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกบันทึกเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 นาที ไดอะแกรมของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งที่ประดิษฐ์ขึ้นในงานวิจัยนี้ แสดงรายละเอียดดังรูปภาพ 3

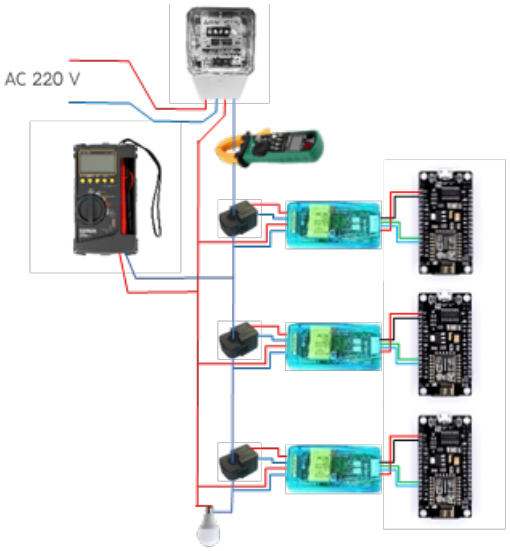


รูปภาพ 3 ไดอะแกรมของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง

การทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบการทำงานของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ประกอบด้วยขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบการวัดข้อมูลของระบบตรวจวัดที่สร้างขึ้นทั้ง 3 ชุดกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า แสดงดังรูปภาพ 4 โดยทำการทดสอบโหลดแบบค่าคงตัวที่มีลักษณะเป็นโหลดแบบตัวต้านทานไฟฟ้า ได้แก่ หลอดไฟสปอร์ตไลท์ขนาด 600 วัตต์ เพื่อใช้เปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากโมดูล PZEM-004T เทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าของไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ SANWA โมเดล CD800a ค่ากระแสไฟฟ้าของไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดได้จาก AC Clamp Meter ยี่ห้อ VIVA โมเดล MS2008A และวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จาก Watthour Meter ยี่ห้อ Mitsubishi Electric Corp, Japan ตามลำดับ โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยโมดูล PZEM-004T และทำการคำนวณค่าความผิดพลาดของค่าที่วัดได้จากโมดูล PZEM-004T เทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าชนิดต่างๆ และขั้นตอนการทดสอบการใช้งานระบบตรวจวัดเพื่อวัดพลังงานไฟฟ้าของโหลดทางไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ ที่ต่อกับระบบตรวจวัดแต่ละชุด โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที แล้วแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปของตารางในเพลตฟอร์ม Google Sheet





ก. เครื่องมือวัดทางไฟฟาที่ใช้ ข.การต่อวงจรไฟฟ้าสำหรับทดสอบเปรียบเทียบ

รูปภาพ 4 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเปรียบเทียบการวัดข้อมูลของระบบตรวจวัดกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

ผลการศึกษา

ผลการทดสอบการทำงานของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ประกอบด้วย ผลการทดสอบในกรณีที่โหลดมีค่าคงที่เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดด้วยโมดูล PZEM-004T กับเครื่องมือวัดที่ใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน โดยทำการทดสอบเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที และการทดสอบการเก็บข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าในสภาวะการใช้งานจริงจำนวน 3 ชุด โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที

ตารางที่ 1 ข้อมูลการทดสอบระบบตรวจวัดชุดที่ 1

ครั้งที่	ค่าวัดได้จากมิเตอร์			ค่าวัดได้จากโมดูล PZEM-004T ชุดที่ 1			% ความผิดพลาด		
	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	แรงดันไฟฟ้า (%)	กระแสไฟฟ้า (%)	พลังงานไฟฟ้า (%)
1	226.6	2.81	0.32	226.4	2.82	0.31	0.09	-0.36	3.13
2	226.5	2.82	0.32	226.6	2.83	0.32	-0.04	-0.35	0.00
3	226.8	2.83	0.32	226.5	2.82	0.32	0.13	0.35	0.00
4	226.7	2.82	0.33	226.5	2.81	0.32	0.09	0.35	3.03
5	226.6	2.83	0.32	226.3	2.82	0.31	0.13	0.35	3.13
6	226.3	2.82	0.32	226.4	2.83	0.32	-0.04	-0.35	0.00
7	226.4	2.82	0.32	226.5	2.83	0.32	-0.04	-0.35	0.00
8	226.5	2.83	0.30	226.6	2.82	0.32	-0.04	0.35	-6.67
9	226.6	2.82	0.32	226.5	2.82	0.33	0.04	0.00	-3.13
10	226.7	2.81	0.32	226.5	2.82	0.32	0.09	-0.36	0.00

ผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดของโมดูล PZEM-004T กับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

การทดสอบกรณีที่โหลดมีค่าคงที่ จะทำการทดสอบโดยใช้หลอดไฟสปอร์ตไลท์ขนาด 600 วัตต์ เป็นโหลดสำหรับทดสอบระบบตรวจวัดทั้ง 3 ชุดพร้อมกัน แสดงผลการทดสอบของระบบตรวจวัด ดังตารางที่ 1 ถึง 3 ซึ่งแสดงผลการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่วัดด้วยโมดูล PZEM-004T ของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง เทียบกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า โดยทำการเก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ 30 นาที รวมเวลาการทดสอบทั้งหมด 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดสอบระบบตรวจวัดชุดที่ 2

ครั้งที่	ค่าวัดได้จากมิเตอร์			ค่าวัดได้จากโมดูล PZEM-004T ชุดที่ 2			% ความผิดพลาด		
	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	แรงดันไฟฟ้า (%)	กระแสไฟฟ้า (%)	พลังงานไฟฟ้า (%)
1	226.6	2.81	0.32	226.5	2.84	0.31	0.04	-1.07	3.13
2	226.5	2.82	0.32	226.8	2.83	0.32	-0.13	-0.35	0.00
3	226.8	2.83	0.32	227.0	2.83	0.32	-0.09	0.00	0.00
4	226.7	2.82	0.33	226.6	2.83	0.31	0.04	-0.35	6.06
5	226.6	2.83	0.32	227.0	2.83	0.32	-0.18	0.00	0.00
6	226.3	2.82	0.32	226.8	2.83	0.32	-0.22	-0.35	0.00
7	226.4	2.82	0.32	226.7	2.84	0.33	-0.13	-0.71	-3.13
8	226.5	2.83	0.30	226.5	2.82	0.32	0.00	0.35	-6.67
9	226.6	2.82	0.32	226.6	2.84	0.32	0.00	-0.71	0.00
10	226.7	2.81	0.32	226.7	2.84	0.32	0.00	-1.07	0.00

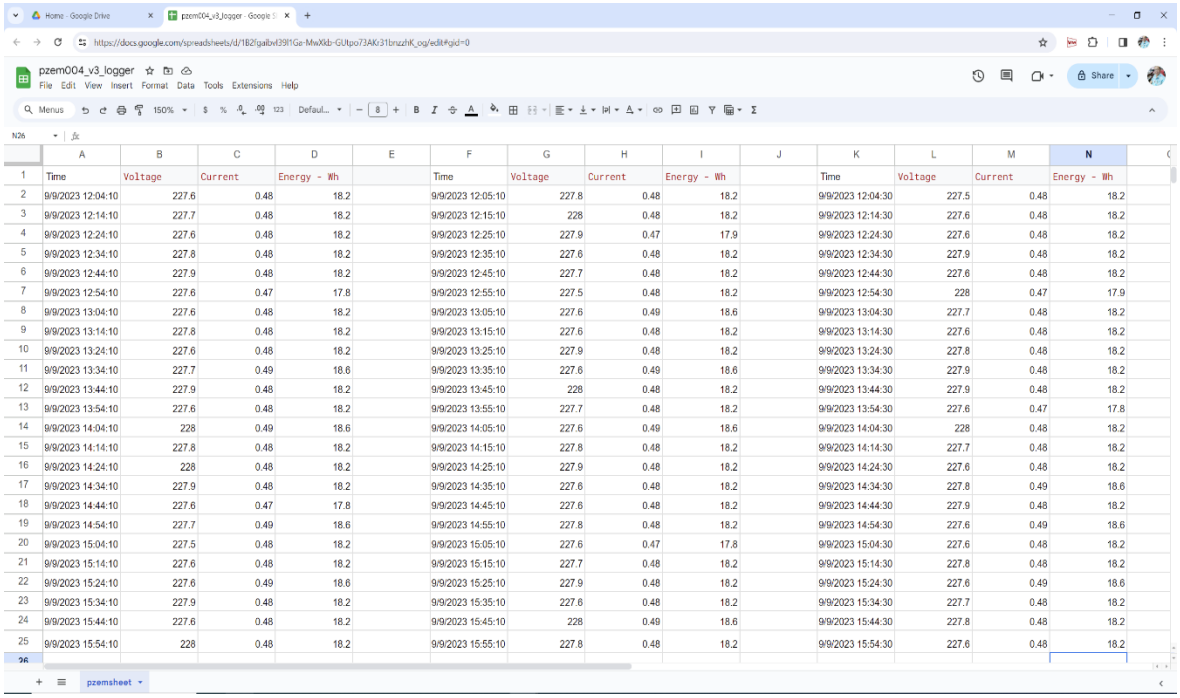
ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดสอบระบบตรวจวัดชุดที่ 3

ครั้งที่	ค่าวัดได้จากมิเตอร์			ค่าวัดได้จากโมดูล PZEM-004T ชุดที่ 3			% ความผิดพลาด		
	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	แรงดันไฟฟ้า (%)	กระแสไฟฟ้า (%)	พลังงานไฟฟ้า (%)
1	226.6	2.81	0.32	226.3	2.82	0.31	0.13	-0.36	3.13
2	226.5	2.82	0.32	226.4	2.83	0.32	0.04	-0.35	0.00
3	226.8	2.83	0.32	226.5	2.83	0.32	0.13	0.00	0.00
4	226.7	2.82	0.33	226.6	2.82	0.32	0.04	0.00	3.03
5	226.6	2.83	0.32	226.5	2.82	0.33	0.04	0.35	-3.13
6	226.3	2.82	0.32	226.5	2.82	0.32	-0.09	0.00	0.00
7	226.4	2.82	0.32	226.5	2.84	0.31	-0.04	-0.71	3.13
8	226.5	2.83	0.30	226.8	2.83	0.32	-0.13	0.00	-6.67
9	226.6	2.82	0.32	227.0	2.83	0.32	-0.18	-0.35	0.00
10	226.7	2.81	0.32	226.8	2.83	0.31	-0.04	-0.71	3.13

จากผลการทดสอบระบบตรวจวัดเพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดของโมดูล PZEM-004T กับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า จะได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ขณะที่ทำการทดสอบ จะได้ค่าอยู่ในช่วง 226.4 ถึง 226.8 โวลท์ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากโมดูล PZEM-004T ชุดที่ 1 มีความผิดพลาด -0.04 ถึง 0.13% ชุดที่ 2 มีความผิดพลาด -0.22 ถึง 0.04% และชุดที่ 3 มีความผิดพลาด -0.18 ถึง 0.13% ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก AC Clamp Meter จะได้ค่าอยู่ในช่วง 2.82 ถึง 2.84 แอมแปร์ ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากโมดูล PZEM-004T ชุดที่ 1 มีความผิดพลาด -0.36 ถึง 0.35% ชุดที่ 2 มีความผิดพลาด -1.07 ถึง 0.25% และชุดที่ 3 มีความผิดพลาด -0.71 ถึง 0.35% และค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จาก Watthour Meter ขณะที่ทำการทดสอบ จะได้ค่าอยู่ในช่วง 0.30 ถึง 0.33 kWh ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากโมดูล PZEM-004T ชุดที่ 1 มีความผิดพลาด -6.67 ถึง 3.13% ชุดที่ 2 มีความผิดพลาด -6.67 ถึง 6.06% และชุดที่ 3 มีความผิดพลาด -6.67 ถึง 3.13% ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ที่ได้จากการวัดด้วยโมดูล PZEM-004T ของระบบตรวจวัดที่สร้างขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากการอ่านค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดแต่ละชิ้นซึ่งทำการอ่านที่เวลาไม่ตรงกันและความเที่ยงตรงของโมดูล PZEM-004T ที่ใช้แต่ละชุดทำให้ได้ค่าจากการวัดที่แตกต่างกัน

การทดสอบการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าในสภาวะการใช้งานจริง

การทดสอบการเก็บข้อมูลของหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ที่ต่อกับระบบตรวจวัด จำนวน 3 ชุด โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที ข้อมูลที่เก็บจากระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งทั้ง 3 ชุดจะส่งข้อมูลทาง Wi-Fi ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อเก็บข้อมูลในคลาวด์ของเพล็ตฟอร์ม Google Sheet ที่พัฒนาขึ้นโดยการเขียนคำสั่งใน Google App Script เพื่อเก็บข้อมูลจากตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งแต่ละชุดลงในคอลัมน์ต่างๆ ของ Google Sheet ได้ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า แสดงดังรูปภาพ 5



pzem004_v3_logger

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Time	Voltage	Current	Energy - Wh		Time	Voltage	Current	Energy - Wh		Time	Voltage	Current	Energy - Wh
2	9/9/2023 12:04:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 12:05:10	227.8	0.48	18.2		9/9/2023 12:04:30	227.5	0.48	18.2
3	9/9/2023 12:14:10	227.7	0.48	18.2		9/9/2023 12:15:10	228	0.48	18.2		9/9/2023 12:14:30	227.6	0.48	18.2
4	9/9/2023 12:24:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 12:25:10	227.9	0.47	17.9		9/9/2023 12:24:30	227.6	0.48	18.2
5	9/9/2023 12:34:10	227.8	0.48	18.2		9/9/2023 12:35:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 12:34:30	227.9	0.48	18.2
6	9/9/2023 12:44:10	227.9	0.48	18.2		9/9/2023 12:45:10	227.7	0.48	18.2		9/9/2023 12:44:30	227.6	0.48	18.2
7	9/9/2023 12:54:10	227.6	0.47	17.8		9/9/2023 12:55:10	227.5	0.48	18.2		9/9/2023 12:54:30	228	0.47	17.9
8	9/9/2023 13:04:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 13:05:10	227.6	0.49	18.6		9/9/2023 13:04:30	227.7	0.48	18.2
9	9/9/2023 13:14:10	227.8	0.48	18.2		9/9/2023 13:15:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 13:14:30	227.6	0.48	18.2
10	9/9/2023 13:24:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 13:25:10	227.9	0.48	18.2		9/9/2023 13:24:30	227.8	0.48	18.2
11	9/9/2023 13:34:10	227.7	0.49	18.6		9/9/2023 13:35:10	227.6	0.49	18.6		9/9/2023 13:34:30	227.9	0.48	18.2
12	9/9/2023 13:44:10	227.9	0.48	18.2		9/9/2023 13:45:10	228	0.48	18.2		9/9/2023 13:44:30	227.9	0.48	18.2
13	9/9/2023 13:54:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 13:55:10	227.7	0.48	18.2		9/9/2023 13:54:30	227.6	0.47	17.8
14	9/9/2023 14:04:10	228	0.49	18.6		9/9/2023 14:05:10	227.6	0.49	18.6		9/9/2023 14:04:30	228	0.48	18.2
15	9/9/2023 14:14:10	227.8	0.48	18.2		9/9/2023 14:15:10	227.8	0.48	18.2		9/9/2023 14:14:30	227.7	0.48	18.2
16	9/9/2023 14:24:10	228	0.48	18.2		9/9/2023 14:25:10	227.9	0.48	18.2		9/9/2023 14:24:30	227.6	0.48	18.2
17	9/9/2023 14:34:10	227.9	0.48	18.2		9/9/2023 14:35:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 14:34:30	227.8	0.49	18.6
18	9/9/2023 14:44:10	227.6	0.47	17.8		9/9/2023 14:45:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 14:44:30	227.9	0.48	18.2
19	9/9/2023 14:54:10	227.7	0.49	18.6		9/9/2023 14:55:10	227.8	0.48	18.2		9/9/2023 14:54:30	227.6	0.49	18.6
20	9/9/2023 15:04:10	227.5	0.48	18.2		9/9/2023 15:05:10	227.6	0.47	17.8		9/9/2023 15:04:30	227.6	0.48	18.2
21	9/9/2023 15:14:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 15:15:10	227.7	0.48	18.2		9/9/2023 15:14:30	227.8	0.48	18.2
22	9/9/2023 15:24:10	227.6	0.49	18.6		9/9/2023 15:25:10	227.9	0.48	18.2		9/9/2023 15:24:30	227.6	0.49	18.6
23	9/9/2023 15:34:10	227.9	0.48	18.2		9/9/2023 15:35:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 15:34:30	227.7	0.48	18.2
24	9/9/2023 15:44:10	227.6	0.48	18.2		9/9/2023 15:45:10	228	0.49	18.6		9/9/2023 15:44:30	227.8	0.48	18.2
25	9/9/2023 15:54:10	228	0.48	18.2		9/9/2023 15:55:10	227.8	0.48	18.2		9/9/2023 15:54:30	227.6	0.48	18.2

รูปภาพ 5 ตารางบันทึกผลการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าบนเพลตฟอร์ม Google Sheet

สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการประดิษฐ์และทดสอบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งโดยการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU ESP8266 ต่อวงจรร่วมกับโมดูล PZEM-004T เพื่อทำการข้อมูลแบบหลายตำแหน่งพร้อมกันแล้วส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปเก็บไว้ในคลาวด์ของเพลตฟอร์ม Google Sheet ผลการทดสอบที่ต่อกับโหลดค่าคงที่เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ที่ได้จากตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งที่สร้างขึ้นจำนวน 3 ชุด เทียบกับเครื่องมือวัดที่ใช้ทั่วไป จะได้ว่าค่าที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน และทดสอบการใช้งานตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งเพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 3 ชุด ซึ่งทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที จะได้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในรูปของตารางในเพลตฟอร์ม Google Sheet ซึ่งสามารถทำการเขียนกราฟจากข้อมูลที่ได้ด้วย Google Sheet หรือแปลงชนิดของไฟล์ให้เป็นไฟล์ MS Excel (.xlsx) ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชิ้นได้ เพื่อใช้ประกอบการวางแผนการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้เงินสนับสนุนสำหรับการทำวิจัย และขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่อำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่และอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Abhishek R, Vikyath S, Mala K, Prasanna S. Energy Measurement, Monitoring And Control of Electrical Devices Using ARDUINO. International Journal of Advance Research in Science and Engineering. 2018; 07: 1003-1010.
2. Srividyadevi P, Pusphalatha D V, Sharma P M. Measurement of Power and Energy Using Arduino. Research Journal of Engineering Sciences. 2013; 2(10): 10-15.
3. Luechaphonthara K, Vijayalakshmi A. IoT Based Application for Monitoring Electricity Power Consumption in Home Appliances. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2019; 9(6): 4988-4992.
4. Obagade T A, Konyeha S G. Development of Alternating Current (AC) Line Monitoring Device for Power System Management. Nigeria Journal of Pure & Applied Physics. 2019; 9(1): 17–22.
5. Suhanto, Prabowo A S, Sudjoko R I, Suryono W. The electrical energy usage of monitoring system at real-time using IoT as the primary policy of energy efficiency. International Conference on Advanced Mechanical and Industrial engineering. 2022; 909(2022): 1-8.
6. Sutisna IU, Hiron H, Andang A. Power analyzer based arduino-uno validation using Kyoritsu KEW 6315 and Hioki 328-20. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019; 550(2019): 1-10.
7. Hasan M K, Ahmed M M, Pandey B, Gohel H, Islam S, Khalid I F. Internet of Things-Based Smart Electricity Monitoring and Control System Using Usage Data. Wireless Communications and Mobile Computing. 2021; 1-16.

8. Fransiska R W, Septia E M P, Vessabhu W K, Frans W, Abednego W, Hendro. Electrical Power Measurement Using Arduino Uno Microcontroller and LabVIEW. 3rd International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME). 2013; IEEE: 226-229.
9. Chaiyong W, Sonasang S. Applications of Energy Monitoring Using the IoT. SNRU Journal of Science and Technology. 2022: 14 (2): 1-9.
10. Chung T M, Daniyal H. Arduino Based Power Meter Using Instantaneous Power Calculation Method. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015; 10(21): 9791-9795.
11. Lee K T, Mun HK. Real-Time Power Monitoring Using Field Programmable Gate Array with IoT Technology. IET Science, Measurement & Technology. 2018; 931-935.
12. Ramani S, Kiran S I, Raviteja S, Kumar B P. IoT Based Electricity Energy Meter. International Journal of Computer Science and Mobile Computing. 2022; 11(1): 153-158.

กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของโคบอลต์จากแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า ด้วยวิธีการโลหะวิทยาตามหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน

Cobalt recovery from spent electric vehicle battery by hydrometallurgical process in alignment of circular economy model

ฉันท์ทิศา กลั่นทอง[1], เนทิยา กรีธาชาติ[1], ศักสิทธิ์ อิ่มแมน[1], ณัฐพล วงค์เยาว์[2], สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี[3] และ อนุสรณ์ บุญปก[1*]

Chanthisa Klanthong[1], Nathiya Kreethachart[1], Saksi Imman[1], Nutthapon Wongyao[2], Surachai Narrat Jansti[3], and Anusorn Boonpoke[1*]

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าซึ่งใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide, Li-NMC) เป็นระบบพลังงานหลัก แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเมื่อหมดอายุการใช้งานมักถูกทิ้งให้เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ โลหะที่เป็นส่วนประกอบของแบตเตอรี่นอกจากเป็นปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นสารก่อมะเร็งในระบบทางเดินหายใจ แต่ยังเป็นโลหะที่มีค่าสูงและมีอยู่อย่างจำกัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองการนำกลับคืนโคบอลต์จากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ที่ผ่านการใช้งาน กระบวนการวิจัยประกอบด้วย กระบวนแยกส่วนประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการชะละลายโลหะโคบอลต์ วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก อุณหภูมิในการชะละลาย ระยะเวลาในการชะละลาย โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10% ทุกการทดลอง ผลการทดลองพบว่า มีปริมาณแคโทด 2.5 กิโลกรัม แคโทดของแบตเตอรี่มีโลหะมีค่าต่างๆ ที่ต้องการอยู่ในรูปแบบของ $LiCoO_2$ และ $LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O_2$ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3 M อุณหภูมิในการชะละลาย 100 C° และเวลาในการชะละลาย 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสามารถชะละลายโลหะโคบอลต์ได้ร้อยละ 98.9

คำสำคัญ: การนำกลับคืน, แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์, ผงแคโทด, ชะละลาย, เศรษฐกิจหมุนเวียน

---

[1] คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] ศูนย์วิจัยและวิศวกรรมเซลล์เชื้อเพลิงและไฮโดรเจน สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมกรุงเทพมหานคร 10140

[3] คณะวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

[1] School of energy and Environment, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Fuel cells and Hydrogen Research and Engineering Center, Pilot Plant Development and Training Institute, King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), Bangkok, 10140

[3] Asian Development College for Community Economy and Technology Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50300

[*] Corresponding author e-mail: iamanusorn@gmail.com

Abstract

The rising adoption of electric vehicles, powered by lithium-ion batteries employing Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (Li-NMC), has raised significant environmental concerns regarding the disposal of used batteries as electronic waste. The metallic constituents in these batteries not only give rise to environmental pollution but also contribute to the presence of carcinogenic substances in the respiratory system. Furthermore, these metals are of considerable value and face limited availability. This study aims to experimentally recover cobalt from exhausted Li-NMC lithium-ion batteries. The research process encompasses the disassembly of lithium-ion batteries and experimentation to determine suitable leaching. Statistical analysis utilizing Response Surface Methodology (RSM) is implemented, considering factors such as sulfuric acid concentration, leaching temperature, and leaching time. Hydrogen peroxide serves as a reaction accelerator at a 10% concentration in each experiment. The findings reveal a cathode yield of 2.5 kilograms, with cobalt in the battery existing in the form of $LiCoO_2$ and $LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O_2$. The optimal leaching conditions are identified as a 3 M sulfuric acid concentration, 100°C leaching temperature, and a 20-minute leaching time, achieving a 98.9% cobalt recovery rate.

Keywords: Recovery, Lithium Nikel Manganese Cobalt Oxide lithium-ion batteries, cathode, Leaching process, Circular Economy

บทนำ

ปัจจุบันนี้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วเกี่ยวกับเทคโนโลยี อุปกรณ์การสื่อสาร อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV)แต่ละประเภท เช่น รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Vehicle, PHEV) และรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) โดยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Batteries, LIB) ถูกใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับการสะสมพลังงาน เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ความจุพลังงานสูง และอายุการใช้งานยาวนาน [1,2,3,4,5] ทำให้ความต้องการแบตเตอรี่ลิเทียนมไอออนทั่วโลกเพิ่มขึ้นร้อยละ 65 ในปี 2566 [6] และจากการประชุมรัฐภาคีว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 21 (COP21) ที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส กำหนดให้ทุกประเทศต้องมีเป้าหมายการดำเนินงานเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศอย่างต่อเนื่อง ทำให้ประเทศไทยจำเป็นต้องมีมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกเพื่อให้บรรลุเป้าหมายฯ ดังนั้น ในปี 2558 ประเทศไทยโดยกระทรวงพลังงานจึงมีมาตรการเพื่อลดการใช้พลังงาน โดยมีมาตรการลดการใช้พลังงานในภาคขนส่งเกี่ยวข้อง โดยตั้งเป้าหมายให้มีการใช้รถยนต์ไฟฟ้า ประเภทปลั๊กอินไฮบริด และประเภทแบตเตอรี่ รวมกัน 1.2 ล้านคัน ภายในปี 2579 อีกทั้ง รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมอุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ให้เป็นหนึ่งใน 10 อุตสาหกรรมเป้าหมาย เพื่อเป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจในอนาคต [7] คาดการณ์ได้ว่าปริมาณ แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานสะสมอาจสูงถึงกว่า 1 ล้านตันภายในปี 2573 [8] ทำให้อาจเกิดปัญหาด้านการจัดการแบตเตอรี่ได้ นอกจากโลหะมีค่าเหล่านี้จะมีมูลค่าแล้วอาจส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองของทรัพยากร และของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม [11, 12, 13, 14] การบริหารจัดการและการพัฒนาเทคโนโลยีในการจัดการแบตเตอรี่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้งานแล้ว (Lithium-Ion Batteries, LIBs) ความสอดคล้องกับ (ร่าง) ยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560 -2579) ซึ่งได้ระบุไว้ในยุทธศาสตร์ที่ 5 ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิต ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้เกิดการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน โดยอาศัยหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) มีการจัดการขยะ สารพิษและของเสียอันตรายอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการบริหารจัดการและการพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการแบตเตอรี่ที่มีลิเทียมเป็น

องค์ประกอบถือเป็นส่วนหนึ่งของการส่งเสริมการผลิตพลังงานสะอาด และนำเทคโนโลยีมาใช้ในการบริหารจัดการและการอนุรักษ์พลังงานอีกทางหนึ่ง

ปัจจุบันกระบวนการจัดการแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้งานแล้ว สามารถแบ่งออกได้ 3 กระบวนการหลัก ได้แก่ 1.โลหะวิทยาด้วยความร้อนสูง (Pyrometallurgy) เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนในการหลอมละลายวัสดุภายในแบตเตอรี่ เพื่อให้ได้โลหะที่มีค่าออกมา ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้เกิดก๊าซที่เกิดมลพิษออกมา และโลหะบ้างตัวเช่น Li และ Al จะอยู่ในรูปแบบของตะกรันต้องนำไปเข้ากระบวนการ Hydrometallurgy เพื่อให้ได้โลหะออกมา 2. ไดเร็กรีไซเคิล (Direct Recycle) เป็นกระบวนการซ่อมแซมวัสดุภายในแบตเตอรี่โดยตรงเพื่อนำกลับไปใช้งานใหม่ใช้ต้นทุนที่ต่ำ และเกิดก๊าซที่เกิดมลพิษที่ต่ำแต่มีความผันแปรต่อระดับความเสื่อมสภาพของวัสดุในแบตเตอรี่ ยังไม่ถูกใช้ในระดับอุสาหกรรม 3.โลหะวิทยาการละลาย (Hydrometallurgy) เป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีในการชะละลายวัสดุภายในแบตเตอรี่ และการนำกลับคืนโลหะด้วยกระบวนการ Hydrometallurgy จะประกอบด้วยการคัดแยกองค์ประกอบแบตเตอรี่ การชะละลาย (Leaching) และการสกัดโลหะจากสารละลายที่ผ่านกระบวนการชะละลายแล้ว[1] การชะละลายมีความสำคัญในการนำกลับคืนโลหะมีค่า จากงานวิจัยการชะละลายที่ผ่านมามีการใช้กรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิในการชะละลาย 90 C° และเวลาในการชะละลาย 18 ชั่วโมง [15] กรดซัลฟิวริก อุณหภูมิในการชะละลาย 95 C° และเวลาในการชะละลาย 4 ชั่วโมง [16] และกรดไนตริก อุณหภูมิในการชะละลาย 80 C° และเวลาในการชะละลาย 4 ชั่วโมง [17] เมื่อเปรียบเทียบงานงานวิจัยที่ผ่านมากรดซัลฟิวริกมีประสิทธภาพต่อการชะละลายและมีราคาถูกกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้กรดซัลฟิวริกสารในการชะละลายของงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นไปที่การศึกษาการคัดแยกองค์ประกอบแบตเตอรี่ ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการชะลาลายแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์

วิธีการศึกษา

การดำเนินงานวิจัยการนำกลับคืนโลหะโคบอลต์ จากขั้วแคโทดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ใช้งานแล้วโดยทำการวิเคราะห์ คัดแยกองค์ประกอบต่างๆ ของแบตเตอรี่ และเตรียมขั้วแคโทดในแบตเตอรี่ในอยู่ในรูปแบบผง ก่อนนำสู่ขั้นตอนการชะละลายเพื่อสภาวะและประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการชะละลายโลหะโคบอลต์โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบบ็อก–เบห์นเคน (Box–Behnken design) มีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

การเตรียมผงแคโทดของแบตเตอรี่คัดแยกแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว

การเตรียมผงแคโทดของแบตเตอรี่คัดแยกแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว โดยเริ่มจากการนำแบตเตอรี่มาผ่านการคายประจุ (Discharge) ก่อนเพื่อป้องกันการลัดวงจรและการจุดติดไฟ จากนั้นนำแบตเตอรี่มาผ่านการลดขนาดและคัดแยกขนาด โดยอาศัยหลักการคัดแยกและถอดส่วนประกอบของแบตเตอรี่ด้วยมือเพื่อแยกเอาวัสดุที่มีราคาและคัดแยกได้ง่ายออกก่อน จากนั้นถอนชิ้นส่วน (Disassemble) เพื่อแยกกำจัดสารละลายอิเล็กโตรไลต์ชนิดที่ออกไป จากนั้นทำการแยกผงละเอียดที่ประกอบไปด้วยสารประกอบลิเทียมเมทัลออกไซด์ ($LiMO_2$) และแกรไฟต์ที่เป็นวัสดุขั้วแคโทดและแอโนดออกจากส่วนประกอบอื่น ๆ [1] นำวัสดุผงแคโทดที่ได้จากการแยกองค์ประกอบ เข้าสู่ขั้นตอนการบดเพื่อลดขนาดด้วยค้อนบด (hammer mill) แล้วทำการคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงหยาบแยกเอาชิ้นส่วนที่ใหญ่ เช่น กรอบอะลูมิเนียมออกจากส่วนอื่น ๆ ออกไปก่อน เพื่อให้ขนาดชิ้นส่วนที่เล็กกว่าผ่านเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง (Drying) ที่อุณหภูมิ 60–80 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง [9] การวิเคราะห์ผงแคโทดเพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมี และสารประกอบของขั้วแคโทดดำเนินการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning

electron microscope (SEM,Quanta250)) และเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS, EDAX Genesis-SiLi)) เพื่อใช้เลือกหากระบวนการและสารเคมีที่เหมาะสมกับการได้กลับคืนโลหะ ลิเทียม นิกเกิล โคบอลต์ และแมงกานีส [4]

การชะละลาย (Leaching)

ออกแบบการทดลองการชะละลาย

ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก อุณหภูมิของปฏิกิริยา และเวลาของปฏิกิริยา ค่าคงที่ของสารเร่งปฏิกิริยา (H_2O_2) 10% และอัตราส่วนผงแคโทด 1 กรัม ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบบ็อก-เบห์นเคน ที่ระดับของปัจจัย 3 ระดับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการชะละลาย ซึ่งแต่ละปัจจัยจะมีระดับการทดลอง 3 ระดับ วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) โดยใช้โปรแกรม Design Expert V.13 (ตารางที่ 1) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค (Inductively coupled plasma – optical emission spectrometry (ICP-OES, Avio 500)) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะโคบอลต์ในสารละลาย การทดลองนี้สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการชะละลายได้จำเป็นต้องใช้สารละลายอ้างอิงโดยใช้ค่าสารละลายอ้างอิงใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 10 M และ ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 % อุณหภูมิของปฏิกิริยา 85 °C และเวลาของปฏิกิริยา 150 นาที [2] ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการชะละลายโลหะโคบอลต์โดยคำนวณตามสมการ (1)

ตารางที่ 1 การออกแบบสภาวะที่เหมาะสมในการชะละลาย โดยวิธี แบบบ็อก-เบห์นเคน

Std	Run	Concentration (M)	Temperature (°C)	Time (min)
1	15	-1	-1	0
2	7	1	-1	0
3	4	-1	1	0
4	3	1	1	0
5	9	-1	0	-1
6	8	1	0	-1
7	12	-1	0	1
8	10	1	0	1
9	13	0	-1	-1
10	11	0	1	-1
11	6	0	-1	1
12	1	0	1	1
13	5	0	0	0
14	14	0	0	0
15	2	0	0	0

$$\text{เปอร์เซ็นต์การชะละลาย} = \frac{\text{ปริมาณโลหะที่วัดได้จากการชะละลาย } (mg/l)}{\text{ปริมาณโลหะที่วัดได้จากสารละลายอ้างอิง } (mg/l)} \times 100 \quad (1)$$

สมการทางเคมีของการละลายต่อไปนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นแคโทด ถูกละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (2), (3) [4]

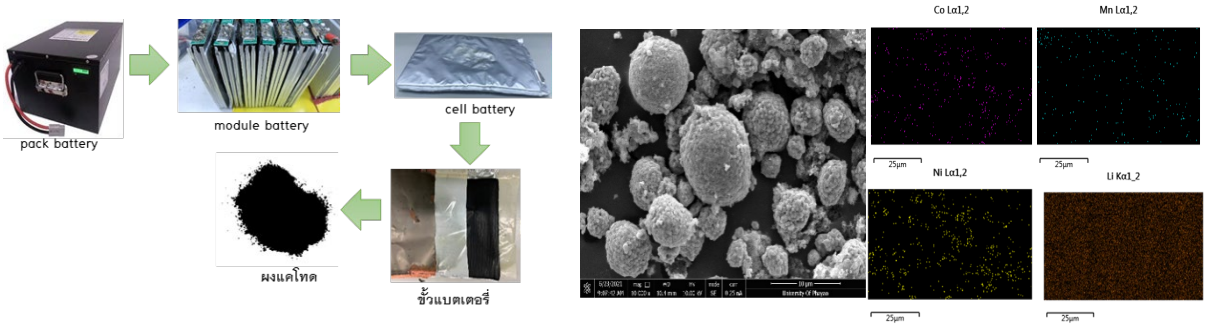
$$2LiCoO_2\,(s) + 3H_2SO_4\,(aq) + H_2O_2\,(aq) \longrightarrow 2CoSO_4\,(aq) + Li_2SO_4\,(aq) + 4H_2O\,(g) + O_2\,(g) \quad (2)$$

$$6LiNi_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3}O_2(s) + 9H_2SO_4\,(aq) + H_2O_2(aq) \longrightarrow 2MnSO_4(aq) + 2NiSO_4(aq) + 2CoSO_4(aq) + 3Li_2SO_4(aq) + 10H_2O\,(g) + 2O_2(g) \quad (3)$$

ผลการศึกษา

ขั้นตอนการนำกลับคืนโลหะโคบอลต์ จากขั้วแคโทดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ใช้งานแล้วในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนการวิเคราะห์ คัดแยกองค์ประกอบต่างๆ ของแบตเตอรี่ และขั้นตอนการชะละลายโดยในการทดลองจะศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก อุณหภูมิของปฏิกิริยา และเวลาของปฏิกิริยา ที่ใช้ในการชะละลายต่อการละลายได้ของโลหะโคบอลต์ในผงแคโทดมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการวิเคราะห์ คัดแยกองค์ประกอบต่างๆแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ที่ใช้งานแล้ว ทำการคายประจุก่อนเพื่อป้องกันการลัดวงจรและการจุดติดไฟก่อนถอดชิ้นส่วนองค์ประกอบออกจากกัน จากนั้นนำมาผ่านการลดขนาดและคัดแยกขนาด ด้วยหลักการแยกทางกายภาพเพื่อคัดแยกและถอดส่วนประกอบของแพ็คแบตเตอรี่ โดยใช้การคัดแยกด้วยมือเพื่อแยกเอาวัสดุที่มีราคาและคัดแยกได้ง่ายออกก่อน แล้วทำการชั่งน้ำหนัก พบว่า 1 แพ็คแบตเตอรี่ (pack battery) มีน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 25 กิโลกรัม แยกเป็นโมดูลแบตเตอรี่ (module battery) ได้ 13 โมดูล 1 โมดูลมีน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 1.3 กิโลกรัม จากนั้นแยกเป็นเซลล์แบตเตอรี่ (cell battery) ได้ 3 เซลล์ 1 เซลล์มีน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 0.4 กิโลกรัม และมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น เคสสายไฟ แผงวงจร รวมทั้งสิ้น 8 กิโลกรัม ที่สามารถนำไปรีไซเคิลหรือแยกขายได้เพราะเป็นวัสดุที่มีราคา จากนั้นนำเซลล์แบตเตอรี่ที่ผ่านการแยกทางกายภาพแล้ว มาทำการคัดแยกอีกครั้ง ประกอบด้วย แคโทด แอโนด และพลาสติกกั้นอิเล็กโตรไลต์ ทำการแยกผงแคโทด (ดังภาพที่ 1 (a)) จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นออกที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองแสงรังสี พบว่ามีองค์ประกอบของโลหะที่ต้องการ (ดังภาพที่ 1 (b)) แสดงผลการวิเคราะห์วัสดุขั้วแคโทดโดย SEM และ EDS พบว่าโลหะมีการกระตัวจายเท่าๆ กัน และยังสามารถตรวจสอบการมีอยู่ในรูปของ $LiCoO_2$และ $LiNi_{1}/3Co1_{/3}Mn_{1/3}O_2$ ผงแคโทดที่ได้จากการคักแยกนำเข้าสู่ขั้นตอนการชะละลายต่อการละลายได้ของโลหะโคบอลต์ต่อไป



a b

ภาพที่ 1 การคัดแยกองค์ประกอบต่างๆ และวิเคราะห์โลหะต่างๆ a) การคัดแยกทางกายภาพของแบตเตอรี่ลิเทียไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์จากขนาดใหญ่ไปจากขนาดเล็กจนถึงเป็นผงจากขั้วแคโทด b) การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองแสงรังสี

การชะละลาย

การชะละลายโลหะโคบอลต์จากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ที่ใช้งานแล้ว โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบบ็อก–เบห์นเคน มีตัวแปรอิสระที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วยความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เวลาของปฏิกิริยา และอุณหภูมิของปฏิกิริยา ซึ่งจากการดำเนินงวิจัยสามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

การพิจารณาค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลค่าประสิทธิภาพการชะละลายโลหะโคบอลต์ในตารางที่ 2 พบว่า ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก อุณหภูมิของปฏิกิริยา และเวลาของปฏิกิริยา ที่ใช้ในการทดลอง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการชะละลายโลหะโคบอลต์ (ค่า p–value น้อยกว่า 0.05) โดยสมการถดถอยในรูปแบบไม่ต้องเข้ารหัส (Uncoded equation) สำหรับการพิจารณาประสิทธิภาพการชะละลายโลหะโคบอลต์ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง แสดงดังสมการที่ 4 สมการดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือเมื่อพิจารณาค่า R^2 ที่ 0.9864 (ตารางที่ 3) การวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมในการชะละลายโลหะโคบอลต์

สภาวะที่เหมาะสมในการชะละลายโคบอลต์เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาผลลัพธ์โดยเลือกค่าระดับของปัจจัยที่ อยู่ในช่วงขอบเขตของการทดลอง โดยส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพการชะละลายของโลหะโคบอลต์ (Co%) มีค่าน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาพบว่าระดับปัจจัยที่ เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าสภาวะเหมาะสมในการชะละลายโคบอลต์ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Design Expert V.13 คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3 M อุณหภูมิของปฏิกิริยา 100 C° และเวลาของปฏิกิริยา 20 นาที ประสิทธิภาพการชะละลายของโลหะโคบอลต์ร้อยละ 98.9 และค่าความพึงพอใจ (Desirability) เท่ากับ 100% ซึ่งถือว่าข้อมูลความสมบูรณ์และ แม่นยำมาก

ตารางที่ 2 ผลการทดลองประสิทธิภาพการชะละลายโลหะโคบอลต์

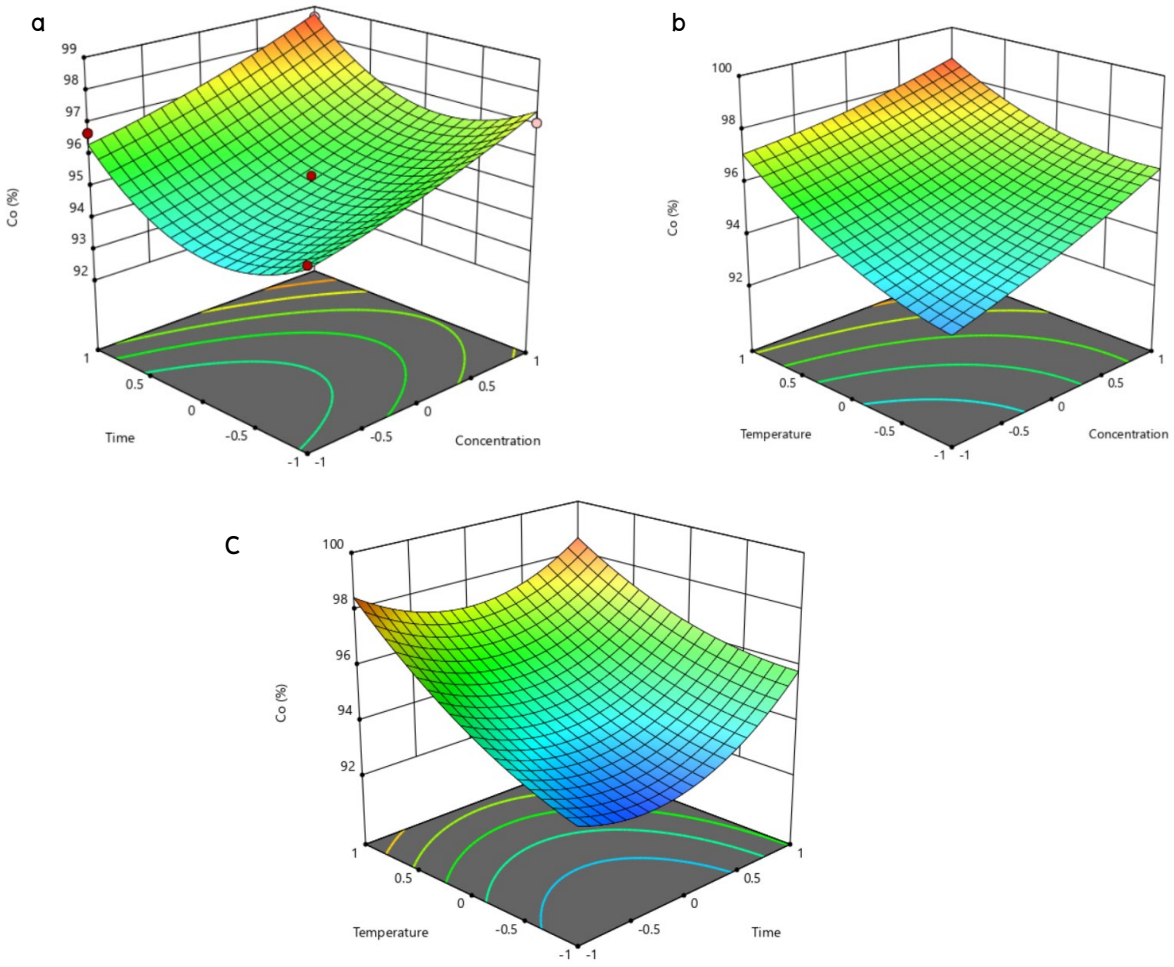
Std	Run	Concentration (M)	Temperature (°C)	Time (min)	Efficiency (%)
1	15	1	50	40	95.1
2	7	5	50	40	97.0
3	4	1	100	40	96.6
4	3	5	100	40	98.6
5	9	1	75	20	92.2
6	8	5	75	20	96.1
7	12	1	75	60	96.7
8	10	5	75	60	98.4
9	13	3	50	20	94.7
10	11	3	100	20	96.8
11	6	3	50	60	98.3
12	1	3	100	60	98.9
13	5	3	75	40	95.3
14	14	3	75	40	95.1
15	2	3	75	40	95.1

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวตอบสนองของประสิทธิภาพการชะละลายโลหะโคบอลต์

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	47.82	9	5.31	40.41	0.0004	significant
A- Concentration	11.45	1	11.44	87.07	0.0002	
B-Time	3.37	1	3.36	25.61	0.0039	
C-Temperature	21.93	1	21.93	166.80	<0.0001	
A^2	0.1417	1	0.1417	1.08	0.3468	
B^2	8.09	1	8.09	61.55	0.0005	
C^2	1.64	1	1.64	12.49	0.0167	
Residual	0.6574	5	0.1315			
Lack of fit	0.6096	3	0.2032	8.51	0.1070	not significant
Pure Error	0.0478	2	0.0239			
Cor Total	48.48	14				
Std. Dev.	0.3626		**R^2**	0.9864		
Mean	96.47		**Adjusted R^2**	0.9620		
C.V. %	0.3759		**Predicted R^2**	0.7966		
			A_{deq} Precision	21.1541		

Ra = 95.22 (1.20 x Concentration) + (0.6488 x Time) + (1.66 x Temperature) + (0.0183 x Concentration of Time) – (0.3822 x Concentration of Temperature) – (0.5604 x Time of Temperature) + (0.1959 x Concentration2) + (1.48 x Time2) + (0.6668 x Temperature2) (4)

จากสมการถดถอยของสภาวะเหมาะสมในการชะละลายโคบอลต์ สามารถนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Response surface plot) ภาพที่ 2 (a) แสดงให้เห็นว่าถ้าใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเพิ่มขึ้นและใช้เวลาของปฏิกิริยาน้อยลงจะทำให้ค่าประสิทธิภาพชะละลายโคบอลต์ลดลง และถ้าใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกน้อยลง เวลาของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าประสิทธิภาพ ชะละลายโคบอลต์มากขึ้น ภาพที่ 2 (b) แสดงให้เห็นว่าถ้าใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกลดลง และใช้อุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าประสิทธิภาพชะละลายโคบอลต์มากขึ้น และถ้าใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก อุณหภูมิของปฏิกิริยาน้อยลง จะทำให้ค่าประสิทธิภาพชะละลายโคบอลต์และ ภาพที่ 2 (c) แสดงให้เห็นว่าถ้าใช้เวลาของปฏิกิริยาน้อยลง และใช้อุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าประสิทธิภาพชะละลายโคบอลต์มากขึ้น และถ้าใช้เวลาของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของปฏิกิริยาน้อยลง จะทำให้ค่าประสิทธิภาพชะละลายโคบอลต์ลดลง



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่อค่าประสิทธิภาพการชะละลายของโลหะโคบอลต์ a) ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และเวลาของปฏิกิริยาต่อค่าประสิทธิภาพการชะละลายของโลหะโคบอลต์ b) ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และอุณหภูมิของปฏิกิริยาต่อค่าประสิทธิภาพการชะละลายของโลหะโคบอลต์ c) ความสัมพันธ์อุณหภูมิของปฏิกิริยา และเวลาของปฏิกิริยาต่อค่าประสิทธิภาพการชะละลายของโลหะโคบอลต์

อภิปรายและสรุปผล

องค์ประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ที่ใช้งานแล้วน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 25 กิโลกรัม มีผงแคโทดที่ต้องการทั้งสิ้น 2.5 กิโลกรัม และจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองแสงรังสี มีองค์ประกอบของโลหะที่ต้องการ พบว่าโลหะมีการกระจายตัวอยู่ และการมีอยู่ของ $LiCoO_2$และ $LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O_2$ ยืนยันได้ว่าแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองตรงตามสูตรสมการทางเคมีของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์

สภาวะที่เหมาะสมในการชะละลายโคบอลต์จากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ที่ใช้งานแล้ว จากผลการทดลองที่วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง โดยใช้งานวิจัยที่ผ่านมาเป็นสารละลายอ้างอิง เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการชะละลาย ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 10 M ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% อุณหภูมิของปฏิกิริยา 85 °C และเวลาของปฏิกิริยา 150 นาที [2] จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและเปรียบเทียบกับสารละลายอ้างอิง เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการละลายของโลหะโคบอลต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่การเพิ่มอุณหภูมิ และความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่งผลต่อการละลายของโลหะโคบอลต์อย่างเห็นได้ชัดโดยได้สภาวะที่เหมาะสม ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3 M อุณหภูมิของปฏิกิริยา 100 C° และเวลาของปฏิกิริยา 20 นาที สามารถชะละลายโลหะโคบอลต์ได้ร้อยละ 98.9

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ (อพ.สธ.) (สัญญาเลขที่ PG66011) โครงการวิจัยเพื่อความเป็นเลิศ (Unit of Excellence :UoE) (สัญญาเลขที่ FF66-UoE019) และ ขอขอบคุณ บริษัท บลู เทคโนโลยี แอนด์ อินโนแวชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ มาใช้ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. สงบ คาค้อ. การศึกษาสถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศไทย. (รายงานฉบับสมบูรณ์) 2562. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2-5.
2. ศิริญา ชาญสกุล. การศึกษาตัวแปรของกระบวนการได้กลับคืนลิเธียม และโคบอลต์จากแบตเตอรี่ไอออนที่ใช้งานแล้ว. (วิทยานิพนธ์) 2558. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
3. Wang, X.; Gaustad, G.; Babbit, C.W.; Richa, K. Economies of scale for future lithium-ion battery recycling infrastructure. Resour. Conserv. Recycl. 2014, 83, 53–62.
4. Chen, W.-S.; Ho, H.-J. Recovery of Valuable Metals from Lithium-Ion Batteries NMC Cathode Waste Materials by Hydrometallurgical Methods. Metals 2018, 8, 321. https://doi.org/10.3390/met8050321
5. Scrosati, B.; Garche, J. Lithium batteries: Status, prospects and future. J. Power Sources 2010, 195, 2419–2430.
6. IEA (2023): Global EV outlook 2023: oECD.
7. สถาบันยานยนต์. รายงานการศึกษาธุรกิจการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว. รายงานฉบับสมบูรณ์ 2561, 135.
8. Association, T. T. (2563). การดำเนินงานด้านแบตเตอรี่หลังสิ้นอายุไข. e-newsletter, 8.

9. G. Zubi et al. The lithium–ion battery: State of the art and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews 89 (2018) 292–308.
10. Wang, WY., Yen, C.H., Lin, JL. et al. Recovery of high–purity metallic cobalt from lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC)–type Li–ion battery. J Mater Cycles Waste Manag 21, 300–307 (2019). https://doi.org/10.1007/s10163–018–0790–x
11. Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E. et al. Recycling lithium–ion batteries from electric vehicles. Nature 575, 75–86 (2019). https://doi.org/10.1038/s41586–019–1682–5
12. Li–Po He,Shu–Ying Sun,Xing–Fu Song,Jian–Guo Yu. Leaching process for recovering valuable metals from the LiNi1/3Co1/3Mn1/302 cathode of lithium–ion batteries. Waste Management 2017; 64, 171–181
13. Y.T., C.D.R., L.A.A., and F.Y., Second life and recycling: Energy and environmental sustainability perspectives for high–performance lithium–ion batteries. Science advances 2021, 7, 45.
14. Youqi Fan. (2023). A novel method for recovering valuable metals from spent lithium–ion batteries inspired by the mineral characteristics of natural spodumene. Cleaner Production, p. 15.
15. Joulié, M., Laucournet, R., Billy, E., 2014. Hydrometallurgical process for the recovery of high value metals from spent lithium nickel cobalt aluminum Oxide based lithium–ion batteries. J. Power Sources 247, 551–555.
16. Meshram, P., Pandey, B.D., Mankhand, T.R., 2015b. Recovery of valuable metals from cathodic active material of spent lithium ion batteries: leaching and kinetic aspects. Waste Manage. 45, 306–313.
17. Li, L., Chen, R., Sun, F., Wu, F., Liu, J., 2011. Preparation of LiCoO2 films from spent lithium–ion batteries by a combined recycling process. Hydrometallurgy 108, 220–225.
18. อิทธิพล วรพันธ์, ช่วงชัย ชุปวา และชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์. 2556. การหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการเชื่อมด้วยความ เสียดทานของเหล็ก AISI 1015 โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง. KKU Res. J.18(6): 909-924.

การพัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับในระบบโซล่ารูฟท็อปด้วยเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

Development of high temperature monitoring and warning system of reverse power diodes in solar rooftop systems with internet of things technology

ศุภวิชญ์ อดิศัยศักดา[1*], วัชระ วัชราภรณ์[1], สมเกียรติ สุทธิยาพิวัฒน์[1], เที่ยง แดงสุวรรณ[1], ศุภเชษฐ เป้าวิวัฒน์[1] และ เจริญศักดิ์ เขียวเล่ง[1]

Suppawich Adisaisakda[1*], Watchara Watcharaporn[1], Somkiat Sutthiyapiwat[1], Thiang Daengsuwan[1], Supchett Paowiwat and Chroeysak Khiaoleng[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับในระบบโซล่ารูฟท็อป โดยติดตั้งร่วมกับระบบSola Rooftop ภายในอาคารสำนักงานการทำงานของระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอด โดยเริ่มต้นที่NodeMCUesp8266 รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิวัดค่าความร้อนที่ตัวไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ และเซ็นเซอร์วัดกระแสตรง(DC) ที่ไหลผ่านตัวไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ เช็คเวลาปัจจุบันจากเว็บเซิร์ฟเวอร์ เก็บข้อมูลตั้งแต่ช่วงเวลา 09.00 น.ถึงเวลา 16.00 น. เก็บค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์วัดกระแส ทุกๆ 5 นาที และอัปโหลดข้อมูลขึ้นเว็บบราวน์เซอร์ ThingSpeak อ่านค่าอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสที่กำหนด เงื่อนไขเป็นจริงให้ส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ พิจารณาผลของการวัดจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐานได้ค่าความคลาดเคลื่อน 1.43% ค่าความแม่นยำ 98.57% และค่าความเที่ยงตรง 98.15% และผลของการวัดจากเครื่องมือวัดกระแสที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐานได้ค่าความคลาดเคลื่อน 1.43% ค่าความแม่นยำ 96.51% และค่าความเที่ยงตรง 97.65% ดังนั้นระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับในระบบโซล่ารูฟท็อปที่สร้างขึ้นสามารถวัดอุณหภูมิและกระแสไฟที่ไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบโซล่ารูฟท็อป, ไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า (ต่อเนื่อง) วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ จังหวัดนราธิวาส 96000

[1] Department of Electrical Technology (Continuing) Narathiwat Technical College Princess of Naradhiwas University, Narathiwat, 96000

* Corresponding author e-mail: Suppawich.A@pnu.ac.th

Abstract

This paper presents the development of a high temperature monitoring and warning system for reverse voltage protection diodes in a rooftop solar system. By installing together with the Sola Rooftop system inside the office building, the surveillance system works. and diode high temperature alarm Starting with NodeMCUesp8266 Receives a signal from a temperature sensor to measure the heat value at the reverse power protection diode. and a sensor measuring direct current (DC) flowing through a diode to prevent reverse power. Check the current time from the web server. Collect data from 9:00 a.m. to 4:00 p.m. Collect readings from the temperature sensor and current sensor every 5 minutes and upload the data to the ThingSpeak web browser to read the specified temperature value of 50 degrees Celsius. The condition is true, send a notification message through the LINE application. Considering the results of the measurement from the temperature measuring device that was built with the standard measuring device, the error value was 1.43%, the accuracy value was 98.57%, and the precision value was 98.15% and the results of the measurement from the current measuring device that was built with the standard measuring device. The error value is 1.43%, the accuracy is 96.51%, and the accuracy is 97.65%. Therefore, the high temperature monitoring and alarm system of the reverse voltage protection diode in the built-up solar rooftop system can measure the temperature and current at Diodes effectively prevent reverse power.

Keywords: Rooftop solar system, Reverse power protection diode

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน และเป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ การเพิ่มผลผลิตทั้งเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ปัจจุบันเชื้อเพลิงจากทรัพยากรธรรมชาติที่นิยมใช้ผลิตกระแสไฟฟ้ากำลังจะหมด ดังนั้นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่นๆเช่นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพและชีวมวล สามารถแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานแบบยั่งยืน (Qazi, Atika, et al., 2019) การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยระบบโซล่าเซลล์เมื่อผ่านการใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่งจำเป็นต้องมีการดูแลบำรุงรักษาเพื่อยืดอายุการใช้งาน และรักษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบโซล่าเซลล์

จากการใช้งานระบบโซล่ารูฟท็อปที่ผ่านมาพบว่าตัวไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับมีความร้อนสะสมสูงทำให้ตัวไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ และฉนวน PVC หลอมละลายอาจเกิดอัคคีภัย และอาจทำให้แผงโซล่าเซลล์ในระบบโซล่ารูฟท็อปชำรุดเสียหาย เพื่อประเมินและคาดการณ์เกี่ยวกับเหตุการณ์การหลอมละลายของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ จำเป็นต้องมีระบบเฝ้าติดตามเพื่อวางแผนการป้องกันไม่ให้ตัวไดโอดกันไฟย้อนกลับเกิดการชำรุดเสียหาย เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) เป็นเทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับเซ็นเซอร์ต่างๆได้โดยการสื่อสารกันแบบเครือข่าย สามารถรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลบันทึกและจัดเก็บแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Li, Yan, et al., 2017, Swamy, S. Narasimha, and Solomon Raju Kota., 2020) โดยข้อมูลที่ถูกบันทึกและจัดเก็บไว้สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อไม่ให้เกิดการหลอมละลายของตัวไดโอดกันไฟย้อนกลับ เพื่อให้สามารถใช้งานระบบโซล่ารูฟท็อปได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

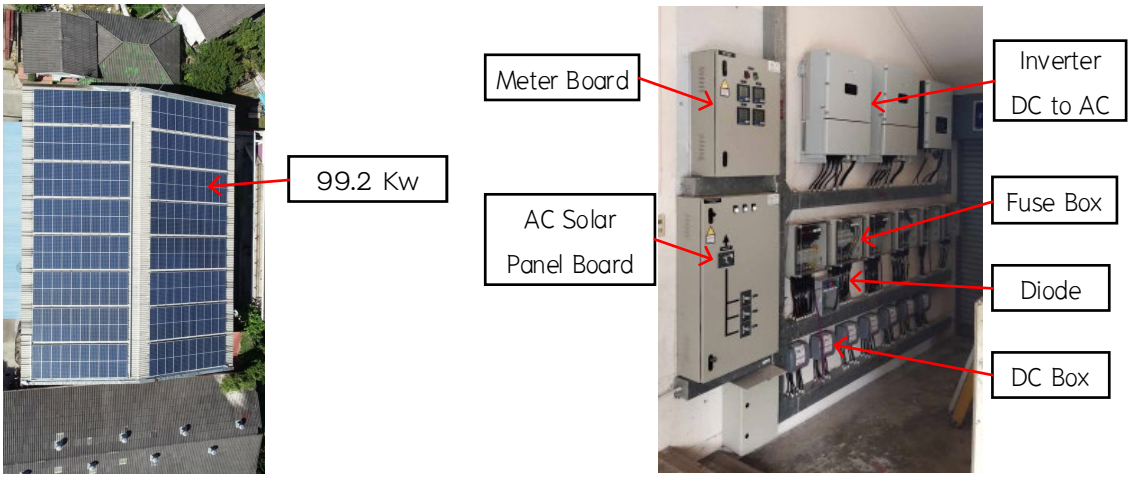
จากข้อมูลงานวิจัย (Pruittipongpiboon, Chamnan, 2021) การลงทุนระบบเฝ้าระวังอัคคีภัย ได้เปรียบเทียบระหว่างการใช้งานของมนุษย์กับการใช้อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง(Internet of Things) พบว่าอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถสื่อสารและควบคุมได้อย่างรวดเร็วเป็นการลงทุนที่คุ้มค่ามากกว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าระบบเฝ้าระวังที่อาศัยมนุษย์

จากข้อมูลงานวิจัย (Madares, Mukrawi., 2018) แนวคิดที่จะนำไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับ และนำ NodeMCU ESP8266 มาประยุกต์ใช้งานกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารกันบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สามารถทำการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านแอพพลิเคชั่นบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และการแจ้งเตือนข้อความไปยังสมาร์ทโฟน เพื่อเป็นอีกช่องทางในการแจ้งเตือนในกรณีที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตขาดหาย

ดังนั้นการนำเอาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เข้ามาเฝ้าติดตามเพื่อวางแผนการป้องกันไม่ให้ตัวไดโอดกันไฟย้อนกลับเกิดการชำรุดเสียหาย ดังเสนอในงานวิจัยนี้ จะช่วยเพิ่มการป้องกันการชำรุดเสียหายซึ่งอาจจะส่งผลเสียหายต่อแผงโซล่าเซลล์ในระบบโซล่ารูฟท็อป ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการศึกษา

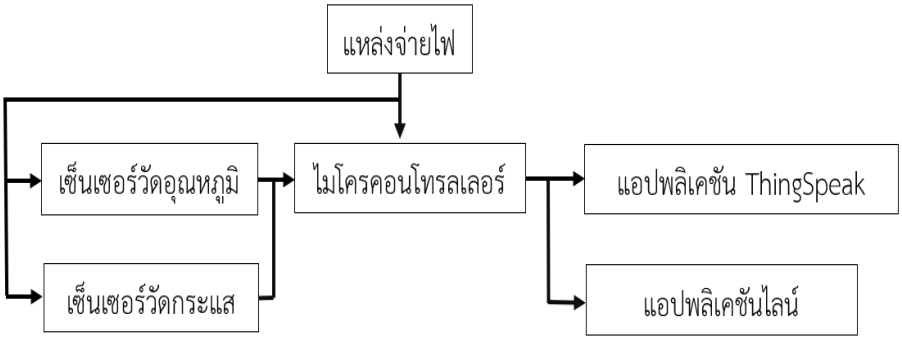
การศึกษาการพัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ ผู้วิจัยได้ใช้อาคารเรียนสาขาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส ที่ติดตั้งระบบโซล่ารูฟท็อป กำลังการผลิตไฟฟ้า 99.2 Kw เป็นที่ทดสอบการทำงานของระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ โดยระบบโซล่ารูฟท็อปมีอุปกรณ์ประกอบไปด้วย DC Box ไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ Fuse Box Inverter DC to AC และ AC Solar Panel Board ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อาคารสาขาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส

1. การทำงานของระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือน

การออกแบบและพัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับในระบบโซล่ารูฟท็อปประกอบด้วยกัน 4 ส่วน คือ 1. แหล่งจ่ายไฟ 2. NodeMCU ESP8266 3. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์วัดกระแส 4. เว็บแอปพลิเคชัน ThingSpeak และแอปพลิเคชันไลน์ ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ไดอะแกรมการทำงาน

จากรูปที่ 1 ประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟ Switching Power Supply 230Vac จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5Vdc ให้กับ NodeMCU ESP8266 และจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5Vdc ให้กับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor DS18B20) และเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (DC Current Sensor) ส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ไมโครคอนโทรลเลอร์เก็บค่าอุณหภูมิ และเก็บค่ากระแสไฟฟ้า แสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน ThingSpeak และส่งข้อความแจ้งเตือนอุณหภูมิแสดงบนแอปพลิเคชันไลน์ จากข้อมูลดังกล่าวนำมาออกแบบระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับในระบบโซล่ารูฟท็อป

2. การออกแบบโครงสร้างและติดตั้งอุปกรณ์

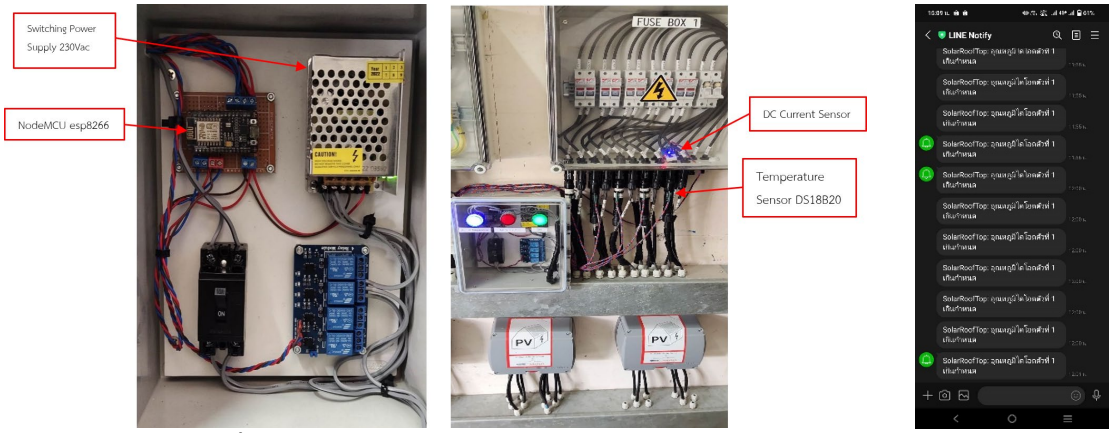
ระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงผิดปกติของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ ติดตั้งร่วมกับระบบ Solar Rooftop ภายในอาคารสำนักงาน ตัวกล่องมีความสูงขนาด 30 เซนติเมตร ความหนา 15 เซนติเมตร และความกว้าง 20 เซนติเมตร ด้านหน้ากล่องจะมีหลอด LED แสดงสถานการณ์ทำงาน หลอดสีน้ำเงินแสดงการทำงานของอุณหภูมิปกติ หลอดสีแดงแสดงการทำงานของอุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส และหลอดสีเขียวแสดงการทำงานของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนฯ

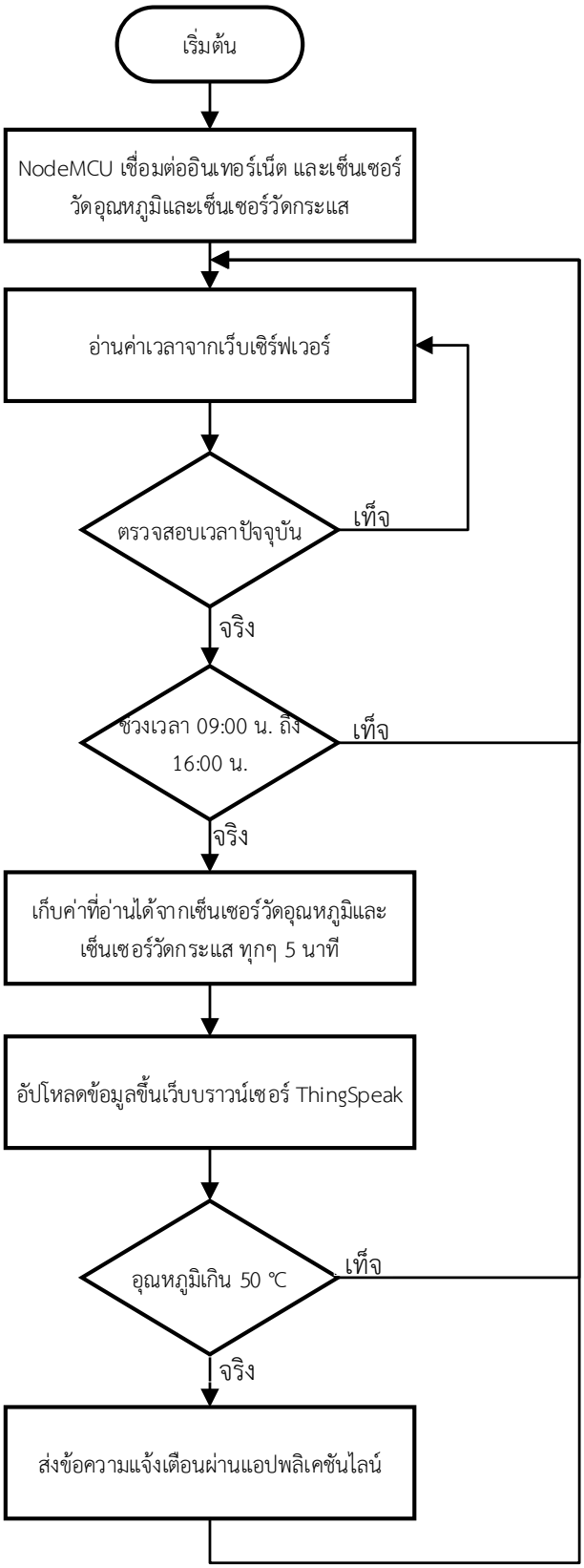
3. การออกแบบวงจรควบคุม

การวัดค่าอุณหภูมิ และวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวไดโอดกันไฟย้อนกลับผู้วิจัยได้ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟ Switching Power Supply 230Vac to 5Vdc เพื่อจ่ายไฟให้กับตัว NodeMCU ESP8266 จากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor DS18B20) จำนวน 5 ตัววัดอุณหภูมิที่ตัวไดโอดกัน ไฟย้อนกลับ และเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (DC Current Sensor) จำนวน 1 ตัว เก็บค่าที่เซ็นเซอร์อ่านได้ ทุกๆ 5 นาที แสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน ThingSpeak เมื่ออุณหภูมิสูงถึงค่าที่กำหนดไว้ 50 องศาเซลเซียสให้แจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์



รูปที่ 4 วงจรควบคุมระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

4. การทำงานของระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือน



รูปที่ 5 แผนผังการทำงานของระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงผิดปกติของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ

การทำงานของระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ จากรูปที่ 5 แสดงผังการทำงานโดยเริ่มต้นที่ NodeMCUesp8266 เชื่อมต่อสัญญาณอินเตอร์เน็ต และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิวัดค่าความร้อนที่ตัวไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ และเซ็นเซอร์วัดกระแสตรง(DC) ที่ไหลผ่านตัวไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับตรวจสอบเวลาปัจจุบันจากเว็บเซิร์ฟเวอร์ เก็บข้อมูลตั้งแต่ช่วงเวลา 09.00 น.ถึงเวลา 16.00 น. เก็บค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์วัดกระแส ทุกๆ 5 นาที และอัปโหลดข้อมูลขึ้นเว็บราวน์เซอร์ ThingSpeak อ่านค่าอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสที่กำหนด เงื่อนไขเป็นจริงให้ส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

ผลการศึกษา

การวิเคราะห์ผลของการวัด (ปริญญา สุนทรวงศ์, มรกต การดี, ชูศักดิ์ แสนเสนา และเกตน์นิภา นทีนาถ., 2566) จะดำเนินการบันทึกค่าที่ได้จากการวัด เพื่อนำค่าที่ได้จากการวัดจากเครื่องมือวัดมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลดังนี้

ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%Error)

$$\%Error = \left| \frac{M-T}{T} \right| \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ M คือค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน T คือค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบ

ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ (%A)

$$\%A = 100\% - \%Error \quad (2)$$

ค่าเปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรง (%P) โดยมีสมการดังนี้

$$\%P = \left(1 - \left| \frac{X_n - \overline{X_n}}{\overline{X_n}} \right| \right) \times 100\% \quad (3)$$

$$\overline{X_n} = \frac{\sum X_n}{n} \quad (4)$$

เมื่อ $\sum X_n$ คือผลรวมของการวัดแต่ละครั้ง n คือจำนวนครั้งที่ทำการวัด X_n คือค่าจริงที่วัดได้และ คือค่าเฉลี่ยของการวัด โดยผลที่ได้จากการวัดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 โดยการวัดครั้งนี้ได้ดำเนินการบันทึกผลจากทดสอบจำนวน 15 ครั้ง โดยบันทึกค่าอุณหภูมิจากเครื่องมือวัดมาตรฐานและบันทึกค่าอุณหภูมิจากเครื่องมือวัดที่ได้สร้างขึ้น และบันทึกค่ากระแสจากเครื่องมือวัดมาตรฐานและบันทึกค่ากระแสจากเครื่องมือวัดที่ได้สร้างขึ้น จากนั้นนำผลที่บันทึกไว้มาวิเคราะห์ผลทางการวัดได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ และค่าเปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรง โดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน รุ่น AMF101ดังรูปที่ 6 (ก) และแคลมป์มิเตอร์ UNI-T รุ่น UT204A ดังรูปที่ 6 (ข) กับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น และแสดงกราฟเปอร์เซ็นต์การเปรียบเทียบของอุณหภูมิ ดังรูปที่ 7 และแสดงกราฟเปอร์เซ็นต์การเปรียบเทียบของกระแสดังรูปที่ 8



(ก) เครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน รุ่นAMF101

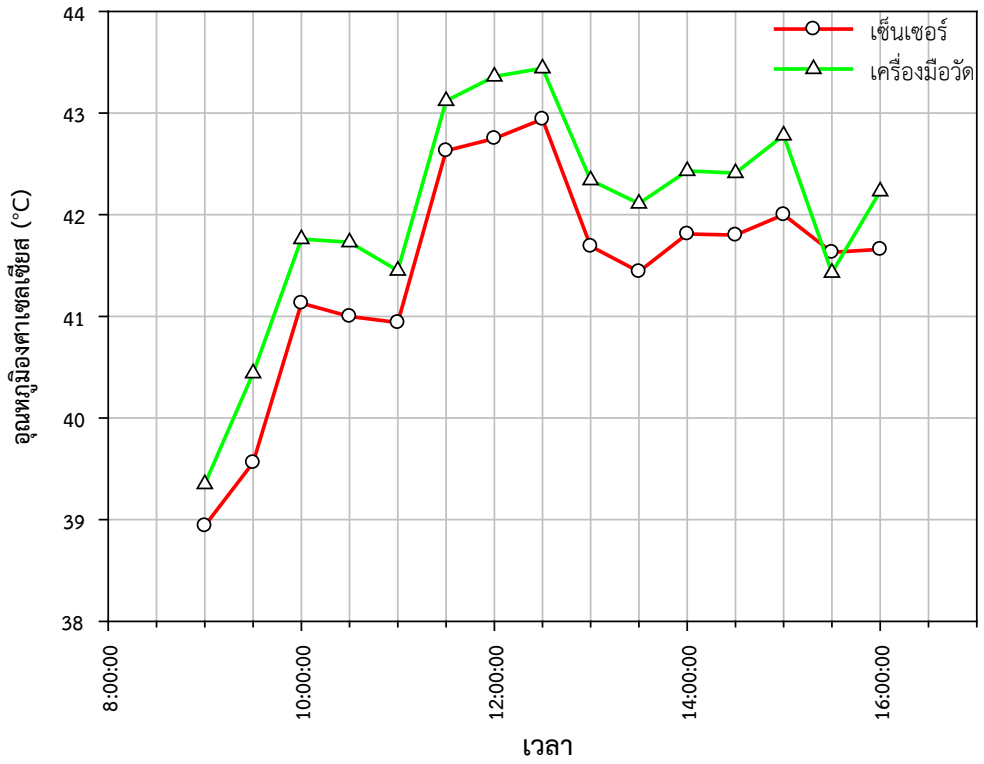


(ข) แคลมป์มิเตอร์ UNI–T รุ่น UT204A

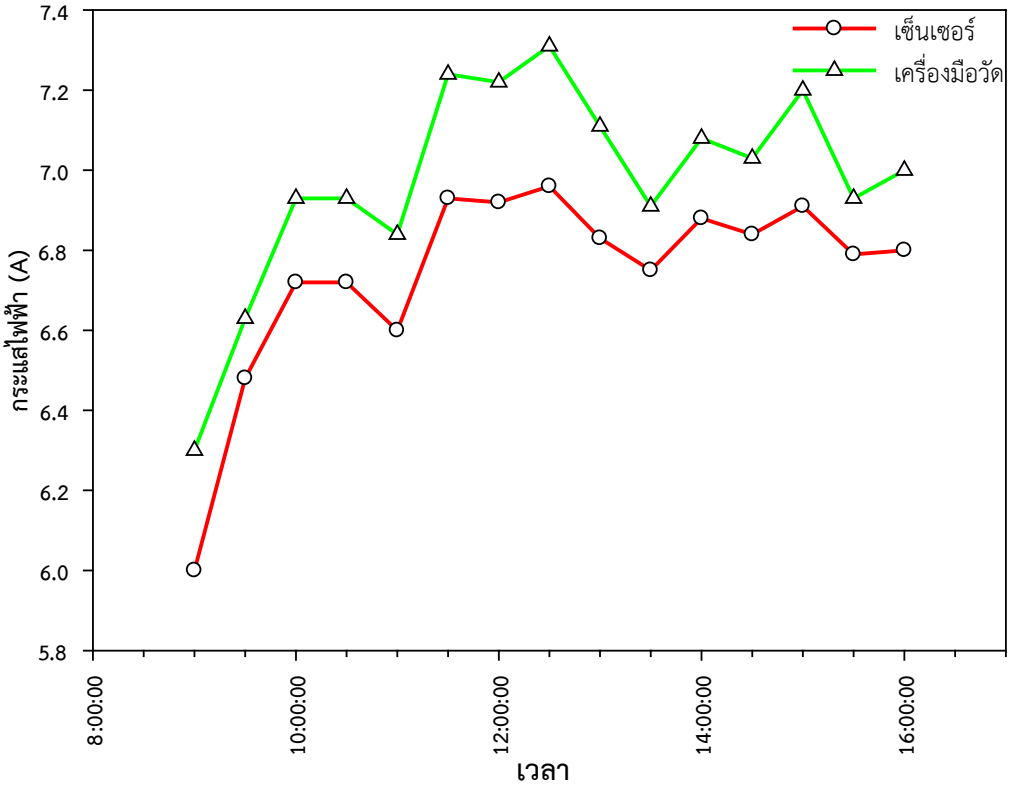
รูปที่ 6 เครื่องมือวัดมาตรฐาน

ตารางที่ 1 จากเครื่องมือวัดมาตรฐานและบันทึกค่าอุณหภูมิจากเครื่องมือวัดที่ได้สร้างขึ้น

เวลา	อุณหภูมิ		%Error	%A	%P	กระแสไฟฟ้า (A)		%Error	%A	%P
	เซ็นเซอร์	เครื่องมือวัด				เซ็นเซอร์	เครื่องมือวัด			
9:00 น.	38.94	39.35	1.05	98.95	93.92	6	6.3	5.00	95.00	88.99
9:30 น.	39.56	40.44	2.22	97.78	95.41	6.48	6.63	2.31	97.69	96.11
10:00 น.	41.13	41.76	1.53	98.47	99.20	6.72	6.93	3.13	96.88	99.67
10:30 น.	41	41.73	1.78	98.22	98.89	6.72	6.93	3.13	96.88	99.67
11:00 น.	40.94	41.45	1.25	98.75	98.74	6.6	6.84	3.64	96.36	97.89
11:30 น.	42.63	43.12	1.15	98.85	97.18	6.93	7.24	4.47	95.53	97.21
12:00 น.	42.75	43.36	1.43	98.57	96.89	6.92	7.22	4.34	95.66	97.36
12:30 น.	42.94	43.44	1.16	98.84	96.43	6.96	7.31	5.03	94.97	96.77
13:00 น.	41.69	42.34	1.56	98.44	99.45	6.83	7.11	4.10	95.90	98.69
13:30 น.	41.44	42.11	1.62	98.38	99.95	6.75	6.91	2.37	97.63	99.88
14:00 น.	41.81	42.43	1.48	98.52	99.16	6.88	7.08	2.91	97.09	97.95
14:30 น.	41.8	42.41	1.46	98.54	99.18	6.84	7.03	2.78	97.22	98.55
15:00 น.	42	42.78	1.86	98.14	98.70	6.91	7.2	4.20	95.80	97.51
15:30 น.	41.63	41.43	0.48	99.52	99.59	6.79	6.93	2.06	97.94	99.29
16:00 น.	41.66	42.23	1.37	98.63	99.52	6.8	7	2.94	97.06	99.14
ค่าเฉลี่ย	41.46	42.03	1.43	98.57	98.15	6.74	6.98	3.49	96.51	97.65



รูปที่ 7 แสดงกราฟเปอร์เซ็นต์การเปรียบเทียบของอุณหภูมิ



รูปที่ 8 แสดงกราฟเปอร์เซ็นต์การเปรียบเทียบของกระแส

วิจารณ์และสรุปผล

ในบทความนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับในระบบโซล่ารูฟท็อป ควบคุมการทำงานโดย NodeMCUesp8266 รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิวัดค่าความร้อนที่ตัวไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ และเซ็นเซอร์วัดกระแสตรง(DC) ที่ไหลผ่านตัวไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับ และ อัปโหลดข้อมูลขึ้นเว็บราวน์เซอร์ ThingSpeak อ่านค่าอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสที่กำหนดเงื่อนไขเป็นจริงให้ส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และนำค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐานได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.43 % ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดกระแสมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.43 %ส่วนเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐานของเครื่องมือวัดอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 98.57% ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของเครื่องมือวัดกระแสมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 96.51% และเปอร์เซ็นต์ค่าความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐานของเครื่องมือวัดอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 98.15% ค่าเปอร์เซ็นต์ความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดกระแสมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 97.65% จึงกล่าวได้ว่าระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสูงของไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับในระบบโซล่ารูฟท็อปที่สร้างขึ้นสามารถวัดอุณหภูมิ และกระแสไฟที่ไดโอดป้องกันไฟย้อนกลับมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความเสี่ยงที่จะเกิดอัคคีภัยในอนาคตได้

เอกสารอ้างอิง

Qazi, Atika, et al. (2019). "Towards sustainable energy: a systematic review of renewable energy sources, technologies, and public opinions". **IEEE access 7.** 63837-63851.

Li, Yan, et al. (2017). "Fuzzy comprehensive evaluation method for energy management systems based on an internet of things". **IEEE Access 5.** 21312-21322.

Swamy, S. Narasimha, and Solomon Raju Kota. (2020). "An empirical study on system level aspects of Internet of Things (IoT)". **IEEE Access 8.** 188082-188134.

Pruittipongpiboon, Chamnan. (2021). "การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างระบบเฝ้าระวังเหตุเกิดอัคคีภัยด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งกรณีศึกษา: โรงงานผลิตเครื่องประดับ". **Journal of Industrial Business Administration 3.1 (2021):** 69-81.

Madares, Mukrawi. (2018). "ระบบ เฝ้า ระวัง เหตุ เพลิง ไหม้ ใน อาคาร". **JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY 8.2.** 56-64.

ปริญญา สุนทรวงศ์, มรกต การดี, ชูศักดิ์ แสนเสนา และเกตน์นิภา นทีนาถ. (2023). "การออกแบบอุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเซ็นเซอร์หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า". **การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่ 15(178-181).**ประจวบคีรีขันธ์ : สมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ และสารสนเทศแห่งประเทศไทย.

การศึกษาวิธีการกำหนดความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตลงในแบบงานสั่งผลิต

A study of method for determining geometric dimensioning and tolerancing in a manufacturing drawing

ธนัญญา คำแก้ว[1*], กาญจนศิริ ขำทอง[1], ทนงศักดิ์ คงสินธุ์[1] และ ทศพร อัศวรังษี[1]
Thananya Khamkaew[1*], Kanchanasiri Khumthong[1], Tanongsak Kongsin[1] and
Tossaporn Assawarungsri[1]

บทคัดย่อ

ในงานออกแบบทางเครื่องจักรกล มักพบปัญหาที่เกิดขึ้นจากการประกอบของชิ้นส่วนที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของผู้ออกแบบ หรือเมื่อนำชิ้นงานไปประประกอบชิ้นงานไม่สามารถทำงานได้ตรงตามเงื่อนไขในการทำงาน ปัญหาเหล่านี้มักเกิดจากการขาดมาตรฐานที่นำมาใช้กำหนดในการควบคุมขนาดและรูปร่างของชิ้นงานที่ต้องนำไปประกอบกันตามแบบงานในกระบวนการผลิต ซึ่งการที่ชิ้นงานที่ผลิตมาไม่สามารถใช้งานตามที่ผู้ออกแบบต้องการได้ส่งผลให้เวลาแลต้นทุนในการผลิตเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อจัดการกับปัญหาเหล่านี้ในกระบวนการผลิตทำให้การควบคุมขนาด รูปร่าง และคุณลักษณะของชิ้นงาน จึงถือว่าเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการผลิต ซึ่งทำได้โดยการกำหนดสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต (Geometric Dimensioning and Tolerancing) ลงในแบบสั่งผลิต เพื่อลดปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทั้งยังช่วยควบคุมชิ้นงานในการประกอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิธีการสร้างสัญลักษณ์ GD&T โดยใช้ Design Structure Matrix (DSM). การวอเคราะห์ความสัมพันธ์ในการประกอบส่วนประกอบผ่าน DSM ช่วยให้เข้าใจกระบวนการประกอบได้ชัดเจน ลดการกำหนดสัญลักษณ์ที่ไม่จำเป็น กรณีศึกษาแบบจำลองของชิ้นงานฐานลูกกลิ้ง วิธีการวิจัยจะวิเคราะห์และสร้างสัญลักษณ์ GD&T เพื่อควบคุมรูปร่างของชิ้นงาน แนวทางนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่ออธิบายกระบวนการประกอบอย่างชัดเจนและรัดกุมพร้อมทั้งลดสัญลักษณ์ที่ไม่จำเป็นให้เหลือน้อยที่สุด

คำสำคัญ: ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต, เมตริกส์ความสัมพันธ์, แผนการประกอบ

[1] สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมการออกแบบและผลิตเครื่องจักรกล คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

[1] Machine Design and Manufacturing Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH, BANGKOK 10800

* Corresponding author e-mail: s6203011612037@email.kmutnb.ac.th

Abstract

In mechanical design, a common issue arises in assembling components that must meet the designer's requirements or function as intended after assembly. This problem often stems from a lack of specified standards to control the dimensions and characteristics of the components in the manufacturing drawings. Such oversights in the design process contribute to increased production time and costs. To address these challenges in the production process, controlling each component's size, shape, and characteristics becomes essential. This is achieved by incorporating geometric dimensioning and tolerance (GD&T) symbols into the manufacturing drawings. By doing so, potential problems can be minimized, enhancing the compatibility of components during assembly. Consequently, this research studies methods to establish GD&T symbols using the Design Structure Matrix (DSM). Analyzing relationships in the assembly of components through DSM allows for a clear understanding of the assembly process, reducing unnecessary symbol assignments. Through a Belt Roller Support model case study, the research methodology analyzes and establishes GD&T symbols for geometric tolerances. This approach aims to clearly and concisely depict the assembly process while minimizing unnecessary symbols.

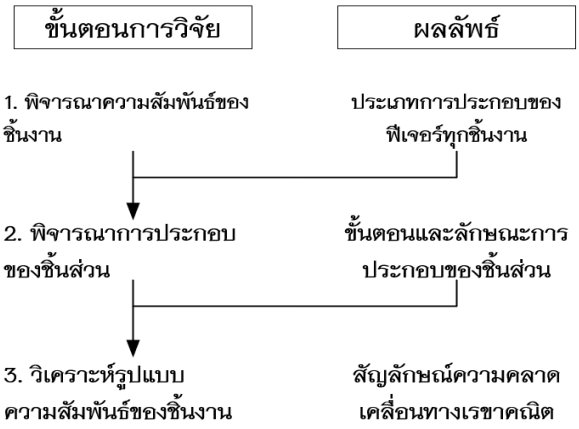
Keywords: Geometric Dimensioning and Tolerancing, Design Structure Matrix, Assembly plan

บทนำ

ในงานออกแบบเชิงวิศวกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล ผู้ออกแบบมักประสบปัญหาด้านการประกอบ เนื่องจากเมื่อชิ้นงานผ่านกระบวนการผลิตแล้วไม่สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้ รวมถึงไม่สามารถทำงานได้ตรงตามที่กำหนด สาเหตุเนื่องจากผู้ออกแบบไม่ได้ระบุมาตรฐานที่ใช้ควบคุมคุณภาพของชิ้นงานที่สามารถยืนยันได้ว่าประกอบกันได้อย่างแม่นยำจากความต้องการของผู้ออกแบบที่มีความต้องการออกแบบชิ้นส่วนทางกล ผู้ออกแบบมีความจำเป็นที่ต้องกำหนดสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต (Geometric Dimensioning and Tolerancing, GD&T) ลงในแบบงานเพื่อใช้ในการควบคุมการผลิตที่ต้องนำชิ้นส่วนไปประกอบกันในขั้นตอนต่อไป ดังนั้นการที่จะกำหนดสัญลักษณ์ GD&T จึงจำเป็นต้องมีความเหมาะสมกับชิ้นส่วนและตรงตามความต้องการของฟังก์ชันการใช้งาน โดยการกำหนดสัญลักษณ์ GD&Tนั้นปัจจุบันในโปรแกรมมีวิธีการที่สามารถกำหนดแบบอัตโนมัติที่สามารถใส่สัญลักษณ์ลงในแบบงานให้กับทางผู้ออกแบบได้ในทันที แต่ผลลัพธ์ที่ได้มานั้นเกินความจำเป็นและไม่ได้เหมาะสมกับการใช้งานของชิ้นงานเสมอไป

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์GD&Tลงในแบบงาน โดยการใช้ตารางเมตริกส์ความสัมพันธ์ (Dependency Structure Matrix, DSM) ในการแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาขั้นตอนของการวิเคราะห์ในการหาผลลัพธ์ออกมาเป็นสัญลักษณ์GD&Tที่มีความเหมาะสมกับแบบงาน ตรงตามความต้องการของฟังก์ชันการใช้งานเพิ่มมากขึ้น และแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของขั้นตอนในการวิเคราะห์ออกมาได้อย่างชัดเจน

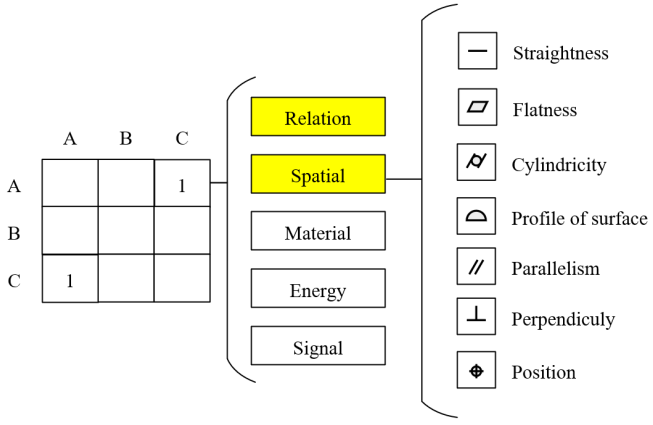
ระเบียบวิธีวิจัย



ภาพที่ 1 แสดงลำดับและผลลัพธ์ในการพิจารณา

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชิ้นงานฐานลูกกลิ้ง โดยมีการกำหนดเงื่อนไขของชิ้นงานเพื่อที่จะนำไปสู่การกำหนดสัญลักษณ์ GD&T ลงในแบบงานสั่งผลิต โดยการกำหนดสัญลักษณ์ GD&T ในแบบงานจะนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการควบคุมชิ้นงานเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพมากขึ้นก่อนนำชิ้นงานไปทำการประกอบ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1). พิจารณาความสัมพันธ์ของชิ้นงาน 2). กำหนดเงื่อนไขในการประกอบ 3). วิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ของชิ้นงาน เพื่อกำหนดสัญลักษณ์ GD&T โดยได้นำทฤษฎีของ DSM เข้ามาแทรกในแต่ละขั้นตอน เพื่อช่วยในการนำผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนพิจารณาความสัมพันธ์และแสดงเงื่อนไขในการประกอบของชิ้นงานได้อย่างชัดเจนทำให้มองเห็นความแตกต่างของผิวที่มีความสัมพันธ์กันแต่ไม่ได้มีเงื่อนไขต่อกันง่ายมากขึ้น[8]

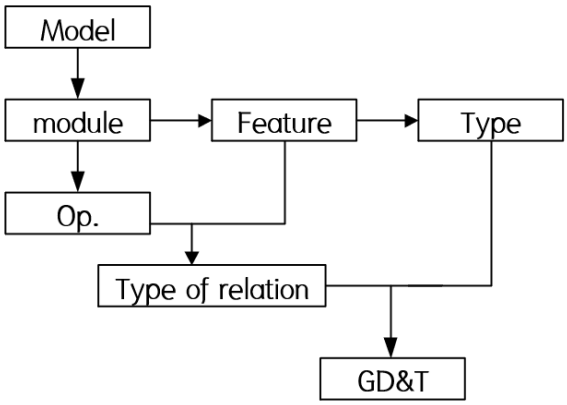
DSM เป็นเมทริกซ์ที่สามารถนำมาแสดงองค์ประกอบระบบจำนวนมากและความสัมพันธ์ในลักษณะกะทัดรัดที่เน้นรูปแบบที่สำคัญในข้อมูล ในจุดนี้ทำให้ได้พบจุดที่มีความสัมพันธ์กันของข้อมูลได้ง่ายมากขึ้น เป็นเมทริกซ์ที่มีรูปร่างของช่องเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งเป็นการใช้จำนวน ส่วนประกอบ มาใช้เป็นหัวตารางซึ่งเรียกว่าโหนด โหนดมีไว้ในการสร้างตัวเมทริกซ์ขึ้นมาเพื่อใช้พิจารณาในข้อมูล การกำหนดเครื่องหมายที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในช่องเมท–ริกซ์ การกำหนดสัญลักษณ์ลงในตารางสามารถกำหนดเครื่องหมายได้หลายรูปแบบ ซึ่งสามารถทำเป็นการแบ่งเป็นระดับหรือการให้ความสัมพันธ์และการใส่ข้อมูลที่สอดคล้องกันระหว่างโหนดได้ โดยในงานวิจัยของเราได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องความสัมพันธ์และพื้นที่ของชิ้นงานเป็นหัวข้อที่ทำการเน้นไว้ดังภาพที่ 2



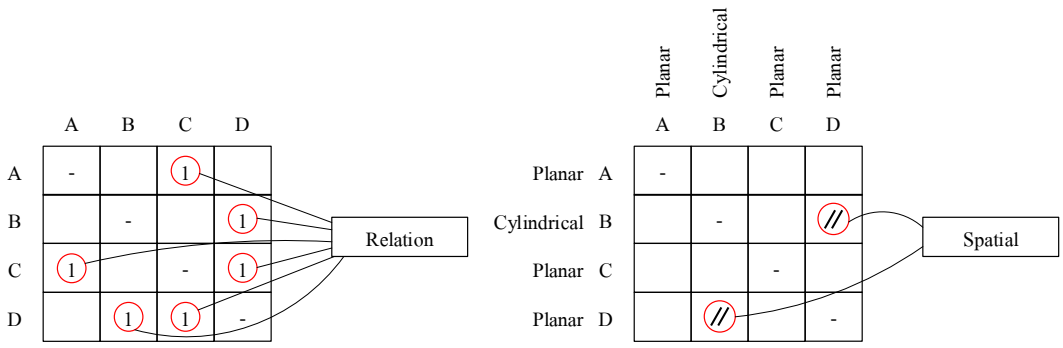
ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตและ DSM

การพิจารณาความสัมพันธ์ของชิ้นงานที่มีการนำชิ้นส่วนมาประกอบกันจำเป็นต้องวิเคราะห์ตั้งแต่องค์ประกอบภายนอกของชิ้นงาน ชุดประกอบย่อย ไปจนถึงแต่ละชิ้นส่วน การจำแนกชิ้นส่วนออกจากชุดชิ้นงานทำให้เราทราบถึงจำนวนชิ้นส่วนอย่างชัดเจน ทั้งยังง่ายต่อการกำหนดชื่อให้กับชิ้นส่วนในแต่ละชิ้นเพื่อที่จะนำชิ้นส่วนนั้นไปพิจารณาหน้าสัมผัสที่เกิดการสัมผัสกันกับชิ้นส่วนอื่นในกระบวนการประกอบ หน้าสัมผัสที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันเรากำหนดให้เป็นฟีเจอร์ (Features) ไว้ใช้ในการจำแนกลักษณะหน้าสัมผัสของชิ้นงานที่แบ่งออกได้เป็นระนาบ (Planar) หรือเป็น กระบอกและรู (Cylindrical-hole) เพื่อนำมากำหนดเป็นประเภทในการประกอบ

การพิจารณาขั้นตอนการประกอบของชิ้นงาน เป็นขั้นตอนที่ต้องคำนึงถึงกระบวนการเตรียมการประกอบและการนำชิ้นส่วนมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยทำการกำหนดขั้นตอนแทนด้วย (1), (2) และ (3) ตามลำดับ การเรียงลำดับการประกอบเพื่อนำไปพิจารณาความสำคัญของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นว่าจำเป็นต้องมีความตรง คดเอียงมากน้อยเพียงใด และต้องอ้างอิงกับส่วนใดจากนั้นให้ทำแผนการในการประกอบขึ้นโดนเรียงจากขั้นตอนแรกเพื่อดูว่าเป็นการประกอบกันของฟีเจอร์ใดและเป็นการประกอบกันแบบความสัมพันธ์แบบดังตารางที่ 4 ในขั้นตอนนี้มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับพิกัดงานสวมและการประกอบกันของชิ้นงาน โดยการสวมนั้นมีทั้งการสวมอัด, สวมคลอน, และสวมพอดี การประกบกันของระนาบ (Planar) ยังมีทั้งการประกบกันแบบไม่แนบสนิท การประกบกันแบบแนบแน่นหรือการประกบแบบนั่งบ่าเป็นต้น ซึ่งจำเป็นที่ต้องนำมาวิเคราะห์ก่อนจะนำชิ้นส่วนไปทำการกำหนดค่าสัญลักษณ์ลงในแบบงานต่อไป



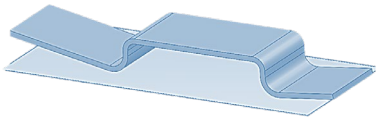
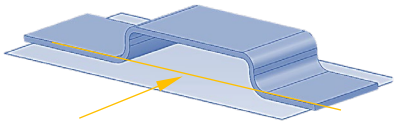
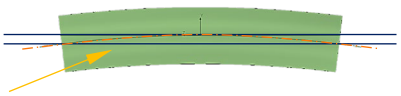
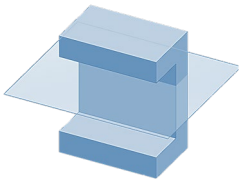
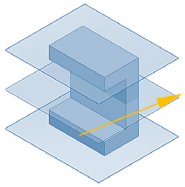
ภาพที่ 3 แสดงความสอดคล้องของการวิเคราะห์



ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์การประกอบ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชิ้นงานจำเป็นที่จะต้องใช้ผลลัพธ์ที่ได้มาจากการพิจารณาก่อนหน้า เพื่อมาพิจารณาร่วมกับทฤษฎีในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 โดยตารางที่ 1 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับหน้าสัมผัสแรกหรือหน้าที่จะใช้กำหนดเป็น Datum เพื่อจะนำไปไว้ใช้อ้างอิงกับหน้าสัมผัสในด้านอื่นต่อไปและตารางที่ 2 ที่มีการใช้ดาตัมเป็นหน้าสัมผัสอ้างอิงกับอีกหน้าสัมผัสนึง หรือการพิจารณา 2 หน้าสัมผัสพร้อมกัน ในขั้นตอนนี้เราได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ลงใน DSM แสดงสรุปของชิ้นงานที่มีความสัมพันธ์ทำให้ง่ายต่อการตัดสินใจเลือกใช้สัญลักษณ์ เช่น หากมีการกำหนด Datum ที่ผิวราบ นำมาใช้จอ้างอิงกับแกนจะได้สัญลักษณ์ใด เป็นต้น ในขั้นตอนการวิเคราะห์จะมีการใช้ DSM แสดงผลสรุปของชิ้นงานที่มีความสัมพันธ์กันและมีเงื่อนไขต่อกันเพื่อแสดงให้เห็นผลลัพธ์ที่แตกต่างกันของทั้ง 2 เงื่อนไขอย่างชัดเจนดังตัวอย่างในภาพที่ 4 การแสดงให้เห็นจะทำให้ทราบว่าชิ้นงานที่มีหน้าสัมผัสกันในการประกอบไม่ได้จำเป็นที่จะต้องมีเงื่อนไขควบคุมในการผลิตเพื่อเพิ่มเวลาและเพิ่มค่าใช้จ่ายตรงส่วนนั้น จากการกล่าวมาข้างต้นแสดงความสอดคล้องของการวิเคราะห์ของผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละขั้นตอนได้ดังภาพที่ 3

ตารางที่ 1 ประเภท GD&T [1]

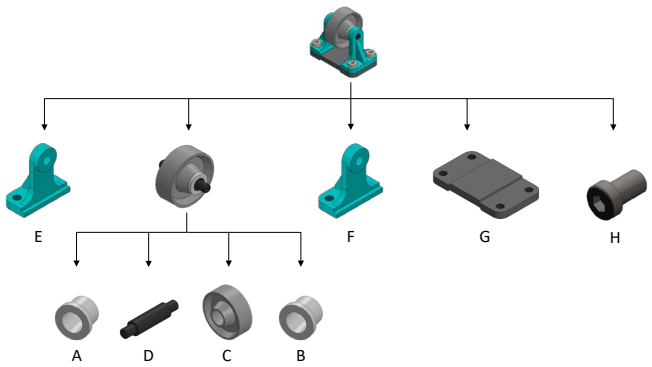
Feature Type	Tolerance Type
Planar	Flatness
	
Co Planar surface	Surface profile
	
Cylindrical	Straightness
	
Width–Type	Straightness
	

ตารางที่ 2 การเลือกสัญลักษณ์GD&T [1]

Condition on target and datum	Tolerance type	Basic dimensions
Planar to Planar, parallel	Parallelism	Distance
Planar to Planar, Perpendicular	Perpendicularity	n/a
Planar to Planar, angular	Angularity	Angle
Planar to cylindrical, parallel	Surface profile	Distance (≠0)
Planar to cylindrical, perpendicular	Perpendicularity	n/a
Planar to cylindrical, angular	Angularity	Angle
Planar to width type, coincident	Surface profile	n/a
Planar to width–type, parallel	Surface profile	Distance
Planar to width–type, perpendicular	Perpendicularity	n/a
planar to width–type, angular	Angularity	Angle
Cylindrical to planar, parallel	Position	Distance (≠0)
Cylindrical to planar, perpendicular	Perpendicularity	n/a
Cylindrical to planar, angular	Angularity	Angle
Cylindrical to cylindrical, coaxial	Position	n/a
Cylindrical to cylindrical, parallel	Position	Distance
Cylindrical to cylindrical, perpendicular, incident	Perpendicularity	n/a
Cylindrical to cylindrical, perpendicular, non–incident	Position	Distance
Cylindrical to cylindrical, angular, incident	Angularity	Angle
Cylindrical to cylindrical, angular, non–incident	Position	Distance, angle
Width–type to planar, coincident	Position	n/a
Width–type to planar, parallel	Position	Distance
Width–type to planar, perpendicular	Perpendicularity	n/a
Width–type to planar, angular	Angularity	Angle

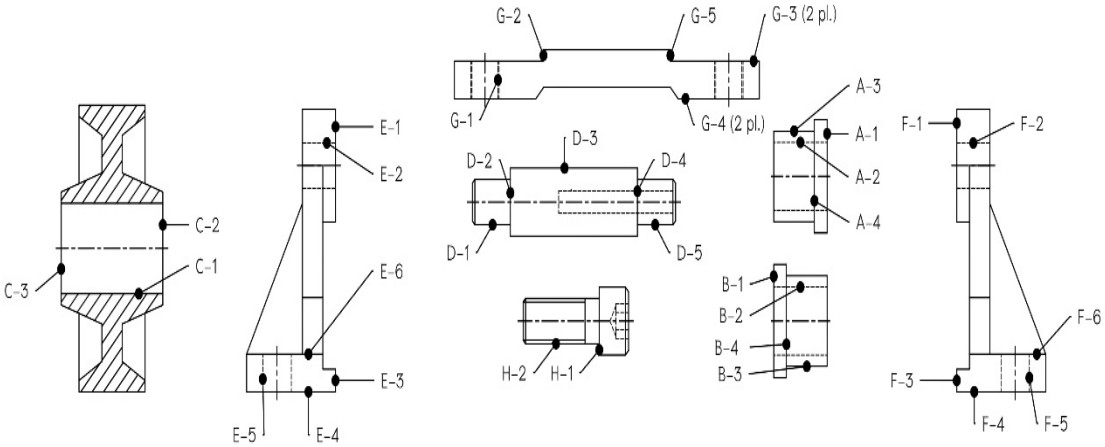
กรณีศึกษา

กรณีศึกษานี้ทำการศึกษาโมเดลฐานลูกกลิ้ง (Belt Roller Support) เพื่อนำไปเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์หาสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตที่จะแสดงในแบบสั่งผลิตและเพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโมเดลอื่นต่อไป



ภาพที่ 5 จำแนกชิ้นส่วนโมเดล Belt Roller Support

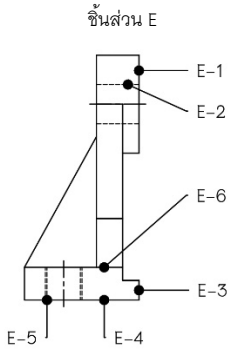
การวิเคราะห์ชิ้นงานจำเป็นที่ต้องทำการจำแนกชิ้นส่วนของโมเดล **ฐานลูกกลิ้ง (Belt Roller Support)** ย่อยออกมาเพื่อพิจารณาจำนวนขอชิ้นส่วนและทำการกำหนดชื่อให้ชิ้นส่วนดังภาพที่ 5 โดยสามารถจำแนกออกเป็น ขารองรับเพลา 2 ชิ้น (E/F), แผ่นเพลท 1 ชิ้น (G), นัต (Nut) 4 ชิ้น (H) ในกลุ่มของชุดล้อที่เป็นชุดประกอบย่อย จะจำแนกชิ้นส่วนออกเป็น 4 ชิ้นส่วน คือ บูช 2 ชิ้น (A/B), เพลา 1 ชิ้น (D), ล้อ 1 ชิ้น (C) เมื่อเราได้ชื่อของชิ้นส่วนครบแล้วทำให้เราสามารถวิเคราะห์หน้าสัมผัสที่เกิดการสัมผัสกันในการประกอบได้เพื่อนำมาทำการกำหนดชื่อของฟีเจอร์จากหน้าสัมผัสที่มีการประกอบกันจะได้ผลลัพธ์ออกมาดังภาพที่ 6 โดยฟีเจอร์ที่กำหนดมาจะนำไปใช้ในการพิจารณาประเภทหน้าสัมผัสของหน้าที่กำหนดต่อไป



ภาพที่ 6 กำหนดฟีเจอร์

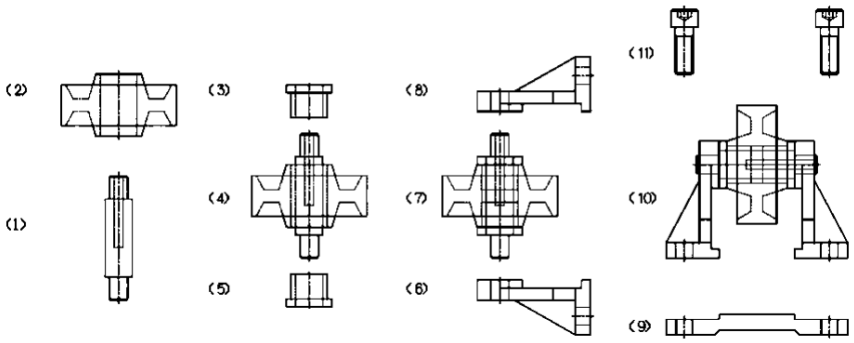
ฟีเจอร์ที่ถูกตั้งขึ้นไว้เพื่อนำมาพิจารณารูปร่างของหน้าสัมผัส ในส่วนนี้จะทำการยกตัวอย่างชิ้นส่วน E ที่ได้ทำการกำหนดฟีเจอร์ไว้ มาเรียบเรียงและพิจารณารูปร่างของหน้าสัมผัสดังตารางที่ 3 [7] โดยชิ้นส่วน E แบ่งเป็นฟีเจอร์ E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 จากการพิจารณารูปร่างในการประกอบของชิ้นส่วน E จะเห็นว่า E-1, E-3, E-4 เป็นหน้าสัมผัสแบบราบเรียบ จึงกำหนดเป็นประเภท ระนาบ (Planar) ฟีเจอร์ E-2, E-5 เป็นรูปร่างของรู จึงกำหนดเป็นประเภทกระบอกและรู (Cylindrical-hole)

ตารางที่ 3 กำหนดผิวสัมผัสชิ้นส่วน E [1]



ชิ้นส่วน E		
ฟีเจอร์	**จำนวน**	**ประเภท**
E-1	1	ระนาบ (Planar)
E-2	1	Cylindrical hole
E-3	1	ระนาบ (Planar)
E-4	1	ระนาบ (Planar)
E-5	2	Cylindrical hole

การกำหนดขั้นตอนการประกอบของชิ้นส่วนจะพิจารณาขั้นตอนการประกอบของชิ้นงานตามกระบวนการผลิต ตัวอย่าง การเตรียมเพลา(1) นำล้อสวมกับเพลาที่เตรียมไว้(2) การเตรียมบูช(3), (5) สวมเข้ากับชุดล้อ(4) ที่ได้จากการประกอบกันของ(1)และ(2) นำขารองรับเพลา(6), (8) ประกอบกับชุดล้อ(7) จะได้ชุดล้อ(10) ขั้นตอนสุดท้าย นำเพลท(9) และ นัต (Nut)(11) ประกอบเข้ากับชุดล้อ(10) จะได้ชิ้นงาน Belt Roller Support ที่สมบูรณ์ โดยการเตรียมชิ้นส่วนในขั้นตอนที่ 1 เพื่อนำชิ้นส่วนที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 2 มาประกอบเข้าด้วยกัน เช่น การประกอบชุดล้อเป็นการเตรียมขั้นตอนที่ 1 โดยการนำ 2 มาประกอบกันจะได้ ขั้นตอนที่ 4 แล้วนำชุดประกอบในขั้นตอนที่ 4 มาประกอบกับบูชในขั้นตอนที่ 3 และ 5 จะได้เป็นชุดล้อในขั้นตอนที่ 7 เป็นต้น เป็นการประกอบกันตามชุดประกอบย่อยที่ได้ทำการจำแนกไว้



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการประกอบของชิ้นส่วน

จากการวิเคราะห์ลำดับขั้นตอนในการประกอบทำให้เราทราบถึงชิ้นส่วนที่จำเป็นต้องใช้อ้างอิงในการกำหนดเงื่อนไขในการสวมประกอบของชิ้นถัดไป ทำให้เราเรียงลำดับขั้นตอนในการนำมาพิจารณาชิ้นส่วนเป็นลำดับได้ง่ายขึ้น ดังการยกตัวอย่างในตารางที่ 4 โดยในขั้นตอนนี้จะนำประเภทหน้าสัมผัสของฟีเจอร์มาพิจารณาหาประเภทความสัมพันธ์ของชิ้นงาน ตัวอย่างการวิเคราะห์ในขั้นตอน (7) แสดงการประกอบกันระหว่างฟีเจอร์ D-1 กับ E-2 เป็นการประกอบกันโดยการสวมระหว่างเพลาที่มีผิวสัมผัสประเภทกระบอกและรู (Cylindrical-hole) กับรูที่มีผิวสัมผัสประเภทกระบอกและรู (Cylindrical-hole) จึงกำหนดให้เป็น Feature Of Size โดยพิจารณาจากฟังก์ชันการทำงานของชิ้นส่วน ซึ่งการทำงานของชิ้นส่วน D และ E หลังจากการประกอบจะไม่เกิดการเคลื่อนที่ จึงกำหนดให้เป็นการสวมอัด (Interference, I) ตัวอย่างการวิเคราะห์ในขั้นตอน (7) แสดงการประกอบกันระหว่างฟีเจอร์ D-2 กับ E-1 เป็นการประกอบกันระหว่างผิวระนาบ 2 ผิว ที่ไม่จำเป็นต้องแนบสนิทและไม่จำเป็นต้องอยู่ใน

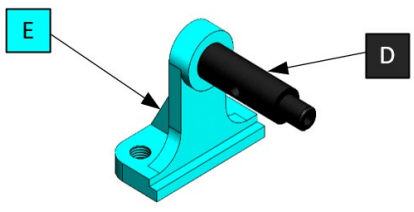
ระนาบเดียวกัน จึงกำหนดให้เป็น การประกอบกันแบบ ปกติ **ใน 1 ขั้นตอนของการประกอบไม่จำเป็นต้องเกิดหน้าสัมผัสเพียงด้านเดียว**

ตารางที่ 4 กำหนดประเภทความสัมพันธ์ [1]

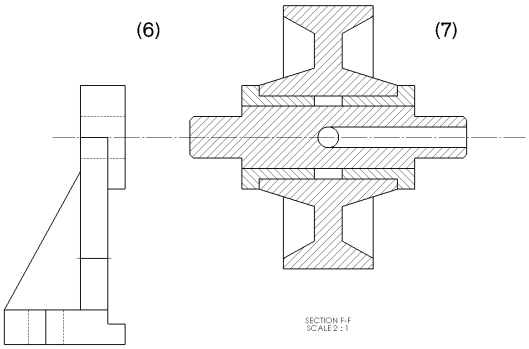
แผนการประกอบ		
ขั้นตอน	**ฟีเจอร์**	**ประเภทความสัมพันธ์**
(1)	-	-
(2)	C-1, D-3	Feature Of Size (C)
(3)	-	-
(4)	A-2, D-3 A-3, C-1 A-4, C-2	Feature Of Size (I) Feature Of Size (C) Nominal
(5)	B-2, D-3 B-3, C-1 B-4, C-3	Feature Of Size (I) Feature Of Size (C) Nominal
ขั้นตอน	**ฟีเจอร์**	**ประเภทความสัมพันธ์**
(6)	-	-
(7)	D-1, E-2 D-2, E-1	Feature Of Size (I) Nominal
(8)	D-5, F-2 D-4, F-1	Feature Of Size (I) Nominal
(9)	-	-
(10)	E-4, G-3 E-3, G-2 F-3, G-5	Seating Nominal Nominal
(11)	H-2, E-5 H-2, F-5 H-1, E-6 H-1, F-6	Feature Of Size (T) Feature Of Size (T) Simple Simple

ในการแสดงผลความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนจากการประกอบ จะใช้หลักการ DSM เพื่อมาแสดงความเชื่อมโยงของชิ้นส่วนให้มองภาพได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น โดยในขั้นตอนนี้จะทำการแทน 1 ระหว่างชิ้นส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน ยกตัวอย่างชิ้น E-D จากขั้นตอนที่ (7) มาแสดงตารางความสัมพันธ์กับของชิ้นส่วนทั้งหมดในชิ้นงานโดยอ้างอิงจากการดูคอลัมป์ของฟีเจอร์ในตารางที่ 4 ผลลัพธ์จะออกมาได้ดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11

	E	D
E		1
D	1	



ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วน E และ D



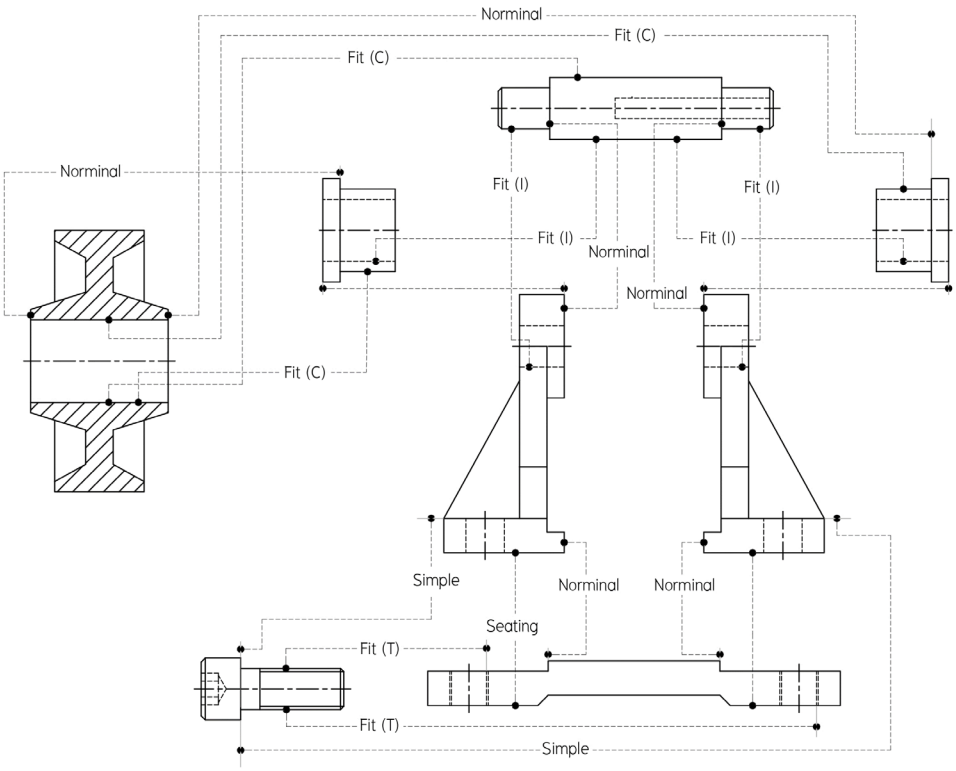
	E1	E2	E3	E4	E5	D1	D2	D3	D4	D5
E1										
E2										
E3										
E4										
E5										
D1		1								
D2	1									
D3										
D4										
D5										

ภาพที่ 9 แสดงส่วนที่ประกอบกันขั้นตอนที่ 6 และ 7

ตารางที่ 5 แสดงชิ้นส่วนที่ประกอบกันของ Model

Part	A	B	C	D	E	F	G	H
A			1	1		1		
B			1	1	1			
C	1	1		1				
D	1	1	1		1	1		
E		1		1			1	1
F	1			1			1	1
G					1	1		1
H					1	1	1	

การพิจารณาในขั้นต่อไปเป็นการนำประเภทความสัมพันธ์ที่ได้ทำการกำหนดไว้ดังตารางที่ 4 มาแสดงให้เห็นเป็นรูปแบบที่ชัดเจนขึ้นในความสัมพันธ์ของชิ้นงาน จากการที่พิจารณาหน้าสัมผัสได้ว่าหน้าสัมผัสมีการสัมผัสกันแต่ไม่ได้กำหนดว่าประกอบกันแบบแนบสนิทหรือเป็นการวางไว้ โดยทางผู้วิจัยได้ตั้งขอบเขตของการกำหนดการประกอบของผิวไว้เป็นการแนบชิด แนบแน่น และการประกบกัน ทั้งในฟีเจอร์การประกอบที่ได้กำหนดความสัมพันธ์ประเภท Feature Of Size จะกำหนดรูปแบบการสวมประกอบลงในแบบงาน ฟีเจอร์ที่กำหนดความสัมพันธ์ประเภทประกอบกันปกติ จะไม่กำหนดรูปแบบลงในแบบงาน เนื่องจากเป็นผิวที่สัมผัสกันจากการประกอบกันของชิ้นส่วนอื่น และไม่ส่งผลกับการประกอบกันของชิ้นส่วนอื่น ในฟีเจอร์ที่กำหนดความสัมพันธ์ประเภทนั่งบ่า(Seating) จะกำหนดรูปแบบสัมผัสกันปกติลงในแบบงาน และฟีเจอร์ที่กำหนดความสัมพันธ์ประเภททั่วไป(Nominal) จะใช้ส่วนมากกับพวกสกรูหัวจมจะกำหนดรูปแบบแนบลงในแบบงาน



ภาพที่ 10 กำหนดรูปแบบการประกอบ

กำหนดสัญลักษณ์ GD&T เป็นการนำรูปแบบของความสัมพันธ์ที่กำหนดลงในแบบงาน มาวิเคราะห์การกำหนดสัญลักษณ์ควบคู่กับการเปรียบเทียบตารางเพื่อกำหนดสัญลักษณ์

จากการที่เราได้ผลลัพธ์จากแต่ละขั้นตอนในการวิเคราะห์ทำให้สามารถใช้ผลลัพธ์ที่เรามีอยู่ เพื่อวิเคราะห์หาสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตใส่ลงในแบบงานสั่งผลิตได้ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชิ้นงานที่มีหน้าสัมผัสกัน การพิจารณาขั้นตอนในการประกอบและรูปแบบในการประกอบควบคู่ไปด้วยว่าเป็นหน้าสัมผัสประเภทใด นำผลที่ได้มาไปเทียบกับตารางที่ 1 และตารางที่ 2 เพื่อใช้ในการหา Datum ที่ต้องนำมาใช้หรือจะเป็นการใช้ Datum ในการอ้างอิงกับหน้าสัมผัสด้านอื่นเพื่อหาสัญลักษณ์ออกมาใช้ในการกำหนดลงในแบบสั่งงานดังภาพที่ 11 ที่แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ของชิ้น D–E ในขั้นตอนที่ (7) ที่เป็นการประกอบแบบสวมกัน

การพิจารณาสัญลักษณ์โดยการใช้พื้นผิวที่ได้กำหนดในการประกอบมาพิจารณาในการกำหนด Datum เช่น การพิจารณาผิว E–4 ของชิ้นส่วน E โดยการดูจากประเภทที่ได้กำหนดไว้เพื่อนำมาเทียบกับตาราง ที่ 1 เพื่อใส่สัญลักษณ์ของพื้นผิวที่จะนำมาเป็น Datum เริ่มต้นของชิ้นงานนั้น หรือการกำหนดสัญลักษณ์ของด้านถัดไปโดยการยึด Datum อ้างอิงจากผิวที่กำหนดไว้เป็นลำดับแรกจากตัวอย่างของพื้นที่ E–2 ต้องพิจารณาระยะความคลาดเคลื่อนของรูโดยการอ้างอิงระยะมาจากพื้นที่ของ E–4 จึงได้ออกมาเป็น Cylindrical to Planar หลังจากนั้นนำการพิจารณาไปเทียบในตารางที่ 2 เพื่อหาสัญลักษณ์ในการกำหนดออกมาได้เป็นตำแหน่ง (Position) พิจารณาประเภทความสัมพันธ์ในการประกอบและดาตั้มอ้างอิงของชิ้นส่วนควบคู่กับตารางทฤษฎี GD&T เพื่อกำหนดสัญลักษณ์ GD&T

	D1	D2	E1	E2
D1	–			1
D2		–	1	
E1		1	–	
E2	1			–

Cylindrical to Cylindrical, coaxial ⟶ Position

D1 E2 Feature of size

D2 E1 nominal

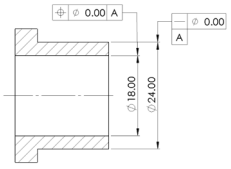
	Cylindrical D1	Planar D2	Planar E1	Cylindrical E2
Cylindrical D1	–			⌖
Planar D2		–		
Planar E1			–	
Cylindrical E2	⌖			–

ภาพที่ 11 แสดงการพิจารณาความสัมพันธ์

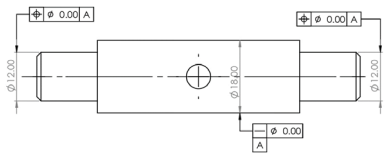
ตารางที่ 6 การกำหนดประเภทสัญลักษณ์และดาตั้มอ้างอิง

features	Tolerance Type
E-4	planar ⟶ Flatness
E-2	Feature Of Size ⟶ size tolerance Datum A: Cylindrical to planar, Parallel ⟶ Position
E-3	Datum A: planar to planar, Perpendicular ⟶ Perpendicularity
E-5	Feature Of Size ⟶ size tolerance Pattern, rectangular ⟶ position, datum A, grid distances Set pattern, rectangular ⟶ datum B, Datum A: Cylindrical to planar, Perpendicular ⟶ Perpendicularity fit (T) Datum B: Cylindrical to planar, Parallel ⟶ Position
E-6	Datum A: planar to planar, Parallel ⟶ Parallelism

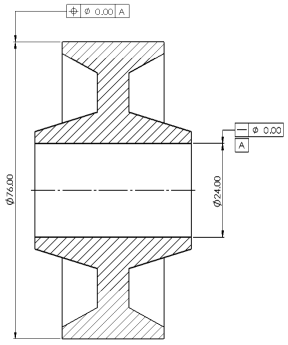
กำหนดสัญลักษณ์ GD&T ลงในแบบงานสั่งผลิต โดยการนำสัญลักษณ์และดาตั้มอ้างอิงมากำหนดลงในแบบของชิ้นส่วน



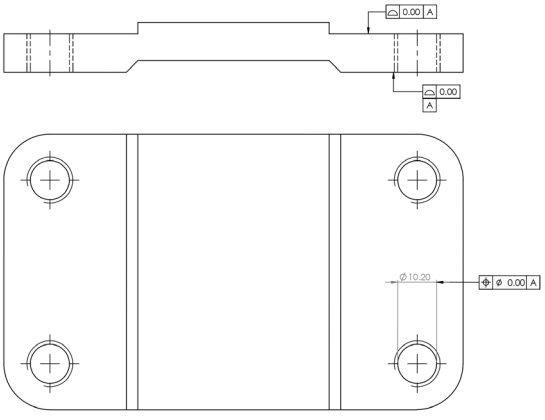
ภาพที่ 12 การกำหนดสัญลักษณ์ที่ชิ้นส่วน A/B, บูช



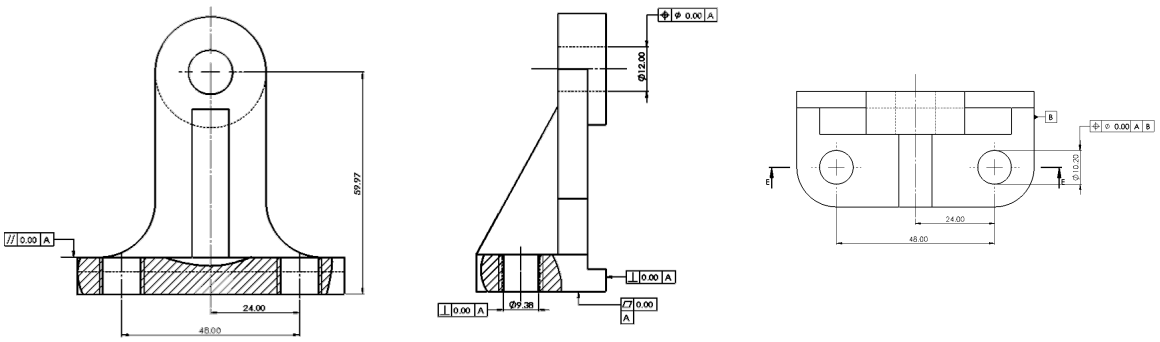
ภาพที่ 13 การกำหนดสัญลักษณ์ที่ชิ้นส่วน D, เพลา



ภาพที่ 14 การกำหนดสัญลักษณ์ที่ชิ้นส่วน C, ล้อ



ภาพที่ 15 การกำหนดสัญลักษณ์ที่ชิ้นส่วน G, แผ่นเพลท



ภาพที่ 16 การกำหนดสัญลักษณ์ที่ชิ้นส่วน E/F, ขารองรับเพลา

อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาขั้นตอนในการกำหนด GD&T ลงในแบบงานทำให้ทราบว่าในแต่ละขั้นตอนจำเป็นต้องใช้หลักการและหาข้อสรุปกับผลลัพธ์ที่ได้เพื่อนำมาพิจารณาในขั้นตอนแต่ละขั้นตอนอย่างถี่ถ้วนเนื่องจากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษานั้นมีองค์ประกอบที่หลากหลายและยังสามารถพลิกแพลงได้ ทางผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องที่จะศึกษาตามคำสำคัญเป็นส่วนมากเพื่อที่จะได้ขอบเขตของงานที่ชัดเจนและเนื้อหาในส่วนที่จะศึกษาชัดเจนมากขึ้น

จึงทำให้ผู้วิจัยได้ทราบถึงหลักการและข้อกำหนดในการกำหนดGD&Tลงในแบบงานในหลายด้านและพบวิธีที่นำไปสู่การพิจารณาที่เป็นขั้นเป็นตอนและมีที่มาที่ไปจากการกำหนดสัญลักษณ์ลงในแบบงาน และทางผู้วิจัยยังได้ความรู้เพิ่มเติมจากการที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องของ DSM เพื่อที่จะทำให้มุมมองในการมองความสัมพันธ์ที่มีความเกี่ยวข้องกันของชิ้นส่วนสะดวกยิ่งขึ้น

จากที่ได้ศึกษาและได้ผลลัพธ์เกี่ยวกับ DSM ออกมาทำให้ทางผู้วิจัยได้เห็นถึงการนำค่าเหล่านี้เพื่อไปใช้ในการศึกษาต่อให้เกิดประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับค่าพิกัดความเผื่อที่ต้องนำมากำหนดคู่กับความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตต่อไปได้อีก การศึกษาเกี่ยวกับพิกัดความเผื่อทางเรขาคณิตนั้นยังทำให้ทราบว่าการกำหนดพิกัดความเผื่อทางเรขาคณิตยังมีสัญลักษณ์ที่ทางเรายังไม่ได้ทำการศึกษาอย่างละเอียดเพิ่มเติมอีกมากมาย จึงเป็นเรื่องที่สามารถนำไปศึกษาต่อยอดต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

Antoni Armillotta, (2013), A method for computer–aided specification of geometric tolerances, Dipartimento di Meccanica, Politecnico, Via La Masa 1, 20156 Milano, Italy.

Stefano Tornincasa, (2021), Technical Drawing for Product Design Mastering IOS GPS and ASME GD&T, Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland.

ASME International, (2009), Dimensioning and Tolerancing, The American Society of Mechanical Engineers.

Antonio Armillotta and Quirico Semeraro, (2011) “Geometric Tolerance Specification”, Dipartimento di Meccanica, Politecnico, Via La Masa 1, 20156 Milano, Italy.

Stefano Tornincasa, (2020), Technical Drawing for Product Design – Mastering ISO GPS and ASME GD&T, Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland.

R. Pérez, (2007), The characterization and specification of functional requirements and geometric tolerances in design, University of Holguin, Cuba.

Dr.–Ing. Markus Mörtl, (2011), DSM (DEPENDENCY /DESIGN STRUCTURE MATRIX), Boltzmannstr. 15 85748 Garching – Germany

นุจิรา โคตรหานาม, (2553), พัฒนาวิธีการในการติดตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการออกแบบเพื่อรองรับการผลิต ตามความต้องการเฉพาะ, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

การออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อม้วนขอบ

Design and making deep drawing die a square box with to curling the edge work piece

เชษฐ อุทธิยัง[1*] และ นทีชัย ผัสดี[1]

Chet Uthiyoung[1*] and Nateechai Pudsdee[1]

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม แม่พิมพ์ตัด แม่พิมพ์ม้วนขอบ โดยวัสดุที่ทดลองเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด SUS 304 ความหนา 0.5 มิลลิเมตร และชิ้นงานที่เป็นกล่องสี่เหลี่ยม มีขนาด เท่ากับ 100x120x32 มิลลิเมตร ทำการตัดและม้วนขอบ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าชุดแม่พิมพ์สามารถทำการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมได้ตามที่กำหนด ชุดแม่พิมพ์ตัด ตัดได้ตามแบบที่ต้องการ และส่วนชุดแม่พิมพ์ม้วนขอบชิ้นงาน ม้วนขอบได้แต่เกิดรอยย่นบริเวณขอบผนังกับมุมขอบชิ้นงาน เพราะมีช่องว่างระหว่างพันช์กับดายมากเกินไป งานม้วนไม่สมบูรณ์

คำสำคัญ : แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป, แม่พิมพ์ตัดขอบ, แม่พิมพ์ม้วนขอบ, เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304

Abstract

Design and Making deep drawing die a square box of the 1st box die forming and cutting die and edge roll die. Material use is stainless steel SUS 304, thickness 0.5 mm. and a square size is 100x120x32 mm. and cutting and rolled edge die with diameter 5 mm.

The experimental results showed that the die set could be formed into a square box as required. But found that the edge of the edge roll die is a wrinkles at the edges of die rolled corners because the die clearance was too nigh. Workpiece is not complete.

Keywords: Deep drawing die, Cutting die, Edge roll die, Stainless steel SUS 304

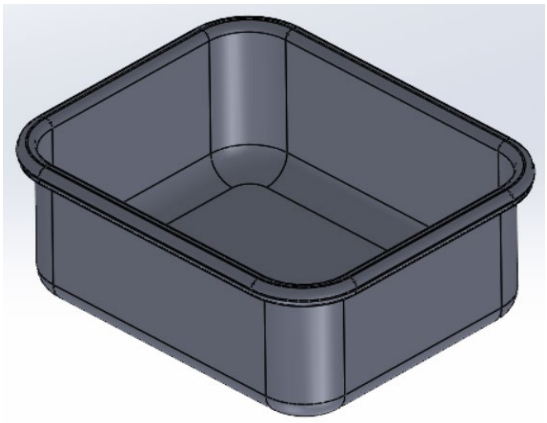
[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ 50300

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiangmai, 50300

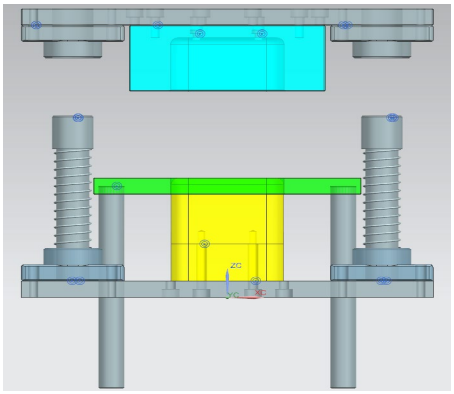
*Corresponding author e-mail : chet_tde@hotmail.com

บทนำ

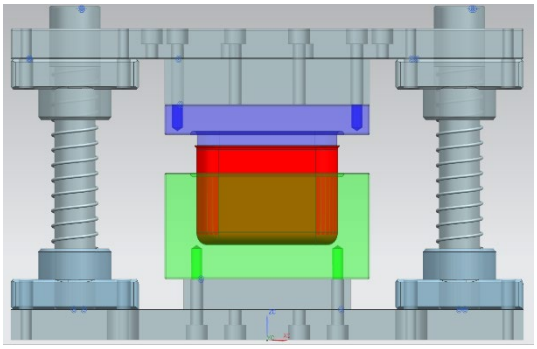
แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing Die) เป็นส่วนสำคัญที่ใช้สำหรับขึ้นรูปแผ่นโลหะให้เป็นรูปถ้วย ซึ่งอาจจะเป็นถ้วยกลม กล่องเหลี่ยม หรือรูปทรงอื่นๆ ตามแบบงาน โดยกระบวนการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing Process) มีการทำงานเป็นขั้นตอนของกระบวนการผลิตชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากโลหะแผ่น (Blank) ที่ถูกแรงกระทำจากพันช์ (Punch) กดลงในดาย (Die) เป็นลักษณะโพรงลึกลงไป ให้เหมือนกับรูปทรงของชิ้นงานที่ต้องการ สำหรับการม้วนอื่นๆ เช่นการต่อท่อและแผ่นโลหะร่วมกันโดยการม้วนขอบ (Arvind K. 2517) การฝ่าแยกท่อตามแนวแกนเส้นผ่านศูนย์กลางแล้วม้วนเป็นรูปวงกลม (Jian Li. 2019) การม้วนขอบด้านในท่อเหล็กกล้า (R. Rajabiehfard 2018) การม้วนขอบปลายท่อด้านนอกให้ได้ขนาดที่มากกว่ารัศมีวงกลม (XiaoHuan Yu. 2016) เป็นต้น การลากขึ้นรูปลึกรูปทรงกล่องสี่เหลี่ยมแบบม้วนขอบ เป็นกระบวนการที่มีความยุ่งยากมากกว่าการลากขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปทรงถ้วยกลมทั่วไป เพราะมีขั้นตอนในการผลิตหลายขั้นตอน เช่น การลากขึ้นรูปโลหะแผ่นให้ได้ชิ้นงาน การตัดขอบและม้วนขอบของชิ้นงาน ซึ่งไม่สามารถผลิตชิ้นงานได้ในขั้นตอนเดียวได้ วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อออกแบบชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปรูปทรงกล่องสี่เหลี่ยม แม่พิมพ์ตัด และแม่พิมพ์ม้วนขอบ โดยวัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304 โดยอาศัยหลักการของแม่พิมพ์ม้วนขอบ เพื่อศึกษาความหนาของชิ้นงานและความสามารถในการม้วนขอบของชิ้นงาน ดังแบบจำลองชิ้นงานแสดงในภาพที่ 1 ดังต่อไปนี้



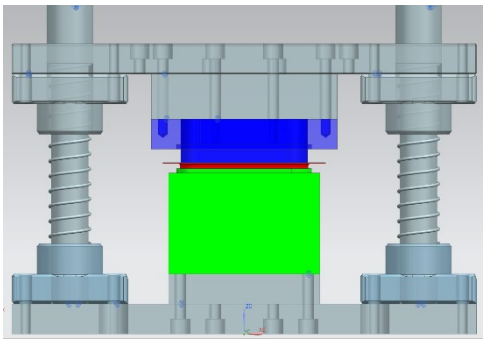
ภาพที่ 1 แบบจำลองชิ้นงานเพื่อม้วนขอบ



ภาพที่ 2 ชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 3 ชุดแม่พิมพ์ตัด



ภาพที่ 4 ชุดแม่พิมพ์ม้วนขอบ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

วัสดุ อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม (ชาญชัย ทรัพยากร และคณะ, 2552) (วารุณีและพงศ์พันธ์, 2552) ดังภาพที่ 5 สร้างอินเสิร์ทชุดพันช์และดายตัดขอบ ดังภาพที่ 6 สร้างอินเสิร์ทพันช์และดายม้วนขอบ ดังภาพที่ 7 อินเสิร์ทพันช์กับดายใช้เหล็กกล้า SKD11 ชุบแข็ง 58-60 HRC แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม มีรัศมีพันช์ 8 มิลลิเมตร รัศมีดาย 2 มิลลิเมตร ช่องว่างระหว่างพันช์กับดาย 0.66 มิลลิเมตร ขนาดชิ้นงานกว้างxยาวxสูง 100x120x32 มิลลิเมตร วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด SUS 304 ความหนา 0.5 มิลลิเมตร โดยเตรียมแผ่นงานเหล็กกล้าไร้สนิม มีขนาดกว้างxยาว 160x180 มิลลิเมตร ใช้สารหล่อลื่นในการลากขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง(HDPE) มีความหนา 0.07 มิลลิเมตร ประกบแผ่นเปล่าสองด้าน แม่พิมพ์ตัดมีช่องว่างระหว่างพันช์กับดาย0.02 มิลลิเมตร การม้วนขอบชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงานโดยไม่ฉีกขาด ไม่มีรอยย่น โดยใช้เครื่องเพรสแมคคานิกส์ 800 กิโลนิวตัน นำชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกไปติดตั้งบนเครื่องเพรส ดังภาพที่ 8 เพื่อลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม จำนวน 10 ชิ้น นำชิ้นงานกล่องสี่เหลี่ยมตัดขอบด้วยแม่พิมพ์ตัดขอบ หลังจากนั้นม้วนขอบกล่องสี่เหลี่ยมใช้ชุดแม่พิมพ์ม้วนขอบ บันทึกผลการทดลอง วัดขนาดชิ้นงานและความหนาชิ้นงาน ตามจุดที่กำหนด



(ก.) แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม (ชุดดาย)



(ข.) แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม (ชุดพันช์)

ภาพที่ 5 ชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม



(ก.) แม่พิมพ์ตัดขอบ (ชุดดาย)

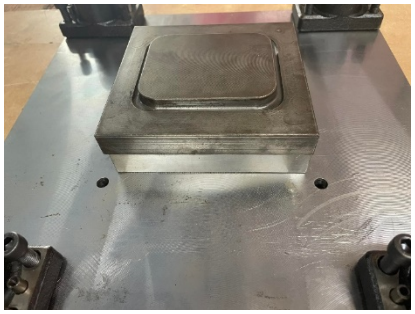


(ข.) แม่พิมพ์ตัดขอบ (ชุดพันช์)

ภาพที่ 6 แม่พิมพ์ตัดขอบ



(ก.) แม่พิมพ์ม้วนขอบ (ชุดดาย)



(ข.) แม่พิมพ์ม้วนขอบ (ชุดพันช์)

ภาพที่ 7 แม่พิมพ์ม้วนขอบ



(ก.) การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องเพรส



(ข.) จอภาพแสดงค่าการปรับตั้ง

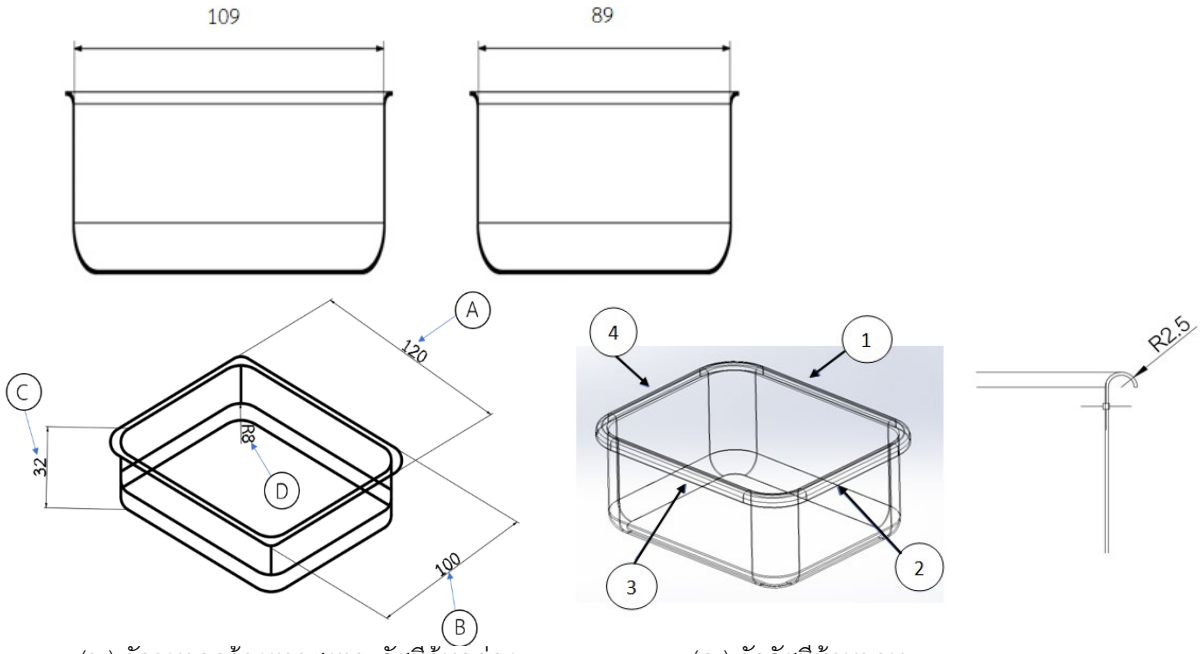
ภาพที่ 8 การติดตั้งชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปบนเครื่องเพรส



ภาพที่ 9 ติดตั้งชุดแม่พิมพ์ตัดขอบบนเครื่องเพรส



ภาพที่ 10 ติดตั้งชุดแม่พิมพ์ม้วนขอบบนเครื่องเพรส



(ข.) วัดขนาดกว้างยาวสูงและรัศมีก้นกล่อง (ค.) วัดรัศมีม้วนขอบ

ภาพที่ 11 แสดงจุดตรวจวัดขนาดกล่องสี่เหลี่ยม

ผลการศึกษา

ผลการทดลองการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม การตัดขอบ การม้วนขอบ

ในการทดลองใช้เครื่องเพรสที่จับยึดแผ่นเปล่าด้วยคุชชั่น (Cushion) โดยกำหนดความเร็วขึ้น-ลง ที่ 36 เมตรต่อนาที ชิ้นงานกล่องสี่เหลี่ยมได้จากการลากขึ้นรูปลึก นำมาตัดขอบ และนำมาม้วนขอบ จะได้ชิ้นงานภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ชิ้นงานที่ได้ผ่านการลากขึ้นรูป การตัดขอบ และการม้วนขอบ

ผลการวัดขนาดภายในของกล่องสี่เหลี่ยม

วัดขนาดความกว้างความยาวภายในของกล่องสี่เหลี่ยม จำนวน 10 ชิ้น จะใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบดิจิทัล 0.01 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 11 ก. ผลการวัดขนาดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลบันทึกการวัดขนาดภายในของกล่องสี่เหลี่ยม

ชิ้นที่	**กว้าง 89 (มม.)**	**ยาว 109 (มม.)**
1	88.53	108.68
2	88.39	108.39
3	88.45	108.66
4	88.43	108.77
5	88.49	108.57
6	88.45	108.61
7	88.46	108.65
8	88.54	108.40
9	88.46	108.54
10	88.43	108.60
ค่าเฉลี่ย	88.46	108.58

ผลการวัดขนาดภายในของกล่องสี่เหลี่ยมความกว้างมีค่า 88.39 ถึง 88.54 มิลลิเมตร ได้ขนาดที่น้อยกว่าค่าที่กำหนดคือ 89 มิลลิเมตร ส่วนขนาดความยาวมีค่า 108.40 ถึง 108.77 มิลลิเมตร มีค่าน้อยกว่าขนาดที่กำหนดคือ 109 มิลลิเมตร ผนังกล่องชิ้นงานมีการดีดตัวกลับส่งผลต่อขนาดชิ้นงาน

ผลการวัดขนาดตามจุดต่างๆ ของกล่องสี่เหลี่ยม

วัดขนาดความกว้าง ความยาว ความสูงของกล่องสี่เหลี่ยม ใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบดิจิทัล 0.01 มิลลิเมตร ขนาดรัศมี R8 ใช้เกจวัดรัศมี กำหนดจุดวัดขนาดดังภาพที่ 11 ข. ผลการวัดขนาดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลบันทึกการวัดขนาดต่างๆ ของกล่องสี่เหลี่ยม

ชิ้นที่	ความยาว A 120 (มม.)	ความกว้าง B 100b(มม.)	ความสูง C 32 (มม.)	รัศมี D R8 (มม.)
1	119.84	99.96	32.01	8.00
2	119.91	99.94	31.95	8.00
3	119.85	99.91	31.96	8.00
4	119.89	99.97	31.99	8.00
5	119.90	99.93	31.97	8.00
6	119.87	99.90	31.96	8.00
7	119.87	99.95	31.92	8.00
8	119.86	99.95	31.96	8.00
9	119.84	99.91	31.94	8.00
10	119.86	99.97	31.98	8.00
ค่าเฉลี่ย	119.86	99.93	31.96	8.00

การวัดตรวจสอบขนาดต่างๆ ของกล่องสี่เหลี่ยม ค่าเฉลี่ยความยาวที่วัดได้เท่ากับ 119.86 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยความกว้างที่วัดได้ 99.93 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยความสูงที่วัดได้ 31.96 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าแตกต่างไม่มากนัก ตรวจสอบขนาดรัศมี ได้ค่าเท่ากับค่ารัศมีที่กำหนดไว้คือ R8

ผลการวัดขนาดรัศมีม้วนขอบ ของกล่องสี่เหลี่ยม

วัดขนาดรัศมีม้วนขอบของกล่องชิ้นงานด้วยเกจวัดรัศมี โดยจุดวัดในภาพที่ 11 ค. จะวัดที่กึ่งกลางของขนาดกว้างและยาวของกล่องสี่เหลี่ยมทั้ง 4 ด้าน โดยการสุ่มชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้น ผลการวัดรัศมีม้วนขอบดังตารางที่ 3

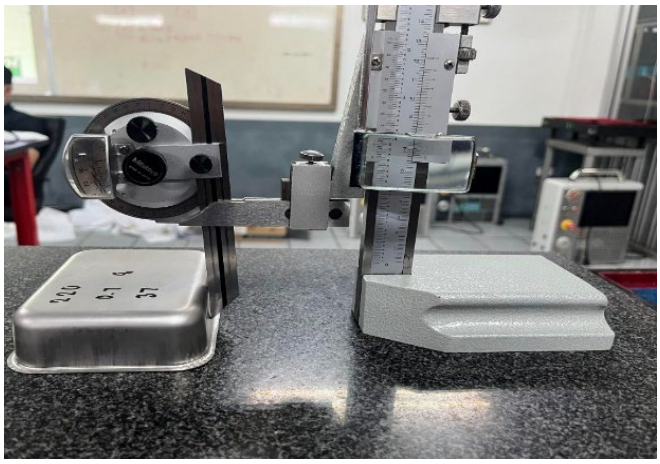
ตารางที่ 3 ผลบันทึกการวัดขนาดรัศมีม้วนขอบกล่องสี่เหลี่ยม

ชิ้นที่	จุด 1 R2.5 (มม.)	จุด 2 R2.5 (มม.)	จุด 3 R2.5 (มม.)	จุด 4 R2.5 (มม.)
1	3	3	3	3
2	3	3	3	3
3	3	3	3	3
4	3	3	3	3
5	3	3	3	3
ค่าเฉลี่ย	3	3	3	3

การม้วนขอบสามารถทำได้ ผลการวัดขนาดรัศมีม้วนขอบกล่องสี่เหลี่ยม รัศมีม้วนขอบจะได้ค่าเฉลี่ย 3 มิลลิเมตร และพบว่าเกิดรอยย่นที่บริเวณขอบเกิดจากช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มีขนาดที่มากเกินไป ทำให้เกิดการอัดตัวของแผ่นชิ้นงานบริเวณรอบๆ ของส่วนที่ม้วนขอบซึ่งทำให้เกิดรอยย่น

ผลการวัดผนัง ของกล่องสี่เหลี่ยม

ที่ผนังชิ้นงานได้ออกแบบไว้เป็นมุม 90 องศา วัดผนังของกล่องชิ้นงานด้วยใบวัดมุมสากล โดยจุดวัดในภาพที่ 13 จะวัดที่กึ่งกลางของขนาดกว้างและยาวของกล่องสี่เหลี่ยมทั้ง 4 ด้านด้วยการสุ่มชิ้นงาน 5 ชิ้น ผลการวัดผนังดังตารางที่ 4



ภาพที่ 13 แสดงการวัดผนังของกล่องสี่เหลี่ยม

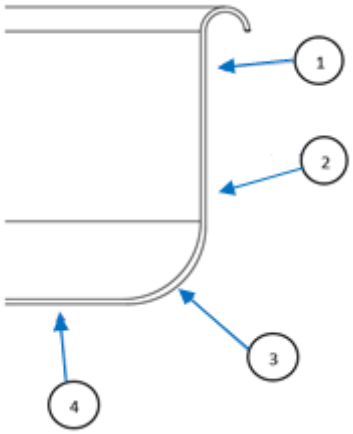
ตารางที่ 4 ผลบันทึกการวัดผนังของกล่องสี่เหลี่ยม

ชิ้นที่	จุดตรวจวัดที่ 1 90°	จุดตรวจวัดที่ 2 90°	จุดตรวจวัดที่ 3 90°	จุดตรวจวัดที่ 4 90°
1	94°20’	92°10’	91°5’	91°10’
2	93°15’	92°10’	91°40’	91°50’
3	91°50’	93°15’	92°10’	92°20’
4	92°10'	92°10’	94°10’	94°20’
5	94°20’	92°10’	91°20’	91°10’
ค่าเฉลี่ย	93°03’	92°31’	92°06’	92°02’

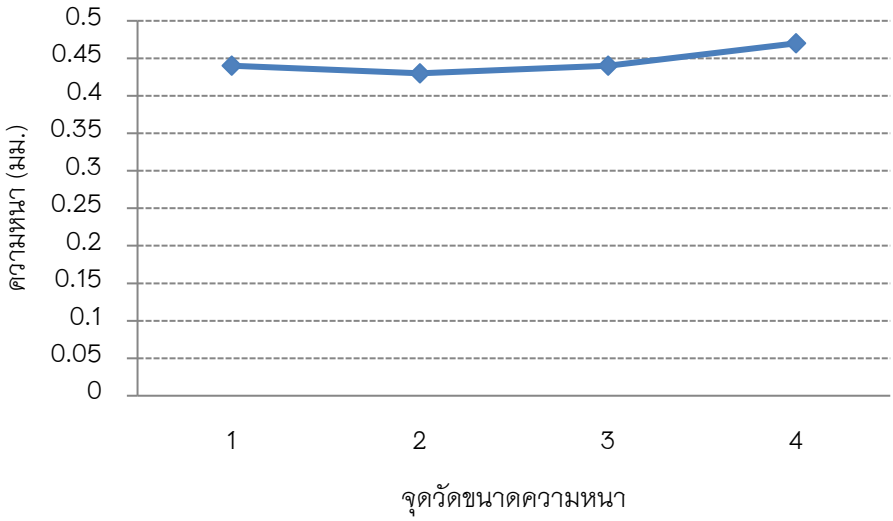
จากตารางที่ 4 การวัดผนังของกล่องสี่เหลี่ยม พบว่าผนังทั้ง 4 ด้าน มีขนาดองศาเฉลี่ย อยู่ในช่วงระหว่าง –92°02’ ถึง 93°03’ ซึ่งเกิดจากการดีดตัวกลับ

ผลการวัดขนาดความหนา ของกล่องสี่เหลี่ยม

วัดความหนากล่องสี่เหลี่ยมใช้เวอร์เนียแบบดิจิทัล 0.01 มิลลิเมตร วัดความหนาตามจุดที่กำหนดดังภาพที่ 14 โดยตัดผ่าชิ้นงานออกเป็น 10 ส่วน วัดความหนาผนัง 4 จุด สุ่มวัดขนาดความหนา จำนวน 5 ชิ้น นำค่ามาเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยได้จากภาพที่ 15



ภาพที่ 14 จุดวดขนาดความหนาของกลองสิเหลิยม



ภาพที่ 15 ค่าเฉลี่ยความหนาของกล่องสี่เหลี่ยม

ความหนากล่องสี่เหลี่ยมจุดที่ 2 มีค่าความหนาลดลงมีค่าเฉลี่ย 0.43 มิลลิเมตร เนื่องจากส่วนนี้มีการถูกดึงยืด (ธวัชชัย แก้วสีใส และคณะ,2555), (ไพศาล เอี่ยมมิและคณะ, 2554), (วิริยากร, 2562) จึงทำให้ได้ผนังกล่องชิ้นงานที่บางสุด

วิจารณ์และสรุปผล

กล่องสี่เหลี่ยมที่ได้จากการลากขึ้นรูป การตัดขอบ การม้วนขอบ มีขนาดใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด การม้วนขอบเกิดรอยย่นเป็นผลมาจากการออกแบบชุดแม่พิมพ์จากช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มีขนาดมากเกิน การวัดผนังของกล่องสี่เหลี่ยมจะได้ค่ามากกว่ามุม 90 องศา ซึ่งเป็นการดีดตัวกลับ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการลากขึ้นรูปในแต่ละจุดตรวจวัดนั้น ชิ้นงานจะมีขนาดความหนาลดลง แต่พบว่าบริเวณจุดตรวจวัดที่ 2 คือ ผนังส่วนเหนือรัศมีก้นกล่องสี่เหลี่ยม มีความหนาน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นที่รับแรงดึงจากการดัดโค้งตามรัศมีบ่าพันช์ แรงดึงจากการดัดโค้งตามรัศมีมุมพันช์ ทำให้ผนังกล่องสี่เหลี่ยมบริเวณนี้มีความหนาน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง และนายสมาน ศุภลักษณากร ที่ช่วยในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

ชาญชัย ทรัพยากร และคณะ, (2552), การออกแบบแม่พิมพ์, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), พิมพ์ครั้งที่ 10.

ธวัชชัย แก้วสีใส และคณะ. การศึกษาอิทธิพลของรัศมีบ่าดายในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีกสำหรับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์. **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2555**. 17-19 ตุลาคม 2555 เพชรบุรี. 2555. หน้า 1547-1552.

ไพศาล เอี่ยมมิและคณะ. อิทธิพลของรัศมีบ่าดายในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก. **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554**. 20-21 ตุลาคม 2554. หน้า 1217-1222.

วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, (2552), งานขึ้นรูปโลหะ, **สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น,** พิมพ์ครั้งที่ 4.

วิริยากร พานิชวงษ์, การศึกษาการประยุกต์ใช้ดรอบีดสำหรับกระบวนการลากขึ้นรูป. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, 2562.

Arvind K. Agrawal, R. Ganesh Narayanan, (2017). Joining of a Tube to a Sheet Through End Curling. **Journal of Materials Processing Tech**. 246,291-304.

Jian Li, Guangjun Gao, Yao Yu, Weiyuan Guan, (2019). Experimental and Numerical Study on Splitting Process of Circular Steel Tube with Enhanced Crashworthiness Performance. Thin-Walled Structures, 145, 106406.

R. Rajabiehfard, A. Darvizeh, M. Alitavoli, R. Ansari, E. Maghdouri, (2018). Experimental, Numerical and analytical investigations into the Internal Inversion of Mild Steel Tubes Under High Velocity Axial Impact Using a Die. Thin-Walled Structures, 125, 21-37.

XiaoHuan Yu, XinMing Qiu, T.X. Yu, (2016). Theoretical model of a metal tube under inversion over circular dies. **International Journal of Mechanical Sciences**. 108-109. 23-28.

การพัฒนาตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางปลอดภัย

Development of safe TLC spray cabinet

เจตนา วีระกุล[1*], สุพล บ่อคุ้ม[2], ณัฐารีญดา โลมะบุตร[3] และ ธนันชนัย อุ่นสิม[4]

Chetana Weerakul[1*], Supon Bokum[1], Nathariyada Lomabud[1] and Thananchanai Unsim[1]

บทคัดย่อ

งานนวัตกรรมนี้เป็นการประดิษฐ์ตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางสำหรับใช้ในงานทางด้านการวิเคราะห์ทางคุณภาพยาและสารพิษต่างๆโดยวิธีโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง ขนาดของตู้กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ทำจากไม้อัดเคลือบลามิเนตกันสารเคมีหนา 8 มิลลิเมตร ด้านหน้ามีกระจกปิดกันฝุ่นหนา 5 มิลลิเมตร ด้านบนติดระบบพัดลมขับดันอากาศแบบหอยโข่งขนาด 6 นิ้ว ใช้ไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลท์ กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ ความเร็วรอบ 2,600 รอบต่อนาที น้ำยาเคมีที่สเปรย์เข้าภายในตู้จะผ่านกระบอกดักสารขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วภายในบรรจุวัสดุดูดซับสารเคมีรุ่น 3M 3311K-55และ 3M 7007K มีคุณสมบัติป้องกันฝุ่นสารไอระเหยสารทำละลายอินทรีย์(Organic solvent) ใช้สำหรับงานพ่นสี งานพ่นยาฆ่าแมลง งานเคลือบและฟอกย้อมด้วยสารเคมี ด้านในติดตั้งระบบแสงสว่างด้วยโคมไฟดาวน์ไลท์ LED หน้าเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า 15 วัตต์ จำนวนสองหลอด ติดตั้งระบบควบคุมพัดลมและแสงสว่างด้วยสวิทช์ด้านนอกตู้ ทดสอบประสิทธิภาพตู้โดยวัดปริมาณสารเคมีที่สเปรย์เข้าไปแล้ววัดจากอากาศที่ระบายออกจากตู้ลงในน้ำ การทดสอบความเป็นกรด-เบสสเปรย์กรดไฮโดรคลอริก(HCl) เข้มข้น 1 โมลาร์และโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) เข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 100, 200, และ 300 มิลลิลิตรตามลำดับ เก็บตัวอย่างน้ำวัดความเป็นกรด-เบสด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-เบส หรือ pH meter ตัวอย่างน้ำที่เก็บ ได้ค่า pH 5.87- 6.51 ± 0.07 ซึ่งถือเป็นค่าที่ปลอดภัยเนื่องจากมีค่าความเป็นกรดอยู่ระหว่างกาแฟกับนมและความเป็นเบสอยู่ระหว่างนมกับน้ำดื่ม ความสามารถในการดักสารตัวทำละลายอินทรีย์สเปรย์แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์จำนวน 100, 200 และ 300 มิลลิลิตรแล้วทดสอบโดยวิธี Microdiffusion เปรียบเทียบสีได้ผลการทดลองว่าตัวอย่างที่ไม่มีสารที่เราต้องการวิเคราะห์(Blank) และ ตัวอย่างที่เราต้องการวิเคราะห์(Sample) ไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อนำตัวอย่างทั้งสองวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท(Microplate reader) ผลการดูดกลืนแสงไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนสีของสารมาตรฐาน(Standard) จะมีสีเขียวเข้มขึ้นแปลผันตรงกับปริมาณแอลกอฮอล์ ความสามารถในการดักอนุภาคของโลหะหนักโดยวัดปริมาณของโลหะทองแดง(Cu) และสังกะสี(Zn) โดยสเปรย์สารมาตรฐานโลหะแต่ละชนิดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร(mg/L) จำนวน 100 , 200 และ 300 มิลลิลิตร ตามลำดับ วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption spectroscopy(AAS) วิเคราะห์อยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.1-5 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงวัดค่าการดูดกลืนแสงไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง Blank และ Sample ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีเมื่อสเปรย์สารมาตรฐานสังกะสี 100 และ 200 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง Blank และ Sample สเปรย์สาร มาตรฐานสังกะสี 300 มิลลิลิตร มีค่าการค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้นแต่

[1] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. จังหวัดขอนแก่น 40002

[1] Faculty of Pharmacy, Khon Kaen University. Khon Kaen, 40002

* Corresponding author, email: jetawe@kku.ac.th

ต่ำกว่าระดับที่จะตรวจวัดได้ จากผลการทดสอบประสิทธิภาพตู้จึงมั่นใจได้ว่าอากาศที่ผ่านออกมาสู่ภายนอกมีความปลอดภัย

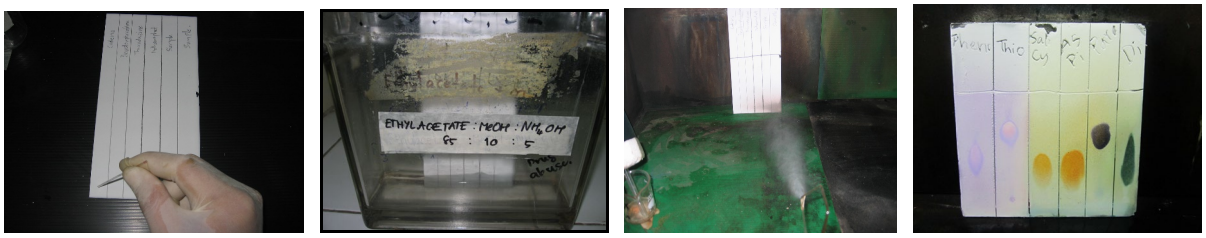
คำสำคัญ: สเปรย์ , โครมาโตกราฟี , โครมาโตกราฟีแบบผิวบาง

บทนำ (Introduction)

เครื่องมือวิทยาศาสตร์เป็นปัจจัยหลักและหัวใจสำคัญหนึ่งสำหรับใช้เพื่อจัดการเรียนการสอนในภาคปฏิบัติการ งานวิจัยและงานบริการต่างๆ คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นมีห้องปฏิบัติการที่ใช้จัดการเรียนการสอนและให้บริการในการทำวิจัยแก่นักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษาจำนวนมาก จึงมักเกิดปัญหาเครื่องมือวิทยาศาสตร์ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ เนื่องจากเครื่องมือวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่มีราคาแพง ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดของหน่วยงานในการจัดหาให้พอเพียง อีกทั้งเครื่องมือวิทยาศาสตร์แต่ละชนิดจะมีวิธีการใช้และข้อจำกัดปลีกย่อยต่างๆ หากใช้ไม่ถูกวิธีหรือใช้ร่วมกับการทำทดลองอื่น ๆ อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่องานได้อีกทั้งยังส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพของผู้ที่ใช้งานและสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง คือ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่สำคัญมากสำหรับใช้ในงานวิเคราะห์โดยวิธีโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง(Thin Layer Chromatography, TLC) โดยขั้นตอนสำคัญในการตรวจวิเคราะห์จะอยู่ในขั้นตอนการสเปรย์สารหรือน้ำยาเคมี(Chromogenic agent) เพื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเพื่อระบุชนิดสารได้อย่างถูกต้อง ซึ่งวิธีโครมาโตกราฟีแบบผิวบางเป็นการแยกสารผสมออกจากกันโดยอาศัยหลักการละลายและการดูดซับที่แตกต่างกันของสารทำให้การเคลื่อนที่ผ่านตัวดูดซับ(Stationary phase) แตกต่างกันเป็นผลให้สามารถแยกสารผสมออกจากกันได้(ศุภาวิตา, 2563) ดังนั้นทางห้องปฏิบัติการพิษวิทยาได้ใช้เทคนิคนี้ในการวิเคราะห์ด้านคุณภาพของยาและสารพิษกลุ่มกำจัดศัตรูพืชเป็นจำนวนมาก

ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยวิธีโครมาโตกราฟีแบบผิวบางเริ่มต้นจากเตรียมตัวอย่างโดยสกัดสารที่ต้องการตรวจออกจากตัวอย่าง เช่น ปัสสาวะหรือสิ่งส่งตรวจอื่นด้วยสารละลายอินทรีย์ จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไประเหยเพื่อให้สารที่สกัดได้มีความเข้มข้นสูงๆ แล้วนำไปหยด(spot) ลงแผ่นวิธีโครมาโตกราฟีแบบผิวบางเพื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน(ภาพที่1ก.)



ก. ข. ค. ง.

ภาพที่ 1 การวิเคราะห์สิ่งส่งตรวจเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานบนแผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง

เมื่อหยดสารที่สกัดได้จากสิ่งส่งตรวจและสารมาตรฐานเรียบร้อยแล้วจึงนำแผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางวางลงในโถแก้วที่มีตัวทำละลาย(mobile phase) และมีฝาปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหยของตัวทำละลายตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ระดับตัวทำละลายสูงขึ้นประมาณสามในสี่ของแผ่น(ภาพที่ 1 ข.) แล้วนำออกมาทำเครื่องหมายที่ระดับตัวทำละลายเคลื่อนที่มาถึง solvent front การอ่านผลหรือตรวจสอบผลการวิเคราะห์นำแผ่นโครมาโตก

ราฟีแบบผิวบางขึ้นมาจากโถแก้วแล้วขีดเส้นตัด solvent front ประมาณ 10 เซนติเมตรแล้วนำไปสเปรย์ด้วยน้ำยาเคมี(ภาพที่ 1 ค.) ตัวอย่างที่วิเคราะห์หรือยาแต่ละตัวจะทำปฏิกริยากับน้ำยาเคมีให้สีและค่า Rf แตกต่างกัน(ภาพที่ 1 ง.) เพื่อให้วิเคราะห์ผลได้อย่างถูกต้อง ในขั้นตอนการสเปรย์ด้วยน้ำยาเคมีมีการใช้สารเคมีอันตรายหลายชนิดที่ใช้ในการฉีดพ่น เช่น สารที่เป็นสารไอระเหยสารทำละลายอินทรีย์ สารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและเบสสารเหล่านี้จะมีคุณสมบัติกัดกร่อนและระคายเคืองเนื้อเยื่อร่างกาย หรือบางชนิดมีสารเคมีพิษร้ายแรงเป็นส่วนประกอบ เช่น เบนซิดีน , เมอร์คิวริกคลอไรด์ , โพแทสเซียมไซยาไนด์และโลหะหนักเป็นต้น ปัจจุบันในห้องปฏิบัติการพิษวิทยาทำขั้นตอนนี้ในตู้ดูดควัน(fume hood) ซึ่งเป็นเครื่องมือระบายอากาศแบบปิดสำหรับแก๊ส ไอระเหยและควันเท่านั้น ตู้ดูดควันเป็นอุปกรณ์สำคัญเพื่อความปลอดภัยเบื้องต้นใน
ห้องปฏิบัติการระบายอากาศทิ้งโดยพัดลมระบายอากาศที่อยู่ตำแหน่งสูงสุดของอาคารห้องปฏิบัติการจะดูดอากาศเสียและไอสารเคมี ภายในตู้ผ่านท่อที่เชื่อมต่อกับตู้และดูดออกไปทิ้งภายนอกอาคาร(สมศักดิ์, ม.ป.ป.) ตู้ดูดควันจะไม่สามารถระบายอากาศด้วยความเร็วที่สูงได้ หากมีสิ่งปนเปื้อนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ปนอยู่ด้วย ดังนั้นน้ำยาเคมีที่ใช้ในการสเปรย์บางส่วนจะตกค้างปนเปื้อนอยู่ในตู้ดูดควันเกิดความสกปรกอันตรายและจัดการยากย่อมส่งผลต่อสุขภาพของผู้ใช้งาน ส่วนของน้ำยาเคมีที่ถูกดูดควันดูดขึ้นไปก็จะถูกปล่อยออกสิ่งแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นจึงควรมีการจัดการสร้างเครื่องมือที่ใช้สำหรับงานสเปรย์น้ำยาเคมีสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบผิวบางโดยเฉพาะ เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนการตกค้างของสารเคมีและการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงเป็นประเด็นที่คณะผู้วิจัยสนใจในการพัฒนานวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ประดิษฐ์ตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง
2. ทดสอบประสิทธิภาพตู้
   - ความสามารถในการดักสารละลายกรด
   - ความสามารถในการดักสารละลายเบส
   - ความสามารถในการดักสารตัวทำละลายอินทรีย์
   - ความสามารถในการดักอนุภาคของโลหะหนัก

ผลที่จะได้รับ

1. งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยด้านการพัฒนานวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการพิษวิทยาโดยผลิตตู้การพัฒนาตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางปลอดภัย

2. ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมีเครื่องมือที่สะอาดและให้ความปลอดภัยในงานที่เกี่ยวกับละอองของสารและน้ำยาเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการสเปรย์ให้แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางเกิดปฏิกิริยาเพื่อจะสามารถมองเห็นได้ ซึ่งสารที่ใช้สเปรย์ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำยาเคมีและสารอันตราย

3. ลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนของสารพิษสู่สิ่งแวดล้อม

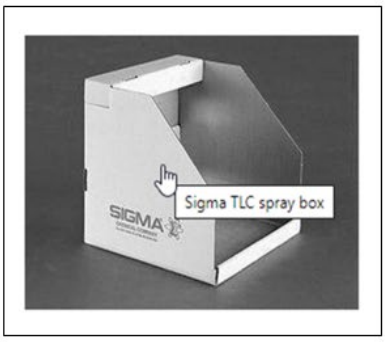
4. ช่วยหน่วยงานลดต้นทุนในการซื้อเครื่องมือวิทยาศาสตร์ราคาแพง

5. ตู้ที่สร้างขึ้นมีการจัดการได้ง่ายสะดวกในการทำความสะอาดหรือระบบกรองอากาศในการเปลี่ยนวัสดุกรอง (Filter) และสารเคมีที่ตกค้างในภาชนะเก็บเฉพาะ

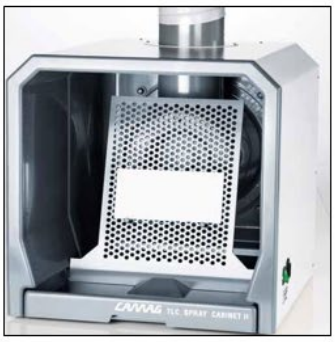
6. มีเครื่องมือที่สามารถช่วยงานประจำให้มีความสะดวกและมีคุณภาพเพิ่มขึ้น

ทบทวนเอกสาร/วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

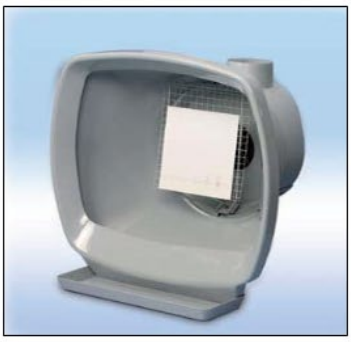
จากการสืบค้นข้อมูลพบการผลิตตู้พ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง(TLC box) จากผู้ผลิตต่างๆ ตัวอย่าง เช่น ตู้พ่น ของบริษัท Sigma-Aldrich ที่มีลักษณะอย่างง่ายเป็นแผ่นกั้นแบบเปิดโล่ง(ภาพที่ 2 ก.) หรือ บริษัท CAMAG ได้ผลิต TLC Spray Cabinet 2 TLC Spray Cabinet (ภาพที่ 2 ข.) ได้รับการออกแบบสำหรับการกำจัดละอองหมอกที่มากเกินไปโดยสมบูรณ์ ในขณะที่ฉีดแผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางด้วยน้ำยาไม่มีการโก่งตัวของเจ็ทสเปรย์ก่อนที่จะถึงจานผลกระทบ ที่พบบ่อยในตู้ดูดควันในห้องปฏิบัติการปกติ อนุภาคจากแผ่นโลหะจะถูกกำจัดออกอย่างสมบูรณ์ ตู้พ่นยังมีประโยชน์สำหรับการอบแห้งแผ่นหลังจากการพัฒนาโดยต้องใช้เครื่องเป่าผมตู้ทำจากพีวีซีพัดลมเรเดียลขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์นอกท่อควันทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศที่ 130 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ด้านล่างของตู้พ่นมีถาดติดตั้งในตัวซึ่งสามารถถอดทำความสะอาดได้ง่าย ส่วนบริษัท Chromline Equipment ได้ผลิตกล่องสเปรย์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันเมื่อพ่นแผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางช่วยหายใจมีสัญญาณรบกวนต่ำในตัวจะนำละอองของละอองน้ำผ่านช่องเสียบท่อที่ด้านหลังเข้าสู่ตู้เก็บควันอะแดปเตอร์ท่อของลูกหมุนปรับทิศทางขึ้นด้านบน สามารถเชื่อมต่อกับท่อติดตั้งมาตรฐาน NW 110 ได้ซึ่งจะแปลงกล่องสเปรย์เป็นตู้ไอเสียขนาดเล็กการไหลเวียนอากาศคือ 400 m^3 / h (ภาพที่ 2 ค.)



ก.



ข.



ค.

ภาพที่ 2 ตัวอย่างตู้พ่นสเปรย์ของบริษัทต่างๆ

ก. ที่มา https://ie.vwr.com/store/product/25361317/tlc-spray-box#order

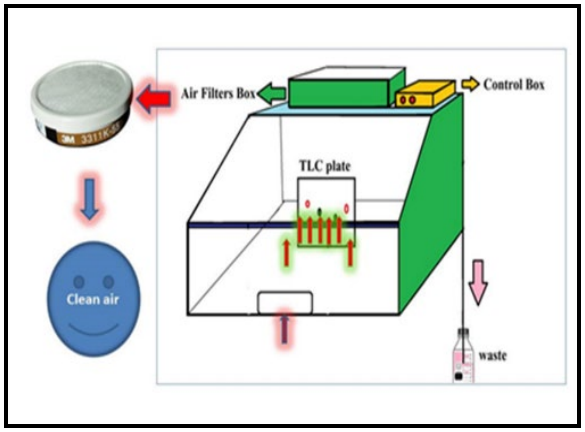
ข. ที่มา https://infoend.com.tr/urun/tlc-spray-cabinet/

ค. ที่มา https://www.indiamart.com/chromline-equipment/hptlc-products.html

จากข้อมูลข้างต้นเห็นได้ว่าลักษณะของตู้พ่นแผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง มีความหลากหลายตั้งแต่อย่างง่ายไปจนถึงแบบที่มีกลไกซับซ้อนอย่างไรก็ตามการใช้งานจะขึ้นตามความจำเป็น สำหรับการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการยังคงต้องเน้นที่ความปลอดภัย ความคุ้มค่าในการใช้งานและความเหมาะสมกับสภาพห้องคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะประดิษฐ์ตู้พ่นแผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง ที่มีระบบพัดลมขับดันอากาศและน้ำยาเคมีที่สเปรย์เข้าภายในตู้จะผ่านวัสดุดูดซับในกระบอกดักสารเคมี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วภายในบรรจุวัสดุดูดซับสารเคมีรุ่น 3M 3311K-55 และ 3M 7007K ซึ่งมีจำหน่ายโดยทั่วไป มีคุณสมบัติป้องกันฝุ่นสารไอระเหย ใช้สำหรับงานพ่นสี งานพ่นยาฆ่าแมลง งานเคลือบและฟอกย้อมด้วยสารเคมี โดยคาดว่าอุปกรณ์ตู้พ่นแผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางนี้จะใช้งานได้ดีเทียบเท่าอุปกรณ์มาตรฐานในท้องตลาดและมีราคาถูกกว่า เหมาะสมกับสภาพการใช้งานอันจะทำให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด

วิธีการศึกษา (Materials and Methods)

1. ออกแบบและประดิษฐ์ตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง ขนาด 80 เซนติเมตรสูง 60 เซนติเมตรดังภาพที่ 3 ติดระบบดูดอากาศและระบายผ่านแผ่นกรองอากาศที่สารมารถดักจับสารเคมีฝุ่นและไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์



ภาพที่ 3 แบบตู้สเปรย์น้ำยาเคมี

2. ทดสอบประสิทธิภาพตู้ โดยวัดจากปริมาณสารเคมีที่สเปรย์เข้าในตู้วัดจากอากาศที่ระบายออกจากตู้ลงในน้ำอย่างต่อเนื่องจำนวน 100, 200 และ 300 มิลลิลิตรตามลำดับ นำน้ำที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการสเปรย์มีดังต่อไปนี้

2.1 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลล่าร์ ทดสอบโดยเครื่องมือที่ใช้วัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (pH meter)

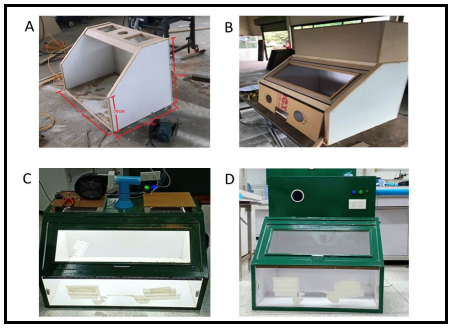
2.2 ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลล่าร์ ทดสอบโดยเครื่องมือที่ใช้วัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

2.3 แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อวัดการดักไอระเหยของสารละลายอินทรีย์โดยวิธี Microdiffusion ซึ่งเป็การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์โดยอาศัยหลักการแอลกอฮอล์ถูกทำให้ระเหยออกจากตัวอย่างโดยใช้ความร้อนช่วยแล้วใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมจับไว้จึงนำไปตรวจหาปริมาณด้วยวิธี colorimetry ด้วยเครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท (วงศ์วิวัฒน์, 2563)

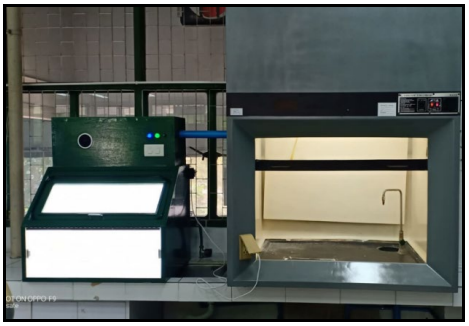
2.4 อนุภาคของโลหะหนักโดยวัดปริมาณของโลหะทองแดงและสังกะสี ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรสเปรย์เข้าไปแล้ววิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยเครื่องมือ Atomic Absorption spectroscopy(Bhavtosh, 2013)

ผลการศึกษา (Results)

1. ประดิษฐ์ตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง ประดิษฐ์ตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง ขนาดกว้าง 8เซนติเมตรยาว 60 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ติดระบบดูดอากาศและระบายผ่านแผ่นกรองอากาศที่สารมารถดักจับสารเคมีฝุ่นและไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์



ก.



ข.

ภาพที่ 4 การประกอบส่วนต่างๆของตู้ (ก.)
ตู้เสร็จสมบูรณ์พร้อมใช้งานอากาศที่กรองแล้วจะถูกส่งเข้าตู้ดูดควัน (ข.)

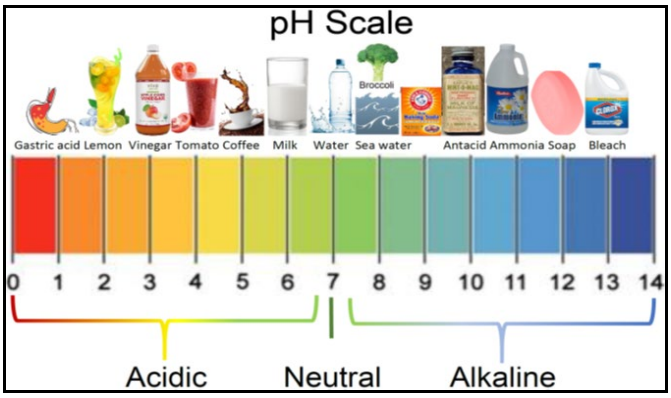
2. ทดสอบประสิทธิภาพตู้โดยวัดปริมาณสารเคมีที่สเปรย์เข้าไป โดยวัดจากอากาศที่ระบายออกจากตู้ลงในน้ำ

2.1 ความสามารถในการดักสารละลายกรด สเปรย์กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลล่าร์ จำนวน 100, 200 และ 300 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างวัดด้วย pH meter

ตัวอย่าง	ค่าpH วัดครั้งที่ 1	ค่าpH วัดครั้งที่ 2	ค่าpH วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
Blank	7.08	6.99	7.09	7.05	0.04
S1	6.81	6.94	6.73	6.83	0.09
S2	6.77	6.52	6.35	6.55	0.17
S3	5.97	5.81	5.83	5.87	0.07

ตารางที่ 1 ผลของ pH ของน้ำที่วัดได้เมื่อสเปรย์กรดเข้าไปในตู้

จากผลการทดลองแสดงว่าเมื่อสเปรย์กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลล่าร์เข้าไปในตู้ จำนวน 300 ml ค่า pH หรือความเป็นกรดจะลดลงวัดค่า pH ได้ต่ำสุด 5.87± 0.07 ซึ่งถือเป็นค่าที่ปลอดภัยเนื่องจากมีค่าความเป็นกรดประมาณระหว่างกาแฟกับนม



ภาพที่ 5 ภาพตัวอย่างค่า pH ของกรดและเบส

ที่มา https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Introduction_to_General_Chemistry_%28Malik%29/06%3A_Acids_and_bases/6.01%3A_What_is_an_acid_and_a_base

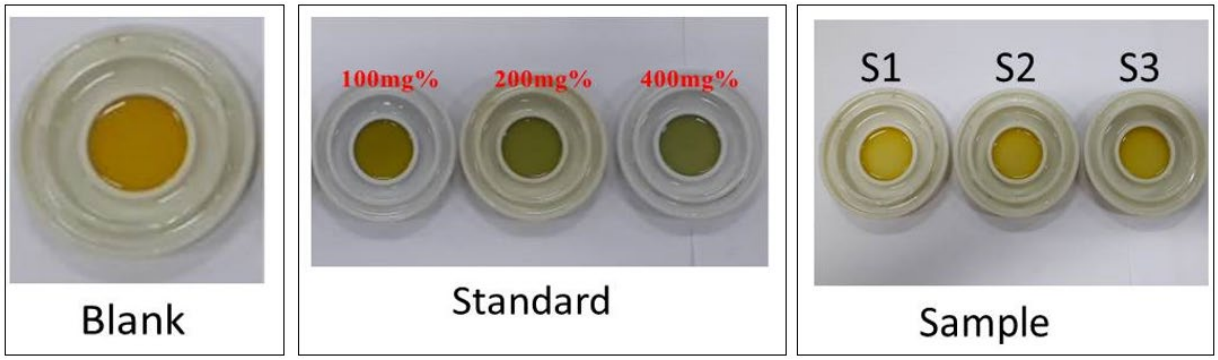
2.2 ความสามารถในการดักสารละลายเบสสเปรย์โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลล่าร์ จำนวน 100, 200 และ 300 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างวัดด้วย pH meter

ตัวอย่าง	ค่าpH วัดครั้งที่ 1	ค่าpH วัดครั้งที่ 2	ค่าpH วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
Blank	7.08	6.99	7.09	7.05	0.04
S1	6.08	6.11	6.05	6.08	0.02
S2	6.18	6.22	6.27	6.22	0.04
S3	6.57	6.55	6.41	6.51	0.07

ตารางที่ 2 ผลของ pH ของน้ำที่วัดได้เมื่อสเปรย์เบสเข้าไปในตู้

ค่า pH หรือความเป็นเบสโดยสเปรย์โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลล่าร์ จำนวน 100, 200 และ 300 มิลลิลิตร เมื่อจำนวนโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลล่าร์เพิ่มขึ้นจะมีค่าความเป็นเบสเพิ่มขึ้นวัดค่า pH ได้สูงสุด 6.51 ± 0.07 ซึ่งถือเป็นค่าที่ปลอดภัยเนื่องจากมีค่าความเป็นเบสนมกับน้ำดื่ม

2.3 ความสามารถในการดักไอระเหยของสารละลายอินทรีย์ สเปรย์แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 100 , 200และ 300 มิลลิลิตร ตรวจหาปริมาณแอลกอฮอล์ด้วยวิธี colorimetry วิเคราะห์โดยเครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลทโดยวิธี Microdiffusion ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 6



ก. ข. ค.

ภาพที่ 6 ผลของสีที่เกิดขึ้นเมื่อสเปรย์แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์
ก. น้ำไม่มีแอลกอฮอล์, ข. สารมาตรฐานที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ความเข้มข้นต่างๆ,
ค. ตัวอย่างน้ำหลังจากสเปรย์แอลกอฮอล์

ผลการทดลองเทียบดูสีของน้ำไม่มีแอลกอฮอล์กับสารมาตรฐานที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ความเข้มข้นต่างๆ และตัวอย่างน้ำที่เก็บเมื่อสเปรย์แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์จำนวน 100, 200 และ 300 มิลลิลิตร พบว่าสีของน้ำไม่มีแอลกอฮอล์และตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนสีของ Standard จะมีสีเขียวเข้มขึ้นแปลผันตรงกับปริมาณแอลกอฮอล์ เมื่อนำตัวอย่างวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate reader ผลการดูดกลืนแสงไม่มีความแตกต่างกันระหว่างน้ำไม่มีแอลกอฮอล์ และ Sample

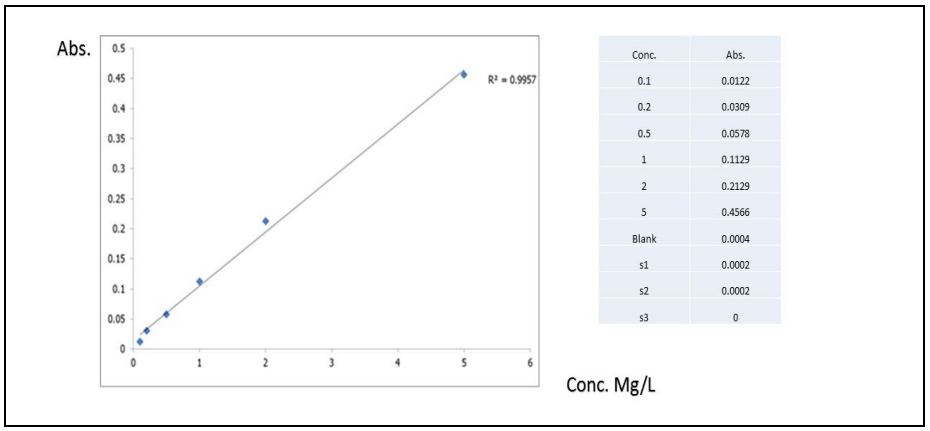
ตัวอย่าง	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
Blank	0.609	0.608	0.609	0.61	0.00
S1	0.604	0.612	0.612	0.61	0.00
S2	0.587	0.606	0.627	0.61	0.02
S3	0.611	0.599	0.613	0.61	0.01

ตารางที่ 3 ผลการวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของน้ำเมื่อสเปรย์แอลกอฮอล์เข้าไปในตู้

2.4 ความสามารถในการดักอนุภาคของโลหะหนัก อนุภาคของโลหะหนักโดยวัดปริมาณของโลหะทองแดงและ สังกะสีความเข้มข้น 500 มิลมิกรัมต่อลิตร สเปรย์สารมาตรฐานของโลหะแต่ละชนิดเข้าตู้จำนวน 100, 200และ 300 มิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์หาปริมาณด้วยเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก Atomic Absorption spectroscopy ความเข้มข้น 0.1 – 5 มิลมิกรัมต่อลิตร



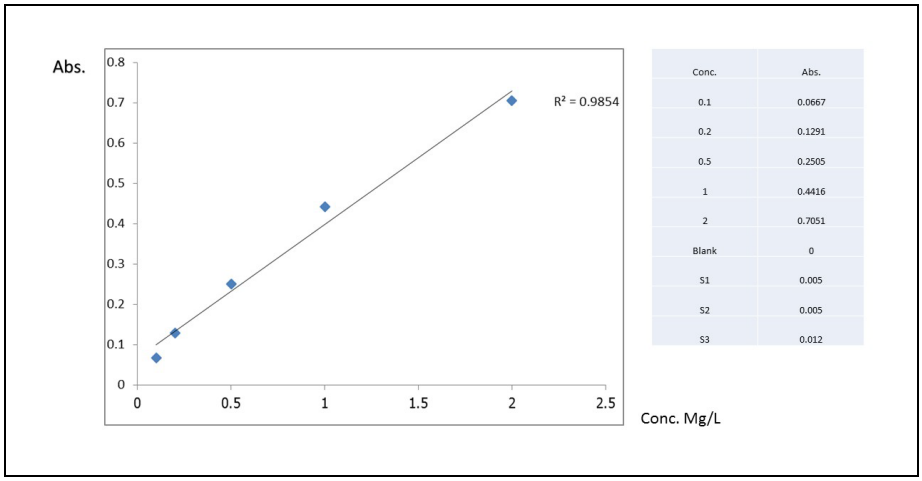
ภาพที่ 7 วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วย Atomic Absorption spectroscopy



Conc.	Abs.
0.1	0.0122
0.2	0.0309
0.5	0.0578
1	0.1129
2	0.2129
5	0.4566
Blank	0.0004
s1	0.0002
s2	0.0002
s3	0

ภาพที่ 8 กราฟมาตรฐานโลหะหนักทองแดง

2.4.1 ผลการวิเคราะห์ทองแดง เมื่อ S1 = สเปรย์สารมาตรฐานทองแดง 100 มิลลิลิตร, S2 = สเปรย์สารมาตรฐานทองแดง 200 มิลลิลิตร และ S3 = สเปรย์สารมาตรฐานทองแดง 300 มิลลิลิตรไม่มีความแตกต่างของ Blank และ Sample แสดงว่าไม่มีปริมาณทองแดงปนเปื้อนออกมา (ภาพที่ 8)



Conc.	Abs.
0.1	0.0667
0.2	0.1291
0.5	0.2505
1	0.4416
2	0.7051
Blank	0
S1	0.005
S2	0.005
S3	0.012

ภาพที่ 9 กราฟมาตรฐานโลหะหนักสังกะสี

2.4.2 ผลการวิเคราะห์สังกะสี เมื่อ S1 = สเปรย์สารมาตรฐานสังกะสี 100 มิลลิลิตร , S2 = สเปรย์สารมาตรฐานสังกะสี 200 มิลลิลิตร และ S3 = สเปรย์สารมาตรฐานสังกะสี 300 มิลลิลิตร ได้ผลการทดลองว่าสเปรย์สารมาตรฐานสังกะสี 100 ถึง 200 มิลลิลิตรไม่มีความแตกต่างของ Blank และ Sample เมื่อสเปรย์สารมาตรฐานสังกะสี 300 มิลลิลิตร ปริมาณสังกะสีใน Sample มีค่าสูงขึ้นแต่ต่ำกว่าระดับที่จะตรวจวัดได้(ภาพที่ 9)

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion)

งานนวัตกรรมนี้เป็นการผลิตประดิษฐ์ตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางสำหรับใช้ในงานทางด้านการวิเคราะห์ทางคุณภาพยาและสารพิษต่างๆ โดยวิธีโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง ขนาดของตู้กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ทำจากไม้อัดเคลือบลามิเนตกันสารเคมีขนาด 8 มิลลิเมตรด้านหน้ามีกระจกปิดกันฝุ่นหนา 5 มิลลิเมตร ด้านบนติดระบบพัดลมขับดันอากาศแบบหอยโข่งขนาด 6 นิ้ว ใช้ไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลท์ กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ ความเร็วรอบ 2,600 รอบต่อนาที น้ำยาเคมีที่สเปรย์เข้าภายในตู้จะผ่านกระบอกดักสารขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วภายในบรรจุวัสดุดูดซับสารเคมีรุ่น 3M 3311K-55และ 3M 7007K มีคุณสมบัติป้องกันฝุ่นสารไอระเหยสารทำละลายอินทรีย์ซึ่งใช้สำหรับงานพ่นสี งานพ่นยาฆ่าแมลง งานเคลือบและฟอกย้อมด้วยสารเคมี ด้านในติดตั้งระบบแสงสว่างด้วยโคมไฟดาวน์ไลท์ LED หน้าเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า 15 วัตต์ จำนวนสองหลอด ติดตั้งระบบควบคุมพัดลมและแสงสว่างด้วยสวิทซ์ด้านนอกตู้ ทดสอบประสิทธิภาพตู้โดยวัดปริมาณสารเคมีที่สเปรย์เข้าไปโดยวัดจากอากาศที่ระบายออกจากตู้ลงในน้ำ การทดสอบสารละลายกรดและเบสโดยสเปรย์กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์จำนวน 100 , 200 และ 300 มิลลิลิตรตามลำดับ เก็บตัวอย่างน้ำวัดความเป็นกรด-เบสด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-เบสได้ค่า pH 5.87- 6.51 ± 0.07 ซึ่งถือเป็นค่าที่ปลอดภัยเนื่องจากมีค่าความเป็นกรดประมาณการแฟกับนมและความเป็นเบสประมาณนมกับน้ำดื่ม ความสามารถในการดักไอระเหยของสารละลายอินทรีย์โดยสเปรย์แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์จำนวน 100, 200 และ 300 ml ทดสอบโดยวิธี Microdiffusion พบว่าสีของตัวอย่างที่ไม่มีสารที่เราต้องการวิเคราะห์และตัวอย่างที่เราต้องการวิเคราะห์ไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อเทียบกับสีของสารมาตรฐานจะมีสีเขียวเข้มขึ้นแปลผันตรงกับปริมาณแอลกอฮอล์ เมื่อนำตัวอย่างวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท ผลไม่มีความแตกต่างกันระหว่างน้ำไม่มีแอลกอฮอล์และตัวอย่าง ความสามารถในการดักอนุภาคของโลหะหนักโดยสเปรย์สารมาตรฐานของโลหะทองแดงและสังกะสีความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 100 , 200 และ 300 มิลลิลิตร วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยเครื่อง Atomic Absorption spectroscopy วิเคราะห์อยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.1-5 มิลมิกรัมต่อลิตร เมื่อนำตัวอย่างทองแดงวัดค่าการดูดกลืนแสงไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง Blank และ Sample ผลการวิเคราะห์สังกะสีเมื่อสเปรย์สารมาตรฐานสังกะสี 100 และ 200 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง Blank และ Sample สเปรย์สารมาตรฐานสังกะสี 300 มิลลิลิตรมีค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้นแต่ต่ำกว่าระดับที่จะตรวจวัดได้

จากการสืบค้นข้อมูล(Literature review) พบว่ายังไม่มีหน่วยงานเอกชนไทยรายใดผลิตตู้ชนิดนี้จำหน่ายในประเทศไทยที่ใช้อยู่ส่วนมากจะทำการสเปรย์ในตู้ดูดควันในห้องปฏิบัติการ ตู้ที่ทางทีมวิจัยพัฒนาขึ้นนี้มีการประหยัดพลังงานเนื่องจากระบบกรองสารเคมีของตู้ด้านบนติดระบบพัดลมขับดันอากาศแบบหอยโข่งขนาด 6 นิ้ว ใช้ไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลท์ กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ ความเร็วรอบ 2,600 รอบต่อนาที ซึ่งเปรียบเทียบกับการสปรย์ในตู้ดูดควันซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าถึง 850 วัตต์(SCITRADER, 2564) ดังนั้นตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางที่ประดิษฐ์ขึ้นจึงมีการประหยัดพลังงานมากกว่าตู้ดูดควันประมาณ 14 เท่า อีกทั้งตู้สเปรย์แผ่นโครมาโตกราฟีแบบผิวบางยังมีระบบกรองสารเคมีต่างๆ ตามผลการทดลองที่ทำให้มั่นใจได้ว่าอากาศที่ออกมาจากตู้มีความสะอาดปลอดภัย

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา ปรศุพัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิดข้อแนะนำ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่นและคณะเภสัชศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ทำการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยทุกคนที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

วงศ์วิวัฒน์ ทัศนียกุลและคณะ. (2563). **คู่มือปฏิบัติการพิษวิทยา** (พิมพ์ครั้งที่ 1). ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศุภาวิตา จรรยา [อินเทอร์เน็ต]. 2563; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2566. ได้จาก https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/9423-2018-11-14-08-38-39

สมศักดิ์ วาทินชัย [อินเทอร์เน็ต]. (ม.ป.ป.); สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 31 ตุลาคม 2566 ได้จาก https://www.ashraethailand.org/download/ashraethailand_org/20100623_Present_SM_Safety%20chemical%20fume%20hood.pdf

Bhavtosh, S., Shweta, T. (2013). Simplification of Metal Ion Analysis in Fresh WaterSamples by Atomic Absorption Spectroscopy for Laboratory Students, **Journal of Laboratory Chemical Education**,1(3):54-58

Muhammad Arif Malik. (2023). General Properties of Acids and Bases [Internet] Accessed 2023 October 31. Available from https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Introduction_to_General_Chemistry_%28Malik%29/06%3A_Acids_and_bases/6.01%3A_What_is_an_acid_and_a_base

SCITRADER [อินเทอร์เน็ต]. 2564; ตู้ดูดไอสารเคมี สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2566. ได้จาก https://www.เครื่องมือวิทยาศาสตร์.com/

Spray Box with Ventilator [Internet] Accessed 2023 October 31. Available from: https://www.indiamart.com/chromline- equipment/hptlc-products.html

TLC spray box [Internet] Accessed 2023 October 31. Available from: https://ie.vwr.com/store/product/25361317/tlc-spray-box#order

TLC Spray Cabinet [Internet] Accessed 2023 October 31. Available from: https://infoend.com.tr/urun/tlc-spray-cabinet/

เครื่องปอกผิวมะนาว

Lemon peeler machine

เขตพงศ์ อินทรชัยศรี[1*] และ ณรงค์ หูชัยภูมิ[1]

Ketpong Intarachaisri[1*] and Narong Houchaiyaphum[1]

บทคัดย่อ

ลูกมะนาวและผิวมะนาวมีประโยชน์และสามารถแปรรูปได้หลากหลาย งานวิจัยนี้นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์เครื่องปอกผิวมะนาว และทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมในการปอกผิวมะนาว เครื่องปอกผิวมะนาวใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลท์ในการหมุนแกนลูกมะนาวให้หมุนและใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาดเดียวกันในการหมุนแท่นจับใบมีดขนาด 30 มิลลิเมตร โดยใช้วิธีการปรับความกว้างสัญญาณ Pulse-width modulation (PWM) ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ทั้งคู่ เพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมกันระหว่างมอเตอร์หมุนลูกมะนาว และมอเตอร์หมุนชุดจับใบมีด ความเร็วมอเตอร์ที่ดีที่สุดคือ มอเตอร์ใบมีด 4.5 รอบต่อนาทีและมอเตอร์แกนหมุนมะนาว 85 รอบต่อนาที ใช้เวลาปอกลูกมะนาว 1 กิโลกรัม 708 วินาที (11.48 นาที) ได้น้ำหนักเนื้ออยู่ที่ 0.88 กิโลกรัม และน้ำหนักเปลือกอยู่ที่ 0.116 กิโลกรัม ลักษณะเปลือกจะเป็นเส้นยาว และลูกมะนาวจะไม่มีสีเขียวของเปลือก ซึ่งผลการทดสอบครั้งนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงออกแบบเครื่องปอกผิวมะนาวให้มีสมรรถนะมากขึ้น

คำสำคัญ: เครื่องปอกผิว,ความกว้างพัลส์,,มะนาว.

Abstract

Limes and lime zest are useful and can be processed in many ways. The objective of this research is to invent a lemon peeling machine to find the optimum speed for peeling the lemon skin. Pulse-width modulation (PWM) method is applied to control the speed of both motor that drive spinning axis and blade axis with 30 mm blade width. The optimum motor speed is 4.5/85 (blade motor/lemon spindle motor). Spending time to peeling lemon 1 kilogram takes 708 seconds (11.48 minutes), resulting in a meat weight of 0.88 kilograms and a peel weight of 0.116 kilograms. The peeled skin is a long line without green rind. The results of this experiment can be used as a guideline for improving performance of a lemon peeling machine.

Keywords: Peeling machine, Pulse width Modulation, Lemon,

[1] คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47160

[1] Faculty of Industrial and Technology, Rajamangala University of Technology Isan 199 Moo 3 Pangkhon Subdistrict Pangkhon District Sakhonakhon Province 47160

* Corresponding author e-mail: ketpongl@hotmail.com

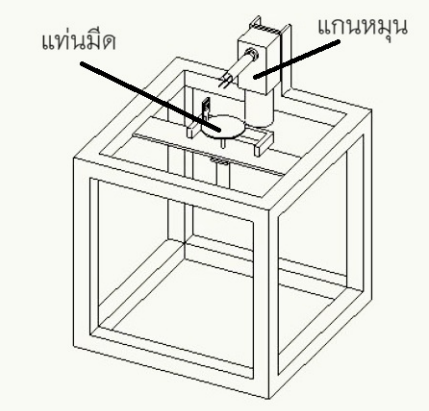
บทนำ

มะนาว เป็นพืชที่ผลมีรสเปรี้ยว จัดอยู่ในสกุลส้ม มีคุณค่าทางโภชนาการและทางการแพทย์ ผลมะนาวโดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 – 4.5 เซนติเมตร ปกติจะมีดอกผลตลอดทั้งปี แต่ในช่วงหน้าแล้งจะออกผลน้อย และมีน้ำน้อยผลมะนาวและผิวมะนาวสามารถแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าได้ ในส่วนของผลนั้นถูกนำไปแปรรูปเป็นเครื่องดื่มผสมมะนาว น้ำมะนาวเข้มข้น มะนาวปรุงอาหารเป็นต้น ส่วนผิวของมะนาวนั้นมักจะนำไปกลั่นเป็นน้ำมันหอมระเหยมีสรรพคุณด้านบรรเทาอาการเมื่อยล้าและกระตุ้นการทำงานส่วนต่างๆของร่างกาย ปริญญ์ รอบคอบและคณะ(2554) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องปอกฝรั่งแช่บ๊วย โดยใช้หลักการขัดผิวหยาบแบบจานหมุน สามารถปอกผิวฝรั่งได้เกลี้ยง ต่อมาชัยยันต์ ใจบุญมาและคณะ(2558) ได้ทำการสร้างและศึกษาเครื่องปอกเปลือกสับปะรด โดยให้สับปะรดหมุน มีดปอกเคลื่อนที่เข้าหาสับปะรด สับปะรดที่ได้จากเครื่องปอกเป็นทรงรี สามารถปอกสับปะรดได้ผิวเรียบ ธิติพงศ์ โพธิสุทธิ์และคณะ(2555) ได้พัฒนาเครื่องปอกผิวมะกรูดสามารถปอกผิวมะกรูดเพื่อการแปรรูปต่อไป สามารถปอกผิวมะกรูดได้ครั้งละไม่ต่ำกว่า 25 ผลโดยใช้เวลาในการปอกเพียง 25–35 วินาที โดยใช้พนักงานเพียงคนเดียว จากงานวิจัยข้างต้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะจัดทำเครื่องปอกผิวมะนาวโดยให้มะนาวหมุนบนแกนหมุนและใบมีด แกนหมุนจะหมุนลูกมะนาวใบมีดจะวิ่งตามขอบลูกมะนาวโดยใช้มอเตอร์หมุนใบมีด โดยแกนมอเตอร์ใบมีดและแกนหมุนลูกมะนาวใช้มอเตอร์กระแสตรงที่มีบอร์ดปรับความกว้างพัลส์ของสัญญาณเพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการปอกมะนาว

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเครื่องปอกผิวมะนาวใน 2 ส่วนส่วนแรกคือความเร็วที่เหมาะสมของแกนหมุนและแกนใบมีดที่มีผลให้มะนาวถูกปอกโดยได้ผิวหรือเปลือกมะนาวกับเนื้อในปริมาณที่เหมาะสม อีกส่วนหนึ่งคือสมรรถนะของเครื่องปอก โดยเครื่องปอกมะนาวในภาพที่ 1 มีหลักการทำงานคือแกนหมุนจะมีเหล็กเสียบเพื่อจับมะนาวให้อยู่บนแกนหมุน ใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 12 โวลท์ทำหน้าที่แกน ส่วนแท่นมีดจะถูกติดตั้งด้วยมีดปอกผลไม้ขนาด 30 มิลลิเมตร มีดปอกจะเคลื่อนที่รอบลูกมะนาวด้วยมอเตอร์ขนาด 12 โวลท์เช่นเดียวกันเมื่อเคลื่อนที่ไปถึงแกนหมุนจะถูกบังคับโดยร่องให้หลบแกนหมุนและกลับมาปอกผิวมะนาวใหม่อีกที เนื้อมะนาวและผิวมะนาวที่ปลอกได้จะถูกนำไปชั่งน้ำหนักต่อไป

$$\text{สมรรถนะ} = \frac{\text{น้ำหนักลูกมะนาวทั้งหมด}}{\text{เวลาที่ใช้ในการปอก}}$$



1

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะมีขั้นตอนดังนี้

1. นำมะนาว 1 กิโลกรัมมาชั่งน้ำหนักดังภาพที่ 2



2

2. นำมะนาวมาทดสอบกับเครื่องปอกผิวโดยแบ่งข้อมูลเป็น 6 ชุดทำชุดละ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยตามภาพที่ 3



3

3. แยกเปลือกและเนื้อมะนาวมาชั่งน้ำหนักดังภาพที่ 4



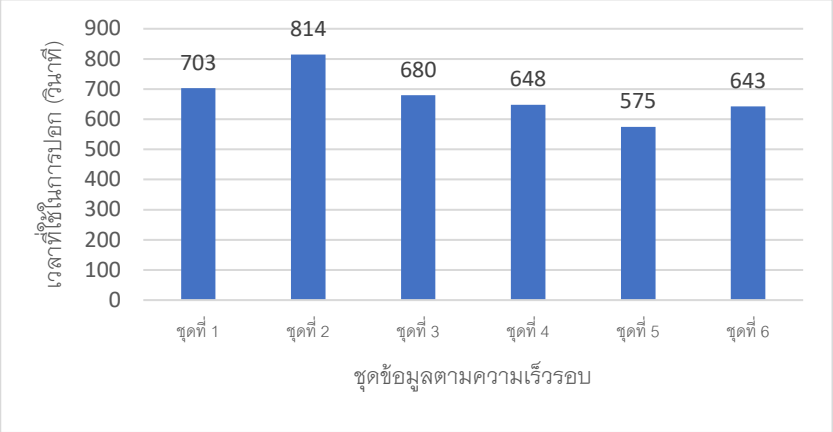
4

ผลการศึกษา

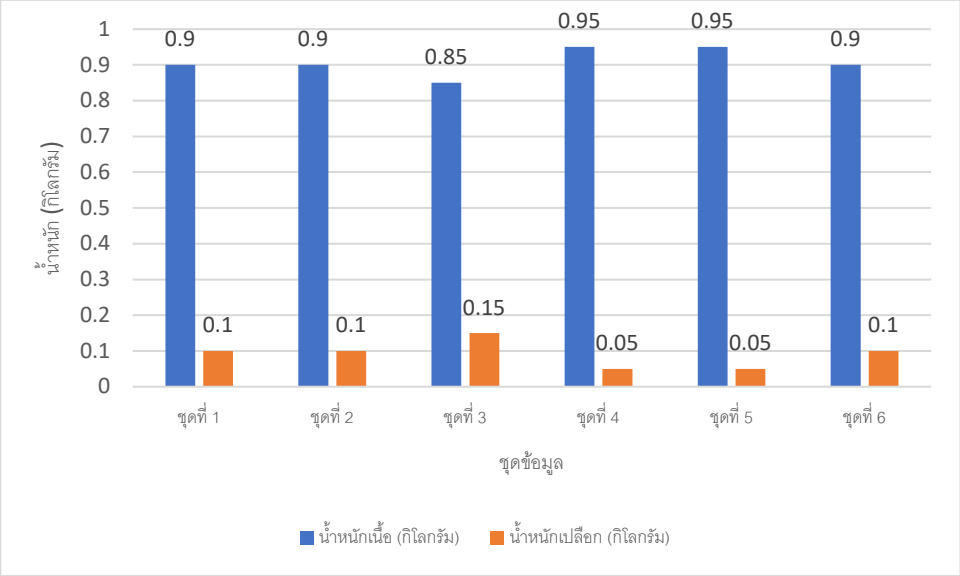
ชุดข้อมูลที่จะศึกษาจะจัดเรียงตามความเร็วของชุดแกนหมุนและใบมีดโดยชุดข้อมูลตามตารางที่ 1 โดยจะมีลักษณะผลลัพท์ของการปอกเปลือก

ตารางที่ 1 ความเร็วของแกนหมุนลูกมะนาวและแกนใบมีด

ชุดข้อมูลที่	ความเร็วแกนหมุนลูกมะนาว (รอบต่อนาที)	ความเร็วชุดใบมีด (รอบต่อนาที)	ลักษณะผิวมะนาวที่ถูกปอก
1	75	4.5	
2	85	4.5	
3	50	5	
4	60	5	 
5	40	5	 
6	50	6.5	 



ภาพที่ 4



ภาพที่ 5

ภาพที่ 4 และ 5 แสดงชุดข้อมูลเมื่อทดสอบสมรรถนะและปริมาณเปลือกที่ปอกได้ตามลำดับ

อภิปรายและสรุปผล

จากชุดข้อมูลทั้ง 6 ชุดที่ศึกษาจะพบว่าข้อมูลชุดที่ 3 มีสมรรถนะในการทำงานที่ดีที่สุด สามารถปอกมะนาวได้ผิวที่เกลี้ยงและปริมาณผิวที่เยอะ ใช้เวลาได้น้อยที่สุดในเวลา 680 วินาที(11 นาที 20 วินาที) เมื่อยึดความเร็วชุดมีดที่ 5 รอบต่อนาทีความเร็วของแกนหมุนเมื่อเพิ่มขึ้นเป็น 60 หรือลดลงเป็น 40 รอบต่อนาทีจะไม่สามารถปอกผิวได้เกลี้ยง ยิ่งเมื่อเพิ่มความเร็วแกนหมุนและชุดใบมีดในข้อมูลชุดที่ 6 ทำให้ผลของการปอกผิวไม่เป็นที่น่าพอใจ เมื่อลดความเร็วรอบชุดใบมีดให้เหลือ 4.5 ต่อนาทีในข้อมูลชุดที่ 1และชุดที่ 2 แต่ไม่สามารถลดความเร็วชุดแกนหมุนได้ทำให้ได้ผลการปอกไม่ดีเท่าชุดที่ 3 เครื่องปอกผิวทำงานได้สมรรถนะดีที่สุดที่ความเร็วใบมีด 5 รอบต่อนาทีและความเร็วรอบแกนหมุน 50 รอบต่อนาที

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ปริญญ์ รอบคอบ , สุดสายสิน แก้วเรือง, ศุภกิตต์ สายสุนทร, รติยา ธุวพาณิชยานันท์และ ดลฤดี ใจสุทธิ์. (2554). เครื่องปอกฝรั่งเพื่อการผลิตฝรั่งแช่บ๊วย. **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่นประจำปี 2554** “การพัฒนาอนาคตชนบทไทย : ฐานรากที่มั่นคงเพื่อการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน” 27-29 มกราคม 2554.

ชัยยันต์ ใจบุญมา, คชานนท์ ม้าอุตส่าห์, ชิษณุพงศ์ ดุเหว่า และนฤพันธ์ เทียนทอง. (2558). การสร้างและศึกษาเครื่องปอกเปลือก**สับปะรด. การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 2 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร**.

info.rdi@ku.ac.th. 2017; https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=58837.

บรรพดี. (2558). คู่มือปลูกมะนาวฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพ: เอ็มไอเอส.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่

Product development of green tea incorporated with mixed berry syrup beverage

วัฒนา วิริวุฒิกร[1*]

Wattana Wirivutthikorn[1*]

บทคัดย่อ

จุดประสงค์งานวิจัยเพื่อศึกษาอัตราส่วนชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตเครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ งานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ชุดทดลอง คือ ชาเขียวเท่ากับ 100 (ชุดควบคุม) ชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่อัตราส่วน 90: 10, 80: 20 และ 70: 30 ตามลำดับ ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสว่าง สี และลักษณะปรากฏ ศึกษาสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ร้อยละกรดทั้งหมด ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด แอนโธไซยานิน และสารต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาด้านจุลินทรีย์ทั้งหมด และศึกษาการยอมรับประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน แบบ 9-point hedonic scale ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ แต่ลดปริมาณชาเขียวมีผลทำให้แนวโน้มค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า มีความแตกต่างทางสถิติ ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาพบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำผลไม้รวมเข้มข้น มผช.1307/2549 ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า เมื่อพิจารณาสมบัติด้านสี กลิ่น และความชอบโดยรวมที่ประกอบด้วยชาเขียวและไซรัปมิกซ์เบอร์รี่อัตราส่วน 70: 30 ได้รับคะแนนการยอมรับมีค่าสูงสุดคือ 6.93, 6.13 และ 7.40 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ชาเขียว, มิกซ์เบอร์รี่, เครื่องดื่ม, การพัฒนาผลิตภัณฑ์, ไซรัป

[1] คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12130

[1] Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani Province 12130

*Corresponding author e-mail: wattana@rmutt.ac.th

Abstract

The purpose of this research was to study the optimum ratios of green tea and mixed berry syrup for green tea incorporated with mixed berry syrup processing. This research consisted of four treatments. Green tea (as a control sample) and blended green tea and mixed berry syrup in the ratios of 90: 10, 80: 20 and 70: 30 that were obtained, respectively. Physical properties, such as appearance, brightness, color, chemical properties including as the pH, percentage of the total acidity, total soluble solid, anthocyanin and antioxidant DPPH assay and microbiological properties comprising the total plate count were also analyzed. In addition, a type of sensory evaluation of each product's color, odor, taste and overall acceptability was performed by 30 untrained panelists using a nine-point hedonic scale. With respect to the physical properties, it was found that all experiments were significantly different ($p \leq 0.05$) with, an increase in the amount of mixed berry syrup but a decrease in the green tea that caused an increase in the brightness. The chemical properties showed that they were significantly different ($p \leq 0.05$). Furthermore, the microbiological results revealed that the total plate count met the standard regulation CPS.1307/2006. The sensory evaluation indicated that the color, odor and overall acceptability in the ratio of the green tea and mixed berry syrup of 70: 30) received the highest scores of 6.93, 6.13 and 7.40, respectively.

Keywords: Green Tea, Mixed Berry, Beverage, Product Development, Syrup

บทนำ

ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 ในปัจจุบัน ส่งผลให้คนส่วนใหญ่มีการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนไปในด้านความเป็นอยู่ การทำงานในด้านการปรับตัวในการดำรงชีวิตในแบบวิถีใหม่ (new normal) รวมไปถึงการบริโภคอาหาร และเครื่องดื่มทำให้ประชาชนส่วนใหญ่ให้ความสนใจสุขภาพมากขึ้น และด้วยความเจริญทางด้านเทคโนโลยียังส่งผลให้เกิดความสะดวกสบายในการดำเนินชีวิตมากขึ้นทำให้ร่างกายมีการใช้พลังงานลดลงส่งผลทำให้เกิดโรคอ้วน หรือภาวะน้ำหนักเกินมากขึ้นเป็นสาเหตุหนึ่งก่อให้ปัญหาโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ ในปัจจุบันมีการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพออกมาหลายชนิดวางจำหน่ายเป็นจำนวนมาก และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคจากผู้บริโภคเป็นอย่างมากเพราะ ให้รสชาติดี ราคาไม่แพง รับประทานง่าย และมีความสะดวกสบายในการบริโภคโดยรูปแบบของผลิตภัณฑ์มีทั้งแบบสำเร็จรูปพร้อมดื่ม และแบบผงสำหรับชงดื่ม (วัฒนา, 2564ก, ข, ค, 2565) ดังนั้นปัจจุบันคนส่วนใหญ่จึงได้หันมาให้ความสำคัญกับเรื่องสุขภาพมากขึ้นโดยเฉพาะอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงสังเกตได้จากมีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้นในท้องตลาด เช่น น้ำสมุนไพร เป็นต้น (กาญจนา และคณะ, 2562)

ชาเขียวเป็นเครื่องดื่มยอดนิยมอันดับสองของโลกผู้บริโภคนิยมดื่มเพื่อรสชาติ และผลที่ได้จากการกระตุ้นซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการแพทย์แผนจีน เป็นยาเย็นใช้แก้กระหายน้ำ ทำให้ชุ่มคอ แก้ง่วง ทำให้ตาสว่าง ช่วยย่อยอาหาร และยังประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความอ้วน ลดระดับน้ำตาลในเลือดและระดับอินซูลินในเลือด ลดคอเลสเตอรอล มีฤทธิ์ในการต้านมะเร็ง และเพิ่มการใช้พลังงานและการสลายไขมัน (fat oxidation) เป็นต้น สารสำคัญที่พบในใบชาเขียว คือ โพลิฟีนอลมีปริมาณสูงประมาณร้อยละ 30-35 ของน้ำหนักใบชาแห้ง และสารในกลุ่มคาเทชิน (catechins) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ที่สำคัญเป็นฟลาโวนอยด์ (flavonoids) พบว่าในชาเขียวมีปริมาณคาเทชินประมาณร้อยละ 10-18 ของน้ำหนักใบชาแห้งมีสมบัติต้านโรคมะเร็งได้ (นิพัฒน์, 2547; วารุณี, 2560; วอนสี และคณะ, 2556)

ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่จัดเป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีสูงที่มีความสำคัญต่อสุขภาพมีสีสันที่สวยงาม รสเปรี้ยว และรสหวาน และมีกลิ่นหอมมีหลายประเภทขนาดเล็ก กลมมน ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่นั้นมีส่วนช่วยในการบำรุงสุขภาพ ช่วยชะลอวัย บำรุงสายตา ทำให้ผิวพรรณเปล่งปลั่ง รับประทานแล้วไม่อ้วน และลดความเสี่ยงของอาการเจ็บป่วยเรื้อรังจากโรคต่างๆ เช่น โรคหวัด และโรคมะเร็ง เนื่องจากผลไม้ตระกูลนี้ให้พลังงานต่ำอุดมประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ วิตามินซี ใยอาหาร และแร่ธาตุอื่นๆ ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ไม่ว่าจะเป็นโพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส แคลเซียม และโฟเลต (วันดี, 2557) ซึ่งผลไม้ตระกูลเบอร์รี่สามารถผลิตเป็นไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ได้โดยการนำน้ำมิกซ์เบอร์รี่มาทำให้เข้มข้นมีลักษณะเป็นน้ำตาลเหลว ข้นหนืด และมีกลิ่นของมิกซ์-เบอร์รี่ สามารถเก็บรักษาได้นานเนื่องจากมีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงอาจมีลักษณะขุ่น หรือใสได้ แต่ต้องมีสัดส่วนน้ำมิกซ์เบอร์รี่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 และมีปริมาณสารที่ละลายน้ำได้ขั้นต่ำร้อยละ 65 มีความเป็นกรดต่ำถ้ามีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 68 ต้องใช้สารเคมีช่วยในการเก็บรักษา (มะลิวัลย์, 2554)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้ประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการมีประโยชน์ต่อร่างกาย และเป็นอีกทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่มีความสนใจผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพ ประกอบกับจากการศึกษาข้อมูลพบว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังไม่มีการรายงานไว้อย่างชัดเจนในด้านส่วนผสมที่เหมาะสม ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาเครื่องดื่มที่เป็นไปได้คือ การผสมกับสมุนไพรอื่นๆ เช่น ชาเขียว และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ เช่น มิกซ์เบอร์รี่เป็นการนำผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ผสมประกอบด้วยบลูเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ แลแบล็คเบอร์รี่ ด้วยเป็นการเพิ่มมูลค่าพืชสมุนไพรเป็นการส่งเสริมสินค้าที่ผลิตจากวัตถุดิบในประเทศส่งผลทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรูปแบบใหม่ที่ทำให้เกิดความหลากหลายตามความต้องการของผู้บริโภคและเป็นทางเลือกของผู้ประกอบการในการนำไปขยายต่อยอดในเชิงพาณิชย์ต่อไป วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ส่วน คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต

1.1 การเตรียมชาเขียว ดัดแปลงจาก วอนสี และคณะ (2556)

เตรียมภาชนะหม้อต้มน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ทำให้เย็นลง จากนั้นดำเนินการชั่งใบชาเขียวอบแห้ง 14 กรัม ต่อน้ำเปล่า 1,000 มิลลิลิตร ใส่ลงในภาชนะนำใบชาเขียวจนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำการกรองเอาใบชาออกด้วยผ้าขาวบางจำนวน 4 ชั้น นำน้ำใบชาเขียวที่ได้ผสมกับไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ต่อไป

1.2 การเตรียมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ ดัดแปลงจาก มะลิวัลย์ (2554); วัฒนา (2564ก, ค)

เตรียมเนื้อมิกซ์เบอร์รี่ผสมประกอบด้วยบลูเบอร์รี่ร้อยละ 30 ราสเบอร์รี่ร้อยละ 30 แลแบล็คเบอร์รี่ร้อยละ 40 แช่แข็งที่ผ่านการละลายผลึกน้ำแข็งปริมาณ 1,000 กรัม และน้ำ 1,000 มิลลิลิตร นำมิกซ์เบอร์รี่ผสมกับน้ำให้เป็นเนื้อเดียวกัน และกรองตะกอนออกด้วยผ้าขาวบางหนา 2 ชั้น ดำเนินการวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและคำนวณปริมาณน้ำตาลทรายที่ต้องเติมใช้หลัก Pearson square ของแข็งที่ละลายน้ำเท่ากับ 65°บริกซ์ จากนั้นนำน้ำมิกซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้ผสมน้ำตาลทรายที่คำนวณได้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนานประมาณ 10–15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น และวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

1.3 การเตรียมน้ำชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ ดัดแปลงจาก มะลิวัลย์ (2554); วัฒนา (2564ก, ค)

นำน้ำชาเขียว (ข้อ 1.1) มาผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ (ข้อ 1.2) เทผสมรวมกันในหม้อสแตนเลสผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำมาฆ่าเชื้อโดยพาสเจอไรซ์อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที พักให้เย็น และบรรจุลงในขวดพลาสติก (PE) 400 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดให้แน่นสนิท

2. การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ ดำเนินการประเมินคุณภาพด้านต่างๆ เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ คือ ด้านกายภาพ ด้านเคมี ด้านจุลินทรีย์ และด้านประสาทสัมผัส

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

วิเคราะห์ค่าความสว่าง และค่าสี (L^*, a^* และ b^*) และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ดัดแปลงตามวิธีการของ วัฒนา (2564ก, ค, 2565)

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) ร้อยละกรดทั้งหมด (คำนวณในรูปกรดซิตริก) ตามวิธีการของ AOAC (2000) แอนโธไซยานิน ดัดแปลงตามวิธีการของ นิศากร (2548); Ranganna (1977) สารต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ดัดแปลงตามวิธีการของ Pellati *et al.* (2004)

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) ตามวิธีการของ FDA Bacteriological Analytical Manual (BAM) (2008)

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9- point hedonic scale test (1= ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3= ไม่ชอบปานกลาง 4= ไม่ชอบเล็กน้อย 5= เฉยๆ 6= ชอบเล็กน้อย 7= ชอบปานกลาง 8= ชอบมาก และ 9= ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ตัวแปรที่ต้องการทดสอบคือ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม (ไพโรจน์, 2561)

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel 2016 (เป็นโปรแกรมการวิเคราะห์ Toolpak ค่าสถิติในชุดโปรแกรม Microsoft) การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี สำหรับการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design; RCBD) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance ; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) (ไพโรจน์, 2561)

ผลการศึกษา

1. คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่โดยสังเกตด้วยตาเปล่าในด้านลักษณะภายนอกปรากฏ วัดค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีน้ำเงิน จากผลการศึกษาพบว่าลักษณะปรากฏที่เกิดขึ้นในด้านตะกอน ความใสของเครื่องดื่ม ค่าความสว่าง ค่าสีที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันทางสถิติตามปริมาณชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไปซึ่งค่าความสว่างลดลง ส่วนค่าสีเขียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่

ชาเขียว: ไซรัปมิกซ์เบอร์รี่	ลักษณะปรากฏ	ค่าที่วัดได้*		
		*L**	*a**	*-b**
100: 0	น้ำตาลแดงอ่อน ตะกอนเล็กน้อย	$2.12^{a} \pm 0.82$	$3.05^{a} \pm 0.13$	$-0.75^{c} \pm 0.09$
90: 10	น้ำตาลแดงเข้ม ตะกอนปานกลาง	$1.65^{ab} \pm 0.11$	$2.27^{b} \pm 0.04$	$-0.33^{a} \pm 0.08$
80: 20	แดงปานกลาง ตะกอนมาก	$1.57^{ab} \pm 0.10$	$2.28^{b} \pm 0.09$	$-0.53^{b} \pm 0.08$
70: 30	ม่วงแดงเข้ม ตะกอนมาก	$0.84^{b} \pm 0.08$	$2.92^{a} \pm 0.09$	$-1.25^{d} \pm 0.10$

หมายเหตุ *ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ร้อยละกรดทั้งหมด (คำนวณในรูปกรดซิตริก) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด แอนโธไซยานิน และสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากผลการศึกษาพบว่า ความเป็นกรด-ด่าง ร้อยละกรดทั้งหมด (คำนวณในรูปกรดซิตริก) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดแอนโธไซยานิน และสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีความแตกต่างกันทางสถิติทุกค่าที่วัดได้ยกเว้นความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่เพิ่มขึ้น ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่

ชาเขียว: ไซรัปมิกซ์เบอร์รี่	ค่าที่วัดได้				
	ความเป็นกรด-ด่าง*	ร้อยละกรดทั้งหมด*	ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°บริกซ์)*	แอนโธไซยานิน*(มก./ก. น้ำหนัก)*	สารต้านอนุมูลอิสระDPPH มก. สมมูลโทรล็อกซ์/ 100 ก.)*
100: 0	$5.37^{a} \pm 0.04$	$0.01^{d} \pm 0.11$	$0.00^{d} \pm 0.00$	$0.00^{d} \pm 0.00$	$52.03^{c} \pm 0.47$
90: 10	$4.09^{b} \pm 0.03$	$0.23^{c} \pm 0.08$	$8.30^{c} \pm 0.20$	$12.38^{c} \pm 0.33$	$54.27^{b} \pm 0.14$
80: 20	$3.75^{c} \pm 0.03$	$0.38^{b} \pm 0.32$	$16.13^{b} \pm 0.25$	$18.23^{b} \pm 0.22$	$55.33^{b} \pm 0.84$
70: 30	$3.49^{d} \pm 0.03$	$0.42^{a} \pm 0.16$	$23.33^{a} \pm 0.15$	$20.12^{a} \pm 0.45$	$57.14^{a} \pm 0.55$

หมายเหตุ *ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่

จากการวิเคราะห์จุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ โดยมีการตรวจวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรีย ผลการศึกษาพบว่า การตรวจวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่

ชาเขียว: ไซรัปมิกซ์เบอร์รี่	จำนวนแบคทีเรีย (ซีเอฟยู/มิลลิลิตร)
100: 0	ไม่พบเชื้อ
90: 10	ไม่พบเชื้อ
80: 20	$1x10^3$
70: 30	$1x10^3$

4. การประเมินทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่

จากการวิเคราะห์การประเมินผลลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9- point hedonic scale test ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คนที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ตัวแปรที่ต้องการทดสอบ คือ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ จากผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่ทำการทดสอบทุกค่ามีความแตกต่างกันทางสถิติตามปริมาณชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไปโดยเมื่อเพิ่มปริมาณไซรัปมิกซ์เบอร์รี่คะแนนการยอมรับบางประสาทสัมผัสด้านสี ความชอบโดยรวมมีค่าสูงขึ้น ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่

ชาเขียว: ไซรัปมิกซ์เบอร์รี่	คะแนนความชอบ			
	สี*	กลิ่น*	รสชาติ*	ความชอบโดยรวม*
100: 0	$5.40^b \pm 2.39$	$5.20^b \pm 2.40$	$4.13^c \pm 2.67$	$4.83^c \pm 2.42$
90: 10	$5.50^b \pm 2.11$	$5.13^b \pm 2.49$	$5.50^b \pm 2.53$	$5.97^b \pm 2.37$
80: 20	$6.60^a \pm 1.94$	$5.93^a \pm 2.20$	$7.20^a \pm 1.69$	$7.30^a \pm 1.60$
70: 30	$6.93^a \pm 1.91$	$6.13^a \pm 2.40$	$7.13^a \pm 1.59$	$7.40^a \pm 1.35$

หมายเหตุ *ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อภิปรายและสรุปผล

จากตารางที่ 1 ค่าความสว่าง และค่าสีนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่จึงคำนึงถึงปัจจัยนี้เป็นอันดับแรกๆ ในการทดสอบคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความสว่าง และค่าสีแดง และค่าสีน้ำเงิน (L^*, a^* และ$-b^*$) ของเครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีน้ำเงินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อไซรัปมิกซ์เบอร์รี่มีปริมาณเพิ่มขึ้นก็จะมีผลทำให้ค่าความสว่างที่วัดได้มีค่าลดลง เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่มีสีม่วงเข้ม ชาเขียวมีสีน้ำตาลเหลือง เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในชาเขียวก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่มีสีม่วงแดงเข้มตามไปด้วยค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีน้ำเงินมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำชาเขียวที่ลดลงลงไป แต่เพิ่มปริมาณไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ส่งผลทำให้ค่าความเป็นสีน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจาก มีส่วนผสมของไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่เพิ่มขึ้น แต่ลดปริมาณชาเขียวส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีม่วงแดงเข้ม การให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ส่งผลทำให้เกิดสารต้านออกซิเดชัน (วัฒนา, 2564ข, ค; สุนัน และ จตุรงค์, 2564; Martinez and Whitaker, 1995) ซึ่งจากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า การนำชาเขียวมาเป็นส่วนผสมในไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ปริมาณที่แตกต่างกันโดยการเพิ่มไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ลงส่งผลทางกายภาพด้านการเปลี่ยนสีเมื่อเทียบกับการทดลองที่ใช้ชาเขียว 100 (สูตรควบคุม) (ชนานันท์ และ มยุรี, มปป.; สุนัน และจตุรงค์, 2563, 2564)

จากการศึกษาลักษณะภายนอกที่ปรากฏในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชุดทดลอง พบว่า พบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นแตกต่างกันมาจากชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไป การเพิ่มปริมาณไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ แต่ลดปริมาณชาเขียวมากขึ้นส่งผลทำให้พบปริมาณตะกอนมากขึ้น และเกิดการตกตะกอนได้ง่ายขึ้นภายหลังจากได้รับความร้อนซึ่งหากจะต้องการลดการเกิดปริมาณตะกอนหรือทำให้ลักษณะที่ปรากฏเป็นเนื้อเดียวกันในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนั้นควรมีการเติมสารทำให้คงตัว (stabilizer) ป้องกันการตกตะกอน เช่น กัม เพคติน คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (ซีเอ็มซี) เจลาติน และคาราจีแนนทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นโดยสารที่ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันเข้าไปช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของเจลส่งผลทำให้การเกิดตะกอนแยกชั้นลดน้อยลง แต่จะทำให้เครื่องดื่มมีลักษณะของความข้นหนืดเป็นเจลเพิ่มขึ้น (วัฒนา, 2564ก, ข, ค, 2565) สุนัน และ จตุรงค์ (2563) ศึกษาการศึกษาเบื้องต้นพบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ใช้เจลาตินความเข้มข้นร้อยละ 0.1 มีผลทำให้เครื่องดื่มมีลักษณะความข้นหนืดเป็นเจลมีความคงตัวมากขึ้น หรือเพิ่มการกรองตัวอย่างมากขึ้น

จากการทดสอบคุณภาพทางด้านเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ร้อยละกรดทั้งหมด ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด แอนโธไซยานิน และความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ DPPH มีความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(วัฒนา, 2564ค) เนื่องจากชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่ใช้เป็นส่วนผสมในอัตราส่วนของไซรัปมิกซ์เบอร์รี่เพิ่มขึ้น แต่ลดปริมาณชาเขียวมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 3.49-5.37 และร้อยละกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก มิกซ์เบอร์รี่เป็นผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวมีค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างต่ำ (วันดี, 2557) มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่มีอัตราส่วนของชาเขียวต่อไซรัปมิกซ์เบอร์รี่เท่ากับ 70: 30 มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุดคือ 3.49 รองลงมาคืออัตราส่วน 80: 20, 90: 10 และ 100: 0 ตามลำดับทำให้ค่าร้อยละกรดทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นโดยปกติแอนโธไซยานินจะมีด้วยกันหลายชนิดแต่ทุกชนิดมีโครงสร้างหลักเป็นสารชนิดเดียวกันที่เรียกว่า แอนโธไซยานินดินที่มีคาร์บอน 15 อะตอมอยู่ภายในโมเลกุล คือ โครงสร้างแบบ C6-C3-C6 เป็นไกลโคไซด์ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation (วัฒนา, 2564ก; วัฒนา, 2565) ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับ สินีนาฏ และ ศักดิ์สิทธิ์ (2558) กล่าวไว้ว่า ความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อสีของแอนโธไซยานินโดยรวมในตัวอย่างน้ำเม่าที่ช่วงความเป็นกรด-ด่าง ต่ำ (1-4) มีลักษณะเป็นสีแดง เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองชุดควบคุมที่มีเฉพาะชาเขียวมีค่าสีแดงมากกว่า แต่ค่าสีน้ำเงินน้อยกว่า แสดงว่าการเติมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่มีผลทำให้ค่าสีแดงเพิ่มขึ้นเนื่องจาก การเพิ่มมิกซ์เบอร์รี่ ค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแอนโธไซยานินที่วัดได้ การเพิ่มปริมาณไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้แอนโธไซยานินที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และค่าที่วัดได้นี้มีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่าง และมีผลทำให้สีน้ำเงินเพิ่มขึ้นน้อยมาก และในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำแอนโธไซยานินมีความคงตัวมากกว่าความเป็นกรด-ด่างที่สูง (ดวงรัตน์, 2559; ปิลันธสุทธิ์, 2561; วชิราภรณ์ และ ถวนันท์, 2559; วลัยพร และคณะ, 2555) และเนื่องด้วยงานวิจัยนี้ผ่านการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อถึง 2 ครั้งทำให้โครงสร้างของแอนโธไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยจะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลเซชัน (hydrolyzation) ของ 3-glucoside ทำให้ flavylium cation เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงตัวน้อย และเกิดสลายตัวกลายเป็นสารประกอบสีน้ำตาลของสารประกอบฟีนอลิกในธรรมชาติที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ และไม่เกิดความคงตัวได้ (ชัชวิน และ ธรรมนูญ, 2563; สุภาพร, 2562; Qin *et al.*, 2010) อัตราการสลายตัวของแอนโธไซยานินนอกจากขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูปให้ความร้อนแล้วยังขึ้นอยู่กับชนิดและหมู่ฟังก์ชันที่มาเกาะบนโครงสร้างแอนโธไซยานินในอาหารนั้นด้วย (อฑิตยา และคณะ, 2564)

ส่วนค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเป็นค่าวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดรวมถึงน้ำตาล เอนไซม์ และรงควัตถุเป็นค่าที่บ่งบอกในการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ทุกการทดลองมีวัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.00-23.33°บริกซ์ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้

ผลิตภัณฑ์ชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่าค่อนข้างสูงนั้นเนื่องจาก ผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบของน้ำตาลชนิดต่างๆ ซึ่งละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส (glucose) ฟรุกโตส (fructose) ซูโครส (sucrose) เอนไซม์ นอกจากน้ำตาลที่ละลายน้ำได้แล้วในผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยกรดอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ดี เช่น กรดซิตริก (citric acid) เป็นต้น (ดวงรัตน์, 2559) การเพิ่มปริมาณไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ แต่ลดปริมาณชาเขียวส่งผลต่อค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ประกอบด้วยเนื้อ เพ็คติน รงควัตถุ และเอนไซม์จำนวนมากส่งผลทำให้ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่ามากขึ้น งานงานวิจัยนี้ศึกษาตรวจวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยการทำลายอนุมูลอิสระวิธี DPPH ที่รายงานค่าเป็น มก.สมมูลโทรร็อกซ์/100ก. โดยวิธี DPPH เป็นการทดสอบความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระวิธี DPPH ซึ่งเป็นวิธีที่วิเคราะห์ง่าย สะดวก มีความเสถียร และสามารถใช้กับตัวอย่างหลายชนิด (สุนัน และ จตุรงค์, 2564) วิธีนี้เป็นการทดสอบความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระวิธี DPPH จากผลการวิจัยพบว่า ค่าที่วัดได้การทดลองที่ประกอบด้วยชาเขียว: ไซรัปมิกซ์เบอร์รี่อัตราส่วน 70: 30 มีค่าสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเท่ากับ 57.14 มก.สมมูลโทรร็อกซ์/100ก. ทั้งชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจากรายงานวิจัยของ นิพัฒน์ (2547) รายงานไว้ว่า ชาเขียวมีสารคาเทชินซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลานาน 10 นาที อัตราส่วนชาเขียว: น้ำ 1: 150 ได้คาเทชินมากที่สุดเท่ากับ 2.06 กรัมต่อ 100 กรัมใบชาเขียวแห้ง และรายงานวิจัยของ วารุณี (2560) วิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระผลิตภัณฑ์ชาเขียวโดยวิธี FRAP พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 1904.54 ไมโครโมล และงานวิจัยของ Shannon *et al.* (2018) รายงานไว้ว่าชาเขียวมีค่าสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH มีค่าเท่ากับ 1233.03 ไมโครกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิก/กรัม ปัจจัยที่มีผลต่อการวัดค่าสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สัดส่วนชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่มีผลต่อค่าการยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH นอกจากนี้ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับโครงสร้างพื้นฐานของแอนโธไซยานิน และสัมพันธ์กับจำนวน และตำแหน่งของไฮดรอกซิล เมทอกซิลที่อยู่รอบวงแหวนรวมถึงหมู่น้ำตาล และค่าความเป็นกรด–ด่าง พบว่า แอนโธไซยานินชนิดมอลวิดินและเพทุนิดินมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแอนโธไซยานินชนิดไซยานิดิน และเดลฟินิดิน (ชนานันท์ และ มยุรี, มปป.)

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำผลไม้รวมเข้มข้น (มผช.1307/2549) น้ำผลไม้รวมจะต้องตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 โคโลนี/ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2549) จากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ทั้ง 4 การทดลอง ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตรวจจุลินทรีย์ทั้งหมด เนื่องจากทั้ง 4 การทดลองตรวจพบโคโลนีไม่เกิน 1×10^4 โคโลนี/ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ วัฒนา (2564ก, ข, ค, 2565); สุนัน และ จตุรงค์ (2564) แสดงว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มทุกการทดลองผ่านการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์เซชันเป็นระดับอุณหภูมิที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้บางส่วน แต่จุลินทรีย์บางชนิดที่ทนต่ออุณหภูมิสูงสามารถเจริญเติบโตได้ (ดวงรัตน์, 2559; วัฒนา, 2564ก, ข, ค, 2565) กระบวนการเทคนิคขั้นตอนในการผลิตมีความสะอาด และมีความปลอดภัย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสุขลักษณะที่ดีในการผลิต และกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสม (ดวงรัตน์, 2559; วัฒนา, 2564ก, ข, ค, 2565) นอกจากนี้การยับยั้งจุลินทรีย์ดังกล่าวขึ้นกับปริมาณสารแอนโธไซยานินที่พบโดยรายงานวิจัยทำให้ทราบว่า สารสกัดแอนโธไซยานินจากซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่สกัดได้ในงานวิจัยนี้มีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้ (ฐานิดา และ สมใจ, 2562) และยังมีรายงานว่าคาเทชินในชาเขียวสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Streptococcus faecalis*

NCTC 00775, *Bacillus subtilis* NCIMB 3610, *Escherichia coli* NCTC 10538 (K12), *Salmonella typhi* ATCC 13311 และ *Pseudomonas fluorescens* NCDO 1524 (นิพัฒน์, 2547)

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัสมีบทบาทสำคัญในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์การบริโภคอาหารความรู้สึกที่ซับซ้อนที่เกิดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้จะส่งผลให้เกิดการยอมรับของผู้บริโภคหรือไม่ (วอนสี และคณะ, 2556; สุนัน และ จตุรงค์, 2563) จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 การทดลองโดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 9-point hedonic scale โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ด้านลักษณะสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมพบว่าผลิตภัณฑ์ชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่ประกอบด้วยชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่อัตราส่วน 70: 30 มีค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และความชอบโดยรวมมากที่สุดทั้งนี้อาจเนื่องจาก ผลิตภัณฑ์มีการผสมกันระหว่างชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม การลดปริมาณชาเขียวช่วยลดความเฝื่อนได้ แต่เพิ่มปริมาณมิกซ์เบอร์รี่ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีรสชาติค่อนข้างเปรี้ยว ผู้ทดสอบชิมชอบความเปรี้ยว และมีความหลากหลายของกลิ่นหอมของมิกซ์เบอร์รี่ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ประกอบด้วยเฉพาะชาเขียวคะแนนการยอมรับด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวมน้อยกว่าการทดลองอื่นๆ เนื่องจาก ไม่มีส่วนผสมของไซรัปมิกซ์เบอร์รี่มีเฉพาะกลิ่นชาเขียว มีรสชาติที่เฝื่อนจากชาเขียว (วันดี, 2557; วัฒนา, 2564ค)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ จากผลการวิเคราะห์ด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสพบว่า ปริมาณชาเขียว และไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ที่ต่างกันมีผลต่อการวัดค่าทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่อัตราส่วน 70: 30 มีความเหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น และความชอบโดยรวมซึ่งการเพิ่มปริมาณชาเขียว แต่ลดปริมาณมิกซ์เบอร์รี่ทำให้ผู้ทดสอบชิมมีแนวโน้มให้คะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น และความชอบโดยรวมที่เพิ่มขึ้นทุกด้านเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่มีการเติมเฉพาะชาเขียว แต่ไม่เติมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ ส่วนผลการวิจัยด้านจุลชีววิทยาพบว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มทุกการทดลองพบปริมาณแบคทีเรียไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน แสดงว่า กระบวนการให้ความร้อนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเป็นกระบวนการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์เซชัน และแอนโธไซยานินทำให้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ และจะต้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่อุณหภูมิต่ำประกอบด้วยสารต้านออกซิเดชันจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากชาเขียว และมิกซ์เบอร์รี่ที่เป็นประโยชน์แก่ร่างกาย (วันดี, 2557; อชิตยา และคณะ, 2564) และมีข้อเสนอแนะจากงานวิจัยนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมด้านสมุนไพรชนิดอื่นเพิ่มเติม เช่น ชาเขียวผสมราสเบอร์รี่ สารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำ เช่น หญ้าหวาน ซูคราโลส การพัฒนาต่อยอดเป็นเครื่องดื่มผงโดยวิธีการเก็บรักษาแบบสุญญากาศช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการ และทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ และศึกษาผสมน้ำสมุนไพรชนิดอื่นลงไปเพื่อให้มีความหลากหลายในด้าน สี กลิ่น สารอาหาร เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมไซรัปมิกซ์เบอร์รี่ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารชั้นปีที่ 4 เจ้าหน้าที่สาขาฯ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ช่วยเหลือด้านการเตรียมตัวอย่าง การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ในการปฏิบัติการตลอดจนการสนับสนุนทุนวิจัยด้วยเงินงบประมาณคณะ ฯ จนแล้วเสร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา เสือมั่น, สไมพร ปักษี, อภิญญา อาบสุวรรณ์, รพิกร ฉลองสัพพัญญู, ภรภัทร สำอางค์, ปนัดดา จันทร์เนย และ กุลวดี ปิ่นวัฒนะ. (2562). การวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมดอกมะลิ 105. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, ปีที่ 4 ฉบับที่ 3, หน้า 95–108.

ชัชวิน เพชรเลิศ และ ธรรมนูญ แสงประทุม. (2563). การเปรียบเทียบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินในกลุ่มข้าวดิบและข้าวสุก 4 ชนิด. **วารสารนเรศวรพะเยา**, ปีที่ 13 ฉบับที่ 2, หน้า 36–41.

ชนานันท์ สุวรรณปิฎกกุล และ มยุรี กัลยาวัฒนกุล. (มปป.) การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่. รายงานวิจัย สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

ฐานิดา รองสุพรรณ์ และ สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. (2562). ปริมาณแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงด้วยวิธีการสกัดแบบอัลตราโซนิก. **วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** ปีที่ 14 ฉบับที่ 1, หน้า 47–61.

ดวงรัตน์ แซ่ตั้ง. (2559). การพัฒนาเครื่องดื่มสารสกัดจากอัญชันและกระเจี๊ยบแดง. วิทยานิพนธ์ คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

นิพัฒน์ ลิ้มสงวน. (2547). การศึกษากระบวนการสกัด คุณสมบัติในการเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ และสารต้านอนุมูลอิสระของคาเทชินจากชาเขียวของไทย. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

นิศากร สุวรรณ. (2548). ผลของวัสดุเคลือบผิวต่อการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและการสูญเสียน้ำหนักของผลลิ้นจี่. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปิลันธสุทธิ์ สุวรรณเลิศ. (2561). ผลของสภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ต่อคุณภาพน้ำอัญชันพร้อมดื่มระหว่างการเก็บรักษา. **วารสารวิชาการที่ประชุมสภาข้าราชการ พนักงานและลูกจ้าง มหาวิทยาลัยแห่งประเทศไทย (ปขมท)**. ปีที่ 14 ฉบับที่ 1, หน้า 97–104.

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2561). **การประเมินทางประสาทสัมผัส.** เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มะลิวัลย์ ไชยโย. (2554). การเปรียบเทียบคุณภาพของไซรัปกล้วยที่ผลิตจากน้ำตาลทรายและน้ำตาลอ้อย. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วชิราภรณ์ ภักดี และ ถวนันท์ ศรีพิสุทธิ์. (2559). การพัฒนาสารสกัดจากข้าวไรซ์เบอร์รี่เพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ. รายงานวิจัย สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

วัฒนา วิริวุฒิกร. (2564ก). การพัฒนาเครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ผสมน้ำเบอร์รี่รวม. ใน **ประมวลบทความในการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 15 ผลงานนำเสนอแบบโปสเตอร์. Future Trends of Research and Innovation. (ออนไลน์)** หน้า 148–153. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

วัฒนา วิริวุฒิกร. (2564ข). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมันม่วงผงและขิงผงเพื่อสุขภาพ. ใน **ประมวลบทความในการประชุมวิชาการการนำเสนองานวิจัยระดับชาติเครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 14 ผลงานนำเสนอแบบปากเปล่า. (ออนไลน์)** หน้า 1042–1053. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วัฒนา วิริวุฒิกร. (2564ค). ผลของปริมาณน้ำมัลเบอร์รี่ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำแก่นฝางผสมน้ำมัลเบอร์รี่เพื่อสุขภาพ. ใน **ประมวลบทความในการประชุมวิชาการระดับชาติประจำปี 2564 ผลงานนำเสนอแบบปากเปล่า. "นวัตกรรมเกษตร อาหาร และสุขภาพ". (ออนไลน์)** หน้า 1235–1245. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

วัฒนา วิริวุฒิกร. (2565). การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำบีทรูทผสมน้ำแครอทและน้ำสับปะรดเสริมคอลลาเจน. ใน **ประมวลบทความในการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 16 ผลงานนำเสนอแบบโปสเตอร์. Research and Innovation for SDGs in the Next Normal. (ออนไลน์)** หน้า 75–84. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

วันดี โลศิริ. (2557). โปรโมชั่นมิกซ์เบอร์รี่. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยสยาม.

วารุณี ปิยเบญจรัฐ. (2560). การศึกษาเปรียบเทียบผลของสารให้ความหวานและสารเสริมอื่นๆ ที่มีผลต่อระดับสารประกอบฟีโนลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ชาเขียว. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

วลัยพร สินสวัสดิ์, กาญจนา พิศาภาค, ดารานัย รบเมือง และ พรชัย สินสวัสดิ์. (2555). การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของมันเลือดไก่. รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา.

วอนสี ลอคำเฮือง, กันตภาส กังสุวรรณ และ นิรมล อุตมอ่าง. (2556). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชาเขียวผสมข้าวก่ำชนิดชงละลาย. ใน **ประมวลบทความในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51 สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร.** หน้า 455–463. กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2549). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำผลไม้รวมเข้มข้น มผช.1307/2549)** กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สินีนาฏ ภูมีศรี และ ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. (2558). การหาปริมาณแอนโทไซยานินและผลของไอออนอะลูมิเนียมต่อเสถียรภาพของน้ำเม่า. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น.(บศ.),** ปีที่ 15 ฉบับที่ 1, หน้า 41–51.

สุนัน ปานสาคร และ จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. (2563). ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีในการปรับส่วนผสมของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี,** ปีที่ 18 ฉบับที่ 2, หน้า 157–168.

สุนัน ปานสาคร และ จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. (2564). ผลของการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** ปีที่ 29 ฉบับที่ 1, หน้า 119–133.

สุภาพร พาเจริญ. (2562). เสถียรภาพของสารสกัดแอนโทไซยานินจากรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยโปรตีนรำข้าวเข้มข้นภายใต้สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างและความร้อนที่แตกต่างกัน. **วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ,** ปีที่ 27 ฉบับที่ 2, หน้า 205-215.

อชิตยา โรจนสโรช, พรพรรณ โพธิ์ไกร, ปิลันธนา เลิศสถิตธนกร และ ปิยะ วงณ์ญาณิน. (2564). ผลของอายุผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวเมล็ดสี 4 สายพันธุ์. **วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์,** ปีที่ 21 ฉบับที่ 2, หน้า 194-212.

AOAC. (2000). **Official of association of analytical chemists** 17th ed. Washington D.C.: Association of Analytical Chemists.

FDA Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2008). **Chapter 3 and 18**. Retrieved October 13 2008, From http://www.fda.gov/Food/ Science Research /Laboratory Methods/ Bacteriological Analytical ManualBAM/default.htm()

Martinez MV, Whitaker JR. (1995). The biochemistry and control of enzymatic browning. **Journal of Trends in Food Science and Technology**, 6(6), 195-200.

Pellati F, Benvenuti S, Magro L, Melegari M, Soragni F. (2004). Analysis of phenolic compounds and radical scavenging activity of *Echinacea* spp. **J. Pharmaceut Biomed**, 35(2), 289-301.

Qin C, Li Y, Niu W, Ding Y, ZhaNg R, ShaNg X. (2010). Analysis and characterisation of anthocyanins in Mulberry fruit. **Czech J. Food Sci**, 28(2), 117-126.

Ranganna S. (1977). Manual of analysis of fruit and vegetable product. Tata McGraw-Hill Publishing Co., Ltd., New Delhi.

Shannon E, Jaiswal AK, Abu-Ghannam N. (2018). Polyphenolic content and antioxidant capacity of white, green, black, and herbal teas: a kinetic study. **Food Research**, 2(1), 1-11.

การเตรียมและประเมินผลแป้งกล้วยน้ำว้าเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณทางเลือกในรูปแบบยาแคปซูล

Preparation and assessment of pisang awak banana starches as alternative diluent in capsule dosage form

ประเสริฐ อัครมงคลพร[1*], ปราณีต โอปณะโสภิต[1], ณัฐวัฒน์ ณัฐพูลวัฒน์[1] และ อัญชลี คุ้มสม[2]
Prasert Akkaramongkolporn[1*], Praneet Opanasopit[1], Nattawat Nattapulwat[1], and Anchalee Kumsum[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมและประเมินผลแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์สำหรับใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณในรูปแบบยาแคปซูลซึ่งบรรจุยาต้นแบบที่ละลายน้ำได้ (ไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์) ผลการวิจัยพบว่าอนุภาคของแป้งกล้วยมีรูปร่างเป็นทรงรีและมีพื้นผิวเรียบ ในขณะที่แป้งกล้วยเจลาติไนซ์มีรูปร่างไม่แน่นอนและมีพื้นผิวขรุขระ แป้งกล้วยมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าและมีความหนาแน่นน้อยกว่าแป้งกล้วยเจลาติไนซ์ เมื่อพิจารณาจากค่า Carr's index และ Hausner ratio ความสามารถในการไหลของแป้งกล้วยและแป้งกล้วยเจลาติไนซ์ใกล้เคียงกัน แป้งกล้วยเจลาติไนซ์สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งกล้วยสองเท่า เมื่อนำมาใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณในยาแคปซูลไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์ พบว่าแป้งกล้วยเจลาติไนซ์ให้ยาแคปซูลที่มีปริมาณยา ความสม่ำเสมอของปริมาณยา การแตกตัว และการละลายของยาที่ยอมรับได้ตามที่กำหนดไว้ในเภสัชตำรับ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์สามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณทางเลือกสำหรับรูปแบบยาแคปซูลได้

คำสำคัญ: กล้วยน้ำว้า, แป้งเจลาติไนซ์, สารเพิ่มปริมาณ, แคปซูล, ไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์

[1] สาขาเภสัชกรรมอุตสาหการ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม 73000
[2] งานบริหารและพัฒนาวิชาการ สำนักงานคณบดี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม 73000
*Corresponding author: akkaramongkol_p@su.ac.th

Abstract

This research was aimed at preparing and assessing Pisang Awak banana starch and gelatinized Pisang Awak banana starch as a diluent in a capsule dosage form containing a water-soluble model drug (diphenhydramine hydrochloride). The results showed that the particle of banana starch had an ellipsoidal shape with a smooth surface, whereas the gelatinized banana starch had irregularly shaped particles with a rough surface. The banana starch particles were larger and less dense compared to the gelatinized banana starch. In terms of flowability, both banana starch and gelatinized banana starch demonstrated similar characteristics, as indicated by Carr's index and Hausner ratio. When utilized as a diluent in diphenhydramine hydrochloride capsules, the gelatinized banana starch provided the drug capsules with acceptable drug content, uniformity of dosage unit, disintegration, and dissolution as specified in the pharmacopeia. This study revealed that the gelatinized Pisang Awak banana starch can be used as an alternative diluent for capsule dosage form.

Keywords: Pisang awak banana, Gelatinized starch, Diluent, Capsule, Diphenhydramine hydrochloride

บทนำ

แป้งเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ปริมาณมากมายในธรรมชาติ เนื่องจากเป็นสารที่มีความปลอดภัย หาได้ง่ายและราคาไม่แพง แป้งจึงมีบทบาทสำคัญในหลายอุตสาหกรรม ในอุตสาหกรรมการผลิตยามีการนำแป้งมาใช้เป็นสารช่วยในหลายหน้าที่ เช่น สารเพิ่มปริมาณ สารช่วยแตกตัว สารยึดเกาะ สารหล่อลื่น สารแขวนลอย สารทำให้คงตัว เป็นต้น เพื่อเพิ่มคุณภาพและความคงตัวในเภสัชภัณฑ์รูปแบบต่างๆ เช่น ยาน้ำ ยาแขวนตะกอน ยาอิมัลชัน ยาเม็ด เป็นต้น แป้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยาส่วนใหญ่ได้มาจากข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด และมันสำปะหลัง [1]

กล้วยน้ำว้า (*Musa sapientium L.*) เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย มักจะพบกับปัญหาราคาตกต่ำเนื่องจากอุปทานล้นตลาด ทำให้ผู้ปลูกกล้วยขาดทุนและประสบปัญหาทางเศรษฐกิจ กล้วยน้ำว้าดิบเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่น่าสนใจอีกแหล่งหนึ่ง โดยพบว่าในกล้วยน้ำว้าดิบมีแป้งเป็นองค์ประกอบมากถึง 70-80 % การเปลี่ยนกล้วยน้ำว้าดิบไปเป็นแป้งสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยาเป็นอีกมาตรการที่เป็นไปได้ในการเพิ่มการใช้ประโยชน์และราคาของกล้วยน้ำว้าให้สูงขึ้นได้ ทั้งนี้ก่อนนำไปใช้อาจมีการปรับปรุงคุณสมบติของแป้งกล้วยน้ำว้าเพื่อให้เหมาะกับการใช้ประโยชน์ในแต่ละประเภทด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือทางเคมี [2-6]

การศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าแป้งกล้วยน้ำว้าสามารถใช้เป็นสารช่วยในบทบาทต่างๆ ได้แก่ สารเพิ่มปริมาณ สารยึดเกาะ และสารช่วยแตกตัว สำหรับรูปแบบยาเม็ดได้ [3-6] อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานการใช้แป้งกล้วยน้ำว้าเป็นสารช่วยสำหรับรูปแบบแคปซูล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมและประเมินผลแป้งกล้วยน้ำว้าเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณสำหรับรูปแบบยาแคปซูล โดยเลือกใช้ไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์เป็นตัวยาสำคัญในการเตรียมยาแคปซูล

วิธีการศึกษา

1 การเตรียมแป้งกล้วยน้ำว้า

ล้างกล้วยน้ำว้าดิบสดด้วยน้ำ นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 min แล้วแช่ในน้ำเย็น หลังจากนั้นปอกเปลือกกล้วยออกและหั่นเนื้อกล้วยเป็นชิ้นบางๆ นำกล้วยที่หั่นเป็นชิ้นไปแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) ความเข้มข้น 0.1 %w/v [7] เป็นเวลา 30 min เก็บแป้งกล้วยน้ำว้าที่ได้และทำให้แห้งในตู้อบลมร้อน (Heraeus, Germany) ที่อุณหภูมิ 50 °C ลดขนาดแป้งกล้วยน้ำว้าที่แห้งแล้วด้วยเครื่องบด (Baixin Yaoji China) แร่งผ่านตะแกรงเบอร์ 100 mesh และเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท ตามลำดับ

2 การเตรียมแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์

ชั่งแป้งกล้วยน้ำว้า 400 g ใส่ในน้ำกลั่น 1300 mL ให้ความร้อนสารผสมและคนเป็นระยะที่อุณหภูมิ 80 °C [2] จนแป้งกล้วยน้ำว้ากลายเป็นเจลสีขาวขุ่น (ใช้เวลาประมาณ 15 min) เทแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ลงในถาดสแตนเลส นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 48 hr หลังจากนั้นลดขนาดแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ที่แห้งแล้วด้วยเครื่องบด แร่งผ่านตะแกรง และเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท ตามวิธีเหมือนกับหัวข้อ 1

3 การประเมินคุณสมบัติของแป้งกล้วยน้ำว้า

3.1 ลักษณะและรูปร่างของแป้ง

ถ่ายรูปลักษณะและรูปร่างของแป้งด้วยกล้องถ่ายรูปและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Tescan, Czech Republic) ตามลำดับ

3.2 ขนาดอนุภาคของแป้ง

วัดขนาดอนุภาคของแป้งด้วยเครื่อง particle size analyzer (Partica LA-950, Horiba, Japan)

3.3 ความหนาแน่น

ชั่งแป้งน้ำหนักแน่นอน (W) ใส่ในกระบอกตวงขนาด 100 mL อ่านปริมาตร (V_{bulk}) และคำนวณหา Bulk density (d_{bulk}) ด้วยสมการที่ 1 [8]

$$d_{bulk} = \frac{W}{V_{bulk}} \qquad (1)$$

จากนั้นเคาะกระบอกตวงบนพื้นไม้ซ้ำๆ โดยยกให้ก้นกระบอกตวงสูงจากพื้น 2-3 cm จนกระทั่งผงแป้งมีปริมาตรคงที่ อ่านปริมาตร (V_{tap}) และคำนวณหาความหนาแน่น Tapped density (d_{tap}) ด้วยสมการที่ 2

$$d_{tap} = \frac{W}{V_{tap}} \qquad (2)$$

3.4 ความสามารถในการไหล

ความสามารถในการไหลของแป้งกล้วยพิจารณาจาก Carr's Index และ Hausner Ratio ซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ 3 และ 4 และเกณฑ์พิจารณาดังแสดงในตารางที่ 1 ตามลำดับ [8]

$$\text{Carr's index} = \left(\frac{d_{tap} - d_{bulk}}{d_{tap}}\right) \times 100 \qquad (3)$$

$$\text{Hausner ratio} = \frac{d_{tap}}{d_{bulk}} \quad (4)$$

ตารางที่ 1 ความสามารถในการไหล Carr's Index และ Hausner Ratio [8]

ความสามารถในการไหล	Carr's Index	Hausner Ratio
Excellent	<10	1.00 – 1.11
Good	11–15	1.12 – 1.18
Fair	16–20	1.19 – 1.25
Passable	21–25	1.26 – 1.34
Poor flow	26–31	1.35 – 1.45
Very poor Flow	32–37	1.46 – 1.59
Very, very poor	> 38	> 1.60

3.5 ความชื้น

วัดปริมาณความชื้นของแป้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องชั่งวิเคราะห์ความชื้น (Moisture balance, Sartorius, Germany)

3.6 ความสามารถดูดซับน้ำ

ชั่งแป้ง 1 g และปิเปตน้ำกลั่น 10 mL ใส่ลงในหลอดหมุนเหวี่ยง (centrifuge tube) ปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 30 min หลังจากนั้นนำหลอดไปปั่นแยกที่ความเร็ว 3500 rpm (Sigma, Germany) เป็นเวลา 5 min ดูดน้ำเหนือตะกอนออก ชั่งน้ำหนักแป้งที่เหลือและคำนวณหาน้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซับในแป้ง [2]

4 การเตรียมยาแคปซูลไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์โดยใช้แป้งกล้วยน้ำว้าเป็นสารเพิ่มปริมาณ

เตรียมยาแคปซูลตามสูตรในตารางที่ 2 โดยผสมไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์และแป้งกล้วยน้ำว้าหรือแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์เข้าด้วยกันเป็นเวลา 5 min จากนั้นบรรจุสารผสมลงในแคปซูลเจลาตินแข็งเบอร์ 2 ด้วยเครื่องบรรจุแคปซูลชนิดตั้งโต๊ะ (Yeo-Heng, Thailand)

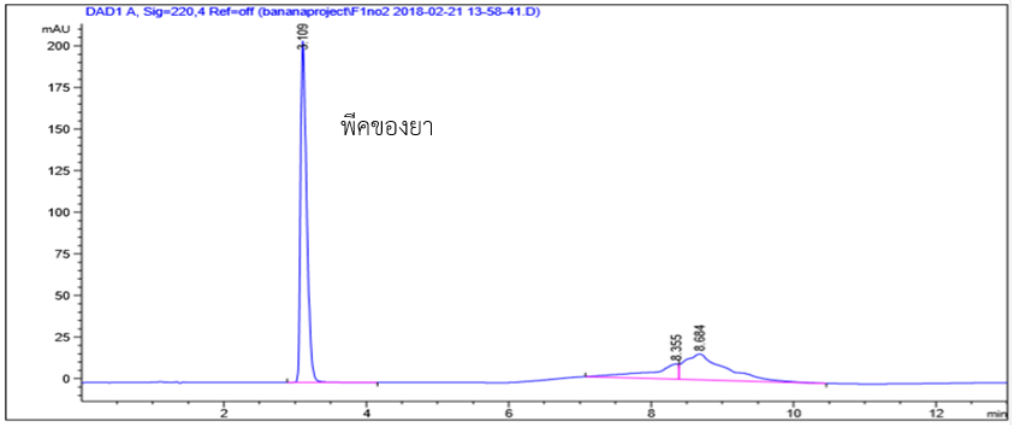
ตารางที่ 2 สูตรตำรับยาแคปซูลไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์

องค์ประกอบ	ตำรับ					
	F1	F 2	F3	F4	F5	F6
ไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์	25	25	25	25	25	25
แป้งกล้วยน้ำว้า	220	240	–	–	–	–
แป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์	–	–	220	240	260	280

5 การประเมินยาแคปซูลไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์

5.1 ปริมาณยา

วิเคราะห์หาปริมาณยาในยาแคปซูลด้วยวิธี HPLC โดยใช้ UV detector ที่ความยาวคลื่น 220 nm คอลัมน์ Zorbex Eclipse C8, 5 µm, 4.6 x 150 mm (Agilent, USA) เฟสเคลื่อนที่เป็นสารผสมของ acetronitrile และ phosphate buffer pH 3.0 (65:35) ด้วยอัตรา 1.0 mL/min และปริมาตรการฉีด 10 µL ตามลำดับ พีคของจะยาปรากฏที่ 3.1 min (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 โครมาโตรแกรมของไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์

5.2 ความสม่ำเสมอของปริมาณยา

ทดสอบความสม่ำเสมอของปริมาณยาในยาแคปซูลตามวิธีในหัวข้อ Uniformity of dosage unit ที่ระบุในเภสัชตำรับ [8]

5.3 การแตกตัวของยาแคปซูล

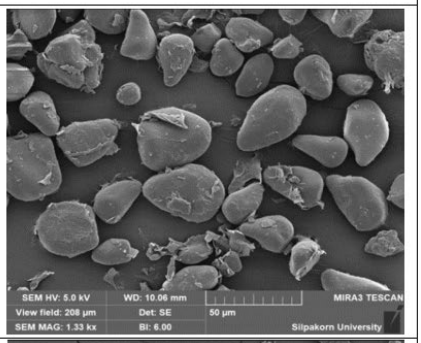
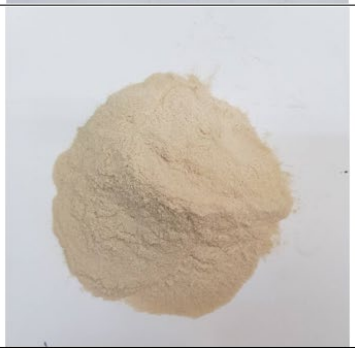
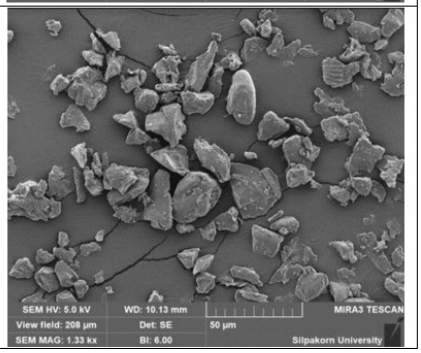
ทดสอบการแตกตัวของยาแคปซูลด้วยเครื่องทดสอบการแตกตัว (Sotax, Switzerland) ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 °C บันทึกเวลาที่แคปซูลแตกตัวหมดช้าที่สุด [8]

5.4 การละลายของยา

ทดสอบการละลายของยาออกจากยาแคปซูลโดยวิธี pooled sample ด้วยเครื่องทดสอบการละลายแบบตะกร้า (Erweka, Germany) หมุนด้วยความเร็ว 100 rpm ในน้ำกลั่น 500 mL อุณหภูมิ 37 °C [8] ที่เวลา 15, 20, 30, 45, 60 min ดูดตัวอย่างน้ำกลั่น 5 mL ไปวิเคราะห์หาปริมาณยาที่ละลายออกมาด้วยวิธี HPLC ตามวิธีในหัวข้อ 5.1

ผลการศึกษา

ลักษณะของแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์แสดงในรูปที่ 2 พบว่าแป้งกล้วยน้ำว้ามีลักษณะฟู (bulky) มากกว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ ภาพ SEM แสดงให้เห็นว่าแป้งกล้วยน้ำว้าส่วนใหญ่มีรูปร่างทรงรีขอบมนและพื้นผิวเรียบ ในขณะที่แป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ประกอบด้วยอนุภาครูปร่างไม่แน่นอน ขอบแหลมและพื้นผิวขรุขระ นอกจากนี้ยังจะเห็นได้ว่าอนุภาคของแป้งกล้วยน้ำว้ามีขนาดใหญ่กว่า มีการกระจายของขนาดและรูปร่างน้อยกว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์

ชนิด	ลักษณะแป้ง	ภาพถ่าย SEM (x 1000)
แป้งกล้วย		
แป้งกล้วยเจลาติไนซ์		

รูปที่ 2 ลักษณะและภาพถ่าย SEM ของแป้งกล้วยน้ำว้า

ผลการประเมินคุณสมบัติต่างๆ ของแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์แสดงในตารางที่ 3 พบว่าแป้งกล้วยน้ำว้ามีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM ที่ได้แสดงไว้ข้างต้น (รูปที่ 2) ปริมาณความชื้นของแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์เท่ากับ 5.18 และ 7.27 % w/w ตามลำดับ แป้งกล้วยน้ำว้ามีความหนาแน่น (Bulk และ Tapped density) ต่ำกว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ แป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์มีค่า Carr's Index และ Hausner Ratio ไม่แตกต่างกัน แป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ (2.34 g/g) มีความสามารถการดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งกล้วยน้ำว้า (1.35 g/g)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์

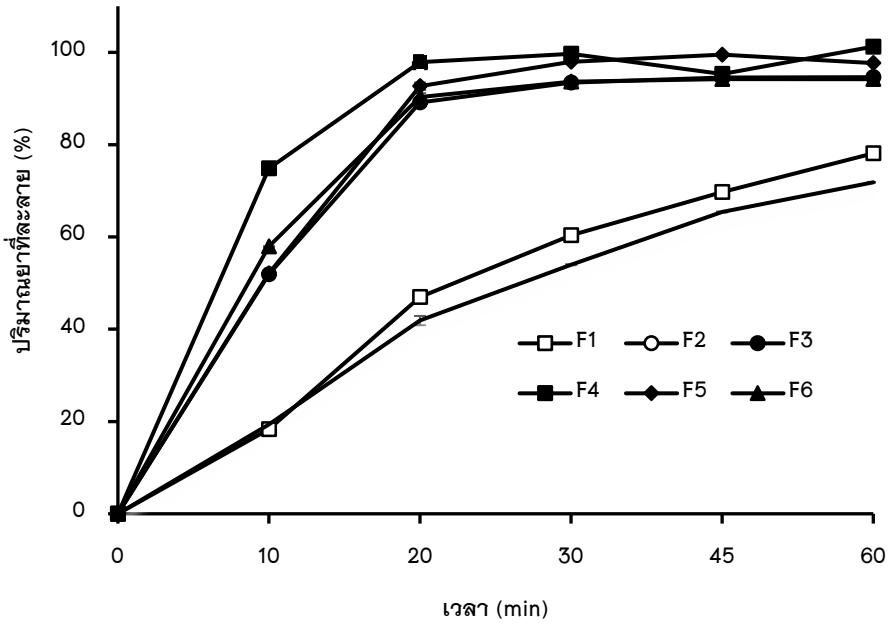
คุณสมบัติ		แป้งกล้วยน้ำว้า	แป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์
ขนาดอนภาค (μm)		94.53±0.96	33.76±2.49*
ความชื้น (%w/w)		5.18±0.17	7.27±0.26*
ความหนาแน่น (g/mL)	Bulk density	0.56±0.02	0.64±0.02*
	Tapped density	0.87±0.03	0.93±0.02*
ความสามารถในการไหล	Carr's index (%)	35.26±0.95	34.12±3.01
	Hausner ratio	1.54±0.23	1.51±0.06
ความสามารถดูดซับน้ำ (g/g)		1.35±0.03	2.34±0.05*

**แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 จากการทดสอบค่าทีแบบสองกลุ่ม (Two Sample t-test)*

ตารางที่ 4 แสดงผลการประเมินคุณภาพของยาแคปซูลที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์เป็นสารเพิ่มปริมาณสูตรต่างๆ ยาแคปซูลที่เตรียมได้ทุกตำรับมีปริมาณยา (อยู่ในช่วง 90–110 %) และความสม่ำเสมอของปริมาณยา (AV < 25.0) เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเภสัชตำรับ [8] เวลาการแตกตัวของยาแคปซูลอยู่ระหว่าง 3.2–5.5 min แม้ว่าระยะเวลาการแตกตัวไม่ได้มีกำหนดไว้เป็นมาตรฐานในเภสัชตำรับ แต่โดยทั่วไปก็ไม่ควรเกิน 20 min [9] ยาแคปซูลที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าเป็นสารเพิ่มปริมาณ (F1 และ F2) ไม่ผ่านการทดสอบการละลายของยาตามเกณฑ์ที่กำหนดในเภสัชตำรับ เนื่องจากปริมาณยาที่ละลายออกมาน้อยกว่า 90 % ที่เวลา 30 min ในทางตรงกันข้ามยาแคปซูลที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์เป็นสารเพิ่มปริมาณ (F3 – F6) ผ่านการทดสอบการละลายของยาเป็นไปตามเกณฑ์ที่เภสัชตำรับกำหนด (ปริมาณยาที่ละลายออกมามากกว่า 90 % ที่เวลา 30 min) กราฟแสดงปริมาณยาที่ละลายออกจากยาแคปซูลที่เวลาต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3 พบว่ายาละลายออกจากยาแคปซูลที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์เร็วและมากกว่าที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าเป็นสารเพิ่มปริมาณ

ตารางที่ 4 ผลประเมินคุณภาพของยาแคปซูลไดเฟนไฮดรามีนไฮโดรคลอไรด์

สูตร	ปริมาณยา (%LA)	ความสม่ำเสมอของปริมาณยา (AV)	การแตกตัว (min)	การละลายที่เวลา 30 min (%)
F1	99.2: ผ่าน	21.5: ผ่าน	3.2: ผ่าน	60.3: ไม่ผ่าน
F2	94.9: ผ่าน	14.1: ผ่าน	4.5: ผ่าน	54.0: ไม่ผ่าน
F3	93.6: ผ่าน	11.1: ผ่าน	4.5: ผ่าน	93.4: ผ่าน
F4	92.8: ผ่าน	15.0: ผ่าน	5.5: ผ่าน	99.7: ผ่าน
F5	93.6: ผ่าน	11.2: ผ่าน	3.4: ผ่าน	98.0: ผ่าน
F6	90.5: ผ่าน	13.0: ผ่าน	3.4: ผ่าน	93.6: ผ่าน
เกณฑ์ยอมรับ	อยู่ในช่วง 90–110 % [8]	Acceptance value (AV) น้อยกว่า 25.0 [8]	ไม่เกิน 20 min [9]	ไม่น้อยกว่า 90 % [8]



รูปที่ 3 ปริมาณการละลายของยาออกจากยาแคปซูลที่เวลาต่างๆ

อภิปรายและสรุปผล

การเจลาติไนซ์แป้งเป็นกระบวนการใช้ความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในภายในโมเลกุลของแป้ง โดยการทำลายพันธะไฮโดรเจนของสายพอลิเมอร์อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) ในอนุภาคแป้ง ทำให้สายพอลิเมอร์คลายตัวและไปเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แป้งเจลาติไนซ์มีความชอบน้ำและสามารถดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิม การเจลาติไนซ์แป้งเป็นวิธีที่ปลอดภัยมากกว่าการปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้สารเคมี จึงเหมาะในการนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอาหารและยา [2,7,9]

จากผลการศึกษาพบว่าการเจลาติไนซ์แป้งกล้วยน้ำว้าทำให้คุณสมบัติบางอย่างแตกต่างจากแป้งกล้วยน้ำว้าเดิม ได้แก่ รูปร่าง ลักษณะพื้นผิว ขนาดอนุภาค ความหนาแน่น และความสามารถการดูดซับน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยก่อนหน้า [2,3] แป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าและรูปร่างแตกต่างไปจากแป้งกล้วยน้ำว้าเดิมอาจเนื่องจากการถูกลดขนาดซ้ำอีกครั้ง (หรือเวลาลดขนาดแป้งนานขึ้น) [10,11] แป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์มีความชื้นต่ำอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับแป้งคุณภาพดี [3,12] อย่างไรก็ตามแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ดูดความชื้นได้มากกว่า เนื่องจากมีความชอบน้ำมากกว่า ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ในภาชนะที่ปิดสนิทหรือใส่สารกันความชื้น

แป้งกล้วยน้ำว้ามีความหนาแน่น (Bulk และ Tapped density) ต่ำกว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ เนื่องจากแป้งกล้วยน้ำว้ามีอนุภาคใหญ่กว่า การกระจายขนาดและรูปร่างน้อยกว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ ดังนั้นจึงแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างอนุภาคและจัดเรียงตัวอยู่ใกล้ชิด (close-packing) กันได้น้อยกว่า (มีความฟูหรือช่องว่างระหว่างอนุภาคมากกว่า) ทำให้มีความหนาแน่นต่ำกว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์ [13,14] จากค่า Carr's Index และ Hausner Ratio แสดงว่าแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์มีความสามารถในการไหลไม่ดีนัก ในโครงการวิจัยนี้เตรียมยาแคปซูลโดยใช้เครื่องบรรจุแคปซูลแบบตั้งโต๊ะ ซึ่งไม่จำเป็นต้องพึ่งพาความสามารถในการไหลของตำรับที่จะบรรจุในแคปซูล อย่างไรก็ตามอาจมีความจำเป็นต้องประเมินและปรับปรุงความสามารถในการไหลสูตรตำรับ เช่น การใส่สารช่วยไหล เป็นต้น หากนำแป้งกล้วยน้ำว้าไปใช้ในการผลิตยาแคปซูลด้วยเครื่องบรรจุ

แคปซูลความเร็วสูง (high speed capsule filling machine) แป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์มีความสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งกล้วยน้ำว้าสองเท่า เนื่องจากการเจลาติไนซ์ทำให้สายพอลิเมอร์ในอนุภาคของแป้งคลายตัวและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำได้เพิ่มขึ้น

ยาแคปซูลที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์เป็นสารเพิ่มปริมาณพบว่ามีปริมาณยา ความสม่ำเสมอของปริมาณยา และระยะเวลาการแตกตัวของยาแคปซูลเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามมีเพียงยาแคปซูลที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์เป็นสารเพิ่มปริมาณเท่านั้นที่มีการละลายของยาเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเภสัชตำรับ (ปริมาณการละลายของยามากกว่า 90 % ที่เวลา 30 min) เนื่องจากแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์มีความชอบน้ำและสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่า การเจลาติไนซ์ทำให้สายพอลิเมอร์อะไมโลสและอะไมโลเพก ทินในอนุภาคแป้งกล้วยคลายตัวและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำได้เพิ่มขึ้น [2] ส่งผลทำให้ยาละลายออกมาได้เร็วและมากกว่า สรุปได้ว่าแป้งกล้วยน้ำว้าเจลาติไนซ์สามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณทางเลือกสำหรับรูปแบบยาแคปซูลได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม สำหรับการสนับสนุนงบประมาณและเครื่องมือวิจัยต่างๆ และนักศึกษาเภสัชศาสตร์ นายพลวัฒน์ เพชรรัตนรังสี นางสาวศศิธร โชคบัณฑิต และนางสาวพัณนิตา ศรีสุภาพ สำหรับความช่วยเหลือการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Ochubiojo EM, Rodrigues A. Starch: From food to medicine [Internet]. Accessed 2023 September 5. Available from: https://www.intechopen.com/chapters/27394
2. Waliszewskia KN, Aparicioa MA, Bellob LA, Monroy JA. Changes of banana starch by chemical and physical modification. **Carbohydr Polym 2003**; 52: 237–242.
3. Babalola OC, Odeku OA. Disintegrant properties of banana starch obtained from the unripe fruits of Musa sapientum L. **J Appl Pharm Sci** 2014; 4(9): 83–88.
4. Odeku OA, Odeniyi MA, Ogunlowo GO. Influence of ginger and banana starches on the mechanical and disintegration properties of chloroquine phosphate tablets. **Asian Pac J Trop Med** 2009; 2(1): 13–18.
5. ณัฐชยา รุจิยาปนนท์, ภมรวดี ศรีประทุม, วรุณรัตน์ อุ่นม่วง, ชลลัดดา พิชญาจิตติพงษ์. ยาเม็ดพาราเซตามอลที่เตรียมด้วยวิธีแกรนูลเปียกโดยใช้แป้งเป็นสารยึดเกาะในรูปแบบการผสมแห้ง. **วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน** 2556; 9(1): 6.
6. จุฑารัตน์ สมดี, รวีวรรณ แจ้งไชย, วิจิตรา อุดมสันติ์, อุษณา พัวเพิ่มพลูศิริ, ชลลัดดา พิชญาจิตติพงษ์, วริษฎา ศิลาอ่อน. การพัฒนาตำรับยาเม็ด Theophylline แตกตัวเร็วในช่องปาก. ใน**: เอกสารการประชุมสัมนาทางวิชาการและนำเสนอผลงานระดับชาติ ครั้งที่ 5 คณะเภสัชศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม** 2556. หน้า 50–53.
7. ชุติมา อัศวเสถียร, นิลศิริ นิลเนตร. การทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าในก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่. **วารสารวิชาการเกษตร** 2548; 23(3): 292–299.

8. The United States Pharmacopeia 39th and National Formulary 34th. Rockville: United States Pharmacopeial Convention; 2016.
9. ICH Topic Q4B Annex 5, Disintegration Test General Chapter, European Medicines Agency, June 2008 [Internet]. Accessed 2023 September 5. Available from: https://www.ema.europa.eu/en/ich-q4b-annex-5-disintegration-test-scientific-guideline
10. Borhan MZ, Ahmad R, Rusop M, Abdullah S. Optimization of ball milling parameters to produce Centella asiatica herbal nanopowders. **J Nanostructure Chem** 2013; 3: 79.
11. Mukhtar NZF, Borhan MZ, Rusop M, Abdullah S. Effect of milling time on particle size and surface morphology of commercial zeolite by planetary ball mill. **Adv Mater Res** 2013; 795: 711-715.
12. Radley JA. Starch production technology. London: Applied Science Publishers; 1976.
13. Martin A, Swarbrick J, Cammarata A. Physical pharmacy: Physical chemical principles in the pharmaceutical sciences**. Philadelphia: Lea & Febiger;** 1983.
14. วรรณลภย์ บุญรอง, สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์, สุภกิจ รูปขันธ์. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการลดขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งมันสำปะหลังในกระบวนการอบแห้ง. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ** 2560; 30(1): 60-70.

การเพิ่มศักยภาพด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ: กรณีศึกษาบริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้ง

Enhancing ability of lot identification and traceability: A case study of the dried fruit processing company

หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด[1], กำพล หว่างลี้สกุล[1], วรพจน์ ศิริรักษ์[1], ณัฐพนธ์ สุทธวงษ์[1*]และ ภาณุพงษ์ ห้วยลึก[1]

Harutairat Jantakard[1], Kumphol Wanglisakul[1], Worapot Sirirak, Natthapon Sutthawong[1*], Phanuphong Huailuek[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและกำหนดเกณฑ์ประเมินการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ และเพื่อประเมินศักยภาพด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ของบริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้ง ตามมาตรฐานอาหารจีเอชพี โดยในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ของบริษัททั้ง 14 ชนิด เป็นผลไม้อบแห้ง ทั้งแบบเติมน้ำตาลและแบบไม่เติมน้ำตาล เช่น สับปะรดนางแลอบแห้ง สับปะรดภูแลอบแห้ง สตรอเบอร์รี่อบแห้ง มะม่วงอบแห้ง ลำไยอบแห้ง มัลเบอร์รี่อบแห้ง เป็นต้น โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงและพัฒนาการตรวจสอบย้อนกลับและชี้บ่งรุ่นให้แก่ บริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้ง ที่มีพันธกิจในการแปรรูปผลผลิตสินค้าเกษตร มุ่งสู่ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูงเพื่อส่งมอบสินค้าแก่ผู้บริโภคทั่วประเทศ ในเบื้องต้นได้ทำการกำหนดเกณฑ์ประเมินการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ จากนั้นทำการประเมินศักยภาพด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ซึ่งครอบคลุมทั้ง 4 ด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านบุคลากร ที่ 15 คะแนน 2) ด้านเครื่องมือ ที่ 6 คะแนน 3) ด้านการทำงาน ที่ 4 คะแนน และ 4) ด้านข้อมูล ที่ 6 คะแนน โดยมีคะแนนรวม เท่ากับ 31 คะแนน จากคะแนนเต็ม 75 คะแนน คิดเป็น 41.33% โดยได้มีการวางแผนการดำเนินงานร่วมกับบริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้งเพื่อหาแนวทางการยกระดับ 4 แนวทาง ส่งผลให้ได้คะแนนเพิ่มขึ้นเป็น 39 คะแนนคิดเป็น 52.00%

คำสำคัญ: การชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ, การเพิ่มขีดความสามารถ, ผลไม้อบแห้ง

[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, จังหวัดเชียงราย 57120

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Rai 57120

*Corresponding author: nattaponsuttawong01@gmail.com

Abstract

The purpose of this study is to study and determine the lot identification and traceability evaluation criteria and to evaluate the lot identification and traceability ability of the dried fruit processing comply within GHP food standard. Currently, the company's 14 products are all dried fruits, including those with or without added sugar, such as, dried Nanglae pineapple, dried Phulae pineapple, dried strawberry, dried mango, dried longan, dried mulberry, etc. The goal is to improve and develop a lot identification and traceability of the dried fruit processing company. The company's mission is local agricultural product processing, bring to high quality goods for provide to nationwide consumers. Initially, evaluation criteria were established for a lot identification and traceability. After that, the result of the lot identification and traceability' company was evaluated covering all 4 aspects, 1) Personnel at 15 points, 2) Tool at 6 points, 3) Operation at 4 points, 4) Data at 6 points. The total of evaluation score includes 31 points from 75 points, accounting 41.33%. Looking for 4 methods in implementation plan, that were designed together with the dried fruit processing company, be the cause of the total of additional evaluation score to 39 points, accounting 52.00%.

Keywords: Lot dentification and traceability, Enhancing ability, Dried fruit

บทนำ

อาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และอาหารได้จากผลผลิตทางการเกษตรเป็นหลัก การบริโภคอาหารที่ปลอดภัยและมีคุณค่าทางโภชนาการไม่เพียงแต่ให้ประโยชน์ต่อร่างกายแต่ลดปัญหาทางสุขภาพ อาหารที่ปราศจากการปนเปื้อน ช่วยลดการเจ็บป่วยและการเกิดโรค อย่างไรก็ตามความเจ็บป่วยจากการได้รับอาหารที่ไม่ปลอดภัยยังเป็นปัญหาสาธารณสุขของประเทศ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 420) พ.ศ. 2563 ถึงเรื่องวิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร รวมถึงด้านข้อมูล มีข้อกำหนดพื้นฐานของหลักเกณฑ์สุขลักษณะการผลิตที่ดี (Good Hygiene Practices: GHP) ในปัจจุบัน มีมาตรฐานการปฏิบัติสอดคล้องกับแนวปฏิบัติของ Codex Alimentarius Commission (Codex) ในระดับสากล และจุดมุ่งหมายให้ผู้บริโภคได้บริโภคอาหารที่สะอาดและปลอดภัย ซึ่ง GHP Revision 5-2020 [1] เป็นเครื่องมือพื้นฐานมีแนวทางของการปฏิบัติที่ง่ายที่สุดในการรองรับความปลอดภัยของอาหาร GHP Revision 5-2020 ที่มีความง่ายในการปฏิบัติเพื่อลดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์อาหารจากผู้ผลิตทั้งรายเล็กและรายใหญ่เป็น ประโยชน์กับผู้บริโภคและผู้ผลิตอาหารที่จะได้รับความเข้าใจในการผลิตและบริโภคอาหารได้อย่างปลอดภัย และมุ่งหวังให้ทุกภาคส่วนร่วมมือกันในการช่วยยกระดับมาตรฐานคุณภาพอาหารให้มีความปลอดภัย และลดผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ

บริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้งกรณีศึกษาได้ประกอบธุรกิจแปรรูปผลไม้และผัก โดยมีแนวคิดในการดำเนินธุรกิจแบบเศรษฐกิจพอเพียง กล่าวคือมุ่งพัฒนาธุรกิจและขยายงานอย่างต่อเนื่องจนเกิดความยั่งยืน อีกทั้งยังให้ความสำคัญด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในทุกขั้นตอน ตั้งแต่กระบวนการคัดสรรวัตถุดิบอย่างมีคุณภาพ ผ่านกรรมวิธีการแปรรูปที่สะอาดทุกขั้นตอน จนได้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ไม่แต่งกลิ่น ไม่แต่งสี ไม่เติมน้ำตาลหรือเติมน้อย ใช้สารเคมีพื้นฐานเท่าที่มีความจำเป็น หากผู้บริโภคได้รับประทานแล้วให้รสชาติเหมือนทานผลไม้ผลสด ผลิตภัณฑ์ของบริษัทเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพที่ผ่านมาตรฐาน อย.

ยิ่งไปกว่านั้น บริษัทยังมุ่งที่จะพัฒนาด้านคุณภาพอย่างต่อเนื่อง เพื่อส่งมอบซึ่งผลไม้อบแห้งเพื่อสุขภาพคุณภาพระดับพรีเมี่ยมถึงมือผู้บริโภค ผ่านแผนการผลิตแบบยืดหยุ่นตามความต้องการของผู้บริโภค โดยมุ่งเน้นจำหน่ายสินค้าให้กับกลุ่มลูกค้าเป้าหมายของบริษัท หรือ กลุ่มผู้บริโภคที่มีความต้องการอย่างเฉพาะเจาะจง (Niche Market) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ของบริษัทมีทั้งสิ้น 14 ชนิด ประกอบด้วย ผลไม้อบแห้งรวม สตรอเบอร์รี่อบแห้ง มะม่วงอบแห้ง แอปเปิลอบแห้ง ฝรั่งอบแห้ง สับปะรดนางแลอบแห้ง สับปะรดภูแลอบแห้ง แก้วมังกรอบแห้ง มะขามอบแห้ง ลำไยอบแห้ง มัลเบอร์รี่อบแห้ง ขิงอบแห้ง มะเขือเทศอบแห้ง และมะเฟืองอบแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ของบริษัทได้รับการคัดสรรให้เป็นสินค้า OTOP ระดับ 5 ดาว ประเภท ผลไม้อบแห้ง ปี พ.ศ. 2547 ต่อเนื่องทุกปีจนถึงปัจจุบัน บริษัทมีหน้าร้านบ้านผลไม้จำหน่ายสินค้าในหลายแห่ง ดังนี้ สนามบินนานาชาติแม่ฟ้าหลวงเชียงราย ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลพลาซ่าเชียงราย ห้างสรรพสินค้าสยามพารากอน ในโซนกูร์แมร์ไทย ชั้น G และห้างสรรพสินค้าดิเอ็มโพเรียม ในโซนกูร์แมร์มาร์เก็ต ตลอดจนการจัดจำหน่ายบนตลาดออนไลน์ [2]

โดยจากสภาพปัญหาเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นทำให้ธุรกิจและอุตสาหกรรมที่ดำเนินการอยู่มีความต้องการและการแข่งขันที่สูงขึ้นทาง บริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้งกรณีศึกษาได้มีความพยายามในการสร้างมาตรฐาน GHP แต่ยังไม่สามารถขอการรับรองมาตรฐาน GHP ซึ่งทำให้ผู้ผลิตต้องมีการปรับกระบวนการผลิตและด้านข้อมูลให้สอดคล้องกับมาตรฐาน GHP จากการศึกษาข้อมูลสถานประกอบการผลิตผลไม้อบแห้ง มีกระบวนการผลิตเพื่อรอจำหน่าย (Make to Stock) และพบว่าทางบริษัทยังไม่มีความพร้อมด้านระบบฐานข้อมูล ตั้งแต่ข้อมูลจากผู้จัดจำหน่ายปัจจัยการผลิตจนถึงผู้บริโภค ในปัจจุบันจึงเป็นเรื่องยากที่จะสามารถตรวจสอบย้อนกลับสินค้าที่วางจำหน่ายในร้านค้าปลีก การศึกษาในครั้งนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญและมุ่งศึกษาแนวทางการสร้างการตรวจสอบย้อนกลับของบริษัทกรณีศึกษา ถือเป็นเป็นอีกวิธีหนึ่งในการยกระดับมาตรฐานคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร โดยหลักการของการตรวจสอบย้อนกลับนั้น ผู้บริโภคสามารถทราบถึงข้อมูลที่มาของสินค้าที่ตนเองบริโภคได้ โดยหากเกิดอันตรายอันเนื่องมาจากการบริโภคสินค้านั้นก็สามารถตรวจสอบย้อนกลับถึงแหล่งที่มาของสินค้าหรือตรวจสอบจากแหล่งกำเนิดไปจนถึงผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายได้ ภายใต้การบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบในขั้นตอนต่าง ๆ นอกเหนือจากนั้นทางสถานประกอบการมีความพร้อมสำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศที่มีการถ่ายโอนข้อมูลด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้บริโภค

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษา วิเคราะห์ และเสนอแนวทางการตรวจสอบย้อนกลับให้กับสถานประกอบการบริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้ง โดยเริ่มตั้งแต่ การประเมินศักยภาพขององค์กรด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับในปัจจุบัน เพื่อนำมาสู่การศึกษาข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูล กำหนดเกณฑ์ประเมินการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์และเสนอแนวทางการยกระดับขีดความสามารถด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับให้กับสถานประกอบการในท้ายที่สุด วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาจากเอกสารงานวิจัยทางด้านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ หนังสือ และบทความต่าง ๆ [3–7] เพื่อนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้โดยทฤษฎีที่นำมาใช้ คือ มาตรฐานสุขลักษณะที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Hygiene Practice: GHP) [1] การวิเคราะห์ช่องว่าง (Gap Analysis) [12] การตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability) ตลอดจนไปถึงทฤษฎีที่ใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ [13–14]

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูลสถานประกอบการในปัจจุบัน

การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ของสถานประกอบการ บริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้ง ทั้ง 4 ด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านบุคลากร ได้แก่ แต่งตั้งบุคลากรหลักให้เป็นผู้รับผิดชอบ บุคลากรมีทักษะทางภาษาและคอมพิวเตอร์ บุคลากรมีความเข้าใจในโซ่อุปทานผลิตภัณฑ์ บุคลากรผ่านจากฝึกอบรมในการติดตามและตรวจสอบย้อนกลับ บุคลากรสามารถถ่ายทอดการทำงานของระบบได้ 2) ด้านเครื่องมือ ได้แก่ มีระบบติดตามและตรวจสอบย้อนกลับผ่านออนไลน์ มีความพร้อมด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ มีความพร้อมด้านอุปกรณ์บันทึกและอ่านบาร์โคด/RFID มีความพร้อมด้านอุปกรณ์การพิมพ์ฉลากบาร์โคด/RFID มีความพร้อมด้านระบบอินเทอร์เน็ต มีรหัสความปลอดภัยเพื่อเข้าถึงฐานข้อมูล 3) ด้านการทำงาน ได้แก่ มีช่องทางการรับเรื่องร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้า ระบบติดตามและตรวจสอบย้อนกลับในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ 4) ด้านข้อมูล ได้แก่ มีการเก็บข้อมูลย้อนหลังไว้นานกว่าอายุผลิตภัณฑ์มีการตอบสนองต่อการตรวจสอบย้อนกลับของข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว [13–14]

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ช่องว่างศักยภาพปัจจุบันด้านการชี้บ่งรุ่นและตรวจสอบย้อนกลับ

การที่จะได้มาซึ่งแนวทางการแก้ไขปัญหาในสถานประกอบการ บริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้ง นั้นต้องทำการเก็บข้อมูลปัจจุบันของสถานประกอบการเพื่อนำมา ศึกษา วิเคราะห์ และทำการประเมินแนวทางในการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น โดยใช้แนวทางในการวิเคราะห์ปัญหา ด้วย การวิเคราะห์ช่องว่าง (Gap Analysis) โดยได้กำหนดระดับในการประเมิน 3 ระดับในแต่ละด้าน คือ ระดับที่ 1 ให้ 1 คะแนน เมื่อสถานประกอบการมีความพร้อมในประเด็นดังกล่าวต่ำกว่า 50% ระดับที่ 2 ให้ 3 คะแนน เมื่อสถานประกอบการมีความพร้อมในประเด็นดังกล่าวมากกว่าเท่ากับ 50% และระดับที่ 3 ให้ 5 คะแนน เมื่อสถานประกอบการมีความพร้อมในประเด็นดังกล่าว 100% ผลการวิเคราะห์ช่องว่างจะถูกนำไปใช้ในการเพิ่มขีดความสามารถให้กับสถานประกอบการต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 การปรับปรุงและพัฒนาการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ

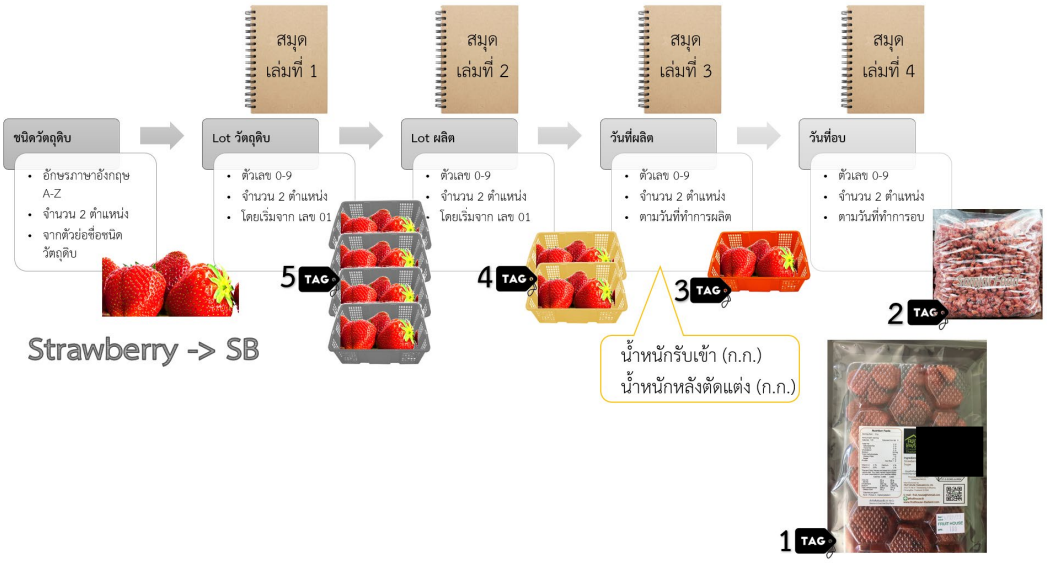
ผลจากการวิเคราะห์ช่องว่างศักยภาพปัจจุบันด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ในขั้นตอนที่ 3 จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ โดยในระยะแรกบริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้ง ได้มอบหมายบุคลากรที่เกี่ยวข้องให้รับผิดชอบในโครงการปรับปรุงและพัฒนาการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ โดยได้ตั้งเป้าหมายความพร้อมในภาพรวมไว้ที่ร้อยละ 50%

ผลการศึกษา

การศึกษาสถานการณ์ปัจจุบันของสถานประกอบการ

การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับในปัจจุบันของสถานประกอบการดังนี้ ตัวอย่างการระบุรหัสผลิตภัณฑ์ สตรอว์เบอร์รี่อบแห้ง ดังรูปที่ 1 โดยเริ่มจากแผนกคลังวัตถุดิบทำการตรวจรับวัตถุดิบตามปริมาณและคุณภาพตามที่กำหนด ดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการรับเข้ามาในระบบด้วยตัวอักษร SB ตามตัวย่อภาษาอังกฤษของชนิดวัตถุดิบ หากเป็นการรับสตรอว์เบอร์รี่สดเข้ามาในโรงงานเป็นรุ่นแรก รุ่นวัตถุดิบจะเป็น SB01 โดยแผนกคลังวัตถุดิบจะทำการบันทึกรหัส 4 ตำแหน่ง บนป้ายที่แขวนไปกับภาชนะบรรจุวัตถุดิบ ดังรูปที่ 3 และทำการบันทึกลงสมุดเล่มที่ 1 โดยรายละเอียด ประกอบด้วย วันที่รับเข้า ชนิดวัตถุดิบ ปริมาณ น้ำหนัก จากนั้นจะทำการนำพักไว้ในคลังวัตถุดิบ/ห้องแช่แข็ง/พร้อมผลิต หากจะทำการผลิตบางส่วนของ SB01 สามารถบันทึกเป็น SB0101, SB0102, SB0103, ... เป็นต้น บนป้ายที่แขวนไปกับภาชนะบรรจุวัตถุดิบที่พร้อมผลิต และทำ

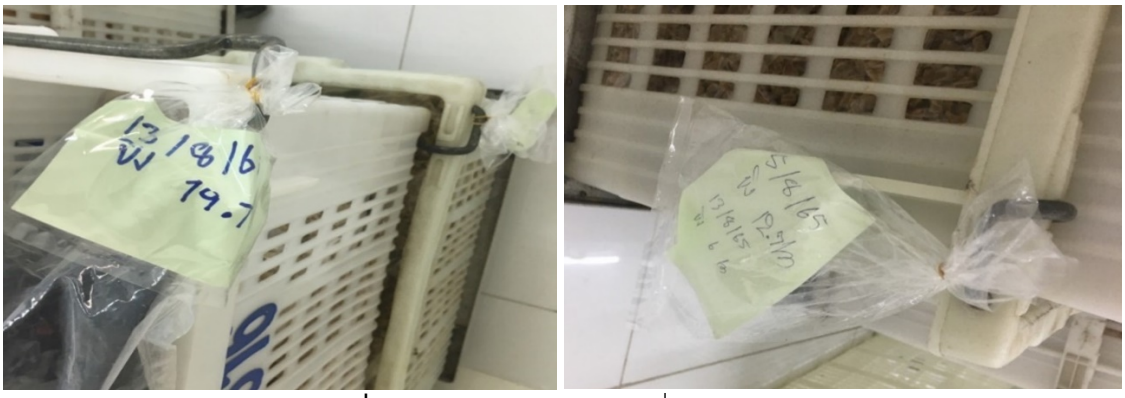
การบันทึกลงสมุดเล่มที่ 2 จากนั้นวัตถุดิบนำถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการผลิต ได้แก่ การล้าง การปอกเปลือก การตัดแต่ง เป็นต้น โดยเมื่อผ่านกระบวนการเรียบร้อยแล้วจะทำการบันทึกวันที่ซึ่งทำการผลิต เช่น SB010114 หรือ หากรุ่นผลิต SB0101 ไม่สามารถทำให้แล้วเสร็จใน 1 วัน ก็อาจจะมี 2 รหัส คือ SB010114 และ SB010115 เป็นต้น จากนั้นทำการเขียนรหัสบนป้ายที่แขวนกับภาชนะบรรจุ พร้อมทำการบันทึกลงสมุดเล่มที่ 3 โดยรายละเอียด ประกอบด้วย น้ำหนักรับเข้า น้ำหนักหลังตัดแต่ง หากพร้อมอบในวันเดียวกันทั้ง 2 จะมีรหัสต่อด้วยวันที่อบ เช่น SB01011415 และ SB01011515 ดังรูปที่ 4 ภายหลังจากการอบจะทำการแขวนป้ายไปกับภาชนะที่บรรจุสินค้าที่ผ่านการอบแล้ว พร้อมทำการบันทึกลงสมุดเล่มที่ 4 โดยรายละเอียด ประกอบด้วย วันที่ทำการบรรจุสินค้า ไม่เพียงเท่านั้นเมื่อทำการบรรจุเรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ 5 จะทำการบันทึกวันที่บรรจุลงในช่องวันที่ผลิตบนตัวผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 6 เพื่อการสืบย้อนกลับ



รูปที่ 1 การชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับในปัจจุบัน



รูปที่ 2 การตรวจรับวัตถุดิบตามปริมาณและคุณภาพตามที่กำหนด



รูปที่ 3 การแขวนป้ายกับภาชนะที่บรรจุวัตถุดิบ



รูปที่ 4 รหัสเพื่อการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ



รูปที่ 5 การบรรจุสินค้าที่ผ่านการอบแล้วในภาชนะบรรจุ



รูปที่ 6 การบันทึกวันที่บรรจุลงในช่องวันที่ผลิตบนตัวผลิตภัณฑ์

ผลการประเมินการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ

การชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ของสถานประกอบการ บริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้ง ทั้ง 4 ด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านบุคลากร 2) ด้านเครื่องมือ 3) ด้านการทำงาน 4) ด้านข้อมูล โดยผู้วิจัยได้กำหนดระดับในการประเมิน 3 ระดับในแต่ละด้าน คือ ที่ 1 คะแนน เมื่อสถานประกอบการมีความพร้อมในประเด็นดังกล่าวต่ำกว่า 50% ที่ 3 คะแนน เมื่อสถานประกอบการมีความพร้อมในประเด็นดังกล่าวมากกว่าเท่ากับ 50% และที่ 5 คะแนน เมื่อสถานประกอบการมีความพร้อมในประเด็นดังกล่าว 100% ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การประเมินการตรวจสอบย้อนกลับและชี้บ่งรุ่น

มิติ	รายละเอียด	ระดับ			หมายเหตุ
		1	2	3	
ด้านบุคลากร	แต่งตั้งบุคลากรหลักให้เป็นผู้รับผิดชอบ		☑		
	บุคลากรมีทักษะทางภาษาและคอมพิวเตอร์	☑			
	บุคลากรมีความเข้าใจในโซ่อุปทานผลิตภัณฑ์		☑		
	บุคลากรผ่านจากฝึกอบรมในการติดตามและตรวจสอบย้อนกลับ			☑	
	บุคลากรสามารถถ่ายทอดการทำงานของระบบได้		☑		
ด้านเครื่องมือ	มีระบบติดตามและตรวจสอบย้อนกลับผ่านออนไลน์	☑			
	มีความพร้อมด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์	☑			
	มีความพร้อมด้านอุปกรณ์บันทึกและอ่านบาร์โคด/RFID	☑			
	มีความพร้อมด้านอุปกรณ์การพิมพ์ฉลากบาร์โคด/RFID	☑			
	มีความพร้อมด้านระบบอินเทอร์เน็ต	☑			
	มีรหัสความปลอดภัยเพื่อเข้าถึงฐานข้อมูล	☑			
ด้านการทำงาน	มีช่องทางการรับเรื่องร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้า		☑		
	ระบบติดตามและตรวจสอบย้อนกลับในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์	☑			
ด้านข้อมูล	มีการเก็บข้อมูลย้อนหลังไว้นานกว่าอายุผลิตภัณฑ์			☑	
	มีการตอบสนองต่อการตรวจสอบย้อนกลับของข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว	☑			

ด้านบุคลากร ประกอบด้วย เกณฑ์ทั้งสิ้น 5 ข้อ อยู่ในระดับ 1 จำนวน 1 ข้อ คือ บุคลากรของสถานประกอบการส่วนใหญ่ไม่มีทักษะทางภาษาและคอมพิวเตอร์ ระดับ 2 จำนวน 3 ข้อ ซึ่งมีการดำเนินงานที่สอดคล้องกับเกณฑ์ในบางส่วน (1) ยังไม่มีการแต่งตั้งบุคลากรหลักให้เป็นผู้รับผิดชอบในการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ แต่เป็นเพียงการมอบหมายให้ปฏิบัติตามหน้างาน; (2) บุคลากรมีความเข้าใจในโซ่อุปทานผลิตภัณฑ์บางส่วนเท่านั้น; และ (3) บุคลากรสามารถถ่ายทอดการทำงานของระบบได้ แต่ต้องอยู่ภายใต้การควบคุม ตลอดจน ระดับ 3 จำนวน 1 ข้อ คือ บุคลากรผ่านจากฝึกอบรมในการติดตามและตรวจสอบย้อนกลับ

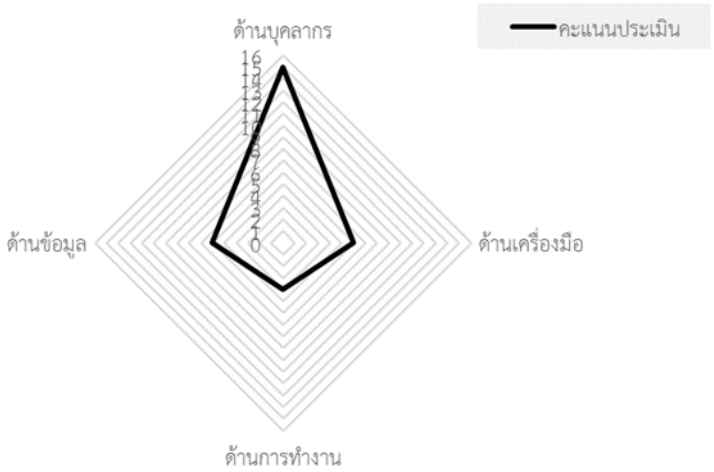
ด้านเครื่องมือ ประกอบด้วย เกณฑ์ทั้งสิ้น 6 ข้อ อยู่ในระดับ 1 ทั้งหมด (1) ยังไม่มีระบบติดตามและตรวจสอบย้อนกลับผ่านออนไลน์ ซึ่งในเป็นเพียงการบันทึกในสมุดเท่านั้น; (2) ยังไม่มีความพร้อมด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์; (3) ยังไม่มีความพร้อมด้านอุปกรณ์บันทึกและอ่านบาร์โคด/RFID;
(4) ยังไม่มีความพร้อมด้านอุปกรณ์การพิมพ์ฉลากบาร์โคด/RFID; (5) ยังไม่มีความพร้อมด้านระบบอินเทอร์เน็ต; และ (6) เนื่องจากปัจจุบันเป็นการบันทึกข้อมูลในสมุด ซึ่งสมุดดังกล่าวพนักงานทุกคนสามารถเข้าถึงได้และยังไม่มีพื้นที่จัดเก็บที่แน่นอน

ด้านการทำงาน ประกอบด้วย เกณฑ์ทั้งสิ้น 2 ข้อ อยู่ในระดับ 1 จำนวน 1 ข้อ คือ ยังไม่มีระบบติดตามและตรวจสอบย้อนกลับในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจน ระดับ 2 จำนวน 1 ข้อ คือ ช่องทางการรับเรื่องร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้า ในปัจจุบันยังไม่มีช่องทางเฉพาะในการรับเรื่องร้องเรียน แต่เป็นการรับเรื่องร้องเรียนผ่านช่องทางการขาย

ด้านข้อมูล ประกอบด้วย เกณฑ์ทั้งสิ้น 2 ข้อ อยู่ในระดับ 1 จำนวน 1 ข้อ คือ ยังไม่มีการตอบสนองต่อการตรวจสอบย้อนกลับของข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นการบันทึกข้อมูลในสมุดหลากเล่ม ไม่มีแบบบันทึกข้อมูล และไม่มีพื้นที่จัดเก็บที่แน่นอน ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลานานในการตรวจสอบย้อนกลับ ตลอดจน ระดับ 3 จำนวน 1 ข้อ คือ มีการเก็บข้อมูลย้อนหลังไว้นานกว่าอายุผลิตภัณฑ์

ผลการวิเคราะห์ช่องว่างศักยภาพปัจจุบันด้านการชี้บ่งรุ่นและตรวจสอบย้อนกลับ

จากผลการประเมินสามารถทำการคำนวณคะแนนประเมินการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ดังนี้ ด้านบุคลากร ได้คะแนน (1x1) + (3x3) + (1x5) = 15 คะแนน ด้านเครื่องมือ ได้คะแนน (6x1) = 6 คะแนน ด้านการทำงาน ได้คะแนน (1x1) + (1x3) = 4 คะแนน และด้านข้อมูล ได้คะแนน (1x1) + (1x5) = 6 คะแนน ดังรูปที่ 7 โดยคะแนนรวม เท่ากับ 31 คะแนน จากคะแนนเต็ม 75 คะแนน คิดเป็น 41.33%



รูปที่ 7 การประเมินการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ

แนวทางการปรับปรุงและพัฒนาการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ

ผลจากการวิเคราะห์ช่องว่างศักยภาพปัจจุบันด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ในขั้นตอนก่อนหน้านำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ โดยในระยะแรกสำหรับการดำเนินงานปรับปรุงและพัฒนาร่วมกับผู้จัดการของบริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้งกรณีศึกษา ดังรูปที่ 8 ซึ่งได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบในโครงการปรับปรุงและพัฒนาการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ โดยได้ตั้งเป้าหมายความพร้อมในภาพรวมไว้ที่ร้อยละ 50%





รูปที่ 8 การดำเนินงานปรับปรุงและพัฒนาร่วมกับผู้จัดการ

จากการวางแนวทางการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับใน 4 แนวทางการยกระดับที่สถานประกอบการสามารถดำเนินการได้ในระยะแรก ได้แก่ 1) การแต่งตั้งบุคลากรหลักให้เป็นผู้รับผิดชอบการบันทึกรหัสในป้ายแขวนและสมุด โดยมอบหมายให้มีผู้รับผิดชอบดำเนินการอยู่ในแต่ละแผนกที่สอดคล้องกับการบันทึก เช่น สมุดเล่มที่ 1 หัวหน้าแผนกคลังวัตถุดิบ สมุดเล่มที่ 2 และ 3 หัวหน้าแผนกผลิต สมุดเล่มที่ 4 หัวหน้าแผนกบรรจุสินค้า เป็นต้น 2) หากมีการแต่งตั้งบุคลากรหลักให้เป็นผู้รับผิดชอบ จนเกิดความชำนาญตลอดจนสามารถถ่ายทอดให้กับผู้อื่นได้ โดยการใช้คู่มือการปฏิบัติงาน สำหรับการตรวจสอบย้อนกลับ ประกอบการถ่ายทอดเพื่อสร้างความเข้าใจมากยิ่งขึ้น 3) สืบเนื่องมาจากข้อก่อนหน้า บุคลากรหลักให้เป็นผู้รับผิดชอบจะมีหน้าที่ในการบันทึกและเข้าถึงแหล่งข้อมูลได้เท่านั้น ภายหลังการปฏิบัติงานควรนำสมุดบันทึกจัดเก็บไว้ในที่ซึ่งผู้ไม่เกี่ยวข้องไม่สามารถเข้าถึงได้ เช่น การนำเก็บไว้ในตู้เอกสารที่มีกุญแจล็อค เป็นต้น 4) จาก 3 ข้อ ที่ได้กล่าวมาในข้างต้นจะส่งผลให้บุคลากรมีความชำนาญ เอกสารผู้จัดเก็บอย่างเป็นระเบียบและมีการจำกัดการเข้าถึงข้อมูล ส่งผลให้การตอบสนองต่อการตรวจสอบย้อนกลับได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางการยกระดับที่สถานประกอบการสามารถดำเนินการได้ในระยะแรก

มิติ	รายละเอียด	ระดับ			หมายเหตุ
		1	2	3	
ด้านบุคลากร	แต่งตั้งบุคลากรหลักให้เป็นผู้รับผิดชอบ			☑	
	บุคลากรมีทักษะทางภาษาและคอมพิวเตอร์	☑			
	บุคลากรมีความเข้าใจในโซ่อุปทานผลิตภัณฑ์		☑		
	บุคลากรผ่านจากฝึกอบรมในการติดตามและตรวจสอบย้อนกลับ			☑	
	บุคลากรสามารถถ่ายทอดการทำงานของระบบได้			☑	
ด้านเครื่องมือ	มีระบบติดตามและตรวจสอบย้อนกลับผ่านออนไลน์	☑			
	มีความพร้อมด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์	☑			
	มีความพร้อมด้านอุปกรณ์บันทึกและอ่านบาร์โคด/RFID	☑			
	มีความพร้อมด้านอุปกรณ์การพิมพ์ฉลากบาร์โคด/RFID	☑			
	มีความพร้อมด้านระบบอินเทอร์เน็ต	☑			
	มีรหัสความปลอดภัยเพื่อเข้าถึงฐานข้อมูล		☑		
ด้านการทำงาน	มีช่องทางการรับเรื่องร้องเรียนด้านคุณภาพสินค้า		☑		
	ระบบติดตามและตรวจสอบย้อนกลับในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์	☑			
ด้านข้อมูล	มีการเก็บข้อมูลย้อนหลังไว้นานกว่าอายุผลิตภัณฑ์			☑	
	มีการตอบสนองต่อการตรวจสอบย้อนกลับของข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว		☑		

จากตารางที่ 2 สามารถเพิ่มความเป็นไปได้ของบริษัทด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ (Lot Identification and Traceability) คะแนนรวม 31 คะแนน หรือ 41.33% เพิ่มขึ้นเป็น 39 คะแนน (คะแนนเต็ม 75 คะแนน) คิดเป็น 52.00% ตามเป้าหมายในระยะแรก ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า 4 แนวทางการยกระดับที่สถานประกอบการสามารถดำเนินการได้นี้จะสามารถเพิ่มร้อยละความเป็นไปได้ของบริษัทด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ขึ้น 10.67%

อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาวิเคราะห์ทางด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับมาตรฐานอาหารจีเอชพี ด้วยเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการ เป็นการวิจัยโดยใช้วิธีการชี้บ่งรุ่นในระบบของการผลิต ตลอดจนถึงผลิตภัณฑ์เป็นการดำเนินงานทั้งทางด้านประสิทธิภาพและระบบข้อมูล เพื่อตอบสนองต่อความปลอดภัยอาหารและความต้องการทราบถึงข้อมูล ตั้งแต่ต้น จนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตเพื่อประโยชน์ของ ผู้บริโภค ผู้ศึกษาวิจัยและพัฒนาได้ทำการทดลองวิเคราะห์สรุปผล ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจพัฒนาการบ่งชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับดังนี้

จากการวางแนวทางการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับมี 4 แนวทางการยกระดับที่สถานประกอบการสามารถดำเนินการได้ในระยะแรก ได้แก่ 1) การแต่งตั้งบุคลากรหลักให้เป็นผู้รับผิดชอบการบันทึกรหัสในป้ายแขวนและสมุด โดยมอบหมายให้มีผู้รับผิดชอบดำเนินการอยู่ในแต่ละแผนกที่สอดคล้องกับการบันทึก เช่น สมุดเล่มที่ 1 หัวหน้าแผนกคลังวัตถุดิบ สมุดเล่มที่ 2 และ 3 หัวหน้าแผนกผลิต สมุดเล่มที่ 4 หัวหน้าแผนกบรรจุสินค้า เป็นต้น 2) หากมีการแต่งตั้งบุคลากรหลักให้เป็นผู้รับผิดชอบ จนเกิดความชำนาญตลอดจนสามารถ

ถ่ายทอดให้กับผู้อื่นได้ โดยการใช้คู่มือการปฏิบัติงาน สำหรับการตรวจสอบย้อนกลับ ประกอบการถ่ายทอดเพื่อสร้างความเข้าใจมากยิ่งขึ้น 3) สืบเนื่องมาจากข้อก่อนหน้า บุคลากรหลักให้เป็นผู้รับผิดชอบจะมีหน้าที่ในการบันทึกและเข้าถึงแหล่งข้อมูลได้เท่านั้น ภายหลังการปฏิบัติงานควรนำสมุดบันทึกจัดเก็บไว้ในที่ซึ่งผู้ไม่เกี่ยวข้องไม่สามารถเข้าถึงได้ เช่น การนำเก็บไว้ในตู้เอกสารที่มีกุญแจล็อค เป็นต้น 4) จาก 3 ข้อ ที่ได้กล่าวมาในข้างต้นจะส่งผลให้บุคลากรมีความชำนาญ เอกสารผู้จัดเก็บอย่างเป็นระเบียบและมีการจำกัดการเข้าถึงข้อมูล ส่งผลให้การตอบสนองต่อการตรวจสอบย้อนกลับได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

ภายหลังจากการปรับปรุงข้างต้นจะสามารถเพิ่มความเป็นไปได้ของบริษัทด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ (Lot Identification and Traceability) ซึ่งสามารถแยกคะแนนประเมินการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับแต่ละด้านได้ ดังนี้ ด้านบุคลากร ได้คะแนน (1x1) + (3x1) + (5x3) = 19 คะแนน ด้านเครื่องมือ ได้คะแนน (1x5) + (3x1) = 8 คะแนน ด้านทำงาน ได้คะแนน (1x1) + (3x1) = 4 คะแนน ด้านข้อมูล ได้คะแนน (3x1) + (5x1) = 8 คะแนน พบว่าจากคะแนนรวม 31 คะแนน หรือ 41.33% เพิ่มขึ้นเป็น 39 คะแนน (คะแนนเต็ม 75 คะแนน) คิดเป็น 52.00% ตามเป้าหมายในระยะแรก ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า 4 แนวทางการยกระดับที่สถานประกอบการสามารถดำเนินการได้นี้จะสามารถเพิ่มร้อยละความเป็นไปได้ของบริษัทด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ขึ้น 10.67%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัทแปรรูปผลไม้อบแห้งกรณีศึกษา อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในศึกษาการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับ ตลอดจนให้ความร่วมมือในการประเมินศักยภาพด้านการชี้บ่งรุ่นและการตรวจสอบย้อนกลับครั้งนี้ อีกทั้ง ขอขอบคุณ อาจารย์ หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด และ อาจารย์ กำพล หว่างลี้สกุล อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ แขนงวิศวกรรมโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย เป็นอย่างยิ่งที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ จนกระทั่งการศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. GHP Revision 5-2020 [อินเทอร์เน็ต]. 2564; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 5 มกราคม 2566. ได้จาก https://www.bsigroup.com/globalassets/localfiles/en-th/food-and-drink/haccp--gmp/gmp-haccp-v.4-vs-ghps-haccp-v.5.pdf
2. นริชา กุลนานันท์ [อินเทอร์เน็ต]. 2560; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 5 มกราคม 2566. ได้จาก https://www.fruithouse-thailand.com/th/our-company/
3. นันทิยา ตันติดลธเนศ, แสงทอง บุญยิ่ง. ต้นแบบการตรวจสอบย้อนกลับการปลูกพืชอาหารปลอดภัยในชุมชนด้วยเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี. วารสารการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ 2563; 6(1): 83-98.
4. ศศินภา บุญพิทักษ์, กรณ์ปภพ รัตนวิจิตร, อิงณภัสร์ พงศ์ธนาบูลย์. แบบจำลองระบบตรวจสอบย้อนกลับห่วงโซ่อุปทานผลไม้ทุเรียน. จันทบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี; 2561.
5. อุดร จิตจักร, กนกลดา ท้าวไทยชนะสุม, อารีย์ นคพันธุ์. การพัฒนาแอพลิเคชั่นตรวจสอบย้อนกลับผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้เทคโนโลยี รหัสคิวอาร์ของวิสาหกิจชุมชนผู้ปลูกและแปรรูปมะม่วงมหาชนกจังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารแก่นเกษตร 2563; 1: 671-676.

6. ธิติวัฒน์ ตาคำ, สุขุมาล ตั้วสกุล, นราวิชญ์ ความหมั่น, วันเพ็ญ จิตรเจริญ. การพัฒนาระบบตรวจสอบย้อนกลับผลิตภัณฑ์กาแฟพิเศษ กรณีศึกษา Coffee Go Green Café. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร 2564; 41(6): 80-92.
7. ศุภากร เอี่ยมอาพร, ปัญญา ชัยรัตนพานิช, ประดิษฐ์ สงค์แสงยศ. การประยุกต์ใช้อุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อการตรวจสอบย้อนกลับสำหรับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร. วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ 2565; 22(2): A1-A17.
8. สมพล สุขเจริญพงษ์, เดช ธรรมศิริ. การพัฒนาระบบตรวจสอบย้อนกลับโดยเทคโนโลยีรหัสคิวอาร์และบรรจุภัณฑ์การค้าปลีกสำหรับส้มโอในจังหวัดนครปฐม. วารสารวิทยาการจัดการ 2561; 5(1): 67-78.
9. วรพัฑรา ศรีพงษ์พันธุ์กุล. มาตรการตรวจสอบย้อนกลับเพื่อความปลอดภัยด้านอาหารของประเทศไทย. วารสารบัณฑิตศึกษานิติศาสตร์ 2561; 11(4): 885-902.
10. อดุลย์ ทองแกม, วิชาญ แสนปาง, กมลกา แดงสกุล, จักรพันธ์ จันทลา, กฤติกา จันทร์พลม,รติพร มีชัย, สจี รุจิฉาย. ระบบตรวจสอบย้อนกลับผลผลิตทางการเกษตรกลุ่มเกษตรกรปลูกข้าวอินทรีย์ไรซ์เบอร์รี่เขตรอยต่อจังหวัดอุดรธานีและสกลนคร. วารสารวิชาการวิทยาลัยสันตพล 2566; 9(1): 55-61.
11. สุภพร งามโสภาสิริสกุล, อนันตญา ศักดิสอาด, นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ. การพัฒนาระบบการตรวจสอบย้อนกลับนมพาสเจอไรซ์ของสหกรณ์ตัวอย่าง. วารสารวิชาการปทุมวัน 2565; 12(35): 17-31.
12. ปิยนันท์ สวัสดิ์ศฤงฆาร [อินเทอร์เน็ต]. 2560; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 5 มกราคม 2566. ได้จาก https://drpiyanan.com/2021/05/27/7s-model-mckinsey/
13. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ความสามารถตามสอบได้ในอุตสาหกรรมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ดิจิตอลไฮสปีด เลเซอร์ ปริ้นท์; 2557.
14. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. การประยุกต์การใช้งานระบบตามสอบในระดับอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ดิจิตอลไฮสปีด เลเซอร์ ปริ้นท์; 2558.

การศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการเลี้ยงชันโรงสำหรับกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นที่ทำจากวัสดุเทียมธรรมชาติ

Study on temperature meliponiculture for stingless bee super hive made of natural artificial materials

วรธน พลิพันธ์[1*] และ พลากร พรหมเมศร์[1]

Worathon Plipan[1*] and Palakorn Prommet[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์ ออกแบบและสร้างกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ และ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการเลี้ยงชันโรงสำหรับกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ โดยศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสำรวจจากกล่องเลี้ยงชันโรงที่เกษตรกรใช้อยู่ พร้อมวัดค่าอุณหภูมิภายในและภายนอกกล่อง ขณะไม่มีชันโรงอาศัยภายในกล่อง 15 วัน และ ขณะมีชันโรงอาศัยภายในกล่อง 15 วัน ผลจากการทดลองพบว่า กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ ที่ทำการวัดค่าอุณหภูมิภายในและนอกกล่อง 15 วันแบบไม่มีชันโรงอาศัยอยู่ภายในกล่อง อุณหภูมิภายในมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกกล่องเฉลี่ย 1–2 °C และการวัดอุณหภูมิภายในทั้งภายนอกเป็นเวลา 15 วัน ของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ และกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน ขณะที่มีชันโรงอาศัยอยู่ภายในกล่องพบว่า กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกกล่องแต่กับกัน ความชื้นในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานจะสูงกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ โดยปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลต่อการสร้าง พรอโพลิส ที่ใช้ซ่อมแซมรังแล้วสร้างถ้วยน้ำหวาน

คำสำคัญ: ชันโรง, อุณหภูมิ, ความชื้น, พรอโพลิส

[1] สาขาวิชา การจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ จังหวัดนราธิวาส 96000

[1] Technology and innovation management, Faculty of Engineering, Princess of Narathiwas University, Narathiwat Province, 96000

* Corresponding author e-mail: toprusoza@gmail.com

Abstract

The objective of this research was to design and build an stingless bee super hive using natural artificial materials and to study the temperature affecting the meliponiculture for the stingless bee super hive using natural artificial materials. By studying relevant research and surveying from the stingless bee hive farming and measuring the temperature inside and outside the box. While there is no stingless bee in the box for 15 days and temperature measurement inside and outside the box. The results of the experiment showed that the stingless bee super hive using natural artificial materials measures the temperature inside and outside the box for 15 days without stingless bee inside the box The temperature inside was on average 1–2 °C lower than the temperature outside the box, and temperatures were measured both inside and outside for 15 days. Of an stingless bee super hive using natural artificial materials. and a standard box While there was an stingless bee living inside the box, it was found that stingless bee super hive using natural artificial materials will have a lower temperature inside the standard boxes compared to the temperature outside the box, but the same is true. The humidity in a standard box is higher than a stingless bee super hive using natural artificial materials. This factor will affect the creation of propolis, which is used to repair nests and create nectar cups.

Keywords: Stingless Bee, Temperature, Humidity, Propolis

บทนำ

ชันโรงเป็นแมลงชนิดหนึ่งที่มีขนาดเล็กโดยมีลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกันกับผึ้งแต่จะชันโรงนั้นมีขนาดที่เล็กกว่าและไม่มีเหล็กในเหมือนกับผึ้งอีกทั้งยังช่วยผสมเกสรพืชผลที่เกษตรกรได้ปลูกไว้ในสวนอีกทั้งน้ำหวานของชันโรงยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอีกด้วย (อัญชลี สวาสดิ์ธรรม, 2556) ชันโรงนั้นสามารถพบได้ใน ภูมิภาคเขตร้อนทั่วโลก ซึ่งมี 50 สกุล 400 ชนิด (Rasmussen,2010) ปัจจุบันใน ประเทศไทยมีการค้นพบชันโรงอยู่ที่ 39 ชนิด (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2563) โดยการสร้างรังของชันโรงในที่ ที่มีลักษณะเป็นโพรง เช่นโพรงไม้ ชายคาบ้านเรือนหรือกระติกน้ำแข็ง เป็นต้น ซึ่งชันโรงวรรณะแรงงานจะเก็บเกสรดอกไม้ เก็บน้ำหวานจากพืชเป็นอาหาร และเก็บยางไม้มาเพื่อสร้างส่วนประกอบภายในรังของชันโรง โดยชันโรงจะเก็บยางไม้แล้วน้ำมาผสมไขที่สังเคราะห์ขึ้นจากต่อมไขในร่างกายของชันโรง (Vit et al., 2012) ซึ่งสิ่งนี้เรียกว่า ซีรูเมน (Cerumen) โดยที่ซีรูเมนดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการซ่อมแซมรัง ถ้วยเก็บน้ำหวาน และส่วนที่เป็นฐานรองไขเพื่อให้นางพญาวางไข่ (จิตเกษม หลำสะอาด, 2560)

การเลี้ยงชันโรงของเกษตรกรไทย จะนิยมเลี้ยงในกล่อง ที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเล็กที่ปิดทึบ โดยการนำกล่องเลี้ยงไปวางไว้ในบริเวณพื้นที่สวนของเกษตรกร ลักษณะของรังชันโรงแบบที่อยู่ในธรรมชาตินั้นจะอยู่ภายในโพรงไม้ ซึ่งบริเวณทางเข้าของรังตามธรรมชาติจะมีส่วนประกอบของ ไขผึ้งผสมยางไม้ รวมทั้งมี กรวด หรือดินเป็นส่วนผสมและมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกันไป เช่น เป็นรูปท่อ รูปแตร ซึ่งในบางครั้งสามารถใช้ลักษณะของปากทางเข้ารังในการจำแนกกลุ่มหรือประเภทของชันโรงได้ (อัญชลี สวาสดิ์ธรรม, 2556)

เกษตรกรผู้เลี้ยงชันโรงในปัจจุบัน จะนิยมเลี้ยงชันโรงในกล่องที่มีขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และสูง 10 เซนติเมตร (สมฤทัย ใจเย็น, 2561) โดยวัสดุที่ใช้ทำกล่องเลี้ยงชันโรงเกษตรกรจะนิยมใช้แผ่นไม้ยางพารา หลังจากที่เกษตรกรผู้เลี้ยงชันโรง ได้ทำการวางกล่องเลี้ยงชันโรงไว้ประมาณ 2 เดือนจะมีการเก็บน้ำหวานภายในกล่องเลี้ยงชันโรง โดยการเก็บน้ำหวานของเกษตรกรผู้เลี้ยงชันโรง จะใช้เข็มที่ต่อกับเครื่องดูดน้ำหวาน เพื่อนำน้ำหวานออกมาจากถ้วยเก็บน้ำหวานภายในกล่อง โดยวิธีการดังกล่าวอาจจะทำให้ไข่ตัวอ่อนของ

ชันโรงนั้นเกิดความเสียหายได้เนื่องจากขนาดของกล่องที่พื้นที่จำกัดส่งผลให้ไข่และถ้วยเก็บน้ำหวานของชันโรงนั้นอยู่ใกล้กัน ซึ่งจะทำให้ระหว่างการเก็บน้ำหวานนั้น ไข่ของชันโรงอาจจะเกิดความเสียหายได้

จากความเป็นมาและปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับไข่ตัวอ่อนของชันโรงในระหว่างการเก็บเกี่ยวน้ำหวานภายในกล่องเลี้ยงชันโรง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มพื้นที่ของกล่องเลี้ยงชันโรงให้มากขึ้นโดยการออกแบบและสร้างกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุ High Moisture Resistance board (HMR) โดยวัสดุชนิดนี้มีข้อดีคือสามารถทนความชื้นได้และมีการขยายตัวที่ต่ำเมื่อสัมผัสกับความชื้น ซึ่งส่งผลให้ทำให้ศัตรูของชันโรงเข้ามาภายในกล่องได้ยากขึ้นและศึกษาค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในและภายนอกของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติด้วยเซนเซอร์ DHT-22 และสายพันธุ์ของชันโรงที่ใช้ในการทดลอง คือ ชันโรงขนเงิน หรือมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Tetragonula pagdeni Schwarz

วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและสร้างกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ

2.เ พื่อศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการเลี้ยงชันโรงสำหรับกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วัสดุที่ผู้วิจัยได้เลือกวัสดุที่ใช้ทำกล่องเลี้ยงชันโรง คือ แผ่นใยไม้อัดทนความชื้น High Moisture Resistance board (HMR) เป็นวัสดุที่ทำมาจากการนำชิ้นไม้ยูคาลิปตัสมาสับและบดจนเป็นเส้นใยละเอียดแล้วอัดประสานด้วยกาวชนิดพิเศษจึงสามารถช่วยเพิ่มแรงต้านการขยายตัวและการบิดโก่งของไม้ได้ ซึ่งสีของเนื้อไม้ที่เป็นสีเขียวนั้นเป็นผลมาจากการเพิ่มสีเข้าไปในกระบวนการผลิต โดยคุณสมบัติของบอร์ด (HMR) คือ สามารถทนต่อความชื้นได้ดีกว่าไม้ทั่วไปและ มีอัตราการระบายความชื้นออกจากเนื้อไม้ได้เร็ว โดยวัสดุได้ผ่านการรับรองมาตรฐาน V313 (REFERENCE BY EN 622-5 :2006) (Panel Plus, ม.ป.ป.)

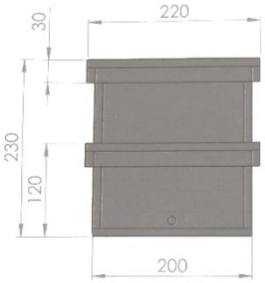
อุณหภูมิและความชื้นเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญต่อการออกหาอาหารและอยู่อาศัยของชันโรงโดยทั่วไปชันโรงจะออกหาหารช่วงเวลาตั้งแต่ 06.30 ถึง 08.00 นาฬิกา ที่อุณหภูมิ 29.0°C ถึง 30.0°C ความชื้น 76.0% ถึง 70.0% (จิตเกษม หลำสะอาด, 2560) และ อุณหภูมิภายในรังที่เหมาะสมอยู่ที่ 30.0°C ค่าความชื้นอยู่ที่ 70.0% (อรนลิน ศรีสุกใส, 2563) ซึ่งจะส่งผลต่อ กิจกรรมของชันโรง หากอุณหภูมิหรือความชื้นมากหรือน้อยเกินไปก็จะส่งผลต่อจำนวนชันโรง เช่นกัน (นูรอฮานา สะแลแม, 2564)

การเลี้ยงชันโรงของเกษตรกรผู้เลี้ยงชันโรงในปัจจุบัน สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ การวางกล่องเลี้ยงชันโรงนอกอาคาร และการวางกล่องเลี้ยงชันโรงไว้บนชั้นวาง โดยการวางกล่องทั้ง 2 แบบนี้จะให้ผลที่ใกล้เคียงกันซึ่งขึ้นอยู่กับภูมิประเทศของที่ต้องการเลี้ยงชันโรง โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเลี้ยงชั้นโรง คือ อุณหภูมิ และความชื้นซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลต่อพฤติกรรม การออกหาอาหารของชันโรง (ธัชคณิน จงจิตวิมล, 2547)

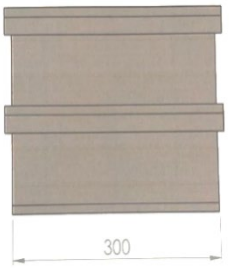
วิธีการศึกษา

การออกแบบกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบกล่องเลี้ยงชันโรงให้มีความใกล้เคียงกับกล่องเลี้ยงชันโรงที่เกษตรกรใช้อยู่ จากการสำรวจ ณ ชันโรงบ้านไพรวัน 213 หมู่ 6 ตำบลไพรวัน อำเภอตากใบ จังหวัดนราธิวาส ชันโรงบ้านโคกโก 27 หมู่ 4 ตำบลลำภู อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส และแปลงใหญ่วิสาหกิจชุมชน กลุ่มชันโรงมะนารอบ้านรักษ์ผึ้ง ตำบลโคกเคียน อำเภอเมือง

จังหวัดนราธิวาส จากการสอบถามเกษตรกรผู้เลี้ยงชันโรง ทั้ง 3 ที่ได้ว่ากล่องเลี้ยงชันโรงที่เกษตรกรใช้มีการวางอยู่ 2 แบบ คือ แบบวางบนชั้นวางและแบบที่วางภายนอกอาคาร เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการเลี้ยงชันโรง สำหรับกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ โดยกล่องเลี้ยงชันโรงที่ผู้วิจัยได้ออกแบบมีขนาดดัง รูปที่ 1



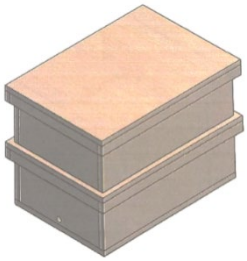
(ก) ภาพด้านหน้าของกล่อง



(ข) ภาพด้านข้างของกล่อง



(ค) ภาพด้านบนของกล่อง



(ง) ภาพสามมิติของกล่อง

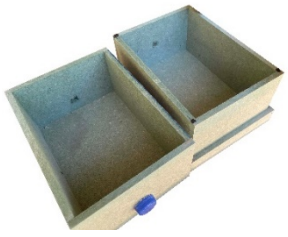
รูปที่ 1 แบบกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้น



(ก) ภาพด้านหน้าของกล่อง



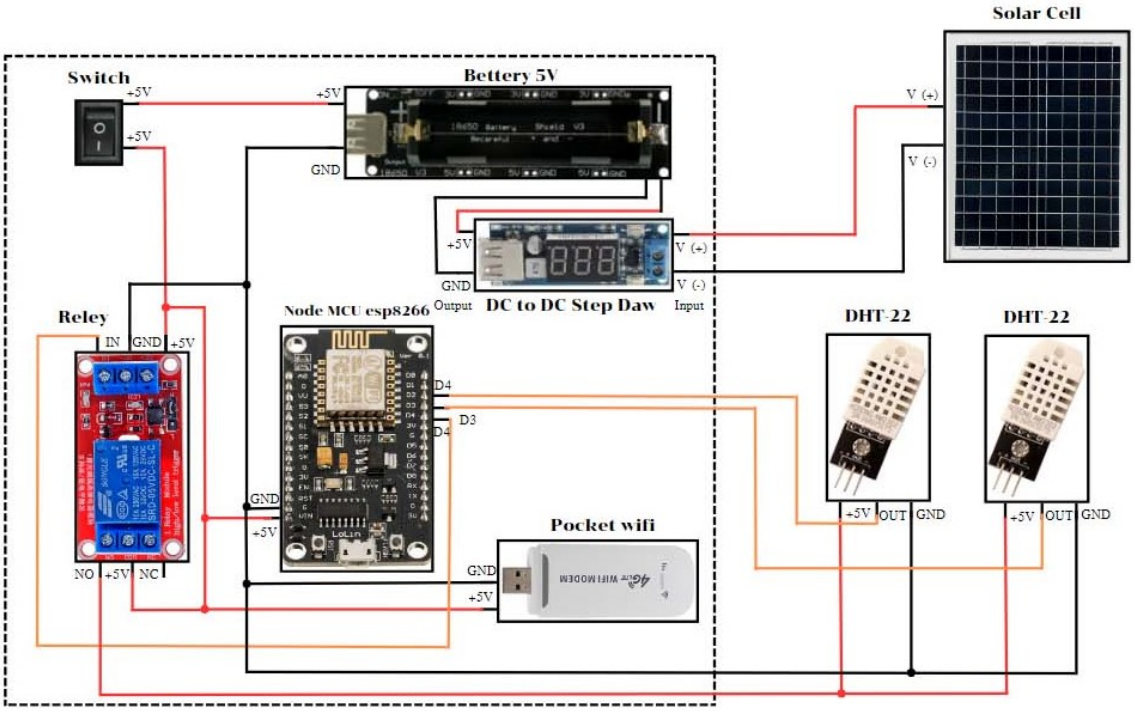
(ข) ภาพสามมิติของกล่อง



(ค) ภาพภายในของกล่อง

รูปที่ 2 กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ (HMR)

การออกแบบระบบวัดอุณหภูมิโดยใช้ เซนเซอร์ DHT22 จะทำการวัด 2 จุด คือภายในกล่องและภายนอกกล่อง ซึ่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทั้งหมด เซนเซอร์ DHT22 2 ตัว, บอร์ด Arduino esp8266 NodeMCU 1 ตัว, แผงโซล่าเซล 12V 20W 1 แผง, Pocket wifi 1 ตัว, โมดูลดีเลย์ 5V 1 ตัว, สวิตช์ 1 ตัว, แหล่งจ่ายไฟ 5V 1ตัวและโมดูลชาร์จไฟ 5V 1 ตัว ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ไดอะแกรม ระบบวัดอุณหภูมิ

เงื่อนไขการทำงานของระบบวัดอุณหภูมิ คือ จะทำการเป็นค่าอุณหภูมิทุก 1 ชั่วโมงโดยที่เซนเซอร์ DHT22 1 ตัวจะเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในกล่องเลี้ยงชันโรงและ เซนเซอร์ DHT22 อีกตัวจะค่าอุณหภูมิและความชื้นภายนอกกล่องเลี้ยงชันโรง โดยเซนเซอร์ทั้ง 2 จะส่งค่าอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้ไปยัง บอร์ด Arduino Node MCU esp8266 เพื่ออัพโหลดข้อมูลดังกล่าวไปยัง Cloud บน บราวเซอร์ Thingspeak ดังรูปที่ 4



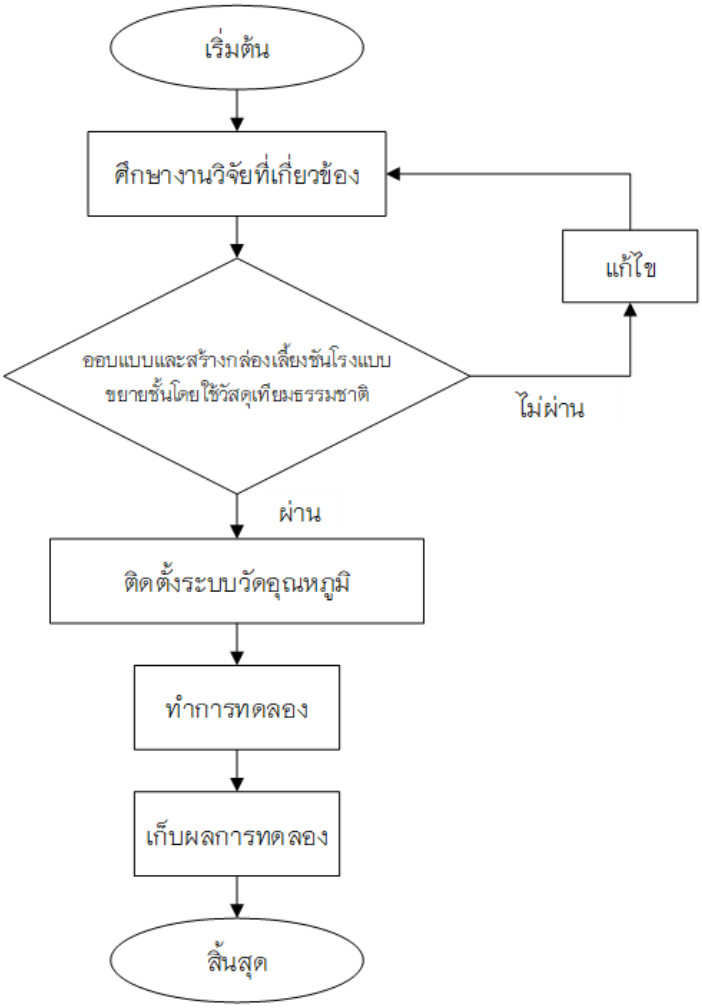
(ก) กราฟแสดงอุณหภูมิ



(ข) กราฟแสดงความชื้น

รูปที่ 4 กราฟการแสดงผลของค่าอุณหภูมิและความชื้นบน บราวเซอร์ Thingspeak

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการดำเนินงานไว้ ดังนี้



รูปที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ โดยใช้ แผ่นใยไม้อัดทนความชื้น (HMR) ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยการ เก็บค่าอุณหภูมิ ทั้งภายในและภายนอก เป็นเวลา 30 วัน ซึ่งจะเก็บผลการทดลองเป็น 2 ช่วง ในช่วง 15 วันแรกเก็บค่าอุณหภูมิภายในกล่องและนอกกล่อง โดยที่ชันโรงนั้นยังไม่เข้ามาอยู่อาศัย และเก็บค่าอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอก โดยผู้วิจัยจะเก็บค่าอุณหภูมิ ทุกๆ 1 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 30 วัน

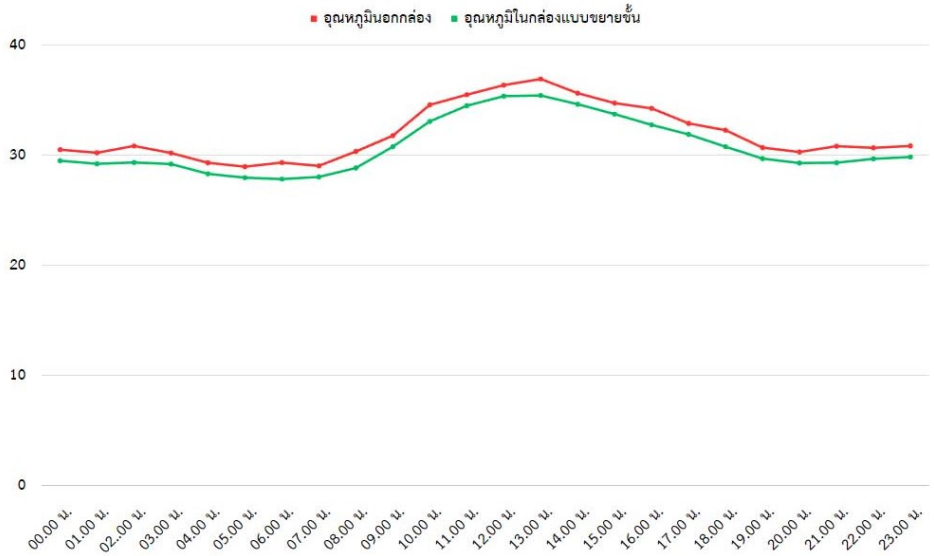
ผลการศึกษา

จากการทดลองกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ การทดลอง 15 วันแบบไม่มีชันโรงอาศัยอยู่ภายในกล่องผลการทดลงแสดง ดัง ตารางที่ 1

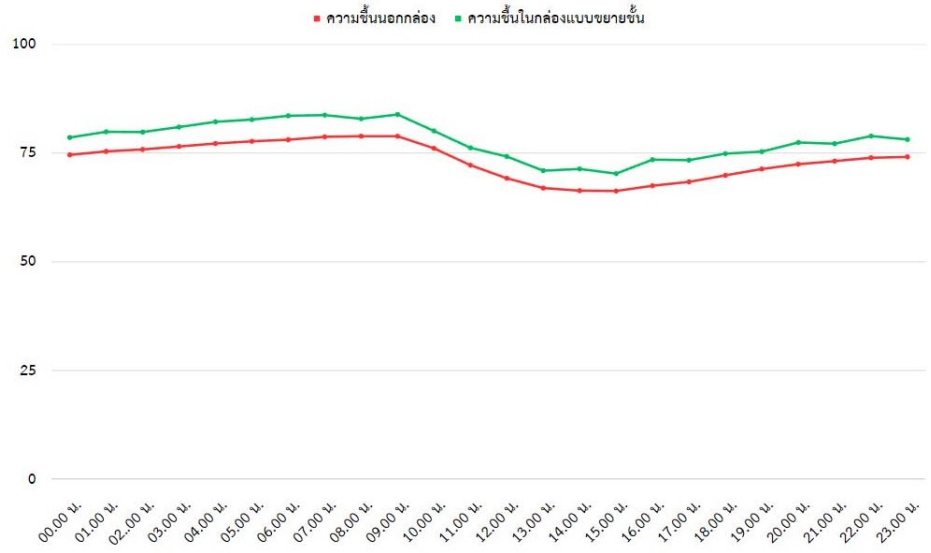
จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติขณะไม่มีชันโรง อยู่ภายในกล่อง จะมีค่าอุณหภูมิภายในกล่องที่น้อยกว่าภายนอกกล่องเลี้ยงชันโรงโดยเฉลี่ย 1 – 2 °C และในส่วนของความชื้นภายในและภายนอกของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ จะเห็นได้ว่า ความชื้นภายในกล่องนั้นจะมีค่าความชื้นที่สูงกว่าภายนอกกล่องเลี้ยงชันโรง โดยเฉลี่ย 3–5 % โดยจะเห็นได้ว่าจะมีการลดลงและเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความชื้น ได้ดังรูปที่ 6 และ 7

ตารางที่ 1 อุณหภูมิและความชื้นภายในและภายนอกของกล่องเลี้ยงชันโรงโดยเฉลี่ย แบบไม่มีชันโรงอาศัยอยู่ภายในกล่อง

ช่วงเวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิและความชื้นของกล่องเลี้ยงชันโรงโดยเฉลี่ย			
	อุณหภูมิในกล่อง (°C)	อุณหภูมินอกกล่อง (°C)	ความชื้นในกล่อง (%)	ความชื้นนอกกล่อง (%)
00.00	29.47	30.47	78.59	74.59
01.00	29.19	30.19	79.91	75.41
02.00	29.31	30.81	79.85	75.85
03.00	29.17	30.17	81.00	76.53
04.00	28.28	29.28	82.21	77.21
05.00	27.93	28.93	82.72	77.72
06.00	27.80	29.30	83.59	78.09
07.00	28.00	29.00	83.75	78.75
08.00	28.81	30.31	82.9	78.90
09.00	30.74	31.74	83.89	78.89
10.00	33.04	34.54	80.11	76.11
11.00	34.46	35.46	76.23	72.23
12.00	35.33	36.33	74.22	69.22
13.00	35.39	36.89	70.96	66.96
14.00	34.60	35.60	71.37	66.37
15.00	33.70	34.70	70.29	66.29
16.00	32.72	34.22	73.5	67.50
17.00	31.86	32.86	73.39	68.39
18.00	30.74	32.24	74.89	69.89
19.00	29.66	30.66	75.35	71.35
20.00	29.26	30.26	77.45	72.45
21.00	29.29	30.79	77.17	73.17
22.00	29.64	30.64	78.93	73.93
23.00	29.81	30.81	78.13	74.13



รูปที่ 6 กราฟแสดงการวัดค่าอุณหภูมิภายในและภายนอกโดยเฉลี่ย ของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ โดยไม่มีชันโรงอยู่ภายในกล่อง



รูปที่ 7 กราฟแสดงการวัดค่าความชื้นภายในและภายนอกโดยเฉลี่ย ของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ โดยไม่มีชันโรงอยู่ภายในกล่อง

จากรูปที่ 6 และ 7 จะเห็นได้ว่าการวัดค่าอุณหภูมิที่ภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุธรรมชาติ เฉลี่ยแล้วมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ภายนอกกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติและค่าความชื้นที่วัดได้ภายในของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติมีค่าความชื้นที่สูงกว่าภายนอกกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ

จากการทดลองวัดค่าอุณหภูมิภายและความชื้นในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ การทดลอง 15 วันแบบโดยมีชันโรงอาศัยอยู่ภายในกล่องผลการทดลงแสดงดัง ตารางที่ 2 และ 3

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติจะมีอุณหภูมิภายในที่ต่ำกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน เมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอก โดยเฉลี่ย 2–3 °C ของช่วงเวลากลางวันในสวนของเวลากลางคืนเมื่ออุณหภูมิลดลง อุณหภูมิภายในของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ โดยเฉลี่ย 1–2 °C ดังรูปที่ 8

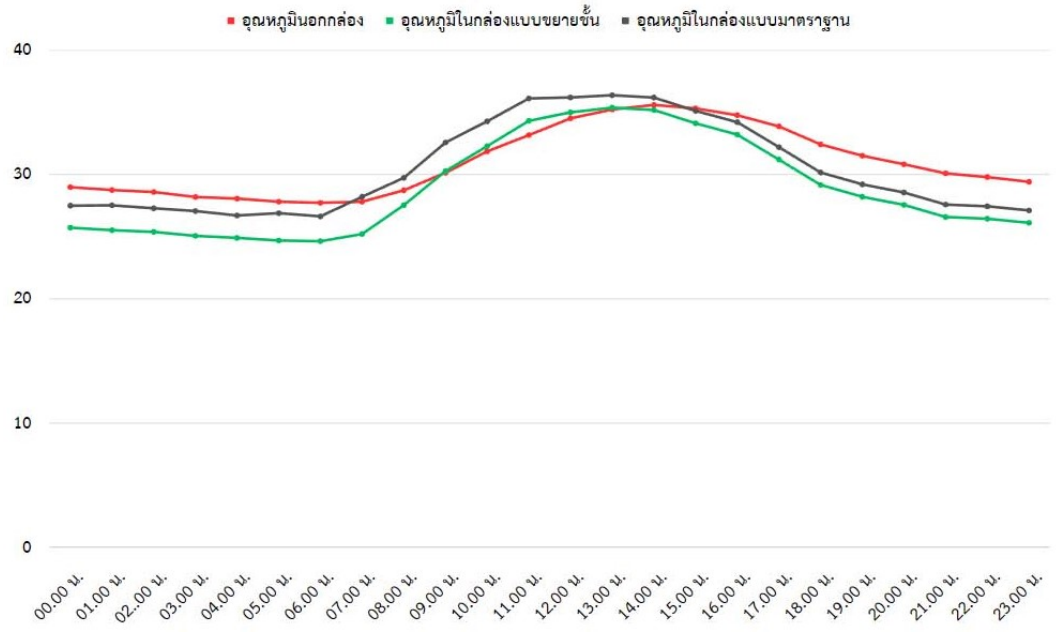
ตารางที่ 2 การวัดค่าอุณหภูมิภายในของกล่องเลี้ยงชันโรงโดยเฉลี่ย แบบมีชันโรงอาศัยอยู่ภายในกล่อง

ช่วงเวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิของกล่องเลี้ยงชันโรงโดยเฉลี่ย		
	อุณหภูมิในกล่องแบบขยายชั้น (°C)	อุณหภูมิในกล่องแบบมาตรฐาน (°C)	อุณหภูมินอกกล่อง (°C)
00.00	25.73	27.50	28.99
01.00	25.53	27.53	28.76
02.00	25.39	27.29	28.60
03.00	25.07	27.07	28.20
04.00	24.91	26.71	28.07
05.00	24.70	26.90	27.82
06.00	24.64	26.64	27.73
07.00	25.22	28.22	27.82
08.00	27.54	29.74	28.74
09.00	30.28	32.58	30.15
10.00	32.29	34.29	31.87
11.00	34.33	36.13	33.18
12.00	35.01	36.21	34.53
13.00	35.39	36.39	35.24
14.00	35.20	36.2	35.61
15.00	34.13	35.13	35.33
16.00	33.22	34.22	34.78
17.00	31.21	32.21	33.88
18.00	29.17	30.17	32.43
19.00	28.22	29.22	31.52
20.00	27.56	28.56	30.83
21.00	26.59	27.59	30.10
22.00	26.45	27.45	29.80
23.00	26.01	27.12	29.31

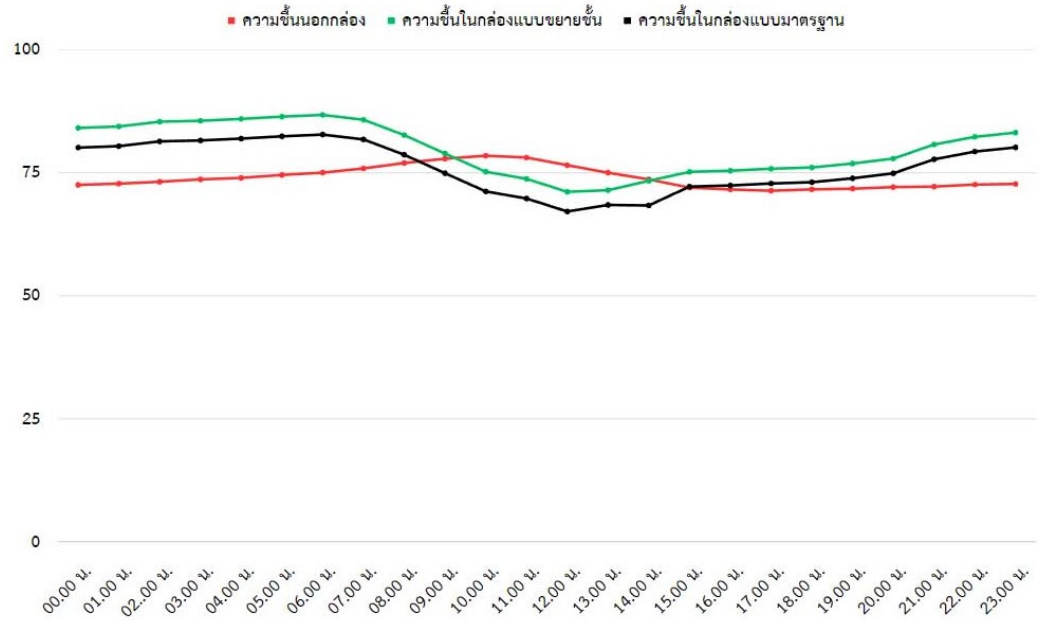
จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ความชื้นภายในของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาตินั้นมีความชื้นภายในที่มากกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน โดยเฉลี่ย 4–5 % เมื่อเทียบกับความชื้นภายนอกกล่องของช่วงเวลากลางวัน และในช่วงเวลากลางคืน ความชื้นภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาตินั้นมีความชื้นภายในที่มากกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน โดยเฉลี่ย 2–3 % ดังรูปที่ 9

ตารางที่ 3 การวัดค่าความชื้นภายในของกล่องเลี้ยงชันโรงโดยเฉลี่ย แบบมีชันโรงอาศัยอยู่ภายในกล่อง

ช่วงเวลา (นาฬิกา)	ความชื้นของกล่องเลี้ยงชันโรงโดยเฉลี่ย		
	ความชื้นในกล่องแบบขยายชั้น (%)	ความชื้นนอกกล่องแบบมาตรฐาน (%)	ความชื้นนอกกล่อง (%)
00.00	84.14	80.14	72.57
01.00	84.44	80.44	72.82
02.00	85.41	81.41	73.20
03.00	85.60	81.60	73.69
04.00	85.98	81.98	73.99
05.00	86.44	82.44	74.59
06.00	86.79	82.79	75.06
07.00	85.81	81.81	75.91
08.00	82.69	78.69	77.02
09.00	78.79	74.94	77.89
10.00	75.24	71.24	78.50
11.00	73.80	69.80	78.13
12.00	71.16	67.16	76.57
13.00	71.49	68.49	75.04
14.00	73.39	68.39	73.69
15.00	75.22	72.22	72.01
16.00	75.45	72.45	71.64
17.00	75.85	72.85	71.38
18.00	76.11	73.11	71.65
19.00	76.91	73.91	71.80
20.00	77.92	74.92	72.12
21.00	80.77	77.77	72.22
22.00	82.33	79.33	72.63
23.00	83.53	80.19	72.76



รูปที่ 8 กราฟแสดงการวัดค่ากราฟแสดงการวัดค่าอุณหภูมิภายในและภายนอกโดยเฉลี่ย ของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติและกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน แบบมีชันโรงอยู่ภายในกล่อง



รูปที่ 9 กราฟแสดงการวัดค่ากราฟแสดงการวัดค่าความชื้นภายในและภายนอกโดยเฉลี่ย ของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติและกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน แบบมีชันโรงอยู่ภายในกล่อง

จากรูปที่ 8 และ 9 จะเห็นได้ว่าภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกกล่องจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปในช่วงเวลา 07.00 น. อุณหภูมิภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติและกล่องเลี้ยงแบบมาตรฐานซึ่งในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 13.00 น.อุณหภูมิภายในของกล่องเลี้ยงแบบมาตรฐานจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกกล่องแต่กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าภายนอกกล่องตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 13.00 น. ซึ่งอุณหภูมิภายในจะลดลงเร็วกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน และอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น. โดยกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานจะมีอุณหภูมิภายในที่สูงกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรม

จากรูปที่ 5 และ 6 จะเห็นได้ว่าภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติจะมีความชื้นที่สูงกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นภายนอกกล่องจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป ในช่วงเวลา 09.00 น. ความชื้นภายในของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติและกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานจะมีความชื้นที่ลดลง และจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลา 13.00 น. โดนที่กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติจะมีความชื้นภายในที่สูงกว่าภายนอกกล่องเลี้ยงที่เวลา 14.00 น. ในขณะที่กล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานจะมีความชื้นภายในกล่องสูงกว่าความชื้นภายนอกกล่องที่เวลา 15.00 น.

อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยชิ้นได้ทำการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการเลี้ยงชันโรงสำหรับของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ โดยการออกแบบและสร้างกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติและวัดค่าอุณหภูมิ ภายในและภายนอกของกล่อง เป็นเวลาทั้งสิ้น 30 วัน โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ 1.ทำการวัดอุณหภูมิภายในและภายนอกกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ แบบที่ไม่มีชันโรงอาศัยอยู่ภายใน เป็นเวลา 15 วัน 2. ทำการวัดอุณหภูมิภายในและภายนอกกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ และกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน แบบที่มีชันโรงอาศัยอยู่ภายในกล่อง ผลที่ได้จาก

การทดลองพบว่า กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ ที่ทำการวัดค่าอุณหภูมิภายในและนอกกล่องนั้น 15 วันแบบไม่มีชันโรงอาศัยอยู่ภายในกล่อง อุณหภูมิภายในของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาตินั้นมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกกล่อง แต่ความชื้นภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติมีค่าความชื้นที่สูงกว่ากว่าภายนอกกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ ในส่วนของการ การวัดอุณหภูมิภายในและภายนอกกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ และกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน แบบที่มีชันโรงอาศัยอยู่ภายในกล่องจะเห็นได้ว่าภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกกล่อง เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติและกล่องเลี้ยงแบบมาตรฐานซึ่งอุณหภูมิภายในของกล่องเลี้ยงแบบมาตรฐานจะมีอุณหภูมิสุงกว่าอุณหภูมิภายนอกกล่องแต่กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าภายนอกกล่องในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 13.00 น. ซึ่งอุณหภูมิภายในจะลดลงเร็วกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน และอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น. โดยกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานจะมีอุณหภูมิภายในที่สูงกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรม และในส่วนของค่าความชื้นภายในและภายนอกของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติและกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานนั้น ภายในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติจะมีความชื้นที่สูงกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นภายนอกกล่องจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป ในช่วงเวลา 09.00 น. ความชื้นภายในของกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติและกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานจะมีความชื้นที่ลดลงและจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลา 13.00 น.

โดยในส่วนของอุณหภูมิที่ชันโรง ออกหาอาหารมากที่สุดจะอยู่ในช่วงที่มี อุณหภูมิ 30 – 32 °C และมีค่าความชื้นอยู่ที่ 70 – 75 % ซึ่งจะตรงกับช่วงเวลา 09.00 – 11.00 น. และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 35 °C หรือมากกว่า โดยเฉลี่ยจะตรงกับช่วงเวลา 11.00 – 15.00 น. ซึ่งจะส่งผลให้ กิจกรรมที่ชันโรงทำอยู่นั้น ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากชันโรงจะต้องควบคุมอุณหภูมิถายในร่างกายไม่ให้สูงเกินไป รวมไปถึงอุณหภูมิภายในกล่องเลี้ยงชันโรงด้วยซึ่งถ้าอุณหภูมิภายในกล่องเลี้ยงชันโรงมีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่า 36 °C เป็นเวลานานก็อาจจะส่งผลให้ชันโรงนั้นยายออกจากกล่องเลี้ยงชันโรงได้ ทั้งนี้ปัจจัยดังกล่าวก็ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวันด้วยเช่นกัน ถ้าอุณหภูมิหรือความชื้นภายในกล่องที่มากหรือน้อยเกินไปเป็นเวลานานจะส่งผลให้ ชันโรงมีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็ว และจากการสังเกตดูภายในกล่องเลี้ยงชันโรงทั้ง 2 แบบทำให้ทราบว่า กล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานชันโรงมีการสร้าง พรอโพลิส (ชันผึ้ง) ที่มากกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ เนื่องจากกล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานมีอุณหภูมิภายในกล่องที่มากกว่า กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ ในช่วงเวลาเวลากลางคืน ส่งผลให้ชันโรงนั้น สามารถสร้างพรอโพลิส (ชันผึ้ง) ที่ใช้ในการ ซ่อมแซมรังหรือสร้างถ้วยเก็บน้ำหวาน ได้มาก กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติในช่วงเวลากลางคืนแต่ในช่วงเวลากลางวันนั้น กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติ สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องได้ดีกว่า กล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน

โดยในส่วนการควบคุมอุณหภูมิกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีกว่าดีกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานที่ทำจากวัสดุทั่วไป โดยช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูงสุดของวันโดยเฉลี่ยที่ 35.61 °C ซึ่งจะตรงกับช่วงเวลา 14.00 น. กล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาตินั้นสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในอยู่ที่ 35.20 °C ในขณะที่ กล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐานสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในอยู่ที่ 36.20 °C โดยความต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 1.00 °C ส่งผลให้ชันโรงนั้นสามารถอยู่อาศัยในกล่องเลี้ยงชันโรงแบบขยายชั้นโดยใช้วัสดุเทียมธรรมชาติได้ง่ายกว่ากล่องเลี้ยงชันโรงแบบมาตรฐาน

เอกสารอ้างอิง

จิตเกษม หล่าสะอาด,พรพรหม พรหมเมศร์ และวสันต์ สุทธโส. (2560). การเลี้ยงชันโรงในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี. ใน: **วารสารเกษตรพระวรุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ครั้งที่ 14**

อัญชลี สวาสดิ์ธรรม (2556) **มหัศจรรย์ชันโรง**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ธัชคณิน จงจิตวิมล กมลภรณ์ บุญถาวร วันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ และสว่าง สีตะวัน. (2547). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการหาอาหารของชันโรง Trigona collina Smith. (Apidae, Meliponinae) ในป่าเบญจพรรณ. **ในการประชุมวิชาการระดับชาติ นเรศวรวิจัยและนวัตกรรม ครั้งที่ 14**

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2549). **บานประตูแผ่นไม้ประกอบ มอก.192-2549**. สำนักงานมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สมฤทัย ใจเย็น,จิราพร กุลสาริน,ไสว บูรณพานิชพันธุ์และ กนกวรรณ คา ยอดใจ. (2561). ผลของรูปแบบรังไม้ประกอบต่อการจัดวางถ้วยอาหารของชันโรง. **ในวารสารเกษตร ฉบับที่ 2 ปีที่ 34**

อรนลิน ศรีสุกใส, เอกพันธ์ ไกรจักร์ และ ชามา พานแก้ว. (2563).สัณฐานวิทยา โครงสร้างรัง อุณหภูมิที่มีผลต่อการอยู่รอด และวงจรชีวิตของชันโรงเลี้ยง 4 ชนิด. **การประชุมวิชาการเกษตร นเรศวร ครั้งที่ 17**

นูรอฮานา สะแลแม, อิสมะแอ เจ๊ะหลง และ อาบีดีน ดะแซสาเมาะ. (2564). ประสิทธิภาพการลดทอนอุณหภูมิของกล่องเลี้ยงผึ้งชันโรงจากพอลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนแลที่มีผลต่อการ เพิ่มของโพรพอลิส. **งานประชุมวิชาการระดับนานาชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ ครั้งที่ 6**

สวพส.สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). 2563. **ชันโรง "ขี้ตั๋งนี" แมลงจิ๋วรายได้งาม**. เข้าถึงได้จาก: https://www.hrdi.or.th/Articles/Detail/100. 24 พฤษจิกายน 2566.

Panel Plus. (ม.ป.ป.). **HMR คู่มือไม้กันชื่น (E1) พาเนล พลัส**. ม.ป.ท.

Rasmussen, C. and Cameron, S. A. (2010). **Global stingless bee phylogeny supports Ancient divergence, vicariance, and long distance dispersal**. Biol. J. Linn. Soc. 99: 206–2

Vit, P., Pedro, S. R. M., and Roubik, D. W.2012. **Pot-honey: a legacy of stingless bees**. New York: Springer

กลยุทธ์การบรรเทาความเสี่ยงในโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์

Mitigating risk strategy in organic salad vegetable supply chain

หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด[1], คุณานนต์ สักลอ[1*], ธนดล อุตมา[1], ชมพูนุท พ่วงทรัพย์สิน[2]

Harutairat Jantakard[1], Kunanon Saklao[1*], Tanadon Ottama[1], Chomphunut Phuangsubsin[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุปัจจัยเสี่ยง และประเมินความเสี่ยงในกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตในโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ ตลอดจนเสนอแนวทางการลดความเสี่ยง ให้เกษตรกรผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์ จังหวัดเชียงราย จากนั้นได้ออกแบบแบบประเมินความเสี่ยง ทั้งมิติด้านความรุนแรง เมื่อต้องเผชิญกับความเสี่ยง ที่ 5 ระดับ และมิติด้านโอกาส ในการเกิดความเสี่ยง ที่ 5 ระดับ โดยผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกเกษตรกรกรณีศึกษา พบว่า 1) ด้านสภาพแวดล้อม ที่ 20 คะแนน 2) ด้านสภาพอากาศ ที่ 12 คะแนน 3) ด้านการตลาด ที่ 12 คะแนน 4) ด้านการผลิต ที่ 9 คะแนน 5) ด้านโลจิสติกส์ ที่ 9 คะแนน 6) ด้านการแข่งขัน ที่ 8 คะแนน 7) ด้านการบริหารองค์กร ที่ 4 คะแนน 8) ด้านเศรษฐกิจและนโยบาย ที่ 1 คะแนน และ 9) ด้านสุขภาพ ที่ 1 คะแนน ทั้งนี้ เกษตรกรต้องบริหารจัดการความเสี่ยงด้วยกลยุทธ์การเลี่ยงความเสี่ยงในด้านสภาพแวดล้อม กลยุทธ์การกระจายความเสี่ยงในด้านสภาพอากาศและด้านการตลาด กลยุทธ์การลดหรือการควบคุมความเสี่ยงในด้านการผลิต ด้านโลจิสติกส์และด้านการแข่งขัน กลยุทธ์ด้านการยอมรับความเสี่ยงในด้านการบริหารองค์กร ด้านเศรษฐกิจและนโยบาย และด้านสุขภาพ

คำสำคัญ: ปัจจัยเสี่ยง, โซ่อุปทานสินค้าเน่าเสียง่าย, ผักสลัดอินทรีย์, การบริหารจัดการความเสี่ยง

[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, จังหวัดเชียงราย 57120

[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, จังหวัดนครปฐม 73170

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Rai 57120

[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University, Nakhon Pathom 73170

* Corresponding author e-mail: kunanonnaja9334@gmail.com

Abstract

This research aims to identify risk factors and to assess risks in activities throughout the organic salad vegetable supply chain, as well as to propose guidelines, for reducing risks for farmers who grow organic salad vegetables in Chiang Rai, as well as to propose guidelines, for reducing risks for farmers who grow organic salad vegetables. After that, a risk assessment form was designed into both dimensions of severity (when faced with risk) at 5 levels and probability dimension (the occurrence of risk) at 5 levels. The results of risk factor assessment, obtained from In-depth interviews with farmer in the case study, found that 1) environment at 20 points, 2) weather at 12 points, 3) marketing at 12 points, 4) production at 9 points, 5) logistics at 9 points 6) Competition at 8 points, 7) Organizational management at 4 points, 8) Economic and policy at 1 point, and 9) Health at 1 point. Farmer must manage risks with risk avoidance strategy for the environment factor, Risk sharing strategy for climate and marketing factors, Risk reduction strategy for production, Logistics, and competition factors. In addition, the risk acceptance strategy includes organizational management, Economic and Policy, and health factors.

Keywords: Risk factors, Perishable goods supply chain, Organic salad vegetables, Risk management

บทนำ

ในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาใส่ใจดูแลสุขภาพมากยิ่งขึ้น นอกเหนือจากการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพแล้วการรับประทานอาหารก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยกระทรวงสาธารณสุข [1] เปิดเผยว่าในแต่ละปีมีคนไทยเสียชีวิตประมาณปีละ 320,000 คน หรือ เฉลี่ยชั่วโมงละ 37 คน จากโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable Diseases: NCDs) ไม่ว่าจะเป็นโรคมะเร็ง, โรคเบาหวาน, โรคหลอดเลือดสมองและหัวใจ, โรคความดันโลหิตสูง, โรคอ้วนลงพุง เป็นต้น ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี สืบเนื่องมาจากการรับประทานอาหารที่ไม่มีประโยชน์และมีการปนเปื้อนของสารเคมี ส่งผลทำให้เกิดโรคต่าง ๆ แก่ผู้บริโภค ดังนั้น กระทรวงสาธารณสุขแนะนำให้ผู้บริโภคชาวไทยหันมาตระหนักในการเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์เพื่อสุขภาพกันมากยิ่งขึ้น ดังนั้น อาหารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นตามมาเป็นผลมาจากการหันมาใส่ใจในเรื่องของสุขภาพของผู้บริโภค สอดคล้องกับข้อมูลจาก EuroMonitor International [2] ซึ่งเปิดเผยถึงตัวเลขตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพของโลกหรือตลาดอาหารและเครื่องดื่มออร์แกนิคสำเร็จรูปในปี 2561 มีมูลค่ารวมถึง 45,575 ล้านดอลลาร์ โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 6.66 ต่อปี สอดคล้องกับมูลค่าตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพของไทยที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน ซึ่งในปี 2561 มีมูลค่ารวมทั้งสิ้น 599 ล้านบาท โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยมากถึงร้อยละ 8.8 ต่อปี

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการบริหารความเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเน่าเสียง่าย เพื่อนำองค์ความรู้ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการลดหรือบรรเทาความเสี่ยงเหล่านั้นให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์ ในจังหวัดเชียงราย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ประสพโชค พูลปั้น และ สุภาวดี สายสนิท [3] ได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานทุเรียน กรณีศึกษา สวนยายละมัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานทุเรียน และจัดลำดับความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานทุเรียน ตลอดจนเสนอแนวทางการบริหารความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานทุเรียนสวนทุเรียนกรณีศึกษา สามารถระบุความเสี่ยงที่เกิดจากปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกทั้งหมด 11 ด้าน ประกอบด้วย ความเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อม ความเสี่ยงด้าน

ผู้แข่งขัน ความเสี่ยงด้านการตลาดและการขาย ความเสี่ยงด้านการตอบสนองของลูกค้า ความเสี่ยงด้านเทคโนโลยี ความเสี่ยงด้านการผลิต ความเสี่ยงด้านการจัดหาวัตถุดิบ ความเสี่ยงด้านคลังสินค้า ความเสี่ยงในการจัดการสินค้าคงคลัง ความเสี่ยงด้านการขนส่ง และ ความเสี่ยงด้านการบริหาร โดยมีเป้าหมายของการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ กล่าวคือ การจัดการโซ่อุปทานสินค้าเกษตรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องด้วยสินค้าเกษตรเป็นสินค้าที่เน่าเสียง่ายและปริมาณผลผลิตที่ออกสู่ตลาดในแต่ละปีไม่คงที่ เป็นผลมาจากสภาพแวดล้อม การเพาะปลูก ภัยพิบัติทางธรรมชาติ และโรคระบาด ตลอดจนปัจจัยอีกมากที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของสินค้าเกษตร

การศึกษาครั้งนี้ มุ่งศึกษาถึงความสำคัญเรื่องดังกล่าว และสนใจที่จะศึกษาถึงแนวทางการลดความเสี่ยงในโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ จังหวัดเชียงราย ผ่านการศึกษาปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตในโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ที่จะนำมาซึ่งแนวทางการลดความเสี่ยงให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์ เพื่อให้เกษตรกรผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์ ผักสลัดปลอดสารพิษ ตลอดจนผลผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ ในจังหวัดเชียงราย สามารถยกระดับกำลังการผลิตสินค้าทางการเกษตรให้สามารถจัดจำหน่ายได้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 การระบุปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตในโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการความเสี่ยงโซ่อุปทานสินค้าเน่าเสียง่าย จำนวน 20 บทความ [3–22] ดังตารางที่ 1 ปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเน่าเสียง่าย ตลอดจนการสอบถามจากเกษตรกรต้นแบบ เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตในโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ และทำการกำหนดผลกระทบจากข้อบกพร่อง (ความรุนแรงของผลกระทบ) โอกาสการเกิดข้อพร่อง (โอกาสเกิดข้อบกพร่องที่เป็นไปได้) ที่จะนำมาซึ่งเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ด้วยแบบสอบถามข้อมูลและผลกระทบ (Failure Modes and Effects Analysis : FME) มาใช้ในการประเมินความเสี่ยงทั้งภายนอกและภายในของเกษตรกรต้นแบบ ที่จะนำมาซึ่งแนวทางการลดความเสี่ยงให้เกษตรผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์

ตารางที่ 1 ปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเน่าเสียง่าย

ปัจจัยเสี่ยง	ลำดับ																			
	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]
ด้านสภาพแวดล้อม	✓	✓	✓	✓		✓				✓					✓	✓		✓		
ด้านสภาพอากาศ		✓		✓							✓		✓	✓	✓				✓	
ด้านการตลาด	✓	✓	✓	✓							✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ด้านการผลิต	✓		✓	✓		✓		✓			✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
ด้านโลจิสติกส์	✓	✓	✓	✓		✓								✓	✓		✓		✓	
ด้านการแข่งขัน	✓		✓	✓																✓
ด้านการบริหารองค์กร	✓	✓				✓		✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓			
ด้านเศรษฐกิจและนโยบาย		✓		✓			✓						✓	✓	✓					✓
ด้านสุขภาพ					✓				✓			✓								

ปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อม หมายถึง เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคและศัตรูของพืช การมีแมลงระบาดในการกัดกินพืช ส่งผลให้ผลผลิตมีจำนวนลดลงหรือผลผลิตเสียหาย และการเน่าเปื่อยของรากพืชเนื่องจากดินชื้นมากเกินไป

ปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพอากาศ หมายถึง สภาพอากาศที่แปรปรวน ปัญหาเรื่องสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนเป็นอุปสรรคต่อการประกอบธุรกิจอย่างมาก ซึ่งสภาพดิน ฟ้า อากาศ และสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง เกิดจากน้ำเป็นปัจจัยหลักในการผลิต เมื่อขาดน้ำจึงส่งผลกระทบต่าง ๆ เช่น ภัยแล้ง ทำให้พืชขาดน้ำ แห้งตายหรือพายุเข้าทำให้ผลผลิตที่ใกล้เก็บเกี่ยวได้รับความเสียหายและผลผลิตลดลง

ปัจจัยเสี่ยงด้านการตลาด หมายถึง ความเสี่ยงที่มาจากโครงสร้างของตลาด ความผันผวนของอุปสงค์และอุปทาน และการขาดตลาดรองรับสินค้า เนื่องมาจาก ความต้องการของลูกค้าในการบริโภค ด้านความไม่แน่นอนของราคาตลาด และการกดราคาของพ่อค้าคนกลาง ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความเสี่ยงด้านการตลาด

ปัจจัยเสี่ยงด้านการผลิต หมายถึง ความสามารถในการผลิต กระบวนการผลิต และคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น มีผลผลิตไม่สม่ำเสมอ ปริมาณผลผลิตในการปลูกของทุกปีมีปริมาณไม่เท่ากัน ทำให้มีผลผลิตไม่สม่ำเสมอ ส่งผลทำให้มีผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ ความเสียหายในกระบวนการผลิต เช่น ความเสียหายที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะจากพนักงาน เครื่องจักร หรือวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนความเสี่ยงจากเกษตรกรขาดความรู้ความชำนาญ ขาดทักษะในกระบวนการปลูกที่ถูกวิธี การใส่ปุ๋ย การป้องกันหรือไล่แมลงที่ถูกวิธี อีกทั้งด้านแรงงานคนที่ไม่เพียงพอต่อการผลิต

ปัจจัยเสี่ยงด้านโลจิสติกส์ หมายถึง ความเสี่ยงโลจิสติกส์ครอบคลุมทั้งด้านการขนส่งและคลังสินค้า กล่าวคือ ความเสี่ยงการขนส่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขนส่ง ความไม่แน่นอนของเวลาที่ใช้ในการขนส่ง รวมถึงโครงสร้างพื้นฐานทางการขนส่ง อาจเป็นเพราะเกษตรกรไม่ได้มีการขนส่งสินค้าด้วยตนเอง และการเกิดความเสียหายระหว่างการขนส่ง ปัญหาที่เกิดจากพนักงานขับรถ รถที่ใช้บรรทุกเส้นทาง เป็นต้น ความเสี่ยงคลังสินค้า เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการจัดเก็บ การจัดเก็บของเน่าเสียง่ายในรถรับส่งเพื่อการส่งออกหรือจำหน่ายนั้นไม่ได้ถูกเก็บไว้ในอุณหภูมิที่เหมาะสม

ปัจจัยเสี่ยงด้านการแข่งขัน หมายถึง การสูญเสียเครือข่ายทางธุรกิจ เครือข่ายการสื่อสารและการขนส่ง รวมถึงความร่วมมือ ความไว้วางใจและความมีชื่อเสียงของคู่ค้า เช่น การแข่งขันของผู้ประกอบการเครดิตทางการค้า การแข่งขันในด้านการตลาด การโฆษณา รวมไปถึงการรักษาคุณภาพผลผลิตให้ได้มาตรฐาน การสร้างความน่าเชื่อถือให้กับธุรกิจเพื่อการส่งออกของตนเองเป็นความน่าเชื่อถือของผู้ประกอบการกับผู้บริโภค

ปัจจัยเสี่ยงด้านการบริหารองค์กร หมายถึง ความเสี่ยงด้านการเงินและข้อมูลขององค์กร กล่าวคือ ความเสี่ยงเรื่อง เงินทุนหมุนเวียนสำหรับต้นทุนการผลิต เช่น การซื้อเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพ การลงทุนซื้อเครื่องจักรต่าง ๆ เกษตรกรไทยไม่ได้ให้ความสำคัญกับการวางแผนจัดการทางการเงินมากนัก รวมถึงการขาดองค์ความรู้ ในด้านการทำบัญชีเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต การชำระคืนเงินกู้ของเกษตรกร รวมถึงผลกระทบที่เกิดจากความไม่แน่นอนของรายได้ สำหรับด้านข้อมูล เช่น ข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ ข้อมูลผลผลิต รวมถึงข้อมูลการบริโภคสินค้าเกษตร ซึ่งปัจจัยเสี่ยงด้านข้อมูลถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญ เนื่องจากข้อมูลจะถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า และใช้ในการวางแผนการจัดการตลอดทั้งโซ่อุปทาน โดยเฉพาะกับสินค้าเกษตรที่เป็นสินค้าเน่าเสียง่าย หากได้รับข้อมูลที่ผิดพลาดหรือไม่สมบูรณ์อาจเกิดความเสียหายต่อทั้งโซ่อุปทานได้

ปัจจัยเสี่ยงด้านเศรษฐกิจและนโยบาย หมายถึง การบริหารการควบคุมต้นทุนการผลิต การส่งออก การแทรกแซงราคาสินค้าเกษตร การเมืองและนโยบายรัฐบาลที่มีอิทธิพลต่อเกษตรกร ได้แก่ การประกันราคาสินค้าทางการเกษตรของรัฐบาล นโยบายการช่วยเหลือเกษตรกรไม่ต่อเนื่อง เปลี่ยนแปลงวิธีเพาะปลูก จัดโซนพื้นที่เพาะปลูกพืช ความไม่มั่นคงและปัญหาความขัดแย้งทางการเมือง การจ่ายเงินช่วยเหลือเกษตรกร การเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารสินค้าทางการเกษตร

ปัจจัยเสี่ยงด้านสุขภาพ หมายถึง ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งแบ่งเป็น 4 ด้าน 1) ด้านปัจจัยทางเคมี หมายถึง การบริหารจัดการสารเคมีที่มีผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว อาการที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันตั้งแต่อาการเล็กน้อย จนรุนแรงถึงแก่เสียชีวิตซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณที่เข้าสู่ร่างกายของสารเคมี ความเสี่ยงอันตรายของเกษตรกรทางเคมีเกิดจากการใช้ยาคุมหญ้า ยาฆ่าหญ้า การใช้ปุ๋ยเคมี กำจัดโรคและศัตรูพืช พฤติกรรมการใช้สารเคมีตามฉลากแนะนำตามความต้องการของเกษตรกร การป้องกันอันตรายจากการใช้สารเคมี การสัมผัสสารเคมีอาการเจ็บป่วยที่เกิดจากการใช้สารเคมี 2) ด้านปัจจัยทางชีวภาพ หมายถึง การบริหารความเสี่ยงต่อโรคติดต่อระหว่างสัตว์และคน การติดเชื้อโรคทั่วไป การบาดเจ็บจากการถูกแมลง สัตว์ กัด ต่อย อันตรายในการใช้เครื่องมือ การขนส่ง การเจ็บป่วย ผื่นคันบาดเจ็บ การเจ็บป่วยที่เกิดจากการทำงานหนัก 3) ด้านปัจจัยทางกายภาพ หมายถึง การบริหารการทำงานในที่ที่มีอากาศร้อนทำให้อ่อนเพลีย เป็นลม และหมดสติ ทำงานขณะฝนตก ชื้นแฉะ หนาวจัด อาการปวดหลัง ปวดกล้ามเนื้อและอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้ออื่นๆ ต้องใช้ยาแก้ปวดในขณะทำงาน ภัยธรรมชาติ ฝนแล้ง น้ำท่วม โรคและศัตรูพืชระบาด 4) ด้านปัจจัยทางจิตวิทยาสังคม หมายถึง การบริหารความเครียดจากการประกอบอาชีพ ราคาผลผลิตตกต่ำ ผลผลิตต่อไร่ลดลง หนี้สิน ทำให้หมดหวังกับอาชีพเกษตรกร คุณภาพชีวิตไม่ดีขึ้น ที่ดินทำกินมีน้อย ค่าเช่าที่ดินทำกินแพงเกินจริง ไม่สามารถลดต้นทุนการผลิตต่อไร่ลงได้ ปุ๋ย ยา สารเคมี ค่าจ้างแรงงาน เครื่องจักรกลในการผลิต

ขั้นตอนที่ 2 การระบุความเสี่ยงด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึกเกษตรกรต้นแบบผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์

โดยเริ่มจากการคัดเลือกเกษตรกรต้นแบบ ดังรูปที่ 1 สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ กล่าวคือ วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์อาหารปลอดภัย เชียงราย ผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์ ซึ่งเพาะปลูกในพื้นที่ หมู่บ้านป่ากุ๊ก อาข่า ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย เลขทะเบียนวิสาหกิจ 6-57-01-03/1-0068 ดำเนินกิจกรรมเพาะปลูกผักสลัดอย่างพิถีพิถัน กว่า 6 ชนิด ได้แก่ 1) มินิคอส (Mini Cos Lettuce), 2) บัตเตอร์เฮด (Butterhead Lettuce), 3) กรีนโอ๊ค (Green Oak Lettuce), 4) เรดโอ๊ค (Red Oak Lettuce), 5) ผักกาดหอม (Green Coral Lettuce), และ 6) ฟิลเลย์ ไอซ์เบิร์ก (Frillice Ice Berg Lettuce) เป็นต้น โดยไม่ใช้สารเคมีใด ๆ ในทุกขั้นตอน ผ่านการรับรอง มาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มาตราฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practices: GAP) อีกทั้งยังผ่านการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม SDGsPGS ประเภทการรับรองอินทรีย์ (Organic) เพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงของอันตรายที่เกิดขึ้นในสินค้าเกษตรและอาหาร ซึ่งจะสามารถก่อให้เกิดความยั่งยืนทางการเกษตร สิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจภายใต้ตราสินค้า สวนผักจ่าขาว โดยในเบื้องต้นคณะผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์เชิงลึกถึงความเสี่ยงที่เกษตรกรต้องเผชิญ ตลอดจนสภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT Analysis) ของวิสาหกิจชุมชน



รูปที่ 1 เกษตรกรต้นแบบผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินความเสี่ยงในกิจกรรมตลอดโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์

โดยมีการกำหนดขอบเขตการวิเคราะห์หาจุดที่เกิดความเสี่ยงในการจัดหาปัจจัยการผลิตสำหรับการเพาะปลูกกระทั่งการจัดจำหน่าย โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เกณฑ์การประเมินของ ประสพโชค พูลปั้น และ สุภาวดี สายสนิท [3] Abdul Malik Sulaiman Said และ Naning Aranti Wessiani [23] ดังตาราง ที่ 2 ความหมายของระดับโอกาสในการเกิดความเสี่ยง ถึง ตารางที่ 3 ความหมายของระดับความรุนแรงเมื่อต้องเผชิญกับความเสี่ยง

ตารางที่ 2 ความหมายของระดับโอกาสในการเกิดความเสี่ยง

ระดับโอกาส	นิยามระดับโอกาส	คะแนน
หายาก (Insignificant)	ไม่น่าจะเกิดขึ้นและมีผลกระทบเล็กน้อยหรือเล็กน้อย	1
ไม่น่าเป็นไปได้ (Minor)	เป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้น แต่มีผลกระทบปานกลางถึงน้อย	2
ปานกลาง (Significant)	มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นและอาจส่งผลร้ายแรง	3
น่าจะเกิดขึ้น (Major)	เกือบจะแน่ใจว่าจะเกิดขึ้นและมีผลกระทบที่สำคัญ	4
เกือบจะแน่นอน (Severe)	เกิดขึ้นแน่นอนและมีผลกระทบอย่างใหญ่หลวง	5

ตารางที่ 3 ความหมายของระดับความรุนแรงเมื่อต้องเผชิญกับความเสี่ยง

ระดับความรุนแรง	นิยามระดับความรุนแรง	คะแนน
ไม่มีนัยสำคัญ (Rare)	จะไม่ทำให้เกิดปัญหาร้ายแรง เช่น การบาดเจ็บหรือการเจ็บป่วย	1
เล็กน้อย (Unlikely)	อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยได้ แต่ในระดับเล็กน้อยเท่านั้น	2
นัยสำคัญ (Moderate)	อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วย จนต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลหรืออาจถึงแก่ชีวิตได้	3
สำคัญ (Likely)	อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่ต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลหรืออาจถึงแก่ชีวิตได้	4
รุนแรง (Almost Certain)	อาจส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยร้ายแรงจนเสียชีวิตได้	5

ขั้นตอนที่ 4 การเสนอแนวทางการลดความเสี่ยงให้เกษตรกรผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์

ภายหลังจากทราบผลการประเมินความเสี่ยงในกิจกรรมตลอดโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ด้วยแบบประเมินความรุนแรงของความเสี่ยงและโอกาสเกิดความเสี่ยง จากนั้นจะได้ทำการจัดลำดับความเสี่ยงโดยปัจจัยเสี่ยงที่มีค่าคะแนน RPN (Risk Priority Number) สูง จะถือว่ามีลำดับความสำคัญของความเสี่ยงมาก จึงต้องมีการเสนอแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงที่เหมาะสม แนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงประกอบด้วย 1) การยอมรับความเสี่ยง (Risk Acceptance) เป็นการยอมรับความเสี่ยงที่เกิดขึ้น เนื่องจากไม่คุ้มค่าในการจัดการควบคุมหรือป้องกันความเสี่ยง 2) การลดหรือการควบคุมความเสี่ยง (Risk Reduction) เป็นการออกแบบวิธีการทำงานใหม่ เพื่อลดโอกาสและผลกระทบที่จะเกิดให้อยู่ในระดับที่องค์กรยอมรับได้ 3) การกระจายความเสี่ยง (Risk Sharing) เป็นการกระจายหรือถ่ายโอนความเสี่ยงให้ผู้อื่นช่วยแบ่งความรับผิดชอบไป 4) การเลี่ยงความเสี่ยง (Risk Avoidance) เป็นการจัดการความเสี่ยงที่อยู่ในระดับสูงมากและหน่วยงานไม่อาจยอมรับได้ จึงต้องตัดสินใจยกเลิกโครงการหรือกิจกรรมนั้น ดังแสดงใน ตารางที่ 4 การประเมินการป้องกันความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4 การประเมินการป้องกันความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

โอกาส / ความรุนแรง	Insignificant 1	Minor 2	Significant 3	Major 4	Severe 5
5 Almost Certain	Medium 5	High 10	Very high 15	Extreme 20	Extreme 25
4 Likely	Medium 4	Medium 8	High 12	Very high 16	Extreme 20
3 Moderate	Low 3	Medium 6	Medium 9	High 12	Very high 15
2 Unlikely	Very low 2	Low 4	Medium 6	Medium 8	High 10
1 Rare	Very low 1	Very low 2	Low 3	Medium 4	Medium 5

จากตารางที่ 4 ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงสูงที่สุด 25 คะแนน (Extreme 25) ได้จากระดับความรุนแรง ที่รุนแรง (Almost Certain) 5 คะแนน และระดับโอกาส ที่เกือบจะแน่นอน (Severe) 5 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงสูงที่สุด 20 คะแนน (Extreme) ได้จากระดับความรุนแรง ที่รุนแรง (Almost Certain) 5 คะแนน และระดับโอกาส ที่น่าจะเกิดขึ้น (Major) 4 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงสูงมาก 16 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่สำคัญ (Likely) 4 คะแนน และระดับโอกาส ที่น่าจะเกิดขึ้น (Major) 4 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงสูงมาก 15 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่รุนแรง (Almost Certain) 5 คะแนน และระดับโอกาส ที่ปานกลาง (Significant) 3 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงสูง 12 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่สำคัญ (Likely) 4 คะแนน และระดับโอกาส ที่ปานกลาง (Significant) 3 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงสูง 10 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่รุนแรง (Almost Certain) 5 คะแนน และระดับโอกาส ที่ไม่น่าเป็นไปได้ (Minor) 2 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงปานกลาง 9 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่นัยสำคัญ (Moderate) 3 คะแนน และระดับโอกาส ที่ปานกลาง (Significant) 3 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงปานกลาง 8 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่สำคัญ (Likely) 4 คะแนน และระดับโอกาส ที่ไม่น่าเป็นไปได้ (Minor) 2 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงปานกลาง 6 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่นัยสำคัญ (Moderate) 3 คะแนน และระดับโอกาส ที่ไม่น่าเป็นไปได้ (Minor) 2 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงปานกลาง 5 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่ไม่มีนัยสำคัญ (Rare) 1 คะแนน

และระดับโอกาส ที่เกือบจะแน่นอน (Severe) 5 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงปานกลาง 4 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่ไม่มีนัยสำคัญ (Rare) 1 คะแนน และระดับโอกาส ที่น่าจะเกิดขึ้น (Major) 4 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงต่ำ 4 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่เล็กน้อย (Unlikely) 2 คะแนน และระดับโอกาส ที่ไม่น่าเป็นไปได้ (Minor) 2 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงต่ำ 3 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่ไม่มีนัยสำคัญ (Rare) 1 คะแนน และระดับโอกาส ที่ปานกลาง (Significant) 3 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงต่ำ 2 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่เล็กน้อย (Unlikely) 2 คะแนน และระดับโอกาส ที่หายาก (Insignificant) 1 คะแนน ผลการประเมินที่ระดับความเสี่ยงต่ำ 1 คะแนน ได้จากระดับความรุนแรง ที่ไม่มีนัยสำคัญ (Rare) 1 คะแนน และระดับโอกาส ที่หายาก (Insignificant) 1 คะแนน

ผลการศึกษา

ความเสี่ยงที่เกษตรกรต้นแบบผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์ต้องพบเจอ

จากการสอบถามเกษตรกรต้นแบบ โดยได้ทำการสอบถามปัจจัยเสี่ยงและความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์ โดยระบุความเสี่ยงได้ ดังนี้ 1) ปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย การเกิดโรคระบาดในพืชและการถูกแมลงศัตรูพืชสร้างความเสียหาย 2) ปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพอากาศ ประกอบด้วย การเกิดภัยแล้ง การเกิดน้ำท่วม การเกิดพายุและลมกระโชกแรงและสภาพอากาศร้อนจัด ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพแรงงาน 3) ปัจจัยเสี่ยงด้านการตลาด ประกอบด้วย ภาวะสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ภาวะสินค้าล้นตลาด เกิดความผันผวนด้านราคา และประสบปัญหาการกดราคาของพ่อค้าคนกลาง 4) ปัจจัยเสี่ยงด้านการผลิต ประกอบด้วย มีปริมาณผลผลิตไม่สม่ำเสมอ เกิดความเสียหายจากแรงงานขาดทักษะ เครื่องมือและอุปกรณ์ทางการเกษตรไม่เพียงพอ ขาดทักษะและความชำนาญในกระบวนการผลิต จำนวนแรงงานไม่เพียงพอ 5) ปัจจัยเสี่ยงด้านโลจิสติกส์ ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขนส่งทำให้สินค้าเสียหาย ความไม่แน่นอนของเวลาที่ใช้ในการขนส่ง พื้นที่พักสินค้าไม่เพียงพอต่อการจัดเก็บ เกิดความเสียหายระหว่างการขนส่งและอุณหภูมิสูงส่งผลให้การจัดเก็บสินค้าเกษตรเสียหาย 6) ปัจจัยเสี่ยงด้านการแข่งขัน ประกอบด้วย การแข่งขันของคู่ค้าด้านราคา (ตัดราคา) ขาดการขายสินค้าในตลาดออนไลน์ ขาดการรักษาคุณภาพผลผลิตให้ได้มาตรฐานและไม่มีใบรับรองมาตราฐานการผลิต 7) ปัจจัยเสี่ยงด้านการบริหารองค์กร ประกอบด้วย การซื้อเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีคุณภาพ อุปกรณ์ช่วยในการผลิตไม่เพียงพอ ขาดการนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีช่วยภาคการเกษตร ขาดเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า ขาดการวางแผนการจัดการตลอดทั้งโซ่อุปทาน ขาดสภาพคล่อง/สินเชื่อดอกเบี้ยต่ำในการดำเนินกิจการ และขาดระบบบัญชีกลุ่ม/ขาดการวางแผนการจัดการทางการเงิน 8) ปัจจัยเสี่ยงด้านเศรษฐกิจและนโยบาย ประกอบด้วย ขาดการประกันราคาสินค้าทางการเกษตรของรัฐบาล นโยบายการช่วยเหลือเกษตรกรไม่เพียงพอต่อความต้องการ เกิดความไม่มั่นคงและปัญหาความขัดแย้งทางการเมืองและขาดเงินชดเชยช่วยเหลือเกษตรกร 9) ปัจจัยเสี่ยงด้านสุขภาพ ประกอบด้วย เกิดอันตรายจากการใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ พฤติกรรมการใช้สารเคมีที่ไม่ปลอดภัย การติดเชื้อโรคทั่วไป ในแปลงเกษตร เช่น โรคฉี่หนู การบาดเจ็บจากการถูกสัตว์มีพิษ/แมลง สัตว์ กัด ต่อย อันตรายในการใช้เครื่องมือไม่ถูกวิธี และเกิดความเครียดจากการประกอบอาชีพ

นอกจากนี้ ได้ศึกษาสถานการณ์ปัจจุบันของเกษตรกรต้นแบบถึง โซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ และวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT Analysis) ของเกษตรกรต้นแบบ ผลการวิเคราะห์ SWOT Analysis ของเกษตรกร โดยมี 1) จุดแข็ง คือ มีระบบ Internet of Things (IOT) ให้น้ำและให้ปุ๋ยอัจฉริยะ

สามารถทำการลดขยะให้เหลือศูนย์ได้ (Zero Waste) มีระบบเครือข่ายวิสาหกิจแข็งแกร่ง มีคู่ค้า (Partners) ขนส่งสินค้าออนไลน์ และเป็นเจ้าของแหล่งผลิตวัตถุที่ใช้ในการเพาะปลูก ได้ใบรับรองมาตรฐานการเพาะปลูก 2) จุดอ่อน คือ ชนิดของผักมีอย่างจำกัด เป็นแบรนใหม่ในตลาดธุรกิจออร์แกนิคต้องสร้างความน่าเชื่อถือและการรับรู้ของแบรนด์ จำนวนแรงงานไม่เพียงพอ และพื้นที่ปฏิบัติงาน (Station) ทำให้การทำงานไม่ต่อเนื่อง ไม่มีระบบตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability) 3) โอกาส คือ ค่านิยมของอาหารสุขภาพจากเกษตรปลอดภัยในกลุ่มวัยที่หลากหลาย กระแสการบริโภคมีแนวโน้มสูงขึ้น นโยบายภาครัฐให้การสนับสนุนกลุ่มเกษตรปลอดภัยมากขึ้น การเติบโตของอุตสาหกรรมเกษตรปลอดภัยมีแนวโน้มสูงขึ้น และการปรับตัวของเกษตรกรจากผลกระทบโควิด-19 ด้วยการขายออนไลน์ 4) อุปสรรค คือ สภาพอากาศและอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ฤดูที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผัก โรคและแมลง ภัยธรรมชาติ พื้นที่ต่ำทำให้น้ำท่วม ผู้บริโภคบางกลุ่มคิดว่าราคาผลผลิตสูงเกินไป

ผลการประเมินความเสี่ยงของเกษตรกรต้นแบบ

ภายหลังจากทราบผลการประเมินความเสี่ยงในกิจกรรมตลอดโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ด้วยแบบประเมินความรุนแรงของความเสี่ยงและโอกาสเกิดความเสี่ยง จากนั้นได้ทำการจัดลำดับความเสี่ยงโดยปัจจัยเสี่ยงที่มีค่าคะแนน RPN (Risk Priority Number) สูงจะถือว่ามีลำดับความสำคัญของความเสี่ยงมากจำเป็นต้องมีการเสนอแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงที่เหมาะสม โดยแสดงดัง ตารางที่ 5 ผลการประเมินการป้องกันความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 5 ผลการประเมินการป้องกันความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

โอกาส / ความรุนแรง	Insignificant 1	Minor 2	Significant 3	Major 4	Severe 5
5 Almost Certain	Medium 5	High 10	Very high 15	Extreme 20 1	Extreme 25
4 Likely	Medium 4 7	Medium 8 6	High 12 3	Very high 16	Extreme 20
3 Moderate	Low 3	Medium 6	Medium 9 4,5	High 12 2	Very high 15
2 Unlikely	Very low 2	Low 4	Medium 6	Medium 8	High 10
1 Rare	Very low 1 8,9	Very low 2	Low 3	Medium 4	Medium 5

จากตารางที่ 5 ผลการประเมินการป้องกันความเสี่ยงที่เกิดขึ้น หมายเลข 1 ปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อม ระดับความรุนแรง 5 คะแนน ระดับโอกาส 4 คะแนน ดังนั้น ผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อมที่เกษตรกรต้องเผชิญ อยู่ในระดับสูงที่สุด (Extreme) ที่ 20 คะแนน, หมายเลข 2 ปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพอากาศ ระดับความรุนแรงที่ 3 คะแนน ระดับโอกาส 4 คะแนน ดังนั้น ผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงด้านสภาพอากาศที่เกษตรกรต้องเผชิญ อยู่ในระดับสูง (High) ที่ 12 คะแนน, หมายเลข 3 ปัจจัยเสี่ยงด้านการตลาด ระดับความรุนแรงที่ 4 คะแนน ระดับโอกาส 3 คะแนน ดังนั้น ผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงด้านการตลาดที่เกษตรกรต้องเผชิญ อยู่ในระดับสูง (High) ที่ 12 คะแนน, หมายเลข 4 ปัจจัยเสี่ยงด้านการผลิต ระดับความรุนแรงที่ 3 คะแนน ระดับโอกาส 3 คะแนน ดังนั้น ผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงด้านการผลิตที่เกษตรกรต้องเผชิญ อยู่ในระดับ

ปานกลาง (Medium) ที่ 9 คะแนน, หมายเลข 5 ปัจจัยเสี่ยงด้านโลจิสติกส์ ระดับความรุนแรงที่ 3 คะแนน ระดับโอกาส 3 คะแนน ดังนั้น ผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงด้านโลจิสติกส์ที่เกษตรกรต้องเผชิญ อยู่ในระดับปานกลาง (Medium) ที่ 12 คะแนน, หมายเลข 6 ปัจจัยเสี่ยงด้านการแข่งขัน ระดับความรุนแรงที่ 4 คะแนน ระดับโอกาส 2 คะแนน ดังนั้น ผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงด้านการแข่งขันที่เกษตรกรต้องเผชิญ อยู่ในระดับปานกลาง (Medium) ที่ 8 คะแนน, หมายเลข 7 ปัจจัยเสี่ยงด้านการบริหารองค์กร ระดับความรุนแรงที่ 4 คะแนน ระดับโอกาส 1 คะแนน ดังนั้น ผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงด้านการบริหารองค์กร ที่เกษตรกรต้องเผชิญ อยู่ในระดับปานกลาง (Medium) ที่ 4 คะแนน, หมายเลข 8 ปัจจัยเสี่ยงด้านเศรษฐกิจและนโยบาย ระดับความรุนแรงที่ 1 คะแนน ระดับโอกาส 1 คะแนน ดังนั้น ผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงด้านเศรษฐกิจและนโยบาย ที่เกษตรกรต้องเผชิญ อยู่ในระดับต่ำที่สุด (Very low) ที่ 1 คะแนน, หมายเลข 9 ปัจจัยเสี่ยงด้านสุขภาพ ระดับความรุนแรงที่ 1 คะแนน ระดับโอกาส 1 คะแนน ดังนั้น ผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงด้านสุขภาพที่เกษตรกรต้องเผชิญ อยู่ในระดับต่ำที่สุด (Very low) ที่ 1 คะแนน

แนวทางการลดความเสี่ยงให้เกษตรผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์

ภายหลังจากทราบผลการประเมินความเสี่ยงในกิจกรรมตลอดโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ด้วยแบบประเมินความรุนแรงของความเสี่ยงและโอกาสเกิดความเสี่ยง และการจัดลำดับความเสี่ยงโดยปัจจัยเสี่ยงที่มีค่าคะแนน RPN (Risk Priority Number) สูงจะถือว่ามีลำดับความสำคัญของความเสี่ยงมาก จึงต้องมีการเสนอแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงที่เหมาะสม แนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงเมื่อปัจจัยเสี่ยงใด ๆ ได้คะแนนความเสี่ยง ประกอบด้วย 1) การยอมรับความเสี่ยง (Risk Acceptance) เมื่อได้คะแนนประเมิน 1-4 คะแนน เป็นการยอมรับความเสี่ยงที่เกิดขึ้น เนื่องจากไม่คุ้มค่า ในการจัดการควบคุมหรือป้องกันความเสี่ยง 2) การลดหรือการควบคุมความเสี่ยง (Risk Reduction) เมื่อได้คะแนนประเมิน 5-9 คะแนน เป็นการออกแบบวิธีการทำงานใหม่เพื่อลดโอกาสและผลกระทบที่จะเกิดให้อยู่ในระดับที่องค์กรยอมรับได้ 3) การกระจายความเสี่ยง (Risk Sharing) เมื่อได้คะแนนประเมิน 10-16 คะแนน เป็นการกระจายหรือถ่ายโอนความเสี่ยงให้ผู้อื่นช่วยแบ่งความรับผิดชอบ 4) การเลี่ยงความเสี่ยง (Risk Avoidance) เมื่อได้คะแนนประเมิน 17-25 คะแนน เป็นการจัดการความเสี่ยงที่อยู่ในระดับสูงมากและหน่วยงานไม่อาจยอมรับได้ จึงต้องตัดสินใจยกเลิกโครงการหรือกิจกรรมนั้น

เมื่อนำผลการประเมินมาพิจารณาร่วมกับแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยง ทั้ง 4 กลยุทธ์ในข้างต้น พบว่า การเลี่ยงความเสี่ยง เป็นกลยุทธ์ที่เหมาะสมในการลดความเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อม การกระจายความเสี่ยงเป็นกลยุทธ์ที่เหมาะสมในการลดความเสี่ยงด้านสภาพอากาศและด้านการตลาด การลดหรือการควบคุมความเสี่ยงเป็นกลยุทธ์ที่เหมาะสมในการลดความเสี่ยงด้านการผลิต ด้านโลจิสติกส์ และด้านการแข่งขัน การยอมรับความเสี่ยงเป็นกลยุทธ์ที่เหมาะสมในการลดความเสี่ยงด้านการบริหารองค์กร ด้านเศรษฐกิจและนโยบาย ด้านสุขภาพ

อภิปรายและสรุปผล

การวิจัยเรื่อง กลยุทธ์การบรรเทาความเสี่ยงในโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ สามารถสรุปและอภิปรายผลการวิจัยได้ ดังนี้ ความเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อม ซึ่งมีสาเหตุมาจาก การเกิดโรคและศัตรูของพืช การมีแมลงระบาดกัดกินพืช ส่งผลให้ผลผลิตมีจำนวนลดลงหรือผลผลิตเสียหาย โดยใช้กลยุทธ์การเลี่ยงความเสี่ยงซึ่งเหมาะสมในการลดความเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สาธิต อดิตโต (2556) [24] พบว่า ความเสี่ยงจากโรคแมลงที่มีผลกระทบต่อพืชและสัตว์ในฟาร์ม

เป็นความเสี่ยงที่มีความสำคัญกับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในเขตชลประทาน ความเสี่ยงด้านสภาพอากาศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากสภาพอากาศที่แปรปรวน ปัญหาเรื่องสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนเป็นอุปสรรคต่อการประกอบธุรกิจอย่างมาก ซึ่งสภาพดิน ฟ้า อากาศ และสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยหลักในการผลิต เมื่อขาดน้ำจึงทำให้ส่งผลกระทบต่าง ๆ โดยใช้กลยุทธ์การกระจายความเสี่ยงซึ่งเหมาะสมในการลดความเสี่ยงด้านสภาพอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยเรื่องห่วงโซ่อุปทานมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออก : กรณีศึกษาจังหวัดพิษณุโลกของ นงค์นุช บุญกล่ำ (2559) [25] ที่ชี้ให้เห็นว่าปัญหาด้านสภาวะอากาศเป็นปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ ส่งผลให้ผลผลิตมีปริมาณลดลงอันนำมาสู่รายได้ที่ลดลงของผู้ผลิตด้วย

ความเสี่ยงด้านการตลาด ซึ่งมีสาเหตุมาจาก ความต้องการของลูกค้าในการบริโภค ด้านความไม่แน่นอนของราคาตลาด และการกดราคาของพ่อค้าคนกลาง โดยใช้กลยุทธ์การกระจายความเสี่ยงซึ่งเหมาะสมในการลดความเสี่ยงด้านการตลาด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ วิภา สร้อยแสง (2558) [26] พบว่า ปัญหาเรื่องสภาวะเศรษฐกิจที่ผันผวนทำให้ลูกค้าที่เข้ามาซื้อขาย ลดอัตรากำลังในการซื้อน้อยลง โดยลูกค้ามีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการซื้อตามช่วงระยะเวลา เช่น ช่วงเทศกาลหรือช่วงใกล้เปิดเทอมก็จะลดหรือชะลอการซื้อสำหรับ ความเสี่ยงด้านการผลิต ซึ่งมีสาเหตุมาจากแรงงานที่มีไม่เพียงพอต่อการผลิต ส่งผลให้ผลผลิตไม่สม่ำเสมอ ปริมาณผลผลิตในการปลูกของทุกปีมีปริมาณไม่เท่ากัน ส่งผลทำให้มีผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการและเกิดความเสียหายในกระบวนการผลิต ความเสี่ยงด้านด้านโลจิสติกส์ ซึ่งมีสาเหตุมาจาก เกษตรกรไม่ได้มีการขนส่งสินค้าด้วยตนเอง และการเกิดความเสียหายระหว่างการขนส่งปัญหาที่เกิดจากพนักงานขับรถ รถที่ใช้บรรทุก เส้นทาง เป็นต้น ความเสี่ยงคลังสินค้า เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการจัดเก็บ การจัดเก็บของเน่าเสียง่ายในรถรับส่งเพื่อการส่งออกหรือจำหน่ายนั้น ไม่ได้ถูกเก็บไว้ในอุณหภูมิที่เหมาะสม และด้านการแข่งขัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการแข่งขันของผู้ประกอบการ เครดิตทางการค้า การแข่งขันในด้านการตลาด การโฆษณา รวมไปถึงการรักษาคุณภาพผลผลิตให้ได้มาตรฐาน การสร้างความน่าเชื่อถือให้กับธุรกิจเพื่อการส่งออกของตนเองเป็นความน่าเชื่อถือของผู้ประกอบการกับผู้บริโภค โดยทั้ง 3 ความเสี่ยงที่กล่าวมาได้ใช้กลยุทธ์การลดหรือการควบคุมความเสี่ยงซึ่งเหมาะสมในการลดความเสี่ยง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษา การจัดการความเสี่ยงของการส่งออกมังคุดจากจังหวัดจันทบุรี ไปยังประเทศจีน กฤติยา เกิดผล (2565) [5] พบว่า ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในโซ่อุปทานมังคุดเพื่อการส่งออกมังคุดไปประเทศจีน มีจำนวน 5 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านสิ่งแวดล้อม 2) ด้านการผลิต 3) ด้านการขนส่ง 4) ด้านการตลาด และ 5) ด้านการแข่งขัน ประกอบด้วย 15 ปัจจัย แล้วนำมาประเมินความเสี่ยงที่สูงที่สุด คือ 1) ความต้องการของลูกค้าชาวจีน 2) ความไม่แน่นอนของราคามังคุด และ 3) นโยบายภาครัฐและภาคเอกชน

นอกจากนั้นได้ทำการแนะนำแนวทางในการลดความเสี่ยงให้กับเกษตรกรต้นแบบ ด้วยผลการประเมินปัจจัยเสี่ยงของเกษตรกร พบว่า 1) ด้านสภาพแวดล้อม พบความเสี่ยงที่เกิดจากแมลงกัดกินพืช ได้คะแนนประเมินที่ 20 คะแนน ซึ่งตรงกับแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงด้วยการเลี่ยงความเสี่ยง จึงได้นำเสนอแนวทางการลดความเสี่ยงด้วยการปรับปรุงน้ำยาไล่แมลงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น 2) ด้านสภาพอากาศ พบความเสี่ยงที่เกิดจากลมกรรโชกแรง ได้คะแนนประเมินที่ 12 คะแนน ซึ่งตรงกับแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงด้วยการกระจายความเสี่ยง เป็นการกระจายหรือถ่ายโอนความเสี่ยงให้ผู้อื่นช่วยแบ่งความรับผิดชอบไป จึงได้นำเสนอแนวทางการลดความเสี่ยงด้วยการหาผู้มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงสร้างของหลังคาพลาสติกมาทำการแก้ไขหรือดูจุดที่บกพร่องของโครงหลังคา 3) ด้านการตลาด พบความเสี่ยงที่เกิดจากไม่มีการเก็บข้อมูลการขาย ได้คะแนนประเมินที่ 12 คะแนน ซึ่งตรงกับแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงด้วยการกระจายความเสี่ยง เป็นการกระจายหรือถ่ายโอนความเสี่ยงให้ผู้อื่นช่วยแบ่งความรับผิดชอบไป

จึงได้นำเสนอแนวทางการลดความเสี่ยงด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลการขายผลผลิตที่ขายได้ในแต่ละวันและทำการพยากรณ์การขาย 4) ด้านการผลิต พบความเสี่ยงที่เกิดจากแรงงานไม่เพียงพอต่อการผลิต ได้คะแนนประเมินที่ 9 คะแนน ซึ่งตรงกับแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงด้วยการลดหรือการควบคุมความเสี่ยง เป็นการออกแบบวิธีการทำงานใหม่เพื่อลดโอกาสและผลกระทบที่จะเกิดให้อยู่ในระดับที่องค์กรยอมรับได้ จึงได้นำเสนอแนวทางการลดความเสี่ยงด้วยการ เพิ่มแรงงานการผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อการผลิต 5) ด้านโลจิสติกส์ พบความเสี่ยงที่เกิดจากด้านขนส่งสินค้าได้ไม่ตรงเวลา ได้คะแนนประเมินที่ 9 คะแนน ซึ่งตรงกับแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงด้วยการลดหรือการควบคุมความเสี่ยง เป็นการออกแบบวิธีการทำงานใหม่เพื่อลดโอกาสและผลกระทบที่จะเกิดให้อยู่ในระดับที่องค์กรยอมรับได้ จึงได้นำเสนอแนวทางการลดความเสี่ยงด้วยการหาคู่ค้า (Partners) ด้านการขนส่ง เพื่อให้ส่งถึงผู้บริโภคได้ตรงเวลามากขึ้น 6) ด้านการแข่งขัน พบความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการแข่งขันทางการค้าที่เพิ่มสูงขึ้น ได้คะแนนประเมินที่ 8 คะแนน ซึ่งตรงกับแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงด้วยการลดหรือการควบคุมความเสี่ยง เป็นการออกแบบวิธีการทำงานใหม่เพื่อลดโอกาสและผลกระทบที่จะเกิดให้อยู่ในระดับที่องค์กรยอมรับได้ จึงได้นำเสนอแนวทางการลดความเสี่ยงด้วยการโฆษณาทางออนไลน์และมีแพลตฟอร์มทางออนไลน์ เช่น ช้อปปี้ (Shopee), ลาซาด้า (Lazada), เฟสบุ๊ค (Facebook) เพื่อการเข้าถึงลูกค้ามากขึ้น 7) ด้านการบริหารองค์กร ได้คะแนนประเมินที่ 4 คะแนน ซึ่งตรงกับแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงด้วยการยอมรับความเสี่ยง เป็นการยอมรับความเสี่ยงที่เกิดขึ้น เนื่องจากไม่คุ้มค่า ในการจัดการควบคุมหรือป้องกันความเสี่ยง จึงไม่มีการนำเสนอแนวทางใด ๆ ให้แก่เกษตรกร 8) ด้านเศรษฐกิจและนโยบาย ได้คะแนนประเมินที่ 1 คะแนน ซึ่งตรงกับแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงด้วยการยอมรับความเสี่ยง เป็นการยอมรับความเสี่ยงที่เกิดขึ้น เนื่องจากไม่คุ้มค่า ในการจัดการควบคุมหรือป้องกันความเสี่ยง จึงไม่มีการนำเสนอแนวทางใด ๆ ให้แก่เกษตรกร 9) ด้านสุขภาพ ได้คะแนนประเมินที่ 1 คะแนน ซึ่งตรงกับแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงด้วยการยอมรับความเสี่ยง ซึ่งเป็นการยอมรับความเสี่ยงที่เกิดขึ้น เนื่องจากไม่คุ้มค่า ในการจัดการควบคุมหรือป้องกันความเสี่ยง จึงไม่มีการนำเสนอแนวทางใด ๆ ให้แก่เกษตรกร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์อาหารปลอดภัย เชียงราย ผู้ปลูกผักสลัดอินทรีย์ ซึ่งเพาะปลูกในพื้นที่ หมู่บ้านป่ากุ๊ก ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตในโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ เพื่อประเมินความเสี่ยงในกิจกรรมตลอดโซ่อุปทานผักสลัดอินทรีย์ครั้งนี้ อีกทั้ง ขอขอบคุณ อาจารย์ หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ แขนงวิศวกรรมโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย เป็นอย่างยิ่งที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ จนกระทั่งการศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กระทรวงสาธารณสุข [อินเตอร์เน็ต]. 2561; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 1 มกราคม 2566. ได้จาก https://dmsic.moph.go.th/index/detail/7246
2. เครือวัลย์ พรมลักษณ์. [อินเตอร์เน็ต]. 2562; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 1 มกราคม 2566. ได้จาก https://www.nfi.or.th/datas/files/Nov-2562-10Trend.pdf
3. ประสพ โชคพูลปั้น, สุภาวดี สายสนิท. การวิเคราะห์ความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานทุเรียน กรณีศึกษา สวนยายละมัย. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 4 และ

การประชุมระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1 การยกระดับงานวิจัยเพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมอย่างยั่งยืน 2562; 1–10.

4. เฉลิมพล พุ่มพวง, และ ฐิติมา วงศ์อินตา. การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานปลาสวยงามของจังหวัดราชบุรี. วารสารอิเล็กทรอนิกส์ Veridian มหาวิทยาลัยศิลปากร (มนุษยศาสตร์สังคมศาสตร์และศิลปะ) 2562; 12(1), 679–697.
5. กฤติยา เกิดผล. การจัดการความเสี่ยงของโซ่อุปทานการส่งออกมังคุดในภาคตะวันออกไปยัง ประเทศจีน. วารสารสหศาสตร์ศรีปทุมชลบุรี 2565; 8(1), 99–112.
6. ฐิติมา วงศ์อินตา. การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของโซ่อุปทานทุเรียนเพื่อการส่งออกในพื้นที่ จังหวัด จันทบุรี. วารสารปัญญาภิวัฒน์ 2565; 14(1), 219–237.
7. จินตนา อมรสวนสิน. ความเสี่ยงด้านสุขภาพของชุมชนจากการตกค้างของสารเคมีทาง การเกษตรในนาข้าวจังหวัดชัยนาท. วารสารพัฒนาสังคม 2562; 21(1), 115–128.
8. พงศ์ประสิทธิ์ อ่อนจันทร์. การบริหารความเสี่ยงในกระบวนการทำนาของเกษตรกร หมู่ที่ 3 ตำบลท่างิ้ว อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารการบริหารนิติบุคคลและนวัตกรรมท้องถิ่น 2564; 7(6), 109–123.
9. เสาวนีย์ สมันต์ตรีพร, ชูชิต ชายทวีป, รุจิรวัทน์ ลำตาล. การบริหารความเสี่ยงและ อันตรายของเกษตรกรผู้ปลูกพืชไร่ จังหวัดนครสวรรค์. วารสารสันติศึกษาปริทรรศน์มจร 2563; 8(1), 268–278.
10. ประมวล วุฒิพรพงษ์. การวิเคราะห์การรับรู้ความเสี่ยงของเกษตรกร ในโซ่อุปทาน อุตสาหกรรมยางพารา กรณีศึกษา อุตสาหกรรมยางพารา ในเขตอำเภอดอยหลวง จังหวัดเชียงราย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยกรุงเทพ; 2561.
11. สุทธิพงษ์ อุตสาหะพงษ์สิน. การประยุกต์ใช้แผนผังวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อพัฒนา โปรแกรมการจัดการความเสี่ยง จากการทำงานของแรงงานกรีดยางพารา โดยชุมชนมีส่วนร่วม. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2560.
12. วาสนา ฤทธิ์ไธสง, ณัฏฐพร อุทัยมงคล, และ ชลธิชา รักใคร่. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2650 สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. กรุงเทพฯ: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ; 2560.
13. ปรีดาพร อารักษ์สมบูรณ์, ณัฐพล บัวเปลี่ยนสี, วัฒนา พิลาจันทร์. การบริหารจัดการฟาร์มเพื่อบริหารความเสี่ยงในการผลิตมะม่วงของเกษตรกร ในจังหวัดฉะเชิงเทรา. วารสารวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ (สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์) 2562; 6(1), 370–386.
14. ลักษณีย์ บุญขาว. การประเมินความเสี่ยงสุขภาพจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ของเกษตรกรปลูกผักพื้นบ้าน ตำบลบุ่งหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) 2565; 14(28), 169–180.
15. ฉัตรฤดี จองสุรียภาส, ธนพร จนาพิระกนิฏฐ์. ความเสี่ยงในการส่งออกผลไม้แปรรูปไป ยังตลาดประเทศอินเดียของ SME ไทย. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2562; 22(1), 46–58.
16. กาญจนวรรณ วินิจพิทยากุล และ ชมพูนุช พ่วงทรัพย์สิน. ปัจจัยเสี่ยงในโซ่อุปทานสินค้าเกษตร. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 2565; 15(2), 29–3.
17 Yeboah, Nyamah Edmond, et al. Agricultural supply chain risk identification–a case finding from Ghana. Journal of management and strategy 2014; 5(2), 31.

18. Bo YANG, Han-Meng SU. A Review of Risk Identification of Multinational Agricultural Products Supply Chain. In: Proceeding of the 5th International Conference on Management Science and Management Innovation (MSMI). 2018.
19. Minghui Dai, Libo Liu. Risk assessment of agricultural supermarket supply chain in big data environment. Sustainable Computing: Informatics and Systems 2020; 28, 100420.
20. Bunhorng Rath, Thitima Wonginta, Chompoonut Amchang. Risk analysis of the rice supply chain in Cambodia. Journal of International Logistics and Trade 2022; 20(2), 58-77.
21. Kanishkan, Sethupathi, Barath. Rapid agricultural supply chain risk assessment: A conceptual framework. Agriculture and rural development discussion paper 2020; 47(1), 1-64.
22. A Profita, Kuncoro. Integrating supply chain risk management in agriculture: A case study of East Kalimantan granary. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2022; 30(4), 54-71.
23. Said, A. M. S., & Wessiani, N. A. Internal Supply Chain Risk Management Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Value at Risk (VaR) (Case Study in PT Agro Muda Berkarya). Jurnal Teknik ITS 2021; 10(2), C138-C145.
24. สาธิต อดิตโต. การเปรียบเทียบการรับรู้ความเสี่ยงทางและการจัดการความเสี่ยงทางการเกษตรของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในจังหวัดขอนแก่น. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น 2556; 41(3), 285-294.
25. นงค์นุช บุญกล่ำ. ห่วงโซ่อุปทานมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออก: กรณีศึกษาจังหวัดพิษณุโลก. งานประชุมวิชาการนเรศวรวิจัย ครั้งที่ 12 มหาวิทยาลัยนเรศวร 2559 ; 1-13.
26. วิภา สร้อยแสง. รูปแบบและกลยุทธ์ทางการตลาดในการดำเนินธุรกิจปลาสวยงามของผู้ประกอบการปลาสวยงาม ในอำเภอ บ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี. Diss. มหาวิทยาลัย ศิลปากร 2558; 1-90.

การศึกษาคุณสมบัติของตอซังข้าวโพดเพื่อใช้เป็นวัสดุกันกระแทกโดยการเทียบเคียงสมรรถนะ

Study of the properties of corn stubble for use as a cushioning material by benchmarking its performance

กำพล หว่างลี้สกุล[1], จักรพันธ์ คำวัง[1], ธรรมนูญ ปันทะนะ[1*], พงศกร อินสาคร[1] และ หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด[1]

Kamphol Wanglisakul[1], Jakkraphan Khamwang[1], Thammanoon Pantana[1*], Pongsakorn insakhorn[1] and Harutairat jantakard[1]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของผักตบชวาซึ่งนิยมใช้ในปัจจุบันกับตอซังข้าวโพดเพื่อใช้เป็นวัสดุกันกระแทกโดยวิธีการเทียบเคียงสมรรถนะ ซึ่งได้กำหนดกระบวนการศึกษาไว้ 4 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนที่ 1) การกำหนดคุณลักษณะของวัสดุกันกระแทกโดยมีความหนา 1–1.5 เซนติเมตร ความยาว 4–5 เซนติเมตร และความชื้น 10–14 เปอร์เซ็นต์ ขั้นตอนที่ 2) การผลิตวัสดุกันกระแทกที่มาจากตอซังข้าวโพด ขั้นตอนที่ 3) การกำหนดตัวอย่างทดสอบได้แก่ แก้วเซรามิคที่มีขนาดความหนา 0.3 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความสูง 6 เซนติเมตร และไข่ไก่ที่มีขนาดเบอร์ 3 และขั้นตอนที่ 4) การทดสอบสมรรถนะได้แก่ 4.1) การรับแรงกระแทก 4.2) การรับแรงสั่นสะเทือน 4.3) การรับแรงกดทับ 4.4) การหดตัวและคืนตัว และ 4.5) การเกิดเชื้อรา ผลจากการทดสอบปรากฏว่า ตอซังข้าวโพดมีสมรรถนะที่เหนือกว่าผักตบชวาอยู่ 2 ด้านได้แก่ ด้านการรับแรงกดทับ และด้านการเกิดเชื้อรา ส่วนด้าน การรับแรงกระแทก ด้านการรับแรงสั่นสะเทือน และด้านการหดตัวและคืนตัว มีสมรรถนะน้อยกว่าผักตบชวา การศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาเบื้องต้นที่ยังไม่อิงกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้องเช่น มอก., ISO และ ASTM ดังนั้นการต่อยอดสู่การนำไปใช้งานทั่วไปหรือการใช้งานเชิงพาณิชย์ต้องทดสอบกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและให้สอดคล้องกับมาตรฐานหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องต่อไป

คำสำคัญ: วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, ตอซังข้าวโพด, วัสดุกันกระแทก, การเทียบเคียงสมรรถนะ

[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงราย 57120

[1] Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Rai, 57120

*Corresponding author: noonpantana45@gmail.com

Abstract

This study compared the properties of common water hyacinth and corn porridge. Using performance Benchmarking method as buffer material, four research steps were determined: Step 1) Measure the characteristics of a buffer material with a thickness of 1–1. 5 cm, 4–5 cm in length, and 10–14% in humidity; Step 2) producing corn and soybean derived buffer materials; and Step 3 The determination of the test sample includes 3 cm, size and diameter of ceramic glass with a thickness of 0.5 cm, 6 cm in height, and eggs No.3 and Step 4 the performance tests 4.1) Drop Test 4.2) Vibration Test 4.3) Compression Test 4.4) Shrinkage and Recovery 5) Mold Test The experimental results show that corn cucumber is superior to cucumber in two aspects, namely compactness and fungi, impact and vibration. Moreover, it is not as good as water hyacinth in contraction and recovery, and this kind of research has not been initially carried out Have relevant standards, such as external., ISO and ASTM, therefore, for general or commercial use, it must be tested with relevant departments and continue to comply with relevant standards or laws.

Keywords: Agricultural waste materials, Corn stubble, Cushioning material, Benchmarking

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยมีการปลูกพืชทางการเกษตรจำนวนมาก สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2566) ที่ได้กล่าวไว้ว่าประเทศไทยได้มีการปลูกพืชทางการเกษตรทั้งหมด 14 ชนิด โดยแบ่งเป็นพืชทางการเกษตรที่หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตเสร็จแล้วเหลือเศษซากทางการเกษตรทิ้งไว้ 7 ชนิด ได้แก่ 1) ข้าว 2) มันสำปะหลัง 3) อ้อยโรงงาน 4) มันฝรั่ง 5) ข้าวโพด 6) สับปะรดโรงงาน และ 7) ถั่วเหลือง [1] โดยเศษซาก ทางการเกษตรที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้หรือใช้ประโยชน์ได้น้อยที่สุดคือข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากข้าวโพดทั้งต้นสามารถใช้ประโยชน์ได้เพียงแค่เมล็ดข้าวโพด ส่วนที่เหลือจะถูกทิ้งเป็นเศษซากทางการเกษตร และกระบวนการกำจัดเศษซากทางการเกษตรที่เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้คือการเผาในที่โล่งแจ้ง เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าวิธีอื่น ส่วนวิธีการกำจัดเศษซากทางการเกษตรที่นอกเหนือจากวิธีการเผาในที่โล่งแจ้งได้แก่ 1) การไถกลบ 2) การนำมาทำปุ๋ยหมัก 3) การนำมาทำอาหารสัตว์ แต่วิธีกำจัดเศษซากทางการเกษตรดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดสูงและใช้ประโยชน์ได้น้อย จึงทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่นิยมใช้วิธีเหล่านี้ โดยหลังจากได้ไปศึกษาพบผ่านช่องทางอินเทอร์เน็ตในหลายๆแหล่งพบว่า ตอซังข้าวโพดสามารถใช้ประโยชน์ได้มากมายเช่น การนำไปทำปุ๋ยด้วยวิธีการหมัก หรือการนำไปหมักเพื่อให้วัวกิน งานศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาการใช้ประโยชน์จากตอซังข้าวโพดเพื่อลดการเผาในที่โล่งแจ้งและเพิ่มมูลค่าให้กับเศษซากทางการเกษตร เนื่องจากการเผาเศษซากทางการเกษตรก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก ที่นำไปสู่การเกิด PM 2.5 สอดคล้องกับข้อมูลของ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2565) ที่ได้ให้ข้อมูลค่าเฉลี่ย PM 2.5 ในแต่ละปีของประเทศไทย [2] ดังตารางที่ 1 ซึ่งส่งผลทำให้เกิดผลกระทบทั้งในด้านสาธารณสุข คือประชาชนป่วยเป็นโรคระบบทางเดินหายใจ ด้านสิ่งแวดล้อม คือ ธรรมชาติเกิดความเสียหาย และด้านการท่องเที่ยว ที่นักท่องเที่ยวลดน้อยลง เนื่องจากปัญหาของฝุ่น PM 2.5

ตารางที่ 1 แสดงผลกระทบของ PM 2.5

ผลกระทบ PM 2.5	ปี				
	2565	2564	2563	2562	2561
ค่าเฉลี่ย PM 2.5 ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม (มคก./ลบ.ม.)	366	353	152	124	104
ยอดผู้ป่วยเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจในภาคเหนือ (คน)	70,031	79,165	79,682	78,986	78,104
งบประมาณเที่ใช้เกี่ยวกับ PM 2.5 (ล้านบาท)	74.27	79.67	76.00	74.81	74.28
จำนวนนักท่องเที่ยวภาคเหนือ (ล้านบาท)	12.78	20.48	36.01	35.34	33.82

ที่มา กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2565) , กระทรวงสาธารณสุข (2565), กรมบัญชีกลาง (2565) , กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา (2566)

ซึ่งข้อมูลจากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ย PM 2.5 ในปี 2565 ในภาคเหนือในช่วงที่ห้ามเผา หรือในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม จะอยู่ที่ 37.8 มคก./ลบ.ม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2565) ได้กำหนดมาตฐาน PM 2.5 ในปี 2565 จะต้องไม่เกิน 15 มคก./ลบ.ม. [2] และเมื่อดูยอดผู้ป่วยเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจในภาคเหนือที่ได้ข้อมูลมาจาก กระทรวงสาธารณสุข (2565) ในปี 2565 ที่มีจำนวน 70,031 คน โดยเมื่อได้เทียบกับจำนวนผู้ป่วยในปี 2561 ที่มีจำนวนลดลงเพียง 8,073 ราย ซึ่งถือว่าลดลงเพียงนิดเดียวเมื่อเทียบกับจำนวนทั้งหมด และที่สำคัญ ข้อมูลจาก กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา (2566) ได้บอกจำนวนนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวภาคเหนือ ในปี 2565 ที่มีเพียง 12.78 ล้านคน ซึ่งมีจำนวนลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับปี 2561 มีจำนวนนักท่องเที่ยว 33.82 ล้านคน ลดลงถึง 21.04 ล้านคน ซึ่งผลกระทบเหล่านี้มาจาก PM 2.5 โดยการให้ข้อมูลที่มาจากการรายงานของ ปิยธิดา สนองค์ (2566) ที่ได้ให้ข้อมูลของแหล่งกำเนิดของ PM 2.5 มาจากการเผาในที่โล่งแจ้ง 54% อุตสาหกรรม 17% การขนส่ง 13% การผลิตไฟฟ้า 8% ที่อยู่อาศัย 7% จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิด PM 2.5 มากที่สุด มาจากการเผาในที่โล่งแจ้ง ซึ่งมีสัดส่วนการเผาในที่โล่งแจ้งสูงถึง 54% จากการวิเคราะห์พบว่า พืชที่มีการปลูกและมีการเผาในที่โล่งแจ้งมากที่สุดคือข้าวโพด ซึ่งอ้างอิงได้จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2566) ที่ได้บอกจำนวนการเพาะปลูกข้าวโพดในประเทศไทย [1] ดังตารางที่ 2 พบว่าในประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกข้าวโพดในปี 2565 จำนวน 6.82 ล้านไร่ และเมื่อดูย้อนหลังไปในปี 2561 ประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกข้าวโพด จำนวน 6.92 ล้านไร่ ซึ่งข้าวโพดที่นิยมปลูกคือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากมีการปลูกและเก็บเกี่ยวที่สะดวกสบาย แต่ยังได้กำไรจากการปลูกมาก ดังตางรางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณการปลูกข้าวโพดในประเทศไทย

พื้นที่เพาะปลูก	ปริมาณเนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)				
	2564/2565	2563/2564	2562/2563	2561/2562	2560/2561
ทั้งประเทศ	6,824,580	7,082,788	7,024,503	6,929,904	6,929,904
ภาคเหนือ	4,674,184	4,880,951	4,716,264	4,682,925	4,682,925
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1,237,791	1,284,169	1,450,786	1,469,117	1,469,117
ภาคกลาง	912,605	917,668	857,453	777,862	777,862

ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2566)

จากตารางแสดงถึงจำนวนการปลูกข้าวโพดของภาคเหนือในปี 2565 อยู่ที่ 4.67 ล้านไร่ จะทำให้เกิดเศษซากทางการเกษตรอยู่ที่ 4.2 ล้านตัน อ้างอิงจากงานศึกษาของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้ข้อมูลว่าข้าวโพด 100,000 ไร่ จะทำให้เกิดเศษซากทางการเกษตร 90,000 ตัน หากเศษซากทางการเกษตรที่มีจำนวน 4.2 ล้านตัน มีการเผาจะส่งผลให้เกิดฝุ่น PM2.5 จำนวนมาก คณะผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการนำเศษซากทางการเกษตรของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มาสร้างมูลค่าเพิ่มเป็นวัสดุกันกระแทก เนื่องจากตอซังข้าวโพดมีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาเป็นวัสดุกันกระแทก โดยแกนในต้นข้าวโพดมีลักษณะเหมือนฟองน้ำ มีคุณสมบัติในการดูดซับแรงกระแทกได้ดี ไม่แตกหักง่ายเหมาะแก่การนำมาทำเป็นวัสดุกันกระแทกสำหรับการขนส่งในงานโลจิสติกส์ เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด 19 ทำให้ประชาชนส่วนใหญ่นิยมซื้อขายออนไลน์ สาเหตุมาจากไม่สะดวกต่อการเดินทางไปซื้อสินค้าภายนอก โดยดูได้จากข้อมูลของกระทรวงดิจิทัล (2565) ที่ให้ข้อมูลอัตราการเติบโตของธุรกิจ E-Commerce ในปี พ.ศ. 2560 มีมูลค่าอยู่ที่ 2.76 ล้านบาท และในปี พ.ศ 2561 อัตราการเติบโตของธุรกิจ E-Commerce อยู่ที่ 3.76 ล้านบาท จนถึงในปี พ.ศ 2564 อัตราการเติบโตของธุรกิจ E-Commerce อยู่ที่ 4.01 ล้านบาท จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเติบโตของธุรกิจ E-Commerce เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สิ่งที่ตามมาคือการขนส่งที่มากและการใช้วัสดุกันกระแทกที่มากขึ้นส่งผลให้การขนส่งสินค้าจากร้านค้าถึงมือผู้บริโภคหรือลูกค้าผ่านบริษัทขนส่งจึงต้องมีวิธีการบรรจุสินค้าลงภาชนะบรรจุหรือกล่องพัสดุและต้องบรรจุวัสดุกันกระแทก เพื่อป้องกันไม่ให้สินค้าเกิดความสียหาย ในปัจจุบันวัสดุกันกระแทกมีหลากหลายแบบเช่น เม็ดโฟม ถุงลมกันกระแทก กระดาษคราฟท์ กระดาษทิชชู่ โฟม EPE ลังไม้ กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษลูกฟูก และ ซองกันกระแทก เป็นต้น ตลอดจนการนำวัสดุธรรมชาติมาพัฒนาเป็นวัสดุกันกระแทก ซึ่งในปัจจุบันได้รับความนิยม โดยเฉพาะกลุ่มคนที่รักษ์โลก ซึ่งหนึ่งในวัสดุกันกระแทกจากธรรมชาติที่นิยมใช้งานคือ วัสดุกันกระแทกจากผักตบชวา ลักษณะของผักตบชวานั้นเป็นวัชพืชทางน้ำชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นปล้องมีรูตรงกลางคล้ายฟองน้ำ ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ทำให้สามารถรับแรงกระแทกได้ดี เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของตอซังข้าวโพดพบว่ามีลักษณะคล้ายกับผักตบชวา

ดังนั้นคณะผู้ศึกษาจึงสนใจการศึกษาคุณสมบัติของตอซังข้าวโพด ว่าสามารถใช้เป็นวัสดุกันกระแทกได้หรือไม่ ภายใต้การทดสอบโดยการเทียบเคียงสมรรถนะ (Benchmarking) ระหว่างตอซังข้าวโพดกับวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวา ซึ่งได้กำหนดคุณสมบัติที่ใช้ศึกษาอยู่ทั้งหมดอยู่ทั้งหมด 5 ด้าน 1) การรับแรงกระแทก (Drop Test) 2) การรับแรงสั่นสะเทือน (Vibration Test) 3) การรับแรงกดทับ (Compression Test) 4) การหดตัวและคืนตัว (Shrinkage and Recovery Test) และ 5) การเกิดเชื้อรา (Mold Test)

วิธีการศึกษา

การศึกษาคุณสมบัติของตอซังข้าวโพด เพื่อใช้เป็นวัสดุกันกระแทกด้วยกระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะ ซึ่งวิธีการในการทดสอบและเปรียบเทียบระหว่างสิ่งที่มีลักษณะคล้ายกัน เพื่อสามารถบอกผลได้ว่าสิ่งไหนมีประสิทธิภาพดีกว่ากัน เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้ ไปปรับปรุงให้ดีมากยิ่งขึ้น แต่จำเป็นต้องหาวัสดุต้นแบบที่จะใช้ทดสอบอ้างอิงเพื่อวัดหรือเปรียบเทียบความสามารถ ซึ่งผู้ศึกษาได้กำหนดกระบวนการศึกษาไว้ 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1) การกำหนดคุณลักษณะของวัสดุกันกระแทก ได้แก่ ขนาดความหนาของชิ้นงานอยู่ระหว่าง 1–1.5 เซนติเมตร ขนาดความยาวอยู่ระหว่าง 4–5 เซนติเมตร และความชื้นอยู่ระหวาง 10–14 เปอร์เซ็นต์ ขั้นตอนที่ 2) การผลิตวัสดุกันกระแทกโดยการผลิตชิ้นงานจากตอซังข้าวโพดผ่านกระบวนตากแห้งและปอกเปลือกออก จากนั้นตัดให้ได้ขนาดตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรก ขั้นตอนที่ 3) การกำหนดตัวอย่างทดสอบกับวัสดุกันกระแทก ได้แก่ แก้วเซรามิคและไข่ไก่ โดยแก้วน้ำเซรามิคจะมีขนาดความหนาอยู่ที่ 0.3 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และความสูงอยู่ที่ 6 เซนติเมตร และใช้ไข่ไก่ขนาดเบอร์ 3 ขั้นตอนที่ 4) การทดสอบสมรรถนะแต่ละด้าน ผู้ศึกษาได้ไปศึกษาจากทฤษฎีและงานวิจัยโดยอ้างอิงจาก ธนากร แนวกลาง (2557) ที่ได้ศึกษาในเรื่อง การป้องกันความเสียหายเชิงกลของผลไม้โดยใช้วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวเพื่อหาแนวทางและวิธีการทดสอบ สุวิมล เทียกทุม และหทัยนุช จันทร์ชัยภูม (2559) ที่ได้ศึกษาในเรื่อง การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากแกลบผสมฟองน้ำยางธรรมชาติเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้ และวรัญญู ศรีเดช (2554)) ที่ได้ศึกษาในเรื่อง การผลิตวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์จากขี้เลื่อยแป้งและน้ำยาง ผู้ศึกษาจึงได้นำสมรรถนะที่ได้จากการศึกษามาทำการทดสอบได้แก่ 4.1) การรับแรงกระแทก (Drop Test) คือ การทดสอบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพและคุณภาพของวัสดุกันกระแทกปกป้องสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ ที่ผลิตเสร็จจากโรงงานแล้วขนส่งไปจนถึงมือลูกค้าแล้วยังใช้งานได้ปกติและไม่มีรอยแตกหัก ชำรุดใดๆ เกิดขึ้นกับแก้วเซรามิค 4.2) การรับแรงสั่นสะเทือน (Vibration Test) คือ วิธีการทดสอบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพและคุณภาพของวัสดุกันกระแทกว่าในระหว่างการสั่นสะเทือนจากการขนส่งวัสดุกันกระแทกจะมีความสามารถในการปกป้องสินค้าหรือผลิตภัณฑ์หรือไม่ 4.3) การรับแรงกดทับ (Compression Test) คือ การทดสอบที่มีลักษณะของแรงที่มากระทำกับวัสดุกันกระแทกที่อยู่ในลักษณะการกดทับ มีแนวแรงตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุกันกระแทก ทำให้วัสดุกันกระแทกออกแรงต้านทานเพื่อไม่ให้เกิดการแตกหัก 4.4) การหดตัวและคืนตัว (Shrinkage and Recovery Test) คือ การทดสอบความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมหลังจากที่วัสดุกันกระแทกถูกกดหรือทำให้ผิดรูปร่างความสามารถในการคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม และ 4.5) การเกิดเชื้อรา (Mold Test) คือการทดสอบการเกิดเชื้อราบนวัสดุกันกระแทกซึ่งเชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ และเป็นต้นเหตุของการเน่าเสียต่างๆ โดยสังเกตได้จากการเกิดจุดเน่าสีดำขนาดต่างๆ กัน การเกิดเมือกและเส้นใยสีขาว หรือเกิดการสร้างสปอร์สีต่างๆ ทำให้วัสดุกันกระแทกเกิดความเสียหายและใช้งานไม่ได้

การเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดได้มาจากการตัดส่วนที่เป็นตอซังของข้าวโพดสายพันธุ์ข้าวโพดหัวแข็ง (Flint Corn) จากสวนที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วเหลือเป็นเศษซากทางการเกษตรทิ้งไว้ โดยคณะผู้ศึกษา ได้เลือกใช้ข้าวโพดรุ่นที่ 2 ที่มีการปลูกในฤดูแล้ง หรือในช่วงเดือนธันวาคม และการเก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนของปีถัดไป ซึ่งคณะผู้ศึกษาได้นำเอาตอซังข้าวโพดมาล้างทำความสะอาดจากนั้นนำไปตากแห้งดังรูปที่ 1ก เพื่อให้ตอซังข้าวโพดไม่มีความชื้น เนื่องจากหากตอซังข้าวโพดมีความชื้นจะไม่สามารถนำมาทดสอบและจะทำให้เกิดเชื้อราในอนาคต


1ก การตากชิ้นงาน


1ข การตัดและปลอกชิ้นงาน


1ค ตัวอย่างชิ้นงานที่ปลอกแล้ว

รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

นำตอซังข้าวโพดที่ผ่านการตากแห้งมาตัดเพื่อให้ได้ขนาดความยาวระหว่าง 4–5 เซนติเมตร ขนาดความหนาอยู่ระหว่าง 1–1.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1ข และ 1ค โดยเหตุผลที่ตัดตามขนาดดังกล่าว เนื่องจากผู้ศึกษาได้ไปวัดตามขนาดของวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับการปกป้องสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ และวัดความชื้นให้อยู่ระหวาง 10–14 เปอร์เซ็นต์ เพื่อไม่ให้ชิ้นตอซังข้าวโพดมีความชื้นมากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดเชื้อราในอนาคต โดยเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเหล่านี้แล้วจะได้ชิ้นงานที่มีความพร้อมต่อการนำไปทดสอบสมรรถนะเพื่อหาความสามารในการปกป้องสินค้าหรือผลิตภัณฑ์

ออกแบบการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบการรับแรงกระแทก (Drop Test)

1. กำหนดเงื่อนไขการทดสอบ วัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดและวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวา ซึ่งการทดสอบนี้ใช้ผลิตภัณฑ์แก้วเซรามิคในการทดสอบเพื่อหาขีดจำกัดในการรับแรงกระแทกของวัสดุกันกระแทก ซึ่งได้ศึกษาวิธีการทดสอบจาก ธนากร แนวกลาง (2557) ที่ได้ศึกษาในเรื่อง การป้องกันความเสียหายเชิงกลของผลไม้โดยใช้วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวเพื่อหาแนวทางและวิธีการทดสอบ โดยกำหนดระดับความสูงของการทดสอบไว้ที่ 5 ระดับ ความสูง โดยได้ทำกได้แก่ ระดับที่ 1 ความสูงของการทดสอบ 1 เมตร, ระดับที่ 2 ความสูงของการทดสอบ 3 เมตร, ระดับที่ 3 ความสูงของการทดสอบ 5 เมตร, ระดับที่ 4 ความสูงของการทดสอบ 7 เมตร และ ระดับที่ 5 ความสูงของการทดสอบ 9 เมตร

2. ทดสอบในสถานที่ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขของการทดสอบ โดยการปล่อยกล่องกระดาษให้ตกจากความสูงในระดับที่ 1 เริ่มจากวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดหรือวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาก็ได้ จากนั้นเพิ่มระดับความสูงของการทดสอบขึ้นจนถึงระดับที่ 5 (หมายเหตุ ควรเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบให้มากกว่าที่กำหนดไว้เนื่องจากอุปกรณ์ที่เตรียมมาในส่วนแรกอาจเสียหายแล้วทำการทดสอบต่อไม่ได้)

3. บันทึกผลการทดสอบลงในแบบฟอร์มบันทึกผล โดยลักษณะของการบักทึกผลคือ หากแก้วเซรามิคที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างในไม่เกิดความเสียหายให้ใส่สัญลักษณ์ ✓ ลงในตารางบันทึกผล แต่ถ้าหากแก้วเซรามิคที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างในเกิดความเสียหายให้ใส่สัญลักษณ์ ✗ ลงในตารางบันทึกผล

4. สรุปผลการทดสอบ สรุปผลการทดสอบความทนทานของวัสดุกันกระแทกต่อการรับแรงกระแทก (Drop Test) ทั้ง 2 ชนิดเพื่อแสดงผลว่ามีความสามารถในการปกป้องผลิตภัณฑ์แก้วเซรามิคได้หรือไม่

ขั้นตอนการทดสอบการรับแรงสั่นสะเทือน (Vibration Test)

1. กำหนดเงื่อนไขการทดสอบ ระหว่างวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดและวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวา โดยใช้ไข่ไก่ในการทดสอบ เพื่อหาขีดจำกัดในการรับแรงสั่นสะเทือนของวัสดุกันกระแทก โดยใช้หน่วยวัดระดับแรงสั่นสะเทือน คือ เมตร/วินาที ซึ่งได้ศึกษาวิธีการทดสอบจาก ธนากร แนวกลาง (2557) ที่ได้ศึกษาในเรื่อง การป้องกันความเสียหายเชิงกลของผลไม้โดยใช้วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวเพื่อหาแนวทางและวิธีการทดสอบ กำหนดระดับแรงสั่นสะเทือนของการทดสอบไว้ที่ 5 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 ความแรงการสั่นสะเทือนของการทดสอบ 10 เมตร/วินาที, ระดับที่ 2 ความแรงการสั่นสะเทือนของการทดสอบ 15 เมตร/วินาที, ระดับที่ 3 ความแรงการสั่นสะเทือนของการทดสอบ 20 เมตร/วินาที, ระดับที่ 4 ความแรงการสั่นสะเทือนของการทดสอบ 25 เมตร/วินาทีและ ระดับที่ 5 ความแรงการสั่นสะเทือนของการทดสอบ 30 เมตร/วินาที

2. ทำการทดสอบแรงสั่นสะเทือน เริ่มจากระดับที่ 1 โดยการนำไข่ไก่และวัสดุกันระแทกมาบรรจุไว้ในกล่องกระดาษแล้วนำเครื่องวัดความแรงของการสั่นสะเทือนมาติดไว้ที่กล่องกระดาษ แล้วเริ่มการทดสอบจากวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดก่อนหรือวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาก็ได้ เขย่ากล่องกระดาษตามระดับที่กำหนด แล้วเพิ่มระดับของการทดสอบขึ้นจนถึงระดับที่ 5 (หมายเหตุ ควรเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบให้มากกว่าที่กำหนดไว้เนื่องจากอุปกรณ์ที่เตรียมมาในส่วนแรกอาจเสียหายแล้วทำการทดสอบต่อไม่ได้)

3. บันทึกผลการทดสอบลงในแบบฟอร์มบันทึกผลการทดสอบ โดยลักษณะของการบักทึกผลคือหากไข่ไก่ข้างในไม่เกิดความเสียหายให้ใส่สัญลักษณ์ ✓ลงในตารางบันทึกผล แต่ถ้าหากไข่ไก่ข้างในเกิดความเสียหายให้ใส่สัญลักษณ์ ✗ ลงในตารางบันทึกผล

4. สรุปผลการทดสอบการรับแรงสั่นสะเทือน (Vibration Test) ของวัสดุกันกระแทกทั้ง 2 ชนิด เพื่อแสดงผลว่ามีความสามารถในการปกป้องผลิตภัณฑ์แก้วเซรามิคได้หรือไม่

ขั้นตอนการทดสอบการรับแรงกดทับ (Compression Test)

1. กำหนดเงื่อนไขการทดสอบระหว่างวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดและวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวา ซึ่งการทดสอบนี้ใช้ไข่ไก่ในการทดสอบเพื่อหาขีดจำกัดในการรับแรงกดทับของวัสดุกันกระแทก ซึ่งได้ศึกษาวิธีการทดสอบจาก ธนากร แนวกลาง (2557) [7] ที่ได้ศึกษาในเรื่อง การป้องกันความเสียหายเชิงกลของผลไม้โดยใช้วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวเพื่อหาแนวทางและวิธีการทดสอบเพื่อหาความสามารถต่อการทนทานต่อแรงอัดของวัสดุกันกระแทก ในระยะเวลา 1 นาที ทุกการทดสอบ โดยกำหนดน้ำหนักของวัสดุที่จะนำมาทดสอบไว้ที่ 5 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทดสอบ 1 กิโลกรัม, ระดับที่ 2 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทดสอบ 2 กิโลกรัม, ระดับที่ 3 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทดสอบ 5 กิโลกรัม, ระดับที่ 4 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทดสอบ 10 กิโลกรัมและ ระดับที่ 5 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทดสอบ 15 กิโลกรัม

2. ทำการทดสอบจากระดับที่ 1 โดยการนำไข่ไก่และวัสดุกันกระแทกมาบรรจุไว้ในกล่องกระดาษ เริ่มการทดสอบจากวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดหรือวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาก็ได้ ทดสอบโดยการนำเอาวัสดุที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม มาวางทับบนกล่องกระดาษทดสอบเป็นระยะเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มระดับของการทดสอบขึ้นจนถึงระดับที่ 5 (หมายเหตุ ควรเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบให้มากกว่าที่กำหนดไว้เนื่องจากอุปกรณ์ที่เตรียมมาในส่วนแรกอาจเสียหายแล้วทำการทดสอบต่อไม่ได้)

3. บันทึกผลการทดสอบลงในแบบฟอร์มบันทึกผลการทดสอบ โดยลักษณะของการบักทึกผลคือหากไข่ไก่ข้างในไม่เกิดความเสียหายให้ใส่สัญลักษณ์ ✓ ลงในตารางบันทึกผล ถ้าหากไข่ไก่ข้างในเสียหายให้ใส่สัญลักษณ์ ✗ ลงในตารางบันทึกผล

4. สรุปผลการทดสอบความทนทานของวัสดุกันกระแทกต่อการการรับแรงกดทับ (Compression Test) เพื่อแสดงผลว่าวัสดุกันกระแทกมีความสามารถในทนทานต่อแรงกดทับ

ขั้นตอนการทดสอบการหดตัวและคืนตัว (Shrinkage and Recovery Test)

1. กำหนดเงื่อนไขการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดและวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวา เพื่อหาความสามารถในการหดตัวและคืนตัวของวัสดุกนกระแทก ซึ่งการทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างการทดสอบที่มีขนาดความยาว 4.5 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 เซนติเมตร กำหนดระยะเวลาในการคืนตัว 1 นาที และระยะเวลาของวัสดุที่จะนำมากดทับคือ 1 นาที อีกทั้งยังได้มีการศึกษาวิธีและแนวทางการทดสอบจากสุวิมล เทียกทุม และหทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ (2559) ที่ได้ศึกษาเรื่อง การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากแกลบผสมฟองน้ำยางธรรมชาติเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยวัสดุที่นำมากดทับมีน้ำหนัก 5 ระดับ คือ ระดับที่ 1 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทดสอบ 100 กรัม, ระดับที่ 2 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทดสอบ 200 กรัม, ระดับที่ 3 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทดสอบ 300 กรัม, ระดับที่ 4 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทดสอบ 400 กรัม และ ระดับที่ 5 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาทดสอบ 500 กรัม

2. ทำการทดสอบแบบจากระดับที่ 1 เริ่มจากวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดก่อนหรือวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาก็ได้ นำมาวางที่อุปกรณ์ทดสอบ จำนวน 1 ชิ้น จากนั้นนำวัสดุกดทับมาวางทับวัสดุกันในลักษณะการวางแนวนอน จากนั้นเพิ่มระดับของการทดสอบขึ้นจนถึงระดับที่ 5 (หมายเหตุ ควรเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบให้มากกว่าที่กำหนดไว้เนื่องจากอุปกรณ์ที่เตรียมมาในส่วนแรกอาจเสียหายแล้วทำการทดสอบต่อไม่ได้)

3. บันทึกผลการทดสอบ โดยลักษณะของการบักทึกผลคือ บันทึกผลค่าการคืนตัวและค่าการหดตัวลงในตารางบันทึกผลโดยใช้หน่วยเป็น เซนติเมตร

4. สรุปผลการทดสอบ การหดตัวและคืนตัว (Shrinkage and Recovery Test) เพื่อแสดงผลว่าวัสดุกันกระแทกมีความสามารถในการหดตัวและคืนตัว

ขั้นตอนการทดสอบการเกิดเชื้อรา (Mold Test)

1. กำหนดเงื่อนไขการทดสอบ การทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบในห้องที่มีอุณหภูมิคงที่ระหว่าง 25–30° C ความความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 40–50 % เพื่อทดสอบว่าเมื่ออยู่ในห้องจะมีการเกิดเชื้อราขึ้นหรือไม่ ซึ่งผู้ทดสอบได้ศึกษาแนวทางและวิธีการจาก วรัญญู ศรีเดช (2554) ที่ได้ศึกษาเรื่อง การผลิตวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์จากขี้เลื่อยแป้งและน้ำยาง โดยกำหนดระยะเวลาของการทดสอบไว้ที่ 5 สัปดาห์

2. ทำการทดสอบ หาสถานที่ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของการทดสอบ จากนั้นทำการทดสอบ เริ่มจากนำกล่องกระดาษมาบรรจุวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพด และวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาอย่างละกล่อง แล้วนำเทปกาวขุ่นมาปิดกล่องกระดาษ จากนั้นเริ่มการทดสอบโดยการนำกล่องกระดาษที่บรรจุวัสดุกันกระแทกเสร็จแล้วไปเก็บไว้ภายในห้องที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อผ่านไป 1 วันเปิดกล่องวัสดุกันกระแทกออกแล้วนำวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดและวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวามาวัดความชื้น จากนั้นทำการตรวจสอบวัสดุกันกระแทกทั้งสองชนิดว่ามีเชื้อราขึ้นหรือไม่ เมื่อตรวจสอบเสร็จแล้วทำการบันทึกผลแล้วปิดปากกล่องกระดาษจากนั้นนำไปเก็บไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิปกติอีกครั้ง ทำกระบวนนี้ซ้ำทุกๆวันจนถึงวันสุดท้ายของการทดสอบ

3. บันทึกผลการทดสอบลงในแบบฟอร์มบันทึกผลการทดสอบ โดยลักษณะของการบักทึกผลคือ หากวัสดุกันกระแทกไม่มีเชื้อราเกิดขึ้น ให้ใส่สัญลักษณ์ ✓ ลงในตารางบันทึกผล แต่ถ้าหากวัสดุกันกระแทกเกิดเชื้อรา ให้ใส่สัญลักษณ์✗ ลงในตารางบันทึกผล

4. สรุปผลการทดสอบ การเกิดเชื้อรา (Mold Test) เพื่อแสดงผลว่าวัสดุกันกระแทก มีความสามารถในการทนทานต่อการเกิดเชื้อราหรือไม่

ผลการศึกษา

กำหนดระดับการทดสอบการต้านทานต่อการตกกระแทกไว้ที่ 5 ระดับความสูงได้แก่ ระดับที่ 1 ความสูง 1 เมตร, ระดับที่ 2 ความสูง 3 เมตร, ระดับที่ 3 ความสูง 5 เมตร, ระดับที่ 4 ความสูง 7 เมตร และ ระดับที่ 5 ความสูง 9 เมตร ได้ผลการทดสอบ คือ วัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาสามารถปกป้องแก้วเซรามิคได้อย่างสมบูรณ์ในทุกระดับความสูง สำหรับวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดในการทดสอบที่ระดับความสูง 9 เมตร แก้วเซรามิคเกิดรอยร้าวและแตกในท้ายที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบด้านการรับแรงกระแทก (Drop Test)

ระดับ	ความสูง (เมตร)	ผลการทดสอบ	
		ตอซังข้าวโพด	ผักตบชวา
1	1	✓	✓
2	3	✓	✓
3	5	✓	✓
4	7	✓	✓
5	9	×	✓

กำหนดระดับการทดสอบการรับแรงสั่นสะเทือนของวัสดุกันกระแทกไว้ที่ 5 ระดับได้แก่ ระดับที่ 1 ความแรงของการสั่นสะเทือน 10 (เมตร/วินาที), ระดับที่ 2 ความแรงของการสั่นสะเทือน 15 (เมตร/วินาที), ระดับที่ 3 ความแรงของการสั่นสะเทือน 20 (เมตร/วินาที), ระดับที่ 4 ความแรงของการสั่นสะเทือน 25 (เมตร/วินาที) และ ระดับที่ 5 ความแรงของการสั่นสะเทือน 30 (เมตร/วินาที) ได้ผลการทดสอบว่า วัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาสามารถปกป้องไข่ไก่อย่างสมบูรณ์ สำหรับวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดนั้นในการทดสอบระดับที่ 4 ไข่ไก่ได้แตกไปในท้ายที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบด้านการรับแรงสั่นสะเทือน (Vibration Test)

ระดับ	ระดับแรงสั่นสะเทือน (เมตร/วินาที)	ผลการทดสอบ	
		ตอซังข้าวโพด	ผักตบชวา
1	10	✓	✓
2	15	✓	✓
3	20	✓	✓
4	25	×	✓
5	30	×	✓

กำหนดระดับการทดสอบการต้านแรงกดทับของวัสดุกันกระแทกไว้ที่ 5 ระดับได้แก่ ระดับที่ 1 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาอัด 1 กิโลกรัม, ระดับที่ 2 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาอัด 2 กิโลกรัม, ระดับที่ 3 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาอัด 5 กิโลกรัม , ระดับที่ 4 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาอัด 10 กิโลกรัม และ ระดับที่ 5 น้ำหนักของวัสดุที่นำมาอัด 15 กิโลกรัม ได้ผลการทดสอบว่า วัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดสามารถปกป้องไข่ไก่อย่างสมบูรณ์ สำหรับวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาในการทดสอบระดับที่ 5 ไข่ไก่ได้แตกไปในท้ายที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการรับแรงกดทับ (Compression Test)

ระดับ	น้ำหนักวัสดุ (กิโลกรัม)	ผลการทดสอบ	
		ตอซังข้าวโพด	ผักตบชวา
1	1	✓	✓
2	2	✓	✓
3	5	✓	✓
4	10	✓	✓
5	15	✓	✗

กำหนดระยะเวลาในการทดสอบการหดตัวและคืนตัวไว้ที่ 1 นาที โดยได้ใช้ชิ้นงานที่มีขนาดความหนาอยู่ที่ 1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น และได้กำหนดระดับการทดสอบไว้ที่ 5 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 วัสดุกดทับน้ำหนัก 100 กรัม, ระดับที่ 2 วัสดุกดทับน้ำหนัก 200 กรัม, ระดับที่ 3 วัสดุกดทับน้ำหนัก 300 กรัม, ระดับที่ 4 วัสดุกดทับน้ำหนัก 400 กรัม และ ระดับที่ 5 วัสดุกดทับน้ำหนัก 500 กรัม ได้ผลการทดสอบว่า วัสดุกันกระแทกจากผักตบชวามีการหดตัวและคืนตัวดีกว่าวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพด เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของผักตบชวาที่มีรูตรงกลางจึงทำให้มีโครงสร้างที่ยืดหยุ่นกว่า ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการหดตัวและคืนตัว (Shrinkage and Recovery Test)

ระดับ	น้ำหนักวัสดุ (กรัม)	ผลการทดสอบ			
		ตอซังข้าวโพด		ผักตบชวา	
		การหดตัว (เซนติเมตร)	การคืนตัว (เซนติเมตร)	การหดตัว (เซนติเมตร)	อัตราคืนตัว (เซนติเมตร)
1	100	0.3	0.3	0.7	0.5
2	200	0.7	0.6	1.1	0.9
3	300	0.7	0.7	1.1	1.0
4	400	0.8	0.7	1.1	1.1
5	500	0.8	0.8	1.1	1.1

กำหนดระยะเวลาการทดสอบการเกิดเชื้อราของวัสดุกันกระแทกไว้ที่ 5 สัปดาห์ โดยทดสอบในห้องที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 25-30° C และมีความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอยู่ที่ 40-50 % ได้ผลการทดสอบมาว่า วัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดไม่มีเชื้อราเกิดขึ้น สำหรับวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวานั้น มีเชื้อราเกิดขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการเกิดเชื้อรา (Mold Test)

สัปดาห์	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ผลการทดสอบ	
			ตอซังข้าวโพด	ผักตบชวา
1	25–30	40–50	✓	✓
2	25–30	40–50	✓	✓
3	25–30	40–50	✓	✓
4	25–30	40–50	✓	×
5	25–30	40–50	✓	×

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของตอซังข้าวโพดสำหรับใช้เป็นวัสดุกันกระแทกด้วยวิธีการเทียบเคียงสมรรถนะกับผักตบชวา เพื่อแก้ปัญหาการเผาเศษซากทางการเกษตรของต้นข้าวโพดที่ทำให้เกิดฝุ่น PM 2.5 ส่งผลกระทบทั้งในด้านสาธารณสุข ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านการท่องเที่ยว อีกทั้งยังสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการนำมาทำเป็นวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพด ซึ่งได้กำหนดคุณสมบัติที่ใช้ศึกษาอยู่ทั้งหมด 5 ด้าน ประกอบด้วย 1) การรับแรงกระแทก (Drop Test) 2) การรับแรงสั่นสะเทือน (Vibration Test) 3) การรับแรงกดทับ (Compression Test) 4) การหดตัวและคืนตัว (Shrinkage and Recovery Test) 5) การเกิดเชื้อรา (MoldTest) ผู้ศึกษาสามารถอภิปรายผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของตอซังข้าวโพดกับผักตบชวาเพื่อใช้เป็นวัสดุกันกระแทก

คุณสมบัติ	ตอซังข้าวโพด	ผักตบชวา
ด้านการรับแรงกระแทก	7 เมตร	9 เมตร
ด้านการรับแรงสั่นสะเทือน	20 เมตร/วินาที	30 เมตร/วินาที
ด้านการรับแรงกดทับ	15 กิโลกลัม	10 กิโลกรัม
ด้านการหดตัว	0.8 เซนติเมตร	1.1 เซนติเมตร
ด้านการคืนตัว	0.8 เซนติเมตร	1.1 เซนติเมตร
ด้านการเกิดเชื้อรา	5 สัปดาห์	3 สัปดาห์

จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าตอซังข้าวโพดมีสมรรถนะที่เหนือกว่าผักตบชวาอยู่ทั้งหมด 2 ด้านคือ 1) ด้านการรับแรงกดทับ วัสดุกันกระแทกจากผักตบชวานั้นมีความสามารในการทนทนต่อแรงอัดสูงถึง 10 กิโลกรัม วัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดนั้นมีความสามารในการทนทานต่อแรงอัดสูงสุดถึง 15 กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีความสามารถมากพอในการปกป้องสินค้าหรือผลิตภัณฑ์เนื่องจากการอัดกันของกล่องพัสดุในการขนส่ง เนื่องจากวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดมีความสามารถที่มากกว่าวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวา ดังนั้นวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดจึงผ่านในด้านการทดสอบแรงอัด 2) ด้านการเกิดเชื้อรา วัสดุกันกระแทกจากผักตบชวานั้นมีความสามารในการต้านทานการเกิดเชื้อราสูงถึง 4 สัปดาห์ วัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดนั้นมีความสามารในการต้านทานการเกิดเชื้อราสูงถึง 5 สัปดาห์ เนื่องจากวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดมีความสามารถในการต้านทานการเกิดเชื้อราที่มากกว่าวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวา จึงทำให้มีคุณสมบัติที่ผ่านการทดสอบนี้ ส่วนด้านที่ด้อยกว่ามีทั้งหมด 3 ด้าน คือ 1) ด้านการรับแรงกระแทก วัสดุกันกระแทกจากผักตบชวานั้นมีความสามารในการทนทนต่อการตกกระแทกในแนวตั้งถึง 9 เมตร วัสดุกันกระแทก

จากตอซังข้าวโพดนั้นมีความสามารในการทนทานต่อการตกกระแทกในแนวตั้งสูงสุดถึง 7 เมตร ซึ่งถือว่ามีความสามารถมากพอในการปกป้องสินค้าหรือผลิตภัณฑ์โดยอ้างอิงจากบทความของ สำนักข่าวไทย (2562) การตกกระแทกจากความสูง 7 ชั้นจะเท่ากับการชนในแนวระนาบที่ความเร็ว 48 กิโลเมตร/ชั่วโมง ดังนั้นวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดจึงผ่านในด้านการทดสอบการตกกระแทก 2) ด้านการรับแรงสั่นสะเทือน วัสดุกันกระแทกจากผักตบชวานั้นมีความสามารในการทนทานต่อการสั่นสะเทือนในระหว่างการขนสูงถึง 30 เมตร/วินาที วัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดนั้นมีความสามารในการทนทานต่อการสั่นสะเทือนสูงสุดถึง 25 เมตร/วินาที ซึ่งถือว่ามีความสามารถมากพอในการปกป้องสินค้าหรือผลิตภัณฑ์เนื่องจากในการขนส่งจะมีการสั่นสะเทือนที่ไม่เกิน 20 เมตร/วินาที โดยอ้างอิงจาก อดุลย์ พัฒนภักดี (2563) ที่ได้ทำงานวิจัยเรื่องการวัดค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์สำหรับเปลี่ยนยางรองแท่นเครื่องกรณีศึกษา: รถยนต์ฮอนดา ดังนั้นวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดจึงผ่านในด้านการทดสอบการสั่นสะเทือน 3) ด้านการหดตัวและคืนตัว วัสดุกันกระแทกจากผักตบชวานั้นมีความสามารในการหดตัวและคืนตัวที่มากกว่าวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพด เนื่องจากลักษณะของผักตบชวาที่มีรูตรงกลางทำให้หดตัวและคืนตัวได้ดีกว่าซังข้าวโพด แต่มีข้อเสียคือหากสินค้าหรือพัสดุมีน้ำหนักมากวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาจะหดตัว จึงทำให้ไม่มีความสามารถในการปกป้อง แต่วัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดนั้น จะมีความสามารถปกป้องสินค้าที่มีน้ำหนักมากเนื่องจากมีการหดตัวที่ยากกว่าวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวา จึงผ่านในด้านการทดสอบการหดตัวและคืนตัว

ดังนั้นวัสดุกันกระแทกจากตอซังข้าวโพดที่ผ่านคุณสมบัติที่ใช้ศึกษาทั้ง 5 ด้าน ประกอบด้วย 1) การรับแรงกระแทก (Drop Test) 2) การรับแรงสั่นสะเทือน (Vibration Test) 3) การรับแรงกดทับ (Compression Test) 4) การหดตัวและคืนตัว (Shrinkage and Recovery Test) 5) การเกิดเชื้อรา (Mold Test) จึงสรุปได้ว่าตอซังข้าวโพดมีความสามารถและเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัสดุกันกระแทก

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษานี้ผู้ศึกษาได้ออกแบบการทดสอบเองทั้งหมดจึงทำให้ไม่สามารถนำผลการศึกษาไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ แต่หากจะนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์จะต้องมีการทดสอบหรือทดสอบที่มีการยอมรับได้หรือมีมาตรฐานที่ชัดเจน เช่น 1) ISO 179 – การทดสอบความทนต่อการตกกระแทก [12] 2) ASTM D999 – การทดสอบความทนต่อการสั่นสะเทือนของวัสดุที่ใช้ในสิ่งที่เคลื่อนที่ [13] 3) ASTM D695 – การทดสอบความแรงอัดของวัสดุพลาสติก [14] 4) ASTM D638 – การทดสอบความยืดหยุ่นของวัสดุพลาสติก [15] 5) ASTM G21 – การทดสอบความทนต่อการเจริญของเชื้อราในวัสดุ

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [อินเทอร์เน็ต]. 2566 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2566.
ได้จาก : https://www.oae.go.th/view/
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [อินเทอร์เน็ต] 2565 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2566.
ได้จาก : https://www.pcd.go.th/strategy/
กระทรวงสาธารณสุข [อินเทอร์เน็ต] 2565 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2566.
ได้จาก : https://ddc.moph.go.th/covid19-dashboard/
กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา [อินเทอร์เน็ต] 2566 ; สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2566.
ได้จาก : https://www.mots.go.th/

ปิยธิดา สนององค์ [อินเทอร์เน็ต] 2566 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2566. ได้จาก : http://reddplus.dnp.go.th/?p=5066

กระทรวงดิจิทัล [อินเทอร์เน็ต] 2566 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2566 ได้จาก : https://www.etda.or.th/th/pr-news/ETDA-Reveals-the-Value-of-e-Commerce-in-2021.aspx

ธนากร แนวกลาง. (2557). การป้องกันความเสียหายเชิงกลของผลไม้โดยใช้วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุวิมล เทียกทุม และหทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ. (2559). การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากแกลบผสมฟองน้ำยางธรรมชาติเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

วรัญญู ศรีเดช. (2554). การผลิตวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์จากขี้เลื่อยแป้งและน้ำยาง. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร .

สำนักข่าวไทย [อินเทอร์เน็ต] 2562 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2566. ได้จาก : https://tna.mcot.net/tna-349491

อดุลย์ พัฒนภักดี. (2563). การวัดค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์สำหรับเปลี่ยนยางรองแท่นเครื่อง กรณีศึกษา: รถยนต์ฮอนดา. มหาวทิยาลยัศรีปทุม

ISO 179 – การทดสอบความทนต่อการตกกระแทก [อินเทอร์เน็ต] 2566 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2566. ได้จาก : https://www.laboratuar.com/th/testler/malzeme-testleri/iso-179-plastikler---charpy-darbe-ozelliklerinin-tayini-icin-standart-test-yontemi/

ASTM D999 – การทดสอบความทนต่อการสั่นสะเทือนของวัสดุที่ใช้ในสิ่งที่เคลื่อนที่ [อินเทอร์เน็ต] 2566. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2566 ; ได้จาก : https://www.laboratuar.com/th/testler/astm-testleri/astm-d999/

ASTM D695 – การทดสอบความแรงอัดของวัสดุพลาสติก [อินเทอร์เน็ต] 2566 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2566. ได้จาก : https://www.labaratuar.com/th/testler/astm/astm-d695-testi/

ASTM D638 – การทดสอบความยืดหยุ่นของวัสดุพลาสติก [อินเทอร์เน็ต] 2566 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2566.ได้จาก : https://www.laboratuar.com/th/testler/astm-testleri/astm-d638-plastik-cekme-ozellikleri-testi/

ASTM G21 – การทดสอบความทนต่อการเจริญของเชื้อราในวัสดุ [อินเทอร์เน็ต] 2566 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2566. ได้จาก : https://www.laboratuar.com/th/testler/savunma/fungus-direncinin-belirlenmesi-testi/

กรมบัญชีกลาง [อินเทอร์เน็ต] 2566 ; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2566. ได้จาก : https://www.cgd.go.th/cs/internet/internet/

การควบคุมระดับของของเหลวในระบบถังคู่โดยใช้ HILS ร่วมกับโปรโตคอลมอดบัส

Liquid level control in coupled tank system using HILS and Modbus protocol

สาธิต มังคลาจารย์[1], ทักษิณ แสงสุวรรณ[1] และ วิทยา กุดแถลง[1*]

Satit Mangkalajan[1], Tasksin Sangsuwan[1] and Wittaya Koodtalang[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้การจำลองฮาร์ดแวร์แบบวนซ้ำ (HILS) ร่วมกับโปรโตคอลมอดบัสทีซีพีสำหรับควบคุมระดับของของเหลวในระบบถังคู่ มีวัตถุประสงค์ในการช่วยลดงบประมาณในการก่อสร้างกระบวนการจริงสำหรับขั้นตอนการออกแบบและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ รวมถึงการลดอันตราย และลดระยะเวลาจากการทดลองเพื่อปรับหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของระบบ โดยมีการสร้างกระบวนการถังคู่แบบจำลองโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับบอร์ด NI myRIO เพื่อเป็นอินพุต/เอาต์พุตสำหรับการควบคุมกระบวนการแบบจำลอง มีการแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณอินพุต/เอาต์พุตและโปรโตคอลมอดบัสทีซีพีโดยอาศัยบอร์ด Arduino ร่วมกับ Ethernet Shield W5100 จึงทำให้สามารถเชื่อมต่อกับพีแอลซีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระดับของของเหลวในกระบวนการสามารถควบคุมได้จากตัวควบคุมพีไอที่สามารถเขียนโปรแกรมได้จากพีแอลซี Simens รุ่น S7-1200 จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองของกระบวนการถังคู่แบบจำลองสามารถลู่เข้าสู่ค่าที่ต้องการได้เสมือนกับการควบคุมกระบวนการจริง โดยสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอให้เหมาะสมได้ด้วยการวิเคราะห์จากผลตอบสนองของระบบ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการสื่อสารด้วยโปรโตคอลมอดบัสทีซีพี

คำสำคัญ: กระบวนการจำลอง, ระบบถังคู่, การจำลองฮาร์ดแวร์แบบวนซ้ำ, โปรโตคอลมอดบัส

[1] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีเครื่องมือวัดและอัตโนมัติ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

[2] Center of Excellence on Instrumentation Technology and Automation (CEITA), Department of Instrumentation and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

* Corresponding author: wittaya.k@eng.kmutnb.ac.th

Abstract

This research presents the utilization of Hardware-In-the-Loop-Simulation (HILS) and the Modbus TCP protocol for liquid level control in coupled tank system. The aim is to reduce the costs associated with constructing real processes during the design and performance evaluation phases. This includes minimizing potential harm and reducing the time required for experimental parameter tuning. The coupled tank simulation process is created using the LabVIEW program and the NI myRIO board, providing input and output capabilities for simulation control. Furthermore, the conversion of input/output signals and the Modbus TCP are achieved using Arduino and Ethernet Shield W5100, enabling efficient communication with a PLC. The desired liquid level can be attained through PI controller programmed within PLC of Siemens S7-1200. The experimental results showed that the response of the coupled tank simulation process can converge to the setpoint, similar to that of a real process. Users can optimize the parameters of the PI controller by observing the system's response. It also demonstrates the effectiveness of communication through the Modbus TCP protocol.

Keywords: Simulation process, Coupled tank system, Hardware-In-the-Loop-Simulation, Modbus protocol

บทนำ

ระบบถังคู่ หรือ กระบวนการแบบถังคู่ เป็นกระบวนการสำหรับจัดเก็บหรือส่งผ่านของเหลว โดยถังทั้งสองมีการเชื่อมต่อถึงกัน กระบวนการนี้มีการใช้งานกันอย่างหลากหลายในอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการแปรรูปอาหาร อุตสหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมน้ำมันและปิโตรเลียม กระบวนการผลิตน้ำ กระบวนการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ในอุตสาหกรรมต่างๆ เหล่านี้มีการควบคุมระดับของของเหลวในระบบถังคู่ให้อยู่ในระดับที่ต้องการโดยให้ใช้ระยะเวลาที่สั้นที่สุด และไม่มีโอเวอร์ชูต แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมจะมีความยุ่งยาก อันเนื่องมาจากกระบวนการนี้มีความไม่เป็นเชิงเส้น เป็นกระบวนการที่มีหลายอินพุตหลายเอาต์พุต (MIMO system) และมีความไม่แน่นอนของค่าพารามิเตอร์หลายๆ ค่า [1]-[3] ตัวควบคุมที่ได้รับความนิยมสำหรับการควบคุมระดับของของเหลวในระบบถังคู่คือ ตัวควบคุมพีไอดี (PID: Proportional – Integral – Derivative) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดี มีโครงสร้างที่ไม่สลับซับซ้อน และมีความน่าเชื่อถือ [4][5] โดยในการควบคุมสำหรับงานอุตสาหกรรมนิยมใช้พีแอลซี (PLC: Programmable Logic Controller) สำหรับควบคุมกระบวนการ อันเนื่องมาจากมีประสิทธิภาพ ความมีเสถียรภาพ และความทนทาน ซึ่ง พีแอลซีในปัจจุบันมีการบรรจุการควบคุมแบบพีไอดีให้เป็นหนึ่งในฟังก์ชันของพีแอลซีด้วย [6][7] อย่างไรก็ตามได้มีการพัฒนาการสื่อสารระหว่างพีแอลซีและอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออื่นๆ ทั้งเซ็นเซ็อร์ (Sensor) ตัวขับ (actuator) และอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อให้การสื่อสารภายในโครงข่ายมีประสิทธิภาพสูงสุด โครงข่ายแบบฟิลด์บัส (Fieldbus network) เป็นรูปแบบการสื่อสารแบบเรียลไทม์ในอุตสาหกรรมใช้สำหรับการควบคุมแบบกระจายส่วน เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีบทบาทสำคัญในการมุ่งสู่อุตสาหกรรม 4.0 โดยมีข้อดี คือ เป็นการสื่อสารที่มีความรวดเร็ว มีความน่าเชื่อถือสูง สามารถทราบสถานะต่างๆ ของอุปกรณ์ได้ในเชิงลึก รวมถึงสามารถทำโครงข่ายการสื่อสารขนาดใหญ่ในสภาพแวดล้อมแบบอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี เทคโนโลยีการสื่อสารฟิลด์บัสมีด้วยกันอยู่หลากหลายโปรโตคอล โดยโปรโตคอลมอดบัส (Modbus protocol) เป็นหนึ่งในโปรโตคอลการสื่อสารแบบฟิลด์บัสที่มีการใช้งานมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979 ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Modicon เป็นการสื่อสารในรูปแบบของ master-slave หรือ client-server โดยมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางจนมาถึงปัจจุบันด้วยข้อดีหลายๆ ข้อ คือ รูปแบบโปรโตคอลไม่สลับซับซ้อนทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ไม่

ต้องการฮาร์ดแวร์แบบเฉพาะ มีกลไกในการตรวจสอบข้อผิดพลาดทำให้มีความน่าเชื่อถือสูงแต่สามารถสื่อสารได้ด้วยความรวดเร็วแบบเรียลไทม์ และเป็นโปรโตคอลแบบเปิด (Open source) ด้วยเหตุผลต่างๆ ตามที่กล่าวมาจึงมักพบเห็นโปรโตคอลมอดบัสเป็นหนึ่งในโปรโตคอลการสื่อสารสำหรับอุปกรณ์การสื่อสารในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ มักใช้งานสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุมและอุปกรณ์ควบคุมระยะไกล (Remote Terminal Unit : RTU) โปรโตคอลมอดบัสที่มักพบเห็นสำหรับการสื่อสารอุตสาหกรรมมีด้วยกันอยู่สองรูปแบบ คือ มอดบัสอาร์ทียู (Modbus RTU) และมอดบัสทีซีพี (Modbus TCP หรือ Modbus TCP/IP) โดยที่มอดบัสอาร์ทียูเป็นโปรโตคอลมาตรฐานสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรมระหว่างอุปกรณ์ master และ slave ที่เชื่อมต่อกันภายใต้มาตรฐาน RS232 และ RS485 สำหรับมอดบัสทีซีพีเป็นการสื่อสารฟิลด์บัสแบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นการรวมกันระหว่างการสื่อสารด้วยมอดบัสและโครงข่ายทีซีพี/ไอพี ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์ด้วยอีเทอร์เน็ต ดังนั้นอุปกรณ์ในโครงข่ายจึงอยู่ในรูปแบบของ client และ server [8]–[11] ดังนั้นในงานวิจัยนี้นำเสนอการควบคุมระดับของของเหลวในระบบถังคู่โดยใช้พีแอลซีและโปรโตคอลมอดบัสทีซีพี

แต่อย่างไรก็ตามกระบวนแบบถังคู่ที่ใช้จริงในอุตสาหกรรมมีราคาค่อนข้างสูงในการก่อสร้างและติดตั้ง รวมถึงความไม่ปลอดภัยในการทดลองเพื่อปรับหาค่าต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมเพื่อให้การควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการมีประสิทธิภาพสูงสุด ในปัจจุบันการจำลองฮาร์ดแวร์แบบวนซ้ำหรือฮิลส์ (HILS : Hardware-In-the-Loop Simulation) เป็นการใช้ฮาร์แวร์ควบคุมจริงสำหรับการควบคุมกระบวนการจำลอง (simulation process) หรือกระบวนการเสมือน (virtual process) มีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการออกแบบระบบการควบคุมทางวิศวกรรม โดยมีข้อดีคือ มีต้นทุนที่ต่ำและมีความปลอดภัยสูงในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและปรับปรุงแก้ไขระบบที่ออกแบบ การใช้ระยะเวลาที่น้อยลงรวมถึงการลดความยุ่งยากในการสร้างกระบวนการจริง และมีความยืดหยุ่นสูงในการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ [12][13] โดยมีการประยุกต์ใช้การจำลองฮาร์ดแวร์แบบวนซ้ำสำหรับการออกแบบและการประเมินประสิทธิภาพระบบการควบคุมที่หลากหลาย เช่น ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการควบคุมร่วมกับการสื่อสารแบบ WirelessHART [14] การหาเสถียรภาพของระบบพลังงานไฟฟ้า [15] การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ไฟฟ้า [16] หรือเครื่องยนต์เจ็ท [17] เป็นต้น ดังนั้นเทคนิคการจำลองนี้จึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการควบคุมโดยใช้พีแอลซีร่วมกับโปรโตคอลมอดบัส ทีซีพีในการควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการแบบถังคู่ ซึ่งกระบวนการแบบถังคู่เป็นกระบวนการเสมือนที่จำลองขึ้น โดยที่ฮาร์ดแวร์สำหรับการควบคุมและการสื่อสารจะเป็นฮาร์ดแวร์จริง

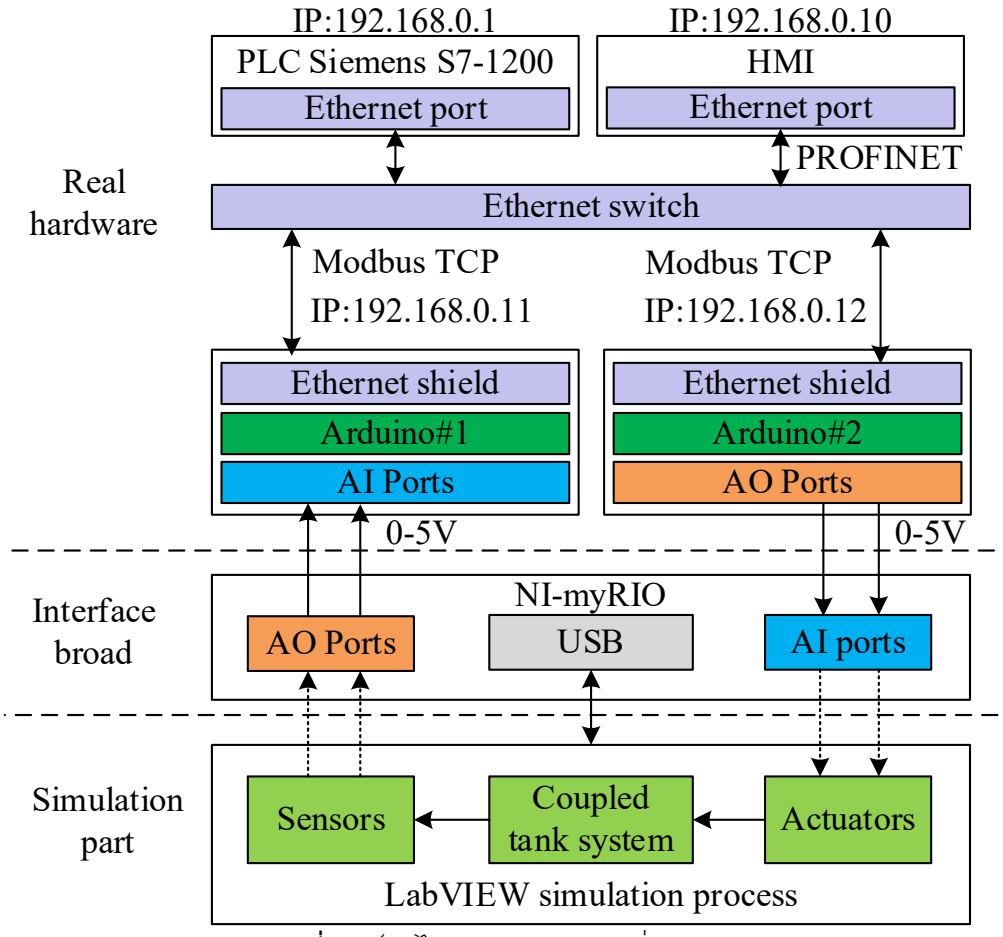
วัตถุประสงค์ในการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการใช้เทคนิคการจำลองฮาร์ดแวร์แบบวนซ้ำสำหรับการออกแบบและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการควบคุมระดับของของเหลวในระบบถังคู่ โดยเป็นการควบคุมด้วยพีแอลซีร่วมกับโปรโตคอลมอดบัสทีซีพี ในงานวิจัยนี้มีการสร้างกระบวนการถังคู่แบบจำลองโดยใช้โปรแกรม LabVIEW และบอร์ด NI myRIO ซึ่งเป็นการช่วยลดงบประมาณในการก่อสร้างกระบวนการจริงสำหรับขั้นตอนการออกแบบและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ รวมถึงการลดอันตราย และลดระยะเวลาจากการทดลองด้วย อย่างไรก็ตามในการควบคุมกระบวนการใช้ฮาร์ดแวร์จริง คือ พีแอลซี Simens รุ่น S7-1200 ด้วยการใช้การควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมระดับของของเหลว ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ยังมีการสื่อสารกันระหว่างพีแอลซีและกระบวนการจำลองโดยอาศัยโปรโตคอลมอดบัสทีซีพีซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์จริงเช่นกัน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวควบคุมพีไอดีที่ทำให้การควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการถังคู่มีประสิทธิภาพสูงสุดจะแสดงในงานวิจัยนี้ด้วยผลการทดลองจาก

ระบบจำลองฮาร์ดแวร์แบบวนซ้ำที่สร้างขึ้น รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพของการสื่อสารก็จะมีการนำเสนอด้วยเช่นกัน

วิธีวิทยาการวิจัย

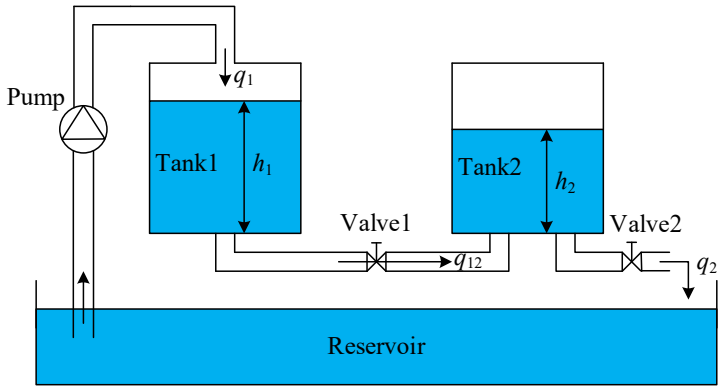
ในภาพที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบที่นำเสนอ เป็นการใช้เทคนิคการจำลองฮาร์ดแวร์แบบวนซ้ำร่วมกับโปรโตคอลมอดบัสทีซีพีสำหรับการออกแบบและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการควบคุมระดับของของเหลวในระบบถังคู่ โดยเทคนิคที่นำเสนอนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของกระบวนการถังคู่จำลอง (Simulation part) ส่วนการเชื่อมประสาน (Interface part) และส่วนของฮาร์ดแวร์จริง (Real hardware) โดยในส่วนกระบวนการถังคู่จำลองสามารถสร้างขึ้นได้จากโปรแกรม LabVIEW และสามารถรับ/ส่งสัญญาณทั้งจากเซ็นเซอร์และตัวขับไปยังฮาร์ดแวร์จริงโดยอาศัยบอร์ด NI myRIO ซึ่งอยู่ในรูปแบบสัญญาณแอนะล็อกขนาดแรงดัน 0–5V ผ่านพอร์ต AO (Analog Output) และ AI (Analog Input) ของบอร์ด NI myRIO ตามลำดับ ซึ่งต่อเชื่อมกับบอร์ด Arduino#1 และ Arduino#2 โดยมีการแปลงข้อมูลระหว่างแรงดันและโปรโตคอลมอดบัสทีซีพี โดยอาศัยการทำงานร่วมของบอร์ด Ethernet shield W5100 สำหรับเชื่อมต่อไปยังพีแอลซี Siemens รุ่น S7–1200 ผ่านอีเทอร์เน็ตสวิตช์ สามารถเรียกอุปกรณ์การแปลงนี้ได้ว่าเป็น Modbus TCP/Voltage converter นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมต่อหน้าจอ HMI เพื่อแสดงกราฟฟิกต่างๆ ของกระบวนการ รวมถึงการกำหนดค่าระดับของของเหลวที่ต้องการ (Setpoint) จากผู้ใช้งาน โดยใช้โปรโตคอล PROFINET ในระบบที่นำเสนอได้มีการตั้งค่าที่อยู่ไอพี (IP address) ของอุปกรณ์ในโครงข่ายไว้ทั้งหมด โดยจะมีการอธิบายการทำงานของแต่ละส่วนอย่างละเอียด ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของระบบที่นำเสนอ

- **กระบวนการจำลองของระบบถังคู่ และส่วนการเชื่อมประสาน**

ระบบถังคู่ที่จะนำมาสร้างเป็นกระบวนการจำลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 ประกอบไปด้วยถังทรงกระบอกขนาดเท่ากันจำนวนสองถัง ทั้งสองถังอยู่ในระดับเดียวกันและเชื่อมต่อกันด้วยท่อโดยมีวาล์วควบคุม Valve1 เพื่อกำหนดอัตราการไหล q_{12} ระหว่างถังทั้งสอง สำหรับอัตราการไหลเข้าของของเหลว q_1 (Inlet) สามารถควบคุมได้จากปั๊ม (Pump) ที่สูบของเหลวจากในถังเก็บ (Reservoir) เข้าไปยัง Tank1 และมีวาล์วควบคุม Valve2 เชื่อมต่อกับ Tank2 เพื่อควบคุมอัตราการไหลขาออก q_2 (Outlet)



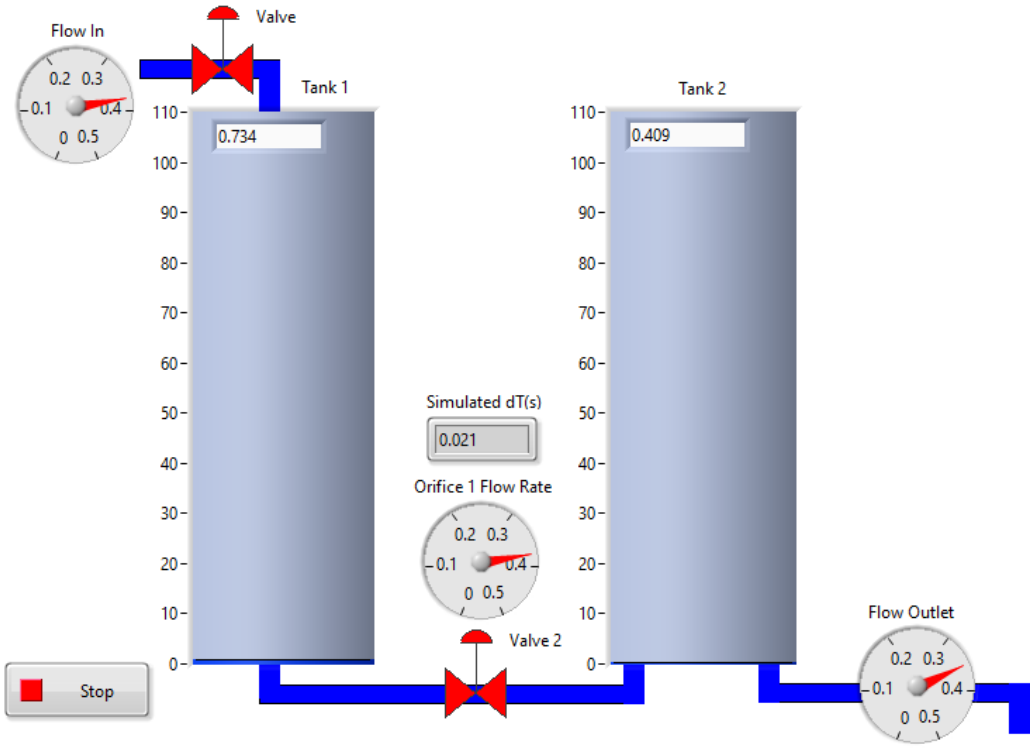
ภาพที่ 2 กระบวนการถังคู่

เมื่อใช้หลักการสมดุลมวลสาร (Mass balance) และกฎของ Bernoulli สามารถแสดงแบบจำลองพลวัต (Dynamic model) เพื่อหาค่า h_1 และ h_2 ซึ่งเป็นระดับของของเหลวของ Tank1 และ Tank2 ตามลำดับได้ดังนี้

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{q_1}{A} - \frac{A_{12}}{A}\sqrt{2g\left(h_1 - h_2\right)} \tag{1}$$

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{A_{12}}{A}\sqrt{2g\left(h_1 - h_2\right)} - \frac{A_2}{A}\sqrt{2gh_2} \tag{2}$$

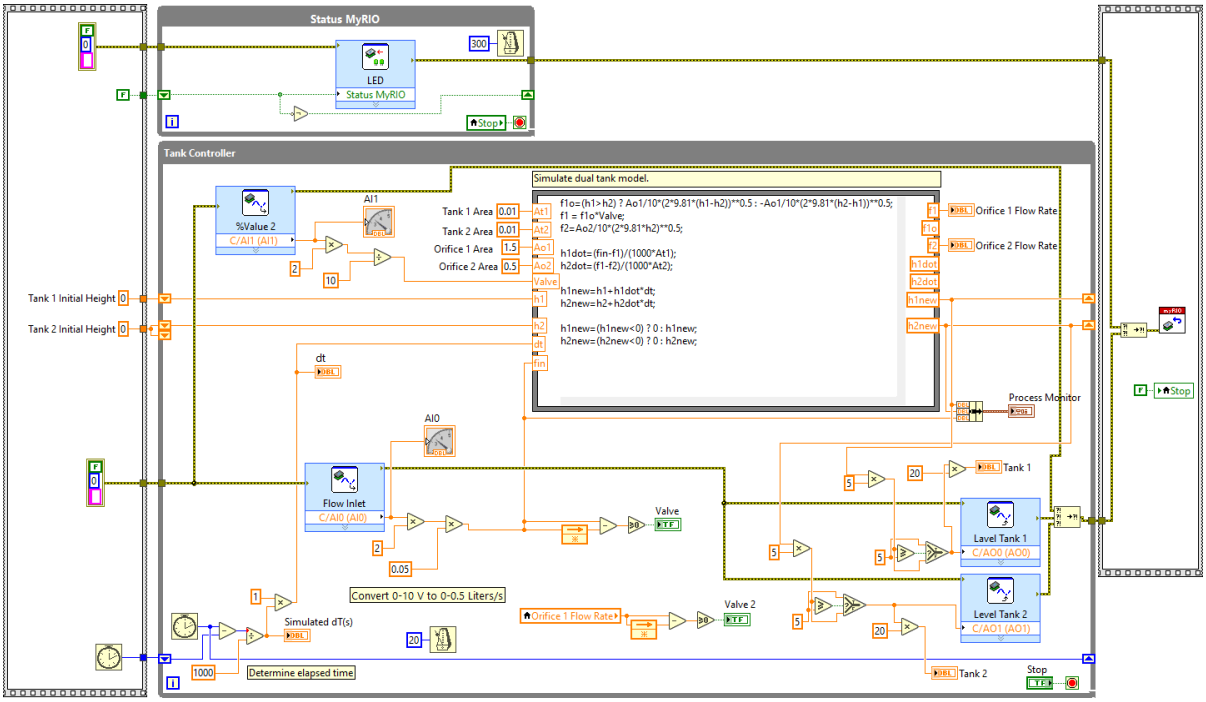
ในภาพที่ 3 และ ภาพที่ 4 แสดงกระบวนการจำลองของกระบวนการถังคู่ที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม LabVIEW โดยเป็นภาพในส่วนติดต่อผู้ใช้งานแบบกราฟิก (GUI : Graphical User Interface) และในส่วนของซอฟแวร์เครื่องมือวัดเสมือน (VI : Virtual Instrument) ตามลำดับ ทั้งนี้ต้องมีการแปลงสมการที่ (1) และ (2) ที่อยู่ในรูปแบบของสัญญาณต่อเนื่อง (Continues signal) ให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณดีสครีต (Discrete signal) ในระบบที่นำเสนอนสามารถรับ/ส่งสัญญาณระหว่างส่วนกระบวนการจำลองและส่วนฮาร์ดแวร์จริงโดยใช้บอร์ด NI myRIO และในตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของตัวแปรต่างๆ ทั้งค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการสร้างกระบวนการจำลองสำหรับงานวิจัยนี้รวมถึงพอร์ตของบอร์ด NI myRIO



ภาพที่ 3 ส่วน GUI ของ LabVIEW ของกระบวนการจำลองของกระบวนการถังคู่

ตารางที่ 1 รายละเอียดของพารามิเตอร์ในกระบวนการถังคู่แบบจำลอง

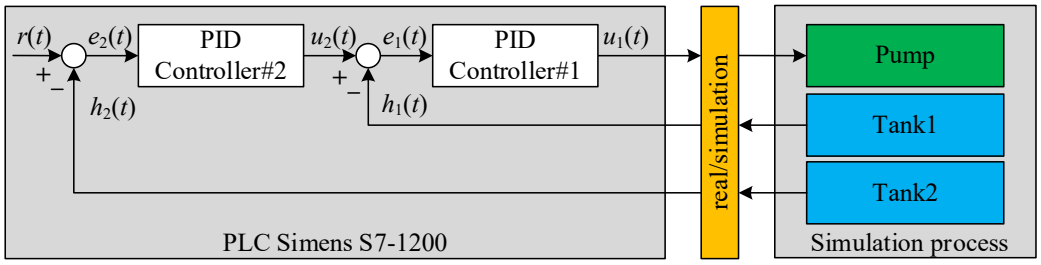
ตัวแปร	คำอธิบาย	พอร์ตของ NI myRIO	ค่าที่กำหนด	หน่วย
h_1	ระดับของของเหลวใน Tank1	AO1	25	cm
h_2	ระดับของของเหลวใน Tank2	AO2	25	cm
q_1	อัตราของไหลขาเข้า	AI1	0–0.5	cm^3/s
q_2	อัตราของไหลขาออก	–	0–0.5	cm^3/s
q_{12}	อัตราของไหลระหว่างถังทั้งสอง	AI2	0–0.5	cm^3/s
A	พื้นที่หน้าตัดของถังทั้งสอง	–	10	cm^2
A_{12}	พื้นที่หน้าตัดของวาล์วควบคุมอัตราไหล q_{12}	–	0–0.5	cm^2
A_2	พื้นที่หน้าตัดของวาล์วควบคุมอัตราไหล q_2	–	0.5	cm^2
g	แรงโน้มถ่วง	–	981	cm/s^2



ภาพที่ 4 ส่วน VI ของ LabVIEW ของกระบวนการจำลองของกระบวนการถังคู่

- **ส่วนของฮาร์ดแวร์จริง**

ส่วนของฮาร์ดแวร์จริงเป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการแบบถังคู่ ใช้พีแอลซี Siemens รุ่น S7-1200 เป็นตัวควบคุม โดยสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมได้ดังภาพที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการใช้ตัวควบคุมพีไอดีจำนวนสองตัวในการควบคุมระบบ มีวัตถุประสงค์ในการควบคุมระดับของของเหลวใน Tank2 หรือ $h_2(t)$ ให้เป็นไปตามค่าที่ต้องการ $r(t)$ โดยใช้ PID Controller#2



ภาพที่ 5 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการแบบถังคู่

สามารถหาค่าเอาต์พุตวงปิดนอก (Outer closed loop) ของตัวควบคุม PID Controller#2 ได้ดังนี้

$$u_2(t) = K_{2p}e_2(t) + K_{2i}\int e_2(t)dt + K_{2d}\frac{de_2(t)}{dt} \quad (3)$$

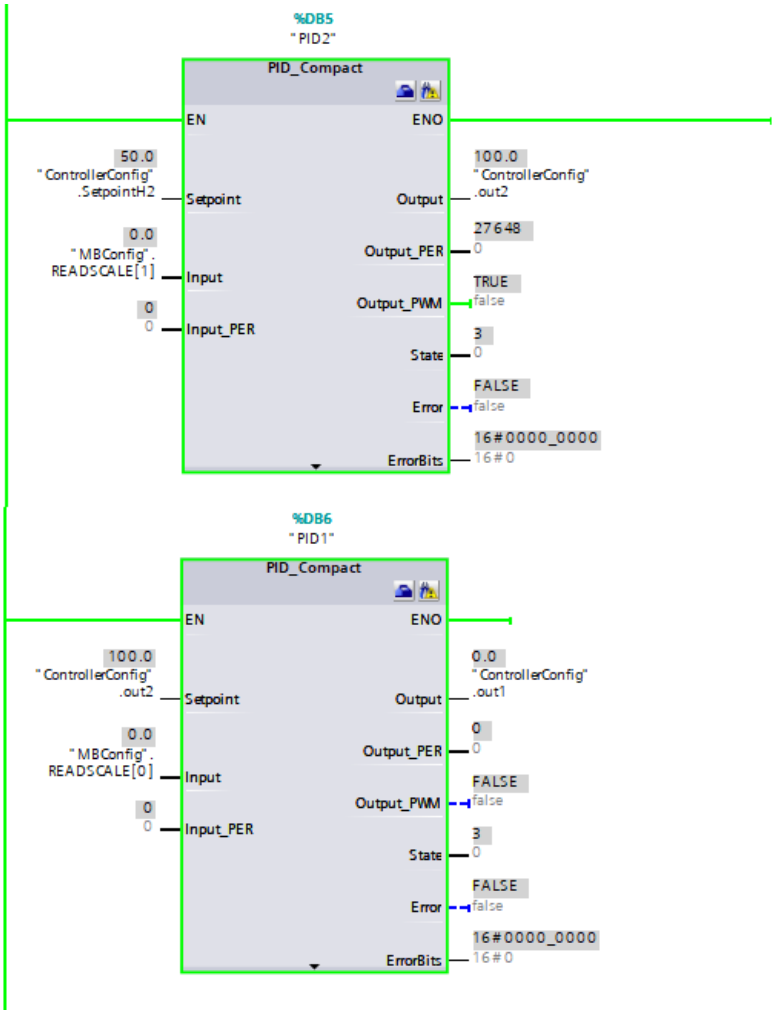
$$e_2(t) = r(t) - h_2(t) \quad (4)$$

เมื่อ K_{2p}, K_{2i} และ K_{2d} คือค่าเกนของตัวควบคุม PID Controller#2 และ $e_2(t)$ คือค่าผลต่างของระดับของของเหลวใน Tank2 และค่าของระดับของของเหลวที่ต้องการ เอาต์พุตที่ได้จากตัวควบคุมวงปิดนอกนี้ใช้เป็นค่าที่ต้องการของวงปิดใน (Inner closed loop) โดยมีตัวควบคุมเป็น PID Controller#1 ซึ่งสามารถหาเอาต์พุตได้ดังนี้

$$u_1(t) = K_{1p}e_1(t) + K_{1i}\int e_1(t)dt + K_{1d}\frac{de_1(t)}{dt} \tag{5}$$

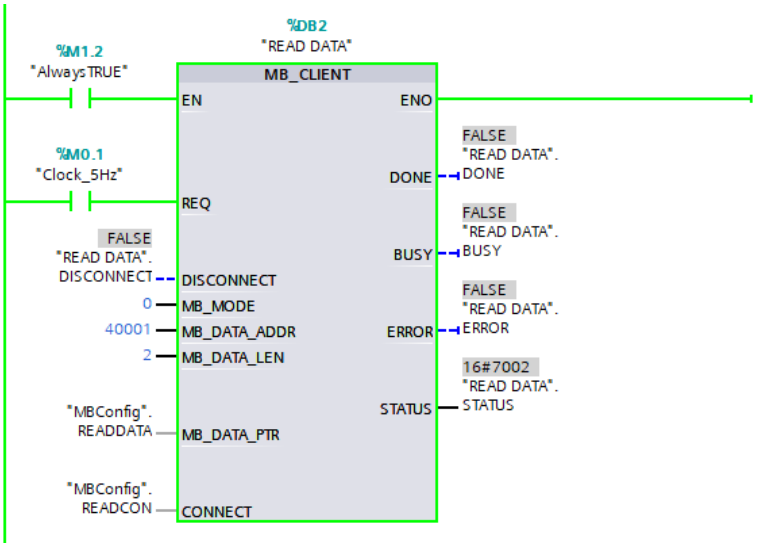
$$e_1(t) = u_2(t) - h_1(t) \tag{6}$$

เมื่อ K_{1p}, K_{1i} และ K_{1d} คือค่าเกนของตัวควบคุม PID Controller#1 และ $e_1(t)$ คือค่าผลต่างของระดับของของเหลวใน Tank1 และค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม PID Controller#2 โดย $u_1(t)$ คือค่าแรงดันแอนะล็อกในการควบคุมอัตราไหล $q_1(t)$ ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็น $q_1(t) = C_p u_1(t)$ เมื่อ C_p คือค่าอัตราไหลคงที่ของของเหลว จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงแลดเดอร์ไดอะแกรม (Ladder diagram) ของพีแอลซีสำหรับการควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการแบบถังคู่ได้ดังภาพที่ 6 โดยใช้บล็อก PID_Compact



ภาพที่ 6 แลดเดอร์ไดอะแกรมของพีแอลซีสำหรับการควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการแบบถังคู่

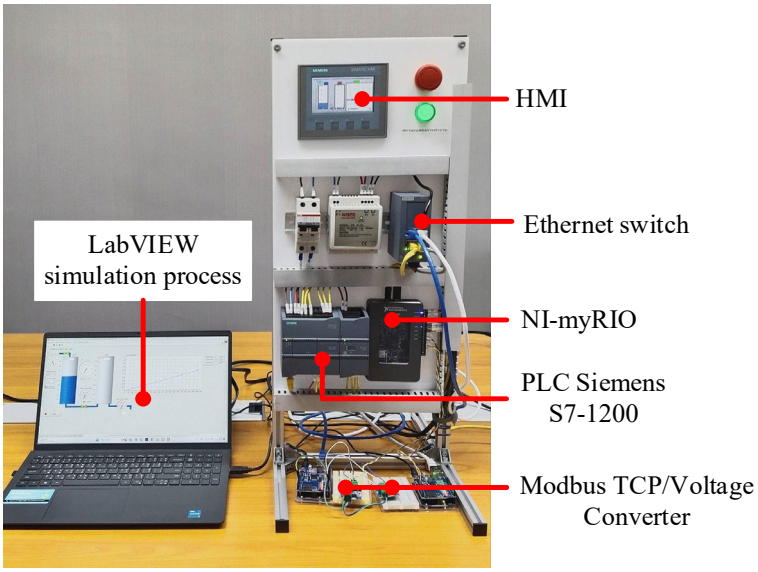
งานวิจัยนี้มีส่วนทั้งที่เป็นกระบวนการจำลองและส่วนของฮาร์ดแวร์จริง ซึ่งใช้บอร์ด NI myRIO ในการเชื่อมประสานระหว่างสองส่วนนี้ ทั้งค่าสัญญาณแอนะล็อกอินพุตและเอาต์พุตของกระบวนการจำลองถูกแปลงเป็นโปรโตคอลมอดบัสทีซีพีโดยใช้บอร์ด Arduino ร่วมกับบอร์ด Ethernet shield รุ่น W5100 หรือที่เรียกว่า Modbus TCP/Voltage converter เพื่อให้สามารถสื่อสารกับพีแอลซีได้ ในส่วนของสัญญาณตัวขับเพื่อควบคุมอัตราการไหล $q_1(t)$ และ $q_{12}(t)$ ใช้ Function Code ของโปรโตคอลมอดบัสเป็น 16 สำหรับการเขียน multiple register โดยกำหนดที่อยู่ของพอร์ต I/O เป็น 40001 และ 40002 ตามลำดับ สำหรับอัตราไหล $q_2(t)$ กำหนดให้เป็นการควบคุมด้วยมือซึ่งสามารถควบคุมได้ในกระบวนการจำลอง ในขณะที่ระดับของของเหลว $h_1(t)$ และ $h_2(t)$ ถูกแปลงเป็นโปรโตคอลมอดบัสทีซีพีโดยใช้ Function Code เป็น 03 โดยกำหนดที่อยู่พอร์ต I/O เป็น 40001 และ 40002 ตามลำดับสำหรับการอ่าน holding register ทั้งบอร์ด Arduino#1 และ Arduino#2 ซึ่งทำหน้าที่เป็น server โดยใช้ไลบรารีในเอกสารอ้างอิงที่ [18] เพื่อติดต่อกับพีแอลซีที่ทำหน้าที่เป็น client ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างแลดเดอร์ไดอะแกรมสำหรับการอ่านข้อมูลระดับของของเหลว $h_1(t)$ และ $h_2(t)$ โดยใช้บล็อก MB_CLIENT ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 7 โดยตั้งค่าที่ขา MB_MODE เป็น 0 สำหรับการอ่านข้อมูล และเริ่มอ่านข้อมูลในตำแหน่งที่อยู่ที่ 40001 จำนวน 2 ช่อง ซึ่งสามารถกำหนดค่าที่ขา MB_DATA_ADDR และ MB_DATA_LAN ตามลำดับ สำหรับการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมอัตราการไหล $q_1(t)$ และ $q_{12}(t)$ จะต้องมีการใช้บล็อก MB_CLIENT แยกต่างหาก โดยต้องตั้งค่าที่ขา MB_MODE เป็น 1 เพื่อการเขียนข้อมูลไปยัง server อย่างไรก็ตามทั้งค่าระดับของของเหลวและอัตราการไหลต้องมีการปรับค่าให้อยู่ในย่าน 0–100% เพื่อให้เหมาะสมกับอินพุตและเอาต์พุตของพีไอดี



ภาพที่ 7 ตัวอย่างแลดเดอร์ไดอะแกรมของพีแอลซีสำหรับการอ่านข้อมูลด้วยโปรโตคอลมอดบัสทีซีพี

ผลการศึกษา

เพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอดังแสดงไว้แล้วในภาพที่ 1 งานวิจัยนี้ได้มีการสร้างระบบขึ้นจริงซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8 เพื่อใช้ในการทดลองที่มีวัตถุประสงค์คือการหาค่าพารามิเตอร์ของ PID controller#1 และ #2 ที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมระดับของของเหลว $h_2(t)$ ให้อยู่ในระดับที่ต้องการโดยผลตอบสนองนั้นต้องไม่มีโอเวอร์ชูตและสามารถลู่เข้าสู่ระดับที่ต้องการได้ในระยะเวลาอันสั้น โดยมีการกำหนดค่า Sampling time ของกระบวนการจำลองที่ 20ms ทั้งนี้ตัวควบคุมที่ใช้เป็นแบบพีไอ (PI controller) ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่นิยมใช้ในการควบคุมระดับของของเหลว โดยพีแอลซีรุ่นที่ใช้มีโหมดในการปรับจูนค่าพารามิตอร์ของพีไอดี ทั้ง pre tuning และ fine tuning เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด สามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของพีไอดีที่หาได้ในตารางที่ 2

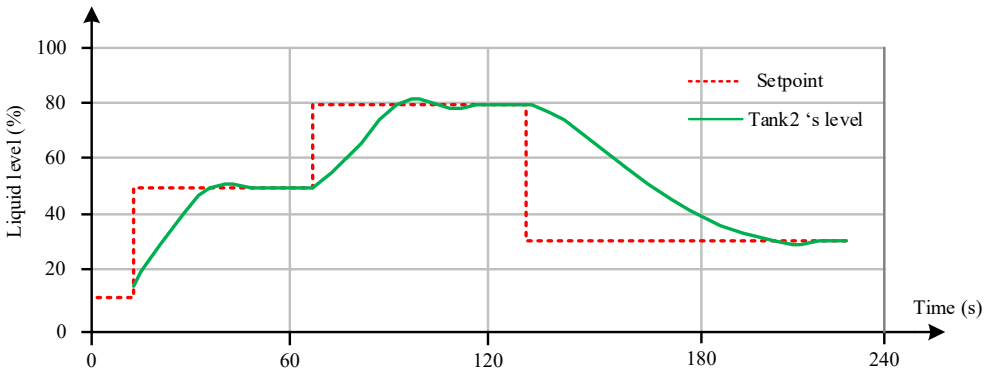


ภาพที่ 8 เทคนิคที่นำเสนอที่ถูกสร้างขึ้นจริง

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของ PID controller#1 และ PID controller#2

ค่าพารามิเตอร์	PID controller#1	PID controller#2
Proportional gain	13.099540	12.945270
Integral action time	4.748490 s	9.530416 s
Derivative delay coefficient	0.100000	0.100000
Proportioanal action weighting	0.800000	0.800000
Sampling time	1.000075×10^{-1} s	1.000041×10^{-1} s

ในการยืนยันประสิทธิภาพของระบบที่สร้างขึ้น มีการกำหนดค่าของระดับของของเหลวใน Tank2 ที่ต้องการผ่านทางหน้าจอ HMI แล้วสังเกตผลตอบสนองที่เกิดขึ้น โดยในภาพที่ 9 แสดงผลตอบสนองของระบบเมื่อมีการกำหนดค่าระดับของของเหลวใน Tank2 ที่ต้องการจำนวน 3 ค่า คือ 50%, 80% และ 30% ตามลำดับ โดยจากภาพสังเกตได้ว่าผลตอบสนองของกระบวนการถังคู่แบบจำลองสามารถลู่เข้าสู่ค่าที่ต้องการได้เสมือนกับการควบคุมกระบวนการจริง โดยมีเวลา setling time ที่ 48 วินาที เมื่อเปลี่ยนแปลงของระดับของของเหลวที่ต้องการจาก 10% เป็น 50% และจาก 50% เป็น 80% และใช้เวลา 87 วินาที เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าที่ต้องการจาก 80% เป็น 30% โดยผลตอบสนองมีโอเวอร์ชูตน้อยกว่า 2% จากผลตอบสนองที่ได้จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบที่นำเสนอสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการควบคุมของกระบวนการถังคู่ โดยใช้การจำลองฮาร์ดแวร์แบบวนซ้ำซึ่งเป็นการช่วยลดงบประมาณในการก่อสร้างกระบวนการจริงสำหรับขั้นตอนการออกแบบและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพรวมถึงการลดอันตราย และลดระยะเวลาจากการทดลอง โดยเป็นเทคนิคที่ช่วยให้สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีให้เหมาะสมได้ด้วยการวิเคราะห์จากผลตอบสนองของระบบ นอกจากนี้ในการทดลองระบบที่นำเสนอยังแสดงให้เห็นถึงการสื่อสารด้วยโปรโตคอลมอดบัสทีซีพีที่สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 9 ผลตอบสนองของระบบสำหรับการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

สรุปผลและอธิปรายผล

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้เทคนิคการจำลองฮาร์ดแวร์แบบวนซ้ำสำหรับการออกแบบและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการควบคุมระดับของของเหลวในระบบถังคู่ มีการสร้างกระบวนการถังคู่แบบจำลองโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับบอร์ด NI myRIO สำหรับสร้างแรงดัน 0–5V เพื่อเป็นอินพุต/เอาต์พุตสำหรับการควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการสองถังแบบจำลอง และมีการการแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณแรงดัน 0–5V และโปรโตคอลมอดบัสทีซีพีโดยการใช้ Modbus TCP/Voltage Converter ที่สร้างขึ้นจากบอร์ด Arduino และ Ethernet Shield W5100 เพื่อเชื่อมต่อกับ พีแอลซี Simens รุ่น S7–1200 ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการควบคุมระดับของของเหลวใน Tank2 ให้อยู่ในระดับที่ต้องการโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ที่สามารถเขียนโปรแกรมได้จากพีแอลซี จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองของกระบวนการถังคู่แบบจำลองสามารถลู่เข้าสู่ค่าที่ต้องการได้เสมือนกับการควบคุมกระบวนการจริง โดยสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอให้เหมาะสมได้ด้วยการวิเคราะห์จากผลตอบสนองของระบบ นอกจากนี้ระบบที่นำเสนอยังแสดงให้เห็นถึงการสื่อสารด้วยโปรโตคอลมอดบัสทีซีพีที่สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. S. R. Mahapatro, B. Subudhi, S. Ghosh and P. Dworak, "**A comparative study of two decoupling control strategies for a coupled tank system**," 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Singapore, 2016, pp. 3447–3451
2. M. Bakr, S. Khadraoui, R. Fareh and M. Bettayeb, "**Comparative study between ADRC and IMC applied to water level control of coupled tank**," 2022 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET), Dubai, United Arab Emirates, 2022, pp. 1–6
3. A. Adil, I. N'Doye, A. Zemouche, A. Hamaz, T.M. Laleg–Kirati, "**Coupled Tanks State Estimation Using a High–Gain Like Observer**", IFAC PapersOnLine, Volume 54, Issue 14, 2021, pp. 96–101
4. D. S. Bhandare, N. R. Kulkarni and M. V. Bakshi, "**Linearization of a Coupled tank MIMO system and its validation using MATLAB**," 2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Maharashtra, India, 2021, pp. 1–5

5. K. Pérez, H. Vargas, C. Castro, J. Chacón and L. de la Torre, "**Coupled tanks laboratory for teaching multivariable control concepts**," 2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA), Concepcion, Chile, 2018, pp. 1-6
6. S. Mangkalajan, W. Koodtalang, T. Sangsuwan and N. Pudchuen, "**Virtual Process Using LabVIEW in Combination with Modbus TCP for Fieldbus Control System**," 9th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), Penang, Malaysia, 2019, pp. 21-24
7. T. Bhaskarwar, R. Chile, S. Aole and I. Elamvazuthi, "**Remote Monitoring of Coupled Tank Accompanied by PLC-OPC-MATLAB Architecture**," 2019 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD), Bandar Seri Iskandar, Malaysia, 2019, pp. 328-332
8. W. Koodtalang and T. Sangsuwan, "**Agricultural Monitoring System with Zigbee Network and PLC based on Modbus RTU Protocol**," 2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI), Chiangmai, Thailand, 2020, pp. 201-204
9. G. Meza, C. d. Carpio, N. Vinces and M. Klusmann, "**Control of a three-axis CNC machine using PLC S7 1200 with the Mach3 software adapted to a Modbus TCP/IP network**," 2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), Lima, Peru, 2018, pp. 1-4
10. C. -H. Chen, W. -L. Chang and M. -Y. Hsieh, "**Intelligent Industrial Controller Network Based on Modbus Fieldbus**," 2022 18th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), Taipei, Taiwan, 2022, pp. 1-5
11. G. Gabor and G. Livint, "**Solution for Monitoring and Remote Control Based on Modbus RTU and S7-1200 PLC**," 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), Iasi, Romania, 2021, pp. 462-465
12. Ahmad M. El-Nagar, Mohammad El-Bardini, "**Hardware-in-the-loop simulation of interval type-2 fuzzy PD controller for uncertain nonlinear system using low cost microcontroller**, " Applied Mathematical Modelling, Volume 40, Issue 3, 2016, pp 2346-2355.
13. Mihalič F, Truntič M, Hren A. "**Hardware-in-the-Loop Simulations: A Historical Overview of Engineering Challenges**," Electronics. 2022; 11(15):2462
14. Chung Duc Tran, Rosdiazli Ibrahim, Vijanth Sagayan Asirvadam, Nordin Saad, Hassan Sabo Miya, "**Internal model control for industrial wireless plant using WirelessHART hardware-in-the-loop simulator**, " ISA Transactions, Volume 75, 2018, pp. 236-246

15. Alexander Viehweider, Georg Lauss, Lehfuss Felix, "**Stabilization of Power Hardware-in-the-Loop simulations of electric energy systems, Simulation Modelling Practice and Theory**," Volume 19, Issue 7, 2011, pp. 1699-1708

16. Sung Chul Oh, "**Evaluation of motor characteristics for hybrid electric vehicles using the hardware-in-the-loop concept**," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 54, no. 3, pp. 817-824, May 2005

17. Morteza Montazeri-Gh, Mostafa Nasiri, Soheil Jafari, "**Real-time multi-rate HIL simulation platform for evaluation of a jet engine fuel controller**, " Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 19, Issue 3, 2011, pp. 996-1006

18. https://github.com/luizcantoni/mudbus

การออกแบบตัวควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมขั้นสูงสำหรับระบบถังคู่แนวตั้ง

Design liquid level controller with advanced control for vertical coupled tank system

วิทยา กุดแถลง[1], ทักษิณ แสงสุวรรณ[1] และ สาธิต มังคลาจารย์[1*]

Wittaya Koodtalang[1], Tasksin Sangsuwan[1] and Satit Mangkalajan[1*]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการควบคุมระดับของเหลวในระบบถังคู่แนวตั้งเป็นปัญหาการควบคุมขั้นพื้นฐานที่มีอยู่ในอุตสาหกรรม ซึ่งระบบถังคู่แนวตั้ง (Vertical Coupled Tank System) ระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นทำให้การควบคุมระดับของเหลวให้มีความคงที่ตลอดเวลาต้องใช้การควบคุมขั้นสูง ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการปรับจูนพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ วิธีของซิกเกลอร์นิโคลส์ (ZN: Ziegler–Nichols) วิธีของโคเฮนคูน (CC: Cohen–Coon) และวิธีการควบคุมโมเดลภายใน (IMC: Internal Model Control) รวมทั้งยังมีการปรับปรุงผลตอบสนองสภาวะชั่วครู่ด้วยการเพิ่มตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวควบคุมป้อนกลับ จากการจำลองตัวควบคุมป้อนกลับพบว่าวิธีการควบคุมโมเดลภายในมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีของซิกเกลอร์นิโคลส์และวิธีของโคเฮนคูนด้วยค่าปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลาน้อยที่สุดเท่ากับ 65.132 และส่วนของตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้าพบว่าวิธีของซิกเกลอร์นิโคลส์ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดด้วยค่าปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลาน้อยที่สุดเท่ากับ 52.380 อย่างไรก็ตามผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมทั้งหมดเป็นไปตามข้อกำหนดการควบคุมทั้งหมด

คำสำคัญ: ตัวควบคุมพีไอ, ตัวควบคุมโมเดลภายใน, การควบคุมระดับของเหลว, ระบบถังคู่แนวตั้ง

[1] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีเครื่องมือวัดและอัตโนมัติ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

[2] Center of Excellence on Instrumentation Technology and Automation (CEITA), Department of Instrumentation and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

* Corresponding author: satit.m@eng.kmutnb.ac.th

Abstract

Currently, controlling liquid levels in vertical coupled tank system represents a fundamental control challenge encountered within the industry. The vertical coupled tank System is a non-linear system demanding advanced control techniques to ensure the continuous stability of liquid levels. Therefore, this research introduces an effective analysis of a PI controller with a three-way difference tuning approach, including Ziegler-Nichols (ZN), Cohen-Coon (CC) and Internal Model Control (IMC). The addition of a feed-forward control contributes to an improved transient response, thereby enhancing the performance of the feedback controller. Through simulation of the feedback control system, it becomes evident that the internal model control method surpasses the Ziegler-Nichols and Cohen-Coon methods, achieving a lower integral time multiplied absolute error of 65.132. Regarding the feed-forward control, the Ziegler-Nichols method demonstrated superior performance, yielding an integral time multiplied absolute error of 52.380. However, the simulation results indicate that all controllers satisfy the specified control criteria.

Keywords: PI Control, Internal Model Control, Level Control, Vertical Coupled Tank System

บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตส่วนใหญ่ใช้ของเหลวเป็นวัตถุดิบในการผลิตตั้งแต่ต้นทางจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการ ดั้งนั้นจำเป็นต้องมีการสำรองของเหลวในกระบวนการให้เพียงพอในการใช้อยู่ตลอดเวลาหรือแม้กระทั่งบ้างกระบวนการผลิตที่จำเป็นต้องรักษาระดับของของเหลวภายในถังให้คงที่อยู่ตลอดเวลา โดยทั่วๆ ไปในอุตสาหกรรมการผลิตมักจะมีถังเก็บของเหลวที่เชื่อมต่อถึงกันจากถังหลักไปยังถังอื่นๆ ในกระบวนการผลิตหรือเรียกว่าระบบถังคู่ระบบถังคู่แนวตั้งภายในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมน้ำมันและปิโตรเลียม กระบวนการผลิตน้ำประปา กระบวนการบำบัดน้ำเสีย หรือ แม้กระทั่งฟาร์มเกษตรอัจฉริยะ เป็นต้น [1-3] โดยเป้าหมายหลักในการควบคุมระดับของเหลวในอุตสาหกรรมเพื่อต้องการระยะเวลาในการเข้าสู่ระดับที่ต้องการสั้นที่สุดและไม่มีการพุ่งเกินของระดับของเหลว อันเป็นเหตุให้เกิดการล้นของของเหลวภายในถัง ซึ่งอาจจะเป็นของเหลวที่เป็นอันตราย เช่น ของเหลวที่ร้อน ของเหลวที่กัดกร่อน ของเหลวที่ไวไฟ เป็นต้น ด้วยเหตุดังกล่าวการควบคุมระดับของเหลวในอุตสาหกรรมจึงมีความคำคัญเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามการควบคุมระดับของเหลวในระบบถังคู่ไม่สามารถทำได้โดยง่ายด้วยตัวควบคุมที่เป็นเชิงเส้นมีจุดการทำงานเพียงจุดเดียวอันเนื่องมาจากพารามิเตอร์และตัวแปรของระบบถังคู่มีความไม่เป็นเชิงเส้นและมีจุดทำงานหลายจุด ดังนั้นในปัจจุบันการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบตัวควบคุมระดับของเหลวมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งหนึ่งในตัวควบคุมที่ได้รับความนิยมในระบบถังคู่แนวตั้งคือ ตัวควบคุมพีไอ (PI: Proportional – Integral-Derivative) เนื่องจากมีความยืดหยุ่น มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ใช้ทรัพยากรในการคำนวนต่ำและมีความน่าเชื่อถือเหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเพราะส่วนใหญ่อุตสาหกรรมจะใช้พีแอลซี (PLC: Programable Logic Controller) หรือดีซีเอส (DCS: Distributed Control System) เป็นตัวควบคุมกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามในปัจจุบันพีแอลซี หรือ ดีซีเอสถูกบรรจุฟังก์ชันพีไอดีอยู่ภายในอยู่แล้ว [4][5] ดังนั้นการนำตัวควบคุมสมัยใหม่ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและใช้ทรัพยากรในการคำนวณสูงจึงไม่เหมาะกับพีแอลซี

หรือ ดีซีเอส ตัวควบคุมพีไอดีเป็นการรวมกันของการควบคุมแบบอัตราส่วน K_p การควบคุมแบบอินทิกัล K_i และการควบคุมแบบอนุพันธ์ K_d ทำให้สามารถปรับผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบได้ทั้งสภาวะชั่วครู่และสภาวะอยู่ตัวด้วยการปรับจูนพารามิเตอร์ K_p, K_i, K_d อย่างไรก็ตามการนำตัวควบคุมพีไอดีมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพของการควบคุมสูงที่สุดจะขึ้นอยู่กับวิธีที่นำมาใช้ในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมทั้ง 3 ตัว ซึ่งงานวิจัยหลายปีที่ผ่านมามีวิธีในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ เช่น วิธีของซีเกอลร์นิโคลส์ [6] วิธีของโคเฮนคูน [7] วิธีของเชนคูน (Ciancone) [8] และวิธีการวางโพล (Pole Placement) [9] เป็นต้น ซึ่งวิธีที่กล่าวมาข้างต้นวิธีของซีเกอลร์นิโคลส์และวิธีของโคเฮนคูนเป็นวิธีที่ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม อันเนื่องมาจากสามารถบรรลุประสิทธิภาพสูงสุดตามที่ต้องการและมีความคงทน (Robustness) ต่อความแปรผันของกระบวนการมากกว่าวิธีอื่นๆ ซึ่งโดยปกติการหาค่าพารามิเตอร์ของวิธีที่กล่าวมาจะใช้ผลตอบสนองเชิงประจักษ์ (Empirical response) ที่ได้มาจากการป้อนอินพุตแบบขั้นบันได (Step input) เข้าไปในระบบจริง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นของระบบและพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งผลตอบสนองเชิงประจักษ์มักจะเป็นระบบอันดับหนึ่งที่มีการประวิงเวลา (FOPDT: First order plus delay time) [10] นั้นเป็นเหตุให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงในขั้นตอนการหาแบบจำลองกระบวนการ อาจจะส่งผลให้วิธีการปรับจูนพารามิเตอร์ด้วยวิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพและความคงทนต่ำ ซึ่งโดยนิยามของตัวควบคุมที่มีความคงทนคือตัวควบคุมที่ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงเล็กๆ น้อยๆ ในกระบวนการหรือความไม่ถูกต้องในแบบจำลองกระบวนการ อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแบบจำลองกระบวนการไม่เคยสมบูรณ์แบบตามกระบวนการจริง ดังนั้นตัวควบคุมจึงต้องถูกออกแบบให้มีความคงทนเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบ แม้ว่าคุณสมบัติของกระบวนการจริงจะแตกต่างจากแบบจำลองกระบวนการ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาหนึ่งในตัวควบคุมที่สามารถตอบปัญหาเรื่องความคงทนได้คือ ตัวควบคุมโมเดลภายใน [11] ที่ซึ่งใช้ตัวแปรเพียงตัวเดียวในการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุมและมีอัลกอริธึมที่ไม่ซับซ้อน

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

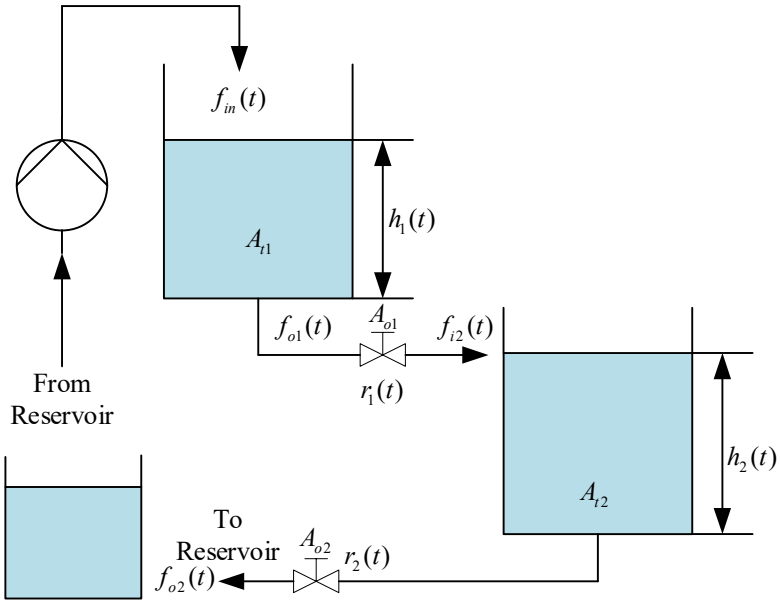
งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมระดับของเหลวขั้นสูงในระบบถังคู่แนวตั้งและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการควบคุมระดับของเหลวในแต่ละวิธีการปรับจูนพารามิเตอร์ โดยแบบจำลองกระบวนการถังคู่แนวตั้งจะอ้างอิงจากชุดทดลองมาตรฐานระบบถังคู่แนวตั้งของบริษัท Quanser ซึ่งเป็นชุดทดลองที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในระดับนานาชาติเพื่อใช้ในการทดลองเกี่ยวกับทฤษฎีและการออกแบบตัวควบคุมร่วมกับโปรแกรม LabVIEW และ Control and Simulation Toolkit ของบริษัท National Instrument ในการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีปรับจูนค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ วิธีของซีเกลอร์นิโคลส์ วิธีของโคเฮนคูนและวิธีการควบคุมโมเดลภายใน รวมทั้งยังมีการปรับปรุงผลตอบสนองสภาวะชั่วครู่ (Transient response) ด้วยการใช้ตัวควบคุมกระบวนการขั้นสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมในแต่ละวิธี รวมถึงการนำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลตอบสนองเชิงเวลาของการควบคุมระดับของเหลวในระบบถังคู่แนวตั้งที่ดีที่สุดด้วยเช่นกัน

วิธีวิทยาการวิจัย

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการแบบถังคู่แนวตั้ง โดยเทคนิคที่นำเสนอนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน คือ ส่วนของรายละเอียดและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการถังคู่แนวตั้ง ส่วนการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการปรับจูนของซีเกลอร์นิโคลส์ ส่วนการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการปรับจูนของโคเฮนคูน ส่วนการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการควบคุมโมเดลภายในและส่วนของการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับพีไอร่วมกับตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้า โดยการออกแบบตัวควบคุมทั้งหมดผ่านโปรแกรม LabVIEW ร่วมกับ Control and Simulation Toolkit และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการควบคุมระดับของเหลวจะใช้ดัชนีสมรรถนะ (Performance index criteria) ได้แก่ ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Integral Absolute Error, IAE) ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Integral Square Error, ISE) ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (Integral Time multiplied Absolute Error, ITAE) และ ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (Integral Time multiplied Square Error, ISE) โดยรายละเอียดของแต่ละส่วนจะมีการอธิบายดังต่อไปนี้

- **รายละเอียดและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการจำลองของระบบถังคู่แนวตั้ง**

ระบบถังคู่ที่จะนำมาสร้างเป็นกระบวนการจำลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1 จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นรายละเอียดของระบบถังคู่แนวตั้งประกอบไปด้วยมอเตอร์ปั๊ม (Pump) ถังทรงกระบอกจำนวนสองถังมีปริมาตรเท่ากันวางอนุกรมกันในแนวตั้ง วาล์ว (Valve) ควบคุมอัตราการไหลจำนวนสองตัวและอ่างเก็บของเหลวสำรอง (Reservoir) โดยการทำงานของระบบเริ่มจากของเหลวในอ่างเก็บของเหลวถูกสูบขึ้นมาด้วยมอเตอร์ปั๊มผ่านท่อในแนวตั้งไปยังถังด้านบน (Upper tank) ของระบบถังคู่ จากนั้นของเหลวจะไหลออกจากถังด้านบนผ่านวาล์วเพื่อกำหนดอัตราการไหลขาออก (Flow outlet) ไปสู่ถังด้านล่าง (Bottom tank) จากนั้นของเหลวจากถังด้านล่างจะไหลออกไปเก็บยังอ่างเก็บของเหลวสำรองก่อนที่ของเหลวจะถูกปั๊มกลับไปยังถังด้านบนวนไปเรื่อยๆ โดยรายละเอียดของพารามิเตอร์ ค่าที่กำหนดของระบบถังคู่แนวตั้งดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการของระบบถังคู่แนวตั้งที่นำเสนอ

ตารางที่ 1 รายละเอียดของพารามิเตอร์ในระบบถังคู่

พารามิเตอร์	รายละเอียดคำอธิบาย	ค่าที่กำหนด	หน่วย
$h_1(t)$	ระดับของของเหลวในถังด้านบน	0–25	cm
$h_2(t)$	ระดับของของเหลวในถังด้านล่าง	0–25	cm
$f_{i1}(t)$	อัตราของไหลขาเข้าสู่ถังด้านบน	ตัวแปร	cm^3/s
$f_{o1}(t)$	อัตราของไหลออกจากถังด้านบน	ตัวแปร	cm^3/s
$f_{i2}(t)$	อัตราของไหลขาเข้าสู่ถังด้านล่าง	ตัวแปร	cm^3/s
$f_{o2}(t)$	อัตราของไหลขาออกจากถังด้านล่าง	ตัวแปร	cm^3/s
D_{t1}	เส้นผ่านศูนย์กลางของถังด้านล่าง	4.45	cm
D_{t2}	เส้นผ่านศูนย์กลางของถังด้านล่าง	4.45	cm
A_{t1}	พื้นที่หน้าตัดของถังด้านบน	15.518	cm^2
A_{t2}	พื้นที่หน้าตัดของถังด้านล่าง	15.518	cm^2
A_{o1}	พื้นที่หน้าตัดของวาล์วควบคุมอัตราไหล $q_{o1}(t)$	0.1781	cm^2
A_{o2}	พื้นที่หน้าตัดของวาล์วควบคุมอัตราไหล $q_{o2}(t)$	0.1781	cm^2
K_p	ค่าคงที่อัตราการไหลของปั๊ม	3.3	$cm^3/s/v$
g	แรงโน้มถ่วง	981	cm/s^2

จากภาพที่ 1 สามารถหาอัตราการไหลของของเหลวเข้าไปสู่ถังด้านบนได้ดังสมการนี้

$$f_{in}(t) = K_p v_p(t) \tag{1}$$

โดยที่ K_p คือค่าคงที่ของปั๊มและ $v_p(t)$ คือแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับปั๊ม

พิจารณาถังด้านบน

เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของของเหลวออกจากถังด้านบนจะพบว่ามีความสัมพันธ์กับความสูงของระดับของเหลวภายในถัง ซึ่งเมื่อระดับของเหลวภายในถังสูงขึ้นส่งผลให้ความเร็วของเหลวไหลออกมีค่าสูงขึ้นตาม ในทางกลับกันถ้าระดับของเหลวภายในถังต่ำจะส่งผลให้ความเร็วของเหลวไหลออกต่ำตามไปด้วย ดังนั้นในการหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของเหลวภายในถังกับความเร็วของเหลวที่ไหลออกจากถัง จะใช้สมการของแบร์นูลี (Bernoulli's equation) ในการอธิบายความสัมพันธ์ดังนี้

$$v_1(t) = \sqrt{2gh_1(t)} \tag{2}$$

โดยที่ $v_1(t)$ คือความเร็วของเหลว (cm/s) และ $h_1(t)$ คือความสูงของน้ำภายในถัง (cm)

ดังนั้นในการหาอัตราการไหลของเหลวคือ การพิจารณาความเร็วของไหลจากสมการที่ 2 กับขนาดพื้นที่ของรูที่ของเหลวไหลผ่าน A_{o1} ทำให้สามารถหาอัตราการไหลออกของเหลวจากถังด้านบนได้ดังนี้

$$f_{o1}(t) = A_{o1}\sqrt{2gh_1(t)} \tag{3}$$

โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับของเหลวถังด้านบนมีความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการไหลของเหลวเข้าและอัตราการไหลของเหลวออกต่อขนาดพื้นที่ของถังด้านบน A_{t1} สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = \frac{-f_{o1}(t) + f_{in}(t)}{A_{t1}} = -\frac{A_{o1}\sqrt{2g}\sqrt{h_1(t)}}{A_{t1}} + \frac{K_p v_p(t)}{A_{t1}} \tag{4}$$

พิจารณาถังด้านล่าง

เมื่อพิจารณาถังด้านล่างจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าของเหลวที่ไหลเข้าไปยังถังด้านล่างจะมีอัตราการไหลที่ไม่คงที่แต่จะสัมพันธ์กับอัตราการไหลของเหลวออกจากถังด้านบน ซึ่งในที่นี้ก็ขึ้นอยู่กับระดับความสูงของเหลวในถังด้านบน ซึ่งสามารถเขียนสมการของอัตราการไหลของเหลวเข้าสู่ถังด้านล่างได้ดังนี้

$$f_{i2}(t) = f_{o1}(t) = A_{o1}\sqrt{2gh_1(t)} \tag{5}$$

ในส่วนของอัตราไหลของเหลวออกจากถังด้านล่างจะมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของเหลวภายในถังด้านล่างเช่นเดียวกับถังด้านบน สามารถหาอัตราการไหลออกของเหลวจากถังด้านล่างได้ดังนี้

$$f_{o2}(t) = A_{o2}\sqrt{2gh_2(t)} \tag{6}$$

ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับของเหลวถังด้านล่างจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการไหลของเหลวเข้าและอัตราการไหลของเหลวออกต่อขนาดพื้นที่ของถังด้านล่าง สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = \frac{-f_{o2}(t) + f_{i2}(t)}{A_{t2}} = -\frac{A_{o2}\sqrt{2g}\sqrt{h_2(t)}}{A_{t2}} + \frac{A_{o1}\sqrt{2g}\sqrt{h_1(t)}}{A_{t2}} \tag{7}$$

จากสมการที่ 6 และสมการที่ 7 พบว่าตัวแปรของระดับความสูงของเหลวในถังด้านบน $h_1(t)$ และระดับความสูงของเหลวในถังด้านล่าง $h_2(t)$ มีความไม่เป็นเชิงเส้น อันเนื่องมาจากติดค่ายกกำลังยศนิยมและมีการเปลี่ยนแปลงค่าอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นกระบวนการที่อยู่ในรูปแบบนี้เมื่อต้องการใช้ตัวควบคุมแบบเชิงเส้นจำเป็นจะต้องประมาณค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearization) รอบๆ จุดทำงาน โดยการนำอนุกรมเทเลอย์ (Taylor series) มาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าความเป็นเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\frac{dh_1'(t)}{dt} = -\frac{A_{o1}\sqrt{2g}h_1'(t)}{2A_{t1}\sqrt{h_{10}(t)}} + \frac{K_p v_{ps}(t)}{A_{t1}} \tag{8}$$

และ

$$\frac{dh_2'(t)}{dt} = -\frac{A_{o2}\sqrt{2g}h'_2(t)}{2A_{t2}\sqrt{h_{20}(t)}} + \frac{A_{o1}\sqrt{2g}h'_1(t)}{2A_{t2}\sqrt{h_{10}(t)}} \tag{9}$$

จากสมการที่ 8 และสมการที่ 9 สามารถแปลงสมการดิฟเฟอเรนเชียลให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ โดยใช้การแปลงลาปลาส (Laplace transform) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างระดับของเหลวในถังด้านบนและแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับปั๊มดังนี้

$$\frac{H_1^{'}(s)}{V_{ps}(s)}=\frac{K_p/A_{t1}}{s+\frac{A_{o1}\sqrt{2g}}{2A_{t1}\sqrt{h_{10}(t)}}}=\frac{K_p}{A_{t1}s+\frac{A_{o1}\sqrt{2g}}{2\sqrt{h_{10}(t)}}} \quad (10)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างระดับของเหลวในถังด้านบนและระดับของเหลวในถังด้านล่างดังนี้

$$\frac{H_2^{'}(s)}{H_1^{'}(s)}=\frac{A_{o1}\sqrt{h_{20}(t)}}{A_{o2}\sqrt{h_{10}(t)}}\left(\frac{1}{\frac{2A_{t2}\sqrt{h_{20}(t)}}{A_{o2}\sqrt{2g}}s+1}\right) \quad (11)$$

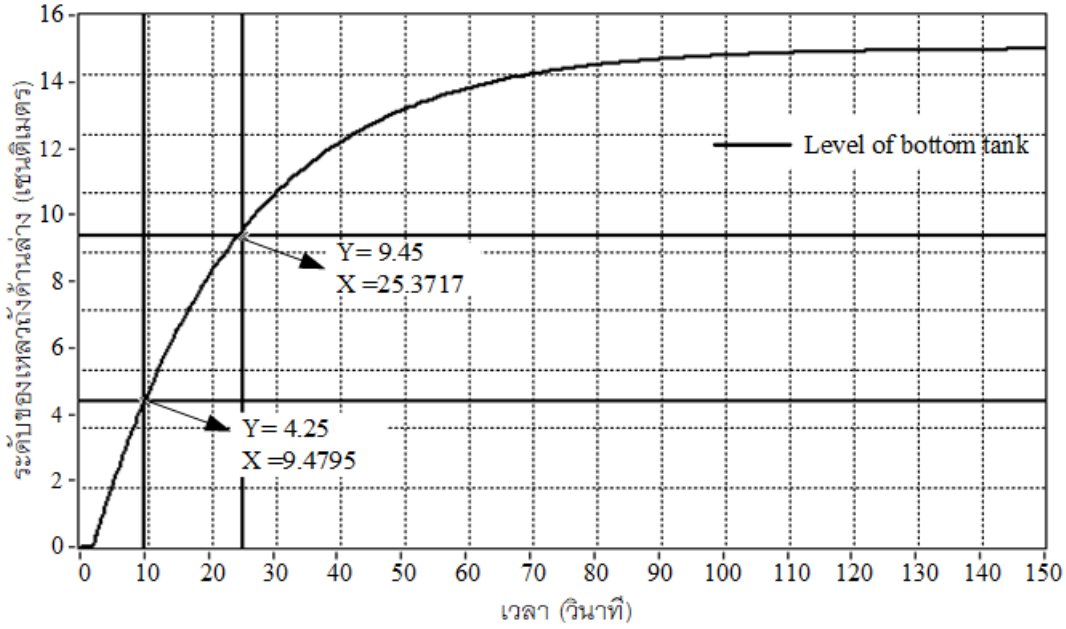
จากสมการที่ 10 และสมการที่ 11 เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 1 จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของถังด้านบนของระบบถังคู่แนวตั้งดังนี้

$$G_{1(linear)}=\frac{3.3}{15.518s+\frac{0.1781\sqrt{2(981)}}{2\sqrt{15}}}=\frac{3.242}{15.245s+1} \quad (12)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอนของถังด้านล่างของระบบถังคู่แนวตั้งดังนี้

$$G_{2(linear)}(s)=\frac{0.1781\sqrt{15}}{0.1781\sqrt{15}}\left(\frac{1}{\frac{2(15.518)\sqrt{15}}{0.1781\sqrt{2(981)}}s+1}\right)=\frac{1}{15.2369s+1} \quad (13)$$

จากสมการที่ 12 และสมการที่ 13 พบว่าฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบถังคู่แนวตั้งที่ผ่านการประมาณค่าความเป็นเชิงเส้นจะมีสมการเป็นอันดับหนึ่งที่ไม่มีการประวิงเวลา (FONDT: First Order Non Delay Time) โดยถังด้านบนมีอัตราขยายซีดีเท่ากับ 3.242 และค่าเวลาคงตัวของระบบเท่ากับ 15.245 ส่วนถังด้านล่างมีอัตราขยายซีดีเท่ากับ 1 และค่าเวลาคงตัวของระบบเท่ากับ 15.2369 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในการปรับจูนพารามิเตอร์ด้วยวิธีของซีเกลอร์นิโคลส์และวิธีของโคเฮนคูน จำเป็นต้องมีเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ (PRC: Process Reaction Curve) สำหรับกระบวนการออกแบบตัวควบคุม ซึ่งโดยส่วนใหญ่สามารถประมาณได้อย่างสมเหตุสมผลจากการป้อนอินพุตแบบขั้นบันไดให้กับกระบวนการจริง เพื่อให้ได้พารามิเตอร์อัตราขยายดีซี K ค่าเวลาคงตัวของระบบ τ และค่าประวิงเวลาของระบบ θ ของฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับหนึ่งที่มีการประวิงเวลา โดยผลตอบสนองเชิงประจักษ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นของระดับของเหลวถังด้านล่างจากกระบวนการจริงดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผลตอบสนองเชิงประจักษ์ของระดับของเหลวถังด้านล่างของระบบถังคู่แนวตั้ง

จากภาพที่ 2 สามารถหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับวิธีซีเกลอร์นิโคลส์และวิธีโคเฮนคูน โดยจะพิจารณาที่ระดับของเหลวในถังที่ 63.2% และ 28.3% ของระดับของเหลวที่ต้องการตามลำดับ จะได้เวลาเท่ากับ 25.3717 วินาทีและเวลาเท่ากับ 9.4795 วินาที ตามลำดับ ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าเวลาคงตัวของระบบได้ดังนี้

$$\tau = 1.5(25.3717 - 9.4795) = 23.838 \text{ s} \tag{14}$$

และค่าประวิงเวลาของระบบหาได้จาก

$$\theta = 25.3717 - 23.838 = 1.5337 \text{ s} \tag{15}$$

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับหนึ่งร่วมกับการประวิงเวลา โดยมีอัตราขยายดีซีเท่ากับ 1 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$G_{2(nonlinear)}(s) = \frac{1}{23.838s + 1} e^{-1.5337s} \tag{16}$$

- **การออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการปรับจูนของซีเกลอร์นิโคลส์**

การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมด้วยวิธีซีเกลอร์นิโคลส์เป็นวิธีการที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม อันเนื่องมาจากสามารถทำได้ทั้งจากการทดสอบผลตอบสนองวงเปิด (Open loop response) และผลตอบสนองวงปิด (Closed loop response) ของระบบ โดยจากผลตอบสนองเชิงประจักษ์สามารถนำพารามิเตอร์ทั้งค่าเวลาคงตัวของระบบและค่าประวิงเวลาของระบบไปหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมด้วยตารางของซีเกลอร์นิโคลส์ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ตัวควบคุมของซีเกลอร์นิโคลส์

ชนิดของตัวควบคุม	K_c	T_i	T_d
ตัวควบคุมพี	τ/θ	∞	0
ตัวควบคุมพีไอ	$0.9\tau/K\theta$	$\theta/0.3$	0
ตัวควบคุมพีไอดี	$1.2\tau/K\theta$	$\theta/0.5$	$\theta/0.5$

จากตารางที่ 2 สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอได้ดังนี้

$$K_c = K_p = 0.9(23.838)/1.5337 = 13.988$$
$$T_i = 1.5337/0.3 = 5.1123$$
$$K_i = \frac{K_c}{T_i} = \frac{13.988}{5.1123} = 2.7361$$

ดังนั้นสามารถเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีซีเกลอร์นิโคลส์ได้ดังนี้

$$G_{zn-pi}(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s}\right) = 13.988 + \frac{2.7361}{s} \quad (17)$$

- **การออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการปรับจูนของโคเฮนคูน**

เช่นเดียวกับวิธีของซีเกลอร์นิโคลส์ที่ใช้ผลตอบสนองเชิงประจักษ์ในการหาพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมด้วยตารางของโคเฮนคูนดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ตัวควบคุมของโคเฮนคูน

ชนิดของตัวควบคุม	K_c	T_i	T_d
ตัวควบคุมพี	$(\tau/K\theta)\left(\frac{\theta}{3\tau}+1\right)$	∞	0
ตัวควบคุมพีไอ	$(\tau/K\theta)\left(\frac{\theta}{12\tau}+0.9\right)$	$\frac{\theta(30+3(\theta/\tau))}{9+20(\theta/\tau)}$	0
ตัวควบคุมพีไอดี	$(\tau/K\theta)\left(\frac{(16+(3\theta/\tau))}{12}+0.185\right)$	$\frac{\theta(32+6(\theta/\tau))}{13+8(\theta/\tau)}$	$4\theta\left(\frac{1}{11+2(\theta/\tau)}\right)$

จากตารางที่ 3 สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอได้ดังนี้

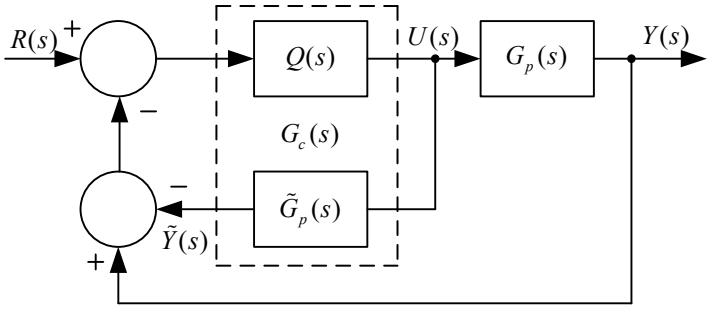
$$K_c = (23.838/1.5337)\left(\frac{1.5337}{12(23.838)}+0.9\right) = 14.0718$$
$$T_i = \frac{1.5337(30+3(1.5337/23.838))}{9+20(1.5337/23.838)} = \frac{46.307}{10.2867} = 4.5016$$
$$K_i = \frac{K_c}{T_i} = \frac{14.0718}{4.5016} = 3.1259$$

ดังนั้นสามารถเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีโคเฮนคูนได้ดังนี้

$$G_{cc-pi}(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right) = 14.0718 + \frac{3.1259}{s} \tag{18}$$

- **การออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการควบคุมโมเดลภายใน**

วิธีการควบคุมโมเดลภายในเป็นการเพิ่มส่วนของการสังเกตการณ์เข้าไปช่วยในการลดผลกระทบที่เกิดจากสิ่งรบกวนระบบดังแสดงในภาพที่ 3 โดยหลักแล้วถ้ากรณีที่ระบบมีสัญญาณรบกวนเข้ามาค่าในการป้อนกลับจากตัวสังเกตการณ์กับค่าเอาต์พุตของกระบวนการจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นค่าในการป้อนกลับจริงที่ตัวควบคุมสามารถรับรู้จะเป็นค่าของสัญญาณที่เกิดจากการรบกวนระบบเท่านั้น ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ระบบควบคุมสามารถจัดการกับสิ่งรบกวนระบบได้ดีขึ้น



ภาพที่ 3 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมโมเดลภายใน

จากรูปที่ 3 ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมภายในสามารถเขียนได้ดังนี้

$$G_c(s) = \frac{Q(s)}{1 - \tilde{G}_p(s)Q(s)} \tag{19}$$

ถ้าพิจารณาจากฟังก์ชันถ่ายโอนของสมการอันดับหนึ่งไม่มีการประวิงเวลาของระบบถังคู่แนวตั้ง สามารถเขียนโมเดลภายในของกระบวนการได้ดังนี้

$$\tilde{G}_p(s) = \frac{K}{(\tau s + 1)} \tag{20}$$

ดังนั้นตัวควบคุมโมเดลภายในร่วมกับฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองความถี่สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Q(s) = \frac{(\tau s + 1)}{K(\lambda s + 1)^n} \tag{21}$$

โดยที่ λ คือพารามิเตอร์ควบคุมความเร็วของผลตอบสนองและ n คืออันดับของตัวกรอกความถี่ อย่างไรก็ตามในการออกแบบควรกำหนด λ มากกว่า 0.1τ [12]

จากสมการที่ 19 สามารถเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมโมเดลภายในได้ดังนี้

$$G_c(s) = \frac{\frac{(\tau s+1)}{K(\lambda s+1)^n}}{1-\frac{K}{(\tau s+1)}\frac{(\tau s+1)}{K(\lambda s+1)^n}} = \frac{\tau s+1}{K((\lambda s+1)^n-1)} \quad (22)$$

ในกรณีนี้ค่าคงตัวของเวลาเท่ากับ 15.2369 ดังนั้นจะเลือกค่า λ เท่ากับ 2 และเลือกอันดับ n เท่ากับ 1 ทำให้สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอได้จากการเทียบสัมประสิทธิ์กับสมการของตัวควบคุมภายได้ดังนี้

$$K_c = \frac{\tau}{K\lambda} = \frac{15.2369}{2} = 7.6184$$
$$T_i = \tau = 15.2369$$
$$K_i = K_c / T_i = 7.6184 / 15.2369 = 0.4999$$

ดังนั้นสามารถเขียนสมการของตัวควบคุมพีไอจากพารามิเตอร์ของวิธีตัวควบคุมภายได้ดังนี้

$$G_{imc-pi}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} = 7.6184 + \frac{0.4999}{s} \quad (23)$$

- **การออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับพีไอร่วมกับตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้า**

การควบคุมป้อนไปข้างหน้าทำหน้าที่ช่วยชดเชยการเปลี่ยนแปลงในการรบกวนของกระบวนการก่อนที่ระบบควบคุมป้อนกลับจะตรวจพบการเปลี่ยนแปลง ซึ่งตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้าจะเป็นรูปแบบการควบคุมแบบวงเปิดที่ช่วย

ชดเชยไดนามิกของระบบ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ค่าผิดพลาดของที่ป้อนกลับมาจากกระบวนการในการติดตามค่าเอาต์พุตของระบบ โดยบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมป้อนกลับร่วมกับตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้าดังแสดงในภาพที่ 4การหาค่าอัตราขยายของตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้า จะพิจารณาที่ระดับของเหลว ณ จุดสมดุลที่ $h_1(t) = h_{10}(t)$ และ $h_2(t) = h_{20}(t)$ ที่สถานะอยู่ตัวของระดับของเหลวจากสมการที่ 7 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = 0 = -A_{o2}\sqrt{2g}\sqrt{h_{20}(t)} + A_{o1}\sqrt{2g}\sqrt{h_{10}(t)} \quad (24)$$

ดังนั้นที่สถานะอยู่ตัวอัตราการไหลของเหลวเข้าและออกจากถังมีค่าเท่าดังสมการนี้

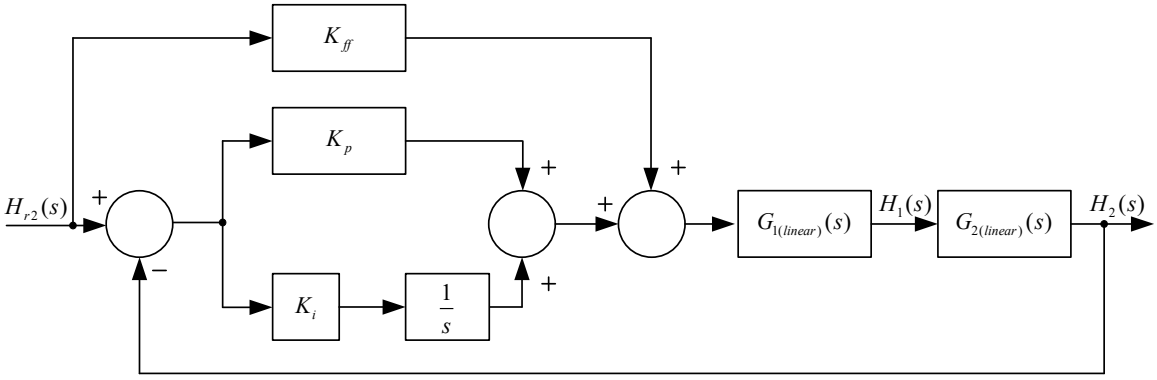
$$A_{o2}\sqrt{2g}\sqrt{h_{20}(t)} = A_{o1}\sqrt{2g}\sqrt{h_{10}(t)} \quad (25)$$

จัดรูปสมการที่ 25 เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างระดับของเหลวถังด้านบนและถังด้านล่างได้ดังนี้

$$\frac{\sqrt{h_{10}(t)}}{\sqrt{h_{20}(t)}} = \frac{A_{o2}}{A_{o1}} \quad (26)$$

ดังนั้นในกรณีพื้นที่หน้าตัดของวาล์วควบคุมอัตราไหลของถังด้านบนและถังด้านล่างมีขนาดเท่ากันอัตราขยายของตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้าสามารถหาได้ดังนี้

$$K_{ff} = \frac{A_{o2}^2}{A_{o1}^2} = \frac{(0.1781)^2}{(0.1781)^2} = 1 \tag{27}$$



ภาพที่ 4 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมป้อนกลับร่วมกับตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้าของระบบถังคู่แนวตั้ง

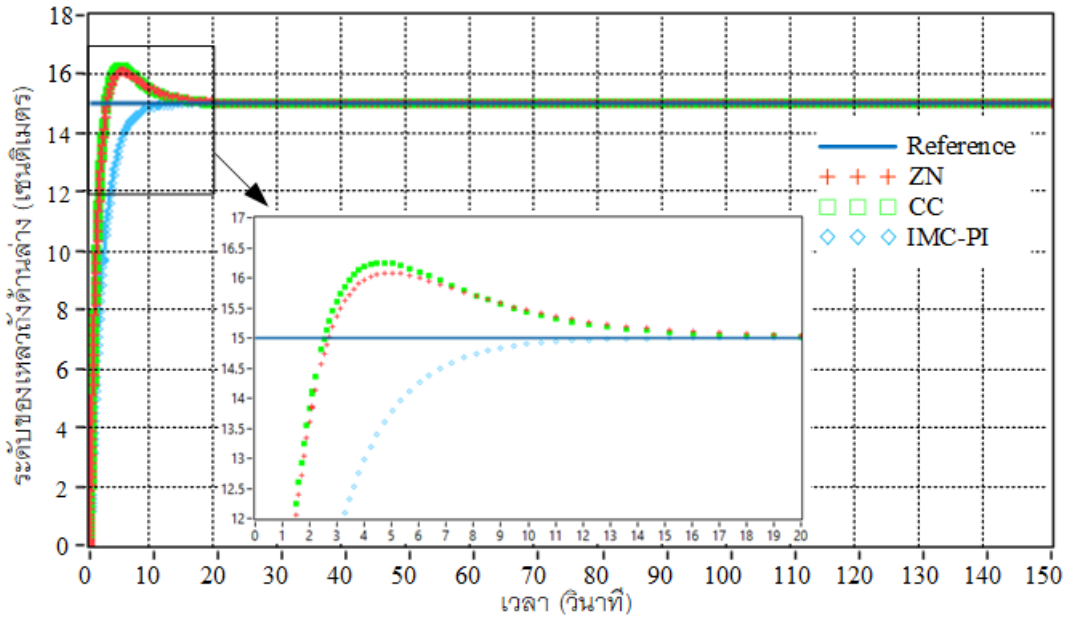
ในงานวิจัยจะละเลยไดนามิกในถังด้านบนเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์ เนื่องจากในการวิจัยมุ่งเน้นเฉพาะการควบคุมระดับของเหลวในถังด้านล่างเท่านั้น ซึ่งจะกำหนดให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของถังด้านบน $G_{1(linear)}(s) = 1$

ผลการศึกษา

เพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอตามข้อกำหนดดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 ในงานวิจัยมีการจำลองระบบถังคู่แนวตั้งโดยใช้ตัวควบคุมพีไอเป็นหลักในการควบคุมระดับของเหลวสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการควบคุมแบบป้อนกลับและรูปแบบการควบแบบป้อนกลับร่วมกับการควบคุมไปข้างหน้า ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอในงานวิจัยได้มาจาก 3 วิธี ได้แก่ วิธีของซีเกลอร์นิโคลส์ วิธีของโคเฮนคูนและวิธีโมเดลภายใน เป็นต้น ในการวัดประสิทธิภาพของระบบควบคุมจะใช้เกณฑ์ดัชนีสมรรถนะ (Performance index criteria) ได้แก่ ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE: Integral Absolute Error) ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดกำลังสอง (ISE: Integral Square Error) ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE: Integral Time multiplied Absolute Error) และ ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE: Integral Time multiplied Square Error) การจำลองผลตอบสนองของระดับของเหลวถังด้านล่างด้วยวิธีการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุมทั้ง 3 วิธีถูกจำลองโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับ Control and Simulation Toolkit ในการจำลองระบบถังคู่แนวตั้ง ซึ่งในการจำลองจะป้อนระดับของเหลวในถังด้านล่างที่ต้องการเท่ากับ 15 เซนติเมตร เพื่อดูผลตอบสนองของระดับของเหลวถังด้านล่างของระบบ โดยจากการจำลองจะได้ผลตอบสนองของระดับของเหลวในถังด้านล่างที่ถูกเปรียบเทียบประสิทธิภาพดังแสดงในภาพที่ 5

ตารางที่ 4 ข้อกำหนดประสิทธิภาพที่ต้องการของตัวควบคุมระดับของเหลวถังด้านล่างระบบถังคู่แนวตั้ง

ประสิทธภาพของตัวควบคุม	ค่าของตัวแปร
ระดับของเหลวที่ต้องการควบคุม $h_{10}(t) = h_{20}(t)$	15 เซนติเมตร
อัตราการพุ่งเกินของระดับของเหลวในถังด้านล่าง	น้อยกว่า 10%
เวลาในการเข้าสู่สถานะอยู่ตัวของระดับของเหลวในถังด้านล่าง	น้อยกว่า 20 วินาที
ค่าผิดพลาดระดับของเหลวในถังด้านล่าง	0 เซนติเมตร



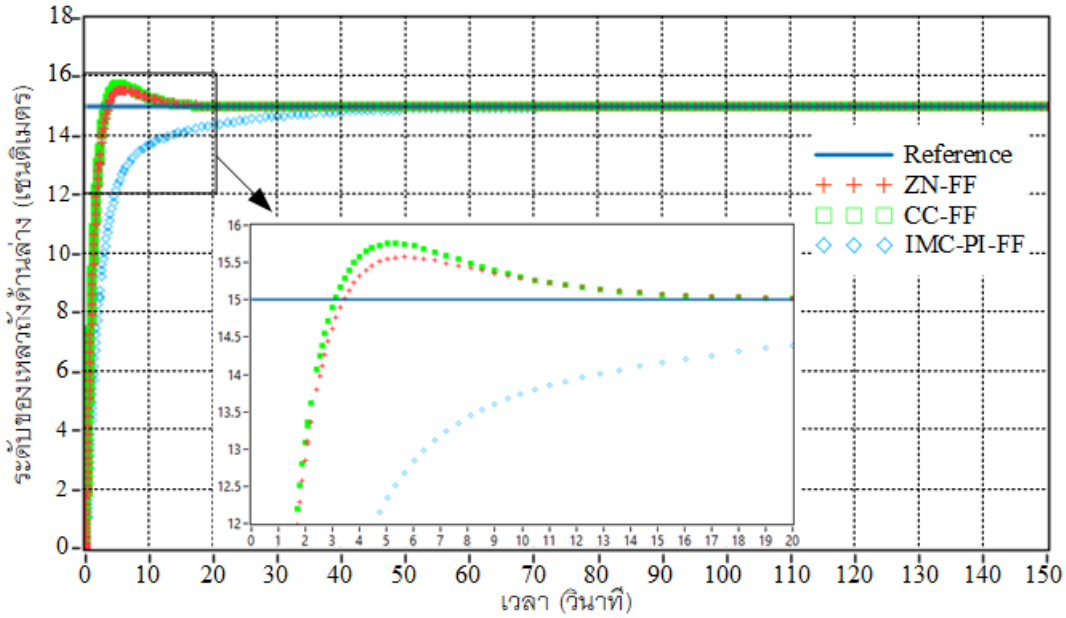
ภาพที่ 5 ผลตอบสนองระดับของเหลวถังด้านล่างของตัวควบคุมป้อนกลับของตัวควบคุมพีไอรูปแบบต่างๆ

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าวิธีควบคุมโมเดลภายในมีแนวโน้มที่จะให้ประสิทธิภาพการควบคุมเหนือกว่าวิธีอื่น โดยมีเวลาเข้าสู่สถานะอยู่ตัวรวดเร็วที่สุดและไม่มีเปอร์เซนต์พุ่งเกิน จากนั้นตามมาด้วยวิธีโคเฮนคูนที่มีเปอร์เซนต์พุ่งเกินต่ำกว่าวิธีซีเกลอร์นิโคลส์ แต่ให้ผลตอบสนองมีความเร็วใกล้เคียงกับวิธีวิธีซีเกลอร์นิโคลส์ อย่างไรก็ตามในการวัดประสิทธิภาพของระบบควบคุมจะใช้ค่า ITAE เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพความสมดุลระหว่างความเร็วของการตอบสนองสภาวะชั่วครู่และเปอร์เซนต์พุ่งเกินของระดับของเหลว โดยประสิทธิภาพของผลตอบสนองสภาวะชั่วครู่และเกณฑ์ดัชนีสมรรถนะแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลตอบสนองสภาวะชั่วครู่และเกณฑ์ดัชนีสมรรถนะของตัวควบคุมป้อนกลับ

วิธีปรับจูนพารามิเตอร์	เวลาไต่ขึ้น (วินาที)	เปอร์เซนต์พุ่งเกิน (%)	เวลาเข้าสู่สถานะอยู่ตัว (วินาที)	IAE/ISE	ITAE/ITSE
ซีเกลอร์นิโคลส์	1.116	6.667	15.576	21.7669/123.116	77.7979/92.3002
โคเฮนคูน	1.168	5.036	12.402	21.6811/122.109	72.7493/94.5446
โมเดลภายใน	5.461	0	10.143	31.2554/234.903	65.132/243.792

จากตารางที่ 5 พบว่าวิธีการปรับจูนพารามิเตอร์ของพีไอด้วยวิธีควบคุมโมเดลภายในให้ประสิทธิภาพของผลตอบสนองสภาวะชั่วครู่ที่ดีที่สุดโดยไม่มีเปอร์เซนต์พุ่งเกินและเวลาในการเข้าสู่สถานะอยู่ตัวเร็วที่สุดตามที่คาดไว้ โดยจะให้ค่า ITAE ต่ำสุดที่ 65.132 ตามด้วยวิธีโคเฮนคูนที่มีค่า ITAE เท่ากับ 72.7493 และวิธีซีเกลอร์นิโคลส์ที่มีค่า ITAE เท่ากับ 77.7979 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามตัวควบคุมทั้งหมดมีประสิทธิภาพอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีการปรับจูนพารามิเตอร์ด้วยวิธีควบคุมโมเดลภายให้ประสิทธิภาพดีที่สุดจากค่าดัชนีสมรรถนะ ITAE ที่ต่ำที่สุด



ภาพที่ 6 ผลตอบสนองระดับของเหลวถังด้านล่างของตัวควบคุมป้อนกลับร่วมกับตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้าตัวของควบคุมพีไอรูปแบบต่างๆ

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลตอบสนองสภาวะชั่วครู่และเกณฑ์ดัชนีสมรรถนะของตัวควบคุมป้อนกลับร่วมกับตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้า

วิธีปรับจูนพารามิเตอร์	เวลาไต่ขึ้น (วินาที)	เปอร์เซนต์พุ่งเกิน (%)	เวลาเข้าสู่สถานะอยู่ตัว (วินาที)	IAE/ISE	ITAE/ITSE
ซีเกลอร์นิโคลส์	1.237	2.103	15.843	19.874/131.601	52.380/80.394
โคเฮนคูน	1.152	4.246	13.498	20.079/129.483	53.504/81.549
โมเดลภายใน	2.895	0	41.042	62.039/316.189	603.367/689.078

ตามที่คาดไว้ตัวควบคุมวิธีซีเกลอร์นิโคลส์และวิธีโคเฮนคูนได้แสดงประสิทธิภาพผลตอบสนองชั่วครู่ที่ดีที่สุดตลอดจนค่า ITAE ที่มีค่าน้อยสุดเพียง 52.380 และ 53.504 ด้วยการเพิ่มตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้าในลูปควบคุม ในทางกลับกันวิธีควบคุมโมเดลภายในแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองที่มีความเชื่องช้าเกิดขึ้นสาเหตุอาจจะเกิดจากอิทธิพลของการรบกวนที่ส่งผลต่อผลตอบสนองชั่วครู่โดยภาพรวมของระบบควบคุม ถึงแม้ว่าตัวควบคุมจะไม่มีเปอร์เซนต์พุ่งเกินแต่โดยภาพรวมแล้วผลตอบสนองมีความเชื่องช้าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีซีเกลอร์นิ

โคลส์และโคเฮนคูน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการควบคุมป้อนกลับที่มีการเพิ่มตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้าสามารถปรับปรุงผลตอบสนองได้อย่างมีนัยสำคัญจากดัชนีสมรรถนะที่ลดลง

สรุปผลและอธิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับตัวควบคุมที่ดีที่สุดในการควบคุมระดับของเหลวถังด้านล่างของระบบถังคู่แนวตั้ง ซึ่งระบบถังคู่แนวตั้งเป็นระบบที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นที่ต้องใช้ตัวควบคุมขั้นสูงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพผลตอบสนองสภาวะชั่วครู่ที่ดีและมีความคงทน ดังนั้นการประมาณค่าความเป็นเชิงเส้นและการใช้ตัวควบคุมตัวควบคุมขั้นสูงถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพวงปิดตามข้อกำหนด โดยนำเสนอวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของพีไอจำนวน 3 วิธี ได้แก่ วิธีการของซีเกลอร์นิโคลส์ วิธีโคเฮนคูน และวิธีควบคุมโมเดลภายใน ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการปรับจูนพารามิเตอร์ด้วยวิธีโมเดลภายในที่แสดงประสิทธิภาพผลตอบสนองในการควบคุมแบบป้อนกลับที่ดีด้วยค่าปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลาเท่ากับ 65.132 อย่างไรก็ตามตัวควบคุมยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพผลตอบสนองเพิ่มเติมได้ด้วยการบูรณาการวิธีการควบคุมขั้นสูงซึ่งมีการนำการตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้าที่ใช้การชดเชยไดนามิกของระบบเพิ่มเข้ามาในตัวควบคุมป้อนกลับ ส่งผลทำให้ตัวควบคุมพีไอที่ใช้ตัวควบคุมป้อนกลับเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพผลตอบสนองชั่วขณะและค่าปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลาดีที่สุดเท่ากับ 52.380 นั้นสรุปได้ว่าการใช้ตัวควบคุมขั้นสูงช่วยทำให้ประสิทธิภาพผลตอบสนองโดยภาพรวมของระบบมีความคงทนและดีขึ้น อย่างไรก็ตามข้อสรุปเชิงประสิทธิภาพของตัวควบคุมรูปแบบต่างๆ เป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับของเหลวในถังคู่

กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งบทความขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีเครื่องมือวัดและอัตโนมัติ (CEITA) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาศนี้ด้วยที่ช่วยสนับสนุนเครื่องมือในการทดลอง รวมทั้งห้องปฏิบัติการควบคุมขั้นสูงและระบบอัจริยะ (ACISLab)

เอกสารอ้างอิง

1. A. S. Tijjani, M. A. Shehu, A. M. Alsabari, Y. A. Sambo and N. L. Tanko, Performance Analysis for Coupled – Tank System Liquid Level Control Using MPC, PI and PI–plus–Feedforward Control Scheme, **Journal of Robotics and Automation**, Volume 1, Issue 1, 2017, pp.42–53
2. S. R. Mahapatro, B. Subudhi, S. Ghosh and P. Dworak, A comparative study of two decoupling control strategies for a coupled tank system, **2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)**, Singapore, 2016, pp. 3447–3451
3. T. A. Folorunso, J. A. Bala, A. P. Adedigba and A. M. Aibinu, Genetic Algorithm Tuned IMC–PI Controller for Coupled Tank Based Systems, **1st International Conference on Multidisciplinary Engineering and Applied Science (ICMEAS),** Abuja, Nigeria, 2021, pp.1–6
4. S. Mangkalajan, W. Koodtalang, T. Sangsuwan and N. Pudchuen, Virtual Process Using LabVIEW in Combination with Modbus TCP for Fieldbus Control System, **9th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)**, Penang, Malaysia, 2019, pp. 21–24

5. A. R. King-Hans, W. P. Heath and R. Alli-Oke, Two-stage Multivariable IMC Antiwindup (TMIA) control of a Quadruple Tank Process using a PLC, **IEEE Conference on Control Applications (CCA),** Antibes, France, 2014, pp.1681-1686
6. N. Katal, P. Kumar and S. Narayan, Optimal PID controller for coupled-tank liquid-level control system using bat algorithm, International Conference on Power, **Control and Embedded Systems (ICPCES)**, Allahabad, India, 2014, pp.1-4
7. S. Anusha, G. Karpagam and E. Bhuvaneswarri, COMPARISON OF TUNING METHODS OF PID CONTROLLER, **International Journal of Management, Information Technology and Engineering (IJMITE),** Volume 2, Issue 8, 2014, pp.1-8
8. A. P. Yadav, A. Kumar and R. Kumar, "PID Controller Tuning using Genetic Algorithm for Coupled Tank System," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Volume 4, Issue 15, 2016, pp.1-7
9. R. Kashyap, N. Jaggi and B. Pratap, "Robust Controller Design and Performance Analysis of Four-Tank Coupled System," **1st International Conference on Signal Processing, VLSI and Communication Engineering (ICSPVCE),** Delhi, India, 2019, pp.1-6
10. M. Shamsuzzoha, IMC Based PI/PID Controller Tuning Rule for Time Delay Processes, **13th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2013),** Gwangju, Korea, 2013, pp.1391-1396
11. U. M. Nath, S. Datta and C. Dey, Centralized Auto-tuned IMC-PI Controllers for Industrial Coupled Tank Process with Stability Analysis, **2nd International Conference on Recent Trends in Information Systems (ReTIS),** Kolkata, India, 2015, pp.296-301
12. D. E. Rivera, M. Morari, and S. Skogestad, Internal Model Control: PID Controller Design. **Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development,** Pasadena, California, 1986, pp. 252-265.

การฝึกอบรมจักรยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ

The electric motorbike training course with competency-based learning management

อาทิตย์ แก้วแดง[1*] และ สันติ หุตะมาน[2]

Artit Kaewdaeng[1*] and Santi Hutamarn[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะสำหรับช่างซ่อมบำรุงรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า 2) ศึกษาความสามารถด้านทักษะปฏิบัติของผู้เรียนที่ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะที่พัฒนาขึ้น และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อกระบวนการ และ สื่อประกอบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ โดยใช้สื่อประกอบการเรียนรู้เป็นชุดฝึกปฏิบัติระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ชุดฝึกทักษะการประกอบชุดขับเคลื่อนจักรยานยนต์ไฟฟ้า และ ชุดฝึกปฏิบัติระบบไฟสัญญาณของจักรยานยนต์ไฟฟ้า ควบคู่กับ ใบเนื้อหา ใบงาน ใบสั่งงาน ประเมินความสามารถด้านทักษะด้วยแบบทดสอบด้านทักษะปฏิบัติ และ แบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยผู้เรียน ทดลองนำไปใช้กับผู้เรียน จำนวน 37 คน ใช้เวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ จำนวน 3 วัน รวมทั้งสิ้น 3 หน่วยการเรียนรู้ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการจัดการเรียนรู้แล้ว จึงทดสอบทักษะของผู้เรียนด้วยแบบทดสอบทักษะปฏิบัติที่ใช้การให้คะแนนแบบรูบริกส์จำนวน 9 ข้อ แล้วให้ผู้เรียนทำแบบประเมินความพึงพอใจ

ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนมีคะแนนทักษะการปฏิบัติเฉลี่ยร้อยละ 85.25 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ระดับร้อยละ 70 และ ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะที่พัฒนาขึ้น อยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.51 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.68)

คำสำคัญ : ยานยนต์ไฟฟ้า การจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ ชุดฝึกปฏิบัติ คะแนนรูบริกส์

[1] นักศึกษาปริญญาโท คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[2] สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[1] Master Degree Student Faculty of Techanical Education KMUTNB, Bangkok 10800

[2] Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Techanical Education KMUTNB, Bangkok 10800

* Corresponding author e-mail : Artit_bun@hotmail.com

Abstract

The research objectives were 1) to develop competency-based learning management for electric motorbike maintenance technicians, 2) to study the students' practical skill through the developed competency-based learning management, and 3) to assess the students' satisfaction with the process and the developed learning management media.

The research instrument included the competency-based learning management lesson plans created with an electrical energy storage system kit, an electric motorbike assembling skill kit, and an electric motorbike signaling system kit with content sheets, work sheets, and work orders, the practical skill competency assessment, and a questionnaire assessing students' satisfaction with learning management. The experiment was conducted on 37 students over the course of three days, with time spent organizing learning activities in accordance with the competency-based learning management plan, comprising three learning units. After completing the learning management process, the students' skills were assessed using an 8-rubric practical skill test. Then, the students were asked to complete a satisfaction survey.

The results showed that the students had an average practical skill score of 85.25 percent, which was higher than the 70 percent criterion, and the students were satisfied with the learning management process using the developed competency-based model at the highest level ($\bar{x}$ = 4.51, S.D = 0.68)

Keywords: Electric Vehicle, Competency-based Learning Management, Practical Skill Kit, Rubric Score

บทนำ

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการจัดการศึกษาวิชาชีพให้แก่นักเรียน นักศึกษาเยาวชนและประชาชน มีการจัดทำแผนพัฒนากำลังคนทั้งระดับกึ่งมืออาชีพ (Semi-Skill) ระดับช่างฝีมือ (Skill) ระดับช่างเทคนิค (Technical) และระดับเทคโนโลยี (Technologist) ที่มีคุณภาพ และ มาตรฐาน สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดแรงงาน และ การประกอบอาชีพอิสระ สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรมและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนความสามารถทางด้านเทคโนโลยีสามารถนำไปประกอบอาชีพในลักษณะผู้ปฏิบัติหรือประกอบอาชีพโดยอิสระ ที่จะบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการศึกษา สำหรับอาชีวศึกษานั้นได้ให้ความสำคัญต่อกระบวนการเรียนการสอน ซึ่งได้กำหนดเป็นเป้าหมายหลักและส่งเสริมการสร้างทักษะวิชาชีพด้วยการเรียนรู้จากการปฏิบัติงานจริง เพื่อผลิตกำลังคน ตั้งแต่ระดับกึ่งฝีมือ ระดับเทคนิค และเทคโนโลยี ให้มีคุณภาพตามมาตรฐานสากลและสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจสังคม วัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและความต้องการของตลาดแรงงาน ความก้าวหน้าของเทคโนโยลีต่อไป (สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, 2564)

แนวโน้มการเติบโตของตลาดยานยนต์ไฟฟ้า มีการเติบโตอย่างรวดเร็ว การพัฒนาคนให้มีทักษะเพื่อรองรับกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นจึงต้องมีการพัฒนานวัตกรรมและรูปแบบการเรียนการสอน เพื่อที่ตอบสนองการใช้งานของผู้ใช้งานมากขึ้น การศึกษา และ วิจัยอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า มีการนำเสนอผลงานโครงการสหสาขาวิชาชีพที่เน้นทีมแข่งรถพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบการศึกษา 4.0 (Education 4.0) และการพัฒนาสมรรถนะในด้านความเป็นผู้นำ นวัตกรรม และ การเป็นผู้ประกอบการ เป็นความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษาและภาคการผลิต ผลลัพธ์ที่ได้ยืนยันความสำเร็จของนักเรียนในการได้รับความสามารถและทักษะที่จำเป็นในการเป็นผู้นำทางเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ในปัจจุบัน (López, 2021) ยานยนต์ไฟฟ้าเป็นบริบทร่วมสมัย เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะชนยังมีน้อย การถ่ายทอดความ

ร้อยู่ในวงจำกัด ส่งผลให้การจัดการเรียนการสอนสำหรับการซ่อมบำรุงยานยนต์ไฟฟ้าจึงมีน้อย (Spatz et al, 2019) การพัฒนาผู้เรียนแนวทางที่อิงตามความสามารถของผู้เรียนหรือที่เรียกว่า ฐานสมรรถนะ (Competency–Based Learning) แล้วมุ่งเป้าไปที่ความสำเร็จของผู้เรียนที่แสดงออกมาในรูปแบบของความสามารถนั้นมีความสำคัญเป็นพิเศษ (Khasanov, 2020) การนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ตามตัวแบบ ADDIE ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ พบว่าผู้เรียนกลุ่มทดลองมีประสิทธิภาพสูงกว่ากลุ่มควบคุม ช่วยให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้น และ สร้างสรรค์ความรู้ได้ดี ทำให้มีการเรียนรู้ที่ดีขึ้น (Efendi, 2019) นอกจากนี้ การนำฐานสมรรถนะไปใช้ร่วมกับ สมรรถนะที่จำเป็นในชีวิตจริง ด้วยรูปแบบใหม่ของการศึกษา เช่น บทเรียนแบบเปิด (OCW) หลักสูตรออนไลน์แบบเปิดขนาดใหญ่ (MOOC) และแหล่งข้อมูลทางการศึกษาแบบเปิด (OERs) (Nahhas et al, 2019) ช่วยให้การจัดการเรียนรู้ทำได้หลากหลายช่องทางมากขึ้น ซึ่งรวมถึงการนำรูปแบบฐานสมรรถนะ มาใช้ในการฝึกอบรมออนไลน์เพื่อเพิ่มพูนความรู้และการพัฒนาความสามารถทางวิชาชีพสำหรับวิศวกรในอนาคต (Olena et al, 2022) ได้อีกทางหนึ่งด้วย

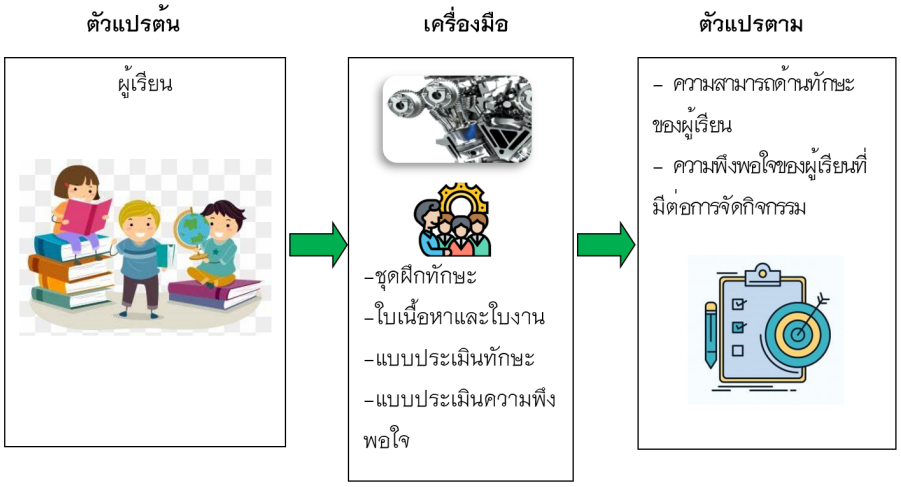
จากความเป็นมาและความสำคัญดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะเพื่อใช้ฝึกอบรมให้แก่ผู้เรียนในระบบ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)สาขาวิชายานยนต์ไฟฟ้า ในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงจักรยานยนต์ไฟฟ้าร่วมกับสื่อประกอบการเรียนรู้ ก่อนที่จะลงมือปฏิบัติงานจริงกับจักรยานยนต์ไฟฟ้า อีกทั้งยังใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการเรียนการสอนภาคปฏิบัติสำหรับหลักสูตรการฝึกอบรมอื่น ที่ผู้เข้ารับอบรมเป็นประชาชนทั่วไปต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1) เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะสำหรับการฝึกอบรมจักรยานยนต์ไฟฟ้า
2) เพื่อศึกษาความสามารถด้านทักษะของผู้เรียนที่ผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะที่พัฒนาขึ้น
3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะที่พัฒนาขึ้น

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

กรอบแนวคิดการวิจัย สำหรับงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานการวิจัยสำหรับงานวิจัย มีดังนี้

1) ผู้เรียนที่ผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะสำหรับการฝึกอบรมจักรยานยนต์ไฟฟ้า มีระดับคะแนนที่ได้จากการทดสอบปฏิบัติเฉลี่ยร้อยละ 70 ขึ้นไป (เทียบจากเกณฑ์มาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพสาขายานยนต์สมัยใหม่)

2) ผู้เรียนที่ผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะสำหรับการฝึกอบรมจักรยานยนต์ไฟฟ้า มีระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยในระดับพึงพอใจมาก (ค่าเฉลี่ย 3.75 ตามมาตรวัดประเมินค่าของลิเคิร์ด 5 ระดับ) ขึ้นไป

วิธีวิทยาการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ แบบแผนการวิจัยเป็นแบบกึ่งการทดลอง (Quasi Experiment) ตามแบบแผนการทดลอง One Group Posttest Only Design แสดงดังตารางที่ 1

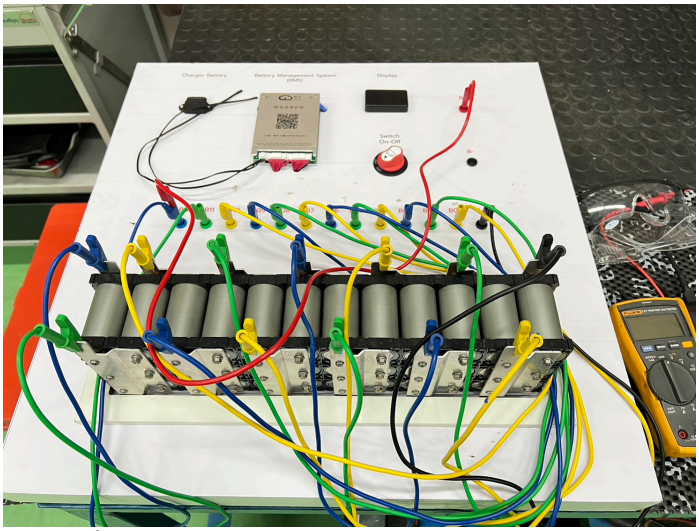
ตารางที่ 1 แบบแผนการทดลอง

-	X	O_2

โดยที่

X หมายถึง การดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้เครื่องมือในการวิจัย

O_2 หมายถึง การทดสอบหลังเรียน



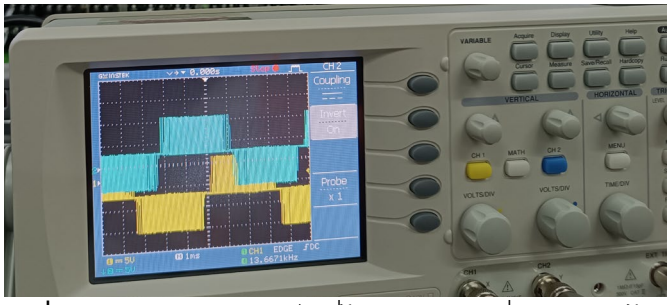
ภาพที่ 2 ชุดฝึกปฏิบัติระบบเก็บพลังงานในจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นผู้เรียนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 แผนกช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์ ปีการศึกษา 2566 จำนวน 37 คน โดยใช้การคัดเลือกเข้ากลุ่มทดลองด้วยวิธีเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ 3 หน่วยการเรียนรู้ แบ่งออกเป็น หน่วยที่ 1 เรื่องระบบเก็บพลังงานในจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยมีสื่อประกอบการเรียนรู้เป็นชุดฝึกปฏิบัติระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 2 หน่วยที่ 2 เรื่องระบบควบคุมพลังงานและชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า มีสื่อประกอบการเรียนรู้เป็นชุดฝึกทักษะการประกอบชุดขับเคลื่อนจักรยานยนต์ไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 3 ผู้เรียนจะต้องสามารถวัดดูรูปคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนแก่มอเตอร์ซิงโครนัสมอเตอร์ชนิดโรเตอร์เป็นแม่เหล็ก

ถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motor : PMSM) รูปคลื่นที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ PMSM นี้จะใช้หลักการสวิตช์แรงดันไฟฟ้าด้วยความถี่สูง (ประมาณ 10 กิโลเฮิร์ตขึ้นไป) แล้วปรับความกว้างของพัลส์ตามลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับ หรือที่เรียกว่าสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (Pulse Width Modulation : PWM) แสดงดังภาพที่ 4 และหน่วยที่ 3 เรื่องระบบไฟฟ้าของจักรยานยนต์ไฟฟ้า มีสื่อประกอบการเรียนรู้เป็นชุดฝึกปฏิบัติระบบไฟสัญญาณของจักรยานยนต์ไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 5 แต่ละหน่วยการเรียนรู้มีเอกสารประกอบการเรียนรู้คือ ใบเนื้อหา เพาว์เวอร์พอยต์ ใบงาน และ ชุดฝึกปฏิบัติ 3 ชุด ที่สอดคล้องกับหัวข้อการเรียนรู้ทั้ง 3 หน่วยการเรียนรู้ การประเมินทักษะของผู้เรียนจะใช้แบบทดสอบด้านปฏิบัติที่ใช้การให้คะแนนแบบรูบริก 9 ข้อ และ ใช้แบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้เพื่อประเมินความพึงพอใจโดยผู้เรียน



ภาพที่ 3 ชุดฝึกปฏิบัติระบบควบคุมพลังงานและชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า



ภาพที่ 4 สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ที่ได้จากชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า



ภาพที่ 5 ชุดฝึกปฏิบัติการต่อวงจรรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

หลังจากสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านประเมินความเหมาะสมในการนำเครื่องมือในการวิจัยไปทดลองใช้ ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญพบว่า เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีความเหมาะสมอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.70 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.266) สามารถนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 จำนวน 37 คน ดำเนินกิจกรรมตามแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบ ฐานสมรรถนะจำนวน 3 หน่วยการเรียนรู้ มีขั้นตอนการดำเนินกิจกรรมเริ่มจาก ขั้นตอนการนำเข้าสู่บทเรียนเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนสนใจในเนื้อหา ด้วยวิธีใช้คำถามโต้ตอบกับผู้เรียน ใช้ระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 5–10 นาที จากนั้นจึงเป็นขั้นตอนการให้เนื้อหาระหว่างการให้เนื้อหาที่เป็นทฤษฎี ผู้สอนบรรยายโดยใช้เพาว์เวอร์พอยต์ควบคู่กับการลงมือปฏิบัติจากชุดฝึกปฏิบัติ ผู้สอนทำการสาธิต และทดสอบการทำงานของชุดฝึกปฏิบัติหน้าชั้นเรียน ร่วมกับการลงมือวัด และ ทดสอบการทำงานเพื่อนำไปเทียบเคียงกับทฤษฎี ช่วยให้ผู้เรียนมองเห็นภาพความสอดคล้องกันระหว่างเนื้อหาด้านทฤษฎีกับการลงมือปฏิบัติจริง หลังจากจบการให้เนื้อหาแล้ว ผู้เรียนจะต้องดำเนินการวัดสัญญาณทางไฟฟ้า และ ทดสอบการทำงานของชุดฝึกปฏิบัติด้วยตนเอง ดังภาพที่ 6 ในขั้นตอนนี้ หากผู้เรียนมีข้อผิดพลาดระหว่างการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ ผู้สอนจะให้คำชี้แนะ รวมถึงให้เหตุผลจากหลักการทางทฤษฎีประกอบเพื่อให้ผู้เรียนปรับปรุงแนวคิด และ ปรับปรุงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครบทั้ง 3 หน่วยการเรียนรู้แล้ว จึงให้ผู้เรียนทำแบบประเมินความพึงพอใจและดำเนินการทดสอบสมรรถนะของผู้เรียนด้วยแบบทดสอบด้านปฏิบัติจำนวน 9 ข้อ แสดงดังภาพที่ 7 จากนั้นจึงนำมาคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ประกอบไปด้วย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 6 การดำเนินกิจกรรมการจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ



ภาพที่ 7 กิจกรรมการประเมินผลสมรรถนะของผู้เรียน

ผลการศึกษา

หลังจากที่ผู้วิจัยดำเนินการสร้างชุดฝึกปฏิบัติเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยที่ประกอบไปด้วย แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ 3 หน่วยการเรียนรู้ ชุดฝึกปฏิบัติ 3 ชุด พร้อมทั้งใบเนื้อหา เพาว์เวอร์พอยต์ ใบงาน แบบทดสอบด้านปฏิบัติที่ใช้แบบประเมินรูบริก 9 ข้อ และ แบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยผู้เรียน ซึ่งมีผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ผลประเมินด้านสื่อฮาร์ดแวร์ประกอบกิจกรรมการเรียนรู้	4.83	0.19	เหมาะสมมากที่สุด
2	ผลประเมินด้านสื่อซอฟแวร์ประกอบกิจกรรมการเรียนรู้	4.43	0.46	เหมาะสมมาก
3	ผลประเมินด้านแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ใบเนื้อหา เพาว์เวอร์พอยต์ และ แบบทดสอบ	4.86	0.15	เหมาะสมมากที่สุด
	ผลการประเมินรวมทั้ง 3 ด้าน	4.70	0.26	เหมาะสมมากที่สุด

การแปลผลอ้างอิงจาก ศศิธร และ คณะ (2563) เมื่อนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.1)จำนวน 37 คน หลังจากดำเนินกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 3 หน่วยการเรียนรู้แล้ว จึงให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ด้านทฤษฎีจำนวน 30 ข้อ และ ทดสอบสมรรถนะด้านปฏิบัติของผู้เรียนด้วย แบบทดสอบด้านปฏิบัติจำนวน 9 ข้อ ผลรวมของคะแนนทฤษฎี และ ปฏิบัติ ผู้เรียนมีระดับค่าเฉลี่ยร้อยละ 85.25 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ตามสมมติฐานข้อที่ 1 จากนั้นให้ผู้เรียนประเมินระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะ มีผลการประเมินอยู่ในระดับ มากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.68) ตรงตามสมมติฐานข้อที่ 2 โดยมีผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะ (ศศิธร, 2563)

ลำดับ	**หัวข้อการประเมิน**	**ผลการประเมินความพึงพอใจ**			
		N	**ค่าเฉลี่ย**	**S.D.**	**แปลผล**
1	ผู้เรียนรู้สึกสนุกกับการเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้	37	4.68	0.81	มากที่สุด
2	ผู้เรียนรู้สึกไว้วางใจเมื่อเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้	37	4.76	0.59	มากที่สุด
3	หัวข้อที่ผู้เรียนได้เรียนรู้เป็นเนื้อหาที่ใหม่น่าสนใจ	37	4.57	0.75	มากที่สุด
4	ผู้เรียนสามารถเข้าใจหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้	37	4.57	0.50	มากที่สุด
5	มีความรู้ไปใช้ในการดัดแปลงรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าได้	37	4.57	0.68	มากที่สุด
6	ผู้เรียนสามารถประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟส และระบบ BMS ได้	37	4.68	0.47	มากที่สุด

7	ผู้เรียนสามารถตรวจวัดค่าความต้านทานภายในของขดลวดมอเตอร์ PMSM ได้	37	4.65	0.81	มากที่สุด
8	ผู้เรียนสามรถต่อวงจรระบบขับเคลื่อนของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าได้	37	4.65	0.78	มากที่สุด
9	การแก้ไขข้อผิดพลาดระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้	37	4.54	0.86	มากที่สุด
10	ผู้เรียนให้คำปรึกษาและสามารถช่วยเหลือผู้เรียนคนอื่นได้	37	4.59	0.79	มากที่สุด
11	การทำกิจกรรมการเรียนรู้เป็นระดับที่ยากเกินกว่าจะเข้าใจ	37	3.05	0.61	ปานกลาง
12	ผู้เรียนมีความต้องการเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งต่อไป	37	4.68	0.81	มากที่สุด
13	ผู้เรียนต้องการแนะนำกิจกรรมแบบนี้ให้ผู้อื่นทราบ	37	4.81	0.39	มากที่สุด
	ผลการประเมินรวม	**481**	**4.52**	**0.68**	**มากที่สุด**

สรุปผลและอธิปรายผล

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมช่างซ่อมรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ ทดลองใช้กับกลุ่มผู้เรียนระดับดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.1) จำนวน 37 คน ซึ่งส่วนสำคัญคือการพัฒนาการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะสำหรับการฝึกอบรมจักรยานยนต์ไฟฟ้า ใช้ชุดฝึกปฏิบัติที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้ด้านทฤษฎีควบคู่กับทักษะการปฏิบัติจากชุดฝึกปฏิบัติ แทนที่การจัดการเรียนรู้แบบเดิมที่เน้นการบรรยายจากครูผู้สอนด้วยเพาว์เวอร์พอยต์ แล้วทำแบบฝึกหัดตามใบงานเป็นหลัก ทำให้ผู้เรียนขาดทักษะการปฏิบัติงานเกี่ยวกับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยมีผลจากการประเมินประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ดังตารางที่ 2 อยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.70 ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน 0.260 เมื่อนำไปทดลองใช้กับผู้เรียน แล้วทำการทดสอบทั้งด้านทฤษฎี และ ทักษะปฏิบัติ มีผลรวมของคะแนนทฤษฎี และ ปฏิบัติ ที่ได้จากแบบทดสอบของผู้เรียนมีระดับค่าเฉลี่ยร้อยละ 85.25 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ระดับร้อยละ 70 และ มีผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.680 บ่งบอกว่าผู้เรียนมีสมรรถนะด้านทฤษฎี ด้านทักษะปฏิบัติสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เพื่อเตรียมความพร้อมในการพัฒนาทักษะของช่างซ่อมบำรุงจักรยานยนต์ไฟฟ้าสอดคล้องกับหลักสูตรการฝึกอบรมรูปแบบฐานสมรรถนะ (Olena et al, 2022) นำมาใช้ในการฝึกอบรมออนไลน์เพื่อเพิ่มพูนความรู้ และ การพัฒนาความสามารถทางวิชาชีพสำหรับวิศวกรในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (2564). ภารกิจและนโยบาย สืบค้น 21 มิถุนายน 2565, จาก https://www.vec.go.th/เกี่ยวกับสอศ/ภารกิจและนโยบาย.asps

López, H. A., Ponce, P., Molina, A., Ramírez-Montoya, M. S., & Lopez-Caudana, E. (2021). Design framework based on TEC21 educational model and Education 4.0 implemented in a Capstone Project : A case study of an electric vehicle suspension system. Sustainability, 13(11), 5768.

Spatz, V., Slezak, C., & Tampe, J. (2019, August). A teaching unit on electric vehicles to foster students' decision-making competencies. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1286, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.

Efendi, R., Jama, J., & Yulastri, A. (2019, November). Development of competency based learning model in learning computer networks. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1387, No. 1, p. 012109). IOP Publishing.

Khasanov, A. R. (2022). LEARNING IS A COMPETENCY-BASED APPROACH AS A CONTENT UPDATE STEP. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 10(12), 217- 223.

Nahhas, S., Bamasag, O., Khemakhem, M., & Bajnaid, N. (2019). Bridging education and labor skills by a novel competency-based course linked-data model. IEEE Access, 7, 119087-119098.

Olena, S., & Nataliia, P. (2022, October). Features of Implementing the Competency-Based Approach to Teaching Engineering Students in The Context of Industry 4.0. In 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES) (pp. 1-6). IEEE.

การพัฒนาชุดฝึกอบรมการเขียนโค้ดควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะด้วยแพลตฟอร์มเมคโค้ดผ่านกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐาน

Development of a Smart Robot Car Coding Training Kit with MakeCode Platform through Game-based Learning Activities

ฐิติวัฒน์ สวนพลาย[1] และ ชัยพร ศิลาวัชนาไนย[2]

Thitiwat Suanplai and[1] Chaiyaporn Silawatchananai[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์คือ 1) เพื่อพัฒนาชุดฝึกอบรมการเขียนโค้ดควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะด้วยแพลตฟอร์มเมคโค้ด ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน 2) เพื่อศึกษาทักษะการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะของผู้เข้ารับการอบรมจากการกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้เกมเป็นฐาน 3) เพื่อศึกษาการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้เข้ารับการอบรม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย ชุดฝึกการควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะ แผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐาน แบบประเมินทักษะการเขียนโค้ดและแบบประเมินการมีส่วนร่วม รูปแบบการวิจัยเป็นแบบกึ่งการทดลอง แบบแผนการวิจัยใช้แบบศึกษากลุ่มเดียววัดผลหลังการทดลอง ในงานนี้ผู้เข้ารับการอบรมเป็นผู้เรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 14 คน ผลจากการวิจัยพบว่าผู้เข้าร่วมวิจัยมีทักษะด้านการเขียนโค้ดอยู่ในระดับที่ดีเยี่ยม โดยมีค่าเฉลี่ยของผลคะแนนจากแบบทดสอบด้านปฏิบัติหลังเรียน สูงกว่าเกณฑ์ประเมินอาชีวศึกษา อีกทั้งยังพบว่าพฤติกรรมการมีส่วนร่วมต่อการฝึกอบรมอยู่ในระดับที่ดี แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เป็นแนวทางการฝึกอบรมหุ่นยนต์เบื้องต้นแก่นักเรียนได้ในอนาคต

คำสำคัญ: การใช้เกมเป็นฐาน, หุ่นยนต์รถอัจฉริยะ, แพลตฟอร์มเมคโค้ด

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[2] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[1] Master Degree Student, Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Technical Education KMUTNB. Bangkok 10800

[2] Lecturer, Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Techanical Education KMUTNB. Bangkok 10800

*Corresponding author : tongla0980091@gmail.com

Abstract

The objectives of this research are as follows: 1) To develop a smart robot car training kit using the MakeCode platform through game-based learning activities. 2) To study the coding skills of trainees to control the smart robot car acquired through game-based learning activities. 3) To examine the participation of trainees in learning activities. The material of this research work consists of the developed smart robot car training kit, a game-based learning activity management plan, coding skills, and a participation assessment form. The research methodology is quasi-experimental and utilizes a post-experiment measurement design, implemented with a group of 14 participants, who are third-year high school students. The results indicate that participants possess excellent coding skills, with an average score from practical post-training assessments surpassing the vocational education standards. Additionally, the result of participation behavior in training is at a high level. The training using the proposed method can be utilized as a promising framework to introduce basic robotics education for students in the future.

Keywords: Game-based Learning, Smart Robot Car, MakeCode Platform

บทนำ

ทรัพยากรมนุษย์เป็นปัจจัยขับเคลื่อนสำคัญในการยกระดับการพัฒนาประเทศในทุกมิติไปสู่เป้าหมายการเป็นประเทศที่พัฒนาแล้วที่ขับเคลื่อนโดยภูมิปัญญา และ นวัตกรรมในอีก 20 ปีข้างหน้า จึงจำเป็นต้องวางรากฐานการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ของประเทศอย่างเป็นระบบ โดยมุ่งเน้นการพัฒนา และ ยกระดับคนในทุกมิติ และ ในทุกช่วงวัยให้เป็นทรัพยากรมนุษย์ที่ดี เก่ง และ มีคุณภาพ จะต้องพัฒนาให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในศตวรรษที่ 21 โดยมุ่งเน้นผู้เรียนตั้งแต่ระดับปฐมวัยจนถึงอุดมศึกษาที่มุ่งเน้นการใช้ฐานความรู้ และระบบคิดในลักษณะสหวิทยาการ เช่น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจ และความสามารถในการใช้เทคโนโลยี ความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ และ การคิดเพื่อหาทางแก้ปัญหา ความรู้และทักษะทางศิลปะ และ ความรู้ด้านคณิตศาสตร์และระบบคิดของเหตุผลและการหาความสัมพันธ์ (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, ม.ป.ป.) ต่อมาผลจากการเปลี่ยนแปลงระบบเศรษฐกิจส่งผลให้ทุกประเทศทั่วโลกกำหนดทิศทางการผลิตและพัฒนากำลังคนในยุค 4.0 ของประเทศให้มีทักษะและความสามารถเฉพาะทางมากขึ้น ส่วนความต้องการกำลังแรงงานที่ไร้ฝีมือและมีทักษะต่ำจะถูกแทนที่ด้วยหุ่นยนต์และเทคโนโลยีใหม่ ๆมากขึ้น (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษากระทรวงศึกษาธิการ, 2562) การพัฒนาประเทศภายใต้โมเดล ประเทศไทย 4.0 เพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม รัฐบาลได้มุ่งเน้นการต่อยอดพัฒนาในกลุ่มเทคโนโลยี และ อุตสาหกรรม โดยกลุ่มเป้าหมายที่มีการใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ได้แก่ กลุ่มเครื่องมืออุปกรณ์อัจฉริยะ หุ่นยนต์ และระบบเครื่องกลที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม ข้อดีของการพัฒนากลุ่มนี้คือ หากประเทศไทยสามารถพัฒนากลุ่มเป้าหมายดังกล่าวได้สำเร็จ ก็จะสร้างความเชื่อมั่นให้แก่นักลงทุนและตลอดจนสร้างงานให้แก่แรงงานไทยที่มีทักษะได้จำนวนมาก (สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี, ม.ป.ป.)

เพื่อการขับเคลื่อนประเทศไทยเข้าสู่เศรษฐกิจดิจิทัล สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล สนับสนุนการพัฒนาทักษะ Coding, STEM, AI และ IoT โดยครอบคลุมทั้งโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการเรียนรู้ การพัฒนาบุคลากรทั้งผู้สอนและผู้เรียน รวมถึงการส่งเสริมการพัฒนาวิสาหกิจเริ่มต้นด้านเทคโนโลยีการศึกษา ดังนั้น Coding นับเป็นอีกหนึ่งทักษะที่จำเป็นสำหรับผู้เรียนยุคใหม่ เป็นพื้นฐานสำคัญที่จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดอย่างเป็นเหตุเป็นผล ซึ่งปัจจุบันกระทรวงศึกษาธิการประกาศให้ Coding เป็นหลักสูตรที่นักเรียนทั่วประเทศต้องเรียนอย่างเป็น

ทางการ (สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล, 2565) ดังนั้นภารกิจสำคัญที่จะต้องเร่งดำเนินการสอดรับกับนโยบายหลักที่รัฐบาลได้นำเสนอไว้คือ การปฏิรูปกระบวนการเรียนรู้ และ ทุกช่วงวัยในการเตรียมแรงงานยุคใหม่ให้มีทักษะในศตวรรษที่ 21 (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2563) ท่ามกลางพลวัตที่เปลี่ยนแปลงต่อเนื่อง โดยเป้าหมายอย่างแรกที่ตั้งใจจะผลักดันให้ประสบความสำเร็จคือ การเรียนภาษาคอมพิวเตอร์ หรือ Coding ตั้งแต่ระดับประถมศึกษา เพื่อมุ่งหมายที่จะเสริมสร้างทักษะการใช้ชีวิตให้เป็นระบบ มีเหตุ มีผล และมุ่งหวังให้เยาวชนไทยใช้ชีวิตก้าวทันโลกในศตวรรษที่ 21

การเขียน Coding เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้น ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะการคิดคำนวณเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นทักษะของผู้เรียนของศตวรรษที่ 21 ดังนั้น การเพิ่มกิจกรรมการเขียน Coding เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เข้าไปในแผนการจัดการเรียนรู้ รวมถึงสนับสนุนสถานศึกษาในด้านโครงสร้างพื้นฐานจึงมีความสำคัญมาก (Yıldız & Seferoğlu, 2021) จากผลลัพธ์การ Coding ร่วมกับหุ่นยนต์ทำให้การเขียนโปรแกรมแปรเปลี่ยนจากสิ่งที่เป็นนามธรรม มาสู่สิ่งที่เป็นรูปธรรม เป็นสิ่งที่จับต้องได้ กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจได้เป็นอย่างดี สนับสนุนทัศนคติเชิงบวกต่อการ Coding (Devi, Hatta & Ariyuana, 2022) ความรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์และการเขียนโปรแกรมเป็นทักษะการคิดวิเคราะห์ จะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการร่วมมือกันสำรวจปัญหา แก้ปัญหา สร้างองค์ความรู้ทำให้เกิดการคิดเชิงวิเคราะห์ ดังนั้น หุ่นยนต์เพื่อการศึกษาจึงเป็น สื่อประกอบการเรียนรู้ที่ดี สามารถใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนรู้หลักในการสร้างความรู้ ช่วยพัฒนาความคิดของผู้เรียน เสริมสร้างรูปแบบความคิด กระตุ้นกลไกการเรียนรู้ให้มีความเข้าใจ และ ซึมซับความรู้ที่ลึกซึ้งได้ดียิ่งขึ้น (Moraiti, Fotoglou & Drigas, 2022)

การเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน (Game-based Learning) เป็นการนำรูปแบบของเกมเป็นกิจกรรมประกอบการเรียนรู้ มีความเกี่ยวข้องหรือมีการสอดแทรกเนื้อหาที่ต้องการให้ผู้เรียนได้เรียนรวมอยู่ด้วย มีงานวิจัยที่นำรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานไปใช้โดยเปรียบเทียบกับการสอนแบบปกติ พบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานมีประสิทธิภาพมากกว่าในช่วงก่อนเรียน และ ระหว่างเรียน ไม่ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นในช่วงหลังเรียน ดังนั้นกลยุทธ์การเรียนรู้แบบผสมผสานกับการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานเป็นวิธีการหลักในช่วงก่อนเรียน และระหว่างเรียน ส่วนการบรรยายแบบดั้งเดิมเพื่อทบทวนความรู้จะเหมาะสมในช่วงหลังเรียนเสร็จ (Yan, 2022) นอกจากนี้ การนำรูปแบบกิจกรรมเกมเป็นฐาน มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการออกแบบ และ พัฒนาแอพพลิเคชั่นเกมมือถือเพื่อปลูกฝังความเข้าใจที่ดีขึ้นในวิชาการเงินการบัญชี แอปพลิเคชั่นบนมือถือพัฒนาบนแพลตฟอร์มแอนดรอยด์ (Android) ผ่านการทดสอบหลายขั้นตอนโดยใช้ผู้เข้าร่วมจำนวนมาก ผลลัพธ์บ่งชี้ว่าการใช้กิจกรรมเกมเป็นฐานช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจวิชาการเงินการบัญชีดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณได้อีกด้วย (Ariff et al., 2022) สอดคล้องกับ Tsai และคณะ (Tsai et al., 2019) ที่นำเกมกระดานเป็นสื่อประกอบการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการตัดสินใจของผู้เรียน และ การรู้หนังสือทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน ส่งเสริมคุณค่าของนักเรียนที่มีต่อธรรมชาติ และ การดูแลสังคมโดยการทำงานกับประเด็นทางสังคมวิทยา ในการประมวลผลเกมผู้เรียนจะต้องจัดการ พิจารณา และ ทำความเข้าใจตำแหน่ง และ บทบาทต่างๆ ของตนเอง เผชิญภารกิจที่เกี่ยวข้องกับความขัดแย้งทางเศรษฐกิจ สังคม และ สิ่งแวดล้อม เมื่อทำการตัดสินใจสิ่งใดของผู้เรียน จะส่งผลต่อพฤติกรรมการเล่นเกมตามมา การจัดการเรียนรู้เกมกระดานผ่านการทดสอบภาคสนามกับนักเรียนมัธยมปลายจำนวน 38 คนจากโรงเรียนมัธยมสองแห่งที่แตกต่างกัน ผู้เรียนที่เล่นเกมกระดานรวม 200 นาที พบว่านักเรียนในโรงเรียนมัธยมทั้งสองมีความเข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับความหลากหลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากปัญหาในการจัดการเรียนรู้และข้อดีของการใช้รูปแบบการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาชุดฝึกอบรมการเขียนโค้ดควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะด้วยแพลตฟอร์มเมคโค้ด โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน แนวคิดของชุดฝึกอบรมนี้จะสร้างหุ่นยนต์ประกอบการจัดการเรียนรู้ที่สามารถประยุกต์ให้เข้ากับเกมสถานการณ์จำลองที่ถูกสร้างขึ้น โดยจะใช้ภาษาบล็อคผ่านแพลตฟอร์มเมคโค้ด ซึ่งไม่

จำเป็นต้องใช้ตัวอักษรที่ซับซ้อนในการเขียนโปรแกรม ระยะเวลาการอบรมจะเป็นคอร์สสั้นๆ ใช้เวลาไม่เกิน 2 วัน โดยผู้วิจัยจะสร้างใบงานเพื่อฝึกทักษะของผู้เข้าอบรม ทำให้เกิดความเข้าใจ สามารถแก้ปัญหาเฉพาะหน้าได้ ร่วมกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน ผู้สอนจัดเตรียมเครื่องมือด้านฮาร์ดแวร์เป็นชิ้นส่วนต่าง ๆของหุ่นยนต์ นอกจากนี้ ยังมีบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ รวมถึงใบงานขั้นตอนการประกอบหุ่นยนต์ พร้อมทั้งการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์บนแพลตฟอร์มเมคโค้ด โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐาน เพื่อให้สอดรับกับเนื้อหาที่ผู้วิจัยออกแบบไว้

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1) เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐานในการควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะด้วยแพลตฟอร์มเมคโค้ด
2) เพื่อศึกษาทักษะการเขียนโค้ดบนแพลตฟอร์มเมคโค้ดของผู้เรียนในการควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะผ่านกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐาน
3) เพื่อศึกษาการมีส่วนร่วมของผู้เรียนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

กรอบแนวคิดในการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย อุปกรณ์ชุดฝึกประกอบการเรียนรู้หุ่นยนต์รถอัจฉริยะ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นไมโครบิต ซอฟแวร์ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์บนแพลตฟอร์มเมคโค้ด เอกสารประกอบการจัดการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐาน พร้อมใบงานประกอบการเขียนโค้ดเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ แบบทดสอบทักษะการเขียนโค้ด และ แบบประเมินการมีส่วนร่วมของผู้เรียน



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1. ผู้เรียนที่ผ่านการทำกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยรูปแบบเกมเป็นฐาน มีค่าเฉลี่ยคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบทักษะปฏิบัติ หลังเรียน ผ่านตามหลักเกณฑ์และแนวปฏิบัติการจัดการอาชีวศึกษา ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ขึ้นไป

2. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยรูปแบบเกมเป็นฐานอยู่ในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 3.50 ขึ้นไป)

วิธีวิทยาการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ แบบแผนการวิจัยเป็นแบบกึ่งการทดลอง (Quasi Experiment) ในลักษณะแบบแผนการวิจัยแบบกลุ่มเดียววัดผลหลังการทดลอง (One-Shot Case Study) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการทดลอง

-	X	O_2

โดยที่

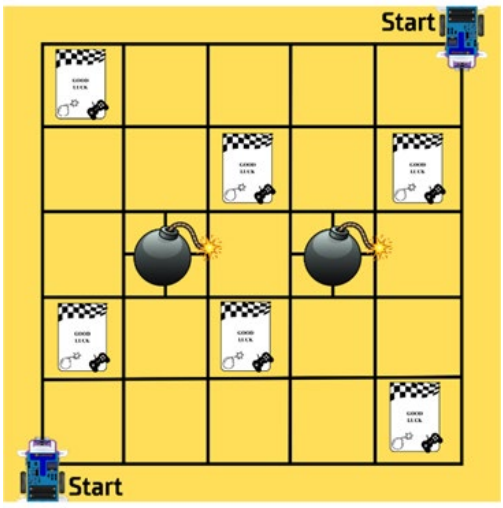
X หมายถึง การดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้เครื่องมือในการวิจัย

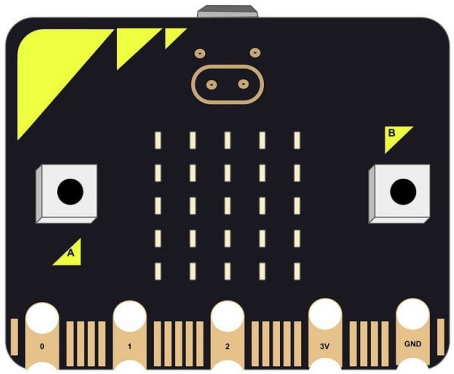
O_2 หมายถึง การสอบหลังเรียน

ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นผู้เรียนในระดับผู้เรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนวัดโฆสิทธาราม จังหวัดสิงห์บุรี ปีการศึกษา 2566 จำนวน 14 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย ชุดฝึกการควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะที่ใช้ตัวประมวลผลเป็น ไมโครบิต ใช้การเขียนโปรแกรมบนแพลตฟอร์มเมคโค้ด, แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษารูปแบบเกมเป็นฐาน พร้อมทั้งใบเนื้อหาแสดงขั้นตอนการเขียนโปรแกรม, เพาว์เวอร์พอยต์ และ ใบงานประกอบการเขียนโปรแกรมที่สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้, แบบทดสอบด้านทักษะปฏิบัติการเขียนโค้ดที่ใช้แบบประเมินรูบริกจำนวน 12 ข้อ และ แบบประเมินการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน โดยมีกรอบแนวคิดในการทำวิจัยแสดงดังภาพที่ 1 หลังจากสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านประเมินความเหมาะสมในการนำเครื่องมือในการวิจัยไปทดลองใช้ ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญพบว่า เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.200) มีความเหมาะสมสามารถนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นนักศึกษาระดับระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนวัดโฆสิทธาราม

การออกแบบการวิจัย

การออกแบบเกมการแข่งขันที่นำมาใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะด้วยการเขียนโค้ดบนแพลตฟอร์มเมคโค้ด นำเสนอในรูปแบบของสนามหุ่นยนต์แนวคิดมาจากเกมกระดานซึ่งลักษณะของสนามจำนวนช่องจะจำลองมาจากลักษณะการเรียงแอลอีดีของบอร์ดไมโครบิต ในสนามประกอบไปด้วย ระเบิดจำนวน 2 ลูกซึ่งใช้ลูกโปร่ง และ การ์ดเสี่ยงดวง 6 ใบ จุดเริ่มต้นของแต่ละฝ่ายอยู่ฝั่งตรงข้ามกัน แสดงดังภาพที่ 2





ภาพที่ 2 สนามการเล่นเกมแข่งหุ่นยนต์

สนามที่ใช้เล่นเกมในบางช่องจะถูกวางการ์ดเสี่ยงดวงไว้ 6 ตำแหน่ง เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่มายังตำแหน่งที่มีการ์ดวางอยู่ ผู้เล่นต้องเปิดการ์ดแล้วทำภารกิจตามคำสั่งที่อยู่ในการ์ด ผู้วิจัยออกแบบการ์ดไว้ 6 ภารกิจ แสดงดังภาพที่ 3



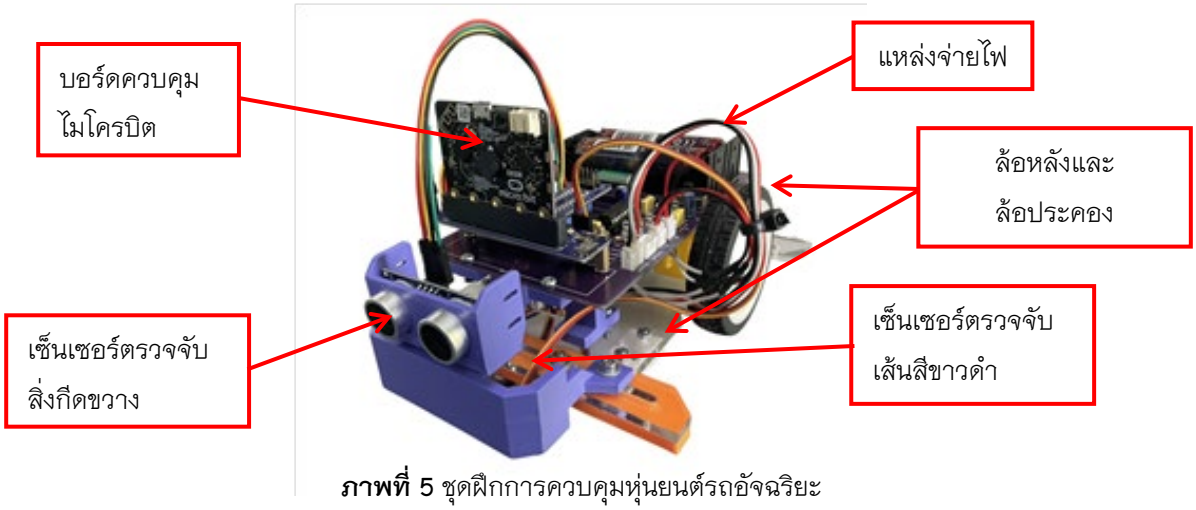
ภาพที่ 3 การ์ดเสี่ยงดวง

ก่อนทำการทดลองวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการอธิบายกฎกติกาในการเล่นเกมให้แก่ผู้เรียนได้ฟัง โดยเริ่มตั้งแต่การ อธิบายและนำเสนอเกมแก่ผู้เรียน ดำเนินกิจกรรมการเล่นเกมตามกติกาที่ตั้งไว้ และ การสรุปผลของเกม ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการของการจัดการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐาน แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 อธิบายกฎกติกาในการเล่นเกมให้แก่ผู้เรียน

เมื่อเริ่มทำการทดลองวิจัย ให้ผู้เรียนแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มย่อยๆ กลุ่มละ 2 คน จากนั้นจึงเริ่มสอนส่วนประกอบต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์, อุปกรณ์ทางกล แมคคานิค, อุปกรณ์ขับเร้า แอคทูเอเตอร์, อุปกรณ์ควบคุม คอนโทรลเลอร์ หลังจากเรียนรู้ด้านทฤษฎีแล้วจึงดำเนินกิจกรรมตามแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยการประกอบหุ่นยนต์รถอัจฉริยะที่มีขนาด 148 x 190 X 70 มิลลิเมตร มีเซ็นเซอร์จำนวน 2 ชนิด ประกอบด้วย เซ็นเซอร์ตรวจจับเส้นสีขาว–ดำ และ เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวาง แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ชุดฝึกการควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะ

หลังจากผู้เรียนประกอบหุ่นยนต์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะด้วยการเขียนโค้ดบนแพลตฟอร์มเมคโค้ด ตามแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐาน เริ่มจากผู้เรียนจะต้องรู้จักวิธีการเชื่อมต่อ แพลตฟอร์มเมคโค้ดเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 6 โดยวิธีการเขียนโค้ดสำหรับเชื่อมต่อจะแสดงไว้เป็นลำดับขั้นตอนดังที่ปรากฏในใบงาน ขั้นตอนนี้ ผู้สอนจะให้คำแนะนำในการเขียนโค้ดเท่านั้น จะไม่ดำเนินการเขียนให้ผู้เรียนโดยตรง เพื่อให้ผู้เรียนมีทักษะการแก้ปัญหาในการเขียนโค้ด หลังจากที่ผู้เรียนเขียนโค้ดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการโหลดโปรแกรมลงสู่บอร์ดควบคุม ไมโครบิต ต่อไป



ภาพที่ 6 การโปรแกรมเพื่อควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะบนแพลตฟอร์มเมคโค้ด

การเขียนโปรแกรมเมคโค้ดเพื่อเชื่อมโยง (Interface) ระหว่างชุดฝึกการควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะให้ทำงานร่วมกับบอร์ดควบคุมไมโครบิต จะต้องเขียนโค้ดเริ่มต้นจากการสั่งให้มอเตอร์ทำงานผ่านบอร์ดชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ (Motor Drive Board) สัญญาณที่ส่งออกไปสามารถกำหนดระดับความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ได้ด้วยวิธีการปรับความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM) ผู้เรียนจะเรียนรู้การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เพื่อใช้ประโยชน์ในการบังคับเลี้ยวให้แก่หุ่นยนต์รถอัจฉริยะ เมื่อผู้เรียนสามารถบังคับให้หุ่นยนต์สามารถเลี้ยวซ้าย-ขวาได้จากการปรับความเร็วรอบของล้อทั้งสองแตกต่างกัน ภารกิจต่อไปคือการเชื่อมโยงบอร์ดควบคุม ไมโครบิตเข้ากับเซ็นเซอร์ทั้งสองชนิด จากนั้นจึงเป็นภารกิจให้หุ่นยนต์สามารถใช้เซ็นเซอร์ชนิดต่างๆควบคุมหุ่นยนต์ ปฏิบัติภารกิจสำเร็จตามแผนการจัดการเรียนรู้ แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผู้เรียนปฏิบัติภารกิจตามรูปแบบการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน

เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการเรียนรู้จนกระทั่งผู้เรียนสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์รถอัจฉริยะได้ครบภารกิจตามแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐาน แล้วจากนั้นจึงให้ผู้เรียนทำแบบประเมินการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน แล้วจึงทำการทดสอบทักษะผู้เรียนในการเขียนโปรแกรมโดยมีพี่เลี้ยงเป็นผู้ประเมินทักษะปฏิบัติ โดยใช้เกณฑ์การประเมินรูบริคส์ แล้วนำคะแนนผลการทดสอบมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ประกอบไปด้วย ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษา

หลังจากที่ผู้วิจัยดำเนินการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ชุดฝึกประกอบการเรียนรู้หุ่นยนต์รถอัจฉริยะ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นไมโครบิต ซอฟแวร์ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์บนแพลตฟอร์มเมคโค้ด เอกสารประกอบการจัดการเรียนรู้รูปแบบเกมเป็นฐาน พร้อมใบงานประกอบการเขียนโค้ดเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ แบบทดสอบทักษะการเขียนโค้ดที่ใช้แบบประเมินรูบริก จำนวน 12 ข้อ และ แบบประเมินการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียนเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ผลประเมินด้านความเหมาะสมของสื่อการสอนประเภท Hardware	4.58	0.242	เหมาะสมมากที่สุด
2	ผลประเมินด้านความเหมาะสมของเอกสารประกอบการเรียนการสอน	4.58	0.109	เหมาะสมมากที่สุด
3	ผลประเมินด้านความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้และเกมประกอบแผนการจัดการเรียนรู้	4.55	0.325	เหมาะสมมากที่สุด
4	ผลประเมินด้านความเหมาะสมของการประเมินผลในการอบรม	4.80	0.447	เหมาะสมมากที่สุด
5	ผลประเมินด้านความเหมาะสมของกระบวนการในภาพรวม	4.53	0.298	เหมาะสมมากที่สุด

อ้างอิงการแปลผลจาก ศศิธรและคณะ (2563) เมื่อนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 3 จำนวน 14 คน หลังจากดำเนินกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ครบแล้ว ให้ผู้เรียนทำการทดสอบสมรรถนะของผู้เรียนด้วยแบบทดสอบด้านปฏิบัติจำนวน 12 ข้อ ผลจากการทดสอบสมรรถนะทางด้านการเขียนโค้ดบนแพลตฟอร์มเมคโค้ด ผู้เรียนมีระดับค่าเฉลี่ย ด้านทักษะการเขียนโค้ดร้อยละ 84.28 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ตามสมมติฐานข้อที่ 1 จากนั้นจึงให้ผู้เรียนทำแบบประเมินการมีส่วนร่วมในชั้นเรียนของผู้เรียนที่มีต่อรูปแบบการจัดการเรียนโดยใช้เกมเป็นฐานร่วมกับชุดฝึกการควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะ ผู้เรียนประเมินระดับการมีส่วนร่วมในชั้นเรียนของผู้เรียน ผลประเมินด้านปัญญามีผลการประเมินอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.17 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.558) แสดงดังตารางที่ 3 ตรงตามสมมติฐานข้อที่ 2

ตารางที่ 3 ผลการประเมินการมีส่วนร่วมในชั้นเรียนของผู้เรียนที่มีต่อรูปแบบการจัดการเรียนโดยใช้เกมเป็นฐานร่วมกับชุดฝึกการควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะ

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความคิดเห็น		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ผลประเมินด้านพฤติกรรม (Behavioral Engagement)	3.80	0.466	ผู้เรียนเห็นด้วยมาก
2	ผลประเมินด้านปัญญา (Cognitive Engagement)	4.17	0.558	ผู้เรียนเห็นด้วยมาก
3	ผลประเมินด้านอารมณ์ (Emotional Engagement)	4.14	0.435	ผู้เรียนเห็นด้วยมาก

สรุปผลและอธิปรายผล

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาชุดฝึกอบรมการเขียนโค้ดควบคุมหุ่นยนต์รถอัจฉริยะด้วยแพลตฟอร์มเมคโค้ด โดยนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้เกมเป็นฐาน มาทดลองใช้กับกลุ่มผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนวัดโพสิทธาราม จำนวน 14 คน ซึ่งส่วนสำคัญคือการพัฒนาชุดฝึกอบรมเพื่อช่วยให้ผู้เรียนได้สนุกควบคู่ไปกับการเรียนรู้ แทนที่การจัดการเรียนรู้แบบเดิมที่เน้นการบรรยายด้วยเพาว์เวอร์พอยต์แล้วทำแบบฝึกหัดตามใบสั่งงานเป็นหลัก ทำให้ผู้เรียนที่ไม่มีพื้นฐานการเขียนโค้ดเกิดความไม่เข้าใจในเนื้อหาซึ่งอาจเป็นสิ่งแปลกใหม่สำหรับตัวผู้เรียนเอง ส่งผลให้เกิดความเบื่อหน่ายในการเรียน โดยมีผลจากการประเมินความเหมาะสมของชุดฝึกอบรมในการนำไปใช้ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน เห็นได้จากตารางที่ 2 อยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน 0.200 เมื่อนำไปทดลองใช้ ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม เห็นได้จากตารางที่ 3 หัวข้อการประเมินลำดับที่ 2 ที่เป็นผลประเมินการมีส่วนร่วมด้านปัญญาอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.17 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.558 บ่งบอกว่าผู้เรียนคิดว่ากิจกรรมการเล่นเกมสามารถพัฒนากระบวนการคิดและการทำงานของตัวเองได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hsu & Chen (Hsu & Chen, 2022) ที่พบว่า การมีส่วนร่วมของนักเรียนเมื่อใช้แอปพลิเคชัน Personal Audio Classifer (PAC) ในการแข่งขันเกมกระดานจะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง ใช้แอป AI ควบคุมรถหุ่นยนต์บนเกมกระดานแล้วนำไปแข่งขันกับเกมอื่นและกลุ่มควบคุม ประเมินแอป AI บนสมาร์ทโฟนร่วมกันจากนั้นจดบันทึกผลการประเมินลงในใบงาน การศึกษานี้สรุปได้ว่า การมีส่วนร่วมในการเรียนรู้เพิ่มขึ้นอย่างมากในเกมกระดาน การใช้แอพพลิเคชั่น AI ของกลุ่มทดลองได้รับยืนยันว่ามีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการสร้างสรรค์ของนักเรียน เช่นเดียวกับ Sharma, Papavlasopoulou and Giannakos (Sharma, Papavlasopoulou & Giannakos, 2019) ชี้ให้เห็นว่า ระดับของการทำงานร่วมกันในระดับสูงแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเด็กในการแบ่งปันประสบการณ์การเรียนรู้ซึ่งกันและกัน อีกทั้งการมีส่วนร่วมจะช่วยให้ความสัมพันธ์ระหว่างทัศนคติของเด็กมีการแสดงออกที่สูงขึ้น ทำให้ผลจากการทดสอบสมรรถนะทางด้านการเขียนโค้ดบนแพลตฟอร์มเมคโค้ด ผู้เรียนมีระดับค่าเฉลี่ย ด้านทักษะการเขียนโค้ดร้อยละ 84.28 ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการนำชุดฝึกอบรมมาใช้เป็นสื่อควบคู่ไปกับการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบของการเล่นเกมจะช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้น และช่วยให้ผู้เรียนเรียนรู้ไปพร้อมกับการเล่นเกมแข่งกันระหว่างทีม ซึ่งในงานวิจัยของ อารยะพิศิษฐ์ และ คณะ (Arayapisit, et al., 2023) ได้พัฒนาเกมเพื่อการเรียนรู้เกี่ยวกับสุขภาพในช่องปากโดยจัดทำอยู่ในรูปแบบของเกมกระดาน จากการวิจัยพบว่าคะแนนจากการประเมินความรู้เพิ่มขึ้นในระดับมากและคะแนนของการวัดการทำงานร่วมกันสูงกว่ากลุ่มที่มีการแข่งขันอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังมีงานวิจัยของ Kuo & Hsu (Kuo & Hsu, 2020) พบว่า เกมกระดานช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์และความคิดในระดับที่สูงจนทำให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้น

การเขียนโค้ดด้วยแพลตฟอร์มเมคโค้ด ช่วยให้ผู้เขียนโค้ดสามารถเข้าใจได้ง่ายเพราะมีทั้งบล็อกสำหรับการเขียนโปรแกรมในรูปของแผนภาพบล็อกอีกทั้งรองรับส่วนขยายที่หลากหลายช่วยให้ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ผู้เรียนสามารถเขียนโค้ดโดยนำบล็อกเหล่านั้นมาต่อเรียงกันจนเกิดเป็นชุดคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามต้องการ ซึ่งข้อดีของการเขียนโค้ดด้วยแพลตฟอร์มดังกล่าวช่วยลดอุปสรรคสำคัญของผู้เรียนในการเรียนรู้เรื่องขั้นตอนและหลักไวยกรณ์ที่ซับซ้อน แต่เดิมจะใช้การเขียนโปรแกรมที่ใช้ตัวอักษรเป็นหลัก ยากต่อการทำความเข้าใจ กระบวนการทั้งหมดนี้ถูกขับเคลื่อนด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน ส่งผลให้กิจกรรมดำเนินไปด้วยความสนุกสนานไม่น่าเบื่อ ตรงกับงานวิจัยของ Panskyi & ROWIŃSKA (Panskyi & ROWIŃSKA, 2021) ได้แสดงให้เห็นว่า แนวทางการเรียนรู้แบบอิงเกมดิจิทัลสำหรับการเขียนโปรแกรม ผลของการตอบแบบสอบถามจากผู้เข้าร่วมมีคะแนนเฉลี่ยสูง ซึ่งกิจกรรมในแต่ละระยะของการดำเนินกิจกรรมช่วยให้ผู้เรียนเพิ่มแรงจูงใจและจินตนาการได้ การเขียนโปรแกรมช่วยเพิ่มความสามารถความคิดสร้างสรรค์และการคิดอย่างอิสระ

ข้อแนะนำ

1. การนำงานวิจัยนี้ไปใช้งาน ควรเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์สำรองเผื่อไว้ในกรณีที่อุปกรณ์เกิดอาการไม่สามารถใช้งานได้และเผื่อระยะเวลาในการทำกิจกรรมให้ผู้เรียนได้มีเวลาเตรียมตัว

2. กระบวนการฝึกพี่เลี้ยงก่อนออกไปอบรมจริง ซึ่งคอยดูแลผู้เรียนแต่ละกลุ่มควรมีความรู้เพียงพอที่จะสามารถถ่ายทอดความรู้ ช่วยเหลือและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยบางส่วนจาก แผนกช่างเมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). **แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๖๐-๒๕๗๙**. กรุงเทพฯ: พริกหวาน กราฟฟิค. ยุทธศาสตร์ชาติ (2561-2580), (4 กรกฎาคม 2566). **ราชกิจจานุเบกษา**. เล่ม 135 ตอนที่ 82 ก หน้า 30.

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2562). **มาตรฐานการศึกษาของชาติ พ.ศ. ๒๕๖๑**. กรุงเทพฯ: 21 เซ็นจูรี่ จำกัด.

สำนักมาตรฐานการอาชีวศึกษาและวิชาชีพ. (2562). **หลักเกณฑ์และแนวปฏิบัติการจัดการอาชีวศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพและระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง**. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี.

คู่มือการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน วิทยาการคอมพิวเตอร์ เพื่อพัฒนาทักษะด้านโค้ดดิ้ง, สืบค้น 5 กรกฎาคม 2566, จาก https://www.depa.or.th/th/digitalservice/digital-manpower-fund/encouraging-people-to-know-and-utilize-digital

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2563). **ถอดบทเรียน กิจกรรมการเรียนการสอน CODING และการสร้างสรรค์นวัตกรรม : การพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณลักษณะที่พึงประสงค์ของคนไทย 4.0 ตามมาตรฐานการศึกษาของชาติ**. กรุงเทพฯ: 21 เซ็นจูรี่ จำกัด.

Thailand 4.0 ขับเคลื่อนอนาคตสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน, สืบค้น 5 กรกฎาคม 2566, จาก https://spm.thaigov.go.th

Chookaew, S., Howimanporn, S., & Hutamarn, S. (2021). **Investigating students' computational thinking through STEM robot-based learning activities. Advances in Science**, Technology and Engineering Systems Journal

Boya-Lara, C., Saavedra, D., Fehrenbach, A., & Marquez-Araque, A. (2022). **Development of a course based on BEAM robots to enhance STEM learning in electrical, electronic, and mechanical domains**. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 19(1), 1-23.

Ueyama, Y., Sago, T., Kurihara, T., & Harada, M. (2022). **An Inexpensive Autonomous Mobile Robot for Undergraduate Education: Integration of Arduino and Hokuyo Laser Range Finders**. IEEE Access, 10, 79029-79040.

Ariff, M. I. M., Khalil, F. M., Rahman, R. A., Masrom, S., & Arshad, N. I. (2022). **Developing mobile game application for introduction to financial accounting**. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 27(3), 1721-1728.

Yildiz, T., & SEFEROĞLU, S. S. (2021). **The effect of robotic programming on coding attitude and computational thinking skills toward self-efficacy perception**. Journal of Learning and Teaching in Digital Age, 6(2), 101-116.

Devi, F. S., Hatta, P., & Ariyuana, R. **Evaluation of Mobile-based Learning Media Application for Python Programming Learning**.

Moraiti, I., Fotoglou, A., & Drigas, A. (2022). **Coding with Block Programming Languages in Educational Robotics and Mobiles, Improve Problem Solving, Creativity & Critical Thinking Skills**. International Journal of Interactive Mobile Technologies, 16(20).

Abou Assi, K. (2022). **The Development of Attentional Inhibition Through Coding and Robotics : Associating Between Tinkering, Creating, and Problem Solving in a Group Setting**. International Journal of Social Robotics, 14(8), 1883-1892.

Yan, B. (2022, September). **A Comparative Research of the Influence of Game – based Learning on the Self-Efficacy of Sophomore English Majors in English Writing Course**. In Proceedings of the 6th International Conference on Digital Technology in Education (pp. 42-46).

Sharma, K., Papavlasopoulou, S., & Giannakos, M. (2019). **Coding games and robots to enhance computational thinking: How collaboration and engagement moderate children's attitudes?**. International Journal of Child-Computer Interaction, 21, 65-76.

Panskyi, T., & ROWIŃSKA, Z. (2021). **A Holistic Digital Game-Based Learning Approach to Out-of-School Primary Programming Education**. Informatics in Education, 20(2).

Hsu, T. C., & Chen, M. S. (2022). **The engagement of students when learning to use a personal audio classifier to control robot cars in a computational thinking board game**. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 17(1), 1-17.

Kuo, W. C., & Hsu, T. C. (2020). **Learning computational thinking without a computer: How computational participation happens in a computational thinking board game**. The Asia-Pacific Education Researcher, 29, 67-83.

Arayapisit, T., Pojmonpiti, D., Dansirisomboon, K., Jitverananrangsri, K., Poosontipong, D., & Sipiyaruk, K. (2023). **An educational board game for learning orofacial spaces: An experimental study comparing collaborative and competitive approaches**. Anatomical Sciences Education.

การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติโดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์

The development of learning activity with project-based and situation simulation for autonomous mobile robot via robot operating system program

กฤษณะ บุพศิริ[1*] และ ชัยพร ศิลาวัชนาไนย[2]

Kridsana Buphasiri[1*] and Chaiyaporn Silawatchananai[2]

บทคัดย่อ

หลังจากที่รัฐบาลได้ประกาศใช้นโยบายประเทศไทย 4.0 ทำให้ภาคอุตสาหกรรมมีการขยายตัวและปรับเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกัน ความต้องการกำลังคนด้านอาชีวศึกษาก็เพิ่มจำนวนมากขึ้น สถานศึกษาจึงจำเป็นต้องเร่งรัดพัฒนากำลังคนให้มีคุณภาพ เพื่อผลิตกำลังคนระดับฝีมือที่มีสมรรถะวิชาชีพ แต่เนื่องจากการจัดการศึกษาของอาชีวศึกษายังคงประสบปัญหาในด้านคุณภาพของผู้เรียน สาเหตุหนึ่งคือ สื่อประกอบการจัดการเรียนรู้ยังมีน้อยไม่เพียงพอต่อผู้เรียนในการลงมือปฏิบัติ ทำให้ผู้เรียนยังขาดทักษะในการปฏิบัติงานจริง โดยเฉพาะวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบหุ่นยนต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์สำหรับควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ โดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ รูปแบบการวิจัยเป็นแบบกึ่งการทดลอง แบบแผนการวิจัยใช้แบบศึกษากลุ่มเดี่ยววัดผลก่อนและหลังการทดลอง เมื่อนำไปใช้กลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 19 คน ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับปานกลาง และผลการประเมินการมีส่วนร่วมของกลุ่มเป้าหมาย ในทำกิจกรรมอยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ย 3.92 ตามมาตรวัดประเมินค่าของลิเคิร์ด) จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ผู้สอนสามารถนำกิจกรรมนี้ไปแนวทางการพัฒนาสมรรถนะของผู้เรียนในอนาคตได้

คำสำคัญ: โครงงานเป็นฐาน,หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ, ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์,การเรียนรู้ยุคใหม่

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[2] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[1] Master Degree Student, Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Technical Education KMUTNB. Bangkok 10800

[2] Lecturer, Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Technical Education KMUTNB. Bangkok 10800

*Corresponding author : krid2526@gmail.com

Abstract

After the Thai government announced Thailand's 4.0 policy, the industrial sector expanded and reformed rapidly. Meanwhile, the demand for skilled workforce in vocational education has significantly increased. Therefore, educational institutions need to expedite the development of high-quality human resources to produce a workforce with professional competence. However, the management in vocational education still needs to improve in terms of the quality of learners due to the insufficient instructional materials for practice sessions. This deficiency results in students needing more job skills, especially in subjects relevant to robotics. Thus, the authors propose the development of project-based learning activities and situation simulations for autonomous mobile robot control via Robot Operating Systems. The research methodology adopts a quasi-experimental design, using a single-group pre-test and post-test measurement approach. The activities were applied individually to a target group of 19 first-year students in certificate-level professional electronic engineering. The majority of students show average progress in their learning.. Moreover, the assessment of group participation in activities has an average score of 3.92, which is rated as "very good" based on the Likert scale criteria. In conclusion, the proposed learning activity can be utilized to enhance the learners' future competency.

Keywords: Project-based Learning, Autonomous Mobile Robot, Robot operating system,ROS, Active Learning

บทนำ

จากการที่ประเทศไทย ประกาศนโยบาย ประเทศไทย 4.0 ที่เชื่อว่าจะช่วยให้ประเทศไทยหลุดพ้นจากกับดักรายได้ปานกลาง สิ่งหนึ่งที่ถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญคือ การปฏิวัติดิจิทัล ส่งผลให้ประเทศไทยเกิดการเปลี่ยนแปลงไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 การปฏิวัติดิจิทัลนี้มีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องโดยตรงกับ ระบบอัตโนมัติ ซึ่งได้นำมาใช้ในการควบคุมให้ระบบเป็นอัตโนมัติโดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม จะเห็นได้ว่ามีการนำระบบอัตโนมัติมาใช้มากขึ้น เช่นการควบคุมหุ่นยนต์อัตโนมัติ การควบคุมสายพานลำเลียง ซึ่งองค์ความรู้ในระบบอัตโนมัตินี้อยู่จำกัดในวงแคบ กำลังคนที่สถานศึกษาทั้งในระดับอาชีวศึกษา และ ระดับอุดมศึกษา ที่ผ่านมายังมีความรู้และทักษะที่ไม่ตรงกับความต้องการของตลาดแรงงาน (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2560) ทำให้สูญเสียโอกาสในการพัฒนาประเทศในภาพรวม เมื่อภาคอุตสาหกรรมมีการขยายตัวและปรับเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว ความต้องการกำลังคนด้านอาชีวศึกษาก็เพิ่มจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้กำลังคนที่สถาบันอาชีวศึกษาผลิตนั้นไม่สอดคล้องกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม สถานศึกษาจึงจำเป็นต้องเร่งรัดพัฒนากำลังคนให้มีคุณภาพเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ประกอบการที่ต้องการกำลังคนจากสายอาชีวศึกษาอย่างต่อเนื่อง (สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, 2561)สถานศึกษาจึงต้องมุ่งเน้นพัฒนาผู้เรียนด้วยกิจกรรมต่างๆ แต่ด้วยสภาพปัญหาและสถานการณ์สังคมปัจจุบันเป็นเงื่อนไขสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการจัดการเรียนรู้ และ การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน อย่างไรก็ตามการจัดการศึกษาของอาชีวศึกษา ยังคงประสบปัญหาในด้านคุณภาพของผู้เรียน ดังที่สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทยสะท้อนข้อมูลให้เห็นว่า คุณภาพของผู้เรียนที่จบการศึกษาจากสายอาชีวศึกษายังไม่ตอบโจทย์สำหรับผู้ประกอบการ การเรียนการสอนขาดความเชื่อมโยงกับธุรกิจ นอกจากนี้ยังพบประเด็นสำคัญอีกประการ คือ ผู้เรียนยังมีทักษะไม่ดีพอ ส่งผลให้เมื่อผู้เรียนจบการศึกษาไปแล้วไม่สามารถทำงานได้ดี (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2560) ซึ่งควรจะต้องเน้นหนักในด้านทักษะ

การเรียนรู้ (Learning Skill) โดยจะต้องปฏิรูปเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยการให้ผู้เรียนก้าวทันการเปลี่ยนแปลงของสังคมและโลก (Sararattana, 2013)

วิทยาการหุ่นยนต์ เป็นศาสตร์ที่นำความรู้ด้านต่างๆ มาประกอบรวมกันเข้าเพื่อทำให้เกิดความเจริญก้าวหน้า ได้แก่ด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีปัจจุบัน คณิตศาสตร์ และ กลศาสตร์ ทำให้การจัดการเรียนรู้ที่นำศาสตร์ต่าง ๆ มารวมเข้าเป็นที่น่าสนใจ สนุก น่าทดลอง และ พัฒนาตามจินตนาการของตนเอง จากแผนการศึกษาแห่งชาติ ได้กำหนดแนวนโยบายเพื่อดำเนินการพัฒนา กำลังคนในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพึ่งพาตนเองและเน้นสมรรถนะแข่งขันใน นานาชาติ โดยมุ่งพัฒนาความสามารถด้านความรู้ความเข้าใจและการใช้ศักยภาพของวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีเพื่อใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน(ภาภรณ์, 2566) ดังนั้นหากสถานศึกษาจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ที่เน้นให้ผู้เรียนมีทักษะที่สอดคล้องกับองค์ความรู้ ก็จะช่วยให้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นที่เกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรมมีแนวโน้มลดลง

สำหรับการจัดการเรียนรู้ในสาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา มีการจัดการเรียนรู้โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้รับความรู้ ความเข้าใจ และ ให้มีทักษะอย่างแท้จริงเป็นหลักสูตรที่ได้รับการพัฒนาขึ้นให้มีความสอดคล้องกับพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 พระราชบัญญัติการอาชีวศึกษา พ.ศ. 2551 และความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี เพื่อผลิตกำลังคนระดับฝีมือที่มีสมรรถะวิชาชีพ เพื่อให้สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้แบบฐานสมรรถนะเพื่อให้ผู้เรียนสามารถปฏิบัติงานได้จริงและมีประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน อันทำให้ผู้เรียนสามารถนำทักษะความรู้ไปประกอบอาชีพได้ในอนาคต ตรงตามความต้องการของตลาดแรงงาน มีรายได้เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตในสังคมได้อย่างมีความสุข นอกจากนี้ยังปลูกฝังให้ผู้เรียนมีความรักในสาขาวิชาชีพและสามารถใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีอยู่ได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุด (พระราชบัญญัติการอาชีวศึกษา,2551) เมื่อพิจารณาจากหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2563 (ปรับปรุง 2565) ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา,2563) สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ได้บรรจุวิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม รหัสวิชา 30105-2101 จำนวน 3 หน่วยกิตรวม 90 ชั่วโมง ต่อภาคเรียน ซึ่งเป็นวิชาชีพเลือกสาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ที่ผู้เรียนวิชาอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องเรียนรู้เพื่อจะนำไปใช้ประกอบการเรียนวิชาต่อไปในอนาคต ลักษณะของรายวิชาจะเป็นการศึกษาทฤษฎี และ ลงมือปฏิบัติงานเกี่ยวกับคุณสมบัติอุปกรณ์เซนเซอร์ ทรานสดิวเซอร์ อุปกรณ์ไทริสเตอร์ มอเตอร์ รีเลย์ เพาเวอร์เซมิคอนดักเตอร์ อุปกรณ์แสดงผล อุปกรณ์ขับเคลื่อนทางกลไก วงจรแปลงสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ไทริสเตอร์ และเพาเวอร์เซมิคอนดักเตอร์ การวัด ออกแบบและทดสอบ วงจรควบคุมอัตโนมัติและประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้พัฒนาให้มีความสะดวก และมีความสามารถมากขึ้น เช่น อุปกรณ์เซนเซอร์ การควบคุมระบบอัตโนมัติ และ การประยุกต์ใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ในงานอุตสาหกรรม พบว่าเนื้อหาบางเรื่องผู้เรียนต้องใช้ทักษะในการเรียนรู้ ซึ่งการจัดการเรียนรู้แบบเดิมที่ใช้การสอนแบบบรรยายเป็นหลัก ผู้เรียนไม่สามารถเข้าใจในเนื้อหาได้อย่างถ่องแท้ การนำหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Mobile Robot) มาใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ชิงรุก (Active Learning) ตามแนวทางสะเต็มศึกษาช่วยส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณ แก่ผู้เรียนที่เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย รวมถึงการมีส่วนร่วมในกิจกรรมอยู่ในระดับดี (Chookaew et al.,2021) แต่ปัญหาหลักของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ส่วนใหญ่มีราคาแพง จึงมีนักวิจัยนำไมโครคอนโทรลเลอร์อาดรูโน่ (Arduino) นำมาใช้เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ และ รับค่าจากเซ็นเซอร์ประเภทแสง ใช้รูปแบบการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน (Project-based Learning) ตามแนวทาง สะเต็มศึกษาช่วยให้ผู้เรียนได้รับทักษะพื้นฐาน และ ความรู้ที่จำเป็นในการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า (Ueyama et.al., 2022) การนำอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ที่หาได้จากอุปกรณ์ที่ได้จากวัสดุรีไซเคิล การควบคุมใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดย

ไม่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Boya-Lara, C., 2022) โดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา พบว่าช่วยให้ผู้เรียนระดับมหาวิทยาลัยมีทักษะการคิดเชิงคำนวณเพิ่มมากขึ้น

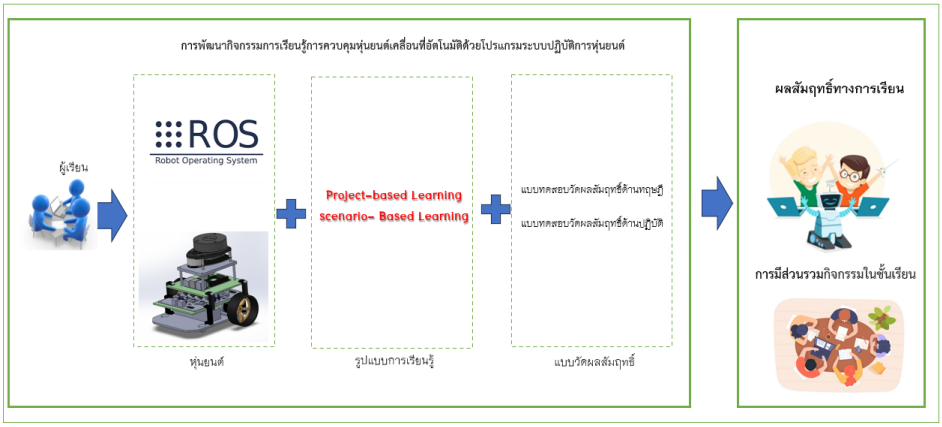
การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนได้ศึกษาค้นคว้า หรือปฏิบัติงานตามหัวข้อที่ผู้เรียนสนใจ ซึ่งผู้เรียนจะต้องฝึกกระบวนการทำงานอย่างมีขั้นตอน มีการวางแผนการทำงานหรือการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบจนการดำเนินงานสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ส่งผลให้ผู้เรียนมีทักษะการเรียนรู้อย่างหลากหลาย อันเป็นประสบการณ์ตรงที่มีคุณค่า สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานต่างๆ ได้ วิธีการสอนแบบนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากโดยเฉพาะเมื่อมีจุดมุ่งหมายการเรียนรู้ระดับสูง (Higher Order Thinking) (Chookaew.S., 2017)

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยโปรแกรมระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี โดยใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน โดยให้ผู้เรียนมีการวางแผนการทำงาน หรือการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบจนการดำเนินงานสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่วางไว้ซึ่งเป็นการบูรณาการเรียนในรายวิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม วิชาวงจรพัลส์และดิจิทัลเทคนิค วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์ วิชาไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งผู้เรียนจะต้องประมวลความรู้ที่เรียนนำความรู้ที่ได้นี้ ไปประยุกต์พัฒนาต่อยอดด้วยการออกแบบ และ สร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติตามภารกิจที่ได้รับมอบหมายสอดคล้องกับคำสมรรถนะรายวิชารายวิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรมคือ ออกแบบและทดสอบวงจรควบคุมอัตโนมัติและประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งแต่เดิมนั้นในการใช้งานเซ็นเซอร์ที่ใช้ต่อร่วมกับหุ่นยนต์ต้องใช้แบบเซ็นเซอร์ตรวจจับเส้น ที่เป็นโมดูลเซ็นเซอร์แสงสำหรับตรวจจับวัตถุกีดขวาง ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจจับวัตถุที่อยู่ตรงหน้าได้ ขณะเดียวกันสามารถปรับความไว ระยะการตรวจจับ ใกล้หรือไกลได้ (โรบอทสยาม, 2016) ปัจจุบันเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ได้มีการพัฒนาแบบใหม่ออกมาใช้งานโดยหุ่นยนต์ไม่ต้องเคลื่อนที่แบบตรวจจับเส้น จะเคลื่อนที่ด้วยวิธีใช้เซ็นเซอร์สแกนบริเวรรอบตัวหุ่นยนต์เพื่อสร้างแผนที่ และ มีการเคลื่อนที่โดยอัตโนมัติ เรียกว่า LiDAR ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับวัตถุที่ทำงานได้เหมือนกับเรดาร์ โดยจะปล่อยแสงเลเซอร์แทนคลื่นวิทยุ หรือ คลื่นเสียง และ วัดระยะเวลาที่จะกลับมาหลังจากชนวัตถุ การพิจารณาการตรวจจับวัตถุจากความเร็วของแสงเลเซอร์นั้น จะทำให้LiDAR สามารถวัดระยะทางที่แม่นยำ (อนนท์ และคณะ, 2564) ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อปฏิบัติตามภารกิจในการเรียนการสอนจะใช้บอร์ดประมวลผล Arduino Nano เป็นบอร์ดขนาดเล็กที่สามารถทำงานร่วมกับ Arduino IDE (Kuongshun, 2018) แต่ Arduino Nano เป็นบอร์ดขนาดเล็กประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลมีน้อย ไม่สามารถนำมาใช้งานร่วมกับเซ็นเซอร์ LiDAR ได้จึงจำเป็นต้องใช้ตัวประมวลผลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น Raspberry Pi ซึ่งเป็นบอร์ดที่เทียบเท่ากับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูง ราคาประหยัด ใช้เพื่อการเรียนรู้ในการแก้ปัญหาและได้ดี สามารถนำไปประยุกต์เพื่อเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ในการเก็บข้อมูลตามต้องการ มีระบบปฏิบัติการที่เรียกว่า Raspbian ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการลินุกซ์เป็นฐาน (มาโนชญ, 2562) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะการทำงานเป็นทีม มีอิสระในการสร้างสรรค์แก้ปัญหา ได้ฝึกฝนการคิดวิเคราะห์ คิดแก้ปัญหาโดยใช้เหตุผล

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1) เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยโปรแกรมระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์
2) เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้โดยการประเมินความก้าวหน้าของผู้เรียนที่ใช้ชุดพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยโปรแกรมระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์
3) เพื่อศึกษาการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย

สมมุติฐาน

1. ผู้เรียนที่ผ่านการทำกิจกรรมการเรียนรู้จากชุดพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยโปรแกรมระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ มีความก้าวหน้าด้านการเรียน

2. ผู้เรียนที่ผ่านการทำกิจกรรมการเรียนรู้จากชุดพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยโปรแกรมระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ มีผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติหลังเรียนมากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

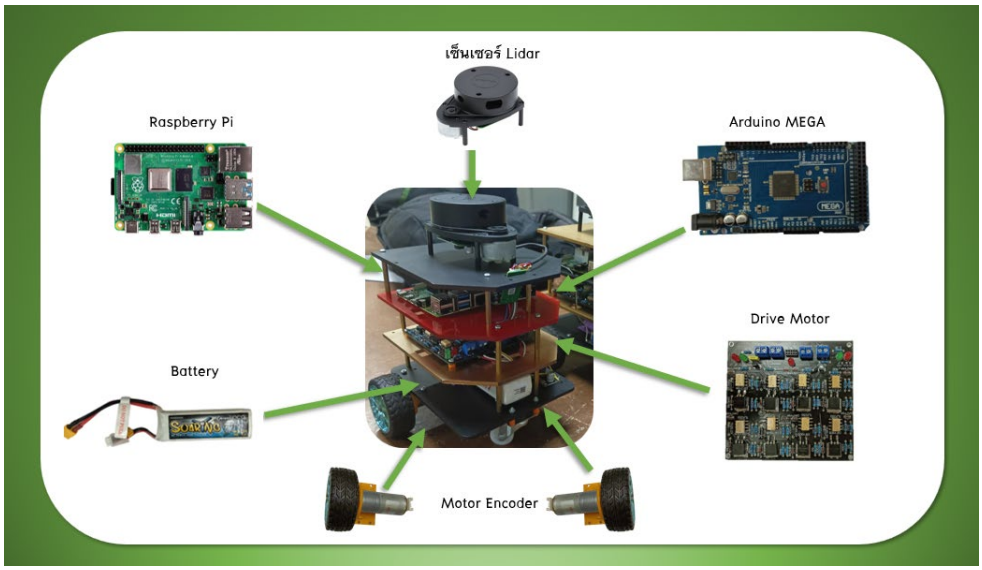
3. ผู้เรียนที่ผ่านการทำกิจกรรมการเรียนรู้จากชุดพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยโปรแกรมระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ มีส่วนร่วมในทำกิจกรรมอยู่ในระดับดีมาก

ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในครั้งนี้เป็นวิธีการวิจัยกึ่งทดลอง ใช้ประเภทของแผนการวิจัยแบบกลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลังการทดลอง โดยมีใช้การประเมินผลความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ (Normalized Gain) โดย Richard R. Hake (1998) ในการประเมินผลความก้าวหน้าของผู้เรียนแบบรายบุคคลที่เรียนด้วยชุดพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยโปรแกรมระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ โดยคำนวณจากสูตร ความก้าวหน้าทางการเรียน $\langle g \rangle$ = (% post-test) – (% Pre-test) / (100 %) – (% Pre-test) สามารถแบ่งระดับของค่า normalized gain ออกเป็นกลุ่มได้เป็นสามระดับ ดังนี้ ระดับ “High gain” หมายถึง ได้ค่า $\langle g \rangle \geq 0.7$ ระดับ “Medium gain” หมายถึง ได้ค่า $0.7 > \langle g \rangle \geq 0.3$ และ “Low gain” หมายถึง ได้ค่า $0.0 \leq \langle g \rangle > 0.3$

ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นผู้เรียนในระดับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรีที่เรียนวิชา อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 19 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย ชุดฝึกการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ใช้ตัวประมวลผลเป็น Raspberry ร่วมกับเซ็นเซอร์ LiDAR, แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางรูปแบบการใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ด้านทฤษฎี จำนวน 20 ข้อ และแบบทดสอบด้านปฏิบัติที่ใช้แบบประเมินรูบริกจำนวน 2 ข้อ และแบบประเมินการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน โดยมีกรอบแนวคิดในการทำวิจัยแสดงดังภาพที่ 1 หลังจากสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านประเมินความเหมาะสมในการนำเครื่องมือในการวิจัยไปทดลองใช้ ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญพบว่า เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.41) สามารถนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ที่เรียนวิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรมก่อนดำเนิน การจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนด้านทฤษฎีจำนวน 20 ข้อ

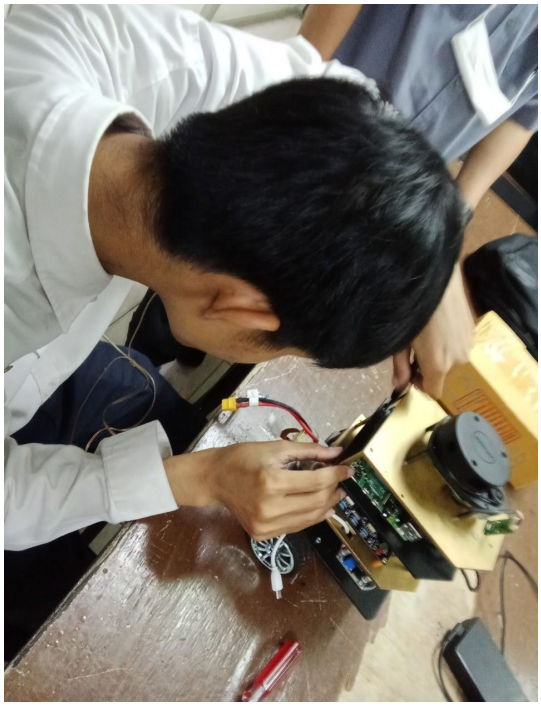
เมื่อเริ่มทำการทดลองวิจัย ให้ผู้เรียนแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 3 คน และ 4 คน 1 กลุ่ม จากนั้นจึงเริ่มสอนทฤษฎีการสร้างและควบคุมหุ่นยนต์ โดยแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ เริ่มจากผู้เรียนจะต้องสร้างชิ้นงานด้วยตนเอง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการเขียนแบบ และออกแบบชิ้นงาน เพื่อสร้างชิ้นงานของหุ่นยนต์และประกอบเป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ขึ้นมา ผู้สอนจะให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องทั้งในส่วนของการออกแบบ และช่วยแก้ปัญหาในการสร้างชิ้นงานจริงร่วมกับผู้เรียน โดยที่ชุดฝึกการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่มีลักษณะเป็นหุ่นยนต์ขนาดเล็ก มีขนาด 20 X 20 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3 หลังจากสร้างโครงสร้างของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงทำการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับโครงสร้างของหุ่นยนต์ แสดงดังภาพที่ 3 ตามแผนการจัดการเรียนรู้



ภาพที่ 2 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของชุดฝึกการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่

เมื่อผู้เรียนประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับฮาร์ดแวร์ของหุ่นยนต์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ ROS ขั้นตอนนี้ ผู้เรียนจะต้องเข้าใจหลักการโปรแกรมขั้นพื้นฐานไลบารี่การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ และรับค่าจากเซ็นเซอร์ LiDAR เพื่อนำข้อมูลไปใช้สร้างแผนที่การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในงานวิจัยนี้ใช้บอร์ด Raspberry Pi ตัวประมวลผลหลัก เพื่อรับค่าจากเซ็นเซอร์ โดยใช้

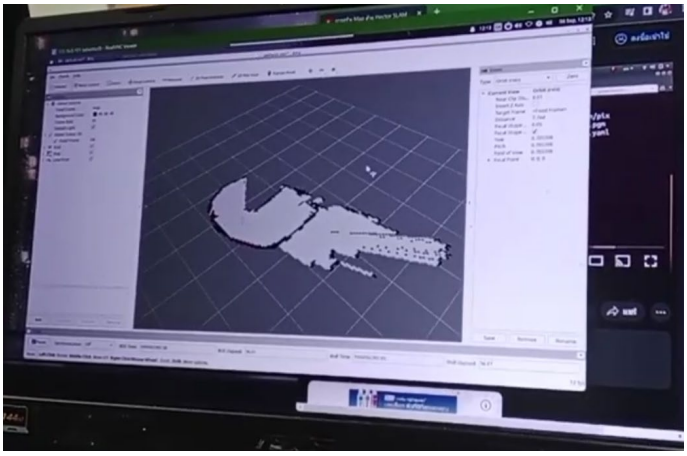
ประมวลผลด้วยจาก ROS (Robot Operating System : ROS) แล้วส่งคำสั่งควบคุมผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว ด้วยสัญญาณ PWM(Pulse Width Modulation) ไปยังมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนล้อ 2 ล้อ แสดงดังภาพที่ 3 ผู้เรียนจะต้องดำเนินการประกอบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เพื่อสร้างเป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จากนั้นจึงเขียนโปรแกรม ROS รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ LiDAR สำหรับควบคุมความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ แสดงดังภาพที่ 4 จากนั้นผู้เรียนจะต้องเขียนโปรแกรมให้สามารถรับค่าจากเซ็นเซอร์ LiDAR มาสร้างเป็นแผนที่ ทดแทนการตรวจจับเส้นของหุ่นยนต์แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 3 ผู้เรียนประกอบหุ่นยนต์ตามโครงสร้างที่ออกแบบ

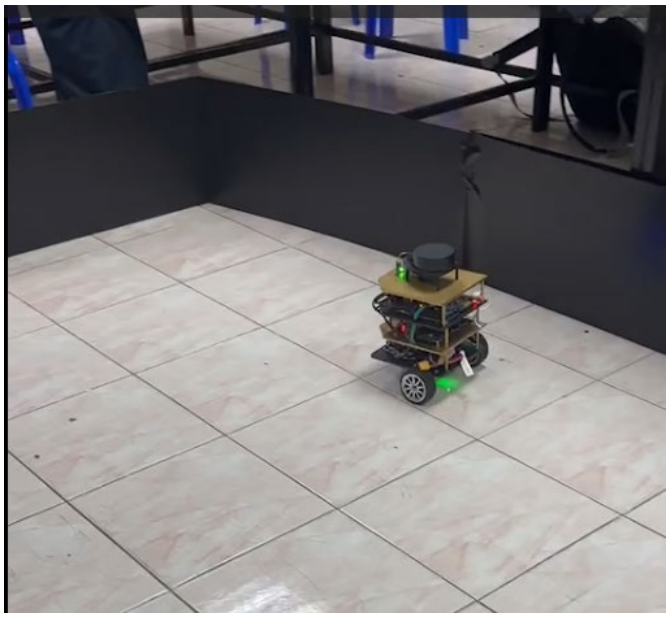


ภาพที่ 4 ผู้เรียนเขียนคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์



ภาพที่ 5 ภาพการเก็บแผนที่จากเซ็นเซอร์ LiDAR

เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการเรียนรู้จนกระทั่งผู้เรียนสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้ตามเงื่อนไขแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างสถานการณ์เพื่อสร้างให้เกิดอุปสรรคในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หลังจากจบกิจกรรมการสร้างสถานการณ์จำลองครบแล้ว จึงให้ผู้เรียนทำแบบประเมินการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน และ ดำเนินการทดสอบด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางด้านทฤษฎี จำนวน 20 ข้อ ข้อสอบในการวัดเป็นข้อสอบชุดเดียวกับข้อสอบวัดผลก่อนเรียนโดยนำข้อสอบมาสลับข้อและสลับชุดคำตอบ รวมทั้งทดสอบสมรรถนะของผู้เรียนด้วยแบบทดสอบด้านปฏิบัติจำนวน 2 ข้อ จากนั้นจึงนำมาคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ประกอบไปด้วย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 6 ผู้เรียนควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามสถานการณ์



ภาพที่ 7 ผู้เรียนถ่ายทอดความรู้ ผ่านการเรียบเรียงโดยใช้อุปกรณ์นำเสนอ

การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติโดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์มีขั้นตอน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์

ขั้นตอนการเรียนรู้	**หัวข้อการเรียนรู้**	
	การสร้างและประกอบหุ่นยนต์	**ภารกิจหุ่นยนต์**
ขั้นที่ 1 การใช้คำถาม Questing	ผู้สอนอธิบายการทำงานหุ่นยนต์ สร้างคำถามให้ผู้เรียนคิดถึงหุ่นยนต์ในความคิด จะสร้างหุ่นยนต์อัตโนมัติแบบไม่ต้องแท็กเส้นจะทำแบบไหน (ผู้สอนใช้เวลาอธิบาย 15–20 นาที)	
ขั้นที่ 2 การวางแผน Planning	ครูผู้สอนแบ่งกลุ่มผู้เรียนกลุ่มล่ะ 3–4 คน (ผู้สอนใช้เวลาอธิบาย 5–10 นาที)จากนั้นผู้เรียนในแต่ละกลุ่มดำเนินการแบ่งหน้าที่ของสมาชิกในทีม กำหนดแผนงานการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์	
ขั้นที่ 3 การศึกษาข้อมูล Researching	ผู้เรียนค้นคว้าสืบเสาะหาความรู้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆอย่างมีระบบในเรื่องการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์	

ขั้นที่ 4 การสร้าง Creating	ผู้เรียนลงมือประกอบหุ่นยนต์ เขียนคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์ แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม	
ขั้นที่ 5 การนำเสนอ Presenting	ผู้เรียนถ่ายทอดความรู้ที่ตนศึกษาค้นคว้าและลงมือปฏิบัติ ผ่านการเรียบเรียงโดยใช้อุปกรณ์การนำเสนอ(ใช้เวลาในการนำเสนอประมาณ 5-10นาที)	

ผลการศึกษา

หลังจากที่ผู้วิจัยดำเนินการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบไปด้วย ชุดฝึกการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ใช้ตัวประมวลผลเป็น Raspberry ร่วมกับเซ็นเซอร์ LiDAR, แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางรูปแบบการใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์ ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ(พิชิต และคณะ,2563)

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ด้านการออกแบบรูปแบบการเรียนรู้	4.80	0.27	เหมาะสมมากที่สุด
2	ด้านกิจกรรมประกอบการเรียนการสอน	4.50	0.35	เหมาะสมมากที่สุด
3	ด้านสื่อสนับสนุนการเรียนการสอน	4.50	0.00	เหมาะสมมากที่สุด
4	ด้านการวัดและประเมินผลการเรียนรู้	4.60	0.22	เหมาะสมมากที่สุด
	ผลการประเมินรวมทั้ง 4 ด้าน	4.60	0.41	เหมาะสมมากที่สุด

จากตารางที่ 3 พบว่า ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติโดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ ผลการประเมินความเหมาะสมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.41 ซึ่งอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด

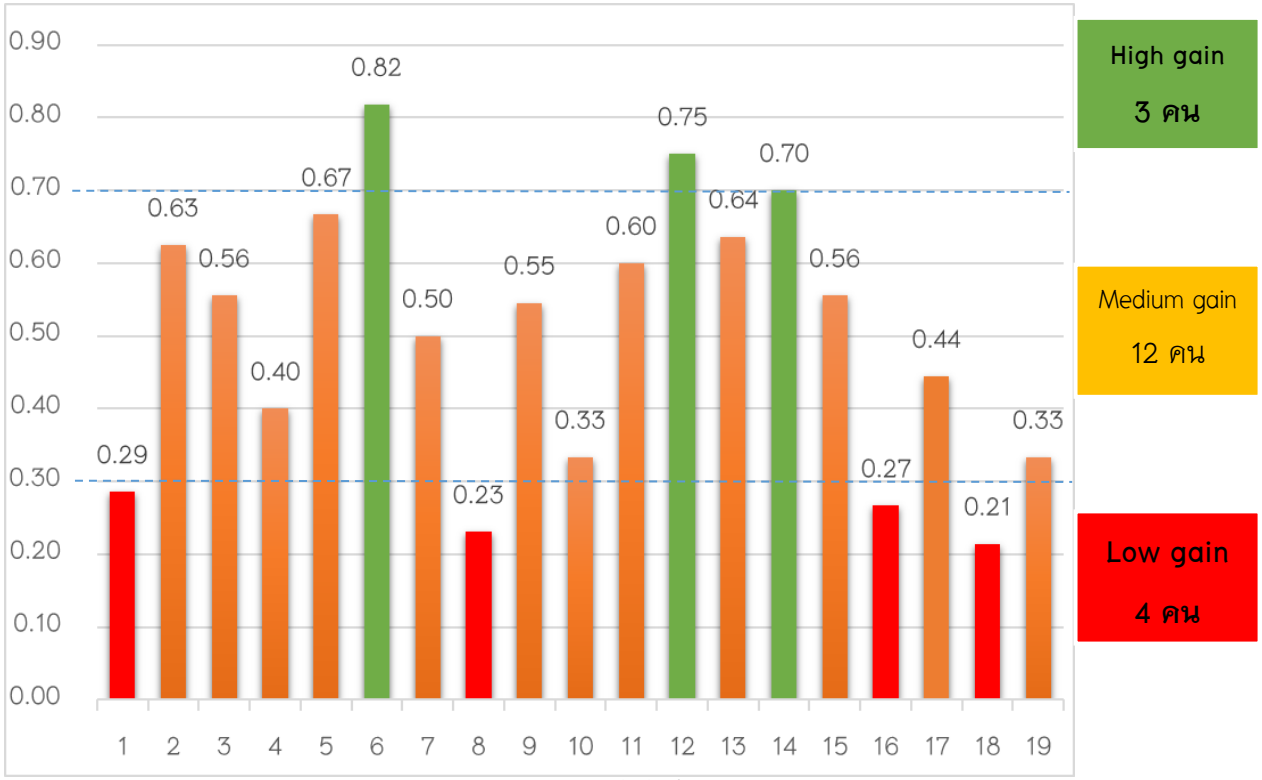
เมื่อนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีที่ 1 จำนวน 19 คน ทำการทดสอบก่อนเรียนด้วยแบบทดสอบด้านทฤษฎีจำนวน 20 ข้อ หลังจากการดำเนินกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ครบแล้วจึงให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบด้านทฤษฎีจำนวน 20 ข้อ เป็นข้อสอบชุดเดียวกันกับข้อสอบก่อนเรียน โดยนำข้อสอบมาสลับข้อและสลับชุดคำตอบ ผลการวิเคราะห์การประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนด้วยวิธี Normalized Gain แสดงดังตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมรรถนะของผู้เรียนด้วยแบบทดสอบด้านปฏิบัติจำนวน 2 ข้อ

แสดงดังตารางที่ 5 หลังจากนั้นให้ผู้เรียนประเมินระดับการมีส่วนร่วมในชั้นเรียนของผู้เรียน มีผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนด้วยวิธี Normalized Gain

นักเรียนคนที่	คะแนนก่อนเรียน (20 คะแนน)	คะแนนหลังเรียน (20 คะแนน)	Normalized Gain	ระดับความก้าวหน้า
1	6	10	0.29	Low gain
2	12	17	0.63	Medium gain
3	11	16	0.56	Medium gain
4	5	11	0.40	Medium gain
5	8	16	0.67	Medium gain
6	9	18	0.82	High gain
7	10	15	0.50	Medium gain
8	7	10	0.23	Low gain
9	9	15	0.55	Medium gain
10	11	14	0.33	Medium gain
11	10	16	0.60	Medium gain
12	8	17	0.75	High gain
13	9	16	0.64	Medium gain
14	10	17	0.70	High gain
15	11	16	0.56	Medium gain
16	5	9	0.27	Low gain
17	11	15	0.44	Medium gain
18	6	9	0.21	Low gain
19	5	10	0.33	Medium gain

High gain หมายถึง นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับสูง สามารถเรียนรู้เนื้อหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ
Medium gain หมายถึง นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับปานกลาง สามารถเรียนรู้เนื้อหาได้ในระดับหนึ่ง
Low gain หมายถึง นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับต่ำ อาจมีปัญหาในการเข้าใจเนื้อหาหรือวิธีการสอน



ภาพที่ 8 ผลความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนที่เพิ่มขึ้นแบบรายบุคคล แบบ Normalized Gain

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนของผู้เรียนที่ใช้ชุดการเรียนรู้ โดยได้ทำการทดสอบความเข้าใจในเนื้อหาก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียน จำนวน 19 คน ด้วยวิธี Normalized Gain ผลการวิจัย พบว่า ผู้เรียนที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบรายบุคคลอยู่ในระดับสูง (High gain) จำนวน 3 คน ผู้เรียนที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง (Medium gain) จำนวน 12 คน และผู้เรียนที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำ (Low gain) จำนวน 4 คน ตามลำดับ โดยรายละเอียดผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยวิธี Normalized Gain แสดงไว้ในตารางที่ 4 และภาพที่ 8 ตรงตามสมมุติฐานข้อที่ 1

ตารางที่ 5 ผลคะแนนเฉลี่ยของผู้เรียนทดสอบสมรรถนะของผู้เรียนด้วยแบบทดสอบด้านปฏิบัติ

การสอบ	คะแนนเต็ม	n	$\bar{X}$	70 %	S.D.
สอบด้านปฏิบัติ	20	19	16.57	14	1.017

จากตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยคะแนนของผู้เรียนทดสอบสมรรถนะของผู้เรียนด้วยแบบทดสอบด้านปฏิบัติเท่ากับ 16.57 คะแนน และสูงกว่าเกณฑ์ 70 คิดเป็นร้อยละ 82.82 ตรงตามสมมุติฐานข้อที่ 2

ตารางที่ 6 ผลการประเมินการมีส่วนร่วมในชั้นเรียนของผู้เรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์ (ศศิธร ,2565)

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	การมีส่วนร่วมด้านพฤติกรรม	3.68	0.41	ผู้เรียนเห็นด้วยมาก
2	การมีส่วนร่วมด้านปัญญา	4.39	0.54	ผู้เรียนเห็นด้วยมากที่สุด
3	การมีส่วนร่วมด้านอารมณ์	4.15	0.44	ผู้เรียนเห็นด้วยมาก
	ผลการประเมินรวมทั้ง 3 ด้าน	3.92	0.40	ผู้เรียนเห็นด้วยมาก

ตารางที่ 6 พบว่าผู้เรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติโดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.92 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.40 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก ตรงตามสมมุติฐานข้อที่ 3

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ เพื่อแสดงรายละเอียดความคิดเห็นของผู้เรียนโดยการสัมภาษณ์ความรู้สึกที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติโดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ จำนวน 18 คน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อมูลเชิงคุณภาพ

นักเรียนคนที่	**ความคิดเห็น**
1	ได้ลงมือปฏิบัติ ได้เรียนรู้การทำงานเป็นทีม สร้างแรงบันดาลใจในการเรียนอิเล็กทรอนิกส์
2	ได้ประสบการณ์ในการเรียนรู้ ได้ปฏิบัติงานจริง ได้ความรู้ที่มากกว่าการเรียนแบบทฤษฎี
3	ได้ทำงานด้วยกัน มีความสามัคคี มีทักษะและความสามารถเพิ่มขึ้น
4	ได้ใช้ความรู้ที่เรียนมา มาสร้างหุ่นยนต์ ได้ขัดเกลาฝีมือตัวเอง
5	ได้ลงมือปฏิบัติ ได้เขียนโค้ด มีทักษะที่มากขึ้น
6	ข้อดี ได้ความรู้ทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ การทำงานเป็นทีม ความสามัคคี ความร่วมมือที่ดี การแบ่งเวลา ข้อเสีย มีค่าใช้จ่ายที่มากขึ้น การทำงานกลับบ้านไม่ตรงเวลากลับดึก
7	ข้อดี ทำให้มีทักษะ มีฝีมือ ไว้ใช้ในการเรียนและใช้ในอนาคต ทำให้เก่งขึ้น ถ้าไม่มีโครงงานก็ไม่ทำให้มีทักษะวิชาชีพ ข้อเสีย มีค่าใช้จ่าย การทำงานที่เหน็ดเหนื่อย นอนดึก
8	ข้อดี การได้ทำงานร่วมกับเพื่อน รู้จักการแบ่งหน้าที่ของแต่ละคนทำให้รู้ว่าเราจะต้องทำอะไรจุดไหน ได้หาความรู้เพิ่มเติมในการควบคุมหุ่นยนต์ ข้อเสีย มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น
9	ข้อดี ได้ประยุกต์ใช้ความรู้ที่เรียนมา ลงมือทำได้เจอกับปัญหาสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ การได้ทำงานเป็นทีม ถ้าไม่ได้ลงมือทำก็จะทำไม่เป็นไม่มีทักษะ ข้อเสีย มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น
10	ได้ฝึกทักษะ ความสามัคคีการทำงานร่วมกับเพื่อน
11	ได้ทำงานร่วมกับเพื่อนมีความสามัคคี ได้ฝึกฝีมือในการใช้เครื่องมือต่างๆมีการคิดค้นประดิษฐ์สิ่ง

	ต่างๆขึ้นมา
12	เพิ่มทักษะการทำงาน ส่งเสริมการทำงานเป็นกลุ่ม
13	ได้เรียนทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ มีความสามัคคีเป็นทีม ได้วางแผนการทำงาน
14	ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของนักเรียนให้สูงขึ้น
15	ช่วยให้ทำงานเป็นทีม ได้เขียนโค้ด ได้ออกแบบวงจร ออกแบบโครงสร้าง
16	ได้ลงมือทำได้ลองปฏิบัติงานจริงได้ฝึกการทำงานเป็นทีม ได้ออกแบบวงจร
17	ได้เรียนรู้ภาษาในการสื่อสารกับหุ่นยนต์ เสริมสร้างจิตนาการและความรู้ในการใช้งานในอนาคตในงานของตนเองได้
18	สิ่งแรกที่ได้คือ เรื่องการปฏิบัติงานการพัฒนาทักษะในการทำงาน ได้ทำงานเป็นทีม มีความสามัคคี
19	ได้เพิ่มทักษะในการเรียนปฏิบัติ ได้ทำงานเป็นทีม

สรุปผลและอธิปรายผล

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนากิจกรรมกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติโดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ มาทดลองใช้กับกลุ่มผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 19 คน สิ่งที่สำคัญในการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ คือเพื่อมุ่งเน้นการส่งเสริมทักษะหลายๆของผู้เรียน เช่น ด้านการโปรแกรม การควบคุมหุ่นยนต์ การแก้ปัญหา และการทำงานร่วมกับผู้อื่น ซึ่งการพัฒนาทักษะเหล่านี้จะมีประโยชน์ต่อนักเรียนในด้านเทคโนโลยีและการสร้างสรรค์อย่างแท้จริงผ่านการใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์และควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ ผู้เรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของพิชิต อ้วนไตร (พิชิต,2020)รูปแบบการจัดการเรียนการสอนแบบบูรณาการโดยใช้โครงงานเป็นฐาน สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนปฏิบัติงานได้จริง มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น มีการเพิ่มทักษะการค้นคว้าการนำเสนอ และการเรียนรู้ด้วยตนเองรวมถึงการประยุกต์ความรูไปใช้ในการสร้างนวัตกรรมสมัยใหม่เพื่อพัฒนาประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีผลจากการประเมินความเหมาะสมของการกิจกรรมการเรียนรู้จากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน อยู่ในระดับเหมาะสมมาก ค่าเฉลี่ย 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน 0.41 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก แสดงให้เห็นว่าสามารถนำกิจกรรมนี้ไปแนวทางการพัฒนาสมรรถนะของผู้เรียนในอนาคตได้

ผลการวิเคราะห์ผู้เรียนที่เรียนด้วยการพัฒนากิจกรรมกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับการจำลองสถานการณ์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติโดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับปานกลาง และผลค่าเฉลี่ยคะแนนของผู้เรียนทดสอบสมรรถนะของผู้เรียนด้วยแบบทดสอบด้านปฏิบัติเท่ากับ 16.57 คะแนน และสูงกว่าเกณฑ์ 70 คิดเป็นร้อยละ 82.82 และสอดคล้องกับบุญรอด ชาติยานนท์ (Chatiyanont, 2018) ที่ศึกษาการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน พบว่า หลังจากการเรียนด้วยหลักสูตรบูรณาการโดยเน้นโครงงานเป็นฐาน แสดงให้เห็นว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ของนักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการเรียนก่อนและหลังเรียน

ผลการเปรียบเทียบผู้เรียนมีส่วนร่วมต่อกิจกรรมในชั้นเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.92 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.40 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก เห็นได้จากตารางที่ 5 หัวข้อย่อยที่ 2 ที่เป็นผลประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในด้านปัญญา การแก้ปัญหาด้วยตนเอง และการพัฒนาการทำงานของตนเอง สอดคล้อง กัญญา ภัทรแสงแป้น (Saengpaen, 2019) ที่กล่าวว่า การสอนด้วยโครงงานนักเรียนได้ปฏิบัติ

เอง ใช้โครงสร้างทางปัญญา (Cognitive Structure) ที่มีอยู่เดิมทำปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมหรือเพื่อน ๆ ที่อยู่รอบข้าง ความขัดแย้งทางปัญญาจะเป็นแรงจูงใจให้เกิดการไตร่ตรอง(Reflection) ทำให้เป็นผู้เรียนทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ครบถ้วน สนุกสนาน มีความประทับใจที่ได้ทำงานกลุ่มร่วมกับเพื่อนสามารถช่วยเหลือเพื่อนในกลุ่มให้เข้าใจ เพิ่มมากขึ้น เป็นการเรียนการสอนที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง มีการทางานร่วมกันเป็นกลุ่ม เกิดความกระตือรือร้นเพื่อช่วยเหลือกลุ่ม ขณะเดียวกัน นักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่ได้ขึ้นอยู่กับกิจกรรมการเรียนรู้อย่างเดียว แต่มีความเกี่ยวข้องกับความรู้และความเข้าใจในเนื้อหาที่ได้รับจากครูผู้สอนและผู้เรียนเองด้วย นอกจากนี้ ความพร้อมของห้องเรียนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียนก็มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนความสนใจของผู้เรียนต่อการเรียน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยบางส่วนจาก แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์และเมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ศิลาวัชนาไนย อาจารย์ที่ปรึกษาบทความวิจัยที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการจัดทำบทความวิจัย และการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณบุพการีเป็นอย่างสูง ซึ่งให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านเป็นแรงผลักดัน และให้กำลังใจคอยสนับสนุนแก่ผู้จัดทำเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิคหลาย ๆ อย่างเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณทุกท่านและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่มิได้เอ่ยนามทุกท่าน มา ณ ทีนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ ARDUINO NANO V3.0.[สืบค้นวันที่ 15 กรกฎาคม 2566] จาก http://th.sz-kuongshun.com/info/introduction-to-arduino-nano-v3-0-specificatio-28909659.html

พิชิต อ้วนไตรและคณะ.(2563). **การจัดการเรียนการสอนแบบบูรณาการโดยใช้โครงงานเป็นฐานแบบ DAPOA สำหรับการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง INTEGRATION MANAGEMENT OFnLEARNING AND TEACHING USING PROJECT-BASED DAPOA MODEL FOR HIGH FREQUENCY ELECTRONIC CIRCUIT TECHNOLOGY EDUCATION**.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ภาภรณ์ เหล่าพิลัย,**การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ขนาดเล็กบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์.** [สืบค้นวันที่ 15 กรกฎาคม 2566] จาก https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/itm-journal/article/view/247948/169143Everything2.(2022),

มาโนชญ์ แสงศิริ.**Raspberry Pi คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กสำหรับด้านการศึกษา**.[สืบค้นวันที่ 15 กรกฎาคม2566]จาก https://www.scimath.org/article-technology/item/9104-raspberry-pi

โรบอทสยาม ,**โมดูลเซ็นเซอร์แสงสำหรับตรวจจับวัตถุกีดขวาง** .[สืบค้นวันที่ 15 กรกฎาคม 2566]จาก https://robotsiam.blogspot.com/2016/10/ir-infrared-obstacle-avoidance-sensor.html

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. 2561. **แนวทางการขับเคลื่อนปีแห่งการพัฒนาคุณภาพ**. [สืบค้นวันที่ 8 กรกฎาคม 2566]จาก: http://www.vec.go.th/Portals/0/Doc/แนวทาง.pdf?ver=2561-09-05-100938-377

สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย.2560.[ออนไลน์]**การปฏิรูประบบการศึกษาไทยเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน:การปฏิรูปอาชีวศึกษา**. สืบค้นจาก:http://www.vec.go.th/th-th/เอกสารเผยแพร่/ดาวน์โหลดข้อมูลบริการ.aspx (สืบค้นวันที่ 8 กรกฎาคม 2566)

ศศิธร ชูแก้ว.(2565).**การใช้หุ่นยนต์เป็นฐานสำหรับจัดกิจกรรมการเรียนรู้ Education Robot-basef learning Activities.**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อนนท์ ติ่งฟ่อง และคณะ,**ระบบเตือนภัยระยะเบรกของยานพาหนะใช้ไลดาร์.** [สืบค้นวันที่ 15 กรกฎาคม 2566] จาก https://li01.tci-thaijo.org/index.php/stij/article/view/252252/173790

Chatiyanont, B. (2018). **Developing an integrated curriculum with an emphasis on project-based,additional courses on Hydroponics for Mathayomsuksa 1 -3 students.** Research and Curriculum Development, Master of Education, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Thanyaburi.(In Thai)

Chookaew, S., Howimanporn, S., Sootkaneung, W., & Wongwatkit, C. (2017, July). **Motivating Pre-Service Teachers with Augmented Reality to Developing Instructional Materials through Project-Based Learning Approach.** In 2017 6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI), pp. 780-784. Japan.

Hake, R. R. (1998). **Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses.** American journal of Physics, 66(1), 64-74.

Lyn L. Joaquin, Jherwin P. Hermosa.(2023). **Scenario- Based Learning Approach for Enhancing the Critical Thinking Skills of Grade 9 Students in Araling Panlipunan.** INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY: APPLIED BUSINESS AND EDUCATION RESEARCH. [สืบค้นวันที่ 8 กรกฎาคม 2566]. จากhttps://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4488116

Sararattana, W. (2013).**A New Paradigm in Education the Case of Perspective on 21st Century Education.** Bangkok: Thiphawisut Department Store.

Saengpaen. K. (2019). **Developing a learning management model using projects in conjunction with social media to strengthen speaking skills for communication for teaching students.** Ph.D. thesis. Silapakorn University.

Vongvanich, S. (2005). **Research and Needs Assessment.** Bangkok: Publishing House of Chulalongkorn University

การพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมฐานสมรรถนะในการควบคุมหุ่นยนต์แขนกลสำหรับเตรียมผู้เรียนเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0

Development of a robot arms control competency-based training to prepare students for industry 4.0

กิตติชัย แซ่ตั้ง[1*] และ ชัยพร ศิลาวัชนาไนย[2]

Kittichai Sae-tung and Chaiyaporn Silawatchananai

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อพัฒนารูปแบบการฝึกอบรมฐานสมรรถนะในการควบคุมแขนกลหุ่นยนต์ 2) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะด้านทักษะของผู้เรียนผ่านกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะกับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 3) เพื่อประเมินการรับรู้ของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการฝึกอบรมรูปแบบฐานสมรรถนะ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย ชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับระบบเครือข่ายเทคโนโลยีสารสนเทศแสดงผลบนระบบคลาวด์, แผนการจัดการเรียนรู้ฐานฐานสมรรถนะ ใบเนื้อหา ใบงาน แบบทดสอบด้านทักษะ และ แบบประเมินการรับรู้ของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการฝึกอบรมรูปแบบฐานสมรรถนะ ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นผู้เรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรชั้นสูงชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ ปีการศึกษา 2566 จำนวน 38 คน แบ่งออกเป็นกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุมที่ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบปกติ โดยแต่ละกลุ่มที่มีสมาชิก 19 คนมีหัวข้อการเรียนรู้ 2 หน่วย ใช้แบบประเมินทักษะด้านปฏิบัติ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้พร้อมกับประเมินการรับรู้ของผู้เรียนเป็นรายบุคคล

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า ผู้เรียนที่ผ่านการฝึกอบรมโดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะ มีสมรรถนะด้านทักษะสูงกว่า ผู้เรียนที่ใช้การจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ มีการรับรู้ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.65 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.48 ตามมาตรวัดประเมินค่าแบบลิเคิร์ด) ตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

คำสำคัญ: ฐานสมรรถนะ, แขนกลหุ่นยนต์, อุตสาหกรรม 4.0

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[2] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[1] Master Degree Student, Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Techanical Education KMUTNB. Bangkok 10800

[2] Lucturer, Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Techanical Education KMUTNB. Bangkok 10800

*Corresponding author : s.kittichai902@gmail.com

Abstract

The objective of this research is as follows: 1) To develop a training model for basic robotic arm control competency. 2) To compare the skill competencies of learners through competency-based learning activities with those of conventional learning methods. 3) To evaluate learners' perception of competency-based training. The used tool of this research work consists of an industrial robotic arm training kit, which can collaborate among a programable logic controller and a cloud-based information technology network system, learning activities including competency-based learning units, information sheets, assignments, skill assessment forms, and learner perception assessment forms. In this work, the learning activities were implemented with a group of 38 participants who are first-year certificate-level students majoring in Mechatronics and Robotics. These participants were assigned into two groups: an experimental group and a control group. Each group has 19 members, and both groups are trained with two learning units and assessed individually using practical skill assessment forms and learner perception assessment forms. The result shows that the learners who underwent the competency-based learning activities have higher skills competency than learners using conventional learning management significantly at a .05 level of statistical significance. Moreover, the assessment of group participation in activities has a mean score of 4.65 with a standard deviation of 0.48, which is rated as "mostly agree " based on the Likert scale criteria.

Keywords: Competency-based Learning, Arm Robot, Industry 4.0

บทนำ

หลังจากที่ประเทศไทย ก้าวเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0 (Industry4.0) ที่เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่สำหรับใช้ในการผลิต การบริการ และ การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เพิ่มมากขึ้นผลที่เกิดขึ้น คือ เกิดโรงงานอัจฉริยะที่ประกอบด้วยวิทยาการด้านหุ่นยนต์ขั้นสูง รับข้อมูลขนาดใหญ่มาประมวลผลโดยใช้ประโยชน์จากคลาวด์ ทำให้ข้อมูลมีความมั่นคง และ ปลอดภัย รวมถึงการใช้เซ็นเซอร์อัจฉริยะ ร่วมกันกับอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง และการพัฒนาเทคโนโลยีขั้นสูงอื่นๆ (Javaid et al., 2021) ซึ่งอุตสาหกรรม 4.0 เป็นการบูรณาการระหว่างเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น วิทยาการหุ่นยนต์ ระบบอัตโนมัติ ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และ อื่น ๆ อีกมากมาย วิทยาการหุ่นยนต์เป็นส่วนที่สำคัญของอุตสาหกรรม 4.0 เพราะเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มความสามารถในด้านการผลิตของระบบอัตโนมัติให้เกิดความแม่นยำมากขึ้นใช้ต้นทุนที่ต่ำลง ดังนั้นจึงมีการนำหุ่นยนต์มาใช้ในอุตสาหกรรมทั่วโลกเพิ่มสูงขึ้น จุดมุ่งหมายหลักของวิทยาการหุ่นยนต์และอุตสาหกรรม 4.0 คือ การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตสินค้าคุณภาพสูง ในราคาต่ำ และ ตอบสนองความคาดหวังของลูกค้าได้เป็นอย่างดี (Goel & Gupta, 2020) หุ่นยนต์อุตสาหกรรม จึงได้ถูกออกแบบมาให้ทำงานร่วมกับมนุษย์ สามารถใช้พื้นที่ร่วมกันเพื่อดำเนินงานการผลิต และการประกอบ ซึ่งหุ่นยนต์เหล่านี้ได้รับการออกแบบมา ให้สามารถปรับตั้งโปรแกรมใหม่ได้ง่าย ผู้ใช้งานที่ไม่มีพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมหุ่นยนต์มาก่อน ก็สามารถทำการปรับตั้งให้เหมาะสมกับงานที่รับผิดชอบได้ (Sherwani et al., 2020) การนำหุ่นยนต์ไปประยุกต์ใช้งานในการผลิตแบบอัตโนมัติเพื่อให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของตลาด และ มีมาตรฐาน หุ่นยนต์ที่นำมาใช้ส่วนใหญ่คือ แขนกลอุตสาหกรรมเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการ หยิบจับ ยก ประกอบ และ งานเชื่อม ทดแทนแรงงานมนุษย์ที่ทำงานได้ช้ากว่า รวมไปจนถึงการนำแขนกลไปใช้งานทางด้านการแพทย์ และ เทคโนโลยีด้านอวกาศ ปัจจุบันระบบอุตสาหกรรม 4.0 ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีอัตโนมัติควบคู่ไปกับ หุ่นยนต์อัจฉริยะ และ เชื่อมโยงกับเครือข่าย เทคโนโลยีสารสนเทศทำให้

ระบบการผลิตยกระดับจาก LEAN ไปสู่ Cyber-physical Production (อัมพรพรรณ, 2562) ดังนั้นความรู้ และทักษะในการใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์ในกระบวนการผลิต จึงมีความจำเป็นอย่างมากทั้งในปัจจุบันและอนาคต

ภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ยังขาดบุคลากรที่มีคุณภาพในการพัฒนา และ การจัดการเทคโนโลยีขั้นสูง (Hernandez & Menendez, 2020) จึงต้องมีนโยบายสนับสนุนอุตสาหกรรม และ การบริการข้อมูลดิจิทัล และปัญญาประดิษฐ์ในการเพิ่มศักยภาพ และ ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรม ครอบคลุมถึงระบบอัตโนมัติ และหุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ และอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง เพื่อยกระดับประสิทธิภาพของภาคเศรษฐกิจไทย (สภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2561) ส่งผลให้ต้องมีการพัฒนาฝีมือ และความเชี่ยวชาญ เพื่อส่งเสริมให้แรงงานมีความรู้ ทักษะ ที่ตรงกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงมีหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านการสร้างมาตรฐานของแรงงาน โดยแบ่งแยกระดับความสามารถตามความรู้ และทักษะ เรียกว่ามาตรฐานวิชาชีพ ดังนั้นหากพิจารณามาตรฐานวิชาชีพสาขาหุ่นยนต์ และ ระบบอัตโนมัติ โดยใช้เกณฑ์การประเมินตามหน่วยฐานสมรรถนะอาชีพ มีความสอดคล้องกับนโยบายของสำนักงาน คณะกรรมการการอาชีวศึกษา ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักของประเทศ ในการผลิตและพัฒนากำลังคน ระดับช่างฝีมือที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ส่งเสริมให้ผู้เรียนในระดับอนุปริญญาให้มีฐานสมรรถนะที่สูงขึ้น เพิ่มโอกาสในการมีงานทำมากขึ้น ทั้งในส่วนที่เป็นความต้องการของ ตลาดแรงงาน ยกระดับคุณภาพบุคลากรทางอาชีวะของประเทศให้สอดคล้องกับความต้องการของ สถานประกอบการและ ตลาดแรงงาน โดยผู้ผ่านการฝึกอบรมสามารถนำความรู้ความสามารถกลับไปทำงาน ในสถานประกอบการหรือในท้องถิ่น แก้ปัญหาความขาดแคลนกำลังคนในสาขาขาดแคลน และ เพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศได้เป็นอย่างดี (สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, 2566)

การพัฒนาผู้เรียนตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่อิงตามความสามารถ หรือที่เรียกว่า ฐานฐานสมรรถนะ แล้วมุ่งเป้าไปที่ ทักษะส่วนบุคคลต่อ ความสำเร็จของผลการศึกษาที่แสดงออกมาในรูปแบบของ ความสามารถนั้นมีความสำคัญ และ จำเป็นในการพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะที่จำเป็นสำหรับภาคอุตสาหกรรม (Khasanov, 2020) โดยเฉพาะผู้เรียน ด้านวิศวกรรม และ เทคโนโลยี การจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานฐานสมรรถนะ(competency-based education) มีความเหมาะสมสอดคล้อง และ เป็นแนวทางที่ขับเคลื่อนด้วยผลลัพธ์ (Outcome-based Education) เป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนรู้ว่าจะต้องเรียนรู้อะไรเพื่อให้ตนเองมีฐานสมรรถนะ หลังจากสำเร็จการศึกษา (Malhotra et al, 2023) การฝึกอบรมเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์อัตโนมัติ และ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในอุตสาหกรรม 4.0 นั้นมีความท้าท้าย และ มีความจำเป็นสำหรับบุคคลในภาคอุตสาหกรรม (Hernandez & Menendez, 2020) โดยที่การฝึกอบรมด้วยเครื่องมือ และ วัสดุอุปกรณ์จริง ในภาคอุตสาหกรรมนั้น ช่วยสนับสนุนฐานสมรรถนะของผู้เรียนให้สูงขึ้น และ รวมถึงความสามารถทางพฤติกรรมอื่น เช่น ความสามารถในการปรับตัว และความร่วมมือกับเพื่อนร่วมงาน ที่มีความจำเป็นสำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมสมัยใหม่ (Wang et al., 2021) อาจกล่าวได้ว่า อุตสาหกรรม 4.0 เกิดจากการรวมกันของหุ่นยนต์ กับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ในอุตสาหกรรม และ คลอบคลุมการวิจัยที่หลากหลาย เช่น การผลิต การเกษตร สุขภาพ การเฝ้าระวัง และการศึกษา (Romeo, 2020)

จากความเป็นมา และ ความสำคัญ ดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำการจัดการเรียนรู้โดยใช้ฐานฐานสมรรถนะ นำมาใช้สำหรับการฝึกอบรมการควบคุมหุ่นยนต์แขนกลอุตสาหกรรมของผู้เรียนสาขาเมคคาทรอนิกส์ และ หุ่นยนต์ ที่ยังขาดการเชื่อมโยงระหว่างแขนกลหุ่นยนต์อุตสาหกรรมกับเครือข่าย เทคโนโลยีสารสนเทศ สำหรับเตรียมผู้เรียนเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ให้กับผู้เรียนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง เพื่อให้สอดคล้อง กับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1) เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะในการควบคุมแขนกลหุ่นยนต์
2) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะด้านทักษะของผู้เรียนที่ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ กับวิธีการจัดการเรียนรู้แบบปกติ
3) เพื่อศึกษาการรับรู้ของผู้เรียนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

กรอบแนวคิดในการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย ชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์ อุตสาหกรรม ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับ ระบบเครือข่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ แล้วสามารถแสดงผลบนระบบคลาวด์, แผนการจัดการเรียนรู้ฐานฐานสมรรถนะ ใบเนื้อหา ใบงาน แบบทดสอบด้านทักษะ และ แบบประเมินการรับรู้ ของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการฝึกอบรมรูปแบบฐานสมรรถนะของผู้เรียน



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1. ผู้เรียนที่ผ่านการทำกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยรูปแบบฐานสมรรถนะรวมกับชุดฝึก มีค่าเฉลี่ยคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบทักษะปฏิบัติหลังการเรียนรู้ สูงกว่า ผู้เรียนที่ผ่านการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผู้เรียนมีระดับการรับรู้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ อยู่ในเกณฑ์เห็นด้วยมากที่สุด

วิธีวิทยาการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ แบบแผนการวิจัยเป็นแบบกึ่งการทดลอง (Quasi Experiment) ในลักษณะแบบแผนการวิจัยแบบสองกลุ่มวัดผลหลังการทดลอง (Randomized Control Group Posttest Only Design) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการทดลองที่ใช้ในการวิจัย

E	-	X	O_2
C	-	-	O_2

โดยที่

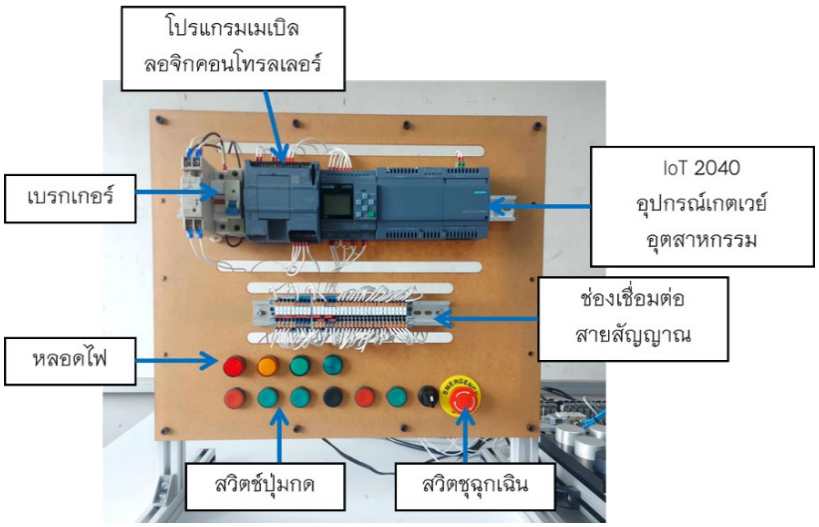
E หมายถึง กลุ่มทดลอง

C หมายถึง กลุ่มควบคุม

X หมายถึง การดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้เครื่องมือในการวิจัย

O_2 หมายถึง การสอบหลังเรียน

ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นผู้เรียนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 แผนกวิชาเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี ปีการศึกษา 2566 จำนวน 38 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มทดลองจำนวน 19 คน และ กลุ่มควบคุมจำนวน 19 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย ชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่ทำงานร่วมกับ โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับระบบเครือข่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ แล้วสามารถแสดงผลบนระบบคลาวด์, แผนการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ ใบเนื้อหา และ ใบงาน แบบทดสอบทักษะปฏิบัติที่ใช้การให้คะแนนแบบรูบริก (Rubrics Scoring) และแบบประเมินการรับรู้ในกิจกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ โดยมีกรอบแนวคิดในการทำวิจัยแสดงดังภาพที่ 1 หลังจากสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านประเมินความเหมาะสมในการนำเครื่องมือในการวิจัยไปทดลองใช้ ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญพบว่า เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ย 4.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.47) มีความเหมาะสมสามารถนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นนักศึกษาระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกวิชาเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี กลุ่มทดลองใช้การจัดกิจกรรมตามแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะร่วมกับชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์เชื่อมโยงเข้ากับระบบเครือข่ายเทคโนโลยีสารสนเทศแสดงผลบนระบบคลาวด์, ใบเนื้อหา จำนวน 2 หน่วยการเรียนรู้ และฝึกปฏิบัติรูปแบบฐานสมรรถนะร่วมกับใบงานจำนวน 4 ใบงาน ส่วนกลุ่มควบคุม ใช้วิธีการสอนแบบปกติแล้วลงมือปฏิบัติที่ผู้สอนเคยใช้สอนมาในภาคการศึกษาก่อนหน้านี้ หลังจากจบบทเรียนทุกหน่วยการเรียนรู้ ผู้วิจัยให้ผู้เรียนทั้งสองกลุ่มจำนวน 38 คน ทำการทดสอบทักษะด้านปฏิบัติด้วยแบบทดสอบด้านทักษะปฏิบัติที่ใช้แบบประเมินรูบริกจำนวน 4 ข้อ และ ให้ผู้เรียนกลุ่มทดลอง ทำแบบประเมินการรับรู้ในกิจกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน



ภาพที่ 2 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์

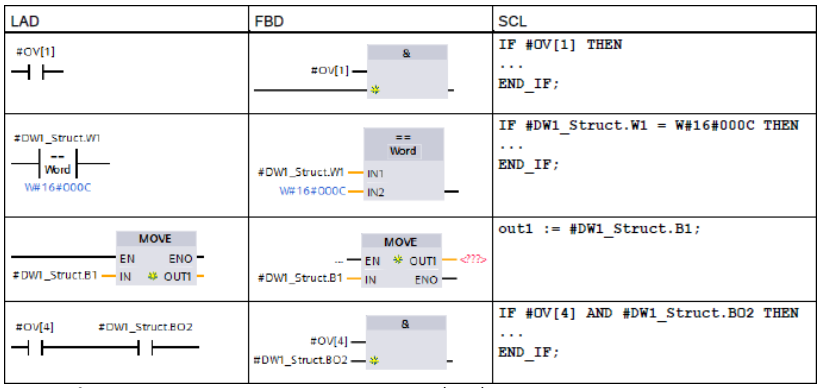
เมื่อเริ่มทำการทดลองวิจัย ให้ผู้เรียนกลุ่มทดลอง จำนวน 19 คน แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มย่อยๆ กลุ่มละ 3–4 คน จากนั้นจึงเริ่มสอนทฤษฎีการเขียนโปรแกรมบนโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ เพื่อใช้ควบคุมชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์ แสดงดังภาพที่ 2 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ที่ใช้นี้ มีขนาดของอินพุต/เอาต์พุต จำนวน 16 ชุด อินพุตสามารถรับสัญญาณปิด–เปิดจากสวิตช์ควบคุมที่อยู่บนแผงได้ (รวมถึงตัดสัญญาณการทำงานของระบบทั้งหมดได้ด้วยสวิตช์ฉุกเฉินได้) ด้านเอาต์พุตเป็นโซลิดสเตตชนิดมอสเฟตแบบซอร์ส ที่ผู้ใช้งานจะต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยให้ขั้วบวกต่อเข้ากับขั้ว Common ที่อยู่บนตัวโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ การเขียนโปรแกรมสั่งงาน และ เชื่อมโยง (Interface) เข้ากับชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์ใช้โปรแกรม TIA Portal ด้วยภาษาแลดเดอร์

(Ladder) ซึ่งเป็นภาษาที่คล้ายกับการทำงานของวงจรควบคุมโดยใช้รีเลย์ ลักษณะของสัญญาณจะเป็นลักษณะดิจิตอล คือ ปิด-เปิด วงจรเท่านั้น นอกจากภาษาแลดเดอร์แล้ว ผู้เรียนจะต้องเรียนรู้การเขียนคำสั่งเป็นลักษณะแบบกราฟิก (Funtcion Block Diagram) ซึ่งเป็นรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่ง่ายในการเชื่อมโยงเข้า และ สื่อสารเข้ากับอุปกรณ์ภายนอก รวมถึงการแสดงผลบน Dashboard ได้ด้วย การนำชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์แสดงดังภาพที่ 3 เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ แขนกลหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีมิติขนาด 800 x 600 X 550 มิลลิเมตร จำนวน 4 ข้อต่อ (Joint) แขนกลหุ่นยนต์สามารถจับยก วาง วัตถุที่เป็นรูปทรงกลมมีขนาด รัศมีความของทรงกลม 38 มิลลิเมตร และ สูง 25 มิลลิเมตร ได้ ผู้เรียนจะต้องสามารถแสดงผลการทำงานของแขนกลหุ่นยนต์ผ่านระบบคลาวด์ด้วยโปรแกรม Node-RED เพื่อส่งเข้า Dashboard ในคอมพิวเตอร์ได้



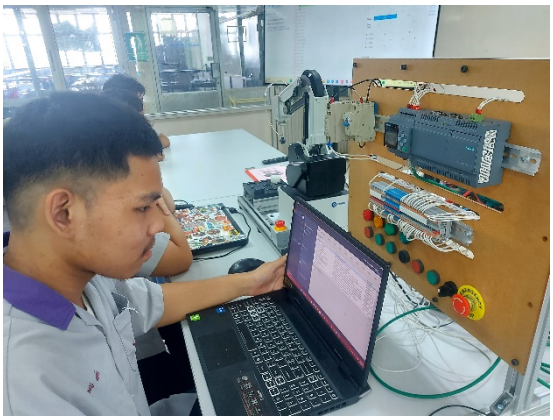
ภาพที่ 3 ชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์

หลังจากที่ผู้เรียนเรียนรู้ทฤษฎีการเชื่อมโยงระหว่าง โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ เข้ากับ ชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์แล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงให้ผู้เรียนดำเนินกิจกรรมตามแนวทางแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ จากการลงมือปฏิบัติ เริ่มจากผู้เรียนจะต้องมีความสามารถในการเขียนโปรแกรมเพื่อรับสัญญาณจากสวิตช์ปุ่มกด แล้วส่งไปให้เอาต์พุตเพื่อเปิด-ปิดหลอดไฟ จนกระทั่งสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อเชื่อมโยงเข้ากับชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์ได้ แสดงดังภาพที่ 4 โดยวิธีการเขียนโปรแกรมสำหรับเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์เข้ากับชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์ จะแสดงไว้เป็นลำดับขั้นตอนดังที่ปรากฏในใบงาน ขั้นตอนนี้ผู้สอนจะให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรมเท่านั้น จะไม่ดำเนินการเขียนให้ผู้เรียนโดยตรง เพื่อให้ผู้เรียนมีสมรรถนะการแก้ปัญหาได้ หลังจากที่ผู้เรียนเขียนโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้สอนจึงทำการชี้แนะข้อบกพร่องในการทำงานเพื่อให้ผู้เรียนรับทราบ และ พัฒนาการเขียนโค้ด ต่อไป



ภาพที่ 4 การโปรแกรมภาษาแลดเดอร์ เพื่อเชื่อมโยงกับชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์

การเขียนโปรแกรมเพื่อเชื่อมโยงโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์เข้ากับชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์ตามใบงานที่ผู้สอนจัดทำไว้ ผู้เรียนจะต้องดำเนินการเขียนโปรแกรม และ ทดสอบการทำงานของแขนกลหุ่นยนต์ให้สามารถหยิบจับ ยกวาง วัตถุที่จัดเตรียมไว้ จนกระทั่งสามารถแสดงผลการทำงานผ่านโปรแกรม Node-RED ได้ จึงจะถือว่าเสร็จสิ้นกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผู้เรียนปฏิบัติภารกิจตามรูปแบบการเรียนรู้ด้วยรูปแบบฐานสมรรถนะ

เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการเรียนรู้จนกระทั่งผู้เรียนสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการหยิบจับ ยกวาง ของแขนกลหุ่นยนต์ได้ครบภารกิจตามแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะแล้ว จากนั้นจึงให้ผู้เรียนทำแบบประเมินการรับรู้ในกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ฐานสมรรถนะ แล้วจึงทำการทดสอบทักษะผู้เรียนในการเขียนโปรแกรม แล้วนำคะแนนผลการทดสอบมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ประกอบไปด้วย ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ สถิติทดสอบ

ผลการศึกษา

หลังจากที่ผู้วิจัยดำเนินการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์ โปรแกรมเมเบิลลิจิกคอนโทรลเลอร์ แผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะ พร้อมใบเนื้อหา และ ใบงาน ประกอบการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมแขนกลหุ่นยนต์ แบบทดสอบทักษะที่ใช้แบบประเมินรูบริก จำนวน 4 ข้อ และ แบบประเมินการรับรู้ในกิจกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียนเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ผลประเมินด้านสื่อการสอนประเภท Hardware	4.68	0.47	เหมาะสมมากที่สุด
2	ผลประเมินด้านใบเนื้อหา ใบงาน และแบบทดสอบวัดสมรรถนะ	4.71	0.46	เหมาะสมมากที่สุด
3	ผลประเมินด้านด้านการรับรู้ของผู้เรียน	4.66	0.48	เหมาะสมมากที่สุด

เมื่อนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จำนวน 38 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 19 คน จัดการเรียนรู้โดยใช้เครื่องมือวิจัยที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น และ กลุ่มควบคุมจำนวน 19 คน จัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีการสอนแบบปกติ หลังจากดำเนินกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ครบแล้ว ทำการทดสอบผู้เรียนทั้งสองกลุ่มด้วยแบบทดสอบทักษะปฏิบัติจำนวน 4 ข้อ มีผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ย

จากแบบทดสอบทักษะปฏิบัติด้วยสถิติทดสอบ ที (t-Test) ที่เป็นอิสระต่อกัน 2 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 3 จากนั้นจึงให้ผู้เรียนเฉพาะกลุ่มทดลองประเมินระดับการรับรู้ของผู้เรียนที่มีต่อรูปแบบการจัดการเรียนโดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะร่วมกับชุดฝึกการควบคุมแขนกลหุ่นยนต์ ผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะปฏิบัติของผู้เรียน กลุ่มทดลองและควบคุม

กลุ่มผู้เรียน	คะแนนเต็ม	n	$\overline{X}$	S.D.	df	t	sig.
กลุ่มทดลอง	40	19	35.68	3.83	36	10.13	.00*
กลุ่มควบคุม	40	19	26.10	1.52			

*p <.05

ตารางที่ 4 ผลการประเมินการรับรู้ของผู้เรียนที่มีต่อรูปแบบการจัดการเรียนโดยใช้ฐานสมรรถนะร่วมกับชุดฝึกแขนกลหุ่นยนต์

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ผู้เรียนรู้สึกสนุกกับการเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดฝึกอบรม	4.53	0.51	เห็นด้วยมากที่สุด
2	ผู้เรียนรู้สึกวางใจเมื่อเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดฝึกอบรม	4.68	0.48	เห็นด้วยมากที่สุด
3	หัวข้อที่ผู้เรียนได้เรียนรู้เป็นเนื้อหาใหม่ที่น่าสนใจ	4.74	0.45	เห็นด้วยมากที่สุด
4	ผู้เรียนสามารถเข้าใจหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดฝึกอบรม	4.68	0.48	เห็นด้วยมากที่สุด
5	ผู้เรียนสามารถนำชุดฝึกที่ได้รับมาใช้ในการฝึกปฏิบัติได้เป็นอย่างดี	4.79	0.42	เห็นด้วยมากที่สุด
6	ผู้เรียนสามารถควบคุมหุ่นยนต์ผ่านระบบ IoT ได้สำเร็จตามเวลาที่กำหนด	4.84	0.38	เห็นด้วยมากที่สุด
7	ผู้เรียนมีความพร้อมในการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านระบบ IoT ก่อนจบการศึกษา	4.74	0.45	เห็นด้วยมากที่สุด
8	การแก้ไขข้อผิดพลาดระหว่างการจัดฝึกอบรม	4.68	0.48	เห็นด้วยมากที่สุด
9	เวลาที่ใช้ในการจัดฝึกอบรมมีความเหมาะสม	4.58	0.51	เห็นด้วยมากที่สุด
10	ผู้เรียนให้คำปรึกษาและสามารถช่วยเหลือผู้เรียนคนอื่นได้	4.63	0.50	เห็นด้วยมากที่สุด
11	การทำกิจกรรมการฝึกอบรมเป็นระดับที่ไม่ยากเกินกว่าที่จะเข้าใจได้	4.42	0.51	เห็นด้วยมาก
12	ผู้เรียนต้องการเข้าร่วมกิจกรรมการฝึกอบรมในครั้งต่อไป	4.63	0.50	เห็นด้วยมากที่สุด
13	ผู้เรียนต้องการแนะนำกิจกรรมแบบนี้ให้ผู้อื่นทราบ	4.47	0.51	เห็นด้วยมาก

สรุปผลและอธิปรายผล

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนโดยใช้รูปแบบฐานสมรรถนะร่วมกับชุดฝึกการควบคุมแขนกลหุ่นยนต์ โดยการฝึกอบรมรูปแบบฐานสมรรถนะ มาทดลองใช้กับกลุ่มผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงแผนกวิชาเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ที่เรียนวิชา หุ่นยนต์อุตสาหกรรม ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 19 คน ซึ่งหัวใจสำคัญคือการการฝึกอบรมรูปแบบฐานสมรรถนะ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนมองเห็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากของจริง แทนที่การจัดการเรียนรู้แบบเดิมที่เน้นการบรรยายด้วยเพาว์เวอร์พอยต์เป็นหลัก ทำให้ผู้เรียนขาดสมรรถนะที่จำเป็นสำหรับการควบคุมหุ่นยนต์แขนกลในภาคอุตสาหกรรม โดยมีผลจากการประเมินความเหมาะสมของชุดฝึกการควบคุมแขนกลหุ่นยนต์ ในการนำไปใช้ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน อยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน 0.47 เมื่อนำไปทดลองใช้ ผู้เรียนมีการรับรู้ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เห็นได้จากตารางที่ 4 ที่เป็นผลประเมินอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด บ่งบอกว่าผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจกับสิ่งที่มองเห็นปรากฏการณ์ และการรับรู้ต่อสิ่งที่ได้เห็นจากปรากฏการณ์จริง ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจได้ง่าย ทำให้ผลจากการทำแบบทดสอบด้านทักษะปฏิบัติมีค่าเฉลี่ยคะแนนหลังการเรียนรู้ สูงกว่า ผู้เรียนที่ผ่านการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการจัดฝึกอบรมด้วยกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบฐานสมรรถนะรวมกับชุดฝึก ช่วยให้ผู้เรียนเกิดสมรรถนะด้านทักษะปฏิบัติเพิ่มขึ้น เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์อุตสาหกรรม 4.0 สอดคล้องกับหลักสูตรการฝึกอบรมที่ใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ในมุมมองของทางเลือกในการยกระดับทักษะและการเพิ่มทักษะใหม่ (Chookaew and Howimanporn, 2022)

ข้อแนะนำในการนำงานวิจัยนี้ไปใช้งาน ควรตรวจสอบระบบเครือข่ายภายในองค์กร เนื่องจากถ้าใช้เครือข่ายภายในองค์กรที่ถูกกำหนดพร็อกซี่และเลขไอพีแอดเดรส ส่งผลต่อการรับส่งข้อมูลของ Node red ทำให้รับส่งข้อมูลไม่ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยบางส่วนจาก แผนกช่างเมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. **นโยบายการปฏิบัติราชการสำนักงาคณะกรรมการการอาชีวศึกษาประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566**. (2023). ว่าที่ร้อยตรีธนู วงษ์จินดา,ประชุมสัมมนาผู้บริหารสถานศึกษาสังกัด สอศ. ครั้งที่ 1/2566, พิษณุโลก

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2561). **ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ.๒๕๖๑ – ๒๕๘๐**. The law group. สืบค้น 14 มิถุนายน 2566 , จาก http://nscr.nesdc.go.th/ns/

อัมพรพรรณ วงษ์ท่าเรือ. (2562). **อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 4.0**. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. สืบค้น 14 มิถุนายน 2566 , จาก https://www.oie.go.th/assets/portals/1/fileups/2/files/ArticlesAnalysis/cementindustry_4.0.pdf

Chookaew, S., & Howimanporn, S. (2022). **Upskilling and reskilling for engineering workforce: Implementing an automated manufacturing 4.0 technology training course**. Global Journal of Engineering Education, 24(1), 34–39.

Khasanov, A. R. (2022). **LEARNING IS A COMPETENCY-BASED APPROACH AS A CONTENT UPDATE STEP**. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 10(12), 217-223.

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2021). **Substantial capabilities of robotics in enhancing industry 4.0 implementation**. Cognitive Robotics, 1, 58-75.

Hernandez-de-Menendez, M., Morales-Menendez, R., Escobar, C. A., & McGovern, M. (2020). **Competencies for industry 4.0**. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 14, 1511-1524.

Goel, R., & Gupta, P. (2020). **Robotics and industry 4.0. A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development**, 157-169.

Malhotra, R., Massoudi, M., & Jindal, R. (2023). **Shifting from traditional engineering education towards competency-based approach: The most recommended approach-review**. Education and Information Technologies, 1-31.

Romeo, L., Petitti, A., Marani, R., & Milella, A. (2020). I**nternet of robotic things in smart domains: Applications and challenges**. Sensors, 20(12), 3355.

Sherwani, F., Asad, M. M., & Ibrahim, B. S. K. K. (2020, March**). Collaborative robots and industrial revolution 4.0 (ir 4.0)**. In 2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST) (pp. 1-5). IEEE.

Wang, S., Jiang, L., Meng, J., Xie, Y., & Ding, H. (2021). **Training for smart manufacturing using a mobile robot-based production line**. Frontiers of Mechanical Engineering, 16, 249-270.

การศึกษาผลสัมฤทธิ์การจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับ ชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อแสดงสถานะของสายพานลำเลียง

A study of learning achievement of using MIAP learning model with internet of things training kit for conveyor belt monitoring

สุเมธี คมสัน[1*] และ ศุภชัย หอวิมานพร[2]

Sumethee Komsan[1*] and Suppachai Howimanporn[2]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้ การนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องจักรเป็นสิ่งที่สำคัญ โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมการผลิตที่นำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้สำหรับการลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิต ดังนั้นการผลิตกำลังคนให้สอดคล้องกับความต้องการจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสถานศึกษา งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP มาใช้ร่วมกับชุดฝึกอินเตอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งเพื่อ แจ้งสถานะการทำงานของสายพานลำเลียง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง 2) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านทักษะการเขียนโปรแกรมของผู้เรียน และ 3) เพื่อศึกษาทัศนคติของผู้เรียน งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษากับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างวิชาเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 38 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มทดลองจำนวน 19 คน ที่เรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น และกลุ่มควบคุม จำนวน 19 คน ที่เรียนรู้ด้วยวิธีการสอนแบบปกติ ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาการจัดการเรียนรู้ได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน มีคะแนนเฉลี่ยในระดับเหมาะสมมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าผู้เรียนกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ที่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีค่าเฉลี่ยของผลคะแนนจากแบบทดสอบด้านปฏิบัติหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ประเมินอาชีวศึกษา อีกทั้ง ผู้เรียนมีทัศนคติที่ดีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้อีกด้วย

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP, อินเตอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง, สายพานลำเลียง

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[2] อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[1] Master's degree Student, Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Technical Education KMUTNB. Bangkok 10800

[2] Lecturer, Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Technical Education KMUTNB. Bangkok 10800

*Corresponding author : teesumethee@gmail.com

Abstract

Nowadays, it is essential to use Internet of Things technology to increase the efficiency of machine data collection and analysis. Automation reduces costs and increases productivity, especially in the manufacturing sector. Therefore, educational institutions need to produce a workforce in line with demand. This research, therefore, presents the MIAP learning management model to be used together with the Internet of Things training kit to Inform of the operating status of the conveyor belt. The objectives are: 1) to develop the MIAP learning management model with the Internet of Things training set, 2) to study the learning achievement in programming skills of the students, and 3) to study the learners' attitudes. This research was conducted on 38 higher vocational certificate-level students in Mechatronics and Robotics, Department of Singburi Technical College, Semester 1, academic year 2023, divided into an experimental group of 19 students who learn with developed learning activity. Moreover, a control group of 19 students learned using traditional teaching methods. The research results found that the development of learning activity has been evaluated by five experts with an average score of the most appropriate level. In addition, it was found that learners in the experimental group had learning achievements that differed from those in the control group. It has statistical significance at the .05 level, and the mean score from the post-study practical test is higher than the vocational education assessment criteria. Moreover, the students also have a good attitude towards learning activities.

Keywords: MIAP Learning Model, Internet of Things, Conveyor Belt

บทนำ

จากยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน มุ่งการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีและ นวัตกรรมภายใต้แนวคิด ประเทศไทย 4 0. เพื่อให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการผลิต การวิจัยพัฒนา การให้ความรู้แก่ประชาชน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลร่วมกับปัญญาประดิษฐ์สำหรับภาคการผลิตและบริการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ สร้างนวัตกรรม และดำเนินธุรกิจต่างๆ ร่วมถึงผลักดันให้ผู้ประกอบการได้รับการรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรมในระดับสากล เพื่อขยายธุรกิจไทยในอุตสาหกรรม และ บริการดิจิทัล ข้อมูล ปัญญาประดิษฐ์ ระบบอัตโนมัติ และ หุ่นยนต์ รวมถึงอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะให้ครอบคลุมเพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม (Wanla & Phosing 2022) ภาคอุตสาหกรรมการผลิตส่วนใหญ่ได้ มีการประยุกต์ใช้เครื่องจักรทั้งแบบกึ่งอัตโนมัติ และ แบบอัตโนมัติ ในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิตให้มีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีและ มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดผลตอบแทนที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ การได้มาซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวจุดเริ่มต้นมาจากการที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามมาตรฐานการผลิต ดังนั้นการรักษาเสถียรภาพการทำงานของเครื่องจักรจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อกระบวนการผลิตซึ่งทำได้โดยการบำรุงรักษา (Maintenance) โดยเทคนิคที่จะช่วยให้การบำรุงรักษา เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ คือเทคนิคการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Baraldi et al., 2019)

ปัจจุบันการก้าวเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0 เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยีในอุตสาหกรรม ซึ่งช่วยให้สามารถรวบรวม และ วิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องจักร ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตทำงานได้รวดเร็ว ยืดหยุ่นและสามารถผลิตสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อุตสาหกรรม 4.0 สร้างการปฏิวัติการผลิตให้เพิ่มประสิทธิผล ขับเคลื่อนเศรษฐกิจ และ โอบอุ้มการเติบโตของอุตสาหกรรม แต่การเปลี่ยนแปลงในครั้งนี้ก็ได้สร้าง

การตื่นตัวเกี่ยวกับผลกระทบที่จะตามมา ซึ่งอาจส่งผลต่อแรงงานที่ต้องเตรียมพร้อมทั้งความรู้ ทัศนคติ รวมถึงทักษะที่จำเป็นต่อการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกับหุ่นยนต์และปัญญาประดิษฐ์ได้ (Bhatia & Kumar, 2020) การปฏิวัติดิจิทัลนี้มีความสัมพันธ์ และ เกี่ยวข้องโดยตรงกับระบบอัตโนมัติ โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม จะเห็นได้ว่ามีการนำระบบอัตโนมัติมาใช้มากขึ้น เช่น การควบคุมหุ่นยนต์อัตโนมัติ การควบคุมสายพานลำเลียง ซึ่งองค์ความรู้นี้อยู่จำกัดในวงแคบ กำลังคนที่สถานศึกษาทั้งในระดับอาชีวศึกษา และอุดมศึกษา ที่ผ่านมายังมีความรู้ และ ทักษะที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2560) หากสถานศึกษาจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ที่เน้นให้ผู้เรียนมีทักษะที่สอดคล้องกับองค์ความรู้ ก็จะช่วยให้ปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรมมีแนวโน้มลดลงดังนั้นการจัดเตรียมแรงงานระดับช่างฝีมือ ดำเนินการโดยสถาบันการอาชีวศึกษา จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสม และ มีประสิทธิภาพ

การจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมโดยเฉพาะผู้เรียนที่เน้นหนักทางด้านปฏิบัติดังเช่นในสถานศึกษาสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ให้มีสมรรถนะในด้านการคิด และ ลงมือทำได้ด้วยตนเอง (Klinbumrung & Surpare, 2021) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยมุ่งเน้นไปที่สมรรถนะด้านทฤษฎี ควบคู่กับทักษะของผู้เรียน รูปแบบการจัดการเรียนรู้ MIAP ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีสมรรถนะเพิ่มสูงขึ้น (Jakkrit & Pichit, 2021) มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 4 ขั้นตอนประกอบไปด้วยขั้นที่ 1 สนใจปัญหา (Motivation) เป็นขั้นตอนการเริ่มต้น ที่กระทำเพื่อสร้างความสนใจ สร้างปัญหา สร้างแรงจูงใจให้แก่ผู้เรียน ขั้นตอนนี้ผู้สอนจะใช้การถามแบบโต้ตอบกับผู้เรียนเป็นหลัก เป็นการดึงดูดความสนใจให้อยู่ในชั้นเรียน มักจะใช้เวลาสั้นๆ ประมาณ 5–10 นาทีเท่านั้น ขั้นที่ 2 ขั้นตอนบอกกล่าว (Information) เป็นขั้นตอนที่เน้นปัจจัย 3 ประการคือ จะทำอะไร ทำอย่างไร และทำไมจึงทำเช่นนั้น โดยผู้สอนจะต้องช่วยชี้แนะรายละเอียดในการปฏิบัติควบคู่กับการสาธิตของผู้สอนด้วยชุดทดลองหน้าชั้นเรียน ชุดทดลองจะต้องมีความสอดคล้องกับเนื้อหาที่จะให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ โดยอาศัยการทดลองปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กับการสาธิต เพื่อนำไปสู่การอธิบาย กฎ หรือทฤษฎีที่ผู้สอนจะดำเนินการถ่ายทอด ขั้นที่ 3 ขั้นตอนพยายาม (Application) ขั้นตอนนี้ ผู้เรียนจะได้ลงมือปฏิบัติการ และ ทดลองจากเครื่องมือ และ อุปกรณ์จริงเรียงลำดับเป็นขั้นตอนตามหลักการของทฤษฎี ผู้สอนจะต้องใช้การควบคุมอย่างใกล้ชิดเพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากการลงมือปฏิบัติรวมถึงการเสริมกำลังใจให้แก่ผู้เรียนอีกด้วย ขั้นที่ 4 ขั้นตอนสำเร็จผล (Progress) เป็นขั้นตอนของการตรวจประเมินผลการปฏิบัติงานของผู้เรียน รวมถึงการแลกเปลี่ยนความรู้หรือปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างผู้เรียน การตรวจประเมินจะดำเนินการทั้งขณะที่ผู้เรียนกำลังลงมือปฏิบัติ และ ตรวจประเมินหลังผู้เรียนลงมือปฏิบัติเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้ผู้ตรวจประเมินอาจจะใช้การชี้แนะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นแก่ผู้เรียนได้ด้วย (สุชาติ, 2526)

จากการสืบค้นข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อติดตาม และ แจ้งสถานะการทำงานของสายพานลำเลียง โดยชุดฝึกสามารถควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้า เพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง สามารถติดตาม และแจ้งสถานะการทำงานผ่านโปรแกรม NODE-RED เพื่อเชื่อมโยงอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเข้ากับระบบสายพานลำเลียง นำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้เรียนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีที่ 1 แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์และเมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ในรายวิชาโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1) เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
2) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านทักษะการเขียนโปรแกรมของผู้เรียนที่ผ่านการทำกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
3) เพื่อศึกษาทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

กรอบแนวคิดในการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อติดตาม และ แจ้งสถานะการทำงานของสายพานลำเลียง ใบเนื้อหา ใบงาน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะการเขียนโปรแกรม และแบบประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1. ผลการประเมินความเหมาะสมด้านสื่อการสอนประเภทฮาร์ดแวร์ และประเมินความเหมาะสมด้านเนื้อหา ใบงาน และแบบทดสอบของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากขึ้นไป (>4.00)

2. ผู้เรียนที่ผ่านการทำกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยรูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มีคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบทักษะปฏิบัติ ผ่านตามเกณฑ์การประเมินระดับอาชีวศึกษาไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

3. ผู้เรียนมีที่ผ่านการทำกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยรูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมีทัศนคติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดีขึ้นไป (>4.00)

วิธีวิทยาการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ แผนการวิจัยเป็นแบบกึ่งการทดลอง (Quasi Experiment) ในลักษณะแบบแผนการวิจัยแบบสองกลุ่มวัดผลหลังการทดลอง (Randomized Control Group Posttest Only Design) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการทดลอง

E	–	X	O_2
C	–	–	O_2

โดยที่

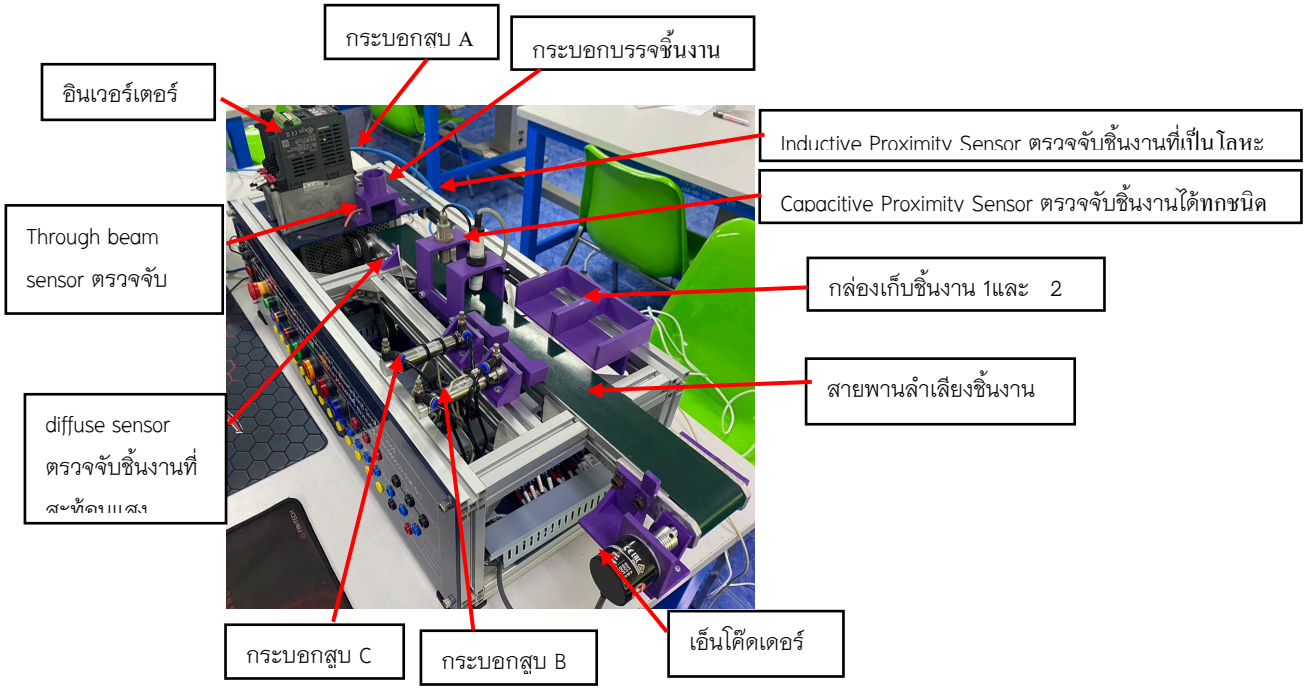
E หมายถึง กลุ่มทดลอง

C หมายถึง กลุ่มควบคุม

X หมายถึง การดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้เครื่องมือในการวิจัย

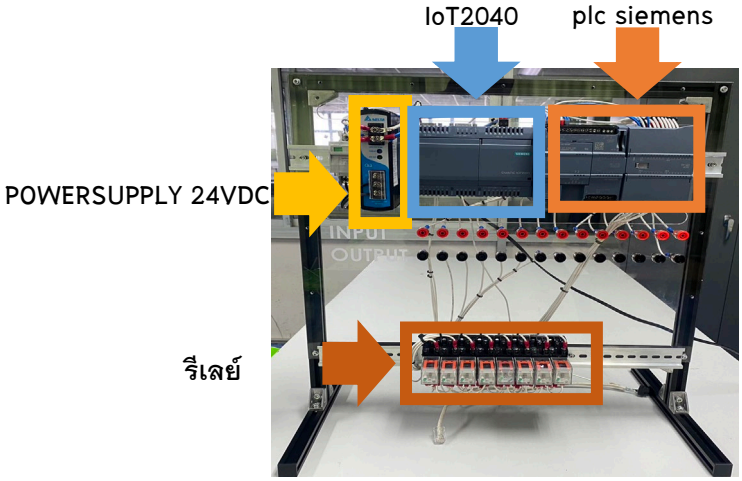
O_2 หมายถึง การสอบหลังเรียน

ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นผู้เรียนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 แผนกวิชา เมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี ปีการศึกษา 2566 จำนวน 38 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มทดลอง จำนวน 19 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 19 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย ชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อแสดงสถานะของสายพานลำเลียงที่ทำงานร่วมกับ โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับระบบเครือข่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ และแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ใบเนื้อหา ใบงาน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะการเขียนโปรแกรม และ แบบประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับ ชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อแสดงสถานะของสายพานลำเลียงโดยมีกรอบแนวคิดในการทำวิจัยแสดงดังภาพที่ 1 หลังจากสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านประเมินความเหมาะสมในการนำเครื่องมือในการวิจัยไปทดลองใช้ ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านพบว่า ความเหมาะสมด้านสื่อการสอนประเภทฮาร์ดแวร์ มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก และความเหมาะสมด้านเนื้อหา ใบงาน และแบบทดสอบ มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ความเหมาะสมสามารถนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นนักศึกษาระดับระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกวิชาเมคคาทรอนิกส์ และ หุ่นยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี กลุ่มทดลองใช้การจัดกิจกรรมตามแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งกับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายเทคโนโลยีสารสนเทศใบเนื้อหา จำนวน 4 หน่วยการเรียนรู้และใบงาน จำนวน 4 ใบงาน กลุ่มควบคุมใช้วิธีการสอนแบบปกติที่ผู้สอนเคยใช้สอนมาในภาคการศึกษาก่อนหน้านี้ หลังจากจบบทเรียนทุกหน่วยการเรียนรู้ผู้วิจัยให้ผู้เรียนทั้งสองกลุ่มจำนวน 38 คน ทำการทดสอบทักษะด้านปฏิบัติด้วยแบบทดสอบด้านทักษะปฏิบัติที่ใช้แบบประเมินรูบริก (Scoring Rubrics) จำนวน 4 ข้อ จากนั้น ให้ผู้เรียนกลุ่มทดลอง ทำแบบประเมินทัศนคติ



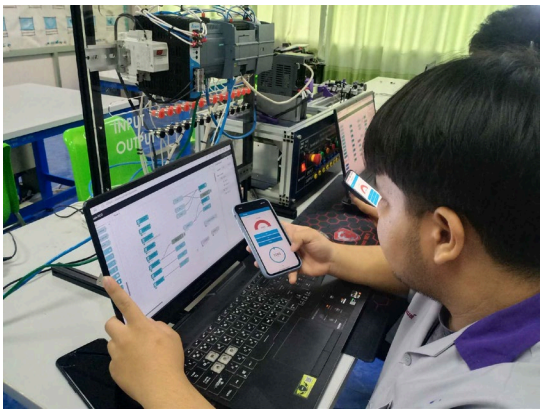
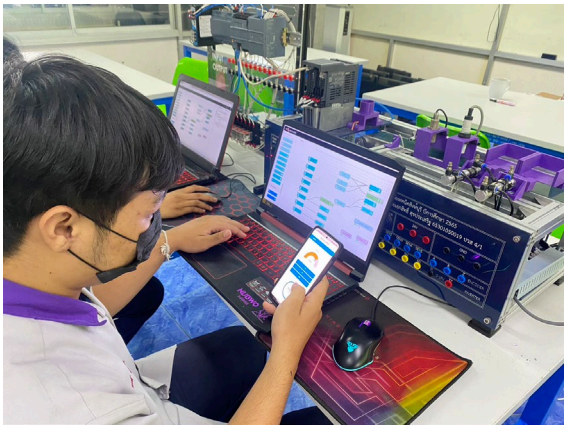
ภาพที่ 2 ชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อแสดงสถานะของสายพานลำเลียง

เมื่อเริ่มทำการทดลองวิจัย ให้ผู้เรียนกลุ่มทดลอง จำนวน 19 คน แบ่งออกเป็น 8 กลุ่มย่อยๆ กลุ่มละ 2 คน จากนั้นจึงเริ่มสอนทฤษฎีการเขียนโปรแกรมโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ เพื่อใช้ควบคุมชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อแสดงสถานะของสายพานลำเลียงแสดงดังภาพที่ 2 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ที่ใช้นี้ มีขนาดของอินพุต 15 ชุด เอาต์พุต 14 ชุดสามารถรับสัญญาณจากสวิตช์ควบคุมที่อยู่บนแผงได้ ด้านเอาต์พุตเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ที่ผู้ใช้งานจะต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยให้ขั้วบวกต่อเข้ากับขั้ว Common ที่อยู่บนตัวโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ การเขียนโปรแกรมสั่งงาน โดยใช้ภาษาแลดเดอร์และโปรแกรม TIA Portal V17ในการควบคุมชุดฝึกในเบื้องการนำชุดฝึกดังภาพที่ 2 เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ ผู้เรียนจะต้องสามารถแสดงผลการทำงานของสายพานลำเลียงด้วยโปรแกรม Node-RED เพื่อส่งเข้าในเครื่องโทรศัพท์มือถือได้



ภาพที่ 3 ชุดควบคุมโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์

หลังจากที่ผู้เรียนรู้ทฤษฎีการเชื่อมโยงระหว่างโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ เข้ากับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อแสดงสถานะของสายพานลำเลียงแล้วขั้นตอนต่อไปจึงให้ผู้เรียนดำเนินกิจกรรมตามแนวทางแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP จากการลงมือปฏิบัติ เริ่มจากผู้เรียนจะต้องมีความสามารถในการเขียนโปรแกรมเพื่อเปิด-ปิดหลอดไฟได้ จนกระทั่งสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อเชื่อมโยงเข้ากับระบบปฏิบัติการ NODE-RED ได้ แสดงดังภาพที่ 3 โดยวิธีการเขียนโปรแกรมสำหรับเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ เข้ากับชุดฝึกจะแสดงไว้เป็นขั้นตอนตามใบงาน ขั้นตอนนี้ ผู้สอนจะให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรมเท่านั้น

ภาพที่ 4 ผู้เรียนปฏิบัติตามรูปแบบการเรียนรู้โดยใช้ MIAP ร่วมกับชุดทดลองทุกสรรพสิ่ง

เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการเรียนรู้โดยใช้ MIAP จนกระทั่งผู้เรียนสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมสายพานลำเลียงได้แล้วตามแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAPแล้ว จากนั้นจึงให้ผู้เรียนทำแบบประเมินประเมินด้านทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง แล้วจึงทำการทดสอบทักษะผู้เรียนในการเขียนโปรแกรม แล้วนำคะแนนผลการทดสอบมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ประกอบไปด้วย ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ สถิติทดสอบ

ผลการศึกษา

หลังจากที่ผู้วิจัยดำเนินการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบไปด้วย ชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อแสดงสถานะของสายพานลำเลียงเอกสารประกอบการจัดการเรียนรู้รูปแบบMIAP พร้อมใบเนื้อหา ใบงาน ประกอบการสอนให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินความเหมาะสมของด้านสื่อการสอนประเภทฮาร์ดแวร์ แสดงดังตารางที่ 2 และด้านเนื้อหา ใบงาน และแบบทดสอบมีผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านสื่อการสอนประเภทฮาร์ดแวร์

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ผลประเมินด้านเนื้อหา	4.50	0.500	เหมาะสมมากที่สุด
2	ผลประเมินด้านการใช้งาน	4.56	0.089	เหมาะสมมากที่สุด
3	ผลประเมินด้านคุณลักษณะของสื่อ	4.52	0.228	เหมาะสมมากที่สุด

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านใบเนื้อหา ใบงาน และแบบทดสอบ

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ผลประเมินด้านใบเนื้อหา	4.43	0.252	เหมาะสมมาก
2	ผลประเมินด้านใบแบบฝึกหัด/ใบงาน	4.60	0.190	เหมาะสมมากที่สุด
3	ผลประเมินด้านแบบทดสอบวัดผทสัมฤทธิ์ทักษะการเขียนโปรแกรม	4.66	0.408	เหมาะสมมากที่สุด

เมื่อนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีที่ 1 จำนวน 19 คน และหลังจากดำเนินกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ครบแล้ว ให้ผู้เรียนประเมินระดับการมีส่วนร่วมในชั้นเรียนของผู้เรียน มีผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 4 แล้วจึงให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะจำนวน 4 ข้อ และทดสอบสมรรถนะของผู้เรียนด้วยแบบทดสอบด้านปฏิบัติจำนวน 4 ข้อ ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบ เมื่อนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นผู้เรียนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 จำนวน 38 คน หลังจากดำเนินกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ครบแล้ว พบว่ากลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 89.20 สูงกว่าเกณฑ์ระดับประเมินอาชีวศึกษาและกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 70.55 สรุปได้ว่ากลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มควบคุม และผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางปฏิบัติของนักเรียนของนักเรียนหลังเรียน ระหว่างกลุ่มทดลอง (Experiment) และควบคุม (Control) ดังตารางที่ 4 ให้ผู้เรียนประเมินด้านทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มีผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางด้านปฏิบัติของนักเรียนสองกลุ่ม

กลุ่มผู้เรียน	**คะแนนเต็ม**	**n**	$\bar{X}$	**S.D.**	**df**	**t**	**Sig.**
กลุ่มทดลอง	20	19	16.58	1.34	36	6.44	.00*
กลุ่มควบคุม	20	19	14.11	0.99			

*p <.05

ตารางที่ 5 ผลประเมินด้านทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึก	4.03	0.228	มาก
2.	ทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP	4.17	0.240	มาก

สรุปผลและอธิปรายผล

งานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ MIAP มาทดลองใช้กับกลุ่มผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกอิเล็กทรอนิกส์ และ เมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ในรายวิชาโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 38 คน การพัฒนาชุดฝึกเพื่อช่วยให้ผู้เรียนมองเห็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการทำงาน แทนการจัดการเรียนรู้แบบเดิมที่เน้นการบรรยายเป็นหลัก ทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านทักษะการเขียนโปรแกรมได้ดีขึ้นโดยมีผลจากการประเมินความเหมาะสมของชุผลการประเมินความเหมาะสมด้านสื่อการสอนประเภทฮาร์ดแวร์ ในการนำไปใช้ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน อยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด และ การประเมินความเหมาะสมด้านใบเนื้อหา ใบงาน และแบบทดสอบอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด เมื่อนำไปทดลองใช้ ผู้เรียนมีด้านทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเห็นได้จากตารางที่ 5 ที่เป็นผลประเมินทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้รูปแบบ MIAP ร่วมกับชุดฝึกอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งอยู่ในระดับมาก บ่งบอกว่าผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจกับสิ่งที่มองเห็นปรากฏการณ์ และมีความทัศนคติที่ดีต่อสิ่งที่ได้เห็นจากปรากฏการณ์จริง ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจได้ง่าย ทำให้ผลจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนมีค่าคะแนนเฉลี่ยสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการนำชุดฝึกมาใช้เป็นสื่อประกอบการจัดการเรียนรู้จะช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในการเรียนการสอนได้ดีขึ้น

ข้อแนะนำในการนำงานวิจัยนี้ไปใช้งาน ควรเลือกไอพีแอดเดรสในการเชื่อมต่อกับระบบปฏิบัติการให้ตรงกันและเชื่อมต่อ SIMATIC IOT2050 จะสามารถใช้งานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยบางส่วนจาก แผนกช่างเมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

ชนาธิป โหตรภวานนท์ สุรีย์พร สว่างเมฆ และวันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ. (2562). การพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 21(2), 64–79.

ลฎาภา ลดาชาติ และลือชา ลดาชาติ. (2560). มุมมองและความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของครูวิทยาศาสตร์. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 10(3), 149–162.

วันซัลมา ปานากาเซ็ง อภิสิทธิ์ ภคพงศ์พันธุ์ และรักพร ดอกจันทร์. (2562). กิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ตามทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เรื่อง กำหนดการเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม The Geometer's Sketchpad สำหรับนักเรียนชั้นมัธยม ศึกษาปีที่ 5. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 21(1), 271–284.

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๖๐–๒๕๗๙. กรุงเทพฯ: พริกหวานกราฟฟิค.

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. (2562). หลักเกณฑ์และแนวปฏิบัติการจัดการอาชีวศึกษา 40–41.

Chookaew, S., Howimanporn, S., & Hutamarn, S. (2021). Investigating students' computational thinking through STEM robot-based learning activities. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal

Boya-Lara, C., Saavedra, D., Fehrenbach, A., & MarquezAraque, A. (2022). Development of a course based on BEAM robots to enhance STEM learning in electrical, electronic, and mechanical domains. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 19(1), 1-23.

Ueyama, Y., Sago, T., Kurihara, T., & Harada, M. (2022). An Inexpensive Autonomous Mobile Robot for Undergraduate Education: Integration of Arduino and Hokuyo Laser Range Finders. IEEE Access, 10, 79029-79040.

Benjamaha, J., & Uantrai, P. (2021, November). Active Learning Management based on MIAP Learning Model to Enhance Electronic Technician Competence. In 2021 6th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed) (pp. 1-4). IEEE.

Chumchuen, N., Klinbumrung, K., & Meesomklin, S. (2020, November). Professional teaching practice through MIAP based integrated learning activities for electrical engineering education. In 2020 5th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed) (pp. 95-98). IEEE.

Seetao, C., & Surpare, K. (2020, November). Integrating MIAP Learning Activities Management and Cooperative Learning using Internet of Things Learning Package. In 2020 5th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed) (pp. 34-37). IEEE.

Klinbumrung, K., & Surpare, K. (2021, November). Engineering teacher training using MIAP based coaching and mentoring techniques in promoting teacher competencies. In 2021 6th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed) (pp. 1-4). IEEE.

Klinbumrung, K., & Surpare, K. (2021, November). Engineering teacher training using MIAP based coaching and mentoring techniques in promoting teacher competencies. In 2021 6th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed) (pp. 1-4). IEEE.

การถ่ายทอดความรู้ผ่านกระบวนการฝึกอบรมการใช้เครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสำหรับวิสาหกิจชุมชน

Knowledge transfer via training process on hot air oven with embedded internet of things for community enterprise

เทพรถ อนันต์สูงเนิน[1*] และ ศุภชัย หอวิมานพร[2]

Theppharot Anansungnoen[1*] and Suppachai Howimanporn [2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) หาความเหมาะสมในการนำเครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งไปใช้ในการฝึกอบรมให้แก่วิสาหกิจชุมชน 2) ศึกษาผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติงานการใช้งานเครื่องอบลมร้อนของวิสาหกิจชุมชน 3) ศึกษาความพึงพอใจของวิสาหกิจชุมชนที่มีต่อกิจกรรมการฝึกอบรมการใช้งานเครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ต

เครื่องมือวิจัยประกอบด้วย เครื่องอบลมร้อนทำงานร่วมกับเทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัว ที่สามารถควบคุม และ แสดงผลด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง แผนการจัดการเรียนรู้ เอกสารประกอบการฝึกอบรม แบบทดสอบ และ แบบประเมิน จากนั้นนำเครื่องมือวิจัยดังกล่าวให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการฝึกอบรม และ ถ่ายทอดความรู้ให้แก่ชุมชน กลุ่มเป้าหมายคือ วิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลไม้ดอนยอ จังหวัดนครนายก จำนวน 20 คน

ผลจากการวิจัยพบว่า เครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งเพื่อใช้ประกอบการฝึกอบรม มีความเหมาะสมในการไปใช้ฝึกอบรมให้แก่วิสาหกิจชุมชนอยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ย 4.95 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.23 ตามมาตรวัดประเมินค่าของลิเคิร์ด 5 ระดับ) และ มีผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติงานการใช้งานเครื่องอบลมร้อนของผู้เข้าร่วมวิจัยที่อาศัยอยู่ในวิสาหกิจชุมชนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 87.40 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ร้อยละ 60 และ มีระดับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.97 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.17) เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัย

คำสำคัญ: เครื่องอบลมร้อน วิสาหกิจชุมชน การถ่ายทอดเทคโนโลยี การรับรู้

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[2] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. กรุงเทพมหานครฯ 10800

[1] Master's degree Student, Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Technical Education KMUTNB. Bangkok 10800

[2] Lecturer, Program in Mechatronics and Robotics Faculty of Technical Education KMUTNB. Bangkok 10800

*Corresponding author : changthepp@gmail.com

Abstract

This research aims to 1) find the appropriateness of using a hot air dryer with an embedded system via the Internet of Things to provide training to community enterprises. 2) study the results of the work skills in using the machine. 3) Study the satisfaction of community enterprises with training activities in using hot air dryers with an embedded system via the Internet.

Research tools include the hot air dryer, which uses embedded system technology. That can be controlled and displayed with the Internet of Things Learning management plan training documents, tests, and evaluation forms were then taken to 5 experts to assess their suitability for training and knowledge transfer to the community. The target group is Don Yo Fruit Processing Community Enterprise Nakhon Nayok Province, with 20 people.

The results of the research found that Hot air dryers with an embedded system via the Internet of Things for use in training. It is suitable for use in training for community enterprises at an excellent level (mean 4.95, standard deviation 0.23 according to the 5-level Likert evaluation scale) and has achievement in operating skills. The average hot air dryer work of the research participants who lived in community enterprises was 87.40 percent, higher than the set threshold of 60 percent, and had the highest level of satisfaction (mean 4.97 standard deviations. 0.17) according to the research hypothesis.

Keywords: Heat Dryer, Community Enterprise, Technology Transfer, Awareness

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม กว่าครึ่งหนึ่งของประชากรไทยมีอาชีพเกษตรกรรม ส่งผลให้ประเทศไทยมีจำนวนประชากรในภาคเกษตรไม่น้อยกว่าสามสิบล้านคน (จิตตภู และ คณะ, 2564) ในการจัดการเศรษฐกิจครัวเรือนของเกษตรกรซึ่งนำไปสู่การพัฒนาสังคม และ เกษตรกรรมในสังคมไทยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ เกษตรกรรมแบบยังชีพ เกษตรกรรมเชิงพาณิชย์ และ เกษตรกรรมแบบยั่งยืน (อับดุลอารซีม และ ประจวบ, 2566) คุณภาพชีวิตของเกษตรกรด้วยการทำการเกษตรแบบยั่งยืน จึงเป็นการผสมผสานหลักความสมดุลในการดำรงชีวิตกับหลักการทำการเกษตรแบบผสมผสาน ทำให้เกิดการประหยัดต้นทุน ลดรายจ่าย และ มีรายได้เพิ่มขึ้น (วณิฎา และ คณะ, 2564) วิวัฒนาการ และ การพัฒนาการเกษตรของไทยได้เปลี่ยนแปลงตามยุคสมัย และ ตามกระแสการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของโลก (กิติศักดิ์, 2564) จังหวัดนครนายกมีพื้นที่การเกษตร 687,018 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกข้าว และ ผลไม้สำนักงานเกษตรส่งเสริมให้เกษตรกรยกระดับผลิตภาพ ประสิทธิภาพคุณภาพมาตรฐาน รวมทั้งสร้างมูลค่าเพิ่มสินค้าเกษตรให้ตอบสนองความต้องการของตลาด และ สร้างความสามารถในการแข่งขันของสินค้าเกษตร รวมทั้งพัฒนางานวิจัยเทคโนโลยี และ นวัตกรรมมาใช้ประโยชน์ เพื่อบรรลุวิสัยทัศน์เกษตรมั่นคง ภาคการเกษตรมั่งคั่ง ทรัพยากรการเกษตรยั่งยืน (สำนักงานเกษตร และ สหกรณ์จังหวัดนครนายก, 2562) แต่ชุมชนยังไม่สามารถนำเทคโนโลยี และ นวัตกรรมมาใช้ประโยชน์ได้ ชุมชนยังขาดความรู้ และ การสนับสนุนจากภาครัฐ ปัจจุบันขั้นตอนการแปรรูปของชุมชนใช้วิธีการแบบดั่งเดิมโดยการตากแห้งแบบธรรมชาติ ซึ่งใช้ระยะเวลานาน เมื่อผลไม้สุกมีจำนวนมากขึ้นจะไม่สามารถผลิตแบบต่อเนื่องได้ทำให้ผลไม้บางส่วนเน่าเสียหายต้องนำไปทิ้ง ช่วงในฤดูฝนจะประสบปัญหาเกี่ยวกับผลไม้ตากไม่แห้งมีเชื้อราไม่สามารถจำหน่ายได้ ผู้วิจัยจึงศึกษาข้อมูล การอบแห้งผลไม้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบผลไม้แห้ง (รุ่งโรจน์ และ คณะ, 2564) จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับอุณภูมิที่ใช้กับเครื่องอบลมร้อนที่สามารถ

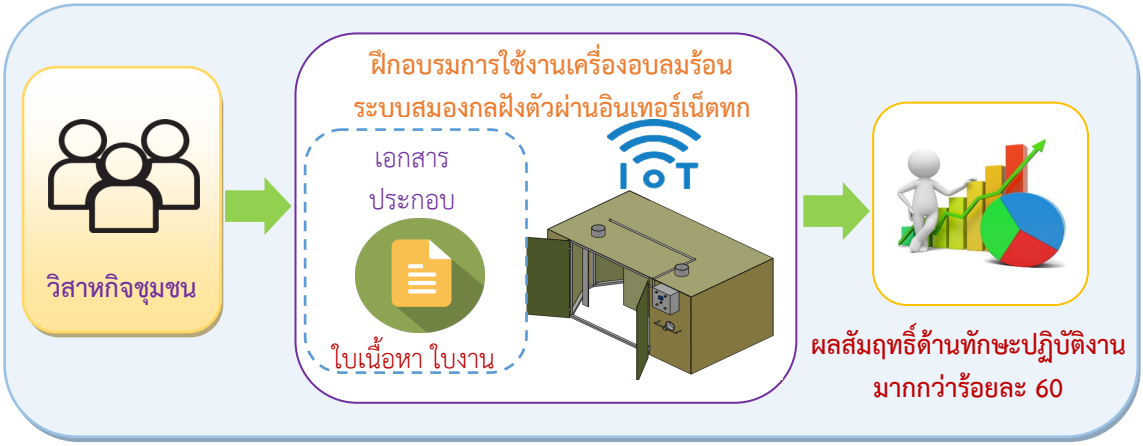
ปรับได้คือ 40-80 องศา การทำงานของวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสามารถเพิ่มช่วงการวัดของเซนเซอร์ได้ การเลือกใช้เซนเซอร์ ADC จะทำให้การออกแบบที่เรียบง่าย และ ไม่จำเป็นต้องกรองดิจิตอลที่ซับซ้อน ใช้พลังงานต่ำ (Kim, et al., 2023.) การตรวจสอบการใช้พลังงาน และ ประสิทธิภาพ สำหรับการตรวจสอบมาตรวัดพลังงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟิก การติดตามข้อมูลออนไลน์ และ การเฝ้าติดตาม (Salunkhe, Kanse & Patil, 2022.) สามารถลดความผิดพลาดของมนุษย์ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบระบบควบคุมเครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง โดยผู้ใช้งานสามารถควบคุมอุณหภูมิ และ สามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องจักรในระยะไกลโดยผ่านสมาร์ตโฟน และ ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินด้านความเหมาะสมในการนำเครื่องอบลมร้อนไปใช้ในการฝึกอบรมให้แก่วิสาหกิจชุมชน จากนั้นศึกษาผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติงานการใช้งานเครื่องอบลมร้อนของวิสาหกิจชุมชน และ ศึกษาความพึงพอใจของวิสาหกิจชุมชนที่มีต่อกิจกรรมการฝึกอบรมการใช้งานเครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ต เมื่อเสร็จสิ้นกิจกรรมการฝึกอบรมวิสาหกิจชุมชนสามารถนำเครื่องอบลมร้อนไปใช้ในกระบวนการแปรรูปผลไม้ เพื่อเพิ่มปริมาณการแปรรูป และ ขยายผลเชิงพาณิชย์เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1) เพื่อหาความเหมาะสมในการนำเครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งไปใช้ในการฝึกอบรมให้แก่วิสาหกิจชุมชน
2) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติงานการใช้งานเครื่องอบลมร้อนของวิสาหกิจชุมชน
3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของวิสาหกิจชุมชนที่มีต่อกิจกรรมการฝึกอบรมการใช้งานเครื่องอบลมร้อน

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

การพัฒนานวัตกรรมเครื่องอบลมร้อน ที่ใช้การควบคุมการทำงานด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสำหรับใช้ในวิสาหกิจชุมชน ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงาน และ สามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องจักรในระยะไกลโดยผ่านสมาร์ตโฟนได้ การที่จะให้วิสาหกิจชุมชนมีความรู้ในด้านการใช้งาน และ ซ่อมบำรุงเบื้องต้น จำเป็นต้องอาศัยการถ่ายทอดความรู้ให้แก่วิสาหกิจชุมชนผ่านรูปแบบการจัดกิจกรรมการฝึกอบรม หลังจากดำเนินกิจกรรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการศึกษาความพึงพอใจของวิสาหกิจชุมชนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการฝึกอบรมเครื่องอบลมร้อน เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการแปรรูปผลไม้ จากที่กล่าวมา งานวิจัยครั้งนี้มีกรอบแนวคิดในการทำวิจัยแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย

สมมติฐานของการวิจัย

1) การนำเครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งไปใช้ในการฝึกอบรมให้แก่วิสาหกิจชุมชนประเมินความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญมีความเหมาะสมมาก

2) ผู้เข้าร่วมวิจัยที่ผ่านการทำกิจกรรมการอบรมด้วยรูปแบบการฝึกอบรมร่วมกับเครื่องอบลมร้อนที่ใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการควบคุม และ แสดงผล มีค่าเฉลี่ยคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบทักษะปฏิบัติ หลังการฝึกอบรม สูงกว่าร้อยละ 60

3) วิสาหกิจชุมชนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการถ่ายทอดความรู้ด้วยกระบวนการฝึกอบรมการใช้เครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด

วิธีวิทยาการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ แบบแผนการวิจัยเป็นแบบกึ่งการทดลอง (Quasi Experiment) ในลักษณะแบบแผนการวิจัย One Group Posttest Design Only แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการทดลอง

-	X	O_2

โดยที่

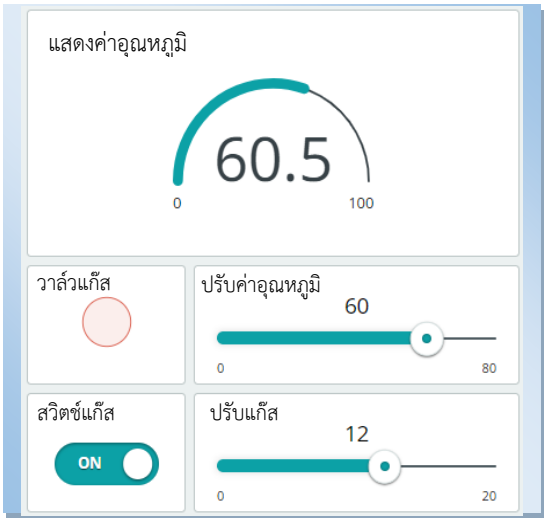
X หมายถึง การดำเนินการจัดการฝึกอบรมโดยใช้เครื่องมือในการวิจัย

O_2 หมายถึง การทดสอบหลังการฝึกอบรม

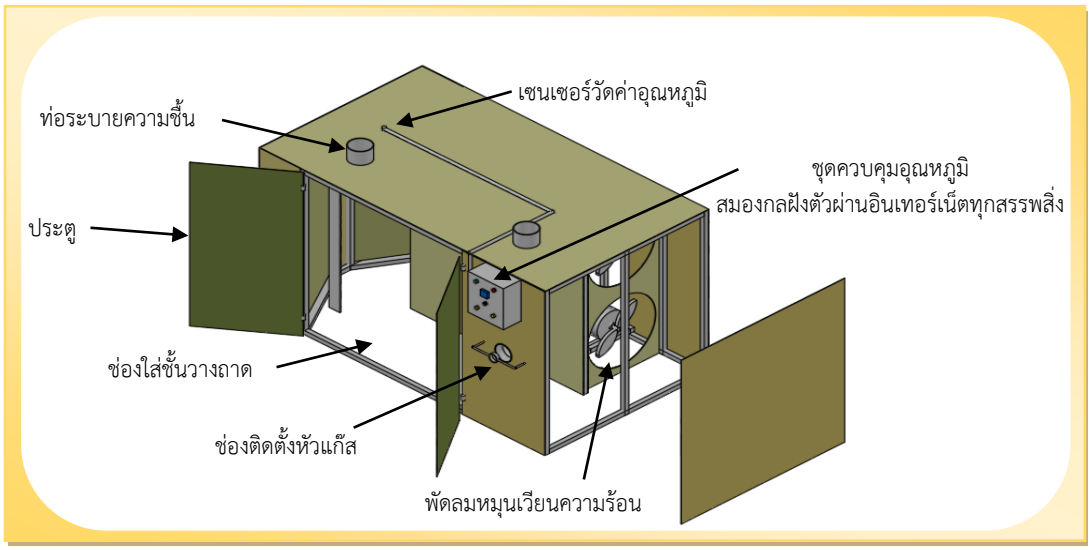
ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่วิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลไม้ดอนยอ จังหวัดนครนายก มีอายุอยู่ระหว่าง 18-60 ปี จำนวน 20 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย เครื่องอบลมร้อนควบคุม และแสดงผลด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง แผนการจัดกิจกรรมการฝึกอบรมเพื่อการถ่ายทอดความรู้ และ การซ่อมบำรุงเบื้องต้น พร้อมทั้งคู่มือการใช้งาน และ การซ่อมบำรุงเบื้องต้น พาวเวอร์พอยต์ และ ใบงานประกอบการฝึกอบรมที่สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบด้านปฏิบัติการใช้เครื่องอบลมร้อน และ การซ่อมบำรุงเบื้องต้น และ แบบประเมินการรับรู้ในกิจกรรมของผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยมีกรอบแนวคิดในการทำวิจัยแสดงดังภาพที่ 1 การสร้างเครื่องมือวิจัยที่ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ เครื่องอบลมร้อน และ เอกสารประกอบการฝึกอบรม แบบทดสอบ และ แบบประเมิน โดยเริ่มจากออกแบบสร้างเครื่องอบลมร้อนระบบสมองกลฝังตัวใช้บอร์ด ESP-32 ที่ทำงานแบบ Dual Core ที่ความเร็ว 160 MHz มีพอร์ตที่สามารถเชื่อมโยง (interface) เพื่อใช้สำหรับควบคุมการปิด-เปิด แก๊ส และควบคุมแรงดันแก๊ส มีพอร์ตที่สามารถเชื่อมโยงเข้ากับ WIFI ด้วยรูปแบบ IEEE 802.15.4 สามารถเชื่อมโยงแสดงผลเข้ากับสมาร์ตโฟน ด้วยแอปพลิเคชัน Arduino Cloud การออกแบบหน้าจอสมาร์ตโฟน เพื่อใช้สำหรับควบคุม และ แสดงสถานะ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบอุณหภูมิบนหน้าสมาร์ตโฟนได้ ไม่จำเป็นต้องเดินไปตรวจเช็คที่เครื่องจักร หน้าจอสมาร์ตโฟนแสดงดังภาพที่ 2 เครื่องอบลมร้อน (สัญญา และ คณะ, 2566) มีขนาดมิติ กว้าง 120 ยาว 200 สูง 120 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3 การทดลองประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบลมร้อน โดยการทดลองอบแห้งมะม่วงกวน ปริมาณมากกว่า 100 กิโลกรัม จากการทดลองประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบลมร้อน พบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งมะม่วงกวนเฉลี่ย 4 ชั่วโมง ด้วยอุณหภูมิ 60 องศา มะม่วงที่ได้มีสีเหลืองขุ่น และ มีความแห้งพอดี ตรงความต้องการของชุมชน การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ต้นทุนการสร้างเครื่องอบลมร้อนเท่ากับ 200,000 บาท มีต้นทุนการแปรผันได้แก่ต้นทุนการอบมะม่วงกวนเท่ากับ 1.8575 บาท/กิโลกรัม ปริมาณการผลิตของเครื่องอบลม

ร้อนสามารถผลิตได้ 200 กิโลกรัมต่อครั้งๆ ละ 4 ชั่วโมง ต้นทุน 75 บาท/กิโลกรัม จำหน่ายกิโลกรัมละ 150 บาท พบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 2,667 กิโลกรัม ระยะเวลาการคืนทุนของเครื่องอบลมร้อน สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 7 วัน จากนั้นจึงทำการออกแบบสร้างคู่มือการใช้งาน และ การซ่อมบำรุงเบื้องต้น รวมถึงใบงานแบบทดสอบด้านปฏิบัติ และ แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมวิจัย เมื่อสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทั้ง 2 ส่วนเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ประเมินความเหมาะสมในการนำเครื่องมือในการวิจัยไปทดลองใช้ ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่า เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ย 4.95 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.23) สามารถนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยได้

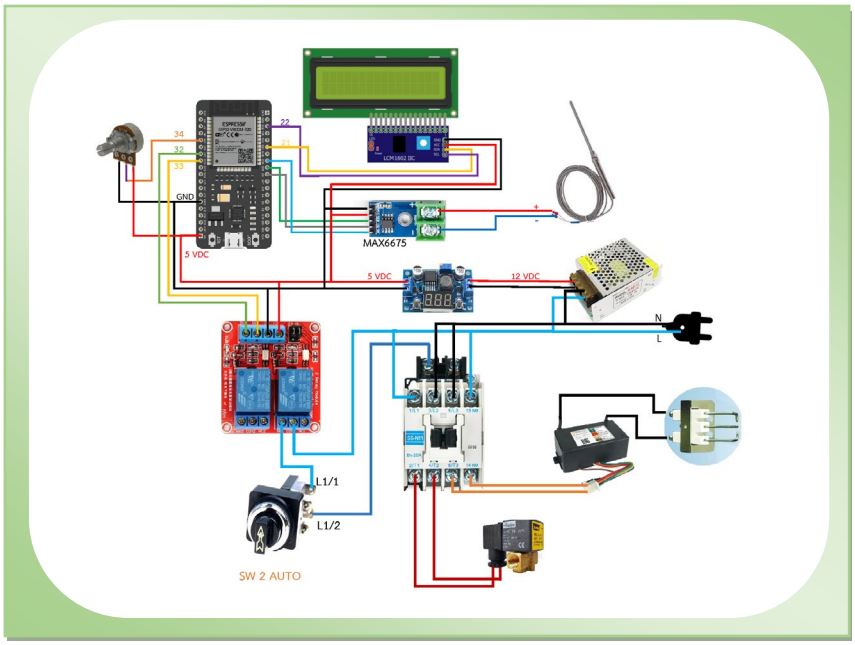
เมื่อเริ่มทำการทดลองวิจัย ให้ทำการแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 4 คน จากนั้นจึงเริ่มบรรยายหลักการทำงานของเครื่องอบลมร้อน แล้วจึงเริ่มดำเนินกิจกรรมตามแนวทางการจัดการฝึกอบรมตามแผนการจัดกิจกรรมการฝึกอบรม จำนวน 3 กิจกรรม ประกอบด้วย กิจกรรมการเรียนรู้ที่ 1 กิจกรรมการเตรียมวัตถุดิบ และ การใช้งานสำหรับอบแห้ง กิจกรรมการเรียนรู้ที่ 2 กิจกรรมปรับตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องอบลมร้อน และกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 3กิจกรรมบำรุงรักษา และ ซ่อมบำรุง หลังจากดำเนินการฝึกอบรมตามแผนการจัดการเรียนรู้ และ ลงมือปฏิบัติตาม ใบงานที่ผู้วิจัยออกแบบไว้เสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงทำการทดสอบทักษะปฏิบัติของผู้เข้าร่วมวิจัย หลังจากทดสอบทักษะปฏิบัติเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อการจัดการฝึกอบรม แล้วนำคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบทักษะปฏิบัติ และ แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมวิจัย นำมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยสถิติที่ใช้ประกอบไปด้วย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 2 การออกแบบกราฟฟิกบนหน้าจอสมาร์ตโฟนเพื่อใช้เชื่อมโยงเข้ากับเครื่องอบลมร้อน



ภาพที่ 3 เครื่องอบลมร้อนที่ใช้การควบคุมด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง



ภาพที่ 4 วงจรการควบคุมเครื่องอบลมร้อนผ่านระบบระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

ผลการศึกษา

หลังจากที่ผู้วิจัยดำเนินการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบไปด้วยเครื่องอบลมร้อนควบคุม และแสดงผลด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง แผนการจัดกิจกรรมการฝึกอบรมเพื่อการถ่ายทอดความรู้ และ การซ่อมบำรุงเบื้องต้น พร้อมทั้งคู่มือการใช้งาน และ การซ่อมบำรุงเบื้องต้น, พาวเวอร์พอยต์ และ ใบงานประกอบการฝึกอบรมที่สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบด้านปฏิบัติการใช้เครื่องอบลมร้อน และ การซ่อมบำรุงเบื้องต้น และ แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ของลิเคิร์ด 5 ระดับ (อดิเรก และพงศธร, 2564) มีผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม	
		ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	ด้านนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดฝึกอบรม	4.96	0.20
2	ด้านการจัดกิจกรรมการจัดฝึกอบรม	4.96	0.20
3	ด้านการวัด และ ประเมินผลกิจกรรมการจัดฝึกอบรม	4.92	0.28
	ผลการประเมินรวมทั้ง 3 ด้าน	4.95	0.23

เมื่อนำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลไม้ดอนยอ จังหวัดนครนายก จำนวน 20 คน หลังจากดำเนินการฝึกอบรมตามแผนการจัดการเรียนรู้ และ ลงมือปฏิบัติตามใบงานที่ผู้วิจัยออกแบบไว้เสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงทำการทดสอบทักษะปฏิบัติของผู้เข้าร่วมวิจัยหลังจากทดสอบทักษะปฏิบัติเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการฝึกอบรม แล้วนำคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบทักษะปฏิบัติ และ ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมวิจัย นำมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยสถิติใช้ประกอบไปด้วย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ย ของลิเคิร์ด 5 ระดับ (อดิเรก และ พงศธร, 2564) และ มีผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติงานการใช้งานเครื่องอบลมร้อนของผู้เข้าร่วมวิจัยที่อาศัยอยู่ในวิสาหกิจชุมชนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 87.40 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ร้อยละ 60 มีผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมวิจัย แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมวิจัย ที่มีต่อการจัดการฝึกอบรม ด้วยเครื่องอบลมร้อน

ลำดับ	หัวข้อการประเมิน	ผลการประเมินความเหมาะสม	
		ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	ด้านการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการฝึกอบรม	4.98	0.16
2	ด้านกิจกรรมการฝึกอบรม อุปกรณ์การสอน และสถานที่	4.97	0.17
3	ด้านผลลัพธ์ของกิจกรรมการฝึกอบรม และ การใช้งานนวัตกรรม	4.96	0.20
	ผลรวม	4.97	0.17

สรุปผลและอธิปรายผล

การนำเครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งไปใช้ในการฝึกอบรมให้แก่วิสาหกิจชุมชน เพื่อการถ่ายทอดความรู้ และ การซ่อมบำรุงเบื้องต้น พร้อมทั้งคู่มือการใช้งาน และ การซ่อมบำรุงเบื้องต้น พาวเวอร์พอยต์ และ ใบงานประกอบการฝึกอบรมที่สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบด้านปฏิบัติการใช้เครื่องอบลมร้อน และ การซ่อมบำรุงเบื้องต้น การนำสื่อเพื่อการเรียนรู้ ที่ใช้ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัย (อัษฎา และ คณะ, 2566) กล่าวว่าในการใช้สื่อถ่ายถอดเทคโนโลยีด้วยการฝึกอบรม เริ่มด้วยการบรรยายให้ความรู้ สาธิตทำให้ดู จะทำให้ผู้รับการถ่ายทอดได้รับความรู้ ความเข้าใจ และ สามารถนำไปใช้ปฏิบัติงานได้จริง จากนั้นผู้วิจัยให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ทำการประเมินความเหมาะสม

เครื่องมือรวมถึงสื่อที่ใช้ในการ จัดฝึกอบรม ทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านนวัตกรรม และ เทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดฝึกอบรม ด้านการจัดกิจกรรมการจัดฝึกอบรม และ ด้านการวัด ประเมินผลกิจกรรมการจัดฝึกอบรม ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าเครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความเหมาะสมในการไปใช้ฝึกอบรมให้แก่วิสาหกิจชุมชนอยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ย 4.95 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.23)

ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติงานการใช้งานเครื่องอบลมร้อนของวิสาหกิจชุมชน หลังจากการจัดกิจกรรมการฝึกอบรม พบว่ามีผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะปฏิบัติงานการใช้งานเครื่องอบลมร้อนของผู้เข้าร่วมวิจัยที่อาศัยอยู่ในวิสาหกิจชุมชนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 87.40 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ร้อยละ 60 วิสาหกิจชุมชนสามารถนำความรู้ที่ได้รับจากกิจกรรมการฝึกอบรมครั้งนี้ไปใช้ในการแปรรูปผลไม้อบแห้ง เพื่อเพิ่มปริมาณการแปรรูปในการบวนการผลิต

การศึกษาความพึงพอใจของวิสาหกิจชุมชนที่มีต่อกิจกรรมการฝึกอบรมการใช้งานเครื่องอบลมร้อน โดยให้ผู้ร่วมวิจัยทำการประเมินหลังจากการทำกิจกรรมการฝึกอบรมเสร็จสิ้น พบว่ามีระดับความพึงพอใจมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.97 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.17 ตามมาตรวัดประเมินค่าของลิเคิร์ด 5 ระดับ) แสดงให้เห็นว่า การฝึกอบรม และ ถ่ายทอดเทคโนโลยี เครื่องอบลมร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัวผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดฝึกอบรมให้แก่ชุมชนอื่น ๆ ที่มีความสนใจได้ และ ทำให้ชุมชนมีเทคโนโลยีการแปรรูปที่ทันสมัยซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัย (วิมลสิริ และ ปิยะพงศ์, 2564) กล่าวว่าการพัฒนาวิสาหกิจชุมชนเป็นการผลักดันให้กลุ่มมีความเข็มแข็ง และ มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้มีความทันสมัย เพื่อยกระดับการจัดการวิสาหกิจชุมชนให้เกิดความยั่งยืนอย่างมีระบบต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1) การจัดกิจกรรมการอบรมควรนำผลไม้ที่หลากหลายมาใช้ในการจัดกิจกรรม เพื่อให้ผู้เข้าร่วมวิจัยได้เห็นความแตกต่างของวัตถุดิบที่ใช้อบแห้ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถนำไปใช้ในกระบวนการแปรรูปผลไม้ต่อไป

2) การจัดกิจกรรมการฝึกอบรมควรนำข้อมูลที่ได้ไปใช้พัฒนาแผนการจัดฝึกอบรมครั้งต่อไป เพื่อเพิ่มสมรรถนะผู้เข้าร่วมอบรม และ รวมทั้งพัฒนาศักยภาพผู้ถ่ายทอดความรู้อย่างต่อเนื่อง

3) ควรมีการติดตามผลหลังการจัดกิจกรรมการฝึกอบรม ในการนำเครื่องอบลมร้อนสมองกลฝังตัวไปใช้งานจริง เป็นระยะเวลานานกว่า 6 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยบางส่วนจาก กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) : การจัดการความรู้การวิจัยและถ่ายทอดเพื่อการใช้ประโยชน์เชิงชุมชน สังคม ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

จิตตภู พูลวัน, บุญยฤทธิ ศรีปานและสัญลักษณ์ กิ่งทอง (2021). **การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบอัตโนมัติสำหรับตู้ฟักไข่ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในสรรพสิ่ง.** RMUTSB ACADEMIC JOURNAL, 9(2), 225–236.

อับดุลอารซีม แมเราะ และ ประจวบ ทองศรี (2023). **พัฒนาการของเกษตรกรรมในสังคมไทยและแนวทางการ จัดการเศรษฐกิจครัวเรือนของเกษตรกรสู่การพัฒนาสังคม The Development of Agriculture in Thai Society and the Guideline of Farmer–Household Economic Management Toward Social Development. Journal of Legal Entity Management and Local Innovation**, 9(4), 377–388.

วณิฎา ศิริวรสกุล, วัชรินทร์ อินทพรหม, วรรณพร บุญญาสถิต และ ขจิตพรรณ อมรปาน (2021). **รูปแบบการ พัฒนาคุณภาพชีวิตเกษตรกรด้วยเกษตรแบบยั่งยืน.** Journal of MCU Nakhondhat, 8(11), 54–66.

กิติศักดิ์ ทองมีทิพย์. (2021). พัฒนาการเกษตรกรรมของประเทศไทยในมิติด้านการพัฒนาชุมชน **และ คุณภาพ ชีวิต. PSDS Journal of Development Studies,** Puey Ungphakorn School of Development Studies, Thammasat University, 4(1), 132–162.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2559). **แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ** ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560 – 2564.

Tubklang, R., Sumana, B., & Hirankerd, W. (2021). **ผลของอุณหภูมิ และ เวลาทำแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กระท้อนแช่อิ่มอบแห้ง.** Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal, 14(1), 1–11.

Kim, J., Kim, J., Park, C., Yang, M., & Jung, W. (2023). **A Wide Range, Energy-Efficient Temperature Sensor Based on Direct Temperature-Voltage Comparison.** IEEE Solid-State Circuits Letters.

Salunkhe, A. S., Kanse, Y. K., & Patil, S. S. (2022, March). **Internet of Things based Smart Energy Meter with ESP 32 Real Time Data Monitoring.** In 2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS) (pp. 446–451). IEEE.

Yaowong, A. (2021, July). **ผลการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการสรุปบทเรียน หลักสูตรอบรม อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยใช้การออกแบบแผนผังความคิดของนักศึกษา สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา ชั้นปีที่ 3 คณะครุศาสตร์.** In The National Conference in Science and Technology (Vol. 1, No. 1, pp. 56–56).

อัษฎา วรรณกายนต์, นิคมลน ขุนทด, วัชเรศ แก่นบุตร, วินัท พรมแดน, & อภิชัย ไพรสินธุ์. (2023). **การพัฒนาสื่อเพื่อการเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรในการทำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากธรรมชาติ.** วารสารวิชาการ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, 8(1), 85–96.

วิมลสิริ อินเจริญ, และ ปิยะพงษ์ พัดชา. (2022). **รูปแบบการจัดการวิสาหกิจชุมชน กลุ่มผู้ปลูกไผ่ อำเภอท่า ตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา.** วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ, 16(2), 184–197.

สัญญา โพธิ์วงษ์, ปรัชญนันท์ นิลสุข, วิรัติ อัศวานุวัตร, สุกัญญา สุขสถาน, เทพรถ อนันต์สูงเนิน และ สราวุฒิ สืบแย้ม (2023). **การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องอบลมร้อน ผลิตระดับวิสาหกิจชุมชน**. วารสารการอาชีวศึกษาภาคกลาง ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2566.

การพัฒนาขั้วไฟฟ้าสำหรับงานตรวจวัดการแทรกซึมของคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวและวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์

Development of portable electrodes for surface resistivity and half-cell potential test methods for chloride intrusion in concrete structure

ณัฐวุฒิ อินทบุตร[1], ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง[1], สมพร ทองสุก[1] และ ชนะรบ วิชาลัย[1*]
Nattawut Intaboot[1], Narongchai Wiwattanachang[1], Somporn Thongsuk[1] and Chanarop Vichalai[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าเพื่อใช้ตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโครงสร้างคอนกรีตเพื่อวิเคราะห์และประเมินการแทรกซึมของคลอไรด์ที่ก่อให้เกิดสนิมขึ้นในเหล็กเสริมคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างขั้วไฟฟ้าสำหรับใช้กับเครื่องมือตรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ โดยใช้วัสดุอุปกรณ์พื้นฐานที่หาได้ภายในประเทศและมีราคาถูก ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้มีราคาสูงเมื่อนำเข้าจากต่างประเทศ วัสดุที่ใช้ประกอบด้วย ลวดทองแดงจากสายไฟฟ้า ขวดพลาสติก กาว สายไฟฟ้าและเครื่องพิมพ์ 3 มิติ หลังจากนั้นได้ทดสอบขั้วไฟฟ้าที่ประดิษฐ์ขึ้น เพื่อวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะและค่าศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์ ในพื้นที่บ่ออนุบาลสัตว์น้ำทะเล ผลการศึกษาพบว่าผลการตรวจวัดจากทั้งสองวิธีสามารถตรวจพบการแทรกซึมของคลอไรด์เข้าสู่โครงสร้างคอนกรีตจนทำให้เกิดสนิมขึ้นในเหล็กเสริม โดยผลการตรวจวัดสามารถยืนยันได้ด้วยผลการสกัดเปิดผิวคอนกรีต

คำสำคัญ: ขั้วไฟฟ้า, คอนกรีต, คลอไรด์, ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ และ ศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์

Abstract

This article describes the creation of a portable electrode for assessing the electrical characteristics of concrete in order to analyze the chloride intrusion into the concrete structure that caused rebar steel corrosion. The goal of this research is to create an electrode for a typical resistivity meter out of basic local resources such copper rod from electrical wire, plastic bottles, adhesive, electrical cable, and a 3D printer. Following that, the created electrode was tested for surface resistivity and half-cell potential on the marine animal nursery pond. The results show that both methods identified the chloride intrusion into the concrete structure, which caused the rusted in the rebar steel and confirmed the concrete surface opening.

Keywords: Electrode, Concrete, Chloride, Resistivity, and Half-cell Potential

---

[1] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโยลีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

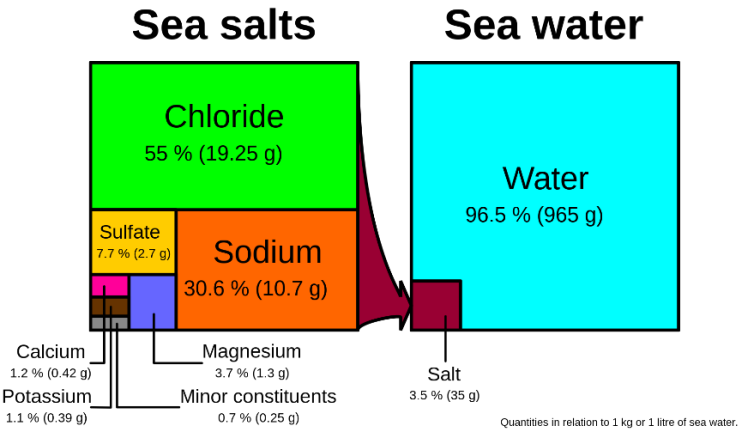
[1] Division of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi, 72130

* Corresponding author e-mail: chanarop.v@rmutsb.ac.th

บทนำ

การกัดกร่อนในคอนกรีต [1–2] เป็นกระบวนการที่เหล็กเสริมที่อยู่ภายในโครงสร้างคอนกรีตเสื่อมสลายหรือสึกกร่อนเนื่องจากปัจจัยด้านกายภาพ คือ อุณหภูมิ และแรงที่กระทำต่อคอนกรีต และเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีจากปัจจัยภายนอก โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีความชื้นและออกซิเจนอยู่ในคอนกรีต ซึ่งไอออน (Ion) จากซัลเฟต (Sulphate) ที่ละลายน้ำได้เท่านั้นที่เป็นเป็นปัจจัยหลักในการก่อให้เกิดความเสียหายแก่คอนกรีต

ในน้ำทะเลประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ หลายชนิด แต่จำแนกเป็นไอออนหลักจำนวน 6 ชนิด คือ คลอไรด์ (Chloride Cl^-) 55.00% โซเดียม (Sodium Na^+) 30.60% ซัลเฟต (Sulfate SO_4^{2-}) 7.70% แมกนีเซียม (Magnesium Mg^{2+}) 3.70% แคลเซียม (Calcium Ca^{2+}) 1.17% และ โปแทสเซียม (Potassium K^+) 1.1% [3] โดยส่วนประกอบของน้ำทะเลได้แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบไอออนหลักในน้ำทะเล [3]

กระบวนการกัดกร่อนองเหล็กเสริมในคอนกรีต แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน [4–5] ในขั้นแรกเป็นปฏิกิริยาเคมี ในสภาวะที่มีความชื้น (H_2O) ไอออนคลอไรด์ (Cl^-) จากน้ำทะเลซึมผ่านเข้าสู่คอนกรีต ไอออนเหล่านี้จะถูกดึงดูดเข้าถึงเหล็กเสริมที่อยู่ภายในคอนกรีตได้ เมื่อไอออนคลอไรด์เหล่านี้เข้าสู่เหล็กเสริม จะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เป็นกระบวนการไฟฟ้าเคมีซึ่งทำให้เหล็กเสริมเกิดกระบวนการกัดกร่อน

ปฏิกิริยาเคมี: $Cl^- + H_2O \longrightarrow HCl + OH^-$

ขั้นตอนนี้จะทำให้ฟิล์มป้องกันที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของเหล็กเสริมสลายไป ซึ่งฟิล์มป้องกันนี้มีหน้าที่ในการปกป้องเหล็กเสริมจากกระบวนการกัดกร่อน

ในขั้นต่อมาเป็นปฏิกิริยาแอโนด (Anode reaction) เมื่อฟิล์มป้องกันได้สูญเสียไปแล้วการสูญเสียอนุภาคจากเหล็กในรูปของไอออนเหล็ก (Fe^{2+}) ซึ่งถูกปล่อยออกมาสู่คอนกรีตรอบข้างอนุภาคอิเล็กตรอนที่ปล่อยไป (e^-) จะกลายเป็นกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเหล็กเสริม

ปฏิกิริยาแอโนด: $Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

ในขั้นต่อมาเป็นปฏิกิริยาแคโทด (Cathode reaction) ในสภาวะที่มีออกซิเจน (O_2) และความชื้น (H_2O) ปฏิกิริยาอีกอย่างที่เกิดขึ้นที่พื้นที่บริเวณแคโทด ออกซิเจนและน้ำจะรวมตัวกันเพื่อสร้างอนุภาคไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ซึ่งจากนั้นจะกระจายออกจากแคโทด เมื่ออนุภาคไฮดรอกไซด์ไอออนรวมตัวกับไอออนจากเหล็กจะทำให้เกิดเหล็กไฮดรอกไซด์ (Iron hydroxide)

ปฏิกิริยาแคโทด: $O2 + 4H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$

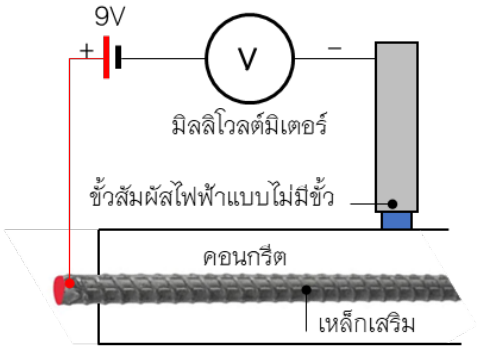
ขั้นตอนการเกิดสนิม เมื่อเหล็กไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นบริเวณแคโทดรวมกับออกซิเจนจากอากาศจะเกิดเหล็กออกไซด์ หรือสนิม (Fe_2O_3 หรือ Fe_3O_4) ซึ่งสนิมที่เกิดขึ้นทำให้เกิดแรงดันในคอนกรีตเพิ่มขึ้น จนนำไปสู่การเกิดรอยแตก กระเทาะ และการสลายตัวของคอนกรีต

กระบวนการกัดกร่อนในโครงสร้างคอนกรีตสามารถเป็นปัญหาที่น่าเป็นห่วง โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำทะเล หรือพื้นที่ที่เป็นตามธรรมชาติที่มีเกลือเจือปน หรือในสภาวะที่มีความเป็นกรด–ด่างสูง เป็นผลให้โครงสร้างมีอายุการใช้งานที่สั้น มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง [6] ซึ่งส่วนใหญ่การป้องกันจะดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกวัสดุในการก่อสร้าง การควบคุมคุณภาพวัสดุในระหว่างการก่อสร้างและการปกป้องโครงสร้างเมื่อก่อสร้างเสร็จ [7–8] แต่อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการบำรุงรักษาจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัดคุณภาพของคอนกรีต เพื่อประเมินและตรวจสอบการแทรกซึมของคลอไรด์เข้าสู่โครงสร้างคอนกรีต โดยวิธีการตรวจสอบในภาคสนามนั้น วิธีการที่ได้รับความนิยมในลำดับแรก ๆ คือ วิธีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half–cell potential) และวิธีการวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวคอนกรีต (Surface resistivity test) ซึ่งทำงานได้อย่างรวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายต่ำ [9]

การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) เป็นการตรวจตรวจสอบทางกายภาพเบื้องต้นเพื่อหาสิ่งปกติที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโดยใช้เครื่องมือพื้นฐาน [2] เช่น ไม้บรรทัด เพื่อตรวจสอบ รอยแตกร้าวของโครงสร้าง การเกิดการเสียรูปบิดงอ การเกิดสนิมของอุปกรณ์รองรับต่าง ๆ ของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ แต่ไม่สามารถประเมินตำแหน่งความลึกของรอยร้าวที่ถูกลุกลามเข้าภายในชิ้นส่วนเหล็กเสริมโครงสร้างที่ชำรุดเสียหายได้ [10–11]

การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์ (Half–cell potential test) [11–12] เป็นเทคนิคที่ใช้ประเมินการเกิดการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Potential) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย สามารถช่วยในการประเมินสภาพทางไฟฟ้าเคมีของเหล็กเสริมคอนกรีต การทดสอบนี้เป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการระบุพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดกระบวนการกัดกร่อนหรือการพัฒนากระบวนการกัดกร่อน

การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ โดยให้เหล็กเสริมและคอนกรีตเป็นส่วนหนึ่งของ Galvanic Cell และวัดค่า Galvanic Potential ของเหล็กเสริมในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (Copper Sulfate) เทียบกับค่า Galvanic Potential ของแท่งทองแดงที่อยู่ในสารละลาย โดยมี Porous Stone ทำหน้าที่เป็น Salt Bridge (รูปที่ 2) ซึ่งค่าที่วัดได้นี้เรียกว่า Half–cell Potential (HCP) ตามมาตรฐาน ASTM C876–09 [12] การอ่านค่าจะอ่านในลักษณะของการประเมินการเกิดสนิมของเหล็กเสริมดังแสดงในตารางที่ 1



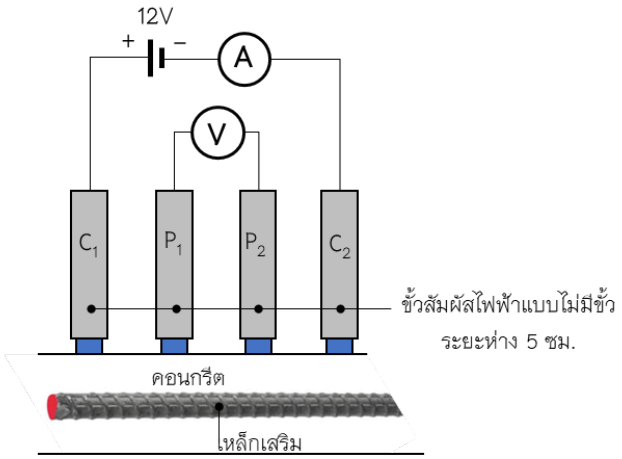
รูปที่ 2 การตรวจวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์ [13]

การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะผิวที่ผิว (Surface resistivity test) [13] เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้ในการประเมินโอกาสในการเกิดกระบวนการกัดกร่อนในโครงสร้างคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมด้วยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า (Potential) และกระแสไฟฟ้า (Current) ผลการทดสอบนี้สามารถแสดงได้ถึงค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Conductivity) ของคอนกรีต ซึ่งมีความสัมพันธ์กับกระบวนการเกิดการแทรซึมของไอออนคลอไรด์ในคอนกรีต

ตารางที่ 1 ค่าศักย์ไฟฟ้าธรรมชาติแบบครึ่งเซลล์และร้อยละของโอกาสการเกิดการผุกร่อน [12]

Half–cell Potential Reading (mV vs CSE)	Percentage Chance of Active Corrosion
<–250	10%
–250 to –350	50%
>–350	90%

การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวคอนกรีตตามมาตรฐาน AASTO TP95 [13] เป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวของคอนกรีต โดยใช้อุปกรณ์การวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 ขั้ว โดยมีการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าเป็นแนวเส้นตรงและมีระยะห่างเท่ากันโดยมีสองขั้วด้านใน (P_1, P_2) เป็นตัวที่วัดความต่างศักดิ์ไฟฟ้า (V) และมีสองขั้วด้านนอก (C_1, C_2) เป็นตัวส่งไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีกระแสไฟฟ้า (I) เคลื่อนที่ผ่านเนื้อคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความทนทานของคอนกรีตและมีมาตรฐานของคุณภาพคอนกรีตในการต้านทานไฟฟ้าของพื้นผิวคอนกรีต TP95 ดังแสดงได้ดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Wenner สำหรับการตรวจวัด การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวคอนกรีต โดยที่ C_1 , C_2 เป็นตัววัดกระแสและ P_1 , P_2 เป็นตัวปล่อยกระแส [13]

ตารางที่ 2 การจำแนกคอนกรีตด้วยคุณลักษณะทางไฟฟ้าของคอนกรีตตามมาตรฐาน AASHTO TP95 [13]

Chloride ion penetrability	AASHTO TP 95 kΩ–cm	ASTM C1202 coulombs
High	<12	>4000
Moderate	12 to 21	2000 to 4000
Low	21 to 37	1000 to 2000
Very Low	37 to 254	100 to 1000
Negligible	>254	<100

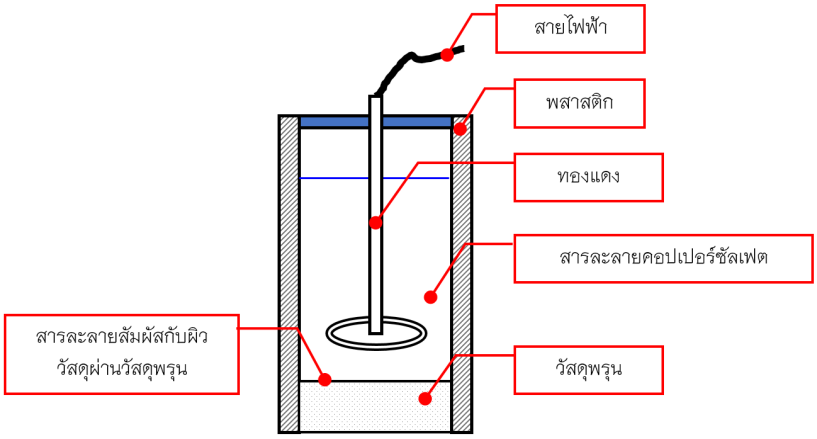
Sample size : 4x8 in (100x200 mm) concrete cylinder

โดยทั่วไปความต้านทานต่ำ จะมีความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนสูง ความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวเทียบกับความเสี่ยงต่อการเกิดสนิม ตามตารางที่ 3 ความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวเทียบกับความเสี่ยงต่อการเกิดสนิม [13]

ตารางที่ 3 ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะและความเสี่ยงของการกร่อนของคอนกรีตที่ 20°C สำหรับคอนกรีตปอร์ตแลนด์ปกติ (Ordinary Portland Cement (OPC) concrete) [13]

Concrete Resistivity $\rho_{concrete}$ (Ω.m)	Risk of Corrosion
<100	high
100–500	Moderate
500–1000	Low
>1000	negligible

ขั้วสัมผัสไฟฟ้าที่ใช้ในการตรวจวัดทั้งวิธีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์และการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะผิวที่ผิว เป็นขั้วไฟฟ้าชนิดที่ไม่มีสถานะขั้วทางเคมี หรือที่รู้จักกันในชื่อ Non–polarizable electrode [15] ผลิตจากขั้วโลหะทองแดง ซึ่งแช่อยู่ในสารละลายเกลือทองแดงอิ่มตัว (Copper sulphate; $CuSO_4$) ที่บรรจุอยู่ในภาชนะซึ่งสารละลายสามารถไหลซึมลงสู่ด้านล่างได้อย่างช้า ๆ เพื่อสัมผัสกับวัสดุที่ต้องการวัดค่าทางไฟฟ้าได้ ซึ่งวัสดุขั้วไฟฟ้าสามารถใช้โลหะชนิดอื่นได้ แต่สารละลายที่ใช้จะต้องเป็นเกลือชนิดเดียวกับสารประกอบโลหะของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ เช่น โลหะสังกะสี (Zinc) ใช้สารละลายสังกะสีซัลเฟต (Zinc sulphate; $ZnSO_4$) หรือ โลหะเงิน (Silver) ใช้สารละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Silver sulphate; Ag_2SO_2) เป็นต้น โดยลักษณะของขั้วไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้วสัมผัสไฟฟ้า Non-polarizable electrode [15]

ขั้วสัมผัสไฟฟ้า Non-polarizable electrode นี้สามารถช่วยหลีกเลี่ยงค่าไฟฟ้าที่ไม่คงที่เนื่องจากอิเล็กตรอนในวงจรไฟฟ้าและอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีได้ ส่วนในเทอมของการเกิดขั้วไฟฟ้าหรือโพลาไรเซชั่น (Polarization) นั้นเป็นปรากฏการณ์ที่ศักย์ไฟระหว่างอิเลกโทรดและสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การเคลื่อนที่ของไอออน การไหลกระแสไฟฟ้า และการตอบสนองของปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น ดังนั้นขั้วสัมผัสทางไฟฟ้าชนิดนี้ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ในสภาวะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เนื่องจากใช้วัสดุและออกแบบที่ลดลงมาจากปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของไอออนและอิเลกโทรด์-สารละลาย

วิธีการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตทั้งสองวิธีการข้างต้นก็ยังมีข้อดีและข้อจำกัด ดังนี้

ข้อดีของวิธีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์ คือ สามารถระบุพื้นที่เริ่มเกิดการเสื่อมสภาพหรือพื้นที่ที่มีการเกิดการเสื่อมสภาพแล้ว สามารถใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ในการให้การประเมินเชิงคุณภาพในการเกิดการกัดกร่อน อีกทั้งยังสามารถทำการตรวจวัดได้ง่ายและให้ผลการทดสอบที่รวดเร็ว ทำให้เหมาะสำหรับการทดสอบเบื้องต้นหรือดำเนินการทดสอบในพื้นที่ขนาดใหญ่

ข้อจำกัดของวิธีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์ คือ จำเป็นที่จะต้องเชื่อมต่อขั้วไฟฟ้าหนึ่งขั้วเข้ากับเหล็กเสริมคอนกรีต อาจต้องทำการสกัดผิวคอนกรีตก่อนซึ่งทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างที่ทำการตรวจวัด นอกจากนั้นผลการทดสอบที่ได้เป็นผลการทดสอบที่ต้องประเมินในเชิงคุณภาพจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ซึ่งไม่ได้เป็นการวัดค่าที่เป็นอัตราการกัดกร่อนโดยตรง อีกทั้งวิธีการนี้เป็นการวัดค่าที่ผิวคอนกรีต ซึ่งอาจไม่สามารถสะท้อนการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นลึกภายในโครงสร้างได้

ข้อดีของวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะผิวที่ผิว คือ เป็นการวัดค่าเชิงปริมาณซึ่งเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของคอนกรีตทำให้การระบุตำแหน่งการเกิดการเสื่อมสภาพได้อย่างถูกต้อง โดยวิธีการนี้เป็นการวัดค่าที่ผิวแต่ได้ผลการวัดที่เป็นค่าที่อยู่ในระดับลึกจนถึงเหล็กเสริม ซึ่งผลการทดสอบที่วัดได้มีความสัมพันธ์กับกระบวนการกัดกร่อนเนื่องจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าในคอนกรีตที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี

ข้อจำกัดของวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะผิวที่ผิว คือ วิธีการนี้จำเป็นต้องใช้ขั้วไฟฟ้าจำนวน 4 ขั้ว ซึ่งเมื่อวัดค่าจะต้องย้ายขั้วไฟฟ้าทั้งสี่ไปพร้อมกันซึ่งความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวสัมผัสที่ขั้วไฟฟ้าทั้งหมดจะมีค่าไม่เท่ากันทำให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน ซึ่งสามารถลดความผิดพลาดได้ด้วยการเพิ่มความชื้นที่ผิวคอนกรีตก่อนการตรวจวัด นอกจากนั้นจำนวนขั้วไฟฟ้าจำนวนถึง 4 ขั้ว ทำให้ไม่สามารถวัดค่าบริเวณด้านขอบของพื้นที่ทดสอบได้

ข้อจำกัดหนึ่งของทั้ง 2 วิธีการทดสอบนี้ คือชุดเครื่องมือและอุปกรณ์จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ หรือหากซื้อภายในประเทศก็จะมีราคาที่ค่อนข้างสูง บทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีการประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าที่ใช้สำหรับวิธีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และวิธีการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวคอนกรีตซึ่งขั้วไฟฟ้า ต้องมีคุณสมบัติในการวัดค่ากระแสและความต่างศักย์ที่ผิวของคอนกรีตได้ ทั้งในแนวราบ แนวดิ่ง และแนวขนานกับพื้นโลกได้ เนื่องการกัดกร่อนของคอนกรีตสามารถเกิดขึ้นในทุกด้านของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

วิธีการศึกษา

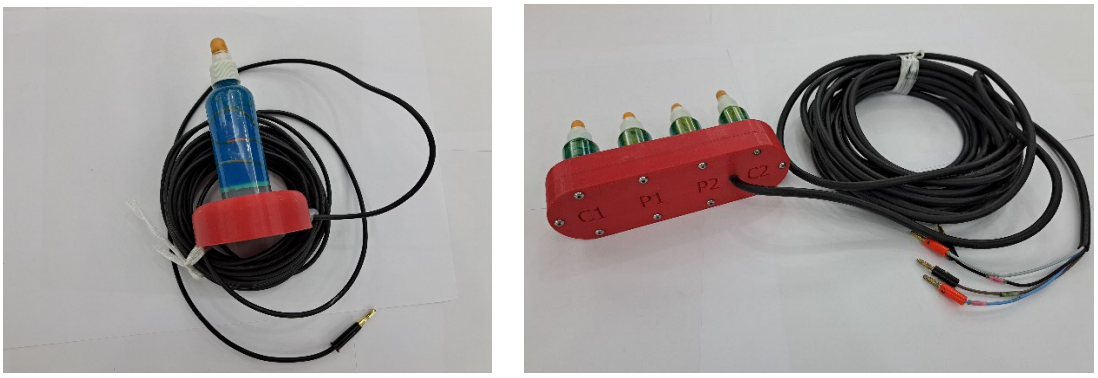
ขั้วสัมผัสไฟฟ้าในการศึกษานี้ได้ออกแบบด้วยพื้นฐานจากขั้วสัมผัสไฟฟ้า Non-polarizable electrode โดยการออกแบบจะต้องสามารถใช้วัดค่าบนผิวคอนกรีตได้ทุกระนาบ มีน้ำหนักเบา และมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 5 ซม. สำหรับขั้วไฟฟ้าที่ใช้สำหรับทดสอบการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ นอกจากนั้นต้องมีขนาดที่กระทัดรัดสามารถทำการตรวจวัดได้ในพื้นที่ที่จำกัด [13],[15]

จากมาตรฐานการทดสอบ ASTM และข้อแนะนำของ ACI ในการตรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวคอนกรีต [16] และวิธีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ [11] ได้กำหนดให้ใช้ขั้วสัมผัสไฟฟ้าแบบ Non-polarizable electrode ในการตรวจวัดอัตราการเกิดการเสื่อมสลายของคอนกรีตซึ่งขั้วสัมผัสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉพาะที่ผิวคอนกรีตต้องมีระยะห่างระหว่างขั้วเท่ากับ 5 ซม. ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ใช้ขวดพลาสติกขนาดเล็ก เพื่อบรรจุสารละลายตัวนำไฟฟ้าคือ Copper sulfate ($CuSO_4$) มีขั้วสัมผัสที่ผิวคอนกรีตเป็นวัสดุฟองน้ำเพื่อให้สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตไหลซึมลงสู่ผิวคอนกรีตได้ ซึ่งสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตจะถ่ายประจุให้กับขั้วโลหะทองแดงที่ถูกขดไว้เป็นวงมีลักษณะเช่นเดียวกับสปริง โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ขั้วไฟฟ้าที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้สามารถวัดค่าในระนาบต่าง ๆ ได้ทุกระนาบ โดยมีเงื่อนไขสำหรับการวัดค่าทิศทางตรงกันข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก คือ สารละลายคอร์เปอร์ซัลเฟตจะต้องมีปริมาณอยู่เต็มขวดพลาสติก โดยวัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างขั้วไฟฟ้าในการศึกษานี้สรุปดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างขั้วไฟฟ้า

รายการ	จำนวน	หน่วย
สายไฟ VCT ขนาด 4 x 1.5 sq.mm	6	เมตร
ขวดพลาสติกใส หัวฉีดสเปรย์ ขนาด 50 ml	4	ขวด
ขวดพลาสติกใส หัวฉีดสเปรย์ ขนาด 100 ml	1	ขวด
สายไฟ THW 1 x 1.5 sq.mm	2	เมตร
เส้นพลาสติก Filament 3D Printing	1	กิโลกรัม
กาวแท่งสำหรับปืนกาวร้อน	2	แท่ง
สกรูยาว 50 mm และนัท เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 ขนาด M6	10	ชุด
ปลั๊กกล้วย (Banana plug) ขนาด 4 mm	5	ชุด
คลิปหนีบปากจระเข้ (alligator clip)	1	ชุด

รูปที่ 4 แสดงลักษณะรายละเอียดของขั้วไฟฟ้าที่ประดิษฐ์ขึ้น ทั้งขั้วไฟฟ้าสำหรับการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิว (ซ้าย) และขั้วไฟฟ้าสำหรับการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (ขวา) ประกอบด้วยขวดพลาสติกขดลวด และฐานสำหรับจับยึดที่สร้างจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่ใช้วัสดุพลาสติกฉีดขึ้นรูป ซึ่งภายในได้เชื่อมต่อสายไฟผ่านสาย VCT จำนวน 4 แกน ที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อเข้าสู่เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะด้วยปลั๊กกล้วยขนาด 4 มม.



ก) ขั้วไฟฟ้าสำหรับการตรวจวัดแบบครึ่งเซลล์ ข) ขั้วไฟฟ้าสำหรับการตรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิว

รูปที่ 4 รายละเอียดของขั้วไฟฟ้าในการศึกษานี้

ส่วนขั้วไฟฟ้าสำหรับการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ จะมีเพียงจำนวน 1 ขั้ว และขั้วไฟฟ้าจะใช้ขวดพลาสติกขนาด 100 มล. ที่ใหญ่กว่าที่ใช้สำหรับประดิษฐ์ขั้วสัมผัสไฟฟ้าในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิว คือ 50 มล. ซึ่งมีคุณลักษณะอื่น ๆ เช่นเดียวกับขั้วไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉพาะที่ผิวด้วย

การทดสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น การศึกษานี้ได้เลือกใช้พื้นที่ส่วนหนึ่งของโรงอนุบาลสัตว์น้ำทะเลซึ่งพบการเกิดสนิมที่ผิวคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยการทดสอบได้แบ่งจุดทดสอบออกเป็นตารางกริดขนาด 5 x 5 ซม. มีจำนวนกริด 54 x 15 แนว เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษามีรายละเอียดดังตารางที่ 5



รูปที่ 5 พื้นที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

รายการ	จำนวน
1) เครื่องมือสำหรับจัดเตรียมการทดสอบ	
- เทปวัดระยะ ความยาว 5 เมตร	1 อัน
- เชือกตีแนว	1 อัน
- ปากกาเคมี	1 ด้าม
- กระบอกฉีดน้ำและน้ำเปล่า	1 อัน
2) เครื่องมือวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวคอนกรีต	
- ขั้วไฟฟ้าสำหรับวัดค่าต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวคอนกรีต	1 ชุด
- เครื่องมือวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ WDDS-2	1 ชุด
- สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) อิ่มตัว	1 ลิตร
3) เครื่องมือวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์	
- ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT61E	1 เครื่อง
- ขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในการศึกษานี้พร้อมสายไฟฟ้า	1 ขั้ว
- สายไฟฟ้ายาว 5 เมตร พร้อมปากคีบ	1 ชุด
- สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) อิ่มตัว	1 ลิตร

เมื่อตารางกริดได้ถูกกำหนดและตีตารางแล้ว การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) ได้บันทึกสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโดยสังเกตจากสีสนิมแดงที่ซึมออกมาที่ผิวของผนัง อ้างอิงตามตำแหน่งบนตารางกริดที่ได้กำหนดไว้ [17]

การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ เริ่มจากพรมน้ำด้วยกระบอกฉีดน้ำลงบนพื้นผิวโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องทำการทดสอบให้ชุ่ม แล้วทำการเทสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตลงในขั้วไฟฟ้า ให้เต็ม แล้วต่อสายไฟฟ้าจาก Porous Pod เข้ากับขั้วบวก (–) ของมัลติมิเตอร์ และสายไฟฟ้าที่มีปากคีบเข้ากับขั้วบวก (+) ของมัลติมิเตอร์ โดยสายไฟฟ้าที่ต่อกับขั้วบวกนี้ให้นำปากคีบอีกด้านหนึ่งของสายคีบกับเหล็กเสริมคอนกรีตโครงสร้างที่ต้องการทำการตรวจวัด (รูปที่ 1) หลังจากนั้นทำการปรับให้มัลติมิเตอร์อ่านค่าเป็นมิลลิโวลต์ (mv) แล้วทำการใช้ขั้วไฟฟ้านั้นวัดค่าศักย์ไฟฟ้าทุก ๆ จุดตัด แล้วทำการบันทึกค่า โดยทำการวัดค่าทุกจุดตัดของตารางกริด โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแสดงในรูปที่ 6

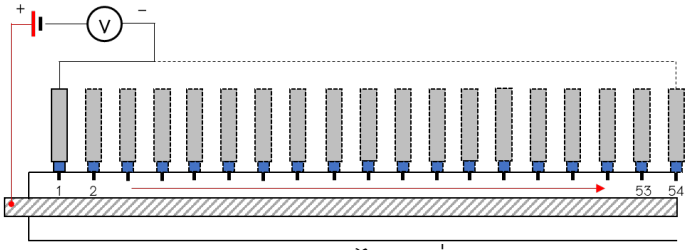
การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวคอนกรีต เริ่มด้วยการพรมน้ำด้วยกระบอกฉีดน้ำลงบนพื้นผิวโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องทำการทดสอบให้ชุ่ม แล้วทำการเทสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ลงในขั้วไฟฟ้า Porous Pod ให้เต็มทั้ง 4 ขั้ว แล้วทำการต่อสายไฟฟ้าทั้ง 4 คือ C_1 C_2 P_1 และ P_2 เข้ากับเครื่องมือวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ แล้วทำการใช้ขั้วไฟฟ้านั้นวัดค่าทุก ๆ จุดตัดแล้วทำการบันทึกค่า โดยการทำการวัดค่าแนวแรกคือแนว A โดยให้ขั้วไฟฟ้า C_1 อยู่ที่ตำแหน่ง A_1 และขั้วไฟฟ้า C_2 อยู่ที่ตำแหน่ง A_4 และเมื่อทำการวัดค่าแล้วทำการย้ายขั้วไฟฟ้าไปยังตำแหน่งถัดไป คือ ตำแหน่ง A_2 แล้วทำการวัดค่า ไปจนสุดแนว และเมื่อทำการวัดค่าจนสุดแนวแล้วทำการวัดการวัดค่าในแนวต่าง ๆ จนสิ้นสุดแนว 0 ซึ่งค่าที่ทำการตรวจวัดประกอบด้วยค่า ศักย์ไฟฟ้าธรรมชาติ (Self-Potential; SP) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะโดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแสดงในรูปที่ 7 และวิธีการวัดค่าแสดงไว้ในรูปที่ 8



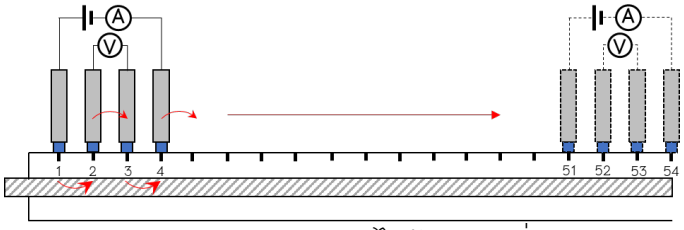
รูปที่ 6 เครื่องมือวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์



รูปที่ 7 เครื่องมือวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิว



ก) การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

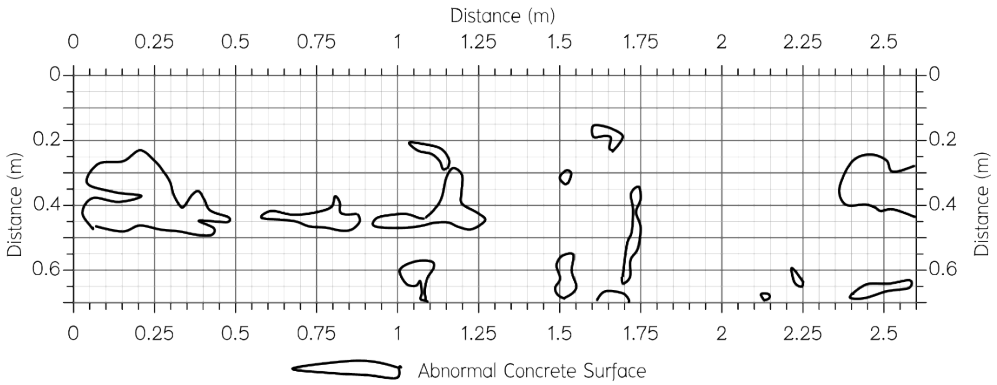


ข) วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิว

รูปที่ 8 วิธีการวัดค่าเพื่อทดสอบเครื่องมือ

ผลการศึกษา

ผลการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) พบได้ถึงตำแหน่งของผิวคอนกรีตที่ผิดปกติ คือ สนิมรอยแตกร้าวต่าง ๆ ทั่วทั้งพื้นที่ที่ใช้ทดสอบ ดังแสดงดังรูปที่ 9

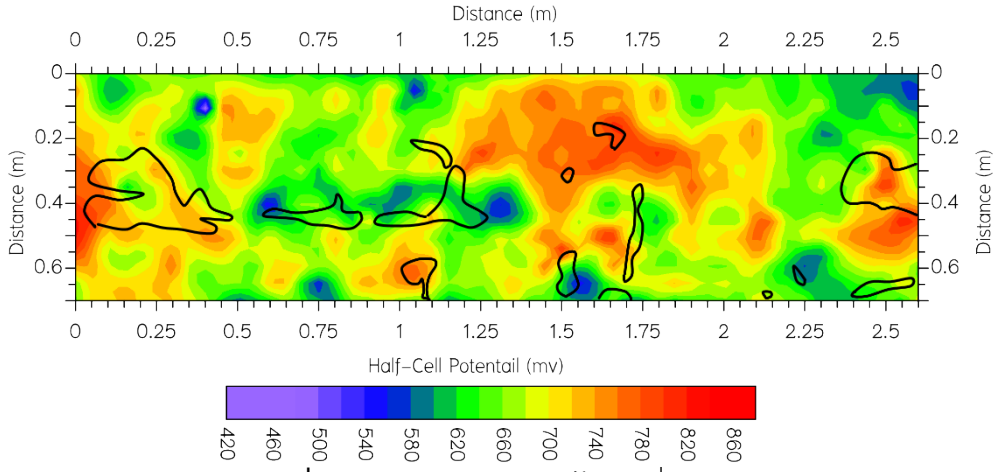


รูปที่ 9 แนวกริดที่ทำการทดสอบและผลการตรวจสอบด้วยสายตา

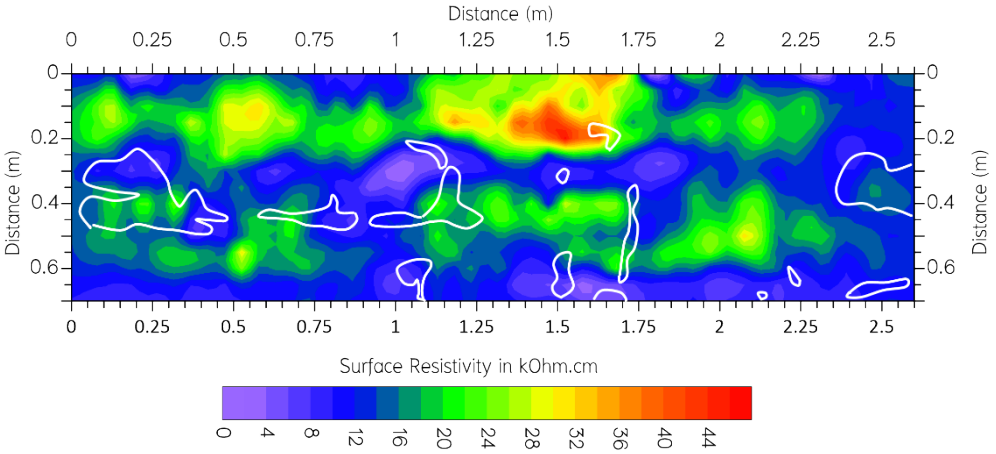
ผลการการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ พบว่าค่าที่วัดได้มีค่าอยู่ระหว่าง 420 – 900 mV โดยเมื่อเทียบค่าจากตารางที่ 1 แล้วพบว่า โครงสร้างนี้มีการเกิดการแทรกตัวของคลอไรด์มากกว่า 90% โดยศักย์ไฟฟ้าที่มีค่ามากแสดงถึงการเกิดการแทรกตัวของคลอไรด์ที่มาก โดยผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 10

ผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวคอนกรีตแสดงในรูปที่ 11 ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ตรวจวัดได้มีค่าระหว่าง 0.1 – 50 kΩ.m และมากกว่า 70% ของพื้นที่มีค่าต่ำกว่า 20 kΩ.m เมื่อจำแนกผลการทดสอบด้วยตารางที่ 2 พบว่าโครงสร้างนี้มีค่าที่แสดงถึงการแทรกตัวของคลอไรด์ในระดับปานกลาง (Moderate) ถึงมาก (High)

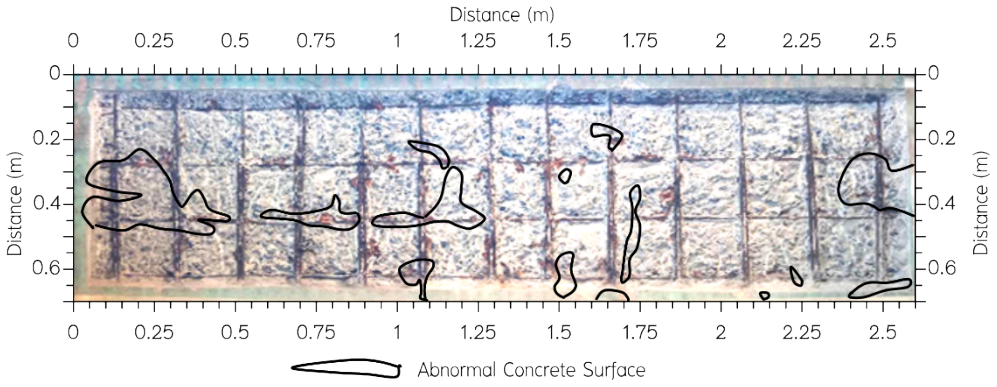
ผลการเปิดพิสูจน์เหล็กเสริมโครงสร้างพบว่า สนิมและการผุกร่อนได้เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมทุกเส้นในพื้นที่ที่ทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 12 โดยอัตราการเกิดสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีตมีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ตรวจพบด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าธรรมชาติ และการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวคอนกรีต



รูปที่ 10 ผลการการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์



รูปที่ 11 ผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวคอนกรีต



รูปที่ 12 ผลการเปิดพิสูจน์เหล็กเสริมคอนกรีต

อภิปรายและสรุปผล

ผลการทดสอบการใช้ขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ เป็นการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ในประเทศ มีวิธีการสร้างที่ไม่ยุ่งยาก และสามารถใช้เพื่อการทดสอบเพื่อการตรวจวัดการแทรกซึมของคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ผิวและวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าแบบครึ่งเซลล์ได้ ไม่แตกต่างจากชุดอุปกรณ์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งทำให้วิศวกร ช่างเทคนิคหรือสถาบันการศึกษาสามารถทำการทดสอบการตรวจวัด เพื่อประโยชน์ในทางวิศวกรรมตลอดจนการศึกษาและวิจัย ได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

การแทรกซึมของคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเป็นศาสตร์และศิลป์ในการวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล [15] เนื่องจากต้องอาศัยข้อมูลด้านวิศวกรรม และทางกายภาพของโครงสร้าง ตลอดจนจิตนาการและเหตุผลสนับสนุนในการแปลผลถึงเหตุการเกิด การลุกลาม ในโครงสร้างคอนกรีต

การประเมินสภาพโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายเป็นการวัดค่าทางกายภาพเพื่อให้ทราบผลในระดับลึกที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบหรือตรวจวัดด้วยวิธีการอื่น ๆ ร่วมด้วย [6] เพื่อเป็นการตรวจสอบและบูรณาการผลการทดสอบซึ่งช่วยลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์และแปลผลการทดสอบ

ผลการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายในการศึกษานี้สามารถใช้เพื่อประเมินพื้นที่ได้รับผลกระทบจากการแทรกซึมของคลอไรด์ได้ในภาพรวม อันเป็นประโยชน์ในการกำหนดพื้นที่ขอบเขต วางแผนงานบำรุงรักษาและซ่อมแซมได้อย่างมีประสิทธิภาพ [18–19]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ องค์การบริหารส่วนจังหวัดสุพรรณบุรี และสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ บึงฉวากเฉลิมพระเกียรติ ในการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาเพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษา อาคารสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำที่ได้ก่อสร้างขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2539

เอกสารอ้างอิง

1. Biczok, I., & Blasovszky, N. (1964). Concrete corrosion and concrete protection.
2. Khan, M. A. (2010). *Bridge and highway structure rehabilitation and repair*. McGraw-Hill Education.
3. Hannington, M. D., Jonasson, I. R., Herzig, P. M., & Petersen, S. (1995). Physical and chemical processes of seafloor mineralization at mid-ocean ridges. *Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series*, *91*, 115-157.
4. Hausmann, D. A. (1967). Steel corrosion in concrete--How does it occur?. Materials protection.
5. Bentur, A., Berke, N., & Diamond, S. (1997). *Steel corrosion in concrete: fundamentals and civil engineering practice*. CRC press.
6. Ahmad, S. (2003). Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction—a review. *Cement and concrete composites*, *25*(4-5), 459-471.
7. Goyal, A., Pouya, H. S., Ganjian, E., & Claisse, P. (2018). A review of corrosion and protection of steel in concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *43*, 5035-5055.
8. ACI Committee 222, Corrosion of Metals in Concrete. (2001). Protection of metals in concrete against corrosion. American Concrete Institute.
9. Helal, J., Sofi, M., & Mendis, P. (2015). Non-destructive testing of concrete: A review of methods. *Electronic Journal of Structural Engineering*, *14*(1), 97-105.
10. ASTM. (2004). Standard Test Method for Visual Rating of Appearance of Resilient Floors After In-Service Exposure to Foot Traffic (F1037). Accessed 2023 September 10. Available from: www.astm.org.
11. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. (2551). มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2566. ได้จาก: www.dpt.go.th.
12. ASTM. (2022). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete (C876). Accessed 2023 September 10. Available from: www.astm.org.
13. AASHTO TP 95 Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. Accessed 2023 September 10. Available from: www.transportationorg.
14. Polder, R. B. (2001). Test methods for onsite measurement of resistivity of concrete—a RILEM TC-154 technical recommendation. *Construction and building materials*, *15*(2-3), 125-131.
15. Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.
16. ASTM. (2013). Standardization News Surface Resistivity Testing of Concrete (WK37880). Accessed 2023 September 10. Available from: www.astm.org.
17. Sørensen H.E., Frølund T. (2002) *Monitoring of Reinforcement Corrosion in Marine Concrete Structures by the Galvanostatic Pulse Method*, Proceedings of International Conference on Concrete in marine Environments, Hanoi-Vietnam, October 2002.
18. BA 35/90: "The Inspection and Repair of Concrete Highway Structures", Design Manual for Roads and Bridges, British Departmental Advice Note, Vol. 3, Sec. 3, (1990).
19. BA 63/94: "Inspection of Highway Structures", Design Manual for Roads and Bridges, British Departmental Advice Note, Vol. 3, Sec. 1, Part 5, (1994).

ความปลอดภัยทางไซเบอร์ของไมโครกริด

Cyber Attacks of Microgrid

ศตวรรษ เมืองชื่น[1*] และ จงลักษณ์ พาหะซา[1]

Satawat Muangchuen[1*] and Jonglak Pahasa[1]

บทคัดย่อ

ความสำคัญของการพิจารณาความปลอดภัยของไมโครกริดกำลังมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากการเชื่อมต่อของไมโครกริดมีช่องโหว่ทางไซเบอร์ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล และการพึ่งพาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร (Information and Communications Technology : ICT) ที่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันที่มีไมโครกริดเริ่มเข้ามามีบทบาทที่เพิ่มขึ้นในการสร้างไมโครกริดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต บทความนี้กล่าวถึงแนวทางที่มีอยู่ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยที่จะถูกโจมตีทางไซเบอร์ในระบบไฟฟ้า จากมุมมองของไมโครกริด ในขั้นแรก เริ่มต้นด้วยการทบทวนเชิงพรรณนาโดยย่อของคำศัพท์ที่ใช้บ่อยที่สุดในวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องล่าสุด ตามด้วยการนำเสนอความพยายามในการศึกษาไมโครกริดล่าสุดที่ได้รับการเผยแพร่เพื่อช่วยให้กำหนดทิศทางการวิจัยในอนาคตที่เหมาะสมจากหลายสาขา

คำสำคัญ: ความปลอดภัยทางไซเบอร์, ไมโครกริด, การโจมตีทางไซเบอร์

Abstract

The importance of microgrid security considerations is becoming increasingly important. This is because microgrid connections are subject to cyber vulnerabilities arising from digital transformation and increased reliance on information and communications technology (ICT) systems. Especially now that microgrids are starting to play an increasing role in building the microgrid that will occur in the future. This article discusses existing guidelines regarding security against cyberattacks in power systems from the perspective of a microgrid system. The first step begins with a brief descriptive review of the most frequently used terms in the recent relevant literature. This is followed by a presentation of recent published microgrid study efforts to help determine appropriate future research directions from many fields.

Keywords: cyber security, microgrid, cyber-attacks

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] School of Engineering, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author e-mail: Satawat.Muangchuen@gmail.com

บทนำ

ความมั่นคงในระบบไฟฟ้าไม่เพียงมีแค่เรื่องระบบการผลิต ส่ง จ่ายเท่านั้น ยังเกี่ยวข้องกับการสื่อสารของอุปกรณ์ในระบบ เพื่อให้ระบบมีความสมดุลระหว่างระบบการผลิต และโหลด นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงคุณภาพทางไฟฟ้าด้วย ซึ่งความปลอดภัยทางไซเบอร์ก็เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเมื่อเทคโนโลยีถูกประยุกต์ใช้มากขึ้น และในไมโครกริดมีความซับซ้อนของภาคพลังงานเพิ่มขึ้น จึงได้มีการปรับปรุงโครงข่ายไฟฟ้าให้ทันต่อการขยายตัวของโหลด และพัฒนาระบบให้เกิดความสมาร์ทขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

การส่งจ่ายพลังงานแบบสองทิศทาง และการติดตามการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าโดยอุปกรณ์ประเภทต่างๆ ภายในไมโครกริดเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ การบริหารจัดการทรัพยากรหมุนเวียน ร่วมกับเทคโนโลยีการจัดการแบบกระจายอัจฉริยะ [1,2] เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้ระบบสามารถรองรับเทคโนโลยีที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในอนาคต [1,2] ไมโครกริดสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานและความสูญเสียทางไฟฟ้า โดยการกำหนดราคาตามเวลา [3] การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า และราคาค่าไฟฟ้าจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการตัดสินใจของผู้ให้บริการพลังงาน ไมโครกริดยังมีความซับซ้อนของในการจัดการโครงข่ายพลังงาน มีความท้าทายในการจัดการข้อมูลของระบบการสื่อสาร และจะต้องรองรับกับแนวโน้มการสื่อสารแบบใหม่ ที่มีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์อัจฉริยะมากขึ้น และการประยุกต์ยังต้องรองรับกับระบบงานเดิมที่ใช้งานกันอยู่ (legacy systems) [4] และที่สำคัญต้องมีการป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์ [5]

การพัฒนาไมโครกริดเริ่มเมื่อปี 2005 ในทวีปยุโรป ได้กำหนดแผนพัฒนาเทคโนโลยีไมโครกริดในปี 2020 [2] นอกจากนี้ยังมีอีกหลายๆ โครงการที่ได้พัฒนาพื้นที่ทดสอบไมโครกริด เพื่อเพิ่มศักยภาพที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของระบบนี้ ยังมีรายละเอียดทางเทคนิคในแต่ละโครงสร้างระบบที่แตกต่างกัน รวมถึงผลกระทบทางด้านสังคม และเศรษฐศาสตร์ ยังคงเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญต่อไป [6] แนวทางในการเรียนรู้ และแก้ไขปัญหาในการพัฒนาไมโครกริด เน้นการประสานงานของโครงข่าย พร้อมกับรักษาเสถียรภาพของไมโครกริด ในอนาคตจะเป็นการรวมตัวของไมโครกริดหลายตัวเข้าด้วยกัน เพื่อตรวจสอบ และควบคุมผ่านการสื่อสารที่เชื่อถือได้ ดังนั้นจึงมีการให้ความสนใจในการศึกษาไมโครกริดเพิ่มขึ้น [7] แม้ว่าการพึ่งพากันกันระหว่างไมโครกริดจะมีความซับซ้อนก็ตาม

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาโครงสร้าง และแนวคิดเกี่ยวกับความปลอดภัยทางไซเบอร์ของไมโครกริด เริ่มตั้งแต่การโจมตีที่มุ่งเป้าไปกับอุตสาหกรรม การรักษาความปลอดภัยทางไซเบอร์ด้านพลังงาน จุดอ่อนของระบบเครือข่าย การควบคุมไมโครกริดภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ การสื่อสารในไมโครกริด การวิเคราะห์ผลกระทบการโจมตีทางไซเบอร์ โครงสร้างการควบคุมที่ใช้ในไมโครกริด การควบคุมอัตโนมัติเพื่อป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์ และส่วนสุดท้ายการทดสอบแบบการจำลองร่วม จากมุมมองที่แตกต่างกัน

วิธีการศึกษา

1. การโจมตีทางไซเบอร์ที่เกิดกับอุตสาหกรรม

ในศตวรรษที่ 21 ได้เริ่มเห็นเหตุการณ์ทางไซเบอร์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นฐาน ความซับซ้อนของการโจมตีทางไซเบอร์ในระบบควบคุมอุตสาหกรรม (Industrial Control Systems : ICS) เผยให้เห็นระดับความชำนาญของผู้โจมตีระบบควบคุม [8] การเชื่อมต่อโครงข่ายอินเทอร์เน็ตของไมโครกริดทำให้เกิดอันตรายในรูปแบบต่างๆ

Stuxnet เป็นมัลแวร์คอมพิวเตอร์ ที่ใช้ในการโจมตีระบบควบคุม และโปรแกรมควบคุมการทำงานอุตสาหกรรม (ICS) ซึ่งใช้ในระบบส่งน้ำในอุตสาหกรรม หรือระบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรม มัลแวร์นี้เป็นหนึ่งในการโจมตีทางไซเบอร์ที่มีความซับซ้อน และรุนแรงที่สุดที่เคยรู้จัก มีจุดประสงค์เพื่อทำลายหรือยับยั้งระบบ

ควบคุม และการควบคุมในโรงงานหรืออุตสาหกรรม โดยเฉพาะในกรณีของ Stuxnet เป็นการโจมตีที่เน้นยับยั้งการทำงานของโรงงานนิวเคลียร์ในอิหร่านในปี 2010 และถูกค้นพบว่ามีส่วนผู้บุกรุกสร้างมาอย่างมืออาชีพเพื่อทำลายระบบนั้นๆ โดยมีความเฉพาะเจาะจงสูง และใช้ช่องโหว่ความปลอดภัยที่เรียกว่า "zero-day" เพื่อเข้าถึงระบบ และเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิ และแรงดันที่สำคัญในโรงงานนิวเคลียร์ ทำให้เกิดความเสียหาย และเกิดความร้อนในการดำเนินงานของโรงงานนั้น [9] Duqu เป็นมัลแวร์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากระบบเป้าหมาย โดยส่งข้อมูลนี้ไปยังผู้บุกรุก เป้าหมายหลักของ Duqu คือการจัดการข้อมูลที่สำคัญและการสร้างโปรไฟล์ผู้ใช้เพื่อใช้ในการโจมตีต่อไป โดยที่ไม่ทำลายระบบเป้าหมาย และ Flame เป็นมัลแวร์ที่ซับซ้อนมาก มีวัตถุประสงค์ในการแอบโจรกรรมทางไซเบอร์ การระบาดของมัลแวร์นี้เหมือนใยแมงมุม เพราะมีความสามารถในการจัดการข้อมูลที่รวบรวมได้ และการร่วมมือกับอื่น ๆ ในการคุกคามบนเครือข่าย ทั้ง Duqu และ Flame เป็นมัลแวร์ที่ซับซ้อนเพื่อการโจมตีทางไซเบอร์ที่มุ่งเน้นที่ระบบควบคุมอุตสาหกรรม แม้ว่าความสัมพันธ์ของมัลแวร์เหล่านี้กับ Stuxnet ยังไม่ชัดเจน แต่มัลแวร์เหล่านี้ได้รับความสนใจจากนักวิจัย และผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยทาง-ไซเบอร์ในระดับโลกเนื่องจากความซับซ้อน และความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการโจมตีทางไซเบอร์ในระดับอุตสาหกรรม [10] DoS (Denial of Service) Attack คือการโจมตีที่จัดทำขึ้นเพื่อทำให้บริการหรือแหล่งทรัพยากรต่างๆ ไม่สามารถให้บริการได้ตามปกติ โดยทำให้ระบบหรือเครื่องไม่สามารถรับหรือประมวลผลคำขอจากผู้ใช้ได้ เป้าหมายหลักของ DoS Attack คือการทำให้บริการไม่สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ที่ถูกต้อง ซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้ไม่สามารถเข้าถึงบริการออนไลน์ที่ถูกโจมตีได้ การโจมตีประเภทนี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การส่งคำขอมากมายไปยังเครื่องบริการเพื่อเกินความจุของระบบ การโจมตีด้วยการใช้ช่องโหว่ของระบบ หรือการทำให้เครื่องหรือเครือข่ายหยุดทำงานโดยการเน้นที่ทรัพยากรที่สำคัญ การป้องกัน DoS- Attack มักจะเน้นที่การใช้เทคโนโลยีและมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสม เช่น การใช้วิธีการกรองแพคเก็ตการตั้งค่า Firewalls และการตรวจจับการโจมตีที่เป็นไปได้

ในเดือนธันวาคม 2015 มีการโจมตีทางไซเบอร์ที่เกิดขึ้นในยูเครนทำให้มีการดับไฟฟ้าบริเวณกว้าง และกระทบลูกค้าประมาณ 225,000 ราย การโจมตีนี้เกี่ยวข้องกับโทรจัน รุ่นใหม่ที่ชื่อว่า Disakil ตามรายงานจากบริษัทพลังงาน สถาบัน SANS และ Electricity Information Sharing and the Analysis Center (E-ISAC) ปัญหาเริ่มต้นมาหลายเดือนก่อนการโจมตีจริง โดยการติดตั้งมัลแวร์ผ่านการโจมตีแบบฟิชชิ่งทางอีเมล ในระหว่างช่วงเวลานี้ แฮกเกอร์ได้ตรวจสอบ และเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีค่าเกี่ยวกับการทำงานของระบบในระหว่างสิ่งที่เรียกว่าระยะการลาดตระเวน (reconnaissance) ในวันที่เกิดเหตุ ผู้โจมตีได้เข้าควบคุม Human Machine Interface (HMI) และตัดไฟฟ้าโดยเปิดเบรกเกอร์ตามจำนวนที่กำหนดเพื่อสกัดกั้นการกู้คืนบริการ โดยใช้การโจมตีแบบปฏิเสธการบริการ (DoS) บนเครือข่ายการสื่อสาร และปิดกั้นการรายงานปัญหาจากลูกค้าผ่านสายโทรศัพท์แบบคลาสสิก นอกจากนี้ มีการใช้มัลแวร์ที่สามารถจดจำซอฟต์แวร์ระบบได้เพื่อบล็อกแอปพลิเคชันที่กำหนดขอบเขตการหยุดทำงาน [11,12]

2. การรักษาความปลอดภัยทางไซเบอร์ด้านพลังงาน

สำนักงานพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ให้คำนิยามความมั่นคงด้านพลังงานว่าเป็น "แหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างต่อเนื่องในราคาที่เหมาะสม" ซึ่งการรักษาความปลอดภัยด้านพลังงานสามารถดำเนินการในระดับพื้นฐาน 2 ระดับ คือ

1. การรักษาความปลอดภัยระยะสั้น เน้นในเรื่องของเสถียรภาพของการจัดหาและการใช้งานอุปสงค์และอุปทานในระยะสั้น นั่นหมายถึงการให้ความสำคัญกับการให้พลังงานอย่างเหมาะสมและมีความเพียงพอในระยะเวลาสั้น ๆ เพื่อให้ระบบพลังงานสามารถทำงานได้ตลอดเวลาโดยไม่มีขาดขาด

2. การรักษาความปลอดภัยในระยะยาว เน้นไปที่การลงทุนและมาตรการที่สนับสนุนข้อกำหนดทางเศรษฐกิจและการพัฒนาที่ยั่งยืนในระยะยาว เช่น การพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนและความยืดหยุ่นในระบบพลังงานเพื่อให้ระบบสามารถปรับตัวให้รองรับการเปลี่ยนแปลงกะทันหันของโหลดกริด และเงื่อนไขสภาพแวดล้อม

ไมโครกริดมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มขึ้นจึงมีการกำหนดมาตรฐาน IEEE 2030-2011 โดยเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างพื้นฐานที่ทำงานร่วมกันได้ 3 แบบ ดังภาพที่ 1 การพึ่งพาซึ่งกันทำให้ปัญหาด้านความปลอดภัยมีความซับซ้อนขึ้น ควบคู่ไปกับการสร้างวิธีการใหม่ และฉลาดขึ้นในการรักษาความปลอดภัยในไมโครกริด



ภาพที่ 1 โครงสร้างไมโครกริดที่ถูกออกแบบ และสร้างตามมาตรฐาน IEEE 2030

การประเมินความปลอดภัยที่ศึกษาในปัจจุบันมุ่งเน้นไปที่การระบุช่องโหว่ที่อาจเกิดขึ้นจากชั้นไซเบอร์ และการวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับระบบพลังงาน ซึ่งก่อให้เกิดขอบเขตการวิจัยใหม่ที่เรียกว่าความปลอดภัยทางไซเบอร์ เป็นการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกันระหว่างทางกายภาพ และการคำนวณ โดยความมั่นคงทางกายภาพจะทำงานในระบบพื้นฐานที่สำคัญ และความมั่นคงทางไซเบอร์ มีหน้าที่ในการเพิ่มการสำรวจและประมวลผล และยังมีการพัฒนาอุปกรณ์ และแอปพลิเคชัน [13] ขึ้นในระบบ หลักการความปลอดภัยที่สำคัญที่สุด คือ การสื่อสารและการโอนข้อมูลในระบบเครือข่ายเรียกว่า CIA-triad ประกอบด้วย

Confidentiality หมายถึงการรักษาข้อมูลให้เป็นความลับ และปกป้องไม่ให้ถูกเปิดเผยหรือเข้าถึงโดยบุคคลหรือองค์กรที่ไม่มีสิทธิ์ นั่นคือความมั่นใจในการรักษาความลับของข้อมูลที่ได้รับมอบหมาย สำคัญอย่างยิ่งในหลายสถานการณ์ เช่น ในธุรกิจ การแพทย์ และกลุ่มงานที่เกี่ยวกับข้อมูลที่มีความลับ การละเมิดอาจทำให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงต่อองค์กรหรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง

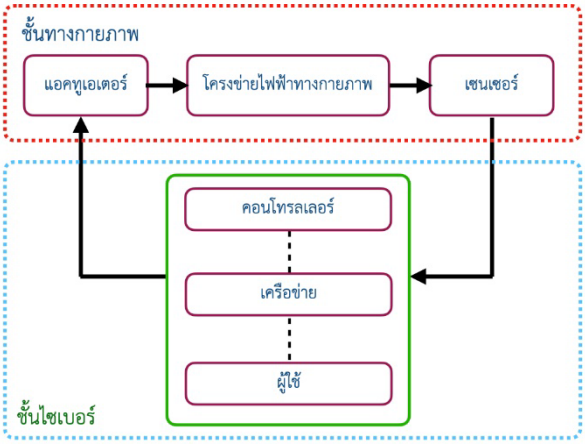
Integrity หมายถึงความซื่อสัตย์และความเป็นธรรมของบุคคลหรือองค์กร การทำตามมาตรฐานทางวินัยทางจริยธรรม และความสมบูรณ์ทางจริยธรรม เน้นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงหรือทำลายข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาตขณะที่ข้อมูลถูกโอนหรือเก็บรักษา เพื่อรักษาความถูกต้องของข้อมูล

Availability หมายถึงความพร้อมให้บริการหรือทราบในทุกขณะที่มีความต้องการ ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญของความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลและระบบ ในบริบทของเทคโนโลยีและระบบสารสนเทศ availability นั่นคือความสามารถให้บริการหรือให้ใช้ข้อมูลหรือทรัพยากรต่างๆ ได้ตลอดเวลา เป็นสิ่งสำคัญเพราะหากมีปัญหาเกี่ยวกับความพร้อมให้บริการ องค์กรหรือระบบอาจประสบกับปัญหาในการดำเนินกิจกรรมปรกติ สูญเสียข้อมูลหรือมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ มักถูกนำเสนอในรูปแบบของระยะเวลาที่ระบบพร้อมให้บริการ และระยะเวลาที่ระบบไม่สามารถให้บริการได้

หลักการเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญของความปลอดภัยข้อมูลในระบบเครือข่าย IT เป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันข้อมูล เพื่อให้การทำงานของระบบและการสื่อสารเป็นปกติ ความมั่นคงของไมโครกริดถูกสร้างขึ้นโดยใช้หลักการเดียวกันกับที่กล่าวมาข้างต้น แต่มีความแตกต่างในลำดับความสำคัญ โดยให้ความสำคัญกับความพร้อม

การใช้งานมากที่สุด รองลงมาคือประสิทธิภาพ ความรับผิดชอบ และความลับของข้อมูล โดยมีการอ้างถึงความรับผิดชอบเป็นเกณฑ์ความมั่นคงเพิ่มเติมด้วย [14] ระบบการป้องกัน ที่ควบคุมความปลอดภัยใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์เพื่อป้องกัน และควบคุมการเข้าถึงไม่พึงประสงค์หรือไม่มีสิทธิ์เข้าถึงในพื้นที่หรือระบบที่มีความลับหรือสำคัญหรือที่เรียกว่า Electronic Security Perimeter (ESP) ส่วนใหญ่เน้นการใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เช่น firewall intrusion detection systems virtual private-networks (VPN) และการใช้ encryption เพื่อปกป้องข้อมูลและระบบต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกับโครงสร้างนั้น มีไวรัส การบุกรุก หรือการเข้าถึงที่ไม่พึงประสงค์เป็นต้นคือภัยคุกคามที่ ESP จะต้องป้องกัน การสร้าง ESP เป็นส่วนสำคัญในการดูแลความปลอดภัยของระบบและข้อมูลในโลกดิจิทัล

การโจมตีทางไซเบอร์ต่อระบบกายภาพ (Cyber-Physical Systems : CPS_s) มีความหลากหลายซึ่งอาจถูกเรียกชื่อในมุมมองที่แตกต่างกัน เช่น Bias Injection Zero Dynamics DoS การโจมตีแบบดักฟัง การโจมตีแบบซ้ำ การโจมตีแบบซ่อนเร้น การโจมตีแบบแอบแฝง และการโจมตีการส่งข้อมูลเท็จไดนามิก [16] แต่การโจมตีเหล่านี้สามารถป้องกันได้โดยทำได้ตามเกณฑ์ความปลอดภัยตามรูปแบบของการโจมตีทางไซเบอร์ที่แสดงในภาพที่ 2 ตามต้องการความรักษาความปลอดภัยของระบบ การจัดประเภทการโจมตีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับผลกระทบที่มีต่อเกณฑ์ความปลอดภัยนี้ ซึ่งจะช่วยในการเข้าใจ และจัดการกับการโจมตีทางไซเบอร์อย่างเหมาะสม [16]



ภาพที่ 2 รูปแบบของการโจมตีทางไซเบอร์

การศึกษานี้เน้นการโจมตีทางไซเบอร์ที่เกิดขึ้นอย่างร้ายแรง ซึ่งไม่เพียงแค่มีผลกระทบทางด้านเทคนิคเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบทางเศรษฐกิจ และมีผลกระทบเป็นวงกว้างในระบบไฟฟ้า รูปแบบการโจมตีเริ่มต้นจากการแก้ไขข้อมูลเครื่องวัด หรือควบคุมการใช้งานโหลดในอนาคต และสร้างความเสียหายกับอุปกรณ์ หรือเกิดไฟฟ้าดับเป็นวงกว้าง [17] วิธีการดังกล่าวนั้นมีความซับซ้อน เพราะต้องพิจารณาข้อกำหนดทางกายภาพของระบบและสถานะของระบบไฟฟ้าที่มีการป้องกันแบบร่วมสมัย ผู้โจมตีจึงต้องมีความรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของระบบ และสมรรถนะของคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในการโจมตี [18] อย่างไรก็ตามกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าวมีส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

1. การพัฒนามาตรการตรวจจับ และจัดการ เป็นการพัฒนามาตรการที่สามารถตรวจจับการโจมตีที่เป็นอันตราย และจัดการกับสาเหตุของการติดไวรัสในระบบ เป็นส่วนสำคัญของกลยุทธ์อาจรวมถึงการตรวจสอบรายการกิจกรรมในเครือข่ายเพื่อระบุแนวโน้มของการโจมตี หากพบความผิดปกติหรือการรุกเข้ามา ก็จะทำการแยกสาเหตุของการโจมตี นอกจากนี้ยังมีมาตรการป้องกัน และตอบสนองที่เข้มงวดเพื่อป้องกันไม่ให้ฝ่ายตรงข้ามเข้าถึงระบบได้

2. ความสามารถในการฟื้นตัวทางไซเบอร์ เป็นการวางแผน และเตรียมความพร้อมที่ระบบไซเบอร์จะได้รับการโจมตี และอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการกู้คืนจากการโจมตีเหล่านี้ให้มีอย่างรวดเร็วเป็นส่วนสำคัญของวิธีการนี้ ซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถกู้คืน และทำงานอย่างปกติใหม่โดยรวดเร็วในกรณีเหตุการณ์ไม่คาดคิดทางไซเบอร์

ความแตกต่างระหว่างการรักษาระบบให้ปลอดภัย และความเรียบง่ายในการเข้าใจการทำงานของระบบเป็นปัญหาที่สำคัญในการออกแบบ และดำเนินการในระบบพลังงานแบบอัจฉริยะ การทำให้ระบบปลอดภัยอาจต้องใช้มาตรการความปลอดภัยที่ซับซ้อนเพื่อป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์ ทำให้ระบบมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น แต่ในระยะยาว การทำให้ระบบมีความเรียบง่ายในการเข้าใจและดำเนินการนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญเพื่อให้ผู้ใช้สามารถรับรู้และปรับตัวต่อการทำงานของระบบได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการออกแบบความปลอดภัยควรพิจารณาความเรียบง่ายในการดำเนินการ และการเข้าใจระบบเช่นกัน โดยปรับสมดุลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและคุ้มค่าสำหรับการดำเนินการในระบบพลังงานอัจฉริยะในระยะยาว การคำนึงถึงหลักการทั้งสองนี้เป็นสิ่งสำคัญในด้านความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพในระบบพลังงานแบบอัจฉริยะ

3. จุดอ่อนของระบบเครือข่าย

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า และการเชื่อมโยงระหว่างการผลิตกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้บริโภค มีบทบาทสำคัญในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้งาน ระบบนี้มักถูกออกแบบเพื่อให้การส่งพลังงานเป็นไปในทิศทางเดียว ผู้ที่ดูแลระบบต้องรับมือกับการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะในระดับแรงดันไฟฟ้าที่ระหว่างระดับปานกลางถึงระดับต่ำ ความเปลี่ยนแปลงของพลังงานในระบบเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การเพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน การใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้า เช่น ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ หรือการเปลี่ยนแปลงในการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยผู้บริโภค ผู้ดำเนินการระบบจำหน่ายจะต้องรักษาเสถียรภาพ และวางแผนเพื่อให้ระบบไฟฟ้ายังคงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปลอดภัยในสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ นี่คือปัจจัยสำคัญในการพัฒนาระบบพลังงานแบบอัจฉริยะที่สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความยืดหยุ่นในการดำเนินงานในสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงได้ [6]

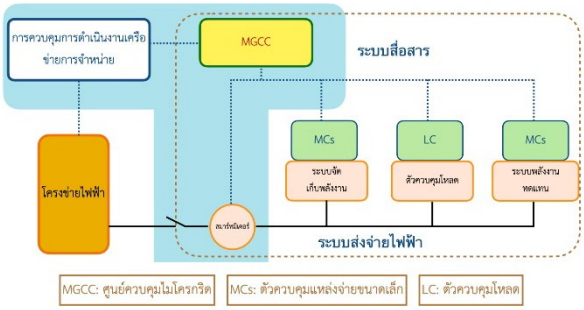
การประยุกต์ใช้ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System : EMS) ในระบบส่งไฟฟ้า และการประยุกต์ใช้ EMS ในระดับการจำหน่ายไฟฟ้ามีความแตกต่างกัน ในระบบส่งไฟฟ้าถูกใช้ในช่วงต้นทศวรรษ 1970 เพื่อจัดการ และควบคุมการผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบส่งไฟฟ้า โดยเน้นการควบคุมกระบวนการผลิตไฟฟ้าให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และปลอดภัยในเวลาเดียวกัน มักใช้เทคโนโลยี และแนวทางด้านวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบส่งไฟฟ้า ในทางกลับกันการประยุกต์ใช้ EMS ในระดับการจำหน่ายไฟฟ้าไม่ได้มีการใช้บ่อย เป็นเพราะระบบการจัดการพลังงานในระดับการจำหน่ายมีความซับซ้อนที่แตกต่างจากระบบส่งไฟฟ้า การจัดการพลังงานในระดับการจำหน่ายเน้นการจัดส่งพลังงานไฟฟ้าจากหลายแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้งาน และมีการควบคุม จัดการกับการจำหน่าย และการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้บริโภค [19] เป็นการใช้เทคโนโลยีเพื่อรวมทรัพยากรพลังงานจากแหล่งต่าง ๆ และการให้บริการพลังงานแก่ผู้ใช้ในลักษณะที่ยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพ เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมจากแหล่งในพื้นที่ใกล้เคียงผู้ใช้งาน นอกจากนี้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานแบบสมาร์ท และการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นกำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน ทั้งนี้การนำเทคโนโลยีมาใช้ในการแก้ปัญหาด้านพลังงาน และการจัดการทรัพยากรที่กระจายตัวได้ทั้งหมดเป็นแนวโน้มที่มีการวิจัย และพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างสิ่งจูงใจในการสร้างโซลูชันที่ยั่งยืน มีประสิทธิภาพสำหรับการจัดการพลังงานในอนาคต [5]

ความยืดหยุ่นในการผลิตไฟฟ้า และจัดส่งในระบบไฟฟ้าแบบกระจาย โดยส่วนใหญ่จะเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้งานแบบที่สามารถควบคุมการเปิด และปิดเพื่อตรงกับความต้องการของเครือข่ายไฟฟ้าในเวลาที่ต่างกัน โดยเฉพาะในช่วงที่มีความต้องการสูงหรือข้อมูลจากระบบ EMS หรือระบบควบคุมไฟฟ้าส่วนกลางแสดงว่ามีความต้องการเพิ่มการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การใช้ Distributed Generation (DG) นี้เป็นทางเลือกที่มีประโยชน์ในช่วงที่มีความต้องการพลังงานสูง และช่วยลดความเครียดในระบบไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามการจัดการ และควบคุมการใช้ DG ให้มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ารวมถึงให้ความยืดหยุ่นประสิทธิภาพในการผลิต และส่งพลังงานไฟฟ้าให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [19]

4. การควบคุมไมโครกริดภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์

เพื่ออธิบายแนวคิดของไมโครกริด [20,21] เชื่อว่าไมโครกริดเป็นทางออกที่ดีที่สุดสำหรับการบูรณาการและการควบคุมที่เชื่อถือได้ของระบบพลังงานแบบกระจาย (Distributed Energy Resources : DER) รวมถึงระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System : ESS) และโหลดที่ควบคุมได้ [22] ในทำนองเดียวกัน [23,24] ไมโครกริดถูกมองว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการบูรณาการพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่จำนวนมาก แต่ยังคงไม่ได้นำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากความไม่ยืดหยุ่นของเครือข่ายในปัจจุบัน นอกจากนี้ DER แต่ละตัวมักจะมีขนาดเล็กเกินไปซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไข

โครงสร้างของไมโครกริด มีความพยายามในการกำหนดค่าที่เป็นมาตรฐานของ Block Diagram ซึ่งยังไม่ประสบผลสำเร็จ [13,23] สิ่งสำคัญ คือ ต้องสังเกตว่าไมโครกริดสามารถปรับให้เข้ากับข้อกำหนดค่าต่าง ๆ และการปรับตามฟังก์ชันของข้อกำหนด ดังภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างทั่วไปสำหรับไมโครกริดสมัยใหม่ ไมโครกริดที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสร้างขึ้นเพื่อทำงานในโหมดเชื่อมต่อแบบอิสระ หรือโหมดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า อาจมีจุดเชื่อมต่อหนึ่งจุดหรือหลายจุด [8] ไมโครกริดแบบ stand-alone จะไม่มีจุดเชื่อมต่อร่วม (Point of Common Coupling : PCC) กับกริดหลัก [17]



ภาพที่ 3 โครงสร้างทั่วไปสำหรับไมโครกริดสมัยใหม่

ประสิทธิภาพในการทำงานของไมโครกริดจำเป็นต้องมีการวัด การสื่อสาร และการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งข้อมูลที่ได้ต้องอาศัยเครื่องมือวัดประเภท เซ็นเซอร์ แอคชูเอเตอร์ และอุปกรณ์ภาคสนามต่างๆ [16] ไมโครกริดเป็นระบบที่มีความไวสูง [13] ซึ่งในทางกายภาพจะได้รับผลกระทบอย่างมากเมื่อเครือข่ายของระบบไม่สมบูรณ์ เนื่องจากไม่มีการตรวจจับความปลอดภัย ด้วยเหตุนี้ผู้โจมตีจึงมีโอกาสมากขึ้นที่จะก่อกวนให้เกิดปัญหาร้ายแรงในไมโครกริด ซึ่งนำไปสู่ความเสียหายจากการโจมตี [25] การรักษาความปลอดภัยของไมโครกริดในการโจมตีทางไซเบอร์ต่อระบบไฟฟ้ามักจะถือว่าการโจมตีเหล่านี้เป็นสัญญาณรบกวน ดังนั้นจึงมีความพยายามที่กำจัดการรบกวนเหล่านี้โดยใช้เทคนิคการกรอง [26,27] อย่างไรก็ตาม เทคนิคเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสถิติ ซึ่งจะสูญเสียประสิทธิภาพเมื่อเผชิญกับการโจมตีที่มีการปรับแต่งเพิ่มเติม [11]

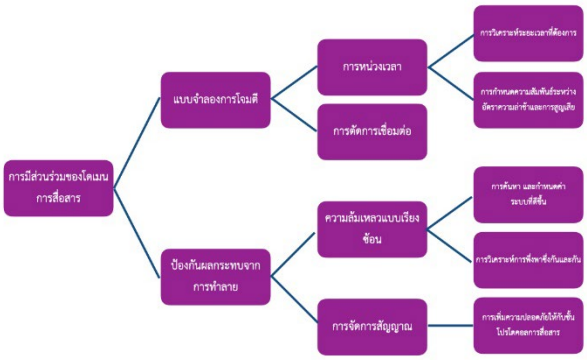
5. การสื่อสารในไมโครกริด

เครือข่ายการสื่อสารของไมโครกริดถือเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลให้มีประสิทธิภาพ การควบคุมระบบแบบกระจาย และแบบอิสระ สถานะของเครือข่าย ปัญหาการสื่อสารในไมโครกริด มักมาจากเทคโนโลยีการสื่อสารที่ต่างประเภทกัน [13] การสื่อสารบนอินเทอร์เน็ตมีการใช้งานเพิ่มขึ้น ซึ่งเสี่ยงต่อการถูกโจมตีทางไซเบอร์มากแต่ก็ยังจำเป็นที่ยังต้องใช้เครือข่ายเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์เครื่องมือวัดในไมโครกริด เช่น ข้อมูลพยากรณ์อากาศ ราคาเชื้อเพลิง ชั่วโมงเร่งด่วน [13]

ในอีกด้านหนึ่งการตรวจจับการบุกรุก ไฟร์วอลล์ พื้นฐานในการรักษาความปลอดภัยแบบดั้งเดิมสามารถประยุกต์ใช้ในการป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์ในไมโครกริดได้ [28] มีจำลองเครือข่ายการสื่อสารที่ถูกโจมตีของระบบไฟฟ้า และพยายามทำการจำลองการโจมตีเป็นการหน่วงเวลาภายในรอบการควบคุม [29] การตรวจสอบความล่าช้าในการสื่อสาร ซึ่งอาจเกิดปัญหาความไม่เสถียรของระบบ ได้มีการนำเสนอแนวทางการควบคุมโดยใช้สัดส่วน–ปริพันธ์ (PI) ที่จะควบคุมความถี่ ซึ่งสามารถใช้ได้ในไมโครกริด

อย่างไรก็ตาม สมมติฐานลักษณะของผลกระทบจากการโจมตีนั้นมีความเรียบง่ายเกินไป [30,31] ไมโครกริดยังมีอัตราความล่าช้าระหว่างแหล่งที่มาทำให้เกิดความล่าช้าของเครือข่าย [32] การนำปัญหาการสื่อสารไปสู่ขอบเขตที่ใหญ่ขึ้น Cyber–Physical Power System (CPPS) [33] สิ่งที่เป็นการกำหนดค่าการสื่อสารที่ดีกว่าในแง่ของการป้องกันความล้มเหลวแบบเรียงซ้อน ในการเปรียบเทียบ โดยขึ้นอยู่กับค่าขีดจำกัดประสิทธิภาพการส่งข้อมูล พวกเขาพบว่าเครือข่ายการสื่อสารแบบ Double–Star ทำงานได้ดีกว่าเครือข่ายการสื่อสารแบบ Networks

การป้องกันความล้มเหลวแบบเรียงซ้อนใน CPPS เป็นเรื่องที่มีความสำคัญในการควบคุม และความปลอดภัยของระบบพลังงานที่เชื่อมต่อกันผ่านเครือข่าย การวิเคราะห์กลไก และลักษณะไดนามิกที่ครอบคลุมของเครือข่ายที่พึ่งพาซึ่งกันและกัน ความสัมพันธ์การเชื่อมต่อระหว่างระบบไฟฟ้า และระบบสื่อสารมีความสำคัญในการป้องกันการล้มเหลวแบบเรียงซ้อน การเสนอแบบจำลองที่พึ่งพาซึ่งกันและกันแบบใหม่ด้วยรูปแบบการเชื่อมโยงแบบ "มุมทางไฟฟ้า" พบว่าแบบจำลองนี้มีประสิทธิภาพในการลดความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ไฟดับเป็นวงกว้างที่เกิดจากการโจมตีแบบสุ่ม และในกรณีของการโจมตีที่เป็นอันตราย เอาต์พุตการจำลองเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า และการสื่อสารแสดงถึงความสำคัญของความแข็งแกร่งของการเชื่อมต่อระหว่าง ระบบไฟฟ้ามากกว่าการเลือกแบบจำลองที่พึ่งพาซึ่งกันและกัน เนื่องจากระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบสื่อสารมีความเสี่ยงมากกว่าในกรณีที่ระบบสื่อสารน้อยลง การป้องกันความล้มเหลวในระบบไฟฟ้าทางกายภาพเป็นสิ่งสำคัญเพื่อความปลอดภัยและเสถียรของระบบไฟฟ้านี้



ภาพที่ 4 แสดงกลไก และแนวทางในการต่อต้านการแทรกแซงทางไซเบอร์ในโดเมนการสื่อสาร

ใน [34] การวิเคราะห์ช่องโหว่ได้เจาะลึกลงไปในโครงสร้างเฟรมเวิร์ก IEEE C37.118 ไปยังส่วนประกอบที่อ่อนแอที่สุด ซึ่งก็คือชั้นโปรโตคอลการสื่อสาร ในขณะที่วิเคราะห์ความอ่อนไหวของสองโปรโตคอลที่ใช้กันทั่วไปในชั้นการสื่อสาร เช่น Transmission control Protocol (TCP) และ User Datagram Protocol (UDP) ต่อการโจมตี DoS และ FDI จึงได้สรุปข้อกำหนดที่จะใช้ในการสร้างการบุกรุกทางไซเบอร์ตลอดจนการป้องกัน ดังภาพที่ 4 แสดงสรุปแนวทางที่นำเสนอซึ่งอธิบายกลไก และแนวทางที่พิจารณาในการต่อต้านการแทรกแซงทางไซเบอร์ในการสื่อสาร

6. การวิเคราะห์ผลกระทบการโจมตีทางไซเบอร์

การพิสูจน์ว่าขั้นตอนทางกายภาพ และทางไซเบอร์สำหรับระบบไฟฟ้าไม่ได้เป็นเพียงการแก้ปัญหาที่จะเกิดปัญหาเท่านั้น แต่ยังมีความพยายามในด้านการประเมินผลกระทบ และการสร้างแบบจำลองภัยคุกคามเพื่อลดความเสี่ยงไม่ให้เกิดการโจมตีทางไซเบอร์ที่ทำให้เกิดเหตุการณ์จริง และความเสียหายทางกายภาพได้ดีขึ้น

ความเป็นไปได้ที่จะมีการโจมตีจริง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการโจมตีทางไซเบอร์ มีสองประเภทหลัก คือ การโจมตีความพร้อมใช้งาน และการโจมตีความถูกต้อง การโจมตีเหล่านี้เป็นอันตรายต่อระบบสารสนเทศ และระบบ Global Positioning System (GPS) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการทำงานของไมโครกริดในโหมดที่แตกต่างกัน เช่น โหมดการเชื่อมต่อ โหมดอิสระ และโหมดการเชื่อมต่อระหว่างไมโครกริด [18]

7. โครงสร้างการควบคุมที่ใช้ในไมโครกริด

ระบบควบคุมของไมโครกริดมีความแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน โครงสร้างของการควบคุมสามารถปรับแต่งตามความต้องการ และข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น ในโหมดเชื่อมต่อกับกริด ความถี่ และแรงดันไฟฟ้าถูกควบคุมโดยระบบไฟฟ้าหลักที่จุดเชื่อมต่อร่วม PCC การจัดการพลังงาน และการแบ่งโหลด การเปลี่ยนโหมดการทำงานระหว่างการเชื่อมต่ออิสระยังคงเป็นประเด็นสำคัญในระบบควบคุมของไมโครกริด โดยระบบควบคุมในพื้นที่รับผิดชอบสำหรับการควบคุมเสถียรภาพทั้งหมด โครงสร้างของการควบคุมนี้ยังจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของไมโครกริด

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเราสามารถสรุปได้ว่ากลยุทธ์การควบคุมหลัก และรองมีความสัมพันธ์ที่สำคัญกับความเสถียรในการทำงานของไมโครกริด นอกจากนี้ความสอดคล้องระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ก็มีบทบาทสำคัญในการควบคุม และประสานกันระหว่างไมโครกริด และระบบไฟฟ้าหลัก การประสานกันนี้มักถูกนำไปใช้โดยการควบคุมระดับสูงเพื่อให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีเสถียรภาพ [23] เดิมการควบคุมแบบกระจายเป็นวิธีการเพิ่มความสามารถในการปรับขนาด โดยจะแยกงานควบคุมระหว่างหน่วยต่างๆ แทนที่เพิ่มความสามารถในการคำนวณที่มากเกินไปเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ ความกระจัดกระจายของเครือข่ายการที่ใช้ในแผนการควบคุมแบบกระจายช่วยลดต้นทุนโครงสร้างพื้นฐาน [35] ไมโครกริดมีฟังก์ชันที่ฝังอยู่ในตัวควบคุมส่วนกลาง ซึ่งจะทำให้เกิดการประยุกต์ใช้ EMS ได้อย่างเหมาะสมที่สุด รวมถึงประสิทธิภาพเชิงเศรษฐกิจไปพร้อมๆ กับความพึงพอใจในข้อจำกัดในการปฏิบัติงานแบบเรียลไทม์

การเพิ่มประสิทธิภาพแบบกระจายได้รับแรงบันดาลใจจากปรากฏการณ์ทางชีววิทยา ระบบถูกออกแบบโดยใช้หลักการสื่อสารแบบเพียร์ทูเพียร์ ทำให้โมเดลนี้มีความยืดหยุ่น การควบคุมมีความเป็นได้อย่างมากในการควบคุมเสถียรภาพของการปรับสมดุลแรงดัน และความถี่

8. การควบคุมอัตโนมัติเพื่อป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์

ระบบควบคุมในไมโครกริดเป็นระบบที่มีความเสี่ยงต่อการโจมตีทางไซเบอร์ในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงการโจมตีด้วยการปฏิเสธบริการ และการโจมตีแบบการยับยั้งข้อมูล การโจมตีแบบธรรมดาสามารถตรวจจับ และ

ป้องกันได้ ผู้ป้องกันสามารถใช้วิธีการในการตรวจจับ และแยกแยะความผิดพลาดในระบบควบคุมหรือนำมาตรการป้องกันเบื้องต้นโดยการวางแผนความเสี่ยง และการวิเคราะห์ความมั่นคงปลอดภัย

การประเมินสถานะแบบคงที่ (Static State Estimator : SSE) นั้นมักถูกใช้ในการตรวจจับข้อมูลการวัดที่ไม่ถูกต้องในระบบส่งพลังงาน แต่ระบบนี้ก็ยังไม่ปลอดจากการโจมตี [37,38] การประเมินสถานะแบบเคลื่อนไหว (Dynamic State Estimation: DSE) เป็นสิ่งสำคัญสำหรับควบคุมไมโครกริดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีจำนวน DER และการปรับปรุงระบบเพิ่มขึ้น วิธีการประเมินสถานะแบบกระจาย เช่น ตัวคาดการณ์ข้อมูลอินพุตที่ไม่รู้ (Unknown Input Observer : UIO) สามารถใช้ในการตรวจจับการโจมตี FDI ในไมโครกริด [36] การเพิ่มปัจจัยความเสี่ยงร่วมกัน (Cooperative Vulnerability Factor : CVF) ในตัวควบคุมความถี่ทางไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจจับการโจมตีในไมโครกริด

ปัจจัยการป้องกันทางไซเบอร์ที่ใช้จะไม่เปลี่ยนแปลงในชั้นควบคุมกรรมวิธี (Secondary Distributed Control Layer) สามารถใช้ในการสร้างวิธีการตรวจจับที่สามารถตรวจจับการโจมตี FDI ในไมโครกริด [39] ประสิทธิภาพของการตรวจจับ และการป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์ในไมโครกริดสามารถพัฒนาโดยการนำเอาความรู้ทางปฏิบัติ และเทคโนโลยีทางไซเบอร์ล่าสุดมาใช้ในการป้องกันความเสี่ยง เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับระบบพลังงานให้มากที่สุด

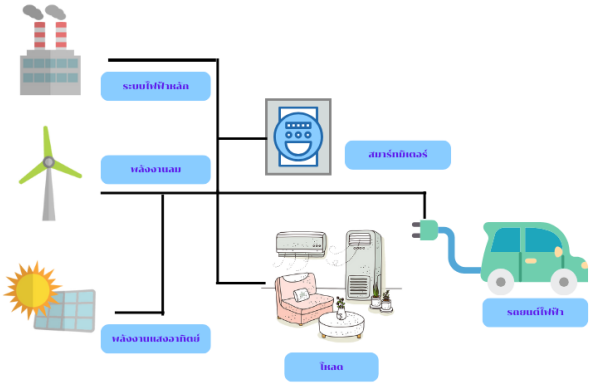
9. การทดสอบแบบการจำลองร่วม

การจำลองแบบ real-time เป็นวิธีที่มีความคุ้มค่าทางค่าใช้จ่ายสูงสุดสำหรับการศึกษาการทดลองในไมโครกริด การจำลองระบบพลังงานที่มีอุปกรณ์การสลับสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายที่มีความเร็วสูง การแทนองค์ประกอบทางไซเบอร์ด้านกายภาพมีความยากลำบาก เนื่องจากความแตกต่างของระบบพลังงาน และระบบสื่อสาร การเชื่อมต่อซอฟต์แวร์จำลองแยกกันเพื่อรวมคุณสมบัติของทั้งสองระบบต้องมีการประสานงานและการแลกเปลี่ยนข้อมูล การเข้าใจเกี่ยวกับการทดลองที่มีอยู่ ข้อได้เปรียบ และข้อจำกัดของทดลองเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการสร้างแบบจำลองการทดลองใหม่ การจำลองร่วม (Co-simulation) เป็นการสานต่อการทำงานของส่วนหนึ่งในการปฏิสัมพันธ์ในไมโครกริด ไม่ว่าจะผ่านเครื่องมือที่ระบุไว้เฉพาะหรือ platform-based [40]

10. สมาร์ทมิเตอร์ และความมั่นคงของข้อมูล

สมาร์ทมิเตอร์ และความมั่นคงของข้อมูล เป็นเรื่องที่สำคัญในระบบพลังงาน และไมโครกริด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะศึกษาระบบความมั่นคงของข้อมูลที่เข้มงวดเพื่อปกป้องข้อมูล และความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า สมาร์ทมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งในบ้านหรือองค์กรของผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อวัด และตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าได้โดยอัตโนมัติ สามารถส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ากลับไปยังบริษัทพลังงานหรือผู้ให้บริการไฟฟ้าเพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานแก่ผู้ใช้และให้การควบคุมพลังงานได้มากขึ้น

ความมั่นคงของข้อมูลเกี่ยวกับสมาร์ทมิเตอร์เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญและเป็นความลับ เช่น ข้อมูลการใช้พลังงานของผู้ใช้ เรื่องแบบสอบถามส่วนบุคคล และข้อมูลการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เมื่อมีการส่งข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ไปยังบริษัทพลังงาน หรือผู้ให้บริการไฟฟ้า ความมั่นคงของข้อมูลต้องรับการควบคุมอย่างเข้มงวดเพื่อป้องกันไม่ให้ข้อมูลสำคัญถูกขโมยหรือถูกเข้าถึงโดยบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาต การควบคุมความมั่นคงของข้อมูลของสมาร์ทมิเตอร์ประกอบด้วยมาตรการต่างๆ เช่น การเข้ารหัสข้อมูล การใช้ระบบความปลอดภัยทางสัญญาณ และการควบคุมการเข้าถึงข้อมูลด้วยสิทธิ์ และการรับรองตัวตน นอกจากนี้การกำหนดกฎ และข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของข้อมูลในสมาร์ทมิเตอร์มีความสำคัญ เพื่อให้ผู้ใช้ได้รับความคุ้มครองและมั่นใจในการใช้งานระบบสมาร์ท



ภาพที่ 5 รูปแบบการใช้งานสมาร์ทมิเตอร์

สมาร์ทมิเตอร์ได้รับการพัฒนามาจากการให้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเบื้องต้นไปสู่การรองรับแอปพลิเคชันหลายรูปแบบ กลุ่มอุตสาหกรรมสมาร์ทมิเตอร์ของยุโรปได้กำหนดคุณสมบัติขั้นต่ำที่จำเป็นสำหรับสมาร์ทมิเตอร์ รวมถึงการอ่านระยะไกล และการสื่อสารสองทิศทาง สมาร์ทมิเตอร์สามารถสื่อสารการวัดแบบเรียลไทม์ที่สะสมข้อมูลและศูนย์ควบคุม ทำให้สามารถใช้งานฟังก์ชันการตอบสนองต่อความต้องการ และการพยากรณ์โหลดได้

โหมดการติดตั้ง และใช้งานขั้นสูงของการวัดสามารถให้ทราบค่าความสิ้นเปลืองพร้อมกับค่าใช้จ่าย และการเชื่อมต่อระบบสื่อสาร [41] การเลือกฟังก์ชันให้กับสมาร์ทมิเตอร์มีผลต่อระบบไฟฟ้า โดยมีข้อคำนึงเกี่ยวกับความลับของข้อมูล และการแก้ไขข้อมูล ดังภาพที่ 5

เทคโนโลยีบล็อกเชนสามารถแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของข้อมูลในสมาร์ทมิเตอร์และโครงสร้างพื้นฐานการวัดขั้นสูง [42] บล็อกเชนเป็นวิธีการเก็บข้อมลที่น่าเชื่อถือสำหรับการทำธุรกรรมแบบเพียร์ทูเพียร์ โดยลดตัวกลาง และเร่งกระบวนการดำเนินการ สามารถสร้างประโยชน์ต่อสังคมสูงสุดสำหรับการจัดส่งพลังงาน การจัดการธุรกรรม การจัดส่งพลังงาน และสนับสนุนการผลิตพลังงานทดแทน โดยมีการนำมาใช้ในการซื้อขายพลังงานในไมโครกริด และการบริหารจัดการพลังงานแบบแยกออกจากกัน การนำบล็อกเชนมาใช้ในภาคพลังงาน จำเป็นต้องคำนึงถึงเครื่องมือด้านพลังงานที่มีอยู่ และกรอบกฎหมายที่เกี่ยวข้องอย่างถึงพร้อม และต้องปรับปรุงให้เหมาะสมต่อการนำบล็อกเชนมาใช้ในภาคพลังงานได้อย่างกว้างขวาง [42]

อภิปรายและสรุปผล

ในบทความนี้ ได้ศึกษาแนวทางที่มีอยู่ในการจัดการกับความปลอดภัยจากการโจมตีทางไซเบอร์ในไมโครกริด ตามที่อธิบายไว้ข้างต้น ไมโครกริดโดยทั่วไปไม่มีแนวทางที่ยังไม่ชัดเจน ได้มีการใช้แบบจำลองไมโครกริด เพื่อการทดลองความปลอดภัยทางไซเบอร์ เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการนำไปสู่ไมโครกริดที่สมบูรณ์แบบ บริบทของไมโครกริดมักได้รับการพูดคุยกันในทางด้านวิชาการ อย่างไรก็ตามบทความนี้จะทำให้เราได้ศึกษาวิธีการ และวิธีแก้ปัญหาที่ออกแบบมาเป็นพิเศษซึ่งไม่จำเป็นต้องเหมาะกับทุกกรณี

มาตรการรักษาความปลอดภัยทางไซเบอร์สำหรับระบบพลังงานยังคงเป็นทางเลือก และไม่ใช่ข้อกำหนดที่บังคับให้ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา และมีการนำเครือข่ายอินเตอร์เน็ตมาประยุกต์ใช้ ทำให้กลไกการป้องกันทางไซเบอร์เป็นสิ่งจำเป็น และต้องพัฒนาไปควบคู่กับบริภัณฑ์ไฟฟ้าในระบบอย่างยิ่ง อย่างน้อยที่สุดการรักษาความปลอดภัยของไมโครกริดต้องใช้แนวทางแบบสหสาขาวิชาชีพ การพัฒนาทางเศรษฐกิจ และสังคมมักจะถูกละเลยในแง่มุมต่างๆ ในกระบวนการนี้ แม้แต่สิ่งประดิษฐ์ทางเทคโนโลยีที่โดดเด่นที่สุดก็ไม่มีประโยชน์หากไม่ได้รับการสนับสนุนจากผู้ที่มีส่วนรับผิดชอบ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา

เอกสารอ้างอิง

1. Wang, W.; Lu, Z. Cyber security in the Smart Grid: Survey and challenges. Comput. Netw. 2013, 57, 1344–1371.
2. Rashid, M.H. Energy Systems in Electrical Engineering. In Smart Grids and Their Communication Systems; Kabalci, E., Kabalci, Y., Eds.; Springer: Singapore, 2019; pp. 1–644.
3. Leszczyna, R. Standards on cyber security assessment of smart grid. Int. J. Crit. Infrastruct. Prot. 2018, 22, 70–89.
4. Hossain, E. Communication Architectures and Models for Smart Grid. In Smart Grid Communications and Networking; Hossain, E., Han, Z., Poor, H.V., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2012; pp. 1–103.
5. Prettico, M.; Flammini, G.; Andreadou, M.G.; Vitiello, N.; Fulli, S.; Masera, G. Distribution System Operators Observatory 2018: Overview of the Electricity Distribution System in Europe; Publications Office of the European Union: Ispra, Italy, 2019; pp. 1–77.
6. Prettico, G.; Gangale, F.; Mengolini, A.; Lucas, A.; Fulli, G. Distribution system operators from european electricity distribution systems to representative distribution networks. JRC Tech. Rep. Luxemb. 2018, 99, 273–280.
7. Yazdanian, M.; Mehrizi-Sani, A. Distributed control techniques in microgrids. IEEE Trans. Smart Grid 2014.
8. Sridhar, S.; Govindarasu, M. Model-based attack detection and mitigation for automatic generation control. IEEE Trans. Smart Grid 2014.
9. Chlela, M. Cyber Security Enhancement Against Cyber-Attacks on Microgrid Controllers; McGill University Montréal: Montréal, QC, Canada, 2017; pp. 1–177.
10. Knapp, E.D.; Samani, R. Applied Cyber Security and the Smart Grid: Implementing Security Controls into the Modern Power Infrastructure, 1st ed.; Syngress: Rockland, MA, USA, 2013.
11. Sun, C.C.; Hahn, A.; Liu, C.C. Cyber security of a power grid: State-of-the-art. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 2017, 99, 45–56.
12. Lee, R.M.; Assante, M.J.; Conway, T. Analysis of the Cyber Attack on the Ukrainian Power Grid Defense Use Case.; E-ISAC: Washington, DC, USA, 2016; pp. 1–23.
13. Rekik,M.; Chtourou,Z.; Gransart,C.; Atieh,A.Acyber-physicalthreatanalysisformicrogrids. InProceedings of the 2018 15th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), Hammamet, Tunisia, 19–22 March 2018. Available online: https://ieeexplore.ieee.org/document/8570411 (accessed on 6 May 2020).
14. Liu, J.; Xiao, Y.; Gao, J. Achieving accountability in smart grid. IEEE Syst. J. 2014, 8, 493–508.
15. Srivastava, A.; Morris, T.; Ernster, T.; Vellaithurai, C.; Pan, S.; Adhikari, U. Modeling cyber-physical vulnerability of the smart grid with incomplete information. IEEE Trans. Smart Grid 2013, 4, 235–244.

16. Fooladivanda, D.; Hu, Q.; Chang, Y.H.; Sauer, P. Secure State Estimation and Control for Cyber Security of AC Microgrids. arXiv 2019, arXiv:1908.05843.
17. Esmalifalak, M.; Shi, G.; Han, Z.; Song, L. Bad data injection attack and defense in electricity market using game theory study. IEEE Trans. Smart Grid 2013, 4, 160–169.
18. Friedberg, I.; Laverty, D.; McLaughlin, F.; Smith, P. A Cyber–Physical Security Analysis of Synchronous–Islanded Microgrid Operation. In Proceedings of the 3rd International Symposium for ICS & SCADA Cyber Security Research 2015, Belfast, Swindon, UK, 17–18 September 2015.
19. Hayes, B.P. Distribution Generation Optimization and Energy Management. In Distributed Generation Systems; Gharehpetian, G.B., Agah, S.M.M., Eds.; Elsevier Inc.: Oxford, UK, 2017; pp. 415–451.
20. Lasseter, B. Microgrids distributed power generation. Power Eng. Soc. Winter Meet. 2001, 1, 146–149.
21. Lasseter, R. Microgrids. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet. 2002, 1, 305–308.
22. Katiraei, F.; Iravani, M.R. Power management strategies for a microgrid with multiple distributed generation units. IEEE Trans. Power Syst. 2006, 21, 1821–1831.
23. Olivares, D.E. Trends in microgrid control. IEEE Trans. Smart Grid 2014, 5, 1905–1919.
24. Buason, P.; Choi, H.; Valdes, A.; Liu, H.J. Cyber–physical systems of microgrids for electrical grid resiliency. ICPS 2019, 492–497.
25. Rana, M.M.; Li, L.; Su, S.W. Cyber attack protection and control of microgrids. IEEE/CAA J. Autom. Sin. 2018, 5, 602–609.
26. Peach, N.; Basseville, M.; Nikiforov, I.V. Detection of Abrupt Changes: Theory and Applications. J. R. Statal Soc. Ser. A (Stats in Soc.) 1993, 1, 185.
27. Jiao, Q.; Modares, H.; Lewis, F.L.; Xu, S.; Xie, L. Distributed L2–gain output–feedback control of homogeneous and heterogeneous systems. Automatica 2016, 71, 361–368.
28. Manandhar, K.; Cao, X.; Hu, F.; Liu, Y. Detection of faults and attacks including false data injection attack in smart grid using Kalman filter. IEEE Trans. Control Netw. Syst. 2014, 1, 370–379.
29. Liu, S.; Wang, X.; Liu, P.X. Impact of communication delays on secondary frequency control in an islanded microgrid. IEEE Trans. Ind. Electron. 2015, 62, 2021–2031.
30. Hammad, E.; Farraj, A.; Kundur, D. Fundamental limits on communication latency for distributed control via electromechanical waves. IEEE Int. Conf. Commun. 2017.
31. Farraj, A.; Hammad, E.; Kundur, D. A systematic approach to delay: Adaptive control design for smart grids. IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun. 2015, 768–773.
32. Guo, F. Comprehensive real–time simulation of the smart grid. IEEE Trans. Ind. Appl. 2013, 49, 899–908.
33. Cai, Y.; Li, Y.; Cao, Y.; Li, W.; Zeng, X. Modeling and impact analysis of interdependent characteristics on cascading failures in smart grids. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 2017, 89, 106–114.
34. Wang, Y.; Gamage, T.T.; Hauser, C.H. Security implications of transport layer protocols in power grid synchrophasor data communication. IEEE Trans. Smart Grid 2016, 7, 807–816.
35. Liu, S.; Liu, P.X.; Wang, X. Effects of cyber attacks on islanded microgrid frequency control. Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Support. Coop. Work Des. 2016, 461–464.

36. Alhelou, H.; Golshan, M.E.; Hatziargyriou, N.D. Deterministic dynamic state estimation-based optimal lfc for interconnected power systems using unknown input observer. IEEE Trans. Smart Grid 2020, 11, 1582–1592.
37. Liu, Y.; Ning, P.; Reiter, M.K. False data injection attacks against state estimation in electric power grids. In Proceedings of the 16th ACM Conference on Computer and Communications Security, Chicago, IL, USA, 9–13 November 2009.
38. Dán, G.; Sandberg, H. Stealth attacks and protection schemes for state estimators in power systems. IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun. 2010, 1–6.
39. Gallo, A.J.; Turan, M.S.; Nahata, P.; Boem, F.; Parisini, T.; Ferrari-Trecate, G. Distributed cyber-attack detection in the secondary control of dc microgrids. In Proceedings of the European Control Conference, Limassol, Cyprus, 12–15 June 2018. Available online: https://zenodo.org/record/2590092#.XzYHZzURXIU (accessed on 3 July 2020).
40. Hammad, E.; Ezeme, M.; Farraj, A. Implementation and development of an offline co-simulation testbed for studies of power systems cyber security and control verification. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 2018, 104, 817–826.
41. Tellbach, D.; Li, Y.F. Cyber-attacks on smart meters in household nanogrid: Modeling, simulation and analysis. Energies 2018, 11, 316.
42. Hasse, F.; Von Perfall, A.; Hillebrand, T.; Smole, E.; Lay, M.; Charlet, L. Blockchain–an Opportunity for Energy Producers and Consumers Available online: https://asian-power.com/sites/default/files/asianpower/print/ AP_Novdec16_p44-45.pdf (accessed on 12 July 2020).

การศึกษาการควบคุมประสานกันของ HVDC และเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ด้วยตัวควบคุม PID เพื่อทำเสถียรภาพความถี่ระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงหลายพื้นที่

The study of coordinated control of HVDC and inverter air conditioner by PID controllers for frequency stabilization of multi-area interconnected power systems

จงลักษณ์ พาหะซา[1*], ธนกร สอนลือ[1], พุฒิพงศ์ คำภีระสม[1] และ เด่นดวง สุทธิธรรมานนท์[1]
Jonglak Pahasa[1*], Thanakorn Sonlue[1], Puttipong Khampeerasom[1] and Denduang Sudthithammanon[1]

บทคัดย่อ

การควบคุมความถี่โหลดของระบบไฟฟ้ากำลังมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน (RES) ที่มีความผันผวน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ การติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (BESS) สามารถลดการแกว่งของความถี่โหลดได้ อย่างไรก็ตาม BESS มีข้อเสียคือ ราคาแพง และเมื่อหมดอายุการใช้งานก็ไม่สามารถกำจัดให้หมดไปได้ ดังนั้น การประยุกต์ใช้สมาร์ทโหลด เช่น เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ (IAC) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ งานวิจัยนี้นำเสนอการควบคุมประสานกันของ HVDC และ IAC เพื่อทำเสถียรภาพความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงหลายพื้นที่ด้วยตัวควบคุม PID ผลการจำลองกับระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงสองพื้นที่ พบว่า การควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ร่วมกับการควบคุมกำลังไฟฟ้า HVDC สามารถลดการแกว่งของความถี่ได้ดีกว่าการควบคุมเฉพาะเครื่องปรับอากาศหรือ HVDC เพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ: : HVDC, เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์, การควบคุมความถี่โหลด, การควบคุม PID

[1] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Electrical Engineering, School of Engineering, University of Phayao, Phayao 56000

*Corresponding author : jonglak.pa@up.ac.th

Abstract

Load frequency control of power systems is becoming increasingly important due to the increasing of intermittent renewable energy sources (RES) such as wind and solar generators. Battery energy storage system (BESS) can be installed to reduce frequency fluctuations. However, BESS has the disadvantage of being expensive and cannot be completely eliminated at the end of its useful life. Therefore, the application of smart loads such as inverter air conditioners (IAC) are another interesting option. This paper proposes coordinated control of high voltage direct current (HVDC) and IAC for frequency stabilization of the multi-area interconnected power systems by proportional integral derivative (PID) controllers. Simulation results on a two-area interconnected power system demonstrate that the proposed coordinated control of HVDC and IAC is able to stabilize the frequency of the studied system better than controlling of HVDC or IAC.

Keywords: HVDC, inverter air-conditioner, load frequency control, PID control

บทนำ

การควบคุมความถี่โหลด (load frequency control: LFC) ในระบบไฟฟ้ากำลังมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโหลดและการเพิ่มขึ้นของแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน (renewable energy sources: RES) เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ [1-2] การแก้ปัญการเบี่ยงเบนความถี่จากความถี่พื้นฐาน โดยปกติจะทำโดยตัวปรับความเร็ว (Governor) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส แต่เนื่องจากการเบี่ยงเบนความถี่ที่รุนแรงมากขึ้น จึงมีการควบคุมเสริมเพิ่มเข้ามา เช่น การใช้อุปกรณ์กักเก็บพลังงานประเภทต่างๆ เช่น แบตเตอรี่ ยานยนต์ไฟฟ้า [2] หรือเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ (Inverter-air-conditioners: IAC) [3]

นอกจากนี้ การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าด้วยสายส่งเชื่อมโยง HVDC ก็ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อดีคือ มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าต่ำกว่าสายส่งเชื่อมโยง AC และมีความสามารถที่ดีกว่าในการถ่ายโอนพลังงานจำนวนมากในระยะทางไกลๆ [1-2] HVDC เชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังด้วยตัวแปลงผันอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในการเชื่อมโยงเพื่อควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังได้ [1-2]

งานวิจัยนี้ นำเสนอการควบคุมประสานกันของ HVDC และเครื่องปรับอากาศเพื่อทำเสถียรภาพความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยง ด้วยตัวควบคุม PID โดยวิธีการควบคุมที่นำเสนอนี้สามารถลดการแกว่งของความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงสองพื้นที่ได้

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

เพื่อทำการศึกษาการควบคุมประสานกันของ HVDC และเครื่องปรับอากาศเพื่อทำเสถียรภาพความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยง ด้วยตัวควบคุม PID โดยวิธีการควบคุมที่นำเสนอนี้สามารถลดการแกว่งของความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงสองพื้นที่ได้

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

1. หลักการพื้นฐานของการควบคุมความถี่โหลด [4]

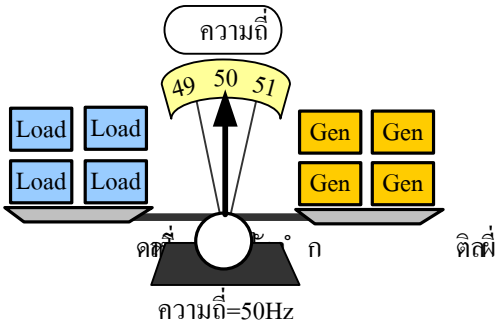
เสถียรภาพความถี่ (frequency stability) หมายถึง ความสามารถในการรักษาความถี่ซิงโครนัส ของระบบไฟฟ้ากำลังให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเกิดความไม่สมดุล ระหว่างกำลังไฟฟ้า ที่สร้างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และความต้องการกำลังไฟฟ้าที่โหลด ความไม่สมดุลของกำลังไฟฟ้า จะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความถี่ระบบและความถี่ซิงโครนัส หรือเรียกว่า การเบี่ยงเบนความถี่ (frequency deviation) เมื่อการเบี่ยงเบนความถี่ที่เกิดขึ้น มีค่ามากกว่า การเบี่ยงเบนความถี่ที่ยอมรับได้ จะส่งผลเสียต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า และการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับในระบบได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความถี่ของระบบให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้าที่โหลดต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ โดยเปรียบเทียบได้กับเครื่องชั่งน้ำหนักระหว่างกำลังการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลด ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

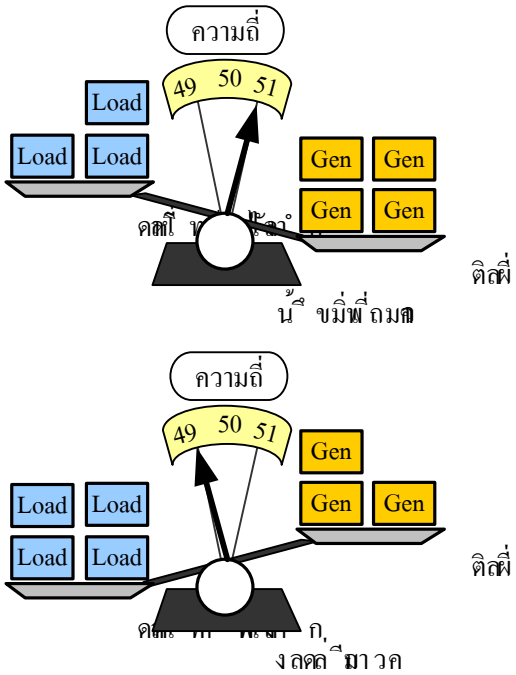
รูปที่ 1 (ก) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเครื่องชั่งอยู่ในสภาพสมดุล กล่าวคือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลด ทำให้ความถี่ของระบบเท่ากับความถี่ซิงโครนัส ในที่นี้ให้เท่ากับ 50 เฮิรตซ์

รูปที่ 1 (ข) แสดงให้เห็นว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าที่โหลดน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิต ทำให้เครื่องชั่งเอียงลงมาทางด้านของกำลังไฟฟ้าที่ผลิต เป็นผลให้ความถี่ระบบเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 เฮิรตซ์

รูปที่ 1 (ค) แสดงให้เห็นว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าที่โหลดมากกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิต ทำให้เครื่องชั่งเอียงลงมาทางด้านของกำลังไฟฟ้าที่โหลด เป็นผลให้ความถี่ระบบลดลงน้อยกว่า 50 เฮิรตซ์



(ก)



(ข) (ค)

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตและกำลังไฟฟ้าที่โหลดต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ (ก) กำลังไฟฟ้าที่โหลดเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ผลิต (ข) กำลังไฟฟ้าที่โหลดน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิต (ค) กำลังไฟฟ้าที่โหลดมากกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิต

วิธีวิทยาการวิจัย

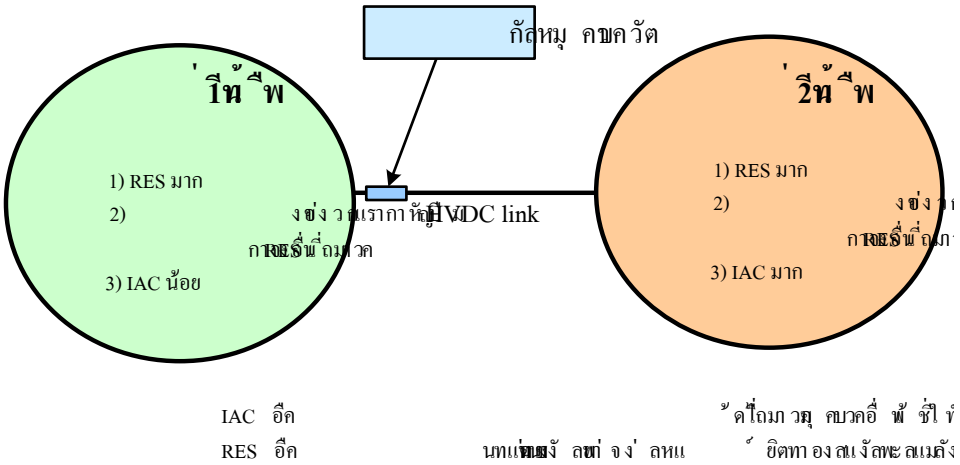
1. ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษา

ระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงสองพื้นที่ด้วยสายส่งเชื่อมโยง HVDC ที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่า ในพื้นที่ 1 มีแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน (RES) เช่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมและพลังแสงอาทิตย์ ในที่นี้สมมุติว่ามีปัญหาการแกว่งของความถี่เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมและพลังแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาโดยใช้การควบคุมอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศที่มีอยู่เพื่อลดการแกว่งของความถี่ได้ ดังได้นำเสนอใน [3] อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อลดการแกว่งของความถี่นี้อาจไม่สามารถทำได้ดีเพียงพอ เนื่องจากจำนวนเครื่องปรับอากาศมีน้อย

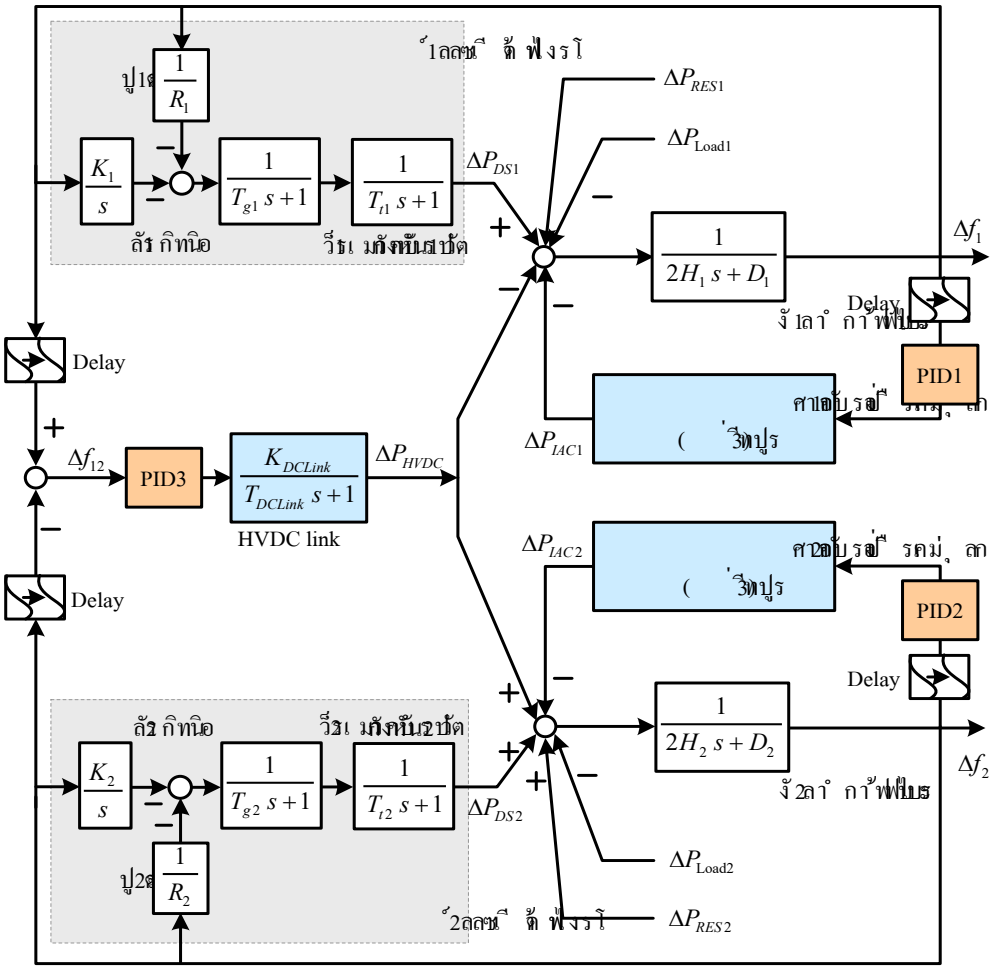
ในอีกด้านหนึ่ง ระบบไฟฟ้ากำลังพื้นที่ 2 มีแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนซึ่งทำให้เกิดปัญหาการแกว่งของความถี่ในพื้นที่ 2 ซึ่งสามารถแก้ปัญหาโดยใช้การควบคุมอินเวอร์เตอร์เครื่องปรับอากาศที่มีอยู่เพื่อลดการแกว่งของความถี่ได้อย่างดี เนื่องจากจำนวนเครื่องปรับอากาศมีมาก

จากปัญหาข้างต้น จะเห็นว่า หากสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านสายส่งแรงสูงกระแสตรง (HVDC) ก็จะทำให้สามารถลดการแกว่งของความถี่ในพื้นที่ 1 ได้ ซึ่งการควบคุม HVDC ทำได้โดยการควบคุมกำลังไฟฟ้าจากตัวแปลงผันอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ทำให้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างพื้นที่ เพื่อช่วยรักษาความถี่ในพื้นที่ 1 และพื้นที่ 2 ให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ [1–2]

รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองเชิงเส้นของระบบที่ใช้ในการศึกษา [1–3] ซึ่งจะเห็นว่า การควบคุมประสานกันของอินเวอร์เตอร์ HVDC และเครื่องปรับอากาศในสองพื้นที่ จะใช้ตัวควบคุม PID ทั้งหมดจำนวน 3 ตัว ซึ่งในงานวิจัยนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของ PID ที่เหมาะสมที่สุดด้วยอัลกอริทึมหิ่งห้อย



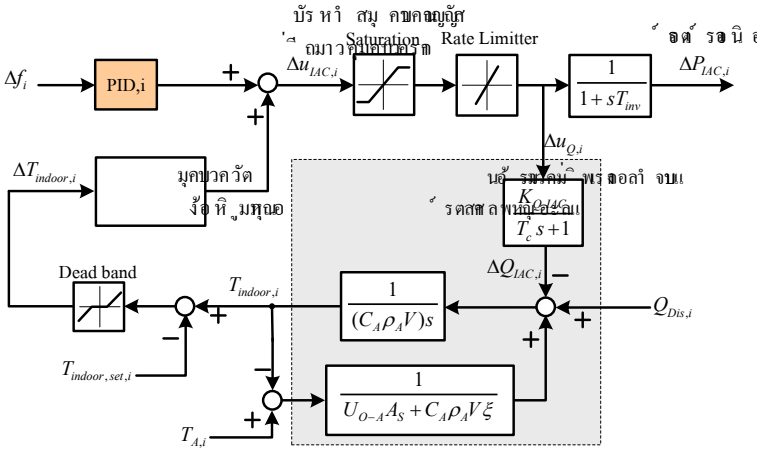
รูปที่ 2 ระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงสองพื้นที่ด้วยสายส่งเชื่อมโยง HVDC



รูปที่ 3 แบบจำลองเชิงเส้นของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษา

1.1 แบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์

ในการประยุกต์ใช้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนให้กับไมโครกริด จะใช้แบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้เพื่อควบคุมความถี่ [3] แสดงดังรูปที่ 4 โดยแบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการจำลองประกอบด้วย 2 ส่วนคือ แบบจำลองอุณหภูมิห้อง และแบบจำลองไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ [3]



รูปที่ 4 แบบจำลองเชิงเส้นของกลุ่มเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์

(1) แบบจำลองอุณหภูมิห้อง คือแบบจำลองซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องกับการเบี่ยงเบนทางความร้อนของห้องจากความจุความเย็น (refrigerating capacity) ของเครื่องปรับอากาศ โดยอุณหภูมิห้อง (T_{indoor}) สามารถกำหนดเป็นดังสมการ

$$T_{indoor} = \frac{Q_g - Q_{IAC}}{C_A \rho_A V_R s} \tag{4}$$

$$Q_g = (U_{O,A} S_R + C_A \rho_A V_R \xi)(T_A - T_{indoor}) + Q_{Dis} \tag{5}$$

เมื่อ Q_g คือ ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดของห้อง ที่มาจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศภายในและภายนอกอาคาร

Q_{IAC} คือ ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

Q_{Dis} คือ การแผ่รังสีความร้อน จากสิ่งรบกวน เช่น คน หลอดไฟ และเครื่องใช้ต่างๆ

C_A คือ ความจุความร้อน

ρ_A คือ ความหนาแน่นของอากาศ

V_R คือ ปริมาตรของห้อง

S_R คือ พื้นที่ผิวห้อง

s คือ ตัวแปรความถี่

T_A คือ อุณหภูมิแวดล้อม

$U_{O,A}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ξ คือ สัดส่วนการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างห้องกับบรรยากาศ

(2) แบบจำลองไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ จะทำงานโดยใช้เครื่องปรับอากาศที่เชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์ คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศสามารถเปลี่ยนความเร็วได้อย่างต่อเนื่องโดยการปรับความถี่ในการทำงาน กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ไปและความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศถูกควบคุมด้วยความถี่ในการทำงานและสามารถแสดงดังสมการ

$$\Delta P_{IAC} = \frac{K_P}{T_c s + 1}\Delta f_{IAC} + \mu_P \tag{6}$$

$$\Delta Q_{IAC} = \frac{K_Q}{T_c s + 1}\Delta f_{IAC} + \mu_Q \tag{7}$$

เมื่อ ΔP_{IAC} คือ การเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจาก กำลังไฟฟ้าอ้างอิงของเครื่องปรับอากาศ

ΔQ_{IAC} คือ การเบี่ยงเบนของความจุการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจากค่าอ้างอิง

Δf_{IAC} คือ การเบี่ยงเบนของความถี่ในการทำงานของเครื่องปรับอากาศจากความถี่อ้างอิง

K_P , K_Q , μ_P และ μ_Q คือ ค่าสัมประสิทธิ์คงที่

T_c คือค่าคงตัวเวลาของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศ

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศ P_{IAC} และความสามารถในการทำความเย็น Q_{IAC} สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$Q_{IAC} = \frac{K_Q}{K_P}P_{IAC} + \frac{K_P\mu_Q - K_Q\mu_P}{K_P} \tag{8}$$

การเบี่ยงเบนความถี่ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์นั้นขึ้นอยู่กับช่องว่างระหว่างค่าของอุณหภูมิที่ตั้งไว้กับอุณหภูมิห้องปัจจุบันเป็นหลัก และสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\Delta f_{IAC} = K_1 \Delta T_{indoor} \tag{9}$$

เมื่อ K_1 คือ ตัวควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ

ΔT_{indoor} คือ การเบี่ยงเบนระหว่างอุณหภูมิในห้องและอุณหภูมิที่ตั้งไว้

ถ้าใช้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์นี้ สำหรับช่วยควบคุมความถี่ จะทำให้ในการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ก็จะได้รับอิทธิพลจากความถี่ของระบบด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$\Delta f_{IAC} = K_1 \Delta T_{indoor} + K_2 \Delta f \tag{10}$$

เมื่อ K_2 คือ ตัวควบคุมของเครื่องปรับอากาศสำหรับควบคุมความถี่

ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาการควบคุมประสานกันของ HVDC และเครื่องปรับอากาศเพื่อทำเสถียรภาพความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยง ด้วยตัวควบคุม PID โดยวิธีการควบคุมที่นำเสนอนี้สามารถลดการแกว่งของความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงสองพื้นที่ได้

ในการจำลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการนำเสนอจะใช้ระบบไฟฟ้ากำลังดังรูปที่ 1–3 จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink พารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังแสดงดังตารางที่ 1 [2–3] พารามิเตอร์ของแบบจำลองเครื่องปรับอากาศ มีดังนี้ [3]:

$V_R = 250\,\mathrm{m}^3$, $C_a = 1.005\ \mathrm{kJ/kg/^\circ C}$,
$\rho_a = 1.205\ \mathrm{kJ/m}^3$, $S_R = 100\,\mathrm{m}^2$,
$T_A = 35\mathrm{C}^\circ$, $U_{O,A} = 3.6\ \mathrm{W/m}^3/^\circ\mathrm{C}$,
$\xi = 0.5\ \mathrm{h}^{-1}$

พารามิเตอร์ PID ที่ใช้คือ

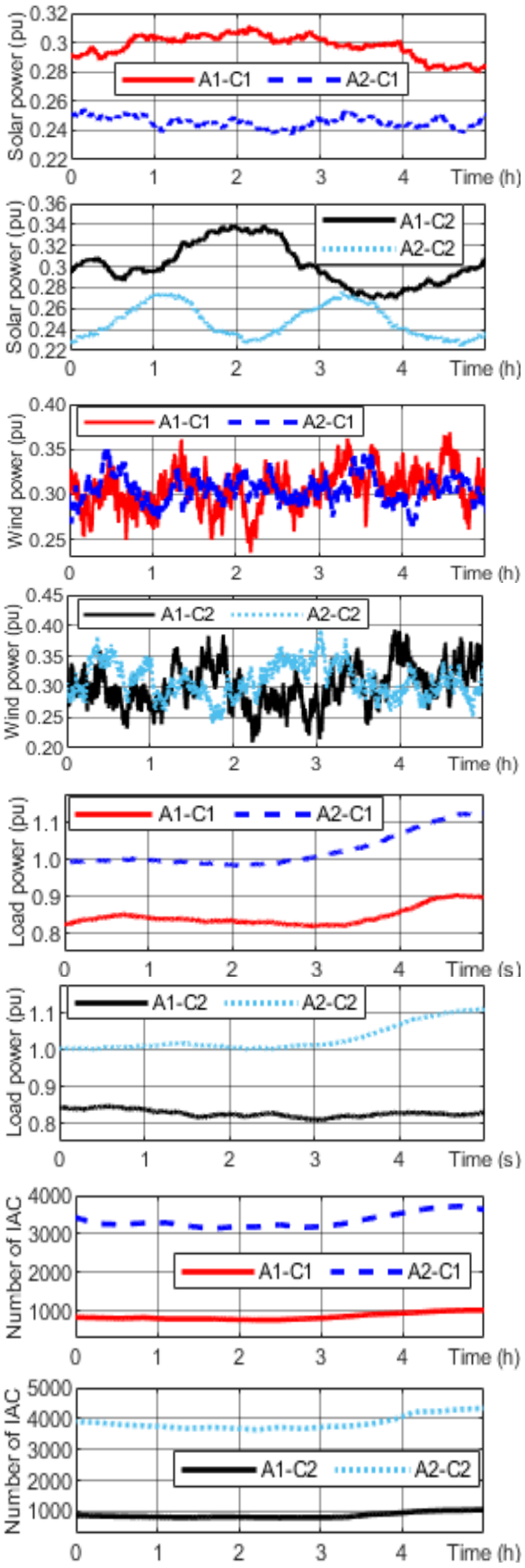
$K_{P,1} = 436.6989,\ K_{I,1} = 149.9992,\ K_{D,1} = 5.0530$
$K_{P,2} = 411.3885,\ K_{I,2} = 145.951,\ K_{D,2} = 3.6698$
$K_{P,3} = 56.3091,\ K_{I,3} = 47.8533,\ K_{D,3} = 3.8322$

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลัง

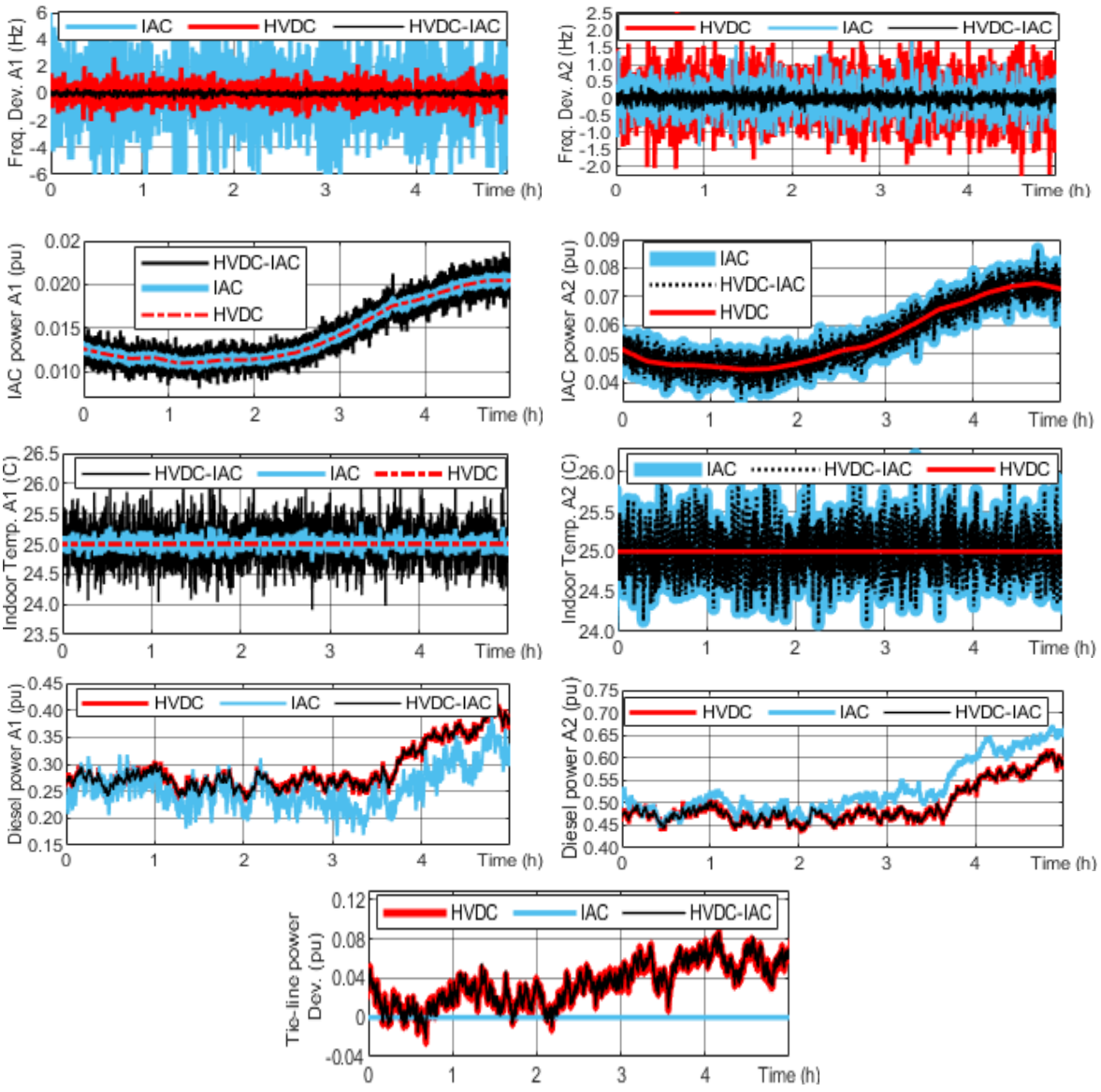
พื้นที่	H	D	R	K	T_g	T_t	T_{DCLink}	K_{DCLink}
1	0.9	0.20	0.4	0.1	0.01	5	0.1	0.0191
2	1.0	0.42	0.4	0.1	0.01	5		

ในการจำลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีนำเสนอ ในที่นี้ จะทำการเปรียบเทียบ 3 วิธีด้วยกัน ได้แก่ (1) “HVDC–IAC” คือวิธีการนำเสนอ (2) “IAC” คือการควบคุมเครื่องปรับอากาศทั้งสองพื้นที่เพื่อควบคุมความถี่ แต่ไม่มีการควบคุมอินเวอร์เตอร์ของ HVDC และ (3) “HVDC” คือการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเชื่อมโยง HVDC แต่ไม่มีการควบคุมเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 5 แสดงกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ (A1=พื้นที่ 1 และ A2=พื้นที่ 2) กรณี 1 (C1) และกรณี 2 (C2), กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม โหลด และจำนวนเครื่องปรับอากาศ ของกรณีศึกษา ซึ่งจะเห็นว่าพื้นที่ 1 มีกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมพอๆ กับพื้นที่สองแต่การแกว่งของกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมในกรณี 2 จะมากกว่ากรณี 1, โหลดและจำนวนเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ 1 น้อยกว่าพื้นที่ 2 ซึ่งเป็นไปตามรูปที่ 1



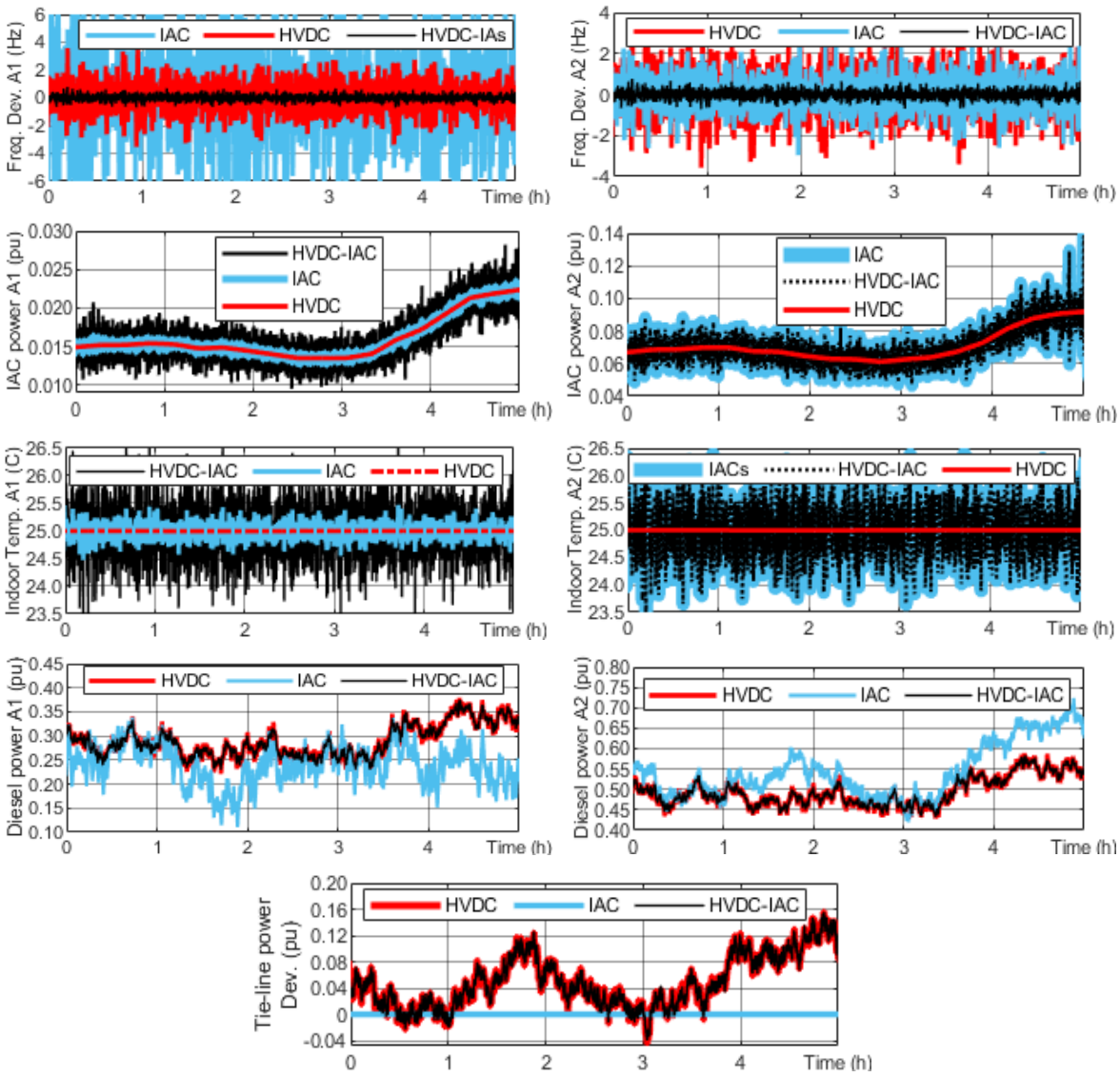
รูปที่ 5 กรณีศึกษา 2 กรณี (C1 และ C2)



รูปที่ 6 ผลการจำลองกรณี 1

รูปที่ 6 แสดงผลการจำลองกรณี 1 ประกอบด้วย การเบี่ยงเบนความถี่ในพื้นที่ 1 และ 2, กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ในพื้นที่ 1 และ 2, อุณหภูมิห้องในพื้นที่ 1 และ 2 (ตั้งค่าไว้ที่ $25^{\circ}C$), การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลล์ในพื้นที่ 1 และ 2, และการเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าในสายส่งเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ 1 และ 2 จากรูปที่ 7 จะเห็นว่า วิธี HVDC–IAC ที่นำเสนอ สามารถลดการแกว่งของความถี่ได้ดีกว่าวิธี HVDC และ IAC ทั้งสองพื้นที่ โดยในพื้นที่ 1 วิธี HVDC สามารถลดการแกว่งของความถี่ได้ดีกว่าวิธี IAC ในขณะที่ในพื้นที่ 2 วิธี IAC สามารถลดการแกว่งของความถี่ได้ดีกว่าวิธี HVDC ซึ่ง เป็นผลจากปริมาณเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ 1 มีจำนวนน้อย จึงไม่สามารถลดการเบี่ยงเบนของความถี่ได้

รูปที่ 7 แสดงผลการจำลองกรณี 2 ซึ่งจะเห็นว่าผลการจำลองมีความสอดคล้องกับกรณี 1 นั่นคือวิธีนำเสนอ HVCD–IAC สามารถลดการแกว่งของความถี่ได้ดีกว่าวิธี HVDC และ IAC ทั้งสองพื้นที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแม้การแกว่งของกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมและพลังแสงอาทิตย์มีมากขึ้น วิธีการนำเสนอก็ยังสามารถลดการแกว่งของความถี่ได้ดีกว่าวิธีที่นำมาเปรียบ



รูปที่ 7 ผลการจำลองกรณี 2

สรุปผลและอธิปรายผล

งานวิจัยนี้ นำเสนอการควบคุมประสานกันของ HVDC และเครื่องปรับอากาศ เพื่อทำเสถียรภาพความถี่ระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยง ด้วยตัวควบคุม PID ผลการจำลองกับระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงสองพื้นที่ พบว่า การควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ร่วมกับการควบคุมกำลังไฟฟ้า HVDC สามารถลดการแกว่งของความถี่ได้ดีกว่า การควบคุมเฉพาะเครื่องปรับอากาศหรือ HVDC เพียงอย่างเดียว

เอกสารอ้างอิง

[1] A. Tosatto, et.al., “Towards optimal coordination between regional groups: HVDC supplementary power control,” IEEE Trans. Pow. Syst., vol. 37, no. 1, pp. 402–15, 2022.

[2] T.N. Pham, et.al., “Distributed control of HVDC links for primary frequency control of time–delay power systems,” IEEE Trans. Pow. Syst., vol. 34, no. 2, pp. 1301–14, 2019.

[3] J. Pahasa, P. Potejana, and I. Ngamroo, “Multi–objective decentralized model predictive control for inverter air conditioner control of indoor temperature and frequency stabilization in microgrid,” Energies, vol. 14, no. 21, pp. 1–28, 2021.

[4] จงลักษณ์ พาหะซา, ขวัญจิรา สารสุวรรณ์, ณรงค์ฤทธิ์ ต้องรักชาติ และ กมลลักษณ์ เถิงคำ, การศึกษาการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนและการควบคุมความถี่โหลดของไมโครกริดด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ด้วยตัวควบคุมพีไอหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยอัลกอริทึมหิ่งห้อย, พะเยาวิจัย 12, มหาวิทยาลัยพะเยา, จังหวัดพะเยา, 25–27 มกราคม 2566

การศึกษาการเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวควบคุมพีไอยืดหยุ่นภายใต้การโจมตีชนิดปฏิเสธการให้บริการ

The Study of Virtual Inertia Improvement of Microgrid by Photovoltaic Generation using Resilient PI Controller Under Denial-of-Service Attacks

จงลักษณ์ พาหะซา[1*], จิราวรรณ พานุรักษ์[1], ธนินท์ธร บุญช่วย[1] และ ต้น สุขมาก[1]
Jonglak Pahasa[1], Jirawan Panurak[1], Thaninthon Boonchuay[1] and Ton Sukmak[1]

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในไมโครกริด เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ ซึ่งเชื่อมต่อไมโครกริดด้วยอุปกรณ์แปลงผันอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ส่งผลให้ไมโครกริดมีความเฉื่อยต่ำและอัตราการเบี่ยงเบนของความถี่ (RoCoF) มีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการควบคุมแบบกระจายตัวของไมโครกริดมีความอ่อนไหวต่อการโจมตีทางไซเบอร์ บทความนี้ ทำการศึกษาการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ภายใต้การโจมตีชนิดปฏิเสธการให้บริการ (DoS) ตัวควบคุมที่ใช้เป็นตัวควบคุมพีไอบบยืดหยุ่น (RPI) ที่ออกแบบด้วยการพิจาณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอที่นำเสนอ สามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดภายใต้การโจมตีชนิด DoS ได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอทั่วไป

คำสำคัญ: การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือน, การควบคุมความถี่โหลด, ไมโครกริด, แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์, ตัวควบคุมพีไอยืดหยุ่น, การโจมตีชนิดปฏิเสธการให้บริการ

Abstract

The increase in the distributed generation (DG) of the microgrid, such as photovoltaic generation, which is connected to the microgrid by power electronic converters, reduces the microgrid inertia and increases the rate of change of frequency (RoCoF). In addition, the distributed control performance of microgrids susceptible to cyberattack. This paper proposes a study of virtual inertia control of microgrids using a photovoltaic generator under denial-of-service (DoS) attacks. The controller used was a resilient proportional-integral (RPI) controller that was designed by considering the effect of DoS attacks. The study results demonstrated that photovoltaic generator controlled by the proposed RPI controller can improve the virtual inertia of microgrids successfully when compared to the conventional PI controller.

Keywords: Virtual inertia control, load frequency control, microgrid, photovoltaic generator, resilient PI controller, denial of service attacks

[1] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
[1] Electrical Engineering, School of Engineering, University of Phayao, Phayao 56000
*Corresponding author : jonglak.pa@up.ac.th

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนในไมโครกริด เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ ซึ่งเชื่อมต่อไมโครกริดด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไมโครกริดมีความเฉื่อย (Inertia) ลดลง ซึ่งโดยปกติความเฉื่อยนี้ได้มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส [1–2] การเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่าง เช่น การติดตั้งอุปกรณ์กักเก็บพลังงานเพื่อเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนให้กับระบบไมโครกริด [1–2] อย่างไรก็ตามอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้เงินลงทุนในการซื้ออุปกรณ์กักเก็บพลังงาน และเมื่อหมดอายุการใช้งานก็ไม่สามารถกำจัดให้หมดไปได้ ดังนั้น การประยุกต์ใช้การควบคุมกำลังผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

ทั้งนี้ การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ ในบางพื้นที่ ยังเป็นการติดตั้งแบบไม่ได้ส่งพลังงานที่ผลิตเกินเข้าสู่ระบบ หากพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตได้มากกว่าที่ใช้งาน ก็ต้องทิ้งส่วนที่เกินนั้นไป ไม่สามารถส่งคืนให้ระบบได้ ดังนั้น หากสามารถประยุกต์ใช้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ โดยการลดกำลังผลิตบางส่วน (De-load) แล้วให้แหล่งจ่ายพลังแสงอาทิตย์นี้ สามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือน และลดการแกว่งของความถี่ระบบไฟฟ้ากำลังได้ [3–4] ก็จะเป็นประโยชน์ของแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนอีกด้านหนึ่ง ทั้งนี้ ยังสามารถลดการใช้อุปกรณ์กักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ซึ่งมีราคาแพงและยังไม่สามารถทำลายเศษซากจากอุปกรณ์ที่หมดอายุได้

นอกจากนี้ การควบคุมแบบกระจายตัวของไมโครกริด ส่งผลให้การส่งผ่านข้อมูลเพื่อใช้ในการควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว เช่น การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์แบบลดกำลังการผลิตบางส่วน ดังกล่าวข้างต้น มีความอ่อนไหวต่อการโจมตีทางไซเบอร์ (cyber-attack) เช่น การโจมตีโดยการฉีดข้อมูลเท็จ (false data injection attack: FDI) และ การโจมตีโดยการปฏิเสธการให้บริการ (denial of service attack: DoS) เป็นต้น [5]

งานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ภายใต้การโจมตีชนิดปฏิเสธการให้บริการ (DoS) ตัวควบคุมที่ใช้เป็นตัวควบคุมพีไอ (PI) ที่ออกแบบด้วยการพิจาณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอที่นำเสนอ สามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดภายใต้การโจมตีชนิด DoS ได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอทั่วไป

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1) เพื่อศึกษาการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอยืดหยุ่น (resilient PI: RPI) ภายใต้การโจมตีชนิด DoS

2) เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอยืดหยุ่น (resilient PI: RPI) สำหรับควบคุมแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ ที่พิจาณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS

3) เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองวิธีการออกแบบตัวควบคุมพีไอยืดหยุ่นที่พิจาณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS ที่นำเสนอและวิธีการควบคุมแบบพีไอทั่วไป

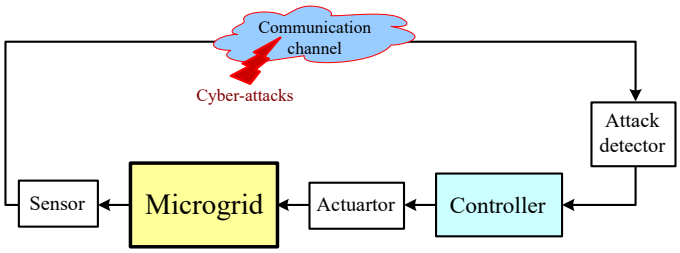
กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน (ถ้ามี)

1. การควบคุมไมโครกริดภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์

ในการควบคุมแบบกระจายตัวของไมโครกริด ตัวควบคุมจะถูกวางไว้ใกล้กับอุปกรณ์ต่างๆ แบบกระจายตัว เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ และโหลดอัจฉริยะ เช่นยานยนต์ไฟฟ้า ประสิทธิภาพแบบไดนามิกของไมโครกริดสามารถปรับปรุงได้อย่างมีนัยสำคัญโดยสัญญาณที่ส่งจากเซ็นเซอร์ไป

ยังตัวควบคุมแบบกระจายตัว อย่างไรก็ตาม การโจมตีทางไซเบอร์นั้นแพร่หลายในเครือข่ายการสื่อสารและส่งผลกระทบอย่างมากต่อความมีเสถียรภาพ การทำงาน และการควบคุม ของไมโครกริด

รูปที่ 1 แสดงการควบคุมไมโครกริดภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ การโจมตีทางไซเบอร์จะเกิดขึ้นในช่องทางการสื่อสารระหว่างบล็อกตัวตรวจรู้ (Sensor) และตัวควบคุม (Controller) การโจมตีทางไซเบอร์จะทำความเสียหายให้กับการดำเนินงานของระบบด้วยการยกเลิกการบริการการสื่อสาร [5] ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพของตัวควบคุมลดลงระหว่างการโจมตีของ DoS ในความหมายนี้ บล็อกตัวควบคุม (Controller) ควรได้รับการออกแบบเพื่อลดผลกระทบจากสัญญาณการสื่อสารที่ขาดหายไปที่เป็นผลมากจากการโจมตีชนิดปฏิเสธการให้บริการ



รูปที่ 1 การควบคุมไมโครกริดภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์

2. แบบจำลองการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS

หนึ่งในข้อกังวลด้านความปลอดภัยที่ร้ายแรงที่สุดสำหรับระบบไซเบอร์-กายภาพ (cyber-physical systems) คือการโจมตีชนิดปฏิเสธการให้บริการ (denial of service: DoS) [16] เพื่อครอบครองหรือใช้ทรัพยากรที่จำกัด การโจมตีชนิด DoS จะส่งข้อมูลที่ทำให้เข้าใจผิดและไม่มีความหมายไปยังส่วนประกอบของระบบไฟฟ้า [5] ช่วงเวลาเหตุการณ์การโจมตีชนิด DoS สามารถระบุได้โดยสมการต่อไปนี้

$$\Im(0,\infty) \subseteq \bigcup_{l\in\mathbb{N}} [T_{on,l}, T_{off,l}] \tag{1}$$

เมื่อ T คือ ช่วงเวลาการชักตัวอย่าง (sampling period)

$T_{on,l} \in [T_{on}^{\min}, T], l \in \mathbb{N}$ คือ เวลาที่เกิดการโจมตีชนิด DoS ครั้งแรก หรือเวลาเริ่มเกิดการโจมตี

$T_{off,l} \in [T_{off}^{\min}, T], l \in \mathbb{N}$ คือ ช่วงเวลาที่การโจมตีชนิด DoS สิ้นสุดลง

$T_{on} < T_{off} \le T$ คือ เวลาทริกเกอร์ (trigger time) สำหรับการโจมตีชนิด DoS แต่ละครั้ง

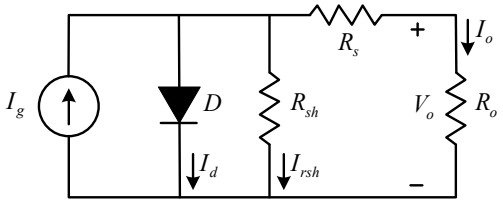
$T_{off} - T_{on}$ คือ ระยะเวลาการโจมตี (attack duration)

แบบจำลองของการโจมตีชนิด DoS แบบตัวแปรสุ่มไม่เป็นรายคาบ (nonperiodic random variable DoS attack) ในช่วงเวลาเกิด DoS ทั้งหมดสามารถกำหนดได้ดังสมการ

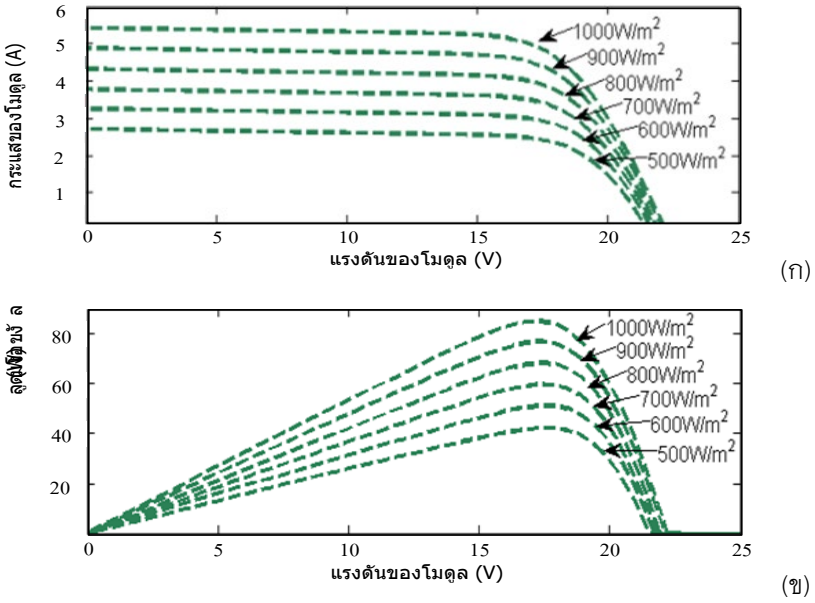
$$S_{DoS}(t) = \begin{cases} 0, & t \in \Im(0,\infty) \\ 1, & t \notin \Im(0,\infty) \end{cases} \tag{2}$$

เมื่อ $S = 0$ คือ การเกิดขึ้นของการโจมตีชนิด DoS (occurrence of DoS attacks)

$S = 1$ คือ การส่งสัญญาณปกติ (normal transmissions)



รูปที่ 2 วงจรสมมูลของโมดูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3 เส้นโค้งคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ก) $I-V$ (ข) $P-V$

2. หลักการผลิตไฟฟ้าจากพลังแสงอาทิตย์

2.1 คุณลักษณะและแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [6]

โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นและสามารถแสดงด้วยแบบจำลองแหล่งจ่ายกระแส ดังแสดงในรูปที่ 2 คุณลักษณะ $I-V$ ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นการละเลยความต้านทานอนุกรมภายใน สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$I_o = N_p I_g - N_p I_{sat}\left\{\exp\left(\frac{qV_o}{AKT_{\text{mod}}}\right)-1\right\} - I_{rsh} \tag{3}$$

$$I_{sat} = I_{or}\left[\frac{T_{\text{mod}}}{T_r}\right]^3 \exp\left[\frac{qE_g}{KT_{\text{mod}}}\left(\frac{1}{T_r}-\frac{1}{T_{\text{mod}}}\right)\right] \tag{4}$$

$$I_g = I_{sc}\frac{S_i}{1000} + I_t\left(T_{\text{mod}} - T_r\right) \tag{5}$$

$$I_{rsh} = V_o/(N_s R_{sh}) \tag{6}$$

เมื่อ I_o คือ กระแสด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

V_o คือ แรงดันด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

I_g คือ กระแสที่ผลิตได้ภายใต้ความเข้มแสงที่มี

I_{sat} คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ

q คือ การประจุของอิเล็กตรอน

K คือ ค่าคงที่ของโบลซ์มันน์ (Boltzmann)

A คือ ค่าแฟกเตอร์อุดมคติ

T_{mod} คือ อุณหภูมิ (K) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

N_p คือ จำนวนเซลล์ที่ขนานกัน

I_{rsh} คือ กระแสเนื่องจากความต้านทานชันท์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

I_{or} คือ กระแสอิ่มตัวที่ T_r

T_r คือ อุณหภูมิอ้างอิง (K)

E_g คือ ค่าพลังงานแถบช่องว่าง (Band gap energy)

I_t คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิกระแสลัดวงจร

I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

N_s คือ จำนวนของเซลล์อนุกรม

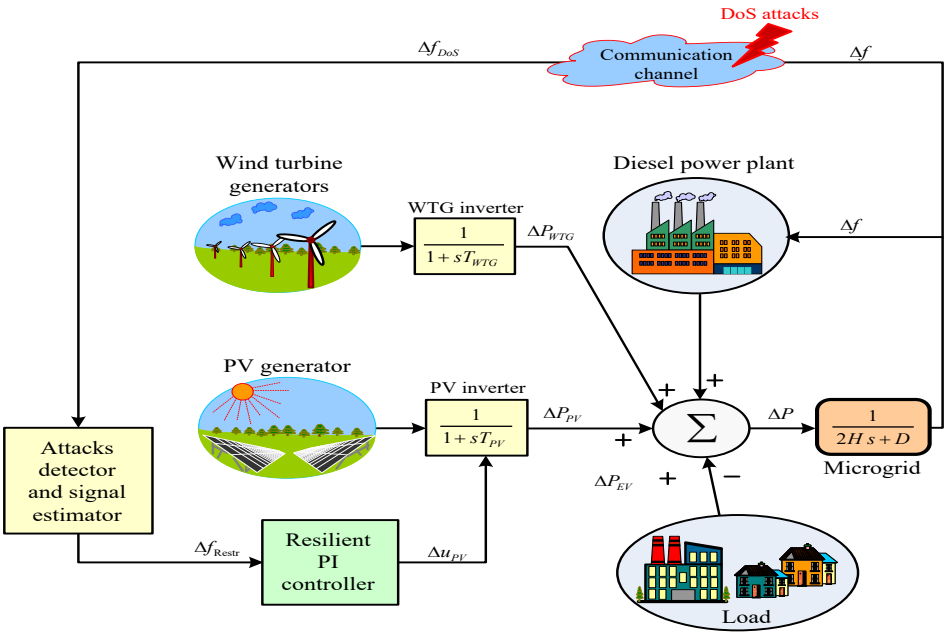
R_{sh} คือ ความต้านทานชันท์ภายในของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 3 แสดงการจำลองเส้นโค้งกระแส–แรงดัน ($I-V$) และเส้นโค้งกำลัง–แรงดัน ($P-V$) ของโมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากเส้นโค้งนี้ แสดงให้เห็นว่าคุณลักษณะด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่เป็นเชิงเส้นและมีผลกระทบสำคัญจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงแดด

วิธีวิทยาการวิจัย

1. ไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา

ไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งระบบประกอบด้วย ฟาร์มกังหันลมขนาด 6 เมกกะวัตต์ (0.3 pu) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ขนาด 6 เมกกะวัตต์ (0.3 pu) กลุ่มโหลดขนาด 16 เมกกะวัตต์ (0.8 pu) โรงไฟฟ้าดีเซลล์ขนาด 8 เมกกะวัตต์ (0.40 pu) ค่าฐานของระบบคือ 20 เมกกะวัตต์ [6] ความถี่ฐานของระบบคือ 50 Hz และเนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งสร้างจากฟาร์มกังหันลมและการเปลี่ยนแปลงโหลด ทำให้เกิดการแกว่งของความถี่ในระบบ เพื่อลดการแกว่งของความถี่ จึงมีการควบคุมกำลังไฟฟ้าผลิตของระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ โดยใช้ตัวควบคุมพีไอที่หาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยอัลกอริทึมหิ่งห้อยดังนำเสนอใน [6]



รูปที่ 4 ไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา

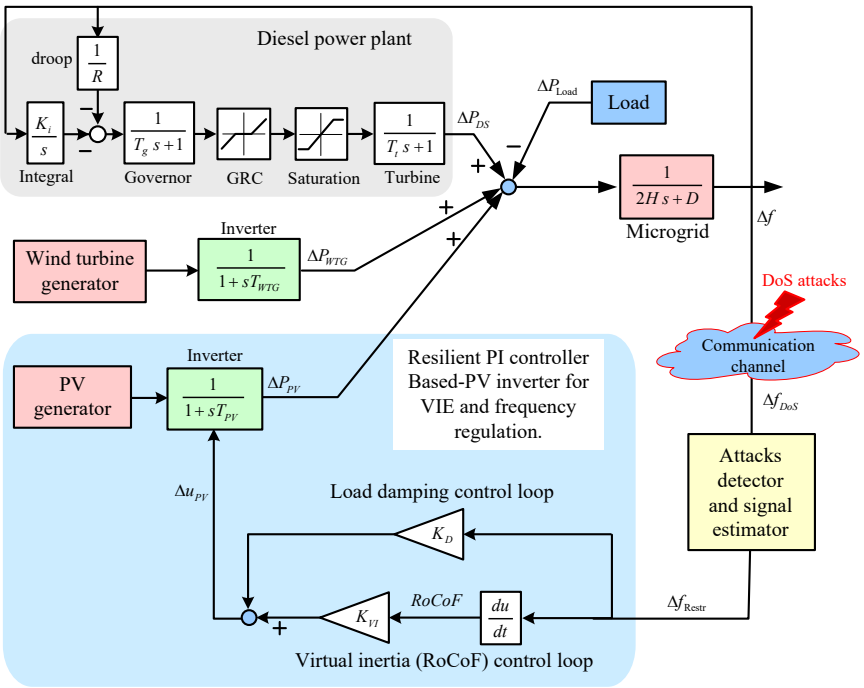
จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าสัญญาณการเบี่ยงเบนของความถี่ (frequency deviation: Δf) ถูกส่งจากไมโครกริดมายังแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ (ซึ่งมีการติดตั้งแบบกระจายตัว) ผ่านช่องทางการสื่อสาร (communication channel) ซึ่งทำให้สามารถเกิดการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS และทำให้สัญญาณที่ส่งไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PV เกิดความเสียหายได้ ส่งผลให้การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PV มีความผิดพลาด ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนให้กับไมโครกริดได้ ดังนั้น จึ่งต้องมีการออกแบบตัวควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PV ที่พิจารณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ดังกล่าวด้วย ทั้งนี้ เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (diesel power plant) ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ไมโครกริด ดังนั้น การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจึงเป็นการควบคุมที่ศูนย์กลาง จึงไม่มีการส่งสัญญาณผ่านช่องทางการสื่อสารไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ทำให้สัญญาณการโจมตีทางไซเบอร์ไม่มีผลต่อการควบคุมการทำงานเพื่อรักษาความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

2. ผลตอบสนองความถี่ของระบบไมโครกริด

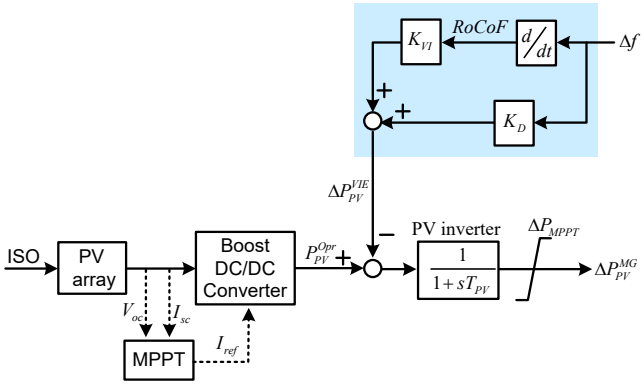
รูปที่ 5 แสดงแบบจำลองเชิงเส้นของไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา การเบี่ยงเบนความถี่ (frequency deviation: Δf) หาได้จากการพิจารณากฎของความเฉื่อย (role of inertia), การหน่วง (damping), และความไม่เท่ากันของกำลังไฟฟ้า (miss-match power) ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (generated power) และกำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ (demanded power) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\Delta f = \frac{1}{2Hs + D}\left(\underbrace{\Delta P_{DS} + \Delta P_{PV} + \Delta P_{WTG}}_{\text{generated power}} \quad \underbrace{-\Delta P_{Load}}_{\text{demanded power}} \right) \tag{7}$$

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิ (net power generated) คือผลรวมของกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลล์ (ΔP_{DS}), เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ (ΔP_{PV}), เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม (ΔP_{WTG}) ซึ่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับความต้องการของโหลด (ΔP_{Load}) โดยค่าคงที่แรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริด (microgrid with cumulative inertia constant: H), สัมประสิทธิ์การหน่วง (damping coefficient: D) ที่เพิ่มขึ้น จะเป็นตัวทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของ RoCoF มีค่าน้อยลง



รูปที่ 5 แบบจำลองเชิงเส้นของไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 6 แบบจำลองเชิงเส้นอย่างง่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ที่เชื่อต่อกับไมโครกริดเพื่อเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือน

3. การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริด

รูปที่ 6 แสดงแบบจำลองเชิงเส้นอย่างง่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ที่เชื่อต่อกับไมเครกริดเพื่อเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือน โดยการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดจะสัมพันธ์กับการควบคุมอัตราการเบี่ยงเบนของความถี่ (rate of change of frequency: RoCoF) ของไมโครกริด ซึ่งผลตอบสนอง RoCoF ของไมโครกริด สามารถกำหนดได้เป็น [2, 5]

$$RoCoF = (Hz/s) = \frac{df}{dt} = \frac{f(t) - f(T_{pre})}{t - T_{pre}}, \quad t > T_{pre} \tag{8}$$

เมื่อ t คือ เวลาการจำลองปัจจุบัน

T_{pre} คือ เวลาการจำลองเอาท์พุตล่าสุด

$f(t)$ คือ ความถี่ที่เวลา t

$f(T_{pre})$ คือ ความถี่ที่เวลา T_{pre}

4. RPI สำหรับการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนจริงด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PV ภายใต้การโจมตีชนิด DoS

แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ (PV generator) สำหรับควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนจริงด้วยตัวควบคุมพีไอยืดหยุ่น (resilient PI: RPI) ที่นำเสนอ แสดงดังในรูปที่ 5 ตรงส่วนที่แรเงา (สีฟ้า) ด้านล่าง โดยเมื่อสัญญาณการเบี่ยงเบนความถี่ (Δf) ได้รับความเสียหายจากการโจมตีชนิด DoS ทำให้สัญญาณ $\Delta f = 0$ ซึ่งหากใช้สัญญาณนี้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PV ก็อาจทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว สัญญาณควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PV สำหรับ RPI จึงตั้งได้เป็น

$$\Delta u_{PV}(t) = \begin{cases} \Delta u_{PV}(t-1), & During\ DoS \\ \Delta u_{PV}(t), & Otherwise \end{cases} \tag{9}$$

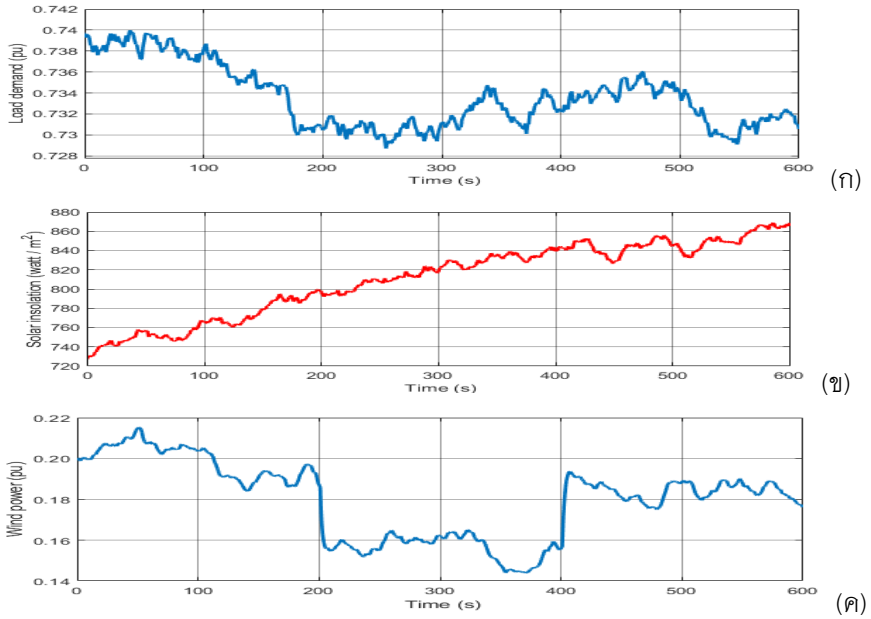
ในบทความนี้ การตรวจจับการโจมตีชนิด DoS จะติดตั้งไว้ในพื้นที่ไกลๆ กับตัวควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PV ในที่นี้จะสมมุติว่าตัวตรวจจับการโจมตีชนิด DoS สามารถตรวจจับการโจมตีได้ทุกครั้ง นอกจากนี้ สัญญาณ RoCoF และสัญญาณความถี่ของไมโครกริด ได้ถูกส่งจากตัวตรวจจับไมโครกริด (microgrid sensor) ผ่านช่องทางการสื่อสาร (communication channel) มายังส่วนควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PV แบบกระจายตัว ดังนั้น การเบี่ยงเบนของสัญญาณ RoCoF และสัญญาณความถี่ของไมโครกริด ได้ถูกส่งผ่านช่องทางการสื่อสารภายใต้การโจมตีชนิด DoS ผลที่ตามมาคือ การเบี่ยงเบนของสัญญาณ RoCoF และ สัญญาณความถี่ของไมโครกริด ดังกล่าว ได้รับความเสียหายจากการส่งสัญญาณ และต้องทำการพยากรณ์สัญญาณในช่วงที่ได้รับการโจมตีชนิด DoS ให้สามารถใช้งาน

เพื่อควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า PV และการควบคุมดังกล่าวยังสามารถลดการแกว่งของ RoCoF และ ความถี่ไมโครกริดได้

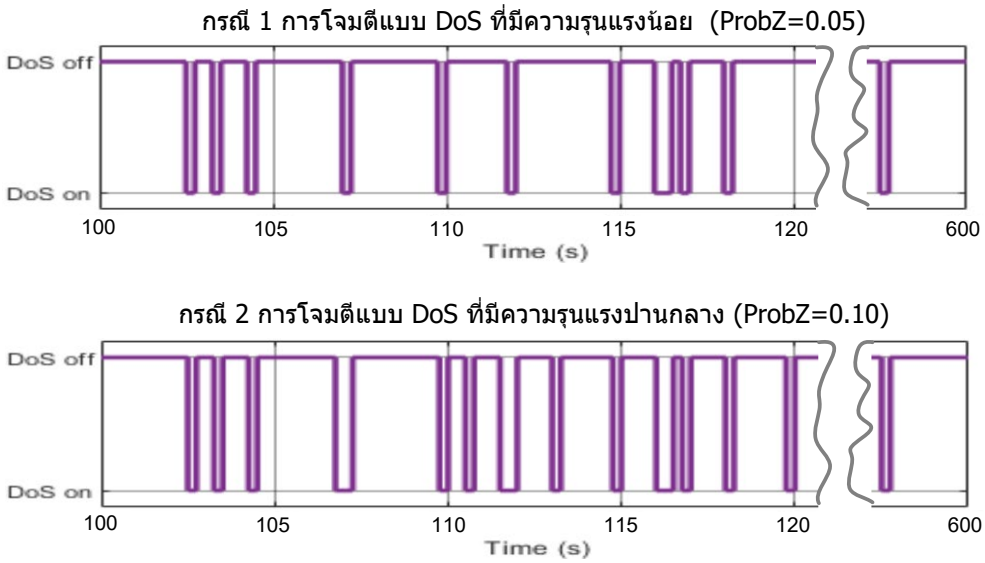
ผลการศึกษา

1. รายละเอียดการจำลอง

งานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ภายใต้การโจมตีชนิด DoS ตัวควบคุมที่ใช้เป็นตัวควบคุมพีไอที่ออกแบบโดยพิจาณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS รูปที่ 7 แสดงโหลดแบบสุ่มที่ใช้ในการศึกษา ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษา และกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 7 กรณีศึกษา (ก) โหลดแบบสุ่ม (ข) ความเข้มแสงอาทิตย์ (ค) กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม



รูปที่ 8 สัญญาณการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS กรณีศึกษา

รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างสัญญาณการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS กรณีความรุนแรงต่างๆ 2 กรณี โดยกรณี 1 เป็นการโจมตีชนิด DoS ที่มีความรุนแรงน้อย (Bernoulli: Probability of zero = 0.05) และกรณี 2 เป็นการโจมตีชนิด DoS ที่มีความรุนแรงปานกลาง (Bernoulli: Probability of zero = 0.10) โดยความรุนแรงของการเกิดการโจมตีชนิด DoS นี้ ดูจากเปอร์เซ็นต์ความเป็นศูนย์ของการส่งสัญญาณ DoS นั่นคือ ถ้ามีความเป็นศูนย์มาก แสดงว่าสัญญาณการโจมตี DoS นั้นมีความรุนแรงมาก ทั้งนี้ การตรวจจับการโจมตี (attack detection) แบบ DoS เป็นขั้นตอนที่สำคัญในระบบทางกายภาพทางไซเบอร์ วิธีการตรวจจับการโจมตีชนิด DoS สามารถติดตั้งไว้ที่อุปกรณ์เพื่อป้องกันปัญหาจากการโจมตีชนิด DoS ที่เกิดจากการส่งสัญญาณระยะไกล (remote) หรือการติดตั้งตัวตรวจจับจากระยะไกลเพื่อตรวจจับการโจมตีก่อนที่จะแพร่กระจายส่งสัญญาณที่โดนทำลายโดย DoS ออกไป [5]

โดยในการจำลองจะสมมติให้ (ดูรูปที่ 8 (ค))

(1) ทำการปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมที่เวลา 200 s ขนาด 0.05 pu ในกรณีนี้แหล่งจ่ายลดลง ดังนั้นความถี่ หรือ RoCoF อยู่ด้านลบ

(2) ทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมที่เวลา 400 s ขนาด 0.05 pu ในกรณีนี้แหล่งจ่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้นความถี่ หรือ RoCoF อยู่ด้านบวก

นอกจากนี้ ยังทำการเปรียบเทียบวิธีนำเสนอ RPI กับอีก 2 วิธี ได้แก่ No-PFR และ PI ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

No-PFR : เป็นระบบที่ไม่ได้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ในการเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนไมโครกริด

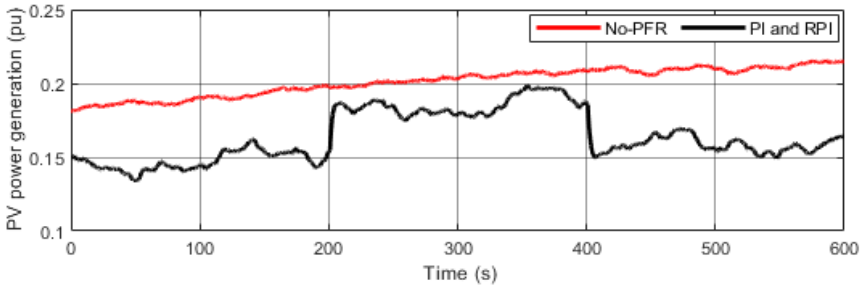
PI : เป็นตัวควบคุมพีไอซึ่งมีพารามิเตอร์พีไอตัวเดียวกับวิธีนำเสนอ แต่ไม่พิจารณาผลของสัญญาณการโจมตีชนิด DoS นั่นคือ สมการระหว่างเกิดการโจมตีทางไซเบอร์ เป็นดังนี้

$$\Delta u_{PV}(t) = \begin{cases} \Delta u_{PV}(t), & During\ DoS \\ \Delta u_{PV}(t), & Otherwise \end{cases} \tag{10}$$

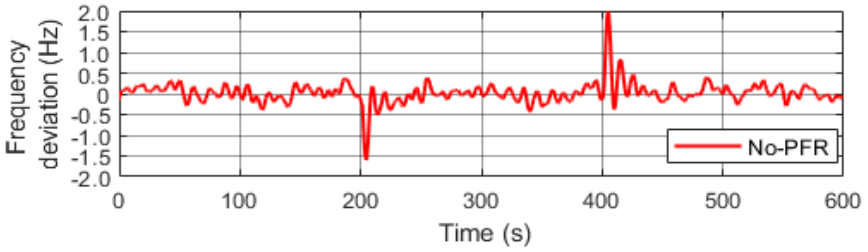
2. ผลการจำลองกรณีไม่มีการโจมตีทางไซเบอร์

ผลการจำลองกรณีไม่มีการโจมตีทางไซเบอร์ของวิธีนำเสนอ RPI เปรียบเทียบกับ No-PFR และ PI แสดงดังรูปที่ 9-11 โดยรูปที่ 9 แสดงกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังแสงอาทิตย์ ของวิธี No-PFR, PI, และ RPI ซึ่งจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าของ PV ในการควบคุมความถี่ ต่ำว่ากำลังไฟฟ้าในกรณี No-PFR (MPPT) แสดงให้เห็นว่า การที่ PV จะทำการควบคุมความถี่นั้น ต้องยอมจ่ายกำลังไฟฟ้าต่ำกว่าที่ความสามารถที่ PV จ่ายได้สูงสุด แสดงว่าประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของ PV แย่ลง อย่างไรก็ตามในสถานที่บางแห่งการผลิตกำลังไฟฟ้าจาก PV อาจมีปริมาณมาก จนทำให้สามารถลดกำลังการผลิตไฟฟ้าจาก PV เพื่อช่วยทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้

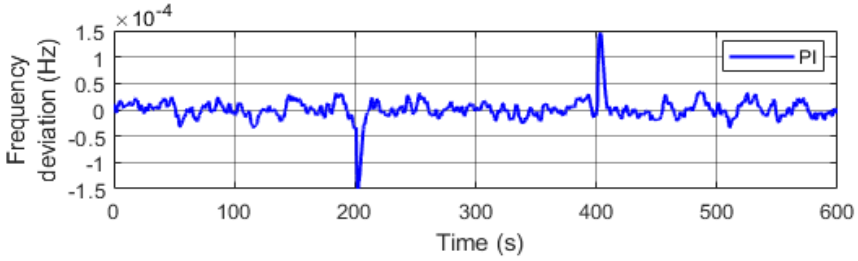
ทั้งนี้ แม้ว่ากำลังไฟฟ้าที่วิธีการนำเสนอ RPI ส่งให้ไมโครกริดต่ำกว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ผลิตได้ แต่วิธีนำเสนอ RPI ก็ยังรักษาการเบี่ยงเบนความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 10 และอัตราการเบี่ยงเบนของความถี่ (RoCoF) ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของแรงเฉื่อยเสมือนในไมโครกริด



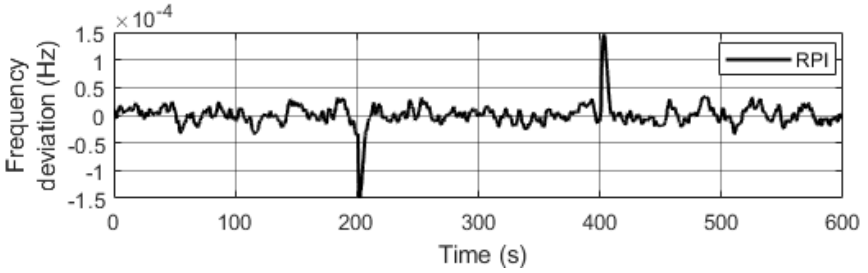
รูปที่ 9 กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังแสงอาทิตย์ ของวิธี No-PFR, PI, และ RPI



(ก)

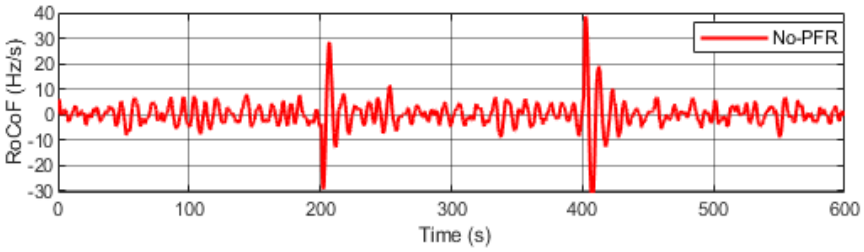


(ข)

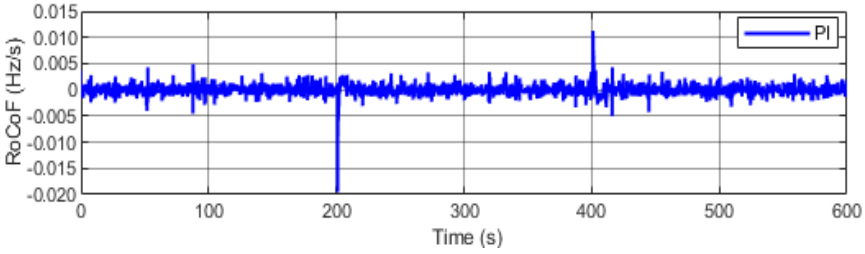


(ค)

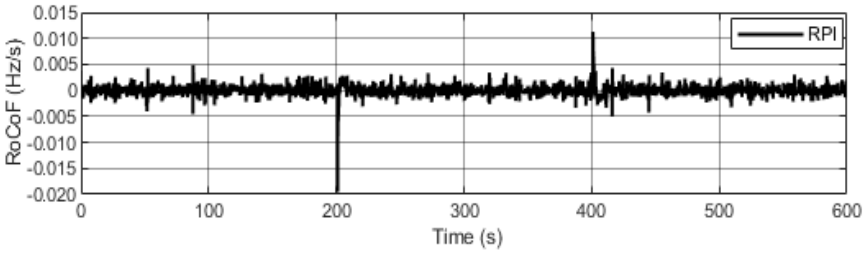
รูปที่ 10 การเบี่ยงเบนความถี่กรณีไม่มีการโจมตีทางไซเบอร์ (ก) No-PFR (ข) PI (ค) RPI



(ก)



(ค)



(ค)

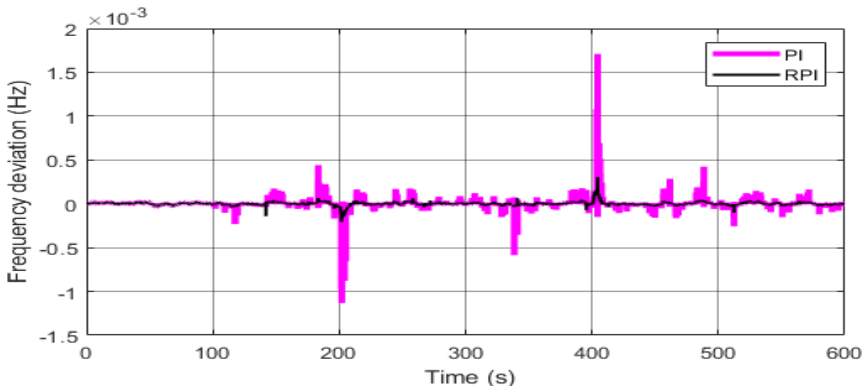
รูปที่ 11 RoCoF กรณีไม่มีการโจมตีทางไซเบอร์ (ก) No-PFR (ข) PI (ค) RPI

3. ผลการจำลองเมื่อมีการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS

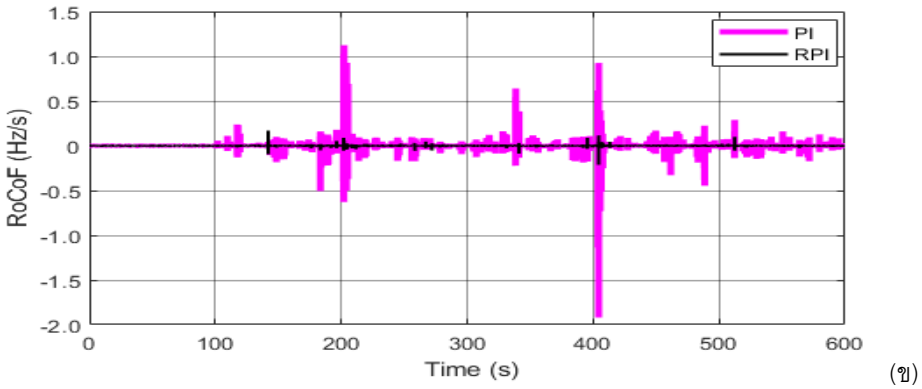
3.1 ผลการจำลองเมื่อมีการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS กรณี 1

ผลการจำลองเมื่อมีการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS กรณี 1 แสดงดังรูปที่ 12 โดยรูปที่ 12 (ก) แสดงการเบี่ยงเบนความถี่ของวิธี PI และวิธีนำเสนอ RPI ซึ่งพบว่า การเบี่ยงเบนของความถี่ในกรณี RPI ต่ำกว่าวิธี PI อย่างชัดเจน รูปที่ 12 (ข) แสดง RoCoF ของทั้งสองวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งจะเห็นว่า วิธีนำเสนอ RPI ให้ค่า RoCoF ต่ำกว่า PI ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วิธีการนำเสนอ RPI สามารถเพิ่มเรงเฉื่อยเสมือนให้กับระบบไมโครกริดได้ดีกว่า วิธี PI

ทั้งนี้ เนื่องจากสัญญาณการโจมตีทางไซเบอร์ ไม่มีผลต่อวิธี No-PFR ดังนั้นจึงไม่มีการนำเสนอในส่วนนี้ นั่นคือการเบี่ยงเบนความถี่ในกรณี No-PFR และ RoCoF ในกรณี No-PFR จะเป็นสัญญาณเดียวกับ รูปที่ 10 (ก) และรูปที่ 11 (ก) ตามลำดับ



(ก)



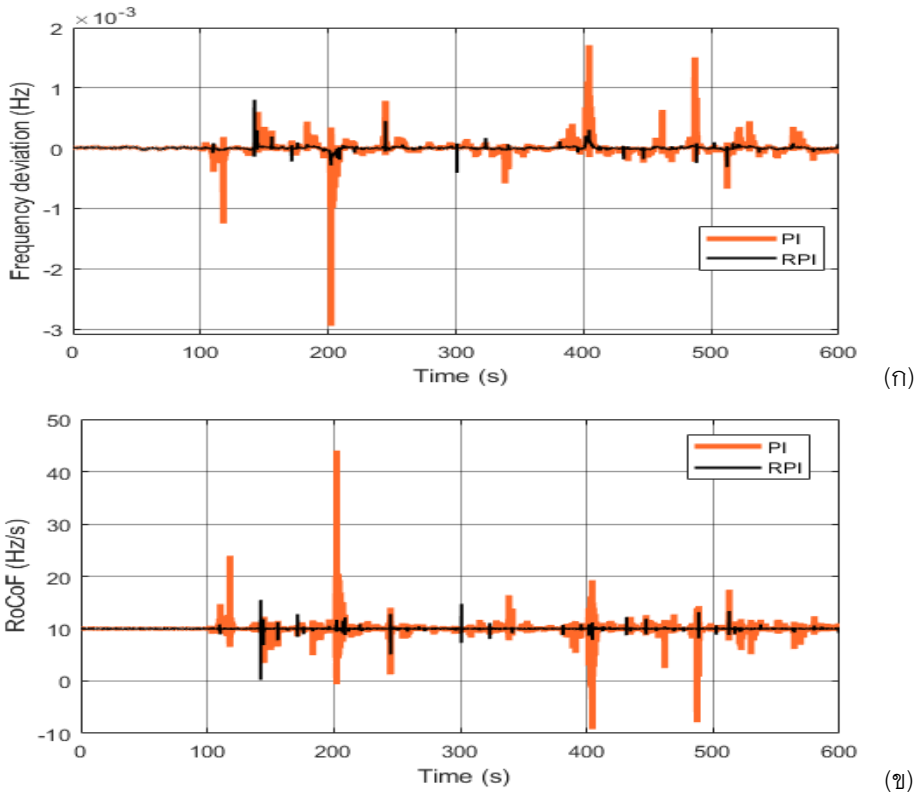
(ข)

รูปที่ 12 ผลการจำลองกรณีมีการโจมตีชนิด DoS กรณี 1 (ก) การเบี่ยงเบนความถี่ (ข) RoCoF

3.2 ผลการจำลองเมื่อมีการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS กรณี 2

ผลการจำลองเมื่อมีการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS กรณี 2 แสดงดังรูปที่ 13 โดยรูปที่ 13 (ก) แสดงการเบี่ยงเบนความถี่ของวิธี PI และวิธีนำเสนอ RPI ซึ่งพบว่า การเบี่ยงเบนของความถี่ในกรณี RPI ต่ำกว่าวิธี PI อย่างชัดเจน รูปที่ 13 (ข) แสดง RoCoF ของทั้งสองวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งจะเห็นว่า วิธีนำเสนอ RPI ให้ค่า RoCoF ต่ำกว่า PI ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วิธีการนำเสนอ RPI สามารถเพิ่มเรงเฉื่อยเสมือนให้กับระบบไมโครกริดได้ดีกว่า วิธี PI

ทั้งนี้ เนื่องจากสัญญาณการโจมตีทางไซเบอร์ ไม่มีผลต่อวิธี No-PFR ดังนั้นจึงไม่มีการนำเสนอในส่วนนี้ นั่นคือการเบี่ยงเบนความถี่ในกรณี No-PFR และ RoCoF ในกรณี No-PFR จะเป็นสัญญาณเดียวกับ รูปที่ 10 (ก) และรูปที่ 11 (ก) ตามลำดับ



(ก)

(ข)

รูปที่ 13 ผลการจำลองกรณีมีการโจมตีชนิด DoS กรณี 1 (ก) การเบี่ยงเบนความถี่ (ข) RoCoF

สรุปผลและอธิปรายผล

งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนโดยการลดอัตราการเบี่ยงเบนของความถี่ (rate of change of frequency: RoCoF) และการควบคุมความถี่โหลดของไมโครกริดด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ที่ไม่มีตัวกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ตัวควบคุมที่ใช้เป็นตัวควบคุมพีไอที่พิจารณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ชนิดปฏิเสธการให้บริการ (Denial-of-service: DoS) ผลการศึกษาและผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอที่พิจารณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS สามารถ เพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนและลดการแกว่งของความถี่ของไมโครกริดได้อย่างดี จากผลการจำลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าวิธีนำเสนอให้ผลการจำลองดีกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองวิธีอย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

1. J. Fang, H. Li, Y. Tang and F. Blaabjerg, “On the inertia of future more-electronics power systems,” IEEE J. Emerg. Sel. Top. Pow. Electron., vol. 7, no. 4, pp. 2130-2146, 2019.
2. T. Kerdphol, F.S. Rahman, M. Watanabe, and Y. Mitani, Virtual Inertia Synthesis and Control, (Power Systems) 1st ed. Springer, 2021.
3. P. Saxena, N. Singh and A. K. Pandey, “Self-regulated solar PV systems: replacing battery via virtual inertia reserve,” IEEE Trans. Ener. Conv., vol. 36, no. 3, pp. 2185-2194, Sept. 2021.
4. Q. Peng, et. al, “Event-triggering virtual inertia control of PV systems with power reserve,” IEEE Trans. Ind. Appli., vol. 57, no. 4, pp. 4059-4070, 2021.
5. S.Muangchuen, J. Pahasa and I. Ngamroo, “Improved resilient model predictive control for enhanced microgrid virtual inertia emulation by virtual energy storage system under DoS attacks,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 96817-96830, 2023.
6. จงลักษณ์ พาหะซา, ขวัญจิรา สารสุวรรณ์, ณรงค์ฤทธิ์ ต้องรักชาติ และ กมลลักษณ์ เถิงคำ, “การศึกษาการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนและการควบคุมความถี่โหลดของไมโครกริดด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ด้วยตัวควบคุมพีไอหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยอัลกอริทึมหิ่งห้อย,” พะเยาวิจัย 12, มหาวิทยาลัยพะเยา, จังหวัดพะเยา, 25-27 มกราคม 2566.

ผลกระทบของการคู่ควบข้ามต่อการขับมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร

Impact on Cross-coupling in Permanent Magnet Synchronous Motor Drives

วิชญะ สุวรรณลพ[1] และ ณัฐพงษ์ โปธิ[1*]

Witchaya Suwannalop[1] and Nattapong Pothi[1*]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของการคู่ควบข้ามที่ส่งผลต่อสมรรถนะการขับมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร โดยทำการเปรียบเทียบผลของค่าความคลาดเคลื่อนของกระแสแกนดีและกระแสแกนคิวระหว่างกรณีที่ชดเชยและไม่ชดเชยผลการคู่ควบข้ามทั้งภายใต้สภาวะที่มีโหลดและไม่มีโหลดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ มอเตอร์ซิงโครนัสที่ใช้ในการพิจารณาเป็นแบบแม่เหล็กถาวรล้อมแกนโรเตอร์ (SPM) ส่งผลให้ค่ากระแสอ้างอิงแกนดีมีค่าเท่ากับศูนย์ตลอดย่านการทำงานภายใต้หลักการแรงบิดสูงสุดต่อกระแส (MTPA) ขณะที่ค่ากระแสอ้างอิงแกนคิวถูกกำหนดค่าตามการทำงานของลูปควบคุมแบบวงปิดของความเร็วรอบภายใต้วิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์ จากผลการจำลองพบว่า ค่าความผิดพลาดกำลังสองของกระแสแกนคิวจะมีค่าสูงกว่าแกนดีเนื่องจากผลของแม่เหล็กถาวรโดยเฉพาะขณะขับโหลดและความเร็วรอบสูง ผลการศึกษาแสดงได้อย่างชัดเจนด้วยผลการจำลอง

คำสำคัญ: มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร, การคู่ควบข้าม, การขับมอเตอร์ไฟฟ้า, วิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์

Abstract

This paper presents a study of the impact of cross-coupling on permanent magnet synchronous motor drives. By comparing the error values of both *d*-axis and *q*-axis currents between the compensated and non-compensated cross-coupling cases under load and no-load conditions in any defined speed. The verified motor used in this simulation is a surface-mounted permanent magnet synchronous motor (SPM). Hence, the *d*-axis reference current is set to zero throughout the operating speed range under the maximum torque per ampere (MTPA), while the *q*-axis reference current is set according to the closed-loop speed control based on the vector control method. From the simulation results, it was found that the squared error of the *q*-axis current is higher than that of the *d*-axis current because of a permanent magnet, especially when driving at high load torque and high-speed operation. The results of the study are obviously shown from the simulation results.

Keywords: PMSM, Cross Coupling, Motor Drives, Vector Control Method

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Faculty of Engineering, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author e-mail: nattapong.po@up.ac.th

บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และมักถูกพิจารณาสำหรับประยุกต์ใช้ทั้งงานในภาคอุตสาหกรรม หุ่นยนต์ ยานยนต์ไฟฟ้า และระบบพลังงานหมุนเวียน เป็นต้น เนื่องจากคุณสมบัติเด่นของมอเตอร์ประเภทนี้ คือ มีประสิทธิภาพสูง ให้แรงบิดเริ่มหมุนสูง และมีความต้องการพื้นที่การติดตั้งน้อยเมื่อเทียบกับมอเตอร์ประเภทอื่นโดยพิจารณาที่พิกัดกำลังเดียวกัน [1]–[3] อย่างไรก็ตาม ในงานบางประเภทที่มีความต้องการความแม่นยำในการควบคุมสูงและมีผลการตอบสนองเชิงพลวัตที่ดี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีวิธีการควบคุมที่เหมาะสม [3] ดังนั้นวิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์จึงถูกนำเสนอ แสดงดังรูปที่ 1

วิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์สามารถแยกการควบคุมสนามแม่เหล็กและแรงบิดได้อย่างอิสระต่อกัน โดยใช้การควบคุมกระแสแกนดีสำหรับควบคุมปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสแกนคิวสำหรับควบคุมความต้องการของแรงบิดโหลด แน่นอนว่าวิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์จำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมวงปิดทั้งในลูปกระแสและลูปความเร็วรอบ อย่างไรก็ตาม การคู่ควบข้าม (Cross–coupling) ของลูปควบคุมกระแสระหว่างกระแสแกนดีและแกนคิวยังคงปรากฏ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะเชิงพลวัตของการขับมอเตอร์ ดังนั้น การชดเชยผลการคู่ควบข้าม (Decoupling compensation) มักได้รับความนิยมสำหรับปรับปรุงสมรรถนะการตอบสนองของมอเตอร์ทั้งภายใต้สภาวะคงตัวหรือขณะมีการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบและแรงบิด [4]–[5]

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบจากการคู่ควบข้ามต่อสมรรถนะระบบขับมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร โดยพิจารณาเปรียบเทียบทั้งกรณีที่มีการชดเชยและไม่ชดเชยผลการคู่ควบข้าม อีกทั้งยังพิจารณาถึงผลของค่าความผิดพลาดของกระแสทั้งสองแกนที่อาจส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบควบคุม

มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร

สมการแรงดันไฟฟ้าและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่ถูกจัดรูปแบบในแกนดีและแกนคิว (*d*–axis and *q*–axis) แสดงดังสมการที่ (1)–(3) ตามลำดับ [1], [4]

$$v_d = R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega_e L_q i_q \tag{1}$$

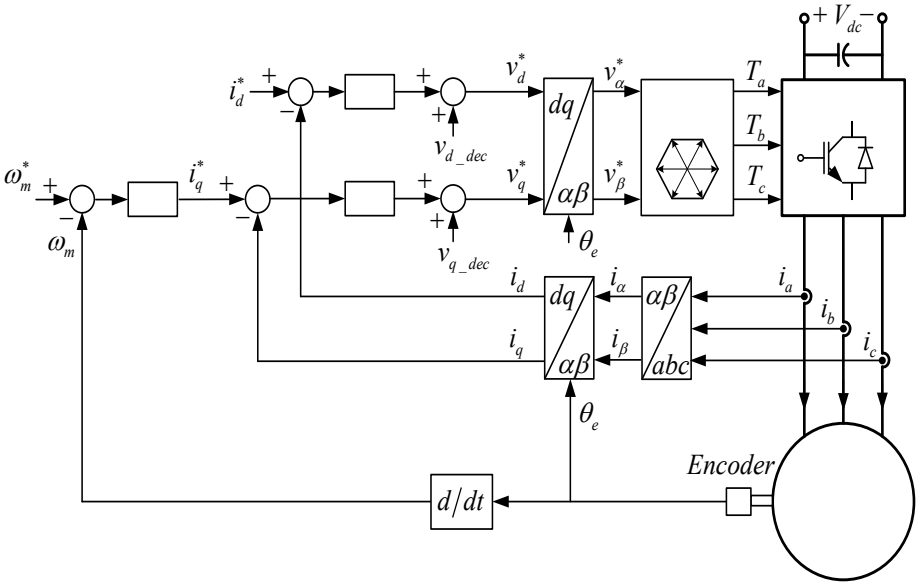
$$v_q = R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega_e \left(\psi_{pm} + L_d i_d \right) \tag{2}$$

$$T_e = \frac{3}{2} P \left[\psi_{pm} i_q + \left(L_d - L_q \right) i_d i_q \right] \tag{3}$$

โดยที่ v_{ds}, v_{qs}, i_{ds}, i_{qs} คือ แรงดันและกระแสไฟฟ้าของขดลวดสเตเตอร์แกนดีและแกนคิว ตามลำดับ R_s คือ ความต้านทานขดลวดสเตเตอร์ L_d, L_q คือ ความเหนี่ยวนำขดลวดสเตเตอร์แกนดีและแกนคิว ตามลำดับ ω_e คือ ความเร็วรอบทางไฟฟ้า และ P, ψ_{pm} คือ จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก และปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กถาวร ตามลำดับ

เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้พิจารณาในบทความนี้เป็นแบบแม่เหล็กถาวรล้อมแกนโรเตอร์ (surface mounted PMSM, SPM) ซึ่งมีค่าความเหนี่ยวนำแกนดีและแกนคิวเท่ากัน ($L_d = L_q$) จึงส่งผลให้แรงบิดสามารถจัดรูปใหม่ได้เป็นไปดังสมการ (4)

$$T_e = \frac{3}{2} P \psi_{pm} i_q \tag{4}$$



รูปที่ 1 ระบบขับมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการเวกเตอร์

วิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์

เพื่อให้ได้มาซึ่งสมรรถนะเชิงพลวัตสำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่ดีและสามารถควบคุมปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กและแรงบิดอย่างอิสระต่อกัน ผ่านทางการควบคุมกระแสแกนดีและกระแสแกนคิว ตามลำดับ ซึ่งจะคล้ายกับการควบคุมดีซีมอเตอร์ วิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์จึงถูกนำเสนอโดยมีผังการควบคุมเป็นดังรูปที่ 1 และจากหลักการแรงบิดสูงสุดต่อกระแส (Maximum torque per ampere, MTPA) สำหรับมอเตอร์ที่พิจารณาเป็นแบบแม่เหล็กถาวรล้อมแกนโรเตอร์ ดังนั้น กระแสอ้างอิงแกนดีจึงถูกควบคุมให้มีค่าเป็นศูนย์ตลอดช่วงการทำงาน เป็นดังสมการที่ (5) โดยกระแสอ้างอิงแกนคิวถูกกำหนดค่าจากเอาต์พุตของลูปควบคุมความเร็วรอบที่แปรเปลี่ยนตามความต้องการของแรงบิดโหลดและความเร็วรอบ

$$i_d^* = 0 \tag{5}$$

โดยที่ * คือ ตัวกำหนดค่าอ้างอิง

จากสมการแรงดัน (1) และ (2) เมื่อทำการแปลงลาปลาส (Laplace transform) ทั้งสองแกนจะเป็นดังสมการที่ (6) และ (7) ตามลำดับ โดยพบว่า พจน์สุดท้ายของทั้งสองสมการเกิดการคู่ควบข้าม โดยสมการแรงดันในแกนดีจะสามารถแปรผันกับกระแสแกนคิว และในลักษณะเดียวกันกับสมการแรงดันในแกนคิวที่จะสามารถปรับเปลี่ยนค่าตามกระแสแกนดี

$$v_d(s) = [R_s + sL_d]i_d(s) - \omega_e L_q i_q(s) \tag{6}$$

$$v_q(s) = [R_s + sL_q]i_q(s) + \omega_e[\psi_{pm} + L_d i_d(s)] \tag{7}$$

โดยที่ s คือ อนุพันธ์ในรูปแบบการแปลงลาปลาส

ในการออกแบบตัวควบคุมวงปิดของลูปกระแสสำหรับวิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์ ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ที่พิจารณาจากสมการแรงดัน (6) และ (7) โดยละทิ้งส่วนที่มีการคู่ควบข้าม เพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุมของแกนดีและแกนคิว เป็นดังสมการที่ (8) และ (9) ตามลำดับ

$$i_d(s) = \frac{1}{(R_s + sL_d)} v_d(s) \tag{8}$$

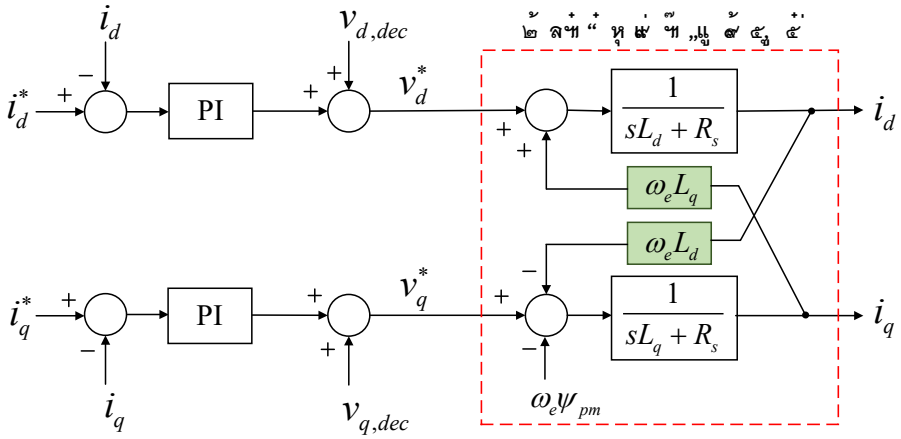
$$i_q(s) = \frac{1}{(R_s + sL_q)} v_q(s) \tag{9}$$

การชดเชยผลการคู่ควบข้าม

จากการพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับลูปควบคุมวงปิดของกระแสทั้งสองแกน ดังแสดงในสมการที่ (8) และ (9) ส่งผลให้เอาต์พุตของตัวควบคุมทั้งสองแกนเป็นค่าแรงดันที่ขาดการพิจารณาส่วนของการคู่ควบข้าม ซึ่งอาจส่งผลอย่างมากต่อสมรรถนะของการขับมอเตอร์ เนื่องจากแรงดันอ้างอิงดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อสภาวะที่มอเตอร์ต้องการในขณะขับโหลด รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 2 ดังนั้น เพื่อเป็นการเพิ่มสมรรถนะของระบบควบคุมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการขับในสภาวะพลวัตภายใต้วิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์ แรงดันอ้างอิงของทั้งแกนดีและแกนคิวจำเป็นจะต้องมีการชดเชย เป็นดังสมการที่ (10) และ (11) ตามลำดับ ซึ่งจะสอดคล้องกับผังการควบคุมในรูปที่ 2

$$v_{d,dec} = -\omega_e L_q i_q \tag{10}$$

$$v_{q,dec} = \omega_e (\psi_{pm} + L_d i_d) \tag{11}$$



รูปที่ 2 การชดเชยผลการคู่ควบข้ามสำหรับการขับมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร

ผลการจำลอง

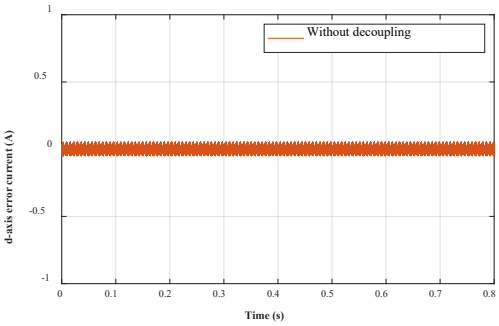
มอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรขนาด 1.5 กิโลวัตต์ 400 โวลต์ ถูกใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการคู่ควบข้ามต่อระบบขับมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรบนพื้นฐานของวิธีการควบคุมแบบเวกเตอร์ เทคนิคการสวิตช์แบบสเปซเวกเตอร์ (Space vector pulse width modulation, SVPWM) ถูกใช้สำหรับการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์สามเฟส และตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลอง

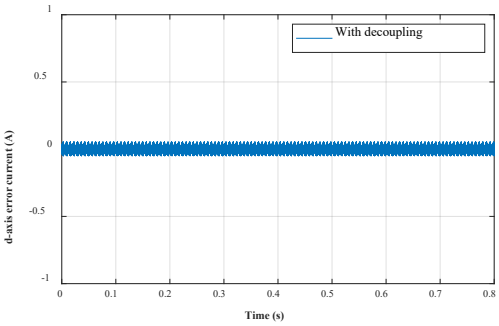
ชื่อตัวแปร	สัญลักษณ์	ปริมาณ	หน่วย
แรงดันดีซี	V_{dc}	400	โวลต์
พิกัดกระแสสูงสุด	I_m	5.0	แอมแปร์
พิกัดความเร็วรอบ	ω_{rate}	1300	รอบต่อนาที
พิกัดแรงบิด	$T_{e,max}$	11.0	นิวตันเมตร
เส้นแรงแม่เหล็กถาวร	ψ_{pm}	0.49	เวปเบอร์
ความต้านทานขดลวดอาร์เมเจอร์	R_s	5.0	โอห์ม
ความเหนี่ยวนำแกนดีและแกนคิว	L_d, L_q	0.02	เฮนรี่
โมเมนต์ความเฉื่อย	J	0.001	กิโลกรัมเมตร
ค่าคงที่ความเสียดทาน	B	$1x10^{-7}$	นิวตันเมตรวินาที
จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก	P	3	คู่
ความถี่การสวิตช์	f_s	15	กิโลเฮิรตซ์

รูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบความผิดพลาดของกระแสแกนดีและคิวระหว่างกรณีที่มีการชดเชยและไม่มีการชดเชยผลการคู่ควบข้ามของสมการแรงดันในลูปกระแสทั้งสองแกน ขณะไม่ขับโหลด (T_L = 0) ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที และความเร็ว 1,200 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยสังเกตุได้ว่า ค่าความผิดพลาดของกระแสแกนดีและแกนคิวจะมีค่าไม่แตกต่างกันของทั้งกรณีชดเชยและไม่ชดเชยผลการคู่ควบข้าม ทั้งในกรณีที่ความเร็วรอบต่ำ (500 รอบต่อนาที) หรือความเร็วที่สูงขึ้น (1,200 รอบต่อนาที) เนื่องจากขณะไม่ขับโหลดส่งผลให้กระแสแกนคิวมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่กระแสแกนดีถูกกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ตามกระแสอ้างอิง

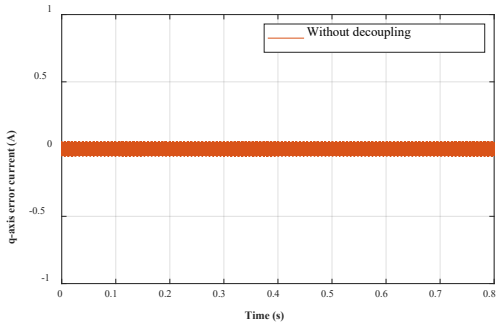
รูปที่ 5 แสดงผลแสดงผลการเปรียบเทียบความผิดพลาดกำลังสองของกระแส โดยที่พิจารณาผลทั้งกรณีขณะไม่ขับโหลด และมีการปรับแรงบิดโหลดให้มีค่าเท่ากับ 10 นิวตันเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จากผลการจำลองพบว่า ขณะขับที่แรงบิดโหลดเท่ากับ 10 นิวตันเมตร จะมีค่าความผิดพลาดกำลังสองของกระแสสูง และจะเห็นได้อย่างชัดเจนในย่านความเร็วรอบยิ่งสูง โดยที่ผลกระทบของกระแสแกนคิวจะมีค่ามากกว่ากระแสในแกนดี ซึ่งเกิดจากผลของแม่เหล็กถาวรที่ถูกพิจารณาในแกนคิว เป็นตามสมการที่ (2) ส่วนค่าผิดพลาดกำลังสองของความเร็วรอบและแรงดันชดเชยการคู่ควบข้ามของแกนดีและแกนคิว แสดงในรูปที่ 5(ค) และ 5(ง) ตามลำดับ



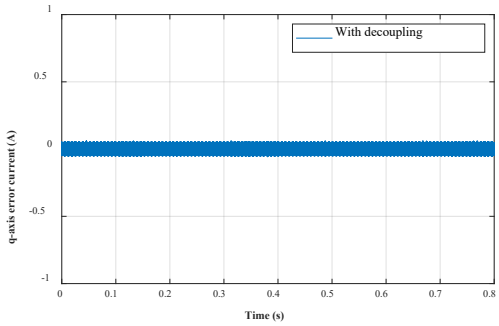
(ก) กระแสแกนดี กรณีไม่มีการชดเชย



(ข) กระแสแกนดี กรณีมีการชดเชย

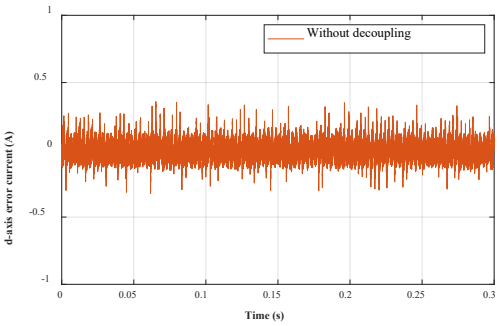


(ค) กระแสแกนคิว กรณีไม่มีการชดเชย

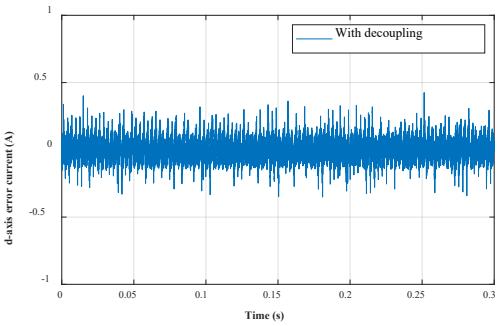


(ง) กระแสแกนคิว กรณีมีการชดเชย

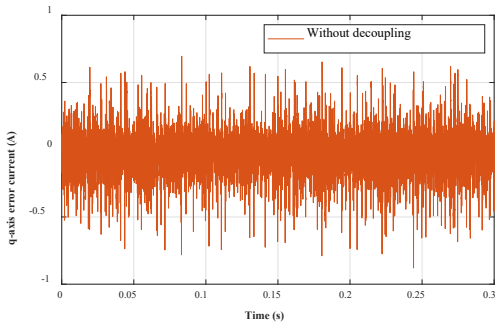
รูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความผิดพลาดของกระแสแกนดีและคิว ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที



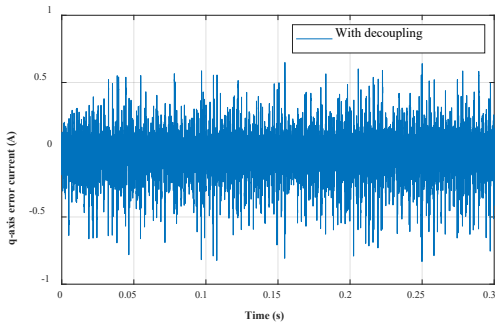
(ก) กระแสแกนดี กรณีไม่มีการชดเชย



(ข) กระแสแกนดี กรณีมีการชดเชย

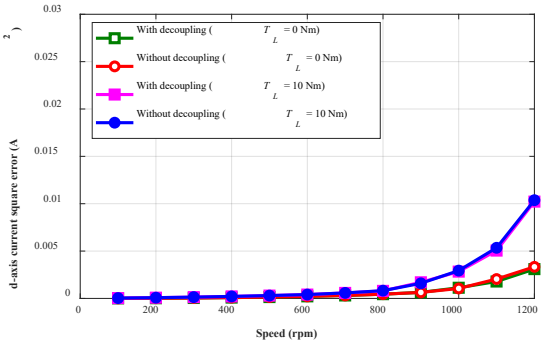


(ค) กระแสแกนคิว กรณีไม่มีการชดเชย

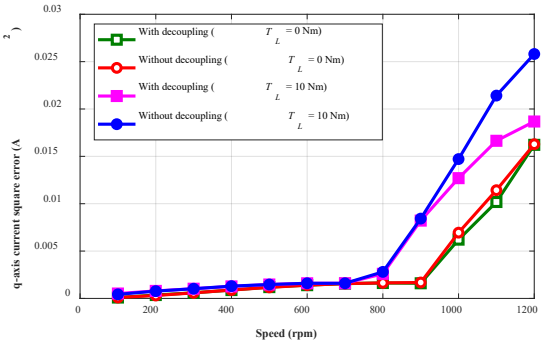


(ง) กระแสแกนคิว กรณีมีการชดเชย

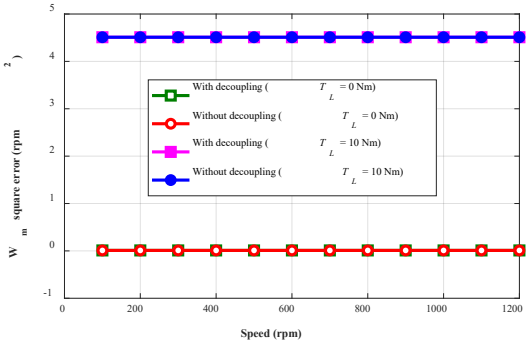
รูปที่ 4 ผลการเปรียบเทียบความผิดพลาดของกระแสแกนดีและคิว ที่ความเร็ว 1200 รอบต่อนาที



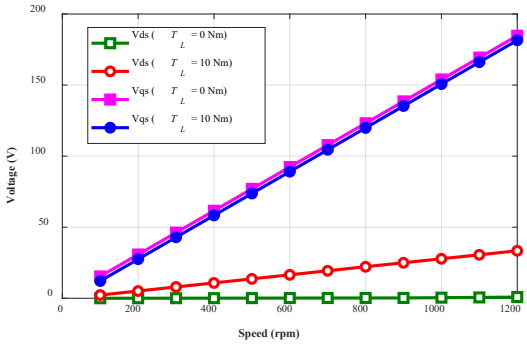
(ก) ความผิดพลาดกำลังสองของกระแสแกนดี



(ข) ความผิดพลาดกำลังสองของกระแสแกนคิว

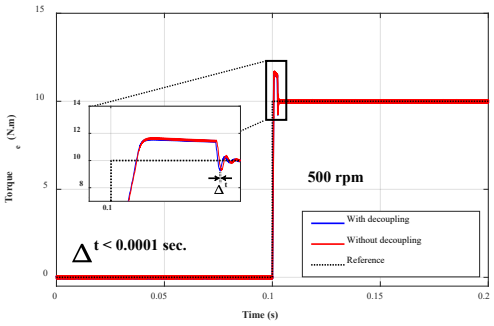


(ค) ความผิดพลาดกำลังสองของความเร็วรอบ

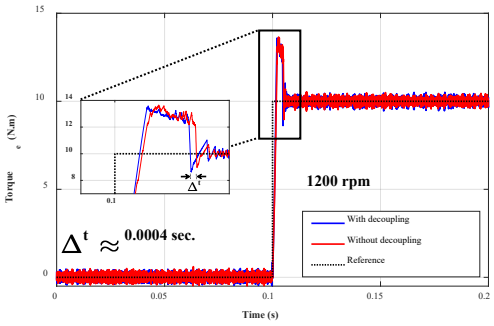


(ง) แรงดันชดเชยการคู่ควบข้ามของแกนดีและแกนคิว

รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองของกระแสและความเร็วรอบ



(ก) ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที



(ข) ที่ความเร็ว 1200 รอบต่อนาที

รูปที่ 6 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงพลวัตระหว่างกรณีที่ชดเชยและไม่ชดเชยการคู่ควบข้าม

มากไปกว่านั้น สมรรถนะเชิงพลวัตของระบบขับมอเตอร์ขณะมีการเปลี่ยนแปลงโหลดในสภาวะชั่วครู่จาก 0 นิวตันเมตรไปเป็น 10 นิวตันเมตร โดยมีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 6 จะให้ผลลัพธ์ที่ไม่ต่างกันทั้งกรณีที่มีการชดเชยและไม่ชดเชยผลการควบคู่ข้ามขณะขับที่ความเร็วรอบต่ำที่ 500 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 6(ก) แต่หากพิจารณาที่ความเร็วรอบสูงขึ้นเป็น 1,200 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 6(ข) พบว่า การชดเชยผลการควบคู่ข้ามสามารถให้สมรรถนะเชิงพลวัตที่ดีกว่ากรณีที่ไม่มีการชดเชย ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการแรงดันชดเชยการควบคู่ข้าม (10) และ (11) ที่แปรผันตรงกับความเร็วรอบ

สรุปผล

ผลกระทบของการคู่ควบข้ามที่ส่งผลต่อสมรรถนะการขับมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรถูกพิจารณาและวิเคราะห์ด้วยผลการจำลองในบทความนี้ โดยพบว่า หากปราศจากการชดเชยผลของการคู่ควบข้ามระหว่างแกนดีและคิวของตัวควบคุมกระแสบนพื้นฐานของวิธีการคุมแบบเวกเตอร์ ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดระหว่างกระแสไฟฟ้าอ้างอิงและกระแสไฟฟ้าที่วัดค่าจากมอเตอร์มีค่ามากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วรอบสูง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสเถียรภาพของตัวควบคุมในลูปกระแสทั้งแกนดีและคิว อีกทั้งยังเป็นการลดสมรรถนะเชิงพลวัตของมอเตอร์ขณะมีการเปลี่ยนแปลงโหลด ดังนั้น การชดเชยผลการควบคู่ข้ามสำหรับการขับมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ

เอกสารอ้างอิง

M. Zhao, H. Zhao and H. Chen, "A dynamic-decoupling controller of current for permanent magnet synchronous motor," *29th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Chongqing, China, 2017, pp. 3939-3944, doi: 10.1109/CCDC.2017.7979189.

Y. Wang, S. Yang and Z. Xie, "Extended state observer based current decoupling control for PMSM," *22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Harbin, China, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICEMS.2019.8921959.

G. Xingye, L. Chuang, Z. Yuefei and W. Kai, "Analysis and dynamic decoupling control schemes for PMSM current Loop," *IEEE International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS)*, Beijing, China, 2016, pp. 570-574, doi: 10.1109/AUS.2016.7748115.

Sang-Hoon Kim, Electric Motor Control, Elsevier, 2017.

Z. Zhu, X. Wang, B. Yan, L. Li and Q. Wu, "A dynamic decoupling control method for PMSM of brake-by-wire system based on parameters estimation," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 27, no. 5, pp. 3762-3772, Oct. 2022, doi: 10.1109/TMECH.2021.3130907.

การศึกษาการเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนไมโครกริดด้วย SMES ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดียืดหยุ่นภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ชนิดปฏิเสธการให้บริการ

The Study of Microgrid Virtual Inertia Improvement Using SMES Controlled by Resilient PID Controller Under Denial-of-Service Attacks

จงลักษณ์ พาหะซา[1*], ชมัยพร ใจชนะ[1] คนึงนิจ คำแว่น[1] ณฐนน ต่อมยิ้ม[1]

Jonglak Pahasa[1*], Chamaiporn Jaichana[1], Khanuengnit Khamwaen[1], Natanon Tomyim[1]

บทคัดย่อ

ไมโครกริดเป็นระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กในระบบจำหน่าย ซึ่งประกอบด้วยโหลดในพื้นที่ หน่วยควบคุม และแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว การควบคุมแบบกระจายตัวของไมโครกริดขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารขั้นสูงที่ไวต่อการโจมตีทางไซเบอร์ เช่น การโจมตีชนิดปฏิเสธการให้บริการ (DoS) ซึ่งการโจมตีชนิด DoS อาจทำให้การทำงานของไมโครกริดมีความเฉื่อยต่ำและไม่มีเสถียรภาพ บทความนี้จะทำการศึกษา การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด (SMES) ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดียืดหยุ่น (RPID) ภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ชนิดปฏิเสธการให้บริการ (DoS) ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า SMES ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม RPID ที่นำเสนอ สามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือน และสามารถลดการเบี่ยงเบนความถี่ของไมโครกริดภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ แบบ DoS ที่ทำการศึกษาได้

คำสำคัญ: การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือน การควบคุมความถี่โหลด, ไมโครกริด, ระบบสะสมพลังงานด้วยตัวนำยิ่งยวด, การโจมตีชนิด DoS

Abstract

Microgrids are small-scale power distribution systems that include local loads, control units, and distributed energy resources. The distributed control of a microgrid is fully dependent on advanced information and communication technologies that are sensitive to cyberattacks such as denial-of-service (DoS) attacks. DoS attacks can cause unstable operation of low inertia microgrids. This paper is intended to study virtual inertia control of microgrid by superconducting magnetic energy storage (SMES) controlled by resilient proportional-integral-derivative (RPID) controller under denial-of-service attacks (DoS). Simulation results demonstrate that SMES controlled by the proposed RPID controller is able to improve virtual inertia emulations and decrease frequency deviation of the studied microgrid under DoS attacks.

Keywords: Virtual inertia control, Load frequency control, Bicrogrid, Superconducting magnetic energy storage, DoS attacks

[1] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Electrical Engineering, School of Engineering, University of Phayao, Phayao 56000

*Corresponding author : jonglak.pa@up.ac.th

บทนำ

ไมโครกริด (Microgrid) เป็นระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กรูปแบบใหม่ ซึ่งรองรับการเพิ่มขึ้นของแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน (renewable energy resources: RES) ในปัจจุบัน เช่น แหล่งจ่ายพลังแสงอาทิตย์ (photovoltaic generations) เป็นต้น [1–2] การควบคุมไมโครกริดเป็นการควบคุมแบบกระจายตัว (distributed control) ซึ่งตัวควบคุมนี้จะอยู่ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (distribution generation: DG) อย่างไรก็ตาม การควบคุมแบบกระจายตัวของไมโครกริด มีความจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารขั้นสูง (advanced information and communication technologies) [1–2] ซึ่งมีความอ่อนไหวต่อการโจมตีทางไซเบอร์ (cyber–attacks) อาทิเช่น การโจมตีชนิดปฏิเสธการให้บริการ (denial–of–service attacks: DoS attacks) ซึ่งอาจทำให้การทำงานของไมโครกริดที่มีความเฉื่อยต่ำ (low–inertia microgrid) ไม่มีเสถียรภาพ (unstable operation) ได้ [2] ส่งผลเสียต่อระบบไมโครกริดในด้านต่างๆ เช่น ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ในไมโครกริดเกิดความเสียหาย หรือทำให้เกิดไฟฟ้าดับทั้งไมโครกริดได้

นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานไฟฟ้าและการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานสะอาด เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซ CO2 ส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ มีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนเหล่านี้ โดยปกติจะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังด้วยอุปกรณ์แปลงผันอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ส่งผลให้แรงเฉื่อยเสมือนของระบบไฟฟ้ากำลังลดลง ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่ (RoCoF) และการเบี่ยงเบนของความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังมีค่ามากกว่าค่าที่ยอมรับได้ [3] โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์ใช้ ตัวสะสมพลังงานไม่เหล็กด้วยตัวนำยิ่งยวด (Superconducting magnetic energy storage: SMES เพื่อเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนในระบบไฟฟ้ากำลังและไมโครกริด [3–4] แต่ยังไม่มีการพิจารณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์

บทความนี้ จะทำการศึกษา การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กด้วยตัวนำยิ่งยวด (SMES) ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดียืดหยุ่น ภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

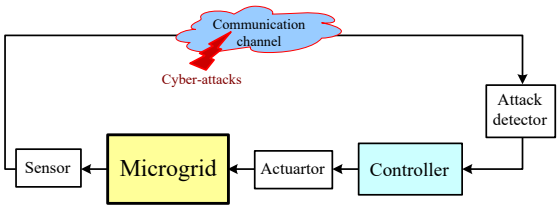
1) เพื่อทำการศึกษาหลักการทำงานของ SMES ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดียืดหยุ่น (resilient PI: RPI) เพื่อใช้ในการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS

2) เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดียืดหยุ่น สำหรับควบคุม SMES ที่พิจาณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS

3) เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองวิธีการออกแบบตัวควบคุมพีไอดียืดหยุ่นที่พิจารณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS ที่นำเสนอและวิธีการควบคุมแบบพีไอทั่วไป

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

1. การควบคุมไมโครกริดภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ [2]



รูปที่ 1 การควบคุมไมโครกริดภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์

ในการควบคุมแบบกระจายตัวของไมโครกริด ตัวควบคุมจะถูกวางไว้ใกล้กับอุปกรณ์ต่างๆ แบบกระจายตัว เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ และโหลดอัจฉริยะ เช่นยานยนต์ไฟฟ้า ประสิทธิภาพแบบไดนามิกของไมโครกริดสามารถปรับปรุงได้อย่างมีนัยสำคัญโดยสัญญาณที่ส่งจากเซ็นเซอร์ไปยังตัวควบคุมแบบกระจายตัว อย่างไรก็ตาม การโจมตีทางไซเบอร์นั้นแพร่หลายในเครือข่ายการสื่อสารและส่งผลกระทบอย่างมากต่อความมีเสถียรภาพ การทำงาน และการควบคุม ของไมโครกริด

รูปที่ 1 แสดงการควบคุมไมโครกริดภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ การโจมตีทางไซเบอร์จะเกิดขึ้นในช่องทางการสื่อสารระหว่างบล็อกตัวตรวจรู้ (Sensor) และตัวควบคุม (Controller) การโจมตีทางไซเบอร์จะทำความเสียหายให้กับการดำเนินงานของระบบด้วยการยกเลิกการบริการการสื่อสาร [2] ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพของตัวควบคุมลดลงระหว่างการโจมตีของ DoS ในความหมายนี้ บล็อกตัวควบคุม (Controller) ควรได้รับการออกแบบเพื่อลดผลกระทบจากสัญญาณการสื่อสารที่ขาดหายไปที่เป็นผลมากจากการโจมตีชนิด DoS

2. แรงเฉื่อยเสมือนจริงในระบบไฟฟ้ากำลัง

โดยปกติแรงเฉื่อยในระบบไฟฟ้ากำลัง (power system inertia) คือการหมุนของมวล (rotating mass) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (synchronous generators) ซึ่งทำเชื่อมต่อแบบซิงโครนัสกับโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง ความเร็วของมวลที่หมุนจะเปลี่ยนไปเมื่อความต้องการการใช้ไฟฟ้ามากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าได้ ณ ช่วงเวลาใดก็ตาม จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ใช้สำหรับพลังงานทดแทนที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวดังกล่าว ทำการเชื่อมต่อกับโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง ผ่านอินเวอร์เตอร์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งมีแรงเฉื่อยน้อย (inertia–less) ทำให้แรงเฉื่อยของระบบไฟฟ้าลดลง การจำลองแรงเฉื่อยเสมือนจากอุปกรณ์สะสมพลังงาน (Energy storage system: ESS) ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน [2–3] งานวิจัยนี้สนใจศึกษาหลักการทำงานของ SMES เพื่อใช้ในการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสมที่สุดด้วยอัลกอริทึมหิ่งห้อย

ดังอธิบายใน [3] อินเวอร์เตอร์เล็กทรอนิกส์กำลังถูกใช้เพื่อจำลองสมการการแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเพื่อใช้ในการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนจริง สมการการแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส สามารถแสดงนิพจน์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\bar{P}_m - \bar{P}_e = \frac{2H}{\omega_0}\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{2H}{\omega_0}\frac{d\Delta\omega_r}{dt} \quad (1)$$

เมื่อ $\bar{P}_m$ คือ กำลังทางกล (mechanical power) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

$\bar{P}_e$ คือ กำลังทางไฟฟ้า (electrical power) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

H คือ ค่าคงตัวแรงเฉื่อย (inertia constant)

ω_0 คือ ความเร็วเชิงมุมพิกัด (rated angular velocities) ของโรเตอร์

ω_r คือ ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์

δ คือ มุมโรเตอร์ (rotor angle)

t คือ เวลา

เมื่อรวมส่วนประกอบการหน่วง (damping component) ที่มีสัมประสิทธิ์การหน่วง (damping coefficient : K_D) รวมอยู่ด้วย สมการ (1) จะสามารถเขียนได้เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\bar{P}_m - \bar{P}_e = \frac{2H}{\omega_0}\frac{d\Delta\omega_r}{dt} + K_D\frac{\Delta\omega_r}{\omega_0} \quad (2)$$

สำหรับปัญหาการควบคุมความถี่โหลด (load frequency control: LFC) การเบี่ยงเบนของความเร็วเชิงมุม (angular velocity deviation: $\Delta\omega_r$) จะเปลี่ยนแปลงตามการเบี่ยงเบนของความถี่ (frequency deviation: Δf) ดังนั้น สมการ (2) จึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็นดังสมการ

$$\bar{P}_m - \bar{P}_e = \frac{2H}{f_0}\frac{d\Delta f}{dt} + K_D\frac{\Delta f}{f_0} \quad (3)$$

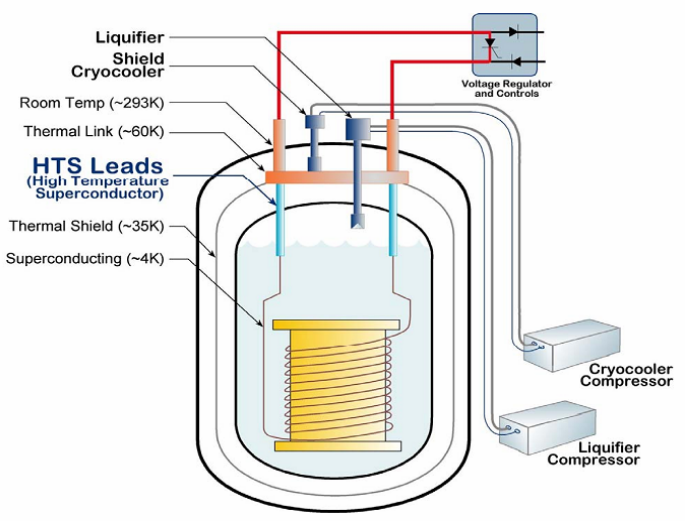
เมื่อ f_0 คือ ความถี่พิกัด (rated frequency) ของระบบไฟฟ้ากำลัง

f คือ ความถี่ หรือ ความถี่ทันที (instantaneous frequency) ของระบบไฟฟ้ากำลัง

$d\Delta f / dt$ คือ อัตราการเบี่ยงเบนของความถี่ (rate of change of frequency: RoCoF) ของระบบไฟฟ้ากำลัง

2 แบบจำลอง SMES และส่วนควบคุม [5]

ตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กโดยใช้ตัวนำยิ่งยวด คืออุปกรณ์สะสมพลังงานที่มีความสามารถทั้งรับและจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว [5] โดยสะสมพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลของไฟฟ้ากระแสตรงในขดลวดตัวนำยิ่งยวดที่ถูกทำให้มีอุณหภูมิต่ำจนความต้านทานมีค่าเป็นศูนย์ ได้มีการนำ SMES มาใช้เมื่อหลายปีที่ผ่านมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมและเพิ่มเสถียรภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟ ข้อดีของ SMES คือสามารถที่จะกลับมารับหรือจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในเวลาอันสั้น และยังสามารถกลับมาทำซ้ำได้หลายพันครั้งโดยไม่ทำให้แม่เหล็กเกิดการเสื่อม



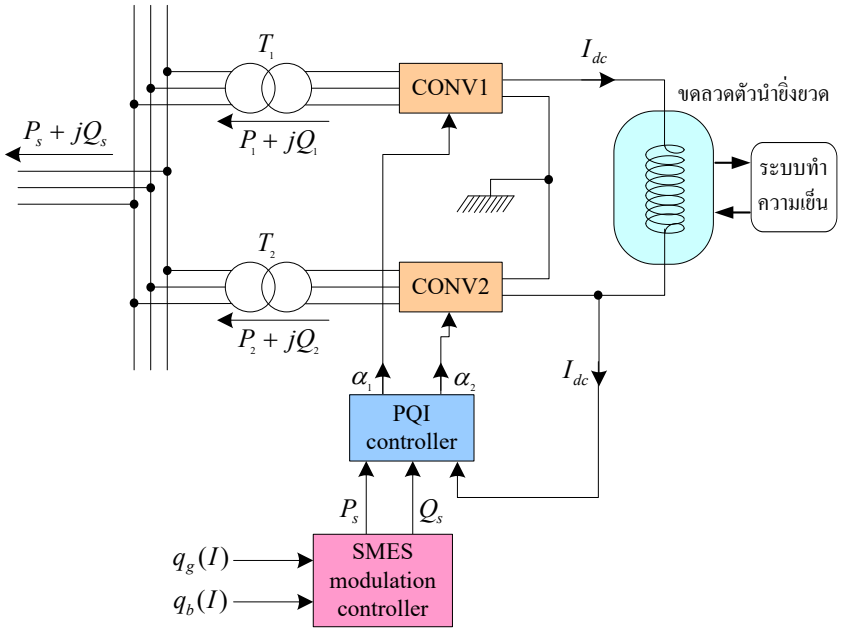
รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของ SMES

โครงสร้างของ SMES แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งมีอุปกรณ์สำคัญประกอบด้วย ขดลวดตัวนำยิ่งยวด (superconducting coil) ระบบทำความเย็น (refrigeration system) และท่อสูญญากาศ (vacuum vessel) โดยพลังงานไฟฟ้าสะสมในรูปสนามแม่เหล็กของ SMES เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านขดลวดที่พันไว้ ถ้าขดลวดที่ใช้นั้นเป็นขดลวดแบบทั่วไป เช่น ลวดทองแดง พลังงานแม่เหล็กจะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากความร้อน โดยความร้อนนี้เป็นผลมาจากความต้านทานของขดลวดต่อการไหลของกระแส อย่างไรก็ตามถ้าขดลวดที่ใช้นั้นมีคุณสมบัติเป็นตัวนำยิ่งยวด (ความต้านทานเป็นศูนย์) จะทำให้พลังงานที่สะสมนั้นคงสภาพอยู่ในขดลวดจนกระทั่งถูกจ่ายออกไป ตัวนำยิ่งยวดที่มีความต้านทานเป็นศูนย์นี้ ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีความร้อนต่ำ เพื่อให้การลดลงของความร้อนนั้นถูกทำให้หายไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งตัวทำความเย็นในระบบการทำงานของ SMES เพื่อทำความเย็นให้กับขดลวด ในส่วนทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับยังมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าอยู่ แต่ก็สามารถที่จะลดให้ต่ำลงที่สุดด้วยการออกแบบอุปกรณ์และโครงสร้างให้มีความเหมาะสม สำหรับในส่วนของไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับสิ่งสำคัญที่สุดก็คือ การรักษาพลังงาน เนื่องจากกระแสเป็นตัวนำไปสู่ความสามารถของขดลวด ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสนามแม่เหล็ก ดังนั้นการทำงานที่เหมาะสมโดยทั่วไปของอุปกรณ์เหล่านี้อยู่ที่ประมาณ $50-77\ K^{\circ}$ โดยพลังงานสะสม (E) ภายในขดลวดสามารถหาได้จาก

$$E=\frac{1}{2}LI^{2} \tag{4}$$

เมื่อ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำขดลวด

I คือ กระแสไหลผ่านขดลวด



รูปที่ 3 ลักษณะการทำงานของ SMES

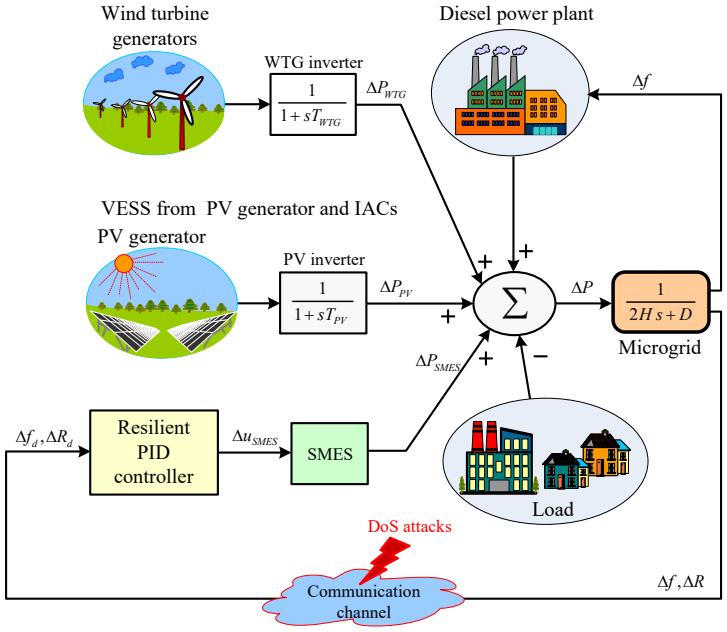
ลักษณะการทำงานของ SMES ในระบบไฟฟ้ากำลังแสดงดังรูปที่ 3 การส่งผ่านแรงดันจากโครงสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ จะถูกลดลงจากหลายร้อยกิโลโวลต์ ไปยังหลายร้อยโวลต์ด้วยการใช้หม้อแปลงแบบแปลงลง (step-down transformer) แล้วทำการเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อป้อนให้กับขดลวดตัวนำยิ่งยวด ดังนั้น เมื่อกำลังไฟฟ้าไหลจากระบบไปยังขดลวด แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะทำการชาร์จและทำให้พลังงานสะสมในขดลวด การสะสมพลังงานสูงสุดขึ้นอยู่กับการออกแบบอุปกรณ์ เมื่อระบบไฟฟ้ากำลังมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เช่น แรงดันตกหรือการเปลี่ยนแปลงความถี่ ขดลวดจะทำการจ่ายพลังงานออกมาเสมือนกับแหล่งจ่ายพลังงาน แล้วทำการเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้ตัวแปลงผัน (converter)

SMES เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สามารถทั้งจ่ายและรับพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน คุณลักษณะพิเศษเหล่านี้ เมื่อนำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้ากำลัง ทำให้สามารถแก้ปัญหาต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังได้อย่างทันท่วงที

วิธีวิทยาการวิจัย

1. ไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา

รูปที่ 4 และ รูปที่ 5 แสดงไมโครกริดและแบบจำลองเชิงเส้นของไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษาตามลำดับ ซึ่งระบบประกอบด้วย ฟาร์มกังหันลมขนาด 6 เมกกะวัตต์ (0.3 pu) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ขนาด 6 เมกกะวัตต์ (0.3 pu) กลุ่มโหลดขนาด 16 เมกกะวัตต์ (0.8 pu) โรงไฟฟ้าดีเซลล์ที่สามารถควบคุมความถี่ได้ขนาด 8 เมกกะวัตต์ (0.40 pu) ค่าฐานของระบบคือ 20 เมกกะวัตต์ [6] ความถี่ฐานของระบบคือ 50 Hz และเนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งสร้างจากฟาร์มกังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ และการเปลี่ยนแปลงโหลด ทำให้เกิดการแกว่งของความถี่ในไมโครกริด นอกจากนี้การต่อแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน ฟาร์มกังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ ด้วยอุปกรณ์แปลงผันอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ส่งผลให้แรงเฉื่อยของไมโครกริดลดลง ดังนั้น จึงมีการติดตั้ง SMES ในไมโครกริดเพื่อลดการเบี่ยงเบนของความถี่และช่วยเพิ่มความเฉื่อยเสมือนจริงให้กับไมโครกริดด้วย โดย SMES จะถูกควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมพีไอที่หาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยอัลกอริทึมหิ่งห้อย



รูปที่ 4 ไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา

2. แบบจำลองไมโครกริดสำหรับการควบคุมแรงเฉื่อนเสมือนจริง

รูปที่ 4 แสดงการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนจริงของระบบไมโครกริดด้วย SMES โดยความแตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตขึ้น (generated power) และความต้องการของโหลด (load demand) ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของความถี่ออกจากความถี่ที่ระบุของระบบ (50 Hz หรือ 60 Hz) ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นน้อยกว่าความต้องการของโหลด จะทำให้ความเร็วและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเริ่มลดลง หรือในทางกลับกัน ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมากกว่าความต้องการของโหลด จะทำให้ ความเร็วและความถี่ของหน่วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเริ่มเพิ่มขึ้น

โดยการเบี่ยงเบนของความถี่ของไมโครกริด (microgrid frequency deviation: Δf) สามารถเขียนได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\Delta f = \frac{1}{2Hs+D}\left(\underbrace{\Delta P_{DS}+\Delta P_{PV}+\Delta P_{WTG}}_{\text{generated power}}\ \underbrace{-\Delta P_{Load}-\Delta P_{SMES}}_{\text{demanded power}}\right) \tag{5}$$

เมื่อ H คือ คุณลักษณะแรงเฉื่อย (inertial properties) ของไมโครกริด

D คือ คุณลักษณะการหน่วง (damping properties) ของไมโครกริด

ΔP_{DS} คือ การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้า (power deviation) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

ΔP_{PV} คือ การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์

ΔP_{WTG} คือ การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม

ΔP_{Load} คือ การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของความต้องการของโหลด

ΔP_{SMES} คือ การเบี่ยงเบนกำลังไฟฟ้าของ SMES

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่หรือ *RoCoF* ของไมโครกริดสามารถกำหนดได้เป็นดังสมการ

$$R = \frac{d\Delta f}{dt} = \frac{\Delta f(t)-\Delta f(t_p)}{t-t_p},\ t > t_p \tag{6}$$

เมื่อ R คือ สัญลักษณ์แบบสั้นของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่ *RoCoF*

t คือ เวลาปัจจุบันของการจำลอง (current simulation times)

t_p คือ เวลาก่อนหน้าของการจำลอง (previous simulation times)

$\Delta f(t)$ คือ การเบี่ยงเบนของความถี่ที่เวลาปัจจุบัน

$\Delta f(t_p)$ คือ การเบี่ยงเบนของความถี่ที่เวลาก่อนหน้า

3. แบบจำลองการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS

หนึ่งในข้อกังวลด้านความปลอดภัยที่ร้ายแรงที่สุดสำหรับระบบไซเบอร์–กายภาพ (cyber–physical systems) คือการโจมตีชนิดปฏิเสธการให้บริการ (denial of service: DoS) [16] เพื่อครอบครองหรือใช้ทรัพยากรที่จำกัด การโจมตีชนิด DoS จะส่งข้อมูลที่ทำให้เข้าใจผิดและไม่มีความหมายไปยังส่วนประกอบของระบบไฟฟ้า [1] ช่วงเวลาเหตุการณ์การโจมตีชนิด DoS สามารถระบุได้โดยสมการต่อไปนี้

$$\Im(0,\infty) \subseteq \bigcup_{l\in\square}[T_{on,l}, T_{off,l}] \tag{6}$$

เมื่อ T คือ ช่วงเวลาการชักตัวอย่าง (sampling period)

$T_{on,l} \in [T_{on}^{\min}, T], l \in \square$ คือ เวลาที่เกิดการโจมตีชนิด DoS ครั้งแรก หรือเวลาเริ่มเกิดการโจมตี

$T_{off,l} \in [T_{off}^{\min}, T], l \in \square$ คือ ช่วงเวลาที่การโจมตีชนิด DoS สิ้นสุดลง

$T_{on} < T_{off} \le T$ คือ เวลาทริกเกอร์ (trigger time) สำหรับการโจมตีชนิด DoS แต่ละครั้ง

$T_{off} - T_{on}.$ คือ ระยะเวลาการโจมตี (attack duration)

แบบจำลองของการโจมตีชนิด DoS แบบตัวแปรสุ่มไม่เป็นรายคาบ (nonperiodic random variable DoS attack) ในช่วงเวลาเกิด DoS ทั้งหมดสามารถกำหนดได้ดังสมการ

$$S_{DoS}(t) = \begin{cases} 0, & t \in \Im(0,\infty) \\ 1, & t \notin \Im(0,\infty) \end{cases} \tag{7}$$

เมื่อ $S = 0$ คือ การเกิดขึ้นของการโจมตีชนิด DoS (occurrence of DoS attacks)

$S = 1$ คือ การส่งสัญญาณปกติ (normal transmissions)

ในบทความนี้ การตรวจจับการโจมตีชนิด DoS จะติดตั้งไว้ในพื้นที่ใกลๆ กับตัวควบคุม SMES ในที่นี้จะสมมุติว่าตัวตรวจจับการโจมตีชนิด DoS สามารถตรวจจับการโจมตีได้ทุกครั้ง นอกจากนี้ สัญญาณ RoCoF และสัญญาณความถี่ระบบไมโครกริด ได้ถูกส่งจากตัวตรวจจับไมโครกริด (microgrid sensor) ผ่านช่องทางการสื่อสาร (communication channel) มายังส่วนควบคุมของโหลดอัจฉริยะแบบกระจายตัว ซึ่งก็คือ ส่วนควบคุม SMES ดังนั้น การเบี่ยงเบนของสัญญาณ RoCoF และ สัญญาณความถี่ระบบไมโครกริด ได้ถูกส่งผ่านช่องทางการสื่อสารภายใต้การโจมตีชนิด DoS ผลที่ตามมาคือ การเบี่ยงเบนของสัญญาณ RoCoF และ สัญญาณความถี่ระบบไมโครกริดดังกล่าว ได้รับความเสียหายจากการส่งสัญญาณ และต้องทำการพยากรณ์สัญญาณในช่วงที่ได้รับการโจมตีชนิด DoS ให้สามารถใช้งานเพื่อควบคุม SMES และการควบคุมดังกล่าวยังสามารถลดการแกว่งของ RoCoF และ ความถี่ไมโครกริด ได้

4. RPID สำหรับการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนจริงด้วย SMES ภายใต้การโจมตีชนิด DoS

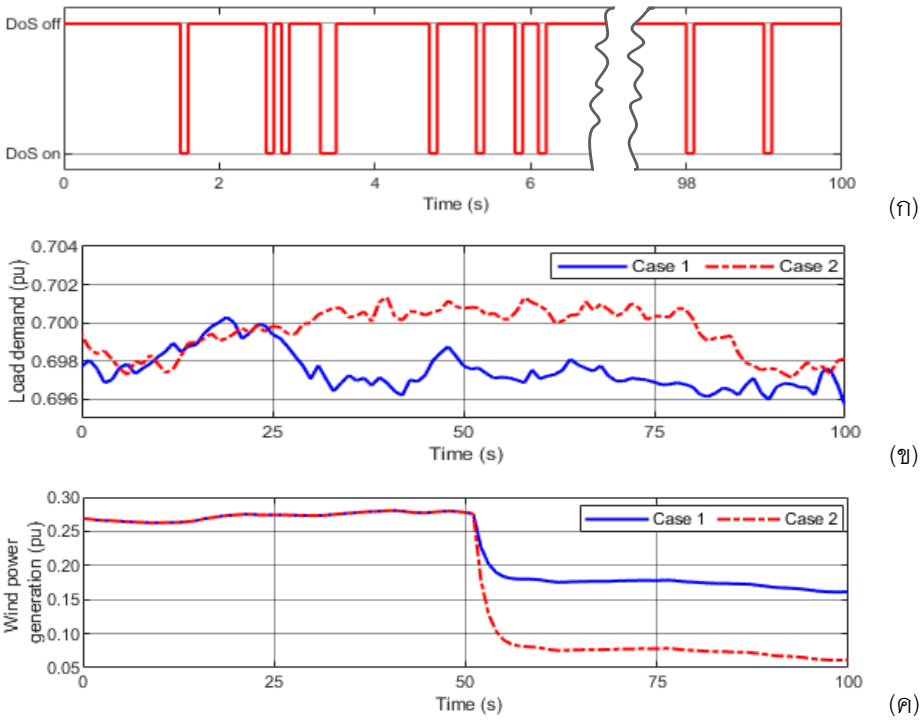
แบบจำลอง SMES สำหรับควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนจริงด้วยตัวควบคุมพีไอดียืดหยุ่น (resilient PID: RPID) ที่นำเสนอ แสดงดังในรูปที่ 4 โดยเมื่อสัญญาณการเบี่ยงเบนความถี่ (Δf) ได้รับความเสียหายจากการโจมตีชนิด DoS ทำให้สัญญาณ $\Delta f = 0$ ซึ่งหากใช้สัญญาณนี้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าของ SMES ก็อาจทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว สัญญาณควบคุม SMES สำหรับ RPID จึงตั้งได้เป็น

$$\Delta u_{PV}(t) = \begin{cases} \Delta u_{PV}(t-1), & During\ DoS \\ \Delta u_{PV}(t), & Otherwise \end{cases} \tag{8}$$

ในบทความนี้ การตรวจจับการโจมตีชนิด DoS จะติดตั้งไว้ในพื้นที่ใกลๆ กับตัวควบคุม SMES ในที่นี้จะสมมุติว่าตัวตรวจจับการโจมตีชนิด DoS สามารถตรวจจับการโจมตีได้ทุกครั้ง นอกจากนี้ สัญญาณ RoCoF และสัญญาณความถี่ของไมโครกริด ได้ถูกส่งจากตัวตรวจจับไมโครกริด (microgrid sensor) ผ่านช่องทางการสื่อสาร (communication channel) มายังส่วนควบคุมของ SMES แบบกระจายตัว ดังนั้น การเบี่ยงเบนของสัญญาณ RoCoF และสัญญาณความถี่ของไมโครกริด ได้ถูกส่งผ่านช่องทางการสื่อสารภายใต้การโจมตีชนิด DoS ผลที่ตามมาคือ การเบี่ยงเบนของสัญญาณ RoCoF และ สัญญาณความถี่ของไมโครกริด ดังกล่าว ได้รับความเสียหายจากการส่งสัญญาณ และต้องทำการพยากรณ์สัญญาณในช่วงที่ได้รับการโจมตีชนิด DoS ให้สามารถใช้งานเพื่อควบคุม SMES และการควบคุมดังกล่าวยังสามารถลดการแกว่งของ RoCoF และ ความถี่ไมโครกริดได้

ผลการศึกษา

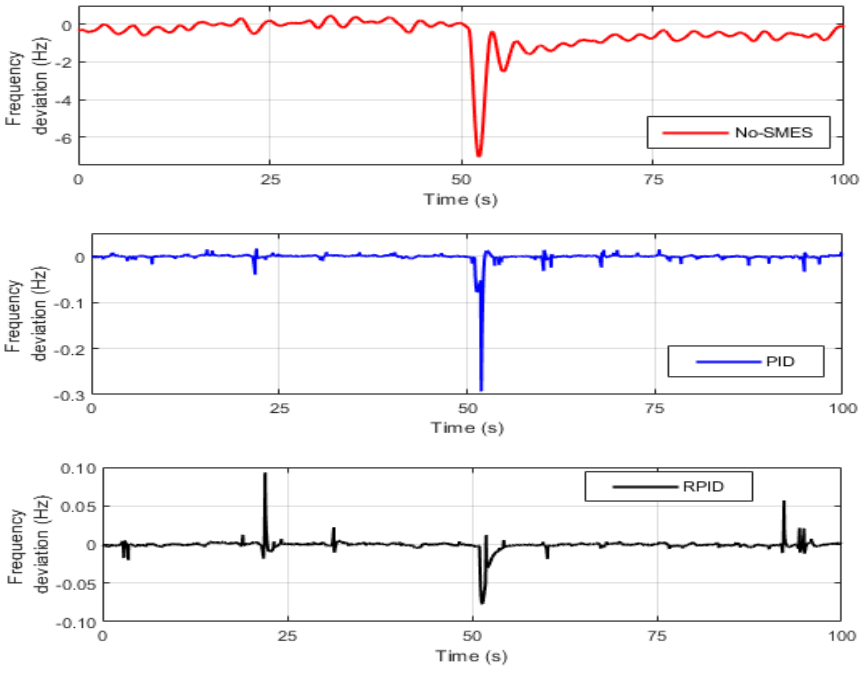
บทความนี้ จะทำการศึกษา การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด (SMES) ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดียืดหยุ่น ภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS



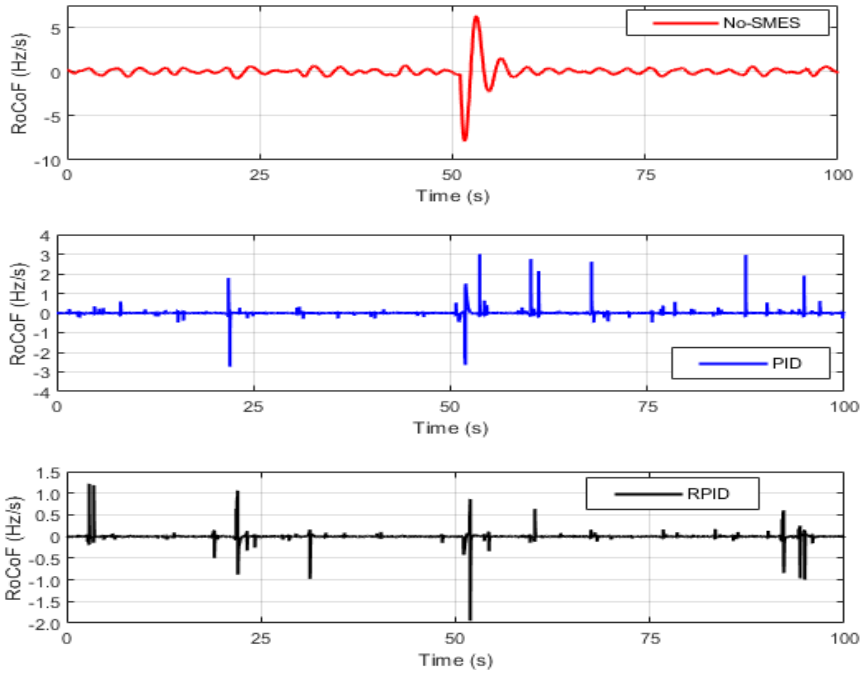
รูปที่ 5 กรณีศึกษา (ก) สัญญาณ DoS (ข) โหลด (ค) กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม

รูปที่ 5 แสดงกรณีศึกษา ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS ในช่วงเวลา 50 s ถึง 150 s ความต้องการของโหลดทั่วไป 2 กรณี โดยกรณี 1 มีการเปลี่ยนแปลงของโหลดน้อยกว่ากรณี 2 และกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม ซึ่งมีการปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมออกที่เวลา 100 s ขนาด 0.10 pu สำหรับกรณี 1 และ 0.2 pu สำหรับ กรณี 2 ซึ่งจะเห็นว่าเป็นการปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระหว่างมีการโจมตีชนิด DoS

โดยวิธีนำเสนอ RPID จะถูกเปรียบเทียบกับ อีก 2 วิธีคือ No-SMES และ PID โดยวิธี No-SMES คือ ระบบไมโครกริดที่ไม่ใช้ SMES ในการเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือน และวิธี PID คือ การใช้ SMES เพื่อเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือน ดังรูปที่ 4 แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุม SMES นั่น คือ $\Delta u_{SMES}(t) = \Delta u_{SMES}(t)$ เสมอ

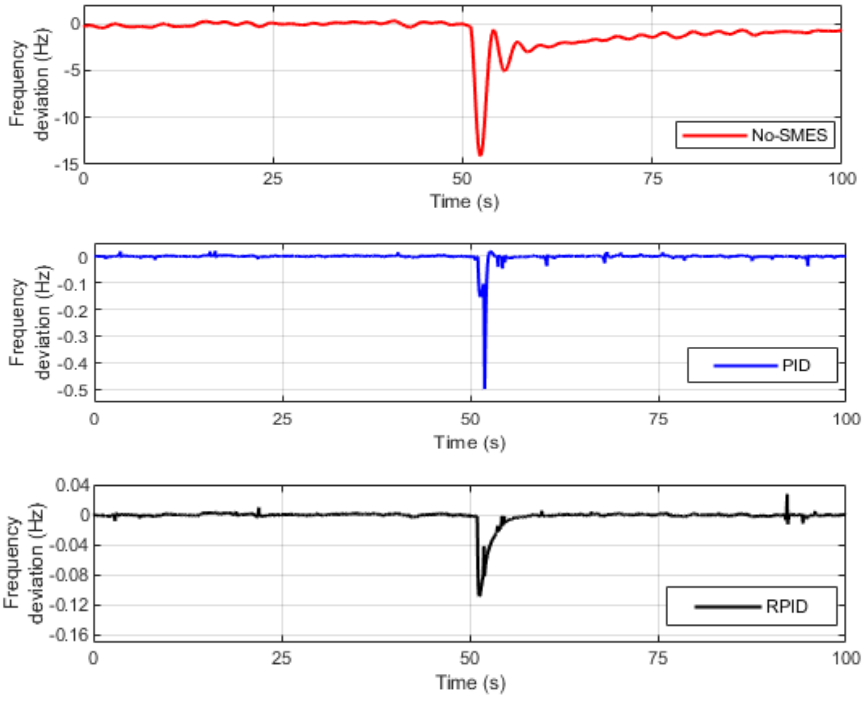


รูปที่ 6 การเบี่ยงเบนของความถี่ กรณี 1 (ก) No-SMES (ข) PID (ค) RPID

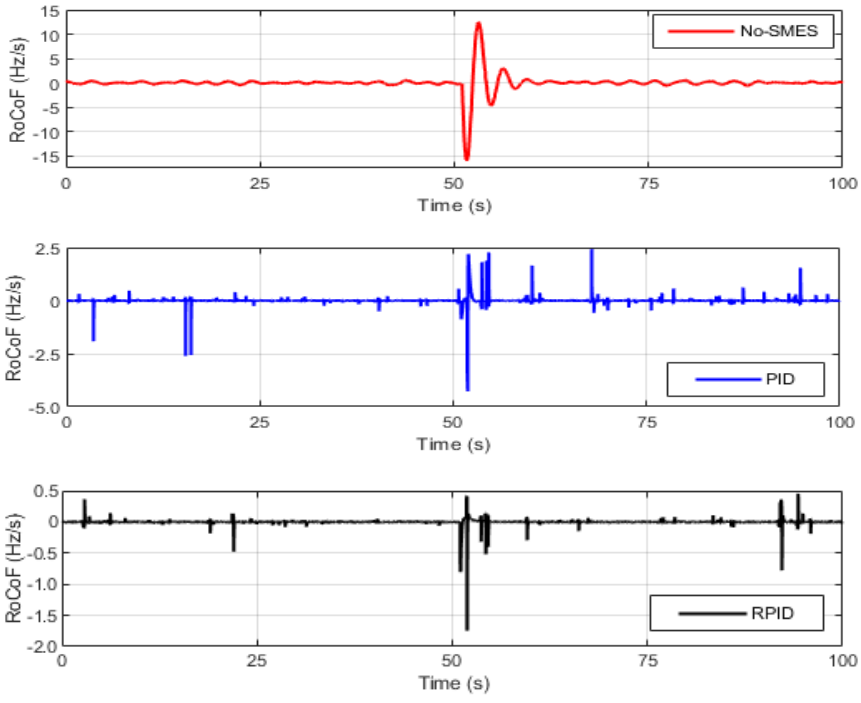


รูปที่ 7 RoCoF กรณี 1 (ก) No-SMES (ข) PID (ค) RPID

ผลการจำลองกรณี 1 แสดงดังรูปที่ 6-7 โดยรูปที่ 6 แสดงการเบี่ยงเบนความถี่ของทั้งสามกรณีที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งพบว่า การเบี่ยงเบนของความถี่ในกรณี RPID ที่นำเสนอต่ำกว่าวิธี PID และ No-SMES อย่างชัดเจน โดยสังเกตจากค่ามากที่สุดบนแกนตั้งที่แสดงถึงการเบี่ยงเบนความถี่ รูปที่ 7 แสดง RoCoF ของทั้งสามวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งจะเห็นว่า วิธีนำเสนอ RPID ให้ค่า RoCoF ต่ำกว่า PID และ No-SMES ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการนำเสนอ RPID สามารถเพิ่มเรงเฉื่อยเสมือนให้กับระบบไมโครกริดได้ดีกว่า วิธี PID และ No-SMES



รูปที่ 8 การเบี่ยงเบนของความถี่ กรณี 2 (ก) No-SMES (ข) PID (ค) RPID



รูปที่ 9 RoCoF กรณี 2 (ก) No-SMES (ข) PID (ค) RPID

ผลการจำลองกรณี 2 แสดงดังรูปที่ 8-9 โดยรูปที่ 8 แสดงการเบี่ยงเบนความถี่ของทั้งสามกรณีที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งพบว่า การเบี่ยงเบนของความถี่ในกรณี RPID ที่นำเสนอต่ำกว่าวิธี PID และ No-SMES อย่างชัดเจน โดยสังเกตจากค่ามากที่สุดบนแกนตั้งที่แสดงถึงการเบี่ยงเบนของความถี่ รูปที่ 9 แสดง RoCoF ของทั้งสามวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งจะเห็นว่าวิธีนำเสนอ RPID สามารถเพิ่มเรงเฉื่อยเสมือนให้กับระบบไมโครกริดได้ดีกว่าวิธี PID และ No-SMES

สรุปผลและอธิปรายผล

บทความนี้ ได้ทำการศึกษาการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนโดยการลดอัตราการเบี่ยงเบนของความถี่ (rate of change of frequency: RoCoF) และการควบคุมความถี่โหลดของไมโครกริดด้วยตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กด้วยตัวนำยิ่งยวด (Superconducting magnetic energy storage: SMES) ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดียืดหยุ่นภายใต้การโจมตีทางไซเบอร์ชนิดปฏิเสธการให้บริการ (Denial of service: DoS) ผลการศึกษาและผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า SMES ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดียืดหยุ่น ที่พิจารณาผลของการโจมตีทางไซเบอร์ชนิด DoS สามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนและลดการแกว่งของความถี่ของไมโครกริดได้อย่างดี จากผลการจำลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าวิธีนำเสนอให้ผลการจำลองดีกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองวิธีอย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

1. S. K. Panda and B. Subudhi. A review on robust and adaptive control schemes for microgrid, **J. Mod. Power Syst.** Clean Energy, vol. 11, no. 4, pp. 1027–1040, Jul. 2023.
2. S. Muangchuen, J. Pahasa and I. Ngamroo. Improved resilient model predictive control for enhanced microgrid virtual inertia emulation by virtual energy storage system under DoS attacks, **IEEE Access**, vol. 11, pp. 96817–96830, 2023.
3. T. Kerdphol, F.S. Rahman, M. Watanabe, and Y. Mitani. **Virtual Inertia Synthesis and Control**, (Power Systems) 1st ed. Springer, 2021.
4. Elmelegi, E. A. Mohamed, M. Aly, E. M. Ahmed, A. –A. A. Mohamed and O. Elbaksawi, Optimized tilt Fractional order cooperative controllers for preserving frequency stability in renewable energy–based power systems, **IEEE Access**, vol. 9, pp. 8261–8277, 2021.
5. จงลักษณ์ พาหะซา. **การประยุกต์ใช้ลีสสแควร์ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนที่เหมาะสมเพื่อทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังชนิดพื้นที่กว้าง**, วิทยานิพนธ์, วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า), คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.
6. J. Pahasa and I. Ngamro. Coordinated PHEV, PV, and ESS for microgrid frequency regulation using centralized model predictive control considering variation of PHEV number. **IEEE Access**, vol. 6, pp. 69151–69161, 2018.

การศึกษาการเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนไมโครกริดด้วยเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี

The study of microgrid virtual inertia improvement using inverter air conditioner controlled by PID controller

จงลักษณ์ พาหะซา[1*], รัตนากร แสงปานอินทร์[1], ศุภิสรา นิรมลเดชา[1] และ นริณญา มาคำ[1]
Jonglak Pahasa[1*], Rattanakorn Sangpanain[1], Supitsara Niramoldacha[1], Narinya Makam[1]

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม ซึ่งโดยปกติจะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังด้วยอุปกรณ์แปลงผันอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ส่งผลให้แรงเฉื่อยเสมือนของระบบไฟฟ้ากำลังลดลง และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่ (RoCoF) มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าที่ยอมรับได้ การติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (BESS) สามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนได้ อย่างไรก็ตาม BESS มีข้อเสียคือ ราคาแพง และเมื่อหมดอายุการใช้งานก็ไม่สามารถกำจัดให้หมดไปได้ ดังนั้น การประยุกต์ใช้สมาร์ทโหลดเช่น เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ (IAC) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ บทความนี้จะทำการศึกษา การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี (PID) ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า IAC ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID ที่นำเสนอ สามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือน และสามารถลดการเบี่ยงเบนความถี่ของไมโครกริดที่ทำการศึกษาได้

คำสำคัญ: การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือน, ไมโครกริด, เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์, การควบคุมพีไอดี

Abstract

The increasing of renewable energy sources such as wind turbine generators which are connected to power systems via power electronic converters cause the power system inertia decreases and causes the rate of change of frequency (RoCoF) increase higher than acceptable ranges. Installation of battery energy storage system (BESS) can improve virtual inertia. However, BESS is high cost and cannot be completely eliminated when they reach the end of their useful life. Therefore, smart loads such as inverter air conditioner (IAC) can be applied for virtual inertia emulation. This paper is intended to study virtual inertia control of microgrid by inverter air conditioner controlled by proportional–integral–derivative (PID) controller. Simulation results demonstrate that IAC controlled by PID controller is able to improve virtual inertia emulations of the studied microgrid effectively.

Keywords: Virtual inertia control, Microgrid, Inverter air conditioner, PID controller

[1] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
[1] Electrical Engineering, School of Engineering, University of Phayao, Phayao 56000
*Corresponding author : jonglak.pa@up.ac.th

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ ซึ่งเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีความเฉื่อยลดลง ซึ่งโดยปกติความเฉื่อยนี้ได้มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส [1–2] การเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่นการติดตั้งอุปกรณ์กักเก็บพลังงานเพื่อเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนให้กับระบบไมโครกริด [1–2] อย่างไรก็ตามอุปกรณ์กักเก็บพลังงานเช่นแบตเตอรี่มีข้อเสียคือ ต้องใช้เงินลงทุนในการซื้ออุปกรณ์กักเก็บพลังงาน และเมื่อหมดอายุการใช้งานก็ไม่สามารถกำจัดให้หมดไปได้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้สมาร์ทโหลดเช่น เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้จำนวนการใช้เครื่องปรับอากาศมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งโดยปกติ เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ถูกใช้เพื่อควบคุมอุณหภูมิห้องให้เท่ากับที่ผู้ใช้ตั้งไว้เพื่อความสบายของคนอาศัยในห้องนั้น ค่าที่แท้จริงของอุณหภูมิห้องเป็นสิ่งสำคัญ อย่างไรก็ตามสำหรับบางคนที่อาศัยอยู่ใน อพาร์ทเม้น อาจไม่ได้สำคัญว่าอุณหภูมิห้องจะเบี่ยงเบนจากค่าที่ตั้งไว้เท่าไร ดังนั้น การควบคุมการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิห้อง ซึ่งก็คือ การควบคุมการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการควบคุมความถี่ระบบไฟฟ้ากำลังได้ [3] ซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มแรงเฉื่อนเสมือนในระบบไฟฟ้ากำลังได้ด้วยเช่นกัน ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่ (rate of change of frequency: RoCoF) เมื่อเกิดการรบกวนในระบบลดลงด้วย

งานวิจัยนี้ นำเสนอการควบคุมอินเวอร์เตอร์ของเครื่องปรับอากาศเพื่อเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริด ตัวควบคุมที่ใช้เป็นตัวควบคุมพีไอดี ที่หาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยอัลกอริทึมหิ่งห้อย ผลการจำลองกับระบบไมโครกริด พบว่าการควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยพีไอดีที่เหมาะสมที่สุด สามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนให้กับระบบไมโครกริดได้ดีกว่าการควบคุมพีไอดีแบบทั่วไป

บทความนี้ จะทำการศึกษา การควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ (IAC) ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1) เพื่อทำการศึกษาหลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีเพื่อใช้ในการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริด

2) เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอดี สำหรับควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์

3) เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองวิธีการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีที่นำเสนอและการไม่ใช้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ในการเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนไมโครกริด

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

1. แรงเฉื่อยเสมือนจริงในระบบไฟฟ้ากำลัง

โดยปกติแรงเฉื่อยในระบบไฟฟ้ากำลัง (power system inertia) คือการหมุนของมวล (rotating mass) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (synchronous generators) ซึ่งทำเชื่อมต่อแบบซิงโครนัสกับโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง ความเร็วของมวลที่หมุนจะเปลี่ยนไปเมื่อความต้องการการใช้ไฟฟ้ามากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าได้ ณ ช่วงเวลาใดก็ตาม จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ใช้สำหรับพลังงานทดแทนที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวดังกล่าว ทำการเชื่อมต่อกับโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง ผ่านอินเวอร์เตอร์

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งมีแรงเฉื่อยน้อย (inertia–less) ทำให้แรงเฉื่อยของระบบไฟฟ้าลดลง การจำลองแรงเฉื่อยเสมือนจากอุปกรณ์สะสมพลังงาน (Energy storage system: ESS) ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน [1–2] งานวิจัยนี้สนใจศึกษาหลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนของไมโครกริดด้วยตัวควบคุมพีไอดี

ดังอธิบายใน [2] อินเวอร์เตอร์เล็กทรอนิกส์กำลังถูกใช้เพื่อจำลองสมการการแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเพื่อใช้ในการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนจริง สมการการแกว่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส สามารถแสดงนิพจน์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\bar{P}_m - \bar{P}_e = \frac{2H}{\omega_0}\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{2H}{\omega_0}\frac{d\Delta\omega_r}{dt} \quad (1)$$

เมื่อ $\bar{P}_m$ คือ กำลังทางกล (mechanical power) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

$\bar{P}_e$ คือ กำลังทางไฟฟ้า (electrical power) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

H คือ ค่าคงตัวแรงเฉื่อย (inertia constant)

ω_0 คือ ความเร็วเชิงมุมพิกัด (rated angular velocities) ของโรเตอร์

ω_r คือ ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์

δ คือ มุมโรเตอร์ (rotor angle)

t คือ เวลา

เมื่อรวมส่วนประกอบการหน่วง (damping component) ที่มีสัมประสิทธิ์การหน่วง (damping coefficient : K_D) รวมอยู่ด้วย สมการ (1) จะสามารถเขียนได้เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\bar{P}_m - \bar{P}_e = \frac{2H}{\omega_0}\frac{d\Delta\omega_r}{dt} + K_D\frac{\Delta\omega_r}{\omega_0} \quad (2)$$

สำหรับปัญหาการควบคุมความถี่โหลด (load frequency control: LFC) การเบี่ยงเบนของความเร็วเชิงมุม (angular velocity deviation: $\Delta\omega_r$) จะเปลี่ยนแปลงตามการเบี่ยงเบนของความถี่ (frequency deviation: Δf) ดังนั้น สมการ (2) จึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็นดังสมการ

$$\bar{P}_m - \bar{P}_e = \frac{2H}{f_0}\frac{d\Delta f}{dt} + K_D\frac{\Delta f}{f_0} \quad (3)$$

เมื่อ f_0 คือ ความถี่พิกัด (rated frequency) ของระบบไฟฟ้ากำลัง

f คือ ความถี่ หรือ ความถี่ทันที (instantaneous frequency) ของระบบไฟฟ้ากำลัง

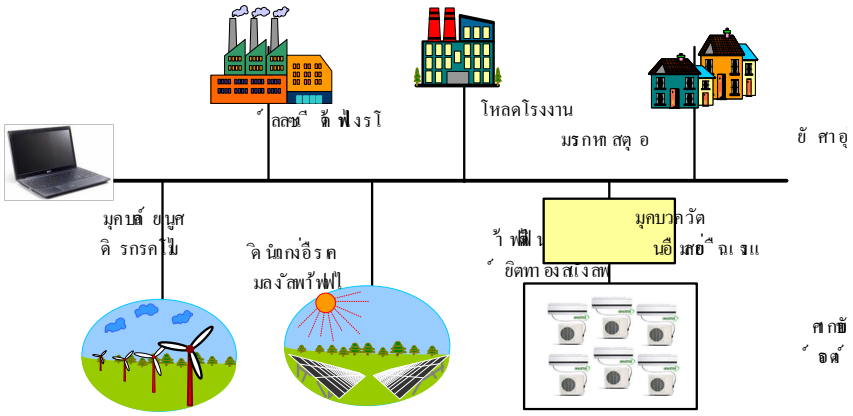
$d\Delta f / dt$ คือ อัตราการเบี่ยงเบนของความถี่ (rate of change of frequency: RoCoF) ของระบบไฟฟ้ากำลัง

วิธีวิทยาการวิจัย

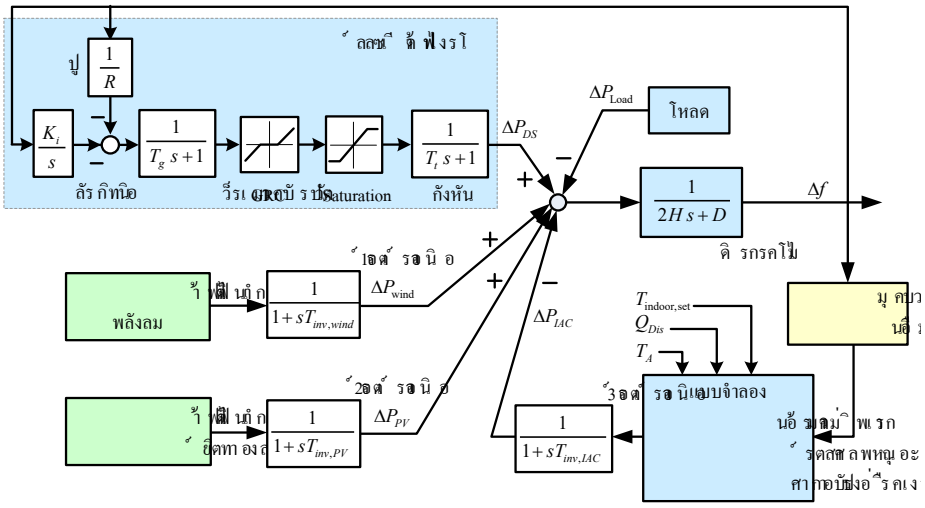
1. ไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา

ไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูปที่ 1 โดยระบบประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลล์ขนาด 25 MW, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ขนาด 10 MW, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมขนาด 12.5 MW, กลุ่มโหลดเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ขนาด 16 MW, และโหลดทั่วไปขนาด 20 MW [3] ค่าฐานของระบบคือ 20 MW จำนวนเครื่องปรับอากาศที่ใช้ทั้งหมด จำนวน 3,000 ตัว โดยแต่ละตัวมีขนาด 8 kW เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลม และการเปลี่ยนแปลงของโหลด ซึ่งทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลล์ไม่สามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าได้เพียงพอเนื่องจากการ

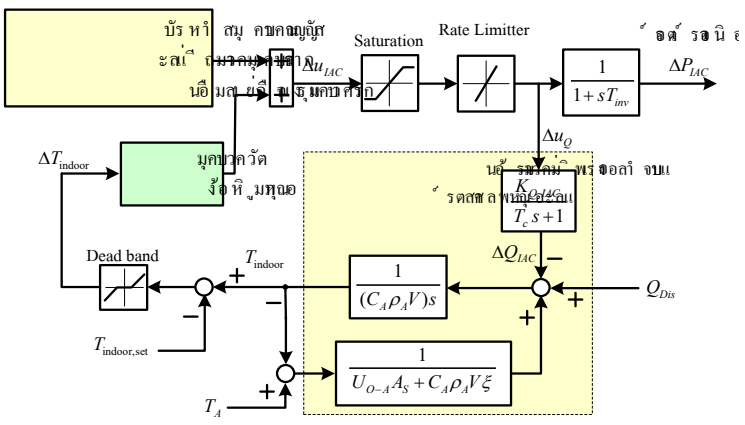
ตอบสนองทางไดนามิกส์ช้า ดังนั้น การตอบสนองทางไดนามิกส์ที่เร็วของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์จึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อชดเชยความไม่สมดุลของกำลังไฟฟ้าจริงในระบบด้วยการควบคุมการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ [3] รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองเชิงเส้นของไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 1 ไมโครกริดที่มีกลุ่มเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2 แบบจำลองเชิงเส้นของไมโครกริดที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 3 แบบจำลองเชิงเส้นของกลุ่มเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์

1.1 แบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์

ในการประยุกต์ใช้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนให้กับไมโครกริด จะใช้แบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้เพื่อควบคุมความถี่ [3] แสดงดังรูปที่ 3 โดยแบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการจำลองประกอบด้วย 2 ส่วนคือ แบบจำลองอุณหภูมิห้อง และแบบจำลองไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ [3]

(1) แบบจำลองอุณหภูมิห้อง คือแบบจำลองซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องกับการเบี่ยงเบนทางความร้อนของห้องจากความจุความเย็น (refrigerating capacity) ของเครื่องปรับอากาศ โดยอุณหภูมิห้อง (T_{indoor}) สามารถกำหนดเป็นดังสมการ

$$T_{indoor} = \frac{Q_g - Q_{IAC}}{C_A \rho_A V_R s} \tag{4}$$

$$Q_g = (U_{O,A} S_R + C_A \rho_A V_R \xi)(T_A - T_{indoor}) + Q_{Dis} \tag{5}$$

เมื่อ Q_g คือ ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดของห้อง ที่มาจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศภายในและภายนอกอาคาร

Q_{IAC} คือ ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

Q_{Dis} คือ การแผ่รังสีความร้อน จากสิ่งรบกวน เช่น คน หลอดไฟ และเครื่องใช้ต่างๆ

C_A คือ ความจุความร้อน

ρ_A คือ ความหนาแน่นของอากาศ

V_R คือ ปริมาตรของห้อง

S_R คือ พื้นที่ผิวห้อง

s คือ ตัวแปรความถี่

T_A คือ อุณหภูมิแวดล้อม

$U_{O,A}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ξ คือ สัดส่วนการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างห้องกับบรรยากาศ

(2) แบบจำลองไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ จะทำงานโดยใช้เครื่องปรับอากาศที่เชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศสามารถเปลี่ยนความเร็วได้อย่างต่อเนื่องโดยการปรับความถี่ในการทำงานกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ไปและความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศถูกควบคุมด้วยความถี่ในการทำงานและสามารถแสดงดังสมการ

$$\Delta P_{IAC} = \frac{K_P}{T_c s + 1} \Delta f_{IAC} + \mu_P \tag{6}$$

$$\Delta Q_{IAC} = \frac{K_Q}{T_c s + 1} \Delta f_{IAC} + \mu_Q \tag{7}$$

เมื่อ ΔP_{IAC} คือ การเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจาก กำลังไฟฟ้าอ้างอิงของเครื่องปรับอากาศ

ΔQ_{IAC} คือ การเบี่ยงเบนของความจุการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจากค่าอ้างอิง

Δf_{IAC} คือ การเบี่ยงเบนของความถี่ในการทำงานของเครื่องปรับอากาศจากความถี่อ้างอิง

K_P , K_Q , μ_P และ μ_Q คือ ค่าสัมประสิทธิ์คงที่

T_c คือค่าคงตัวเวลาของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศ

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศ P_{IAC} และความสามารถในการทำความเย็น Q_{IAC} สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$Q_{IAC} = \frac{K_Q}{K_P} P_{IAC} + \frac{K_P \mu_Q - K_Q \mu_P}{K_P} \quad (8)$$

การเบี่ยงเบนความถี่ของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์นั้นขึ้นอยู่กับช่องว่างระหว่างค่าของอุณหภูมิที่ตั้งไว้กับอุณหภูมิห้องปัจจุบันเป็นหลัก และสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\Delta f_{IAC} = K_1 \Delta T_{indoor} \quad (9)$$

เมื่อ K_1 คือ ตัวควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ

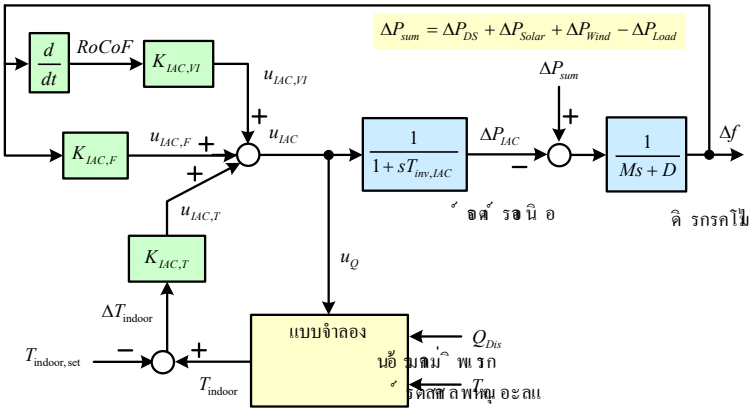
ΔT_{indoor} คือ การเบี่ยงเบนระหว่างอุณหภูมิในห้องและอุณหภูมิที่ตั้งไว้

ถ้าใช้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์นี้ สำหรับช่วยควบคุมความถี่ จะทำให้ในการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ก็จะได้รับอิทธิพลจากความถี่ของระบบด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$\Delta f_{IAC} = K_1 \Delta T_{indoor} + K_2 \Delta f \quad (10)$$

เมื่อ K_2 คือ ตัวควบคุมของเครื่องปรับอากาศสำหรับควบคุมความถี่

1.2 ตัวควบคุมที่นำเสนอ



รูปที่ 4 แบบจำลองเชิงเส้นของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับไมโครกริดสำหรับการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือน

ดังแสดงในรูปที่ 4 ตัวควบคุมเครื่องปรับอากาศจำนวน 3 ตัวคือ $K_{IAC,VI}$, $K_{IAC,F}$, และ $K_{IAC,T}$ ได้ถูกใช้เพื่อควบคุมแรงเฉื่อนเสมือน การเบี่ยงเบนความถี่ และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสัญญาณการเบี่ยงเบนความถี่เป็นอินพุตของ $K_{IAC,VI}$ และ $K_{IAC,F}$ ดังนั้น งานวิจัยนี้จะใช้ตัวควบคุมพีไอดีจำนวน 2 ตัว ตามอินพุตที่มี 2 ตัว คือ การเบี่ยงเบนของความถี่และการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิ นั่นคือตัวควบคุมพีไอดีที่ใช้จึงสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

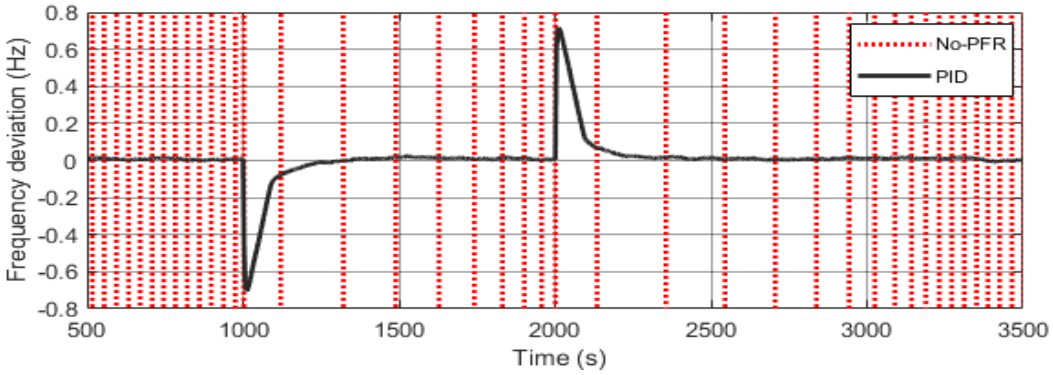
$$u_{IAC,F} = \left(K_{P2} + \frac{K_{I2}}{s} + K_{D2} \right) \Delta f \tag{11}$$

$$u_{IAC,T} = \left(K_{P3} + \frac{K_{I3}}{s} + K_{D3} \right) \Delta T_{indoor} \tag{12}$$

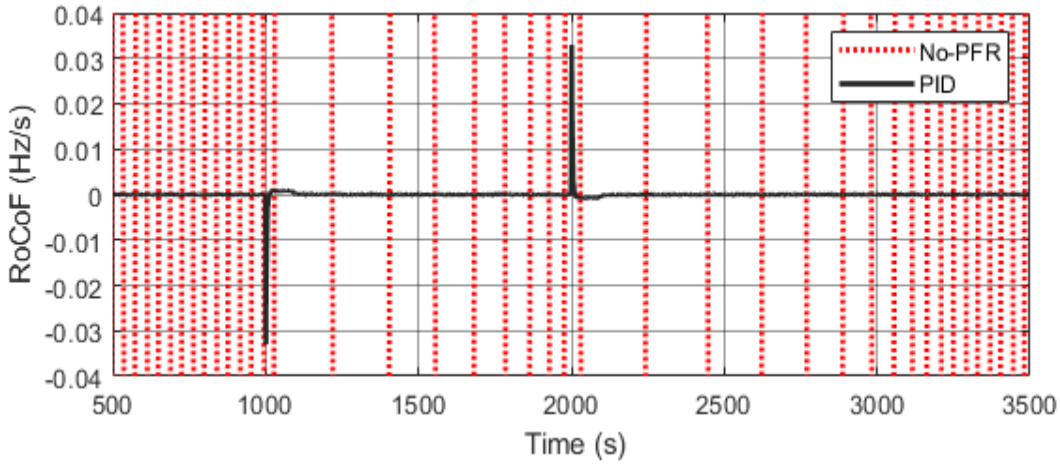
$$u_{IAC} = u_{IAC,F} + u_{IAC,T} \tag{13}$$

ผลการศึกษา

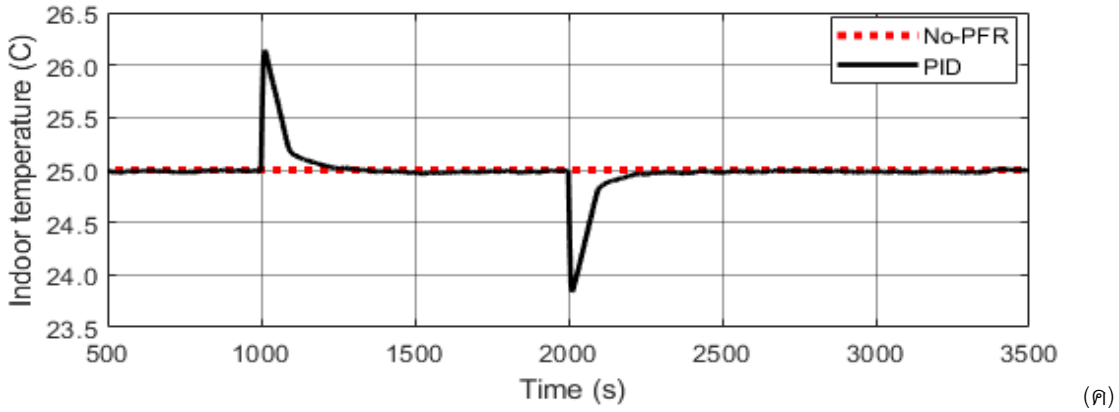
ระบบไมโครกริดดังรูปที่ 1-3 ถูกใช้เพื่อทดสอบวิธีที่นำเสนอ ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยพารามิเตอร์ของแบบจำลองเครื่องปรับอากาศ [3] มีดังนี้: $C_a = 1.005$ kJ/kg/°C, $\rho_a = 1.205$ kJ/m^3, $V_R = 250\,\text{m}^3$, $S_R = 100\,\text{m}^2$, $T_A = 35\text{C}^o$, $U_{O,A} = 3.6$ W/m^3/°C, $\xi = 0.5$ h^{-1} การหาค่าเหมาะสมของพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ช่วงของการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิห้องตั้งค่าไว้ที่ ± 1 °C



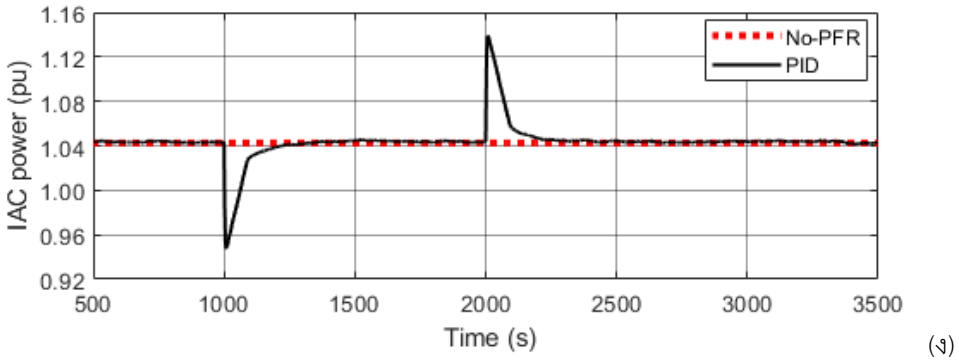
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 5 ผลการจำลองเปรียบเทียบระหว่าง No-PFR และ PID (ก) การเบี่ยงเบนความถี่ (ข) RoCoF (ค) อุณหภูมิห้อง (ง) กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

โดยในการจำลองจะสมมุติให้

(1) ทำการปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมที่เวลา 1,000 s ในกรณีนี้แหล่งจ่ายลดลง ดังนั้นเครื่องปรับอากาศจะต้องใช้กำลังไฟฟ้าลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิห้องสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้

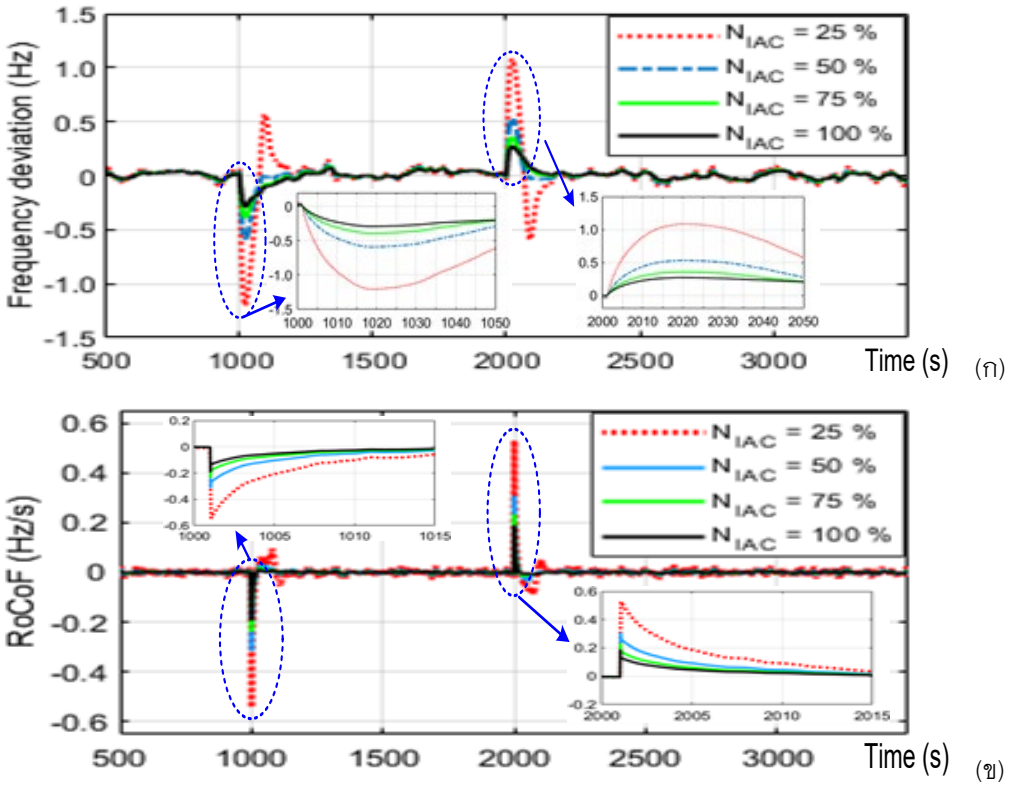
(2) ทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังลมที่เวลา 2,000 s ในกรณีนี้แหล่งจ่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้นเครื่องปรับอากาศจะต้องใช้กำลังไฟฟ้าส่งผลให้อุณหภูมิห้องต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้

ผลการจำลองเปรียบเทียบระหว่างการไม่ใช้กลุ่มเครื่องปรับอากาศมาช่วยในการรักษาความถี่ (No-PFR) และตัวควบคุมพีไอดี (PID) โดยพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วย PID จะใช้คำสั่ง Tune ใน บล็อก PID ของโปรแกรม MATLAB/Simulink ซึ่งไม่ได้มีการนำค่า RoCoF ป้อนกลับในระบบมาใช้ พารามิเตอร์ที่ได้ คือ

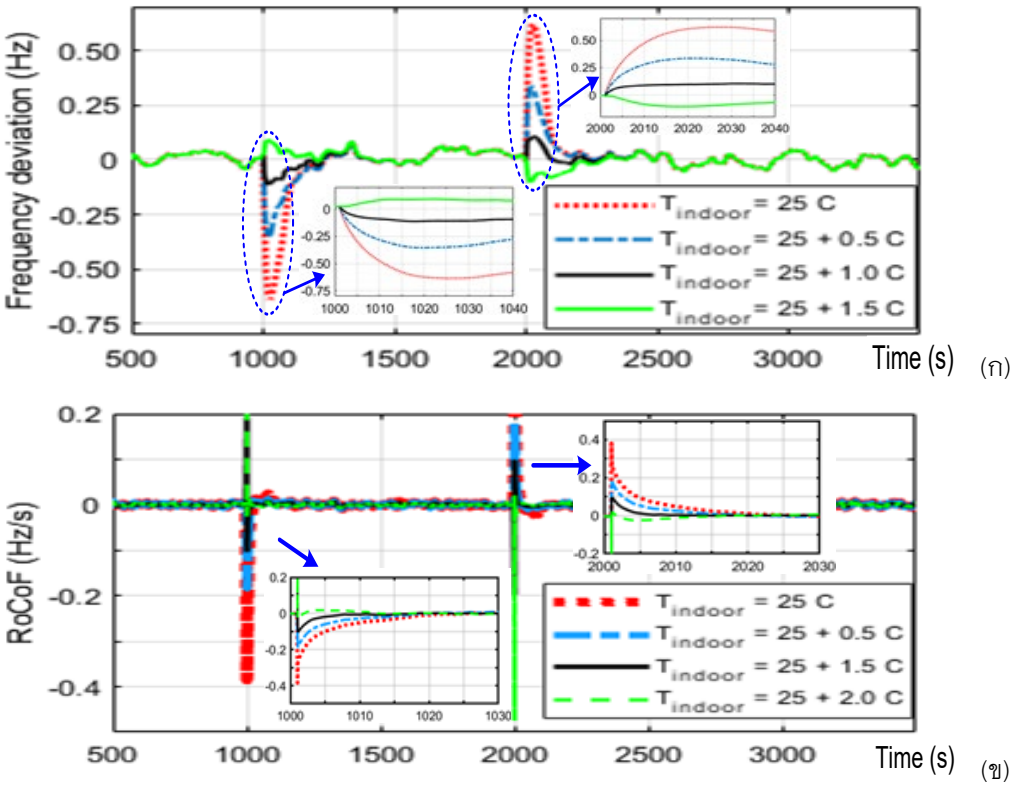
$$K_{P,1} = 195.312,\ K_{I,1} = 39.481,\ K_{D,1} = 3.210,$$
$$K_{P,2} = 0.981,\quad K_{I,2} = 0.493,\ K_{D,2} = 0.072$$

รูปที่ 5 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบระหว่าง No-PFR และ PID จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า การควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วย PID ให้การเบี่ยงเบนของความถี่และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่ (RoCoF) ต่ำกว่า No-PFR ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลุ่มของเครื่องปรับอากาศสามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนให้กับระบบไมโครกริดได้ นอกจากนี้ จากรูปที่ 5 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (IAC power) และอุณหภูมิห้องในกรณี PID ใช้กำลังไฟฟ้า $\pm 0.01\text{pu}$ และอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงที่ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ในช่วงมีการปลด/ต่อกลับ เครื่องกำนิดไฟฟ้าพลังลมขนาดกำลัง ไฟฟ้า 0.10 pu

รูปที่ 6 แสดงผลการจำลองเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อจำนวนเครื่องปรับอากาศมากขึ้นจะสามารถลดการแกว่งของความถี่ และลดอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ รูปที่ 7 แสดงผลการจำลองเมื่อมีการตั้งค่าอุณหภูมิห้องต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า เมื่อจำนวนเครื่องปรับอากาศมากขึ้นจะทำให้สามารถลดการแกว่งของความถี่ และลดอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ดีกว่าจำนวนเครื่องปรับอากาศน้อยกว่า



รูปที่ 6 ผลการจำลองเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนเครื่องปรับอากาศ (ก) การเบี่ยงเบนความถี่ (ข) RoCoF



รูปที่ 7 ผลการจำลองเมื่อมีการตั้งค่าอุณหภูมิห้องต่างๆ (ก) การเบี่ยงเบนความถี่ (ข) RoCoF

สรุปผลและอธิปรายผล

บทความนี้ ได้ทำการศึกษาการควบคุมแรงเฉื่อยเสมือนโดยการลดอัตราการเบี่ยงเบนของความถี่ (rate of change of frequency: RoCoF) ของไมโครกริดด้วยเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ (inverter air conditioner: IAC) ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี (proportional–integral–derivative: PID) ผลการศึกษาและผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี สามารถเพิ่มแรงเฉื่อยเสมือนและลดการแกว่งของความถี่ของไมโครกริดได้อย่างดี จากผลการจำลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าวิธีนำเสนอให้ผลการจำลองดีกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบอย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

1. T. Kerdphol, et. al. Enhanced virtual inertia control based on derivative technique to emulate simultaneous inertia and damping properties for microgrid frequency regulation. **IEEE Access**, vol. 7, pp. 14422–14433, 2019.
2. T. Kerdphol, F.S. Rahman, M. Watanabe, and Y. Mitani. **Virtual Inertia Synthesis and Control**, (Power Systems) 1st ed. Springer, 2021.
3. J. Pahasa, P. Potejana, and I. Ngamroo. Multi–objective decentralized model predictive control for inverter air conditioner control of indoor temperature and frequency stabilization in microgrid. **Energies,** vol. 14, no. 21 (6969), pp. 1–28, Oct. 2021.

การประเมินสภาพผนังคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย

Non-destructive evaluation of reinforced concrete wall

สมพร ทองสุก[1*], ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง[1], ชนะรบ วิชาลัย[1], ภัทร์ธีนันท์ พันธุ์เขตกรรม[1] และ รวี เดสูงเนิน[1]

Somporn Thongsook[1*], Narongchai Wiwattanachang[1], Chanarop Vichalai[1], Phatthinan Phanketgram[1] and Rawee Desungnoen[1]

บทคัดย่อ

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing) ในงานวิศวกรรมโยธา เป็นการทดสอบคุณสมบัติ สมรรถภาพและตรวจสอบความบกพร่องเกิดขึ้นโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย ต่อโครงสร้างอาคาร บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการประเมินสภาพคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non – Destructive evaluation of reinforced concrete) ประกอบด้วยการตรวจประเมินด้วยสายตา (Visual Inspection) ตาม ACI 201.1R-08 และการทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound hammer) ตาม ASTM C-805

การทดลองได้ใช้พื้นที่ส่วนหนึ่งของโรงอนุบาลสัตว์น้ำทะเล สถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำบึงฉวากฯ จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งผนังคอนกรีตอยู่ภายใต้สภาวะน้ำเค็มมากว่า 20 ปีผลการศึกษาพบว่า จากการสังเกตด้วยสายตาพบคราบสนิมเกิดขึ้นบางส่วนบนผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก และบางจุดมีค่ากำลังอัดต่ำผิดปกติ ซึ่งผลการทดลองสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบแผนการซ่อมบำรุงต่อไป

คำสำคัญ: การทดสอบแบบไม่ทำลาย, คอนกรีตเสริมเหล็ก, การตรวจด้วยสายตา, การทดสอบค้อนกระแทก

Abstract

The non-destructive testing method in civil engineering is a test of properties, performance, and inspection of defects that occur without causing damage to the building structure. This study presents the assessment of reinforced concrete by non-destructive evaluation method of reinforced concrete consisting of visual inspection method following ACI 201.1R-08 and Schmidt Rebound Hammer followed ASTM C-805.

The experiment took place at a section of the Bueng Chawak aquarium in Suphan-Buri, where the concrete walls have been exposed to saltwater for more than 20 years. According to the study's findings, some rust deposits were discovered on the reinforced concrete wall, and several areas had abnormally low compressive strengths.

Keywords: Non-destructive testing, Reinforced concrete, Visual inspection, Rebound hammer

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

[1] Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi, 72130

* Corresponding author: somporn99@gmail.com

บทนำ

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นระบบโครงสร้างที่ได้รับความนิยมในการการก่อสร้างอาคารพักอาศัย อาคารสำนักงาน รวมถึงอาคารสาธารณะต่างๆ มีอาคารจำนวนมากที่เปิดใช้งาน มาเป็นเวลานาน อาคารบางแห่งมีการปรับปรุง ต่อเติมดัดแปลง เปลี่ยนสภาพการใช้อาคารเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจากการเปลี่ยนแปลงวัสดุก่อสร้างหรือวัสดุตกแต่งอาคาร ความชำรุดเสียหายของอาคารจากผลกระทบทางเศรษกิจ ขาดการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนของโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายจากการเสื่อมสภาพ ปัญหาการทรุดตัว การแอ่นตัว การแตกร้าว ผุกร่อน มาตรการทางกฎหมาย กำหนด ให้มีการตรวจสอบสภาพอาคาร มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมเกี่ยวกับความมั่นคงแข็งแรงความปลอดภัย ของอาคาร การป้องกันภยันตราย อุบัติภัย และคุ้มครองรักษาความปลอดภัยในชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนเป็นหลัก การประเมินโครงสร้าง (structure evaluation) ประกอบไปด้วยการตรวจประเมิน (assessment) การวิเคราะห์ (analysis) โดยต้องพิจารณาสมรรถนะของโครงสร้าง (structural performance) เช่น ความปลอดภัยเชิงโครงสร้าง (structural safety) ความสามารถในการใช้งาน (serviceability) อายุการใช้งาน และความคงทน (service life and durability) โครงสร้างมีความเสียหายอย่างรุนแรงหรือไม่ (substantial structural damage) การประเมินสภาพคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย เป็นวิธีการทดสอบที่สะดวกรวดเร็ว ใช้ทดสอบคุณสมบัติ สมรรถภาพ และตรวจสอบความบกพร่องเกิดขึ้นโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารมีงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในงานวิศวกรรมโยธา เช่น

การประเมินกำลังของคอนกรีตด้วยวิธีรีบาวด์แฮมเมอร์ ศุภชัย(2553) พบว่าตำแหน่งที่ทดสอบมีผลเป็นอย่างมาก เช่น การทดสอบใกล้บริเวณที่มีหินในคอนกรีต หรือบริเวณผิวคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมจะมีผลค่าการสะท้อนกลับสูงกว่าคอนกรีตปกติถึง 30% ในขณะที่หากทดสอบบริเวณคอนกรีตที่มีโพรงแบบรังผึ้ง ค่าการสะท้อนกลับจะมีค่าน้อยอย่างมีนัยสำคัญ

ภาคภูมิ มงคลสังข์ และไตรทศ ขำสุวรรณ(2560) นำเสนอแนวทางการทดสอบแบบไม่ทำลายและกึ่งทำลายในการตรวจสอบเสถียรภาพของโครงสร้างอาคารที่มีอายุการใช้งานมานานซึ่งอาจมีผลกระทบด้านการเสื่อมสภาพของวัสดุ โดยมีประเด็นพิจารณาด้านอายุการใช้งาน ความคงทนของวัสดุ เสถียรภาพ การใช้งาน น้ำหนักบรรทุกจรและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยดำเนินงานสำรวจสภาพความเสียหายของอาคารเบื้องต้น เช่น รอยแตกร้าวที่เสา คาน พื้น และทำการสุ่มตรวจสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตโดยใช้วิธี Rebound hammer ในการสำรวจเบื้องต้น และนำผลที่ได้จากงานทดสอบทางวิศวกรรมไปวิเคราะห์และประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรม Finite Element 3D ในการวิเคราะห์หน่วยแรงต่างๆเปรียบเทียบกับสภาพโครงสร้างปัจจุบัน เป็นต้น

อิศราพงษ์ และคณะ(2565) ตรวจสอบและประเมินความเสียหายจากเหตุเพลิงไหม้เพื่อวางแผนซ่อมแซมโครงสร้างพิเศษ ดำเนินการตรวจสอบและประเมินระดับความเสียหายของโครงสร้างมีการสำรวจทางกายภาพเบื้องต้นด้วยวิธีการตรวจพินิจด้วยสายตา (Visual Inspection) สำรวจความผิดปกติของส่วนโครงสร้าง เช่น การทรุด การเอียง การบิด การแอ่นหรือโก่งตัวของเสาตอม่อ การแตกร้าวของโครงสร้างเปรียบเทียบกับลักษณะทางกายภาพในบริเวณใกล้เคียงหรือที่ไม่ถูกไฟไหม้ ทดสอบประเมินค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตโดยวิธี Rebound hammer test พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตเสาตอม่อส่วนที่ถูกไฟไหม้ลดลงประมาณ 20% เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดของเสาตอม่อฝั่งตรงข้ามที่ไม่ได้รับผลกระทบ และยังมีงานวิจัยอื่นๆ ศึกษาจากการจำลองตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาในระยะเวลาที่จำกัด

ในการวิจัยครั้งนี้ถือเป็นงานวิจัยชิ้นแรกในการประเมินสภาพผนังคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายที่ได้ทำการศึกษาจากทดสอบในพื้นที่ใช้งานจริง (In-situ Test) ของอาคารสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำบึงฉวาก ที่เปิดการใช้งานมามากกว่า 20 ปี ผลการทดสอบค้อนกระแทก(Rebound hammer) แสดงเป็นภาพแถบสี

Control map ใช้ประกอบการคำนวณพื้นผิวที่เสื่อมสภาพหรือพื้นที่บกพร่องชำรุดเสียหาย ประกอบการจัดทำแผนได้อย่างประหยัดงบประมาณ และสามารถตรวจสอบได้ตามข้อเท็จจริงที่ปรากฏ เป็นการแสดงผลที่มีความชัดเจนกว่างานวิจัยที่ผ่านมา และเป็นต้นแบบให้องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น หรือหน่วยงานอื่นที่สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสมเพื่อให้อาคารมีความปลอดภัยและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

วิธีการศึกษา

ใช้พื้นที่ส่วนหนึ่งของผนังบ่อโรงอนุบาลสัตว์น้ำทะเล และอาคารภายในสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำบึงฉวากฯ จังหวัดสุพรรณบุรี ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นพื้นที่ต้นแบบในการศึกษา โดยอ้างอิงมาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายของกรมโยธาธิการและผังเมือง และตามมาตรสากลที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยวิธีการทดสอบ 2 วิธี ดังนี้

1.การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual inspection) [1]

วิธีตรวจพินิจ(Visual inspection) เป็นการตรวจสอบด้วยตาเปล่า ประเมินความเสียหายการเสื่อมสภาพและสภาพทั่วไปของคอนกรีต อ้างอิงตาม มยผ.1501-51 และ ACI 201.1R-08

1.1 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการตรวจพินิจ (Visual inspection) ประกอบด้วย

1 การเดินตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อตรวจดูสภาพโดยทั่วไปของโครงสร้าง และศึกษารูปแบบ และลักษณะการใช้งานของโครงสร้าง

2 การรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเช่น แบบโครงสร้าง วัสดุก่อสร้างที่ใช้ ประวัติของโครงสร้าง ลักษณะแวดล้อม เป็นต้น

3 การวางแผนการตรวจพินิจโดยละเอียด

4 การตีตารางบนผิวโครงสร้างเพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของจุดต่างๆบนโครงสร้าง

5 การตรวจพินิจโดยละเอียดและบันทึกผล

6 การดำเนินการตรวจสอบเพิ่มเติม (ถ้ามีจุดสนใจพิเศษ)

1.2 การวิเคราะห์ผลจากลักษณะโครงสร้างแบ่งเป็น 5 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

1 โครงสร้างที่ไม่มีจุดยกพร่องจากการก่อสร้างและยังไม่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพ และยังไม่จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด

2 โครงสร้างที่มีจุดบกพร่องจากการก่อสร้างซึ่งส่งผลกระทบกับความคงทน แต่ยังไม่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพ จุดบกพร่องดังกล่าวควรได้รับการแก้ไข

3 โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพที่สามารถสังเกตได้ชัดในบางจุด แต่ยังไม่ถึงระดับที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก และจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อวางแผนบำรุงรักษา

4 โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพเป็นวงกว้าง และสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกและต้องการประเมินอัตราการเสื่อมสภาพ ควรต้องมีการบำรุงรักษาอย่างทันท่วงที

5 โครงสร้างที่เกิดความเสียหายที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้โครงสร้างอย่างชัดเจน และจำเป็นต้องออกมาตรการสำหรับความปลอดภัยในการใช้งานโครงสร้าง และโครงสร้างควรได้รับการซ่อมบำรุงโดยด่วน

2.การหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound hammer) [2]

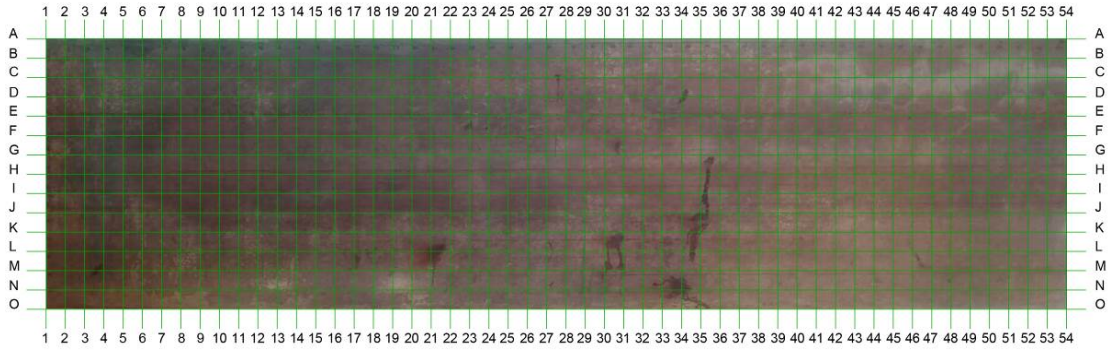
ค้อนกระแทก(Rebound hammer) เป็นเครื่องมือทดสอบความแข็งของผิวโดยอาศัยหลักการของการสะท้อนกลับของพลังงานที่แตกต่างกันของวัตถุที่มีความแข็งของผิวต่างกัน ใช้ประเมินความแข็งแรงที่ผิว ความสม่ำเสมอของกำลังอัดของคอนกรีต อ้างอิงตาม มยผ.1502-51 และ ASTM C805 โดยทั่วไปใช้ค่าเฉลี่ยการทดสอบอย่างน้อย 10 ตำแหน่ง ตัดค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยมากกว่า 6 ทิ้งและหาค่าเฉลี่ยที่เหลือใหม่ หากมี

ค่าตั้งแต่สามค่าขึ้นไป ที่ต่างจากค่าเฉลี่ยเกิน 6 ให้ทดสอบใหม่ จากนั้นนำค่าการกระแทกที่ได้เปรียบเทียบค่ากำลังอัดคอนกรีตตามความสัมพันธ์ของเครื่องมือทดสอบค้อนกระแทกจะมีค่าการอ่านที่วัดได้อยู่ระหว่าง 10 ถึง 100 และมีช่วงพลังงานที่แตกต่างกันแสดงความสัมพันธ์ กับคุณภาพคอนกรีตตามตารางที่ 1



รูปที่ 1 แสดงพื้นที่ศึกษา บริเวณผนังบ่อโรงอนุบาลสัตว์น้ำทะเล

ก่อนทำการทดสอบ ทำการกำหนดตารางกริดขนาด 5 x 5 ซม. โดยให้แนวแกนราบเรียงลำดับตามอักษรจาก A – O จากบนลงล่าง และ แกนดิ่งเรียงตามลำดับตัวเลขจาก 1 – 54 เพื่อใช้จุดตัดของเส้นกริดในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การกำหนดตารางกริด ขนาด 5 x 5 ซม. เพื่อทำการทดสอบ

ขั้นตอนการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตด้วยการใช้ค้อนกระแทก (Rebound Schmidt Hammer)

1.ทำการกำหนดตำแหน่งที่จะทำการวัดค่าการสะท้อน โดยควรเป็นบริเวณผิวคอนกรีตที่ไม่มีรอยแตกร้าวหรือการกะเทาะของผิวคอนกรีต และทำการขัดผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยก้อนหินขัด

2.ตรวจสอบแท่งเหล็กของค้อนกระแทกให้ยื่นในลักษณะพร้อมทดสอบ

3.จับค้อนกระแทกอย่างมั่นคงให้แกนของค้อนกระแทกตั้งฉากกับผิวคอนกรีต

4.ค่อยๆกดค้อนกระแทกเข้าหาผิวคอนกรีต จนกระทั่งมีการสะท้อนของก้อนเหล็กภายในค้อนกระแทกแท่งเหล็กจะถูกล็อคโดยอัตโนมัติ

5.อ่านค่าการสะท้อน (Rebound Number) จากมาตรวัดของค้อนกระแทก โดยให้อ่านค่าจำนวนเต็มใกล้เคียงมากที่สุด

6.สำรวจดูความเสียหายของผิวคอนกรีตอันเนื่องมาจากการกระแทกของค้อนกระแทก กรณีพบความเสียหายอันเชื่อได้ว่ามาจากข้อบกพร่องของคอนกรีต ณ บริเวณที่ทดสอบ เช่น ฟองอากาศขนาดใหญ่ เป็นต้นให้บันทึกรายละเอียดเพิ่มเติม หรือยกเลิกการใช้ค่าการสะท้อนที่วัดได้ ณ ตำแหน่งนี้

7.บันทึกค่าการกระแทกที่วัดได้ และทดสอบจุดต่อไปโดยให้มีระยะห่างระหว่างจุดที่ทดสอบไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

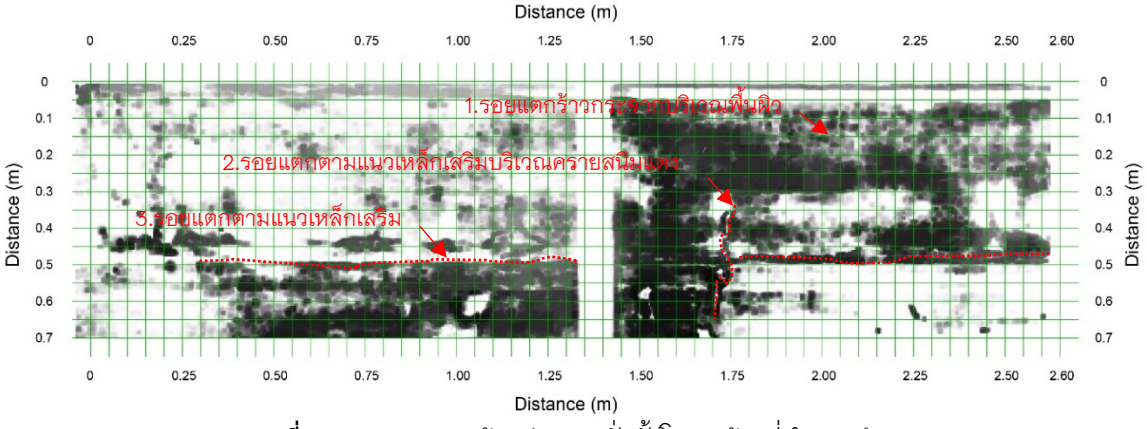
การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Schmidt Hammer) ทำการทดสอบด้วยค้อนกระแทกเพื่อหากำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้เครื่องมือ Schmidt Rebound Hammer ทุก ๆ จุดตัดของแนวเส้นกริด โดยทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการการเทียบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตจากตารางประกอบของเครื่องมือ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องมือทดสอบ Schmidt Rebound Hammer

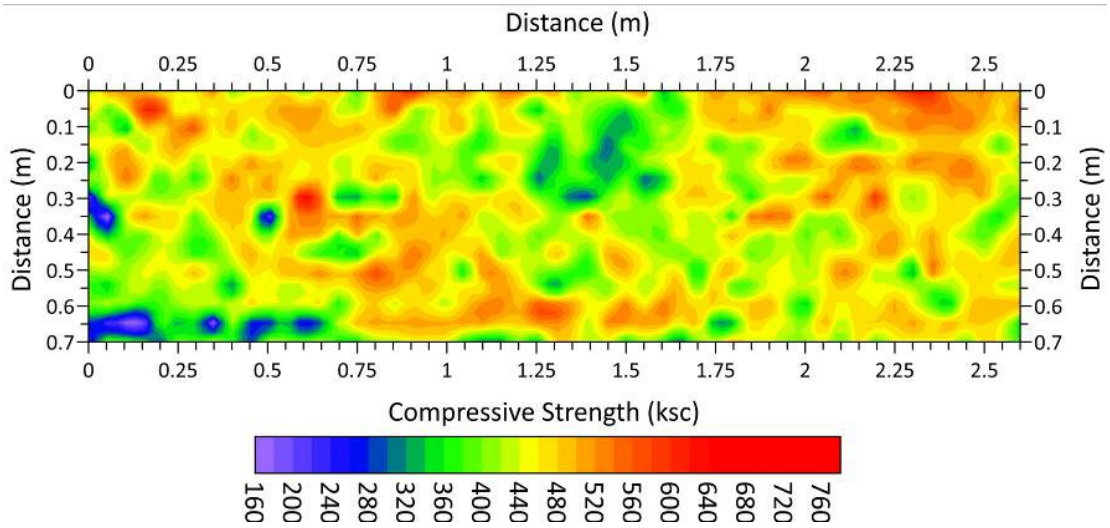
ผลการศึกษา

ผลการการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) พบได้ถึงตำแหน่งของสนิมรอยแตกร้าวต่าง ๆ ทั่วทั้งโครงสร้างที่ทำการศึกษา การเกิดรอยร้าว (Cracking) ทิศทางและลักษณะรอยร้าวที่สามารถสังเกตได้บนผิวโครงสร้าง รอยแตกตามแนวเหล็กเสริม ความลึกของรอยร้าวเป็นรอยร้าวลึกมากกว่าระยะหุ้มเหล็กทำให้เหล็กเสริมเสื่อมสภาพเกิดคราบสนิมแดงซึมออกมาที่ผิวภายนอกบ่งบอกถึงความเสียหายจะพัฒนาไปค่อนข้างรุนแรงหากยังไม่ได้รับการปรับปรุงซ่อมแซม ความกว้างรอยร้าวมากกว่า 0.10-0.25 มม.ผนังเริ่มมีการหลุดร่อนจากการเกิดรอยร้าวขนานกับผิวเหล็กเสริมในคอนกรีตจากการเกิดสนิม(Delamination) **แสดงในรูปที่ 4**



รูปที่ 4 แสดงรอยแตกร้าวต่าง ๆ ทั่วทั้งโครงสร้างที่ทำการศึกษา

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Schmidt Hammer) แสดงในรูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบแสดงให้ทราบได้ถึงกำลังอัดที่ผิวของโครงสร้างคอนกรีตมีความแข็งแรงเฉลี่ยประมาณ 425 ksc. แต่มีค่าต่ำบริเวณมุมด้านล่างซ้าย มีค่าต่ำสุดประมาณ 160 ksc. อาจมีความบกพร่องหรือความเสียหายภายในโครงสร้างจากผลจากการแทรกซึมของคลอไรด์เข้าสู่เหล็กเสริมเกิดสนิมสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตแตกร้าวกะเทาะหลุดร่อน



รูปที่ 5 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Schmidt Hammer)

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพคอนกรีตกับค่าดัชนีสะท้อนกลับ

Average Rebound	Quality of Concrete
> 40	Very good
30 – 40	Good
20 – 30	Fair
< 20	Poor and / or delaminated
0	Very

ที่มา http://theconstructor.org/concrete/rebound-hammer-test/2837/

ตารางที่ 2 ระดับความเสียหายของโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายหรือเสื่อมสภาพ [3]

ระดับความเสียหาย	การดำเนินการ	เกณฑ์ตัดสิน
ระดับ 1	ตรวจสอบตามระยะเวลา	ยังไม่พบความเสียหาย และไม่พบสัญญาณของกระบวนการเสื่อมสภาพ
ระดับ 2	ดำเนินกระบวนการป้องกัน	ยังไม่พบความเสียหาย แต่ตรวจพบสัญญาณของการเสื่อมสภาพ
ระดับ 3	ซ่อมแซมโดยไม่ต้องเสริมกำลัง	เกิดความเสียหายของโครงสร้าง แต่ประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกแล้วยังมีความปลอดภัยเพียงพอ

ระดับ 4	ซ่อมแซมแบบเสริมกำลัง	โครงสร้างสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกจนอาจเป็นอันตรายหากใช้งานต่อไปโดยไม่ได้รับการเสริมกำลัง การประเมินค่าการซ่อมแซมและค่าเสียโอกาส อื่นๆ แล้วคุ้มค่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทุบทำลายแล้วสร้างใหม่
ระดับ 5	ทุบทำลาย และสร้างใหม่	โครงสร้างสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกอย่างรุนแรงและเป็นอันตรายหากใช้งานต่อไปโดยไม่ได้รับการเสริมกำลัง แต่ประเมินค่าซ่อมแซมและค่าเสียโอกาส อื่นๆ แล้วไม่คุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทุบทำลายแล้วสร้างใหม่

การนำข้อมูลการทดสอบจัดทำ control map ใช้โปรแกรม Surfer (รุ่นทดลองใช้) ช่วยในการจัดทำข้อมูลเป็นภาพแถบสี จากค่าการสะท้อนแปลงค่าเป็นกำลังอัดจากตารางประกอบของเครื่องมือ ตามจุดตัดที่ได้จัดทำไว้ โดยให้แนวแกนราบเรียงลำดับตามอักษรจาก A – O จากบนลงล่าง แกนดิ่งเรียงตามลำดับตัวเลขจาก 1 – 54 เปรียบเสมือนเป็นค่าพิกัดตามแนวแกน x และค่าพิกัดตามแนวแกน y ผลการทดสอบค่ากำลังคอนกรีตในแต่ละจุดตัด สามารถทำข้อมูลเป็นไฟล์ตาราง EXCEL ร่วมกับ Surfer ในการกำหนดค่าแสดงผลให้ครอบคลุมพื้นที่ได้ตามต้องการ แสดงในรูปที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual inspection)

ลักษณะความเสียหายที่พบเห็นความเสื่อมสภาพเป็นคราบสนิมแดงที่ซึมออกมาที่ผิวผนังคอนกรีตเป็นบริเวณที่บ่งชี้ความเสียหายกับเหล็กเสริมได้อย่างชัดเจน เกณฑ์การประเมินระดับความเสียหายหรือเสื่อมสภาพของโครงสร้างจากคู่มือการตรวจสอบอาคารเก่ากรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ.2562[1] พื้นที่ศึกษาเกิดความเสียหายของโครงสร้าง ประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกแล้ว ยังมีความปลอดภัยเพียงพอ ระดับความเสียหายหรือเสื่อมสภาพ อยู่ในระดับที่ 3 ซ่อมแซมโดยไม่ต้องเสริมกำลัง

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Schmidt Hammer)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบริเวณพื้นที่ไม่พบการเสื่อมสภาพและบริเวณพื้นที่พบการเสื่อมสภาพจากการกัดกร่อนค่ากำลังอัดของคอนกรีตต่างกันมาก อาจเป็นผลมาจากบริเวณตำแหน่งที่ทำการวัดค่าสะท้อนมีรอยแตกร้าวหรือกะเทาะออกของผิวคอนกรีต หรือข้อบกพร่องของคอนกรีต ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพคอนกรีตกับค่าดัชนีสะท้อนกลับมีค่าเฉลี่ย อยู่ในช่วง 30–40 คุณภาพคอนกรีตยังอยู่ในสภาพดี ค่าการกระแทกเป็นกำลังอัดของคอนกรีตมีความคลาดเคลื่อนสูง การทดสอบทำได้เพียงเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของคอนกรีตในบริเวณพื้นที่ทดสอบ การประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตให้แม่นยำขึ้นอาจพิจารณาการสุ่มเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตในพื้นที่ (Coring) เพิ่มเติมด้วย ข้อพิจารณาการซ่อมแซมที่ไม่เป็นปัญหาในการรับน้ำหนักสามารถใช้วิธีการทาเคลือบผิว (coating) ซ่อมปะ(patching) โดยการใช้สารเคมีซีเมนต์พิเศษส่วนประกอบเดียวสำหรับ

ประสานคอนกรีตและป้องกันสนิมของเหล็กเสริมที่มีส่วนผสมของโพลิเมอร์ดัดแปลงและสารยับยั้งการเกิดสนิม ผสมซีเมนต์พร้อมสารยับยั้งการกัดกร่อนสำหรับป้องกันสนิมเหล็กต่อการฉาบหรือทา 2 ชั้น ที่ความหนาต่อชั้นต่ำสุด 1 มม.สูงสุด 3 มม.กรณีพื้นผิวหลุดร่อนต้องสกัดเนื้อคอนกรีตรอบเหล็ก ที่เป็นสนิมออกทั้งหมดจนถึงบริเวณที่แข็งแกร่งหากพบหน้าตัดเหล็กเสริมลดลงเกิน 10%ควรเปลี่ยนหรือทาบดามเสริมเหล็กเสริมใหม่ อาจซ่อมด้วยวิธีการเข้าแบบเทด้วยวัสดุประเภทนอนชริงค์เกราท์ โดยใช้สารเคมีอีพ็อกซีผสมซีเมนต์ 3 ส่วนผสมทาเคลือบกันสนิมประสานคอนกรีต ใช้ซีเมนต์ชนิดพิเศษผสมเสร็จไม่หดตัวและไหลปรับระดับผิวหน้าได้เองในการซ่อมแซม เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการดำเนินการวิจัย สถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำบึงฉวากเฉลิมพระเกียรติฯ ที่ช่วยจัดตรียมพื้นที่ดำเนินการทดสอบ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในการศึกษาวิจัยให้งานสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

เอกสารอ้างอิง

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย (2551) มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีตรวจพินิจ (Visual Inspection Method) มยผ.1501–51

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย (2551) มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer) มยผ.1502–51

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย (2562) คู่มือการตรวจสอบและประเมินโครงสร้างอาคาร ,โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ , กรุงเทพมหานครฯ

ACI 201.1R–08 Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service, Reported by ACI committee 201, 2008.

[ASTM C805 / C805M – 08 “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete”,The American Socoety for Testing and Materials, 2008.

BS 1881 – 201: 1986, Testing Concrete. Guide to the Use of Non–Destructive Method of Test for Hardened Concrete, 1986.

ศุภชัย สินถาวร, “การประเมินกำลังของคอนกรีตด้วยวิธีรีบาวด์แฮมเมอร์,” SWU Engineering Journal (2010) 5(2), pp.43–49.

ภาคภูมิ มงคลสังข์, ไตรทศ ขำสุวรรณ, 2559, “วิธีการประเมินโครงสร้างอาคาร,” การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตรโกสินทร์ ครั้งที่ 2, หน้าที่ 169–177.

อิศราพงษ์ ขานทอง และคณะ, 2565, “การตรวจสอบ และการประเมินความเสียหายจากเหตุเพลิงไหม้ เพื่อวางแผนซ่อมแซมโครงสร้างพิเศษ,” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27, หน้าที่ STR31–1–STR31–10.

การศึกษาสมบัติทางกลของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากคอนกรีตเก่าและเถ้าก้นเตาบดละเอียด

A Study of the mechanical properties of concrete containing aggregate from previous concrete and ground bottom ash

ณัฐวุฒิ อินทบุตร[1], ณัฐพัชร์ จันทรกุลมณี[1*], วิสัย สิทธิการ[1], เหมราช บุญเพ็ชร์[1] และ อภิโชติ อุฬารตินนท์[1]

Nuttawut Intaboot[1], Nattaphat Chantarakunmanee[1*], Wisai Sittikan[1], Hemmrach Bunpech[1] and Apichote Urantinon[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตที่ผสมมวลรวมหยาบที่ได้จากการบดย่อยของเศษคอนกรีตเก่าและทำการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสมเถ้าก้นเตาบดละเอียด โดยส่วนผสมประกอบไปด้วยคอนกรีตควบคุมสูตรมาตรฐาน และคอนกรีตที่ได้จากการผสมด้วยเศษคอนกรีตเก่าแทนมวลรวมหยาบ จากนั้นทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าก้นเตาบดละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 0 20 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุเชื่อมประสาน ตามลำดับ ทำการทดสอบการยุบตัว ความพรุนและการดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงผ่าซีกและค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ผลการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มเถ้าก้นเตาและเศษคอนกรีตเก่าทำให้การยุบตัวลดลง การดูดซึมน้ำและความพรุนเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนมาใช้มวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีตเก่ากำลังรับแรงอัดจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เถ้าก้นเตาแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ได้จากสูตรควบคุม จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าการนำเศษวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ทำให้คุณสมบัติทางกลลดลง ดังนั้นการที่จะนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นก่อนที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้างต่างๆต่อไป

คำสำคัญ: เศษคอนกรีตเก่า , เถ้าก้นเตา , กำลังอัดคอนกรีต

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

[1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Yanyao, Samchuk, Suphanburi 72130

*Corresponding author e-mail : Nattaphat9899@gmail.com

Abstract

This research was to study the mechanical properties of concrete mixed with coarse aggregate obtained from the previous concrete and to improve its properties by mixing with ground bottom ash. The mixture consists of standard controlled concrete and concrete obtained by mixing with previous concrete scraps replacement of coarse aggregate. The cement was replaced with ground bottom ash at the ratio of 0, 20, 35 and 50 by weight of the binder, respectively. The slump, porosity and water absorption, compressive strength, tensile strength, and elastic modulus were tested. The results showed that adding the bottom ash and previous concrete, the slump was reduced and the water absorption and porosity were increased. When switching to coarse aggregate from previous concrete crumbs, the compressive strength is reduced. However, when using the bottom ash replacement of cement 20%, the high compressive strength was similar to that of the concrete obtained from the control formula. From the experimental results, it was founded that the recycling of scrap materials reduced the mechanical properties. Therefore, in order to use the waste material, it is necessary to improve its properties before being used in various construction works.

Keywords: concrete scraps, bottom ash, strength concrete

1. บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คอนกรีตนับว่าเป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่อยู่อาศัยอาคารทั่วไป กลุ่มอาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่ ๆ การใช้คอนกรีต กำลังสูงสามารถช่วยลดขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้างลงได้ทำให้น้ำหนักของโครงสร้างที่ลดลง มีพื้นที่ใช้สอยมากขึ้น และส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างในภาพรวม อย่างไรก็ตามกระบวนการได้มาของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างประกอบไปด้วยปูนซีเมนต์ มวลรวม น้ำ และปอซโซลาน(Pozzolan) เป็นส่วนผสม โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับมวลรวมที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งส่วนใหญ่เป็นมวลรวมที่ได้จากธรรมชาติ เช่น หิน และทราย ซึ่งมวลรวม ดังกล่าวมีอยู่ประมาณร้อยละ 60 ถึง 70 ของส่วนผสมในคอนกรีต ดังนั้นจึงส่งผลให้แหล่งมวลรวมตามธรรมชาติที่มีคุณภาพดี มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปี 2558 พบว่า ประเทศไทยมีการใช้หินปูนย่อยในอุตสาหกรรมการก่อสร้างประมาณ 95 ล้านตัน(Department of Primary Industries and Mines, 2558) ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาหาวัสดุต่าง ๆ เพื่อที่จะนำมาใช้ทดแทนมวลรวมจากธรรมชาติในส่วนผสมของคอนกรีต โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกเศษวัสดุคอนกรีตเก่าที่ได้จากการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างนำมาศึกษาเพื่อใช้เป็นวัสดุมวลรวมในส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการนำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติลง จึงได้มีการศึกษา เพื่อหาแนวทางในการนำเศษวัสดุคอนกรีตเก่ามาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต เช่น การปรับปรุงคุณภาพของมวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าก่อนนำมาใช้ในการผสมคอนกรีต (H.K.A. Al-Bayati, P.K. Das, S.L. Tighe, and H Baaj, 2016) (J. Li,Zhou, 2009) การเลือกใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตที่มีคุณภาพสูง (S.C. Kou, and C.S. Poon, 2015) เป็นต้น นอกจากการนำเศษวัสดุคอนกรีตมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตแล้ว ยังมีการปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น โดยใช้วัสดุปอซโซลานมีองค์ประกอบหลักทางเคมีประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3, Fe_2O_3 เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ เป็นส่วนผสม เพื่อเพิ่มความทนทานของคอนกรีตต่อสภาพการกัดกร่อนช่วยปรับคุณสมบัติของคอนกรีตสดเพื่อให้ทำงานได้ง่ายขึ้น เป็นต้น วัสดุปอซโซลานที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยมาก ได้แก่

เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าชานอ้อย ซิลิกาฟูม และตะกรันเตาถลุงเหล็กซึ่งเป็นวัสดุกึ่งปอซโซลานและกึ่งปูนซีเมนต์ วัสดุปอซโซลานที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตในงานวิจัยนี้จะใช้เถ้าก้นเตา หรือเถ้าหนัก (Buttom Ash) ซึ่งเกิดจากการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการหลอมเหลวและบางส่วนและบางส่วนจับกันเป็นก้อนทำให้มีน้ำหนักมากและตกลงสู่ก้นเตา

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าการผลิตคอนกรีตเพื่อใช้งานในปัจจุบัน นอกจากการผลิตคอนกรีตให้ได้คุณภาพแล้ว สิ่งที่ต้องพิจารณาควบคู่กัน คือการลดใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และการรักษาสิ่งแวดล้อม ซึ่งการนำเศษคอนกรีตเก่าและเถ้าก้นเตามาใช้ จึงเป็นอีกทางเลือกที่สามารถช่วย ตอบโจทย์เหล่านี้ได้ ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงได้นำเถ้าก้นเตามาทำการบดให้มีอนุภาคที่เล็กลง เพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้นในส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าเป็นส่วนผสมแทนที่หินปูนย่อย โดยทำศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตกำลังสูง ได้แก่ กำลังอัดของคอนกรีต โมดูลัสยืดหยุ่น และกำลังดึงผ่าซีก โดยผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ นอกจากช่วยลดการนำเศษคอนกรีตกองทิ้ง มาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีตแล้ว ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำมวลรวม จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่ามาใช้ในการพัฒนาและออกแบบคอนกรีตกำลังสูงต่อไป

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (OPC)
2. คอนกรีตเก่าของ บริษัท ทรัพย์อธิมาตร จำกัด
3. เถ้าก้นเตา
4. ทรายหยาบที่ใช้ในงานก่อสร้าง
5. น้ำประปาที่มีความเป็นกรดด่างในช่วง 6-8

2.2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต

ในการศึกษาได้ในการนำเศษคอนกรีตเก่า ใช้เป็นส่วนผสมแทนที่หินธรรมชาติในการผลิตคอนกรีต เริ่มต้นจากนำเศษคอนกรีตเก่า มาทำการทุบคัดแยกขนาด ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 1 1/2 นิ้ว ค้างตะแกรงเบอร์ 4 จากนั้นทำการออกแบบส่วนผสม ส่วนที่หนึ่งใช้วัสดุจากธรรมชาติเป็นส่วนผสม หิน และทรายแม่น้ำ (CT) ส่วนที่สองใช้ เศษคอนกรีตที่ย่อยแทนที่หินทั้งหมดกับทรายแม่น้ำ (RC) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.30 ส่วนที่สามใช้เถ้าก้นเตาบดละเอียดผ่านการร่อนด้วยตะแกรง No.325 ดังภาพที่ 1 แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20(RC20), 35(RC35) และ 50(RC50) โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ดังในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 เถ้าก้นเตาผ่านการร่อนด้วยตะแกรง No.325

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต

ตัวอย่าง	ส่วนผสม (กก/ม^3)						จำนวนตัวอย่าง (ก้อน)
	ปูนซีเมนต์	เถ้าก้นเตา	หิน	เศษคอนกรีต	ทราย	น้ำ	
CT	560	-	990	-	750	170	9
RC	560	-	-	925	710	170	9
RC20	450	110	-	890	710	170	9
RC35	365	195	-	885	705	170	9
RC50	280	280	-	880	705	170	9

2.3 วิธีการทดสอบ

โดยการผสมจะเริ่มจากนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมส่วนที่หนึ่งใช้วัสดุจากธรรมชาติเป็นส่วนผสม (หิน และทรายแม่น้ำ) ส่วนที่สองใช้ เศษคอนกรีตที่ย่อยแทนที่หินทั้งหมด กับทรายแม่น้ำ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.30 พร้อมทั้งผสมใช้เถ้าก้นเตาบดละเอียดผ่านการร่อนด้วยตะแกรง No.325 คลุกเคล้าให้เข้ากันดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 คลุกเคล้าวัสดุให้เข้ากัน

2.3.1 ทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต (Slump flow test) ตามมาตรฐาน ASTM C143 หลังจากผสมคอนกรีตเป็นที่เรียบร้อยก็ดำเนินการนำคอนกรีตบรรจุลงในกรวยทดสอบให้เต็ม ปาดผิวหน้าให้เรียบ จากนั้นทำการยกขึ้นในแนวดิ่งตรง ๆ ทำการวัดการยุบตัวโดยวัดเทียบกรวยทดสอบดังแสดงในภาพ 3



ภาพที่ 3 ทดสอบค่ายุบตัวคอนกรีต

2.3.2 การทดสอบความพรุนและการดูดซับน้ำดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C642 (2006) การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาดโพรงและการดูดซับน้ำเริ่มต้นด้วยการนำส่วนผสมที่ ออกแบบไว้มาเทในแบบหล่อขนาด 30x15 เซนติเมตร และทำการกระทุ้งด้วยแท่งเหล็ก จำนวน 3 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง เช่นเดียวกันกับการเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังอัด ตัวอย่างถูก แกะออกจากแบบหล่อและบ่มในอากาศจนครบอายุ 28 วัน หลังจากครบอายุการบ่ม ทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง และชั่งในน้ำ ดังแสดงในภาพ 4 หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพ 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบนำแท่งคอนกรีตออกจากเตาอบแล้วนำไปแช่น้ำอีก 48 ชั่วโมง ต่อจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าขนาดโพรงและการดูดซับน้ำของคอนกรีต



ภาพที่ 4 การนำตัวอย่างชั่งในน้ำ



ภาพที่ 5 การอบแห่งตัวอย่างคอนกรีต ที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส

2.3.3 ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C192 อายุ 28 วัน และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นตามมาตรฐาน ASTM C 469 โดยการทดสอบจะใช้ตัวอย่างละ 3 ก้อนที่อัตราส่วนผสมต่างกัน ทุกส่วนผสมมาทำการทดสอบกำลังอัดด้วยเครื่องทดสอบดังแสดงในภาพที่ 6 แล้วทำการบันทึกผลหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 6 การทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต และค่าโมดูลัสการยืดหยุ่น

2.3.4 ทดสอบกำลังรับแรงดึงผ่าซีกแท่งคอนกรีตจะทดสอบอัตราส่วนละ 3 ตัวอย่างดังภาพที่ 7 มาตรฐาน ASTM C496



ภาพที่ 7 การทดสอบการรับแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีต

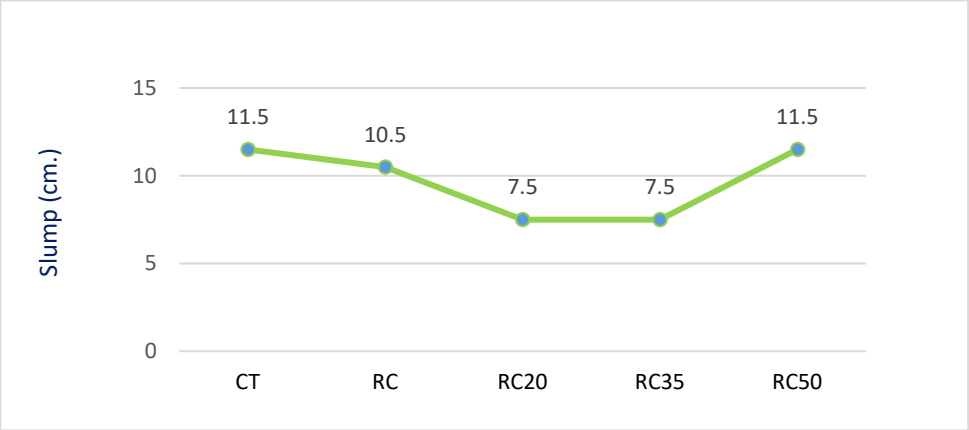
3. ผลการทดสอบและวิจารณ์

3.1 การยุบตัวของคอนกรีต (Slump flow test)

จากการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้มวลรวมจากคอนกรีตเก่า เป็นส่วนผสมร่วมกันกับเถ้าก้นเตาบดละเอียด ตามมาตรฐานของคอนกรีต ASTM C143 ของทุกส่วนผสมพบว่า ค่าการยุบตัวของตัวอย่าง (CT) และตัวอย่างที่ (RC50) มีค่าการยุบตัวสูงสุดเท่ากับ 11.5 เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 8

ตารางที่ 2 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต

ตัวอย่าง	ค่าการยุบตัว (ซม.)
CT	11.50
RC	10.50
RC20	7.50
RC35	7.50
RC50	11.50



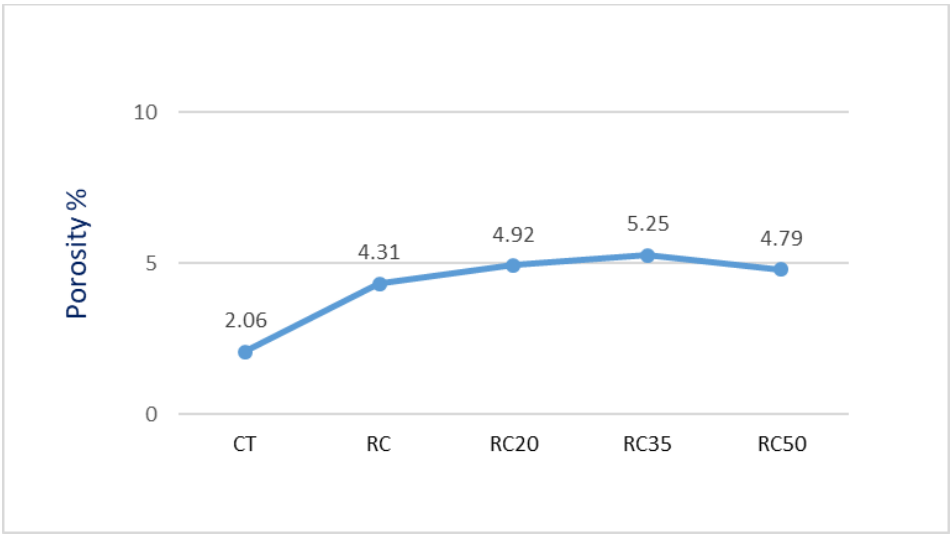
ภาพที่ 8 ภาพกราฟค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตตามส่วนผสมต่างๆ

3.2 ความพรุนและการดูดซับน้ำของคอนกรีต

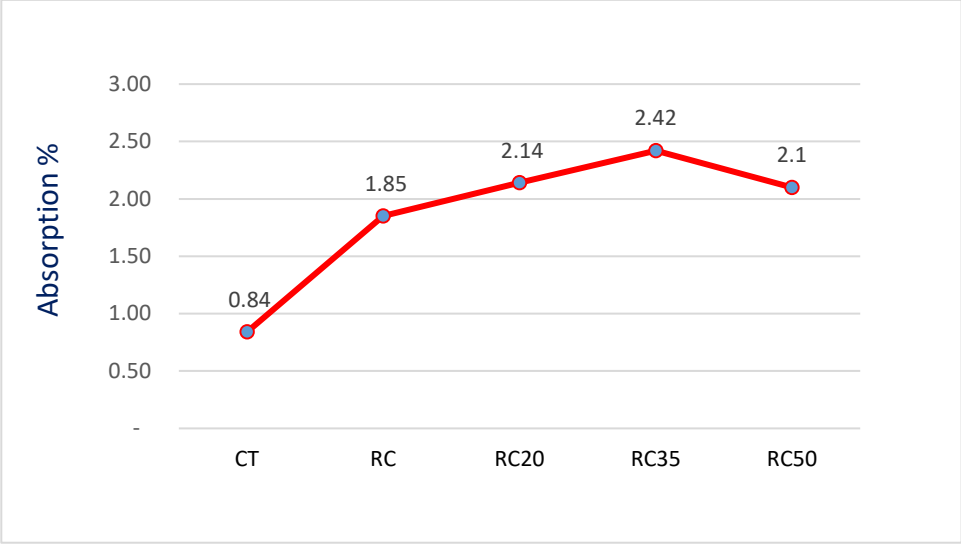
ในการทดสอบความพรุนและการดูดซับน้ำของคอนกรีตตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM C642 ความพรุนของคอนกรีตอายุการบ่มที่ 28 วัน จากการทดลองพบว่าตัวอย่างที่ RC35 มีค่าความพรุนที่ร้อยละ 5.25 ซึ่งส่งผลทำให้มีการดูดซับน้ำมากขึ้นตามไปด้วยโดยอยู่ที่ร้อยละ 2.42 เนื่องจากเศษคอนกรีตเก่ามีคุณสมบัติทางกายภาพมีความพรุนสูงทำให้มีความหนาแน่นน้อยการดูดซับน้ำจึงมีค่าสูงกว่ามวลรวมหยาบจากธรรมชาติ ดังตารางที่ 3 ภาพที่ 10

ตารางที่ 3 ความพรุนและการดูดซับน้ำของคอนกรีตที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง	ความพรุน (ร้อยละ)	การดูดซับน้ำ (ร้อยละ)
CT	2.06	0.84
RC	4.31	1.85
RC20	4.92	2.14
RC35	5.25	2.42
RC50	4.79	2.10



ภาพที่ 9 กราฟแสดงความพรุนของคอนกรีต



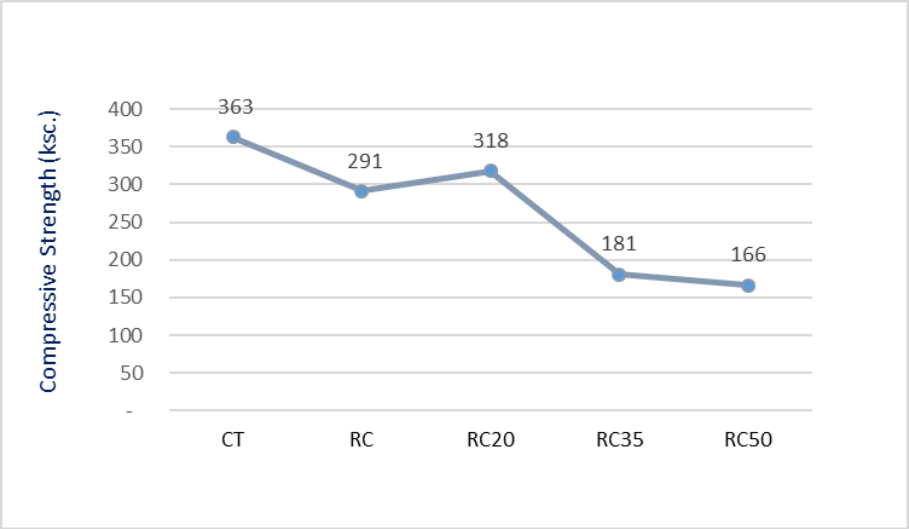
ภาพที่ 10 กราฟแสดงการดูดซับน้ำของคอนกรีต

3.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

ในการทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM C192 จากตัวอย่างที่ RC20 ที่ใช้มวลรวมหยาบที่ได้จากการใช้เศษคอนกรีตเก่าผสมกับเถ้าก้นเตาเป็นส่วนผสมจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 318 กก/ซม^2 หรือคิดเป็นร้อยละ 87.60 ของคอนกรีตควบคุม (363กก/ซม^2) ตารางที่ 4 และภาพที่ 11

ตารางที่ 4 ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต และโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง	กำลังอัดที่ทดสอบ อายุการบ่ม 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสการยืดหยุ่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน (กก./ตร.ซม.)
CT	363	240,397
RC	291	139,680
RC20	318	212,946
RC35	181	135,141
RC50	166	133,870



ภาพที่ 11 กราฟแสดงกำลังอัดคอนกรีต ที่อายุการบ่ม 28 วัน

3.4 การทดสอบกำลังรับแรงดึงผ่าซีก

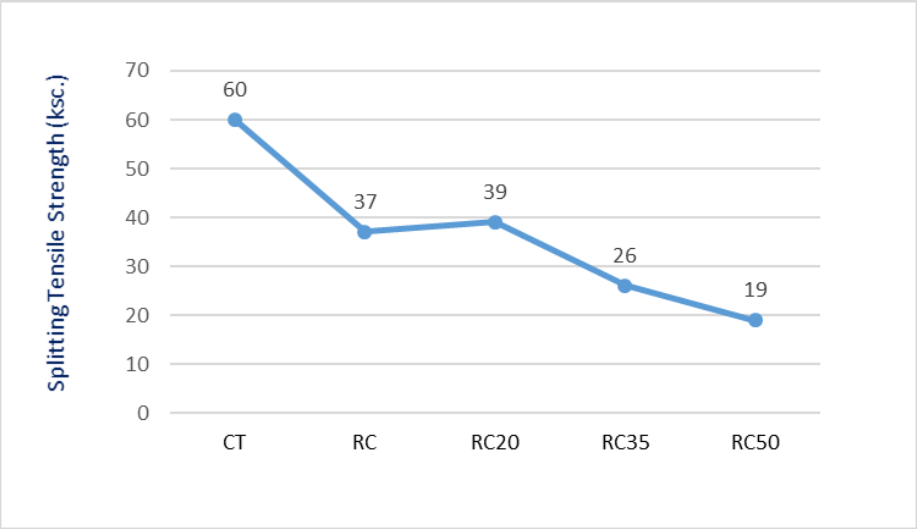
ในการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีตตัวอย่างเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกำลังดึงผ่าซีกต่อกำลังอัดของคอนกรีตกับกำลังอัดของคอนกรีต โดยส่วนผสมของเศษคอนกรีตร่วมกับเถ้าก้นเตาบดละเอียดจะให้ค่ากำลังรับแรงดึงผ่าซีกของตัวอย่างอายุที่ 28 วัน ร้อยละ 65 ของตัวอย่างควบคุม ดังตารางที่ 5 และภาพที่ 13



ภาพที่ 12 การทดสอบกำลังดึงผ่าซีกของคอนกรีต

ตารางที่ 5 ความสามารถในการรับแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีต ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ตัวอย่าง	แรงดึงผ่าซีก (กก./ตร.ซม.)
CT	60
RC	37
RC20	39
RC35	26
RC50	19



ภาพที่ 13 กราฟแสดงแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีต ที่อายุการบ่ม 28 วัน

4. สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบที่ได้จากเศษคอนกรีตเก่าในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้คอนกรีตมีขนาดคละที่ดีมีการยุบตัวลดลง โดยทางตรงกันข้ามเมื่อมีปริมาณมวลรวมหยาบเศษคอนกรีตเก่ามากขึ้นค่าการยุบตัวน้อยลงเพราะลักษณะของมวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีตเก่ามีผลกระทบโดยตรงต่อกำลังอัด โมดูลัสยืดหยุ่น และกำลังดึงผ่าซีก เพราะมีผิวหยาบ มีเหลี่ยมมุม ขนาดคละของคอนกรีตแย่ลง และบางส่วนอาจมีมอร์ตาร์ติดอยู่ส่งผลให้ค่าการยุบตัวลดลง และความพรุนกับการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อผสมเถ้าก้นเตา แทนที่ซีเมนต์มากส่งผลให้คอนกรีตมีผลเล็กน้อย ต้องการน้ำเพิ่มขึ้นโดยที่ผิวที่มีความพรุนสูงนี้จะทำให้มีการดูดซึมน้ำสูงเพื่อใช้จัดเก็บอนุภาคของเถ้าก้นเต้า

2. พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีตเก่าผสมร่วมกับเถ้าก้นเตาบดละเอียดร้อยละ 20 จะมีค่ากำลังอัด, โมดูสยืดหยุ่น และกำลังดึงผ่าซีก สูงกว่าตัวอย่างประเภทเดียวกัน แต่มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยยะสำคัญ ดังเช่นถ้าเพิ่มปริมาณเถ้าก้นเตามากขึ้นเป็นร้อยละ 50 กำลังของคอนกรีตจะลดลง เพราะว่าเถ้าก้นเตามีคุณสมบัติในการช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดในคอนกรีตได้ เมื่อใส่ในปริมาณที่เหมาะสมซึ่งในการทดลองนี้ปริมาณที่เหมาะสมของเถ้าก้นเตาอยู่ที่ไม่เกินร้อยละ 20 แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้ปฏิกิริยาที่ไฮเดรชั่นลดลงส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงด้วย

3. เศษคอนกรีตเก่า และเถ้าก้นเตาวัสดุที่เหลือทิ้งจากการกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานผลิตน้ำตาล ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านคอนกรีตน้อยมาก แต่เมื่อนำมาศึกษาอย่างละเอียดพบว่าเถ้าก้นเตานำมาบดละเอียดจะมีคุณสมบัติในด้านการเพิ่มกำลังของคอนกรีตที่เรียกว่าวัสดุประเภทปอซโซลาน ทำให้คอนกรีตเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ช่วยในการรับแรงอัดของคอนกรีตได้ส่งผลให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัดได้ดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิที่สนับสนุนงานวิจัย และความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ อินทบุตร ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้ จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยนี้สำเร็จ สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

ACI 3 6 3 R: Report on High-Strength Concrete, The American Concrete Institute, 2010.

Department of Primary Industries and Mines. Report on mineral consumption of thailand in 2558 [Online]. Available: http://www7.dpim.go.th/stat/consumption.php

H.K.A. Al-Bayati, P.K. Das, S.L. Tighe, and H. Baaj, "Evaluation of various treatment methods for enhancing the physical and morphological properties of coarse recycled concrete aggregate" Construction and Building Materials, Vol. 112, pp. 284-298, 2016

J. Li, H. Xiao, and Y. Zhou, "Influence of coating recycled aggregate surface with pozzolanic powder on properties of recycled aggregate concrete" Construction and Building Materials, Vol. 23, No.3, pp. 1287-1291, 2009.

S.C. Kou, and C.S. Poon, "Effect of the quality of parent concrete on the properties of high performance recycled aggregate concrete" Construction and Building Materials, Vol. 77, pp. 501-508, 2015.

W. Tangchirapat, S. Khamklai, and C. Jaturapitakkul, "Use of ground palm oil fuel ash to improve strength, sulfate resistance, and water permeability of concrete containing high amount of recycled concrete aggregates" Materials & Design, Vol. 41, pp. 150-157, 2012.

P. Toolkasikorn, W. Tangchirapat, and C. Jaturapitakkul, “Strength and chloride resistance of recycled aggregate concrete containing ground rice husk ash” Journal of Thailand Concrete Association, Vol. 2, pp. 8-16, 2014. (in Thai)

R. Somna and C. Jaturapitakkul, “Use of ground bagasse ash to improve compressive strength,water permeability, and chloride resistance of recycled aggregate concrete” KMUTT Research and Development Journal, Vol. 4, pp. 369-381, 2011. (in Thai)

ทวีชัย สำราญวานิช และศักดิ์จุฬา นามจันทร์. (2559). ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เถ้าก้นเตาแทนที่ทราย บางส่วนสำหรับคอนกรีตภายใต้สิ่งแวดล้อมทะเล. มหาวิทยาลัยบูรพา. คณะวิศวกรรมศาสตร์.

รัฐพล สมนา และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2554). การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษ คอนกรีตเก่า. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 34 ฉบับที่ 4 ตุลาคม ธันวาคม 2554

สำเริง รักซ้อน และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2551). การใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตเกษตรกรรมในงานคอนกรีต. วาสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 2(1): 49–55.

ปกป้อง รัตนชู, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2558). ผลกระทบจากการใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดต่อกำลังอัดและความทนทาน ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีต. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. ISSN: 1906–5981 (Print), ISSN: 2561–1274 (Online).

ไกรวุฒิ ตันติสุขารมย์ และคณะ. (2555). ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ของเถ้าก้นเตาบดละเอียดใน คอนกรีตสมรรถนะสูง. วศิวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 23 ฉบับที่1 พ.ศ. 2555

นายกฤษณะ แปงหลวง และคณะ. (2561). การแยกแร่เหล็กออกจากเถ้าลอยและเถ้าก้นเตาโดยใช้ แม่เหล็กนีโอไดเมียม.วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม–ธันวาคม 2561.

โยธาไทย. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังอัดของคอนกรีตก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก และรูปทรงลูกบาศก์. แหล่งที่มา: https://www.yotathai.com/

การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้กรวดแม่น้ำทดแทนมวลหยาบแบบดั่งเดิมโดยมีไฮดรอลิกซีเมนต์และเถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสาน

A study of properties of high-strength concrete using river gravel as a substitute for conventional coarse aggregate with hydraulic cement and fly ash as binders

กรรวี เพียเปี้ย[1], สุภาวดี มีเลข[1], ฤทธิพล ทูนมาก[1], กิติศักดิ์ วงษ์สุข[2] และ อรุณเดช บุญสูง[3*]
Kornrawee Piepie[1], Suphawadee Meelek[1], Ritthipon Thoonmak[1], Kitisak Vongsook[2] and Aroondet Boonsung[3*]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาคอนกรีตกำลังสูงที่ผลิตจากการใช้ไฮดรอลิกซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสานและใช้กรวดแม่น้ำทดแทนมวลรวมหยาบ โดยมุ่งเน้นการศึกษา ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพลส์ ค่าการยุบตัว และกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพลส์มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเถ้าลอยเพิ่มขึ้นทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CaO จากเถ้าลอยซึ่งส่งผลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายกรณีใช้ HC เป็นสารเชื่อมล้วนมีค่าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การยุบตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพของเถ้าลอยและกรวดแม่น้ำที่เป็นทรงกลมทำให้คอนกรีตสดสามารถลื่นไหลได้ดี ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดพบว่าการใช้เถ้าลอยในส่วนผสมทำให้กำลังลดลง แต่อย่างไรก็ตามคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้ HC เพียงอย่างเดียวเป็นสารเชื่อมประสาน โดยมีกรวดแม่น้ำทดแทนมวลรวมหยาบสามารถพัฒนากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วันได้ตามที่ออกแบบไว้

คำสำคัญ: คอนกรีตกำลังสูง, กรวดแม่น้ำ, ไฮดรอลิกซีเมนต์, คอนกรีตสด, กำลังรับแรงอัด

[1] นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมบริหารงานก่อสร้าง มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จ.อุตรดิตถ์ 53000
[2] วิศวกรบริหารโครงการ บริษัท ซูโคร-เทค เอ็นจิเนี่ยริ่ง จำกัด จังหวัดกำแพงเพชร 62160
[3] รองศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิศวกรรมบริหารงานก่อสร้าง มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000
[1] Undergraduate Students, Construction Management Engineering, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, 53000
[2] Engineer (Project Manager, PM), Sucro-Tech Engineering Co.,Ltd., Kamphaeng Phet, 62160
[3] Associate Professor, Construction Management Engineering, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, 53000
* Corresponding author: a.boonsung9@gmail.com

Abstract

This research article presents the results of a study of high-strength concrete produced using hydraulic cement with fly ash as a binder and river gravel as a substitute for coarse aggregate. The studies focused on cement paste setting time, slump value, and compressive strength at 3, 7, 28, and 56-day curing times. The results showed that increased fly ash decreased the cement paste setting time. This was due to increased CaO in fly ash, which affected the hydration reaction; the initial and final setting times when using HC as a binder were industry-standard values. The slump value increases with increasing fly ash content due to the physical characteristics of fly ash, and river gravel is spherical, which results from fresh concrete flowing well. The compressive strength test results showed that the use of fly ash in the mixture caused the compressive strength to decrease. However, the high-strength concrete mixture with only HC and using river gravel to substitute conventional coarse aggregate could develop compressive strength at 28 days of curing as designed.

Keywords: High-Strength Concrete, River Gravel, Hydraulic Cement, Fresh Concrete, Compressive Strength

บทนำ

การเติบโตของสังคมทำให้มีความต้องการที่พักอาศัยและโครงสร้างพื้นฐานเพิ่มมากขึ้น โดยราคาที่ดินมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทั่วทุกพื้นที่ของประเทศ ดังนั้นสำหรับเมืองใหญ่การใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นสิ่งสำคัญ ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของที่พักอาศัยในรูปของอาคารสูงเกิดขึ้นมากมายโดยเฉพาะในเขตเศรษฐกิจของประเทศ คอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete, HSC) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการต้านทานแรงอัดได้สูงกว่าคอนกรีตปกติ โดยสมาคมคอนกรีตแห่งอเมริกาได้ให้คำจำกัดความ คอนกรีตกำลังสูงไว้ว่าเป็นคอนกรีตที่มีความสามารถในการรับแรงอัดได้มากกว่า 40 Mpa หรือ 410 ksc (ACI 363R-92, 2000) นิยมใช้กับงานอาคารสูง (High-Rise Building) โครงสร้างสะพานที่มีช่วงความยาวมาก โดยคอนกรีตกำลังสูงประกอบด้วย ซีเมนต์ มวลรวม น้ำ สารลดปริมาณน้ำหรือสารลดปริมาณน้ำพิเศษ และวัสดุปอซโซลาน (ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2549)

อย่างไรก็ตามการผลิตคอนกรีตกำลังสูงจำเป็นต้องใช้ซีเมนต์ (Ordinary Portland Cement Type I, OPC) เป็นสารเชื่อมประสานหลัก ซึ่งในกระบวนการผลิตมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมาก (Fernandez-Jimenez et al., 2006, Brandão Ferreira, 2014) การนำปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement, HC) มาใช้แทนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 จึงเป็นแนวทางหนึ่ง เนื่องจากกระบวนการผลิตปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า (Pheeraphan, 2021) สุวัฒน์ และ ธนิต (2023) รายงานผลการศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัด (f_c' = 210 ksc) ของคอนกรีตที่ใช้ HC กับ OPC พบว่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตที่ทำจาก HC มีค่าสูงกว่าคอนกรีตที่ทำจาก OPC ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในแง่ของกำลังนั้น HC สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับ OPC ปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ HC เป็นสารเชื่อมประสานหลักในงานคอนกรีตและงานปรับปรุงคุณภาพชั้นทางออกมาอย่างต่อเนื่องเช่น การผลิตคอนกรีตที่ใช้ HC ร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา เถ้าก้นเตา เถ้าขยะ เศษขยะทดแทนมวลรวมละเอียด ปรับปรุงคุณสมบัติชั้นรองพื้นทาง ดินถมคันทาง รวมไปถึงชั้นพื้นทางหินคลุก การผลิตคอนกรีตสำหรับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ และการเสริมกำลังท่อเหล็กรับแรงตามแนวแกนร่วมกับเหล็กเสริม (กมลวรรณ และคณะ, 2022, ปัญญา และคณะ, 2022, ทวีศักดิ์ และคณะ, 2022, ประสาน และคณะ, 2023, ธัญญารัตน์ และคณะ, 2022, บรรณกร และคณะ, 2022, กมลชนก และคณะ, 2022, จักษดา และคณะ, 2023) เป็นต้น

นอกจากนั้นองค์ประกอบที่สำคัญในการผลิตคอนกรีตอีกส่วนหนึ่งคือ มวลรวมซึ่งมีปริมาณมากที่สุดในส่วนผสม (75 – 80% โดยปริมาตร) ในปี 2557 มีการระเบิดหินเพื่อใช้เป็นวัสดุในอุตสาหกรรมก่อสร้างทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศอย่างน้อย 3 หมื่นล้านตัน ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียง 27 ล้านตันเท่านั้นที่ถูกกักเก็บไม่ให้ไปสู่ชั้นบรรยากาศโลก (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน, 2023) โดยที่ผ่านมามีการศึกษาวัสดุผสมทดแทนมวลรวมในคอนกรีตอย่างต่อเนื่องเช่น การใช้ทรายจากแบบหล่อโลหะ เถ้าก้นเตาจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านหิน คอนกรีตรีไซเคิลทั้งที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรม (อลงกต บุญศิริ, 2014, พชร ศิริศักดิ์, 2016, Ranjitham et al., 2019, อามีน และคณะ, 2020, จิรา และ เอื้อบุญ, 2021) เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศจากอุตสาหกรรมผลิตหินและทราย

อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีผลการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติด้านกำลังระหว่างซีเมนต์ทั้ง 2 ชนิดและวัสดุทดแทนมวลรวมหลายชนิด แต่ก็ยังไม่มีผลการศึกษาใดที่กล่าวถึงคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงที่ผลิตจาก HC โดยใช้กรวดแม่น้ำวัสดุทดแทนมวลรวมแบบดั่งเดิม บทความฉบับนี้จึงเป็นการนำเสนอผลการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงที่ผลิตจากไฮดรอลิกซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอยโดยใช้กรวดแม่น้ำทดแทนมวลรวมหยาบแบบดั่งเดิม โดยมุ่งเน้นศึกษาคุณสมบัติในสภาวะเหลวและค่ากำลังรับแรงอัดเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงพฤติกรรมของวัสดุและประโยชน์ต่อการนำไปใช้งาน

วิธีการศึกษา

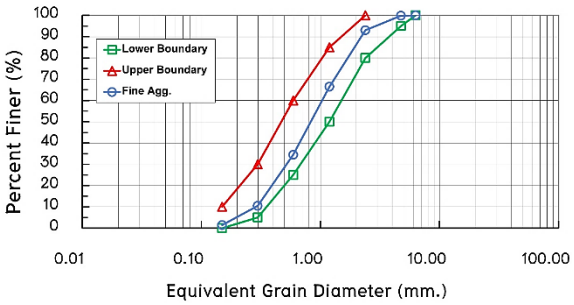
1. วัสดุและการออกแบบส่วนผสม

การศึกษานี้ใช้ไฮดรอลิกซีเมนต์ประเภทใช้งานทั่วไป (General Use, GU) ตามมาตรฐาน มอก.2594-2023 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2023) เป็นสารเชื่อมประสานหลักโดยมีการแทนที่ด้วยเถ้าลอย Class C ตามมาตรฐาน ASTM C618 (ASTM, 2002) จากโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะที่ปริมาณร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ไฮดรอลิกซีเมนต์และเถ้าลอยมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 และ 2.30 ตามลำดับ โดยองค์ประกอบทางเคมีสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 และใช้สารผสมเพิ่มประเภทลดน้ำระดับปานกลางชนิด D และ G ตามมาตรฐาน ASTM C494 (ASTM, 2002) (Mid-Range Water Reducing Concrete Admixture Type D&G) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่มที่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับคอนกรีตที่มีเถ้าลอยในส่วนผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการพัฒนากำลัง กรวดแม่น้ำได้จากการคัดแยกในกระบวนการผลิตทรายสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างของบริษัท ส.อรุณคอนกรีต จำกัด จังหวัดอุตรดิตถ์ (แม่น้ำน่าน) โดยส่วนผสมทั้งหมดแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษา

มวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำซึ่งมีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33 (ASTM, 2002) ดังแสดงในภาพที่ 2 และมวลรวมหยาบใช้กรวดแม่น้ำขนาด 3/8 นิ้ว ผลการทดสอบคุณสมบัติมวลรวมที่จำเป็นในการออกแบบส่วนผสมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงได้ดังตารางที่ 3 ซึ่งออกแบบตามมาตรฐาน ACI 211.4R-93 (ASTM 2000) โดยกำหนดกำลังเป้าหมายที่อายุ 28 วัน (f_c') เท่ากับ 600 ksc



ภาพที่ 2 ลักษณะการกระจายตัวของมวลรวมละเอียด

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของไฮดรอลิกซีเมนต์ (HC) และเถ้าลอย (FA)

Composition	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Mn_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O
HC	4.18	23.51	3.56	0.52	62.38	0.31	N.D.	3.49	1.75	0.33
FA	15.21	31.77	5.43	2.59	24.22	0.62	0.18	17.17	2.81	N.D.

N.D. = Non-Detective

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติมวลรวม

Aggregate	
Fine	**Coarse**
GS = 2.64	GS = 2.33
water absorption = 0.36%	water absorption = 1.70%
Unit Weight (Dense) = 1,742 kg/m^3	Unit Weight (Dense) = 1,558 kg/m^3
Unit Weight (Loose) = 1,599 kg/m^3	Unit Weight (Loose) = 1,414 kg/m^3
Fineness Modulus = 2.97	Los Angeles Abrasion = 27.5%

ตารางที่ 3 สัดส่วนการผสม

Mix	Mixing Proportion (kg/m^3), W/HC+FA ratio = 0.325					
	Cement	Fly ash	Fine Agg.	Coarse Agg.	Water	Admixture(1%)
HCFA0	551.5	0	1,013	491.0	179.25	5.52
HCFA10	496.4	55.1	1,013	472.7	179.25	5.52
HCFA20	441.2	110.3	1,013	456.7	179.25	5.52
HCFA30	386.1	165.4	1,013	438.2	179.25	5.52

2. ชุดการทดสอบ

2.1 การก่อตัวของเพสต์

การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวใช้วิธีการทดสอบสอบด้วยเข็ม Vicat ตามมาตรฐาน ASTM C191 (ASTM 2002) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm หนัก 300 g การทดสอบทำได้โดยการจับเวลาโดยนับตั้งแต่เมื่อสารเชื่อมประสานสัมผัสกับน้ำและวัดระยะจมของเข็มไปเรื่อยๆจนระยะจมมีค่าเท่ากับ 25 mm จะเป็นระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น (initial Setting Time) ทำการทดสอบต่อไปจนเข็ม Vicat ไม่สามารถจมลงในเพสต์จะได้ระยะเวลาก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time)

2.2 การยุบตัว

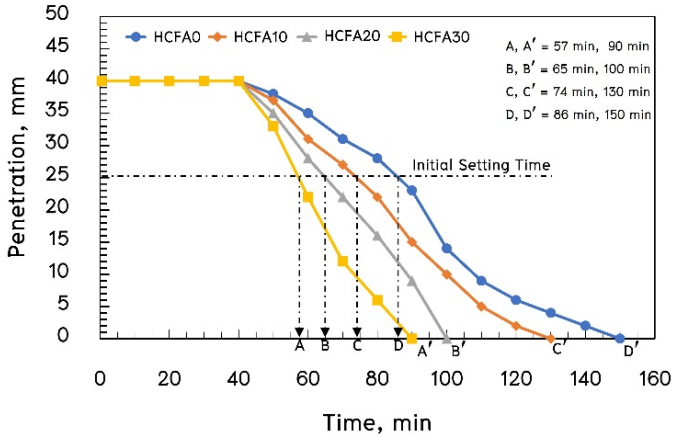
การทดสอบหาค่าการยุบตัวหรือ Slump test ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสดทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C143 (ASTM 2002)

2.3 กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังรับแรงอัดทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C192 และ ASTM C39 (ASTM 2002) ทำโดยการเก็บก้อนตัวอย่างในแบบหล่อตามมาตรฐานซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm สูง 30 cm ส่วนผสมละ 5 ตัวอย่างโดยทิ้งเวลาไว้เป็น 24 ชั่วโมงก่อนแกะออกจากแบบหล่อ จากนั้นนำไปบ่มในน้ำก่อนทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 3, 7, 28 และ 56 วัน

ผลการศึกษา

1. ระยะเวลาการก่อตัว



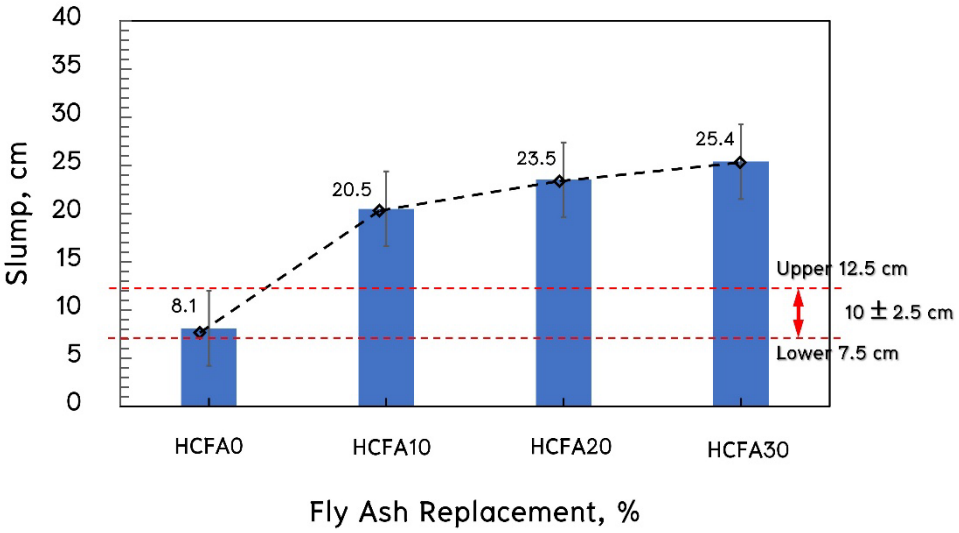
ภาพที่ 3 ผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัว

ภาพที่ 3 แสดงผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวพบว่า มีลักษณะเหมือนกันคือเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นระยะการจมตัวของเข็ม Vicat จะมีค่าลดน้อยลง โดยเป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในเพสต์ส่งผลให้ทั้งระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น และ ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายมีค่าลดลง โดยระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 86 min, 74 min, 65 min และ 57 min และระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 150 min, 130 min, 100 min และ 90 min เมื่อปริมาณเถ้าลอยในเพสต์มีค่าร้อยละการแทนที่เท่ากับ 0, 10, 20 และ 30 ตามลำดับ ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากในเถ้าลอยมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นส่วนประกอบหลักเมื่อนำไปผสมร่วมกับซีเมนต์จึงทำให้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ในภาพรวมของสารเชื่อมประสานมีค่าเพิ่มสูงมากขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Reaction) ซึ่งเกิดขึ้นร่วมกับการเร่งปฏิกิริยาจากสารผสมเพิ่ม จึงทำให้ระยะเวลาการก่อตัวลดลง ในขณะที่การใช้เถ้าลอยร่วมในสารเชื่อมประสานโดยไม่มีสารผสมเพิ่มส่งผลให้

ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นและลดระยะเวลาการสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ได้เป็นอย่างดี (อรุณเดช, 2020)

2. การยุบตัว

ภาพที่ 4 แสดงผลการทดสอบค่าการยุบตัวพบว่า ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยจะมีค่าการยุบตัวมากกว่าในกรณีที่ไม่มีเถ้าลอย (HCFA0) โดยการยุบตัวจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในส่วนผสม โดยมีค่าการยุบตัวเท่ากับ 8.1 cm, 20.5 cm, 23.5 cm และ 25.4 cm เมื่อปริมาณเถ้าลอยมีค่าร้อยละการแทนที่เท่ากับ เท่ากับ 0, 10, 20 และ 30 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากเถ้าลอยมีอนุภาคที่เป็นทรงกลมส่งผลให้ความเค้นภายในเนื้อวัสดุลดลงทำให้ช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลได้จากการลดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคภายในของวัสดุ (Makarat et al., 2001, Sua-Iam and Makul, 2013) ประกอบกับการใช้กรวดแม่น้ำที่มีลักษณะกลมมนและมีผิวเรียบจึงทำให้คอนกรีตในสภาวะเหลวนี้มีความสามารถในการไหลได้ดีกว่าการใช้มวลรวมหยาบแบบดั่งเดิม (หิน) ที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม เมื่อใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมที่เท่ากันจึงทำให้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีเถ้าลอยมีค่าการยุบตัวมากกว่าคอนกรีตกรณีที่ใช้ซีเมนต์ล้วน โดยการยุบตัวที่มากขึ้นมีแนวโน้มที่จะส่งผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดโดยตรง (กำลังลดลง)



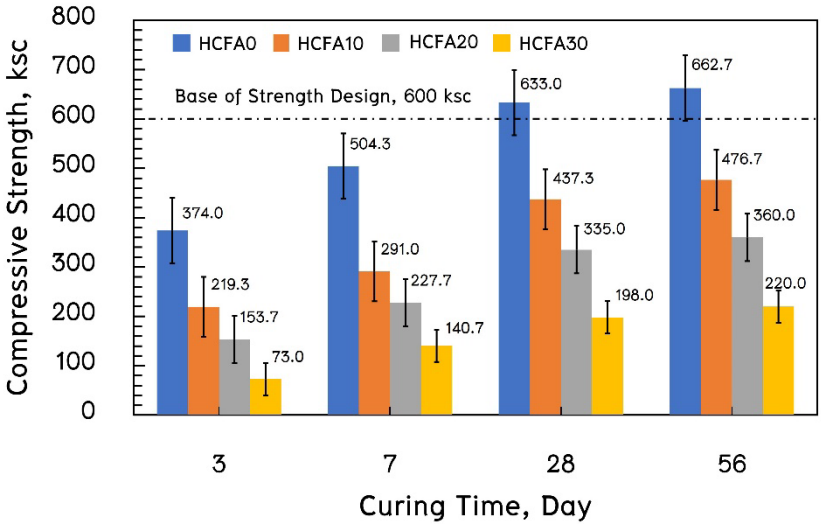
ภาพที่ 4 ผลการทดสอบค่าการยุบตัว

แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัตินั้นสามารถลดอัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสาน (W/HC+F ratio) ลงได้ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการยุบตัวลดลงมาอยู่ในช่วงการใช้งานตามปกติได้ และสามารถปรับปรุงค่ากำลังรับแรงอัดได้อีกด้วย โดยค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าลอย (HCFA0) ในส่วนผสมนั้นอยู่ในช่วงการใช้งานของคอนกรีตสำหรับงานฐานราก คอนกรีตสำหรับงานเสาเข็มเจาะขนาดเล็ก และคอนกรีตปั๊มที่ต้องการการขนส่งระยะไกลหรือขนส่งในแนวดิ่งเช่นการก่อสร้างอาคารสูงซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานคอนกรีตกำลังสูงที่กำหนดค่าการยุบตัวเท่ากับ 10±2.5cm (7.5 cm – 12.5 cm)

3. กำลังรับแรงอัด

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยน้ำหนักกับการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 พบว่ามีค่าลดลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,341 kg/m^3 (S.D.=0.024), 2,321 kg/m^3 (S.D.=0.044), 2,292 kg/m^3 (S.D.=0.028) และ 2,275 kg/m^3 (S.D.=0.052) ตามลำดับ เนื่องจากเถ้าลอยมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าไฮดรอลิกซีเมนต์เมื่อนำไปแทนที่จึงทำให้หน่วยน้ำหนักลดลง ภาพที่ 4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดก้อนตัวอย่างที่อายุการบ่มและ

ปริมาณเถ้าลอยร้อยละต่างๆ กันพบว่า กำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มทุกส่วนผสม โดยก้อนตัวอย่างที่มีเถ้าลอยร่วมเป็นสารเชื่อมประสานร้อยละ 10, 20 และ 30 มีค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 437 ksc, 335 ksc และ 198 ksc โดยคิดเป็นร้อยละการลดลงเท่ากับ 31, 47 และ 69 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ใช้ซีเมนต์ล้วน



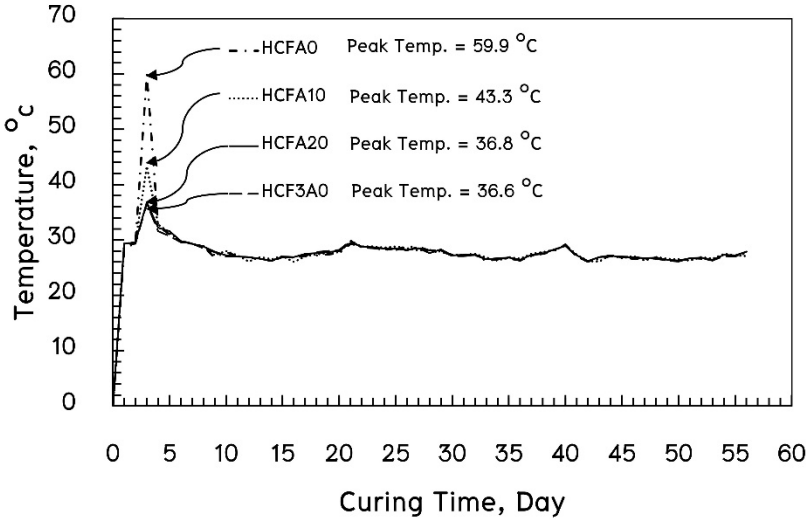


การวิบัติของก้อนตัวอย่าง

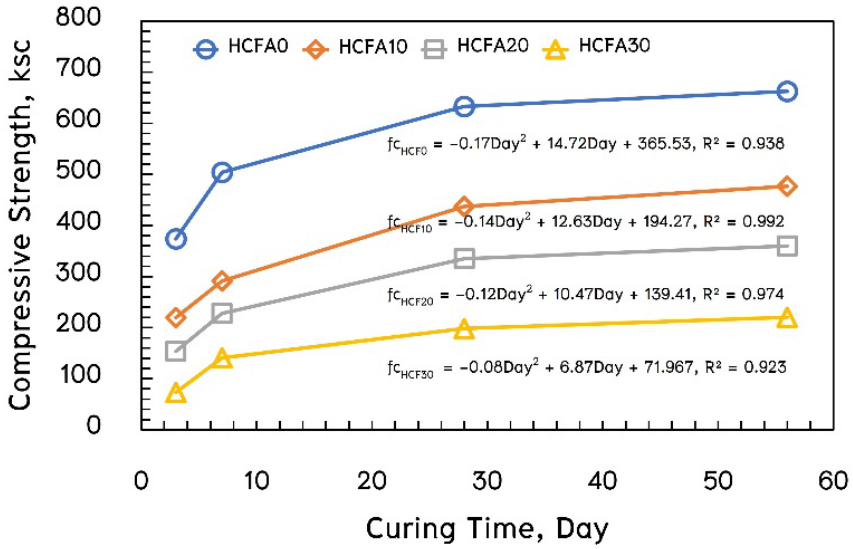
ภาพที่ 4 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดกับอายุการบ่ม

ผลการทดสอบแสดงให้ว่าการแทนที่เถ้าลอยในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงที่ทุกอายุการบ่ม ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการลดลงของซีเมนต์ทำให้ปริมาณไตรคัลเซียมซิลิเกต (C_3S) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นลดลงด้วย โดยไตรคัลเซียมซิลิเกตจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นสูงในช่วงสัปดาห์แรกและเกิดความร้อน 500 J/g ของปริมาณซีเมนต์ (CPAC, 2023) โดยคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยจะเกิดความร้อนอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่ำกว่าและช้ากว่าเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าลอยในช่วง 10 ช่วงโมงแรก (Langan et al., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เพสต์ดังแสดงในภาพที่ 5 การใช้สารผสมเพิ่มจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาชัดเจนที่อายุการบ่ม 3 วัน โดยมีอุณหภูมิ 60.0 °C, 43.3 °C, 36.8 °C และ 36.6 °C เมื่อแทนที่ด้วยปริมาณเถ้าลอย 0, 10, 20 และ 30 ตามลำดับ และมีค่าลดลงเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น หลังอายุการบ่ม 14 วันพบว่ามีเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27 –29 °c ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิระหว่างวันในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลโดยส่วนผสมที่ไม่มีการแทนที่ของเถ้าลอยจะเกิดความร้อนที่สูงกว่ากรณีที่มีเถ้าลอย

แต่อย่างไรก็ตามในกรณีใช้ซีเมนต์ล้วนที่อายุการบ่ม 28 วัน ให้ค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 633 ksc ซึ่งเป็นไปตามกำลังเป้าหมายที่ได้ออกแบบไว้ โดยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอายุการบ่มอยู่ในรูปแบบสมการโพลิโนเมียล (Polynomials Equation) และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณการแทนที่เถ้าลอยอยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น (Linear equation) ดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7 ตามลำดับ โดยมีค่าความเชื่อมั่น (R-squared) มากกว่า 0.9 ที่ทุกส่วนผสม

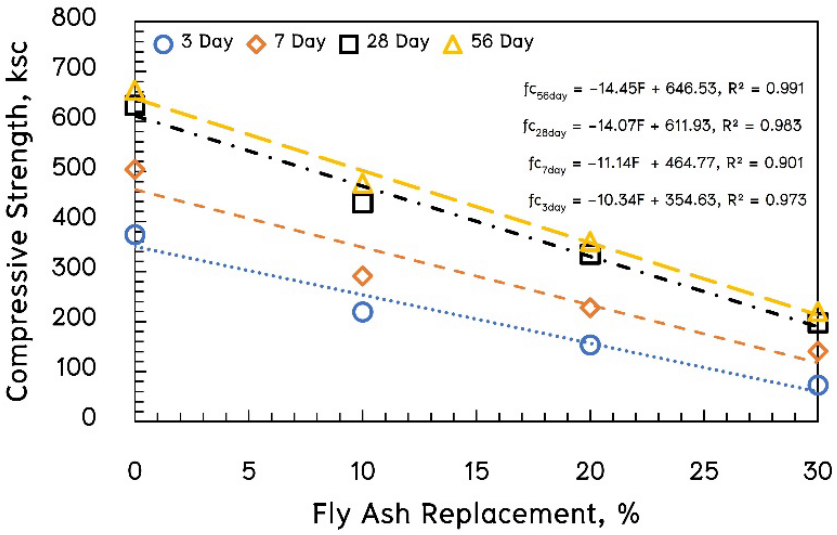


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอายุการบ่ม



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอายุการบ่ม

นอกจากนั้นหากพิจารณาลักษณะการวิบัติของก้อนตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4 ยังพบว่าการวิบัติเกิดขึ้นในส่วนของเนื้อซีเมนต์เพสต์โดยไม่เกิดรอยแตกผ่านกรวดแม่น้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรวดแม่น้ำมีความแข็งแรงมากพอที่จะนำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงได้และแม้ว่าจะมีผิวเรียบก็สามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับสารเชื่อมประสานได้เป็นอย่างดี จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแสดงให้เห็นว่า ไฮดรอลิกซีเมนต์สามารถนำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงได้เช่นเดียวกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ แต่การใช้เถ้าลอยร่วมกับไฮดรอลิกซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสานนั้นทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากไฮดรอลิกซีเมนต์มีส่วนประกอบของวัสดุปอซโซลานร่วมด้วย เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในส่วนผสมจึงทำให้วัสดุปอซโซลานในสารเชื่อมประสานมีปริมาณมากขึ้นส่งผลกระทบต่อพัฒนากำลังรับแรงอัดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในระดับที่สูงกว่าปกติ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณเถ้าลอย

ในอดีตที่ผ่านมาการผลิตคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้เถ้าลอยร่วมกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์จะแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 10–30 แต่จากผลการศึกษาทั้งหมดข้างต้นแสดงให้เห็นว่ากรณีที่ใช้ไฮดรอลิกซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงนั้นร้อยละของการแทนที่ด้วยเถ้าลอยมีแนวโน้มที่ต้องลดลงต่ำกว่าแนวทางที่เคยปฏิบัติมาเพื่อให้สารประกอบหลักในซีเมนต์มีปริมาณมากขึ้นและเพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น นอกจากนั้นผลทดสอบการยุบตัวดังแสดงในภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตที่มีไฮดรอลิกซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสานและใช้กรวดแม่น้ำเป็นมวลรวมหยาบมีค่าการยุบตัวเกินกว่าที่ออกแบบไว้อยู่มากดังนั้น การลดปริมาณน้ำในส่วนผสมเพื่อควบคุมค่าการยุบตัวตามลักษณะการใช้งานของคอนกรีตกำลังสูงจึงเป็นแนวทางที่สามารถปรับปรุงค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นได้

อภิปรายและสรุปผล

จากผลการศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้กรวดแม่น้ำทดแทนมวลหยาบแบบดั่งเดิมโดยมีไฮดรอลิกซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสานสามารถสรุปประเด็นที่สำคัญต่างๆได้ดังนี้

1. การใช้เถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสานร่วมกับไฮดรอลิกซีเมนต์และสารผสมเพิ่มประเภทลดน้ำระดับปานกลางชนิด D และ G ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของเพสต์มีค่าลดลงเมื่อร้อยละการแทนเถ้าลอยเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนื่องจากการทำปฏิกิริยาในซีเมนต์เพสต์มีค่าสูงที่สุดที่อายุการบ่ม 3 วันและมีค่าลดลงเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น โดยส่วนผสมที่ไม่มีการแทนที่ของเถ้าลอยจะเกิดความร้อนที่สูงกว่ากรณีที่มีเถ้าลอย

2. ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยจะมีค่ามากกว่าในกรณีที่ไม่มีเถ้าลอย (HCF0) โดยการยุบตัวจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อร้อยละการแทนที่เถ้าลอยเพิ่มขึ้นและการใช้กรวดแม่น้ำที่มีลักษณะกลมมนและมีผิวเรียบช่วยให้คอนกรีตในสภาวะเหลวนี้มีความสามารถในการไหลได้

3. ในสภาวะแข็งตัวหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและกำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงเมื่อร้อยละการแทนที่เถ้าลอยเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละการลดลงเท่ากับ 31, 47 และ 69 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ใช้ซีเมนต์ล้วน โดยกรณีใช้ซีเมนต์ล้วนให้ค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 633 ksc ที่อายุการบ่ม 28 วัน ซึ่งเป็นไปตามกำลังเป้าหมายที่ได้ออกแบบไว้

4. ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอายุการบ่มอยู่ในรูปแบบสมการโพลิโนเมียล (Polynomials Equation) และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณการแทนที่เถ้าลอยอายุการบ่มอยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น (Linear equation) โดยมีค่าความเชื่อมั่น (R-squared) มากกว่า 0.9 ที่ทุกส่วนผสม

5. ไฮดรอลิกซีเมนต์สามารถนำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงได้เช่นเดียวกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ การใช้เถ้าลอยร่วมกับไฮดรอลิกซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสานนั้นทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงเป็นอย่างมาก โดยร้อยละของการแทนที่ด้วยเถ้าลอยมีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าแนวทางที่เคยปฏิบัติ (แทนที่เถ้าลอยต่ำกว่า 30) ที่ W/HC+FA ratio เท่ากับ 0.325 เพื่อปรับปรุงค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

6. ผลการวิจัยนี้จึงเป็นการสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้มีไฮดรอลิกซีเมนต์ร่วมกับเถ้าลอยเป็นสารเชื่อมประสานที่มีกรวดแม่น้ำทดแทนมวลรวมหยาบในการผลิตคอนกรีตกำลังสูง ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่ชั้นบรรยากาศและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ส.อรุณคอนกรีต จำกัด และศูนย์ทดสอบวัสดุวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ให้การสนับสนุนด้านวัสดุและเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ACI 211.4R-93, **Guide for Selecting Proportions for High Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash.** ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Michigan, USA. 2000.

ACI 363R-92, **State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete Reported (by ACI Committee 363).** ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Michigan, USA. 2000.

ASTM C143, **Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete,** Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, Philadelphia, USA. 2002.

ASTM C191, **Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle,** Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, Philadelphia, USA. 2002.

ASTM C192, **Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory,** Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, Philadelphia, USA. 2002.

ASTM C33, **Standard Specification for Concrete Aggregates,** Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, Philadelphia, USA. 2002.

ASTM C39, **Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens,** Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, Philadelphia, USA. 2002.

ASTM C494, **Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete,** Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, Philadelphia, USA. 2002.

ASTM C618, **Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete,"** Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, Philadelphia, USA. 2002.

Brandão Ferreira, L. F., Sousa Costa, H. S., Antunes Barata, I. I., Júlio, E. N. B. S., Tiago, P. M. N., & Coelho, J. F. J. (2014). **Precast alkali-activated concrete towards sustainable construction. Magazine of Concrete Research**, 66(12), 618-626.

CPAC Concrete Academy. (2023). **กำลังอัดของคอนกรีต.** www.cpacacademy.com/download/cpacacademy_com/E-CEMENTAPP%20U15.pdf (สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม 2023)

Fernandez-Jimenez, A. M., Palomo, A., & Lopez-Hombrados, C. (2006). Engineering properties of alkali-activated fly ash concrete. **ACI Materials Journal**, *103*(2), 106.

Langan, B. W., Weng, K., & Ward, M. A. (2002). Effect of silica fume and fly ash on heat of hydration of Portland cement. **Cement and Concrete research**, 32(7), 1045-1051.

Makarat, N. Jaturapitukkul, C. Namarak, C. And Sata, V., 2001, "Effects of Binder and CaCl2 Contents on the Strength of Calcium Carbide Residue- Fly Ash Concrete. **Cement and Concrete Composites**, 33 (3), pp. 436-443.

Pheeraphan, T. (2021). Comparative study of properties of concrete made of hydraulic cement (TIS 2594) and ordinary Portland cement (TIS 15). **Journal of Thailand Concrete Association,** *9*(1), 1-6.

Ranjitham, M., Dhivyabharathi, S., Manjunath, N. V., & Ashwin, D (2019). Strength And Durability Properties Of High Performance Concrete Using Foundry Sand And Fly ash As Replacement. **Indian Journal of Environmental Protection,** 39(2), 128-135.

Sua- Iam, G. and Makul, N., 2013, "Use of Ternary Blends Cementitious Material to Enhance Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete," **KMUTT Research and Development Journal,** 36 (1), pp. 127-147.

กมลชนก วังบุญคง, นันทชัย ชูศิลป์ และจุฑามาศ ลักษณะกิจ. (2022). คุณลักษณะของเถ้าขยะเทศบาลที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและการขยายตัวของมอร์ต้าร์ที่ผ่านการแช่ในโซเดียมซัลเฟต. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา,** 33(2), 77-90.

กมลวรรณ วงษ์ขันธ์, กฤษฎา บุญรัตน์ และโชคชัย ไตรยสุทธิ์. การปรับปรุงคุณภาพเศษคอนกรีต ด้วยไฮดรอลิกซีเมนต์สำหรับวัสดุงานทาง. **ใน: เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27,** เชียงราย 2022, MAT17-1 -MAT17-6.

จักษดา ธำรงวุฒิ, พิรุฬห์ลักษณ์ คำผาย, สิทธิชัย แสงอาทิตย์, ศักดิ์สิทธิ์ พันทวี และ จีรศักดิ์ สุพรมวัน. (2023). ประสิทธิภาพการรับแรงในแนวแกนของเสาท่อเหล็กกรอกคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและเสริมกำลังโดยเหล็กเส้น. **วิศวสารลาดกระบัง,** 40(2), 117-127.

จิรา ธรรมนิยม และ เอื้อบุญ ที่พึ่ง. (2021). การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตกำลังอัดสูงที่ใช้เถ้าก้นเตาทดแทนมวลรวมละเอียด. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม,** 3(3), 292-300.

ทวีศักดิ์ ทองขวัญ, นันทชัย ชูศิลป์ และจุฑามาศ ลักษณะกิจ. กำลังของคอนกรีตผสมเถ้าไม้ยางพาราสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างสำเร็จรูป. **ใน: การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27,** เชียงราย 2022, MAT09-1-MAT09-7.

ธัญญารัตน์ ดุษดี, ชนากานต์ อุ่นแก้ว, อัญชนา กิจจานนท์, ลีน่า ปรัก และทวีชัย สำราญวานิช. กำลังอัดและการนำ ความร้อนของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าก้นเตาแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน. **ใน: การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่ง ชาติ ครั้ง ที่ 27,** เชียงราย 2022, MAT30-1- MAT30-6

บรรณกร ขันตา, บุญเลิศ แก้วประจำ, อัญชนา กิจจานนท์, ลีน่า ปรัก, ธิดาพร เชื้อสวัสดิ์ และทวีชัย สำราญวานิช. กำลังและความต้านทานการขัดสีของคอนกรีตที่ใช้เศษขยะพลาสติกแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน. **ใน: การประชุม วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27,** เชียงราย 2022, MAT33-1-MAT33-6.

ประสาน ขันธรัตน, วีรนันท มณีรัฐรุ่งเรือง, สลิลลาลัญ ตั้งเสถียร และทศวัฒน์ ดวงวิไลลักษณ์. การศึกษาเปรียบเทียบ คุณสมบัติของวัสดุซีเมนต์สำหรับการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์คอนกรีต 3 มิติที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกเป็นสัดส่วนผสม. **ใน: การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28,** ภูเก็ต 2023, MAT16-1-MAT16-6

ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2549). **เถ้าลอยในงานคอนกรีต (ฉบับปรับปรุง).** พิมพ์ครั้งที่ 3. ขอนแก่น: ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปัญญา สุวรรณกลาง, สุภัณกฤษ ชาชำนาญ และเชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์. กำลัง อัดแกนเดียวและ กำลังแรงดึงทางอ้อมของขยะหินคลุกผสมซีเมนต์ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก. **ใน: การประชุม วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27,** เชียงราย 2022, GTE37-1- GTE37-5

พชร ศิริศักดิ์. (2016). **กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยำบปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเถ้าลอย.** (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2594-2556, **ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก.**

สุวัฒน์ รามจันทร์ และ ธนิต ใจสอาด. การเปรียบเทียบลักษณะทางฟิสิกส์ระหว่าง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1. **ใน: เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28,** ภูเก็ต 2023. หน้า MAT40-1-MAT40-7.

องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน. (2023). **กลไกการลดก๊าซเรือนกระจก.** https://ghgreduction.tgo.or.th/th/t-ver.html (สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม 2023)

อรุณเดช บุญสูง. (2020). วัสดุควบคุมกำลังต่ำจากกากของเหลืออุตสาหกรรมแต่งแร่ดินขาว. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ,** 43(2), 159-172.

อลงกต บุญศิริ. (2014). **การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงระยะต้นที่ใช้มวลรวมหยาบของคอนกรีตถนนเก่าที่นำกลับมาใช้ใหม่.** (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อามีน เบ็ญอะฮ์หมัด, ปกป้อง รัตนชู, อรรคเดช อับดุลมาติ น, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2022). คอนกรีตกำลังสูงที่ใช้มวลรวมรีไซเคิลผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีคาร์บอเนชั่น. **ใน: การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27,** เชียงราย 2022, หน้า MAT20-1-MAT20-8.

ประสิทธิภาพเชิงกลของคอนกรีตที่ผลิตด้วยหินบะซอลต์ในขนาดที่แตกต่าง

Mechanical efficiency of the different size in basalt concrete

ภัทร์ธีนันท์ พันธุ์เขตกรรม[1*], ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง[1], รวี เดสูงเนิน[1] และ สมพร ทองสุก[1]

Phatthinan Phanketgram[1*], Narongchai Wiwattanachang[1], Rawee Desungnoen[1] and Somporn Thongsuk[1]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการนำวัสดุมวลรวมหยาบระหว่างหินปูนและหินบะซอลต์ในขนาดที่แตกต่างกัน ต่อคุณสมบัติของคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเอง อัตราส่วนที่ใช้การศึกษาวัสดุมวลหยาบเป็นหิน 2 ชนิด คือหินปูน และหินบะซอลต์ ต่างกัน 3 ขนาด คือ 1 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว โดยวิธีการทดสอบการไหลของคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตนเองและการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต ประกอบด้วย การทดสอบความสามารถในการเติมแทรก (Filling Ability) คือ การทดสอบการไหลแผ่เมื่อเวลาของการไหลแผ่ถึงระยะเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 50 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C1611–09b: Standard Test Method for Slump Flow of Self–Consolidating Concrete. และการทดสอบความสามารถในการไหลผ่าน (Passing Ability) คือ การทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางแบบ J–Ring ที่ประกอบขึ้นเป็นรูปวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ลักษณะเป็นซี่เหล็กกีดขวางการไหลสูง 10 เซนติเมตรตามมาตรฐาน ASTM C1621–09b: Standard Test Method for Passing Ability of Self–Consolidating Concrete by J–ring ที่อายุบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน จากผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตผสมมวลรวมหยาบต่างชนิดและต่างขนาดกันนั้น มีผลต่อการไหลแผ่ของคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเอง กล่าวคือเมื่อมวลรวมหยาบมีขนาดเล็กลง มีผลทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของการไหลมีค่าลดลงด้วย เพราะมวลรวมหยาบขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่ามวลรวมขนาดใหญ่ ทำให้ต้องใช้ซีเมนต์เพสต์ในการเคลือบผิวของมวลรวมหยาบในปริมาณที่มากขึ้นด้วย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน ASTM และ EFNARC

คำสำคัญ: หินบะซอลต์, มวลรวมหยาบ, กำลังอัดคอนกรีต, การไหลของคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตนเอง

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

[1] Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi, 72130

*Corresponding author: Nattaphat9899@gmail.com

Abstract

The research has objective of studying the results of coarse aggregate between limestone and basalt in different sizes toward the self-compression property of the concrete. The required average for studying the coarse aggregate is two types of rock, which are limestone and basalt. They have three different sizes, which consist of 1 inch,1/2 inch, and 3/8 inch. The self-compression passing and compressive strength of the concrete tests comprise the filling ability and the spreading passing test when its timing reaches a diameter of 50 centimeters, according to ASTM C1611-09b: Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete. Secondly, the passing ability is the passing through obstacles in J-Ring, which has been built up as a ring with a diameter of 30 centimeters. Its appearance is a steel bar that blocks high passing up to 10 centimeters according to ASTM C1621-09b: Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring with 3, 7, 14, and 28 days of aging cure. The study found that the different sizes and types of coarse aggregate concretes impact the decrease in the diameter of passing because a small coarse aggregate has more surface area than a larger one. For this reason, cement paste is applied to coat the coarse aggregate in larger volumes, which are acceptable according to ASTM and EFNARC.

Keywords: Basalt, Coarse aggregate, Compressive strength of concrete, Self-compression passing concrete

1. บทนำ

ปัจจุบันการเติบโตทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างก้าวหน้าเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทั้งระบบสาธารณูปโภคและระบบขนส่งต่างๆ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย มีการแข่งขันด้านต้นทุนและคุณภาพของงานก่อสร้างจึงถือกำเนิดของคอนกรีตชนิดพิเศษ ที่มีชื่อว่า คอนกรีตชนิดไหลอัดแน่นได้ด้วยตนเอง Self-compacting Concrete (SCC) ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1988 โดยทีมนักวิจัยของประเทศญี่ปุ่น จุดมุ่งหมายของการพัฒนา คือ เพื่อแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพและความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตที่จะเกิดขึ้นในอนาคต [1] เป็นนวัตกรรมหนึ่งของคอนกรีตสมรรถนะสูง เนื่องจากสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตสดที่สามารถไหลเข้าแบบและอัดแน่นได้ด้วยน้ำหนักตนเอง ที่ไม่ต้องการใช้พลังงานหรือพึ่งพาการจี้เขย่าขณะหล่อคอนกรีตในแบบหล่อ และไม่ก่อให้เกิดการแยกตัวและการเยิ้มน้ำ [2] วัสดุมวลหยาบที่ใช้ในการศึกษาส่วนใหญ่เป็นหินปูน หินแกรนิต และหินบะซอลต์ และจากการทดสอบความทนทานของมวลรวม โดยการสึกกร่อนจากพื้นฐานทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ในห้องปฏิบัติการ พบว่าหินบะซอลต์ค่าการสึกกร่อนมีน้อยกว่าหินแกรนิตและหินปูน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยอื่น [3-4] สำหรับขนาดของมวลรวมในการผลิตคอนกรีตนิยมใช้หินซึ่งมีขนาดเล็ก เนื่องจากหลายงานวิจัยพบว่าจากหินย่อยขนาดเล็กกว่า 1 นิ้ว จะมีกำลังความทนทานต่อการบดอัด การกระแทก และการสึกกร่อนดีกว่าหินย่อยขนาดใหญ่ [4-6] ข้อดีของหินย่อยอีกด้านหนึ่งคือ ขนาดหินที่ลดลง ทำให้พื้นที่ผิวต่อปริมาตรของหินเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยทำให้การยึดเกาะระหว่างหินย่อยและวัสดุเชื่อมประสานดีขึ้น อีกทั้งชนิดของเนื้อหินก็ส่งผลต่อการยึดเกาะกันระหว่างหินและมอร์ต้า โดยหินที่มีเม็ดผลึกที่ละเอียดจะช่วยทำให้มอร์ต้ายึดเกาะกับหินได้ดีกว่าหินที่มีเม็ดผลึกหยาบซึ่งจะมีผิวเรียบมากกว่า [7-8] เช่น หินแกรนิตจะมีผลึกละเอียดและให้การยึดเกาะที่ดีกว่า หินบะซอลต์ และหินปูน

ในงานวิจัยครั้งนี้ จึงเป็นการทดลองเพิ่มเติมอีกแนวทางหนึ่ง ที่ได้นำหินปูนและหินบะซอลต์ ขนาดที่แตกต่างกัน จากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน นำมาทำการทดสอบกำลังแรงอัดและการทดสอบคอนกรีตการไหลอัดแน่นด้วยตัวเอง [9–10] เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหินแต่ละประเภทตามขนาดที่ตกต่างกันให้ชัดเจน เพื่อช่วยประหยัดเวลาในการคัดเลือกวัสดุมวลรวมหยาบในการนำมาประยุกต์ใช้งานผลิตคอนกรีตที่มีคุณภาพต่อไป

2.วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 หรือมาตรฐาน ASTM C150

2.1.2 มวลรวมหยาบเป็นหินปูนย่อยที่มีขนาดโตสุด 20 มม. ได้ทำการเก็บมาจากแหล่งโรงโม่หินปูนพื้นที่ อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ทดสอบคุณสมบัติตาม ทล.ก.202/2544 [16] (จากรูปที่ 1)

2.1.3 มวลรวมหยาบเป็นหินบะซอลต์ย่อยที่มีขนาดโตสุด 20 มม. ได้ทำการเก็บมาจากแหล่งโรงโม่หินบะซอลต์พื้นที่ อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี ทดสอบคุณสมบัติตาม ทล.ก.202/2544 [16] (จากรูปที่ 2)

2.1.4 มวลรวมละเอียดเป็นทรายแม่น้ำ ได้ทำการเก็บมาจากแหล่งบ่อทรายพื้นที่ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ทดสอบคุณสมบัติตาม ทล.ก.201/2544 [15]

2.1.5 น้ำสำหรับผสมและบ่มคอนกรีต ใช้น้ำประปาที่มีความสะอาด มีค่า pH อยู่ในช่วง 6–7

2.1.6 สารเคมีผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำพิเศษ (High Range Water Reducer) ประเภท F จำพวกโพลีคาร์บอกซีเลท ตามมาตรฐาน ASTM C494



รูปที่ 1 หินปูน (CAC) ที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 2 หินบะซอลต์ (BAS) ที่ใช้ในการศึกษา

2.2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต

การออกแบบสัดส่วนของคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเอง ในการศึกษาครั้งนี้สำหรับคอนกรีต กำหนดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปริมาณกำหนดคงที่ 550 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มวลรวมหยาบ เป็นหิน 2 ชนิด คือหินปูน และหินบะซอลต์ ต่างกัน 3 ขนาด คือ 1 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว ปริมาณกำหนดคงที่ 815 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แปรผันตามความสามารถในการไหลแผ่ของคอนกรีตเป็นส่วนการผสม มวลรวมละเอียดปริมาณกำหนดคงที่ 720 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กำหนดคงที่ร้อยละ 0.35 เพื่อเพิ่ม

ความสามารถในการทำงานได้ ของคอนกรีตตามข้อกำหนดของคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเองได้จึงมีการผสมสารเคมีผสมเพิ่ม [12] ในอัตราส่วนผสมคงที่ร้อยละ 2.70 โดยน้ำหนักทั้งหมด เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของมวลรวมหยาบต่อความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและการไหลของคอนกรีตกับหินต่างชนิดกัน (จากตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเองที่ทำการศึกษา

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	ปูนซีเมนต์	มวลรวมละเอียด	มวลรวมหยาบ	น้ำ	สารเคมีผสมเพิ่ม	W/C
	(กิโลกรัม / ลบ.ม.)	(กิโลกรัม / ลบ.ม.)	(กิโลกรัม / ลบ.ม.)	(กิโลกรัม / ลบ.ม.)	(กิโลกรัม / ลบ.ม.)	(อัตราน้ำ / ซีเมนต์)
CAC01	550	815	720	193	5.21	0.35
CAC02	550	815	720	193	5.21	0.35
CAC03	550	815	720	193	5.21	0.35
BAS01	550	815	720	193	5.21	0.35
BAS02	550	815	720	193	5.21	0.35
BAS03	550	815	720	193	5.21	0.35

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ CAC01 คือ แท่งคอนกรีตตัวอย่างขนาด ขนาด 15x15x15 ซม ที่ใช้มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจากหินปูน ขนาด 1 นิ้ว เป็นส่วนผสม

สัญลักษณ์ CAC02 คือ แท่งคอนกรีตตัวอย่างขนาด ขนาด 15x15x15 ซม ที่ใช้มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจากหินปูน ขนาด 1/2 นิ้ว เป็นส่วนผสม

สัญลักษณ์ CAC03 คือ แท่งคอนกรีตตัวอย่างขนาด ขนาด 15x15x15 ซม ที่ใช้มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจากหินปูน ขนาด 3/8 นิ้ว เป็นส่วนผสม

สัญลักษณ์ BAS01 คือ แท่งคอนกรีตตัวอย่างขนาด ขนาด 15x15x15 ซม ที่ใช้มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจากหินบะซอลต์ ขนาด 1 นิ้ว เป็นส่วนผสม

สัญลักษณ์ BAS02 คือ แท่งคอนกรีตตัวอย่างขนาด ขนาด 15x15x15 ซม ที่ใช้มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจากหินบะซอลต์ ขนาด 1/2 นิ้ว เป็นส่วนผสม

สัญลักษณ์ BAS03 คือ แท่งคอนกรีตตัวอย่างขนาด ขนาด 15x15x15 ซม ที่ใช้มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจากหินบะซอลต์ ขนาด 3/8 นิ้ว เป็นส่วนผสม

2.3 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

2.3.1 การทดสอบมวลรวมละเอียด

2.3.1.1 การทดสอบตามวิธีการทดลองหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด ตาม ทล.ท.209/2518 [21]

2.3.1.2 การทดสอบตามวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ตาม ทล.ท. 205/2517 [18-19] (จากรูปที่ 3)

2.3.2 การทดสอบมวลรวมหยาบและมวลรวมหยาบจากหินบะซอลต์

2.3.2.1 การทดสอบด้วยวิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง “Los Angeles Abrasion” ตาม ทล.ท.202/2515 [20] (จากรูปที่ 4)

2.3.2.2 การทดสอบด้วยวิธีการทดลองหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ ตาม ทล.ท.207/2517 [22]

2.3.2.3 การทดสอบด้วยวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง ตาม ทล.ท. 204/2516 [18]



รูปที่ 3 เครื่องทดสอบหาขนาดของวัสดุ



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate

2.4 การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีต

2.4.1 เตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมทรงลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม.[23] ที่ใช้มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจากธรรมชาติจากหินปูนเป็นส่วนผสม โดยทำการเตรียมส่วนผสม จำนวน 3 ตัวอย่าง [11] (จากตารางที่ 2)

2.4.2 เตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมทรงลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม.[23] ที่ใช้มวลรวมละเอียดจากธรรมชาติและมวลรวมหยาบจากหินบะซอลต์เป็นส่วนผสม โดยทำการเตรียมส่วนผสม จำนวน 3 ตัวอย่าง [11] (จากตารางที่ 2)

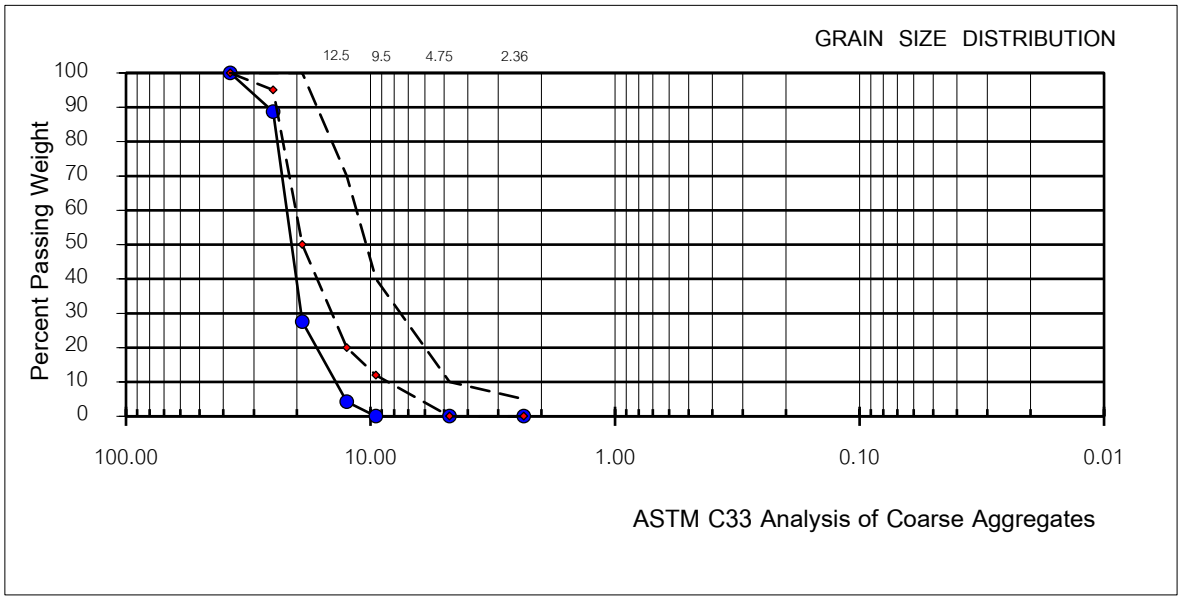
ตารางที่ 2 จำนวนแท่งคอนกรีตตัวอย่างในแต่ละกรณีศึกษา

ชนิดตัวอย่างคอนกรีต	จำนวนแท่งตัวอย่าง กำลังอัดคอนกรีตที่อายุบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน			
	3 วัน / จำนวน	7 วัน / จำนวน	14 วัน / จำนวน	28 วัน / จำนวน
CAC01	3	3	3	3
CAC02	3	3	3	3
CAC03	3	3	3	3
BAS01	3	3	3	3
BAS02	3	3	3	3
BAS03	3	3	3	3
รวม	18	18	18	18
รวมทั้งหมด	90			

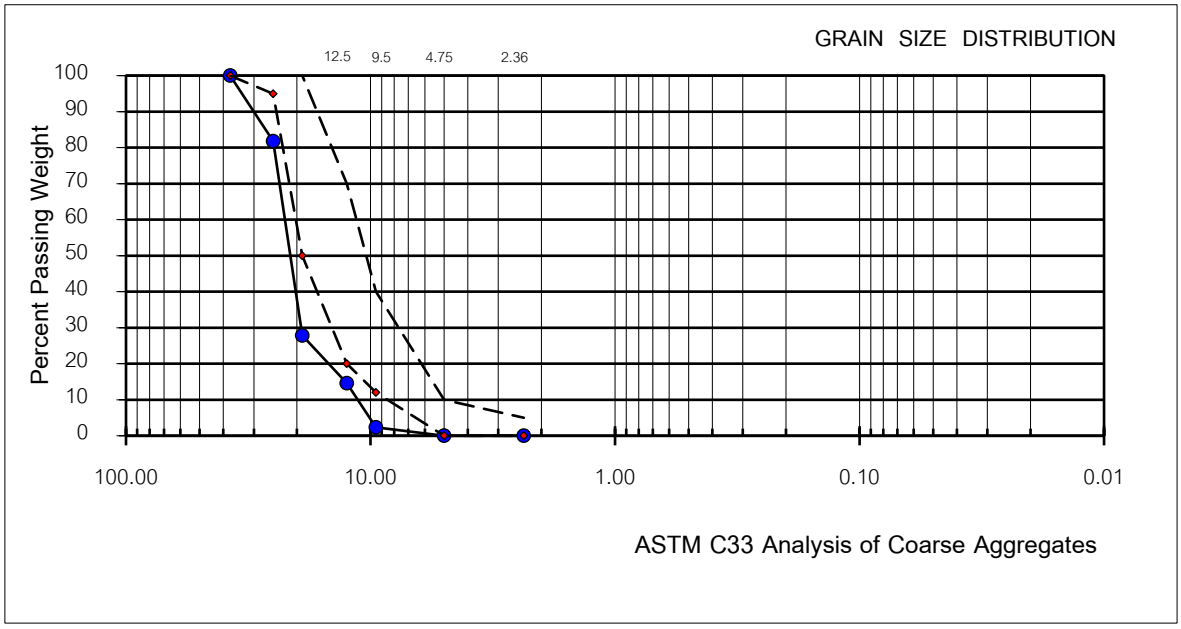
2.5 ทดสอบหาขนาดคละของหินปูนและขนาดคละของหินบะซอลต์

การทดสอบหาขนาดส่วนคละของหินปูนและหินบะซอลต์ โดยการร่อนด้วยตะแกรงขนาดมาตรฐาน เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM.C33 พบว่าวัสดุมวลรวมหยาบจากหินบะซอลต์มีการกระจาย (Particle Size Distribution) ของขนาดเม็ดวัสดุมวลรวมได้ดีกว่าวัสดุมวลรวมหยาบจากหินปูน เพื่อที่จะสามารถหาอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมทั้ง 2 ชนิด ให้ได้ขนาดคละที่เหมาะสม ต่อไป โดยการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุมวลรวมจะแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงมาตรฐาน

กราฟที่ 1 การกระจายของขนาดคละของหินปูน



กราฟที่ 2 การกระจายของขนาดคละของหินบะซอลต์



2.6 ทดสอบคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเอง

2.6.1 ทดสอบความสามารถในการเติมแทรก (Filling Ability) ตามมาตรฐาน ASTM C1611-09b: Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete. [12]

2.6.1.1 ทดสอบหาความสามารถในการไหลของคอนกรีต โดยการทดสอบหาค่าการยุบตัวไหลแผ่ (Slump flow test) จะทดสอบหลังจากที่ผสมวัสดุเสร็จทันที ซึ่งตามมาตรฐานคอนกรีตที่สามารถอัดแน่นได้ด้วยตัวเอง [15] ได้ระบุค่าการยุบตัวไหลแผ่จะต้องมีค่ามากกว่า 650 มิลลิเมตร (จากรูปที่ 5-6)

2.6.1.2 ทดสอบหาความสามารถเวลาของการไหลที่ระยะ 50 เซนติเมตร คอนกรีตชนิดอัดแน่นตัวได้ทุกส่วนผสมมีความสามารถในการไหลแผ่ (Slump flow) พบว่าคอนกรีตชนิดอัดแน่นตัวได้ใช้ระยะเวลาในการไหลแผ่ถึงระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 4-5 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ EFNARC [13] กำหนดอยู่ในช่วง 2-5 วินาที แสดงถึงคอนกรีตมีความสามารถในการไหลตัวได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 5 ทดสอบหาความสามารถในการไหลของคอนกรีต



รูปที่ 6 การวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางหาค่าการยุบตัวไหลแผ่ (Slump flow test)

2.6.2 ทดสอบความสามารถในการไหลผ่าน (Passing Ability) ตามมาตรฐาน ASTM C1621-09b: Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-ring [14]

2.6.2.1 ทดสอบการปล่อยให้คอนกรีตไหลผ่านสิ่งกีดขวางจนหยุดไหล ทำการวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางใน 2 ทิศทางเพื่อหาค่าเฉลี่ยระยะในการไหลแผ่สูงสุดของคอนกรีต จากนั้นประเมินเกณฑ์ความสามารถในการไหลว่ามีการติดขัด (Blocking) จนไม่สามารถไหลต่อไปได้ในระดับใด โดยนำค่าระยะการไหลผ่านสิ่งกีดขวางสูงสุดเทียบกับระยะการไหลสูงสุดโดยไม่ผ่านสิ่งกีดขวาง กำหนดอยู่ในช่วง 0-5 เซนติเมตร (จากรูปที่ 7-8)



รูปที่ 7 ทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางของคอนกรีต



รูปที่ 8 การวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางประเมินเกณฑ์ความสามารถในการไหลว่ามีการติดขัด

2.7 ทดสอบกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต

2.7.1 ทำการทดสอบกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตที่ส่วนผสมต่างๆโดยทำการบ่มด้วยการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 3, 7, 14, 28 วัน ด้วยวิธีการทดลองหาค่าแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมทรงลูกบาศก์ตาม ทล.ท.-302/2531 [17] (จากรูปที่ 9-10)



รูปที่ 9 ทดสอบกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต

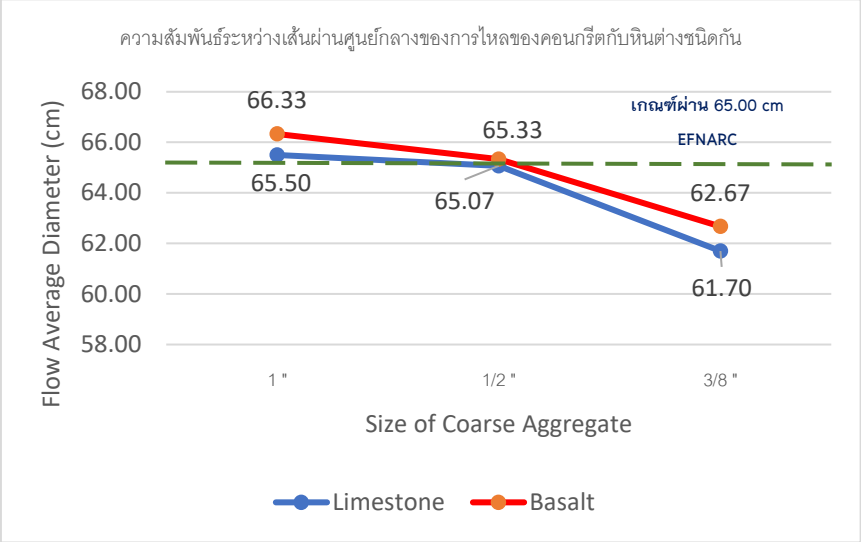


รูปที่ 10 การบ่มด้วยการแช่น้ำของแท่งคอนกรีต

3.ผลการศึกษา

3.1 การทดสอบการไหลแผ่

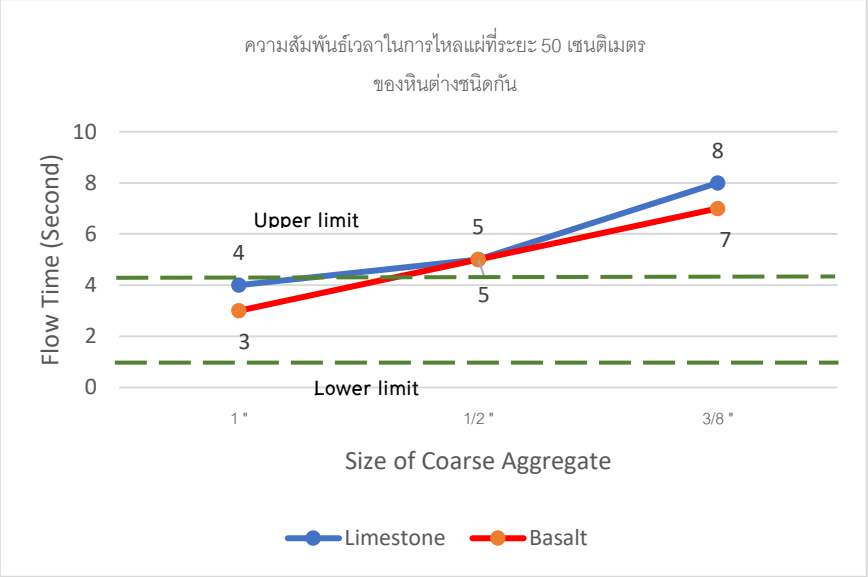
ทดสอบหาความสามารถในการไหลของคอนกรีต ของการศึกษาวัสดุมวลรวมหยาบ เป็นหิน 2 ชนิด คือ หินปูน และหินบะซอลต์ ต่างกัน 3 ขนาด คือ 1 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว พบว่าการไหลแผ่ของคอนกรีตสด ที่ผสมด้วยมวลรวมหยาบ 2 ชนิด ขนาดแตกต่างกันทั้ง 3 ขนาด คือคอนกรีตที่ผสมด้วยหินปูนมีค่าการไหลแผ่ออกไปเป็นวงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 65.50, 65.07 และ 61.70 เซนติเมตร และ คอนกรีตที่ผสมด้วยหินบะซอลต์มีค่าการไหลแผ่ออกไปเป็นวงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 66.33, 65.33 และ 62.67 เซนติเมตร พบว่า การไหลแผ่ของคอนกรีตสดผสมมวลรวมหยาบต่างชนิดและต่างขนาดกันนั้น สามารถไหลแผ่ออกไปเป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 65 เซนติเมตร คือหินปูนและหินบะซอลต์ ที่มีขนาด 1 นิ้ว (BAS01) และ 1/2 นิ้ว (BAS02) มีค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วง 65–66 เซนติเมตร อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ EFNARC [13] ส่วนหินปูนและหินบะซอลต์ ที่มีขนาด 3/8 นิ้ว (BAS03) ค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วง 60–62 เซนติเมตร มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ EFNARC [13] (จากกราฟที่ 1)



กราฟที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างผ่านศูนย์กลางของการไหลคอนกรีตกับหินชนิดต่างกัน

3.2 การทดสอบการไหลแผ่หาความสามารถเวลาของการไหลที่ระยะ 50 เซนติเมตร

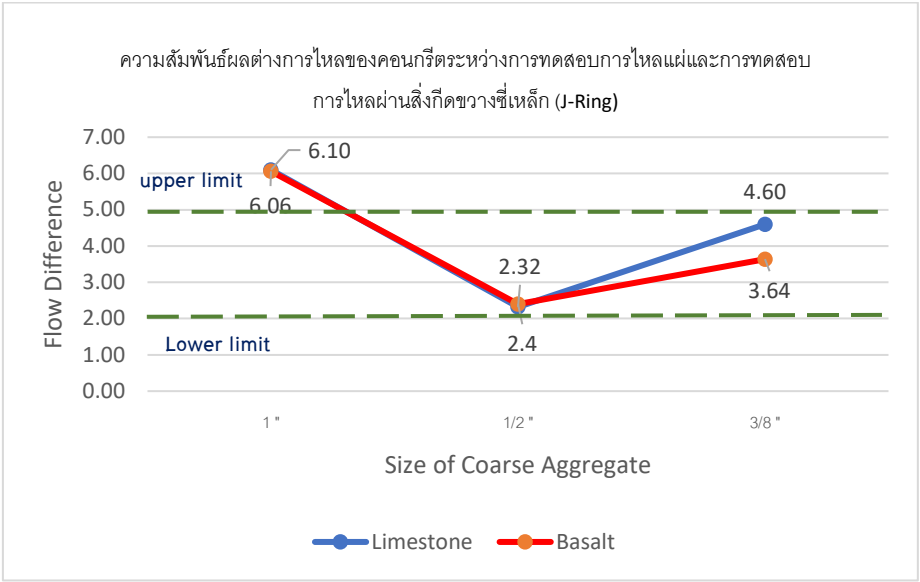
ทดสอบหาความสามารถเวลาของการไหลที่ระยะ 50 เซนติเมตร ของการศึกษาวัสดุมวลรวมหยาบ เป็นหิน 2 ชนิด คือหินปูน และหินบะซอลต์ ต่างกัน 3 ขนาด คือ 1 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว พบว่าคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเองได้ ใช้ระยะเวลาในการไหลแผ่ถึงระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร คือหินปูนและหินบะซอลต์ ที่มีขนาด 1 นิ้ว (BAS01) และ 1/2 นิ้ว (BAS02) ระยะเวลาในการไหลแผ่อยู่ในช่วงเวลา 3–5 วินาที มีค่าอยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ EFNARC [13] ส่วนหินปูนและหินบะซอลต์ ที่มีขนาด 3/8 นิ้ว (BAS03) ระยะเวลาในการไหลแผ่อยู่ในช่วงเวลา 7–8 วินาที มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ EFNARC [13] (จากกราฟที่ 2)



กราฟที่ 4 ความสัมพันธ์เวลาในการไหลแผ่ที่ระยะ 50 เซนติเมตร ของหินต่างชนิดกัน

3.3 การทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางซี่เหล็ก (J-Ring)

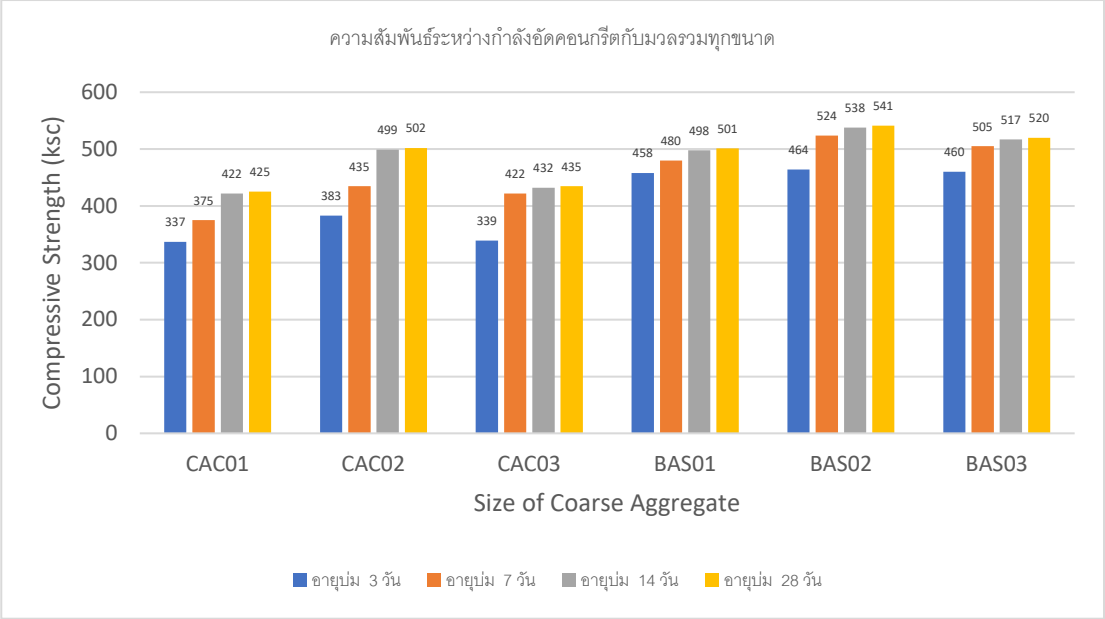
ทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางซี่เหล็ก (J-Ring) ของการศึกษาวัสดุมวลรวมหยาบ เป็นหิน 2 ชนิด คือ หินปูน และหินบะซอลต์ ต่างกัน 3 ขนาด คือ 1 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว จากการคำนวณผลต่างของการไหลสองรูปแบบถูกนำมาใช้เพื่อประเมินการติดขัดเนื่องจากการไหล (Blocking assessment) ดังรูปที่ 5 พบว่าคอนกรีตไหลผ่านสิ่งกีดขวางซี่เหล็ก (J-Ring) ไหลผ่านสิ่งกีดขวางอยู่ในช่วง 2.0 – 5.0 เซนติเมตร คือหินปูน และหินบะซอลต์ที่มีขนาด 1/2 นิ้ว (BAS02) และ 3/8 นิ้ว (BAS03) มีค่าอยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ EFNARC [13] ส่วนหินปูน และหินบะซอลต์ ที่มีขนาด 1 นิ้ว (BAS01) ไหลผ่านสิ่งกีดขวางอยู่ในช่วง 6.0 เซนติเมตร ค่ามากกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ EFNARC [13] (จากกราฟที่ 3)



กราฟที่ 5 ความสัมพันธ์ผลต่างการไหลของคอนกรีตระหว่างการทดสอบการไหลแผ่และการทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางซี่เหล็ก (J-Ring)

3.4 การทดสอบกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตผสมมวลรวมหยาบ 2 ชนิด คือหินปูน และหินบะซอลต์ ต่างกัน 3 ขนาด คือ 1 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว มาเปรียบเทียบกันพบว่าการใช้มวลรวมหยาบจากหินบะซอลต์ สามารถต้านทานแรงอัดได้สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมวลรวมหยาบจากหินปูน แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่กำหนดให้ กำลังของคอนกรีตจะมีค่าลดลงเมื่อใช้หินขนาดใหญ่ขึ้น เพราะหินขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดน้ำใต้หินมากขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมหยาบกับมอร์ต้าลดลง ขนาดของมวลหยาบจะมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต ที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ หรือปานกลางมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูง ดังนั้นการใช้หินบะซอลต์ที่มีขนาด 1/2 นิ้ว (BAS02) ที่มีค่าเท่ากับ 541 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นมวลรวมหยาบผสมคอนกรีต สามารถต้านทานแรงอัดได้สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมวลรวมหยาบจากทุกขนาดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ (จากกราฟที่ 4)



กราฟที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตกับมวลรวมทุกขนาด

4.อภิปรายและสรุปผล

4.1 การไหลแผ่ของคอนกรีตผสมมวลรวมหยาบต่างชนิดและต่างขนาดกันนั้น สามารถไหลแผ่ออกไปเป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง จะเพิ่มขึ้นตามขนาดมวลรวมหยาบที่ใหญ่ขึ้น คือหินบะซอลต์ ที่มีขนาด 1 นิ้ว (BAS02) มีค่าเท่ากับ 66.30 เซนติเมตร สูงสุด

4.2 การไหลแผ่หาความสามารถเวลาของการไหลที่ระยะ 50 เซนติเมตร ใช้ระยะเวลาในการไหลแผ่ถึงระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร คือหินบะซอลต์ ที่มีขนาด 1 นิ้ว (BAS01) มีค่าเท่ากับ 3 วินาที สูงสุด เนื่องจากมวลรวมหยาบขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก ทำให้ต้องใช้ซีเมนต์เพสต์ในการเคลือบผิวของมวลรวมหยาบในปริมาณที่น้อยขึ้นด้วย

4.3 การไหลผ่านสิ่งกีดขวางซี่เหล็ก (J-Ring) จากการคำนวณผลต่างของการไหลสองรูปแบบถูกนำมาใช้เพื่อประเมินการติดขัดเนื่องจากการไหล (Blocking assessment) พบว่าคอนกรีตไหลผ่านสิ่งกีดขวางซี่เหล็ก (J-Ring) ไหลผ่านสิ่งกีดขวาง เป็นหิน 2 ชนิด คือหินปูน และหินบะซอลต์ ที่มีขนาด 1/2 นิ้ว (BAS02) มีค่าเท่ากับ 2.32 – 2.40 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 0-2.5 เซนติเมตร ถือได้ว่าไม่เกิดการกีดขวางในระหว่างการไหล (No visible blocking)

4.4 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตผสมมวลรวมหยาบ 2 ชนิด คือหินปูน และหินบะซอลต์ ต่างกัน 3 ขนาด คือ 1 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว มวลรวมหยาบที่สามารถต้านทานแรงอัดได้สูงสุด คือ หินบะซอลต์ ที่มีขนาด 1/2 นิ้ว (BAS02) ที่มีค่าเท่ากับ 541 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4.5 จากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงกลของคอนกรีตที่ผลิตด้วยหินบะซอลต์ในขนาดที่แตกต่าง เมื่อเปรียบเทียบกับหินปูนนั้น พบว่าหินบะซอลต์มีคุณสมบัติที่ดีกว่า อาทิเช่น ความหนาแน่นและความทนทานที่สูงกว่า ดูดซึมน้ำน้อยกว่า กำลังรับแรงอัดที่สูงกว่า และอีกทั้งยังช่วยลดความพรุนการนำความร้อนของคอนกรีตได้ ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการไหลของคอนกรีตได้ดี (จากกราฟที่ 3-6) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและการไหลของคอนกรีตกับหินต่างชนิดกัน ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ จึงได้ศึกษาถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวมหยาบจากหินปูนและหินบะซอลต์ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่จะศึกษา วิจัย และนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพ เช่น กำลังอัดและความสามารถในการทำงานของคอนกรีต พร้อมทั้งช่วยลดระยะเวลาในการทำงานให้เร็วยิ่งขึ้น

5.กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้จัดทำวิจัยขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์โดยได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ รวมถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ทำให้งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่จากวิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี

6.เอกสารอ้างอิง

1. มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1), มยผ. 1332-55, พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2555.
2. เอกสารประกอบหลักสูตรการฝึกอบรมคอนกรีต เทคโนโลยีแบบบูรณาการ สำ หรับวิศวกร, 2545 – Module E-2 : คอนกรีตสดและอายุเริ่มต้น หัวข้อ เรื่อง การเยิ้มน้ำ (Bleeding)-Module O-1 องค์ประกอบหลักของคอนกรีต 7. คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต, บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้างจำกัด, 2541
3. Barr, S.M. and Macdonal, A.S., (1981), Geochemistry and geochronology of late Cenozoic basalts of Southeast Asia, Geological Society of America Bulletin, Part II, v.92, p.1069-1142.
4. Kosmatka Steven H., Kerkhoff B., and Panarese William C. (2003). Design and control of concrete mixtures, 14ed. Portland Cement Association.
5. Miyagawa, T., K.Seto, et al. (2006). Fracture of Reinforcing Steel in Concrete Structures Damaged by Alkali-Silica Reaction – Field Survey, Mechanism and Maintenance. Journal of Advanced Concrete Technology, 4(3): 339-355.

6. Stanton T.E. (1940). Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate, Proc. ASCE 66, 1781–1811
7. [Khamput, P, (2005). Properties of Quarry Dust for Use as Fine Aggregate. Research and Development Journal. The Engineering Institute of Thailand, Vol.16, No.2 : 33–37
8. Prachoom Kharnput, (2006). A Study of Compressive Strength of Concrete used Quarry Dust to Replace Sand. Technology and ISD2006), Khon Kaen, Thailand.
9. ชัชวาล เศรษฐบุตร, คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology), คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค,บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
10. A.M.Neville, Properties of Concrete, Fourth Edition,1999
11. British Standard. (2001). BS–EN 9311 Admixtures for concrete, mortar and grout.
12. ASTM International. (2011). ASTM CI611 Standard Test Method for Slump Flow of Self–Consolidating Concrete. Philadelphia.
13. The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC). (2005). The European Guidelines for Self–Compacting Concrete.
14. ASTM International. (2011). ASTM C1621 M–17 Standard Test Method for Passing Ability of Self–Consolidating Concrete by J–Ring.
15. ทล.ก.201/2544. ข้อกำหนดมวลรวมละเอียดสำหรับผสมคอนกรีต.
16. ทล.ก.202/2544. ข้อกำหนดมวลรวมหยาบสำหรับผสมคอนกรีต.
17. ทล.ท.302/2531. วิธีการทดลองหาค่าแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกและรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์.
18. ทล.ท.204/2516. วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง.
19. ทล.ท.205/2517. วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง.
20. ทล.ท.202/2515. วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion.
21. ทล.ท.209/2518. วิธีการทดลองหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด.
22. ทล.ท.207/2517. วิธีการทดลองหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ.
23. ทล.ม.303/2557. มาตรฐานการหล่อแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์.

การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลหลากของดินโคลนเมื่อกระแทกโครงสร้างแบบแข็ง: กรณีการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

Analysis of debris flow behavior on rigid barriers: A laboratory case study of impact forces

อาทิตย์ เรืองยศ[1*], พุทธิกร ธัมมรักษ์[1], ขวัญสิรินภา ธนะวงศ์[1] และ สุริยาวุธ ประอ้าย[2]

Artid Reangyos[1*], Phuttigon Dhammarak[1], Kwansirinapa Thanawong[1] and Suriyavut Pra-ai[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้อธิบายผลการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลกระทบจากการไหลหลากของดินโคลนต่อโครงสร้างป้องกันแบบแข็ง เพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมและเป็นแนวทางบรรเทาภัยพิบัติการไหลหลากของดินโคลน โดยทำการทดลองการไหลหลากของดินโคลนในรางน้ำ ความลาดชันการไหล 25, 30 และ35 องศา วัสดุที่ถูกใช้ในการทดลอง ได้แก่ กรวด ทราย และดินเหนียว ผสมกันในลักษณะเปียกและแห้ง ลักษณะการแรงกระแทกที่เกิดเนื่องจากการไหลหลากของดินโคลนต่อสิ่งกีดขวางแบบแข็งเมื่อความลาดชันเพิ่มจะส่งผลทำให้ความเร็วและแรงกระแทกเพิ่มขึ้น จากผลการทดสอบพบว่าการไหลหลากที่ใช้กลุ่มตัวเลขไร้มิติ โดยพิจารณาจากค่าตัวเลขของ Froude และ Savage ในการการออกแบบ มีลักษณะการไหลเรียงกันลงมาตามความลาดเอียงโดยมีอนุภาคขนาดใหญ่กระจุกอยู่ด้านหน้าของการไหลและเป็นระลอกเมื่อมีน้ำเข้ามาเป็นองค์ประกอบ โดยที่พฤติกรรมของแรงกระแทกต่อโครงสร้างแบบแข็งจะพบว่ากลไกหลักที่ควบคุมการกระแทกได้แก่การกองขึ้นซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ชัดในกรณีส่วนผสมแบบแห้ง และการกองขึ้นตามด้วยการไหลซัดขึ้นสำหรับส่วนผสมที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

คำสำคัญ: การไหลหลากของดินโคลน, โครงสร้างป้องกันแบบแข็ง, การกองขึ้น, การไหลซัดขึ้น

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1]Department of Civil Engineering, School of Engineering, University of Phayao, Phayao, 56000

[2]หน่วยวิจัยชลศาสตร์, เทคโนโลยีธรณีและภูมิสารสนเทศระยะไกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2]RS2GH Research Unit, School of Engineering, University of Phayao, Phayao, 56000

*Corresponding author : 65103487@up.ac.th

Abstract

This article is a preliminary study on the impact force of debris flow on rigid structures to understand the behavior and as a guideline to mitigate the disaster of clay soil debris flow. The study was performed by using flume modeling at laboratory scale with lopes set at 25, 30, and 35 degrees. The impact force of debris flow on rigid barriers increases as the slope angle increases. From the experimental results, it was found that the granular flows exhibited either viscous or collisional flow regimes, correlated with the Froude and Savage Numbers, as well as the initial water content1. The flows had large particles at the front and formed waves when water was added. The main mechanism that controlled the impact force on the rigid barriers was the pile–up, which was clearly observed in the dry mixtures, and the run–up, which followed the pile–up for the wet mixtures.

Keywords: Debris flow, rigid barriers, pile–up mechanism, run–up mechanism.

บทนำ

ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยที่มีลักษณะภูมิประเทศลาดชันหรือมีลักษณะเป็นภูเขาสูง เกิดเหตุการณ์ดินโคลนถล่ม น้ำป่าไหลหลากอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งเป็นเหตุการณ์ภัยธรรมชาติที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อยู่อาศัยในพื้นที่ อีกทั้งสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (Climate change) ซึ่งเกิดจากภาวะโลกร้อน (Global warning) จากการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas หรือ GHG) ส่งผลทำให้เกิดเหตุการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นซ้ำๆและเพิ่มความถี่และความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น สร้างความเสียหายให้กับทรัพย์สินรวมถึงชีวิตผู้คนเป็นจำนวนมาก ยกตัวอย่างเช่นเหตุการณ์เมื่อวันที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2561 เกิดดินสไลด์ปิดทับผิวทางจราจรบนทางหลวงหมายเลข 1081 ตอนหลักลาย–บ่อเกลือ ช่วงกิโลเมตรที่ 90+900 เนื่องจากฝนตกหนักติดต่อกันหลายวัน (ดังแสดงในรูปที่ 1)

ที่ผ่านมาการศึกษาลักษณะการไหลหลากของดินโคลนได้รับความสนใจในการศึกษามากขึ้น เนื่องจากดินโคลนส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้อยู่อาศัยที่ราบเชิงเขาและพื้นที่ที่เสี่ยงต่อภัยพิบัติ อย่างไรก็ตามประเด็นในการจำแนกชนิดของการไหลหลากของดินโคลนก็มีให้พบเห็นอยู่บ่อยครั้ง ([1], [2]) ตามนิยามของกรมทรัพยากรธรณี debris flow คือตะกอนที่ไหลลงมามีหลายขนาดปะปนกันทั้งตะกอนดิน หินและซากต้นไม้และมักเกิดขึ้นตามทางน้ำเดิมที่มีอยู่แล้วหรือบนร่องเล็กๆ บนลาดเขา ส่วน mud flow มีกระบวนการเกิดเช่นเดียวกับ Debris flow แต่มีความแตกต่างที่ขนาดของตะกอนแบบ Mud flow จะมีขนาดเล็กกว่า debris flow และมีน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ (อาจสูงถึงร้อยละ 60) อีกทั้ง Takahashi (2007) [3] ได้จำแนก debris flow ออกเป็น 2 ประเภทคือ การไหลของเศษหินเม็ดหยาบ (stony debris flow หรือ coarse–grained debris flow) และการไหลของดินโคลน (muddy debris flow หรือ fine–grained debris flow)



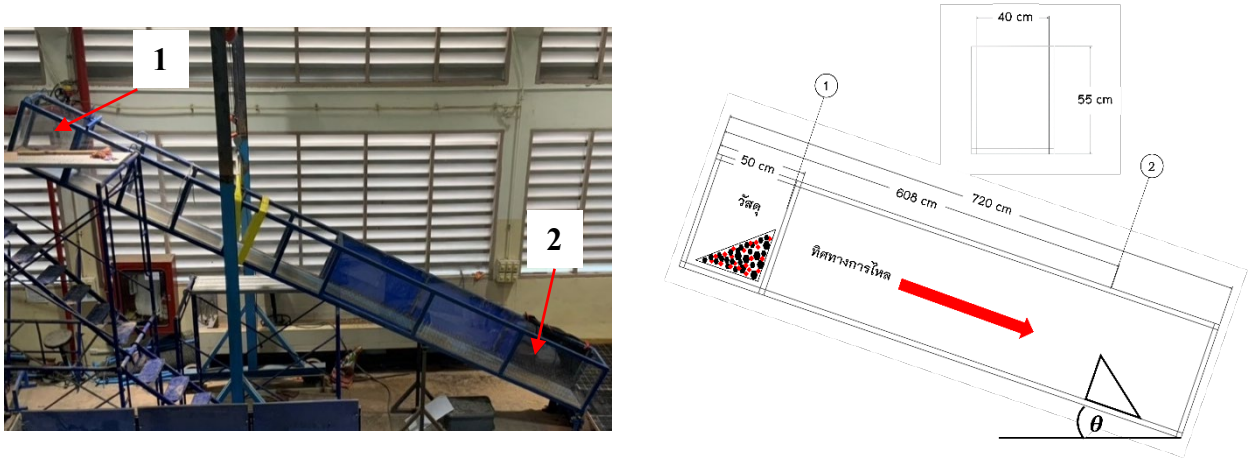
รูปที่ 1 ภาพเหตุการดินโคลนถล่มและการไหลหลากของดินโคลน (ที่มา: แขวงการทางหลวงที่ 2 แพร่) กม. 90+900

ในการทดลองทางธรณีสัณฐานวิทยา (geomorphology) มาตราส่วนมีบทบาทสำคัญ เนื่องจากมีผลกับปรากฏการณ์เกือบทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับปฏิสัมพันธ์ของอนุภาคตะกอน (มวลหยาบและ/หรือมวลละเอียด) และน้ำ ยกตัวอย่างในการทดลองน้ำและทรายที่มีความหนาแน่นสูงในรางน้ำเพื่อศึกษาลักษณะของตัวเลข Froude number ตัวเลข (Fr) เป็นตัวบ่งชี้ที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างความเร็วและแรงโน้มถ่วงของการไหล โดยทั่วไป ตัวเลข (Fr) จะใช้สำหรับการศึกษาลักษณะของน้ำที่ไหลในร่างน้ำ ตัวเลข (Fr) ไม่สามารถบอกถึงการปฏิสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคกับการไหลได้ เช่น การชนกันระหว่างอนุภาคหรือการกัดเซาะของอนุภาคกับผนังราง ดังนั้น ตัวเลข (Fr) เป็นตัวบ่งชี้ที่ง่ายและเหมาะสมสำหรับวิศวกรและนักออกแบบที่ต้องการศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำและทรายที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเกิดดินถล่ม [8,9] จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าลักษณะการไหลหลากของดินโคลนจะมีความยุ่งยากและซับซ้อน โดยทั่วไปเป็นการผสมระหว่างวัสดุแบบแห้งและแบบมีน้ำเป็นองค์ประกอบซึ่งจะเป็นสถานะกึ่งของเหลว เราสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการทับถมของดินโคลนเพื่อใช้วิเคราะห์แรงกระแทกได้จากกลไกหลักที่ควบคุมพฤติกรรมการกระแทกได้แก่ การกองขึ้น (pile-up), การไหลซัดขึ้น (run-up), ความเร็ว และความหนาแน่นของวัสดุผสม ([10-11]) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาพฤติกรรมการไหลกระแทกของดินโคลนบนโครงสร้างแบบแข็งในบริบทที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทยยังคงพบเจอน้อยมาก ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลกระทบจากการไหลหลากของดินโคลนต่อโครงสร้างป้องกันแบบแข็งในห้องปฏิบัติการโดยแบบจำลองรางน้ำเปิด เพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมและเป็นแนวทางบรรเทาภัยพิบัติการไหลหลากของดินโคลน

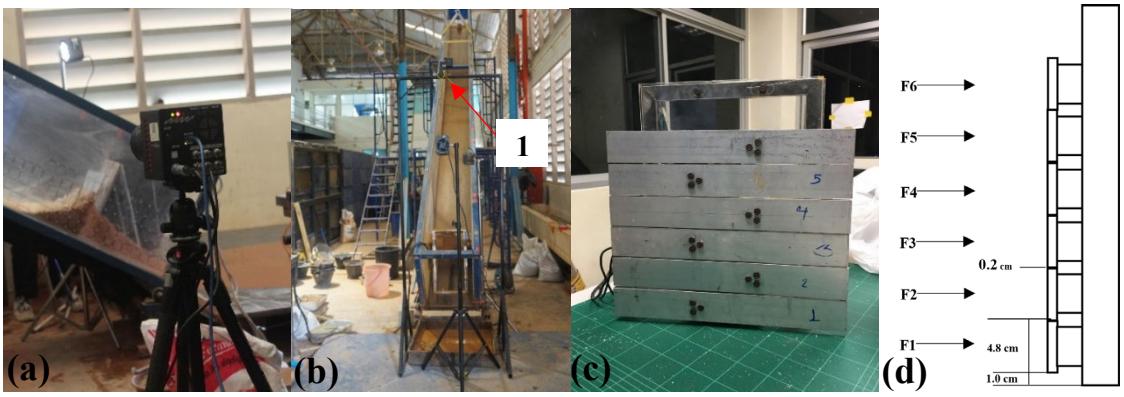
เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

การทดลองในห้องปฏิบัติการ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการศึกษาพฤติกรรมการไหลหลากของดินโคลน โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ถูกพัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการ รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ โดยรางน้ำที่ถูกใช้เป็นเส้นทางการไหลของวัสดุ มีขนาดความกว้าง 40 เซนติเมตร ความสูง 55 เซนติเมตร และความยาว 720 เซนติเมตร ผนังด้านข้างถูกทำด้วยแผ่นอะคริลิค หนา 0.6 เซนติเมตร พื้นรางเป็นแผ่นเหล็กแบบผิวเรียบ ในการศึกษานี้รางน้ำถูกตั้งค่าความลาดชันการไหล (ø) 25, 30 และ 35 องศา ในการทดลองแต่ละครั้งวัสดุไหลจากกองวัสดุโดยการปล่อยวัสดุด้วยการเปิดประตูกั้นจุดที่ 1 เส้นทางการไหลของวัสดุจะไหลตามรางน้ำ ในกรณีติดตั้งโหลดเซลล์สำหรับวัดแรงกระแทกในแนวตั้งฉาก ซึ่งระยะทางการไหลเท่ากับ

608 เซนติเมตร จุดที่ 2 ในแต่ละการทดลองจะใช้น้ำหนักรวมของวัสดุที่ผสมกันทั้งหมด 30 กิโลกรัม ในกรณีทดลองแรงกระแทก รูปที่ 3(a) แสดงการตั้งกล้องความเร็วสูงเพื่อวัดความเร็วและความสูงจากการสร้างกริดไลน์ (grid line) ขนาด 5 x 5 เซนติเมตร จากผนังอะคริลิค รูปที่ 3(b) แสดงการตั้งกล้องมุมบนเพื่อดูลักษณะของคลื่น รูปที่ 3(c) แสดงโครงสร้างแบบแข็ง โหลดเซลล์ 6 ตัวถูกติดตั้งบนสิ่งกีดขวางแบบแข็ง เพื่อวัดแรงกระแทกตั้งฉากที่เกิดขึ้น รูปที่ 3(d) แสดงแบบร่างโครงสร้างแบบแข็ง โดยแสดงการติดตั้งโหลดเซลล์ โดยโหลดเซลล์ 1 ตัวประกอบด้วย โหลดเซลล์ที่รับแรงได้ 100 กิโลกรัม และแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 4.8 เซนติเมตร โดยเรียงจากตัวที่ 1 ถึง 6 จากล่างขึ้นบน ระยะห่างจากพื้นรางน้ำ 1.80 เซนติเมตร และระยะห่างของโหลดเซลล์แต่ละตัวคือ 0.2 เซนติเมตร



รูปที่ 2 แบบจำลองทางกายภาพย่อส่วนในห้องปฏิบัติการและแบบร่างแบบจำรองในห้องปฏิบัติการ จุดที่ 1 จุดกักเก็บวัสดุ จุดที่ 2 ตำแหน่งติดตั้งโครงสร้างแบบแข็ง



รูปที่ 3 (a)การตั้งกล้องความเร็วสูงด้านข้างเพื่อวัดความเร็วและความสูง (b) จุด ที่ 1 การตั้งกล้องมุมบน (c) ภาพถ่ายโครงสร้างป้องกันแบบแข็ง (d) แบบร่างมุมมองด้านข้างและลักษณะแรงกระแทกที่ถูกวัด

สำหรับการศึกษาพฤติกรรมแรงกระแทกจากไหลหลากของดินโคลน Froude number () เป็นตัวเลขไม่มีหน่วยในฟิสิกส์ของไหล และใช้เพื่อบ่งชี้ถึงอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงต่อการเคลื่อนที่ของของไหล กำหนดโดยการใช้อัตราส่วนแรงเฉื่อยต่อแรงโน้มถ่วง สูตรที่ใช้ในการคำนวณ[8,9,10]

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh\cos\theta}} \quad (1)$$

โดยที่ v คือความเร็ว, g คือค่าเร่งด้วยแรงโน้มถ่วง, h คือความลึกของการไหล, และ $\cos\theta$ คือมุมเอียงของการทดสอบ

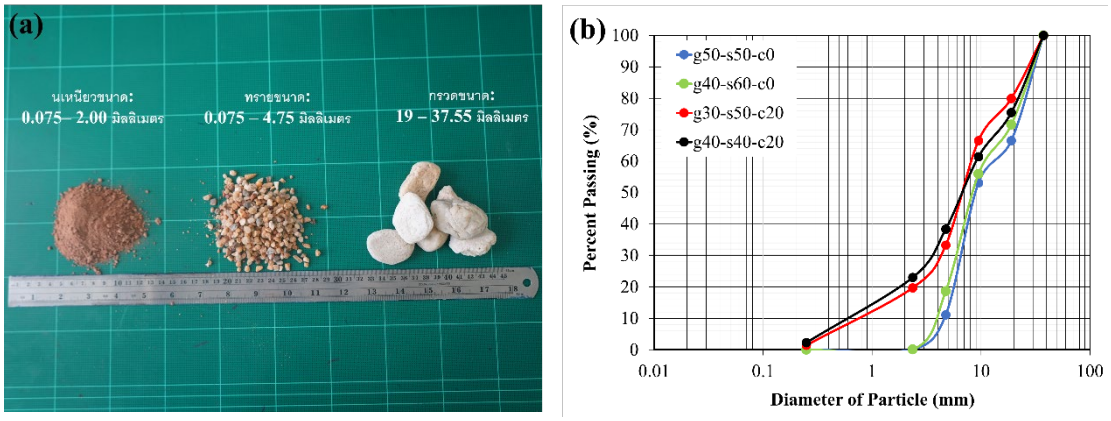
Savage number (N_{Sav}) เป็นตัวเลขไม่มีหน่วยที่ใช้ในการแบ่งประเภทของการไหล โดยอ้างอิงถึงความสำคัญของการชนกันและการเสียดทานระหว่างอนุภาค กำหนดโดยการใช้อัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อแรงโน้มถ่วง ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของการไหล ความลึกของการไหล และขนาดของอนุภาค [10,11]

$$N_{Sav} = \frac{p_s \dot{\gamma}^2 d_{50}^2}{(p_s - p_w)gh\cos\theta \bullet \tan\theta} \quad (2)$$

โดยที่ p_s คือความหนาแน่นของอนุภาคแข็ง ซึ่งถูกสมมุติว่าเป็น 2650 kg/m^3 p_w คือความหนาแน่นของของไหล 1000 kg/m^3 d_{50} เป็นขนาดอนุภาคเฉลี่ยของตะกอนในการไหล ซึ่งสามารถใช้ขนาดอนุภาคกลางของการกระจายขนาดอนุภาคได้ $\dot{\gamma}$ คืออัตราการเฉื่อยสามารถประมาณได้โดยการหารความเร็วการไหลด้วยความลึกการไหล g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง (gravitational acceleration) h คือ ความสูงของการไหล (flow height) $\cos\theta$ คือมุมลาดเอียงของการทดลอง $\tan\theta$ คือ มุมของการเสียดทานภายใน (internal friction angle)

วัสดุที่ใช้ในการทดลองและรายการทดลอง

วัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบมี 3 ประเภท ได้แก่ ดินเหนียว ทรายและกรวดดังแสดงในรูปที่ 4 (a) และรูปที่ 4 (b)แสดงการกระจายของวัสดุที่ผสมตามอัตราส่วนในการทดลอง ในการทดสอบที่ความลาดชันการไหลต่างกัน ดังตารางที่ 1 g[a]–s[b]–c[d]_Cs[e]–[f] โดยที่ความลาดชันการไหล ได้แก่ 25, 30 และ 35 องศา g, s และ c คือ ประเภทของวัสดุ a, b และ d คือ ร้อยละส่วนผสม ได้แก่ ร้อยละของกรวดแม่น้ำ ทราย และดิน ตามลำดับ Cs คือ วัสดุผสมรวมของเม็ดแห้ง e คือ ร้อยละส่วนผสมรวมของกรวด ทราย และดิน ต่อน้ำ และ f คือ ร้อยละส่วนผสมของน้ำ ยกตัวอย่างเช่น R25_g30–s50–c20_Cs75–25 คือ การทดลองแรงกระแทก ที่ความลาดชันการไหล 25 องศา ในอัตราส่วนผสมประกอบด้วยประเภทวัสดุ กรวดแม่น้ำร้อยละ30 ทรายร้อยละ50 และดินร้อยละ20 โดยวัสดุผสมรวมของเม็ดแห้ง ได้แก่ กรวดแม่น้ำ ทราย และ ดิน คิดเป็นร้อยละ75 ของน้ำหนัก 30 กิโลกรัม และน้ำคิดเป็นร้อยละ 25 ของน้ำหนัก 30 กิโลกรัม



รูปที่ 4 (a) วัสดุผสมแห้งที่ใช้ในการทดลอง (b) การกระจายของวัสดุในแต่ละส่วนผสม

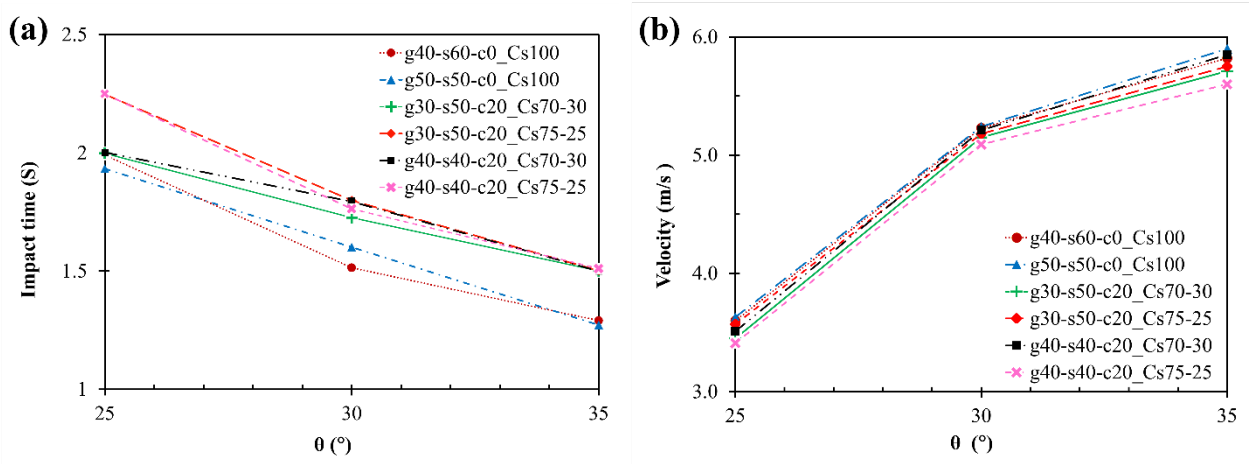
ตารางที่ 1 รายการทดลองแรงกระแทกในแนวตั้งฉากตามความสูงของกองวัสดุด้วยสิ่งกีดขวางแบบแข็ง

มุม θ (°)	น้ำหนัก (kg)	อัตราส่วนแห้ง % กรวด:ทราย:ดิน	อัตราส่วนรวม % อัตราส่วนแห้ง:น้ำ	รหัสการทดลองแรงกระแทก
25,30,35	30	40:60:0	100:0	g40–s60–c0_Cs100–0
		50:50:0	100:0	g50–s50–c0_Cs100–0
		30:50:20	70:30	g30–s50–c20_Cs70–30
		30:50:20	75:25	g30–s50–c20_Cs75–25
		40:40:20	70:30	g40–s40–c20_Cs70–30
		40:40:20	75:25	g40–s40–c20_Cs75–25

ผลการศึกษา

ระยะเวลาการไหลของวัสดุและความเร็วการไหลก่อนชนโครงสร้างแบบแข็ง

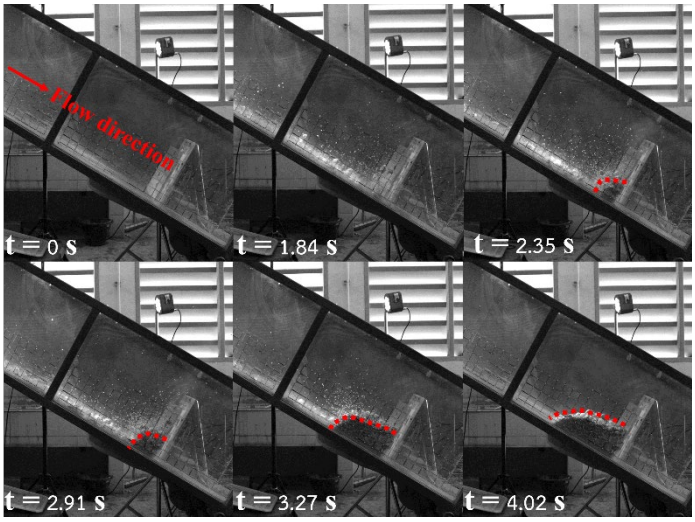
ความลาดชันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาและความเร็วของการชน ดังนั้นระยะเวลาการชนของวัสดุและความเร็วก่อนชนโครงสร้างแบบแข็งจึงมีความสัมพันธ์กับความลาดชันของการไหล รูปที่ 5(a) แสดงเวลาการชนของวัสดุที่ความลาดชันต่างๆ พบว่า ความลาดชันการไหลที่ 25 องศาระยะเวลาในการไหลอยู่ในช่วง 1.92 ถึง 2.25 วินาที ที่ความลาดชันการไหลที่ 30 องศา ระยะเวลาในการไหลอยู่ ในช่วง 1.51 ถึง 1.80 วินาที และที่ความลาดชันการไหลที่ 35 องศา ระยะเวลาในการไหลอยู่ในช่วง 1.29 ถึง 1.51 วินาที รูปที่ 5(b) แสดงความเร็วการไหลก่อนชนสิ่งกีดขวางที่ความลาด ชันการไหลต่างๆ โดยความลาดชันการไหลที่ 25 องศา ความเร็วการ ไหลอยู่ในช่วง 3.41 ถึง 3.63 เมตรต่อวินาที ส่วนผสมที่มีความเร็วในการ ความลาดชันการไหลที่ 30 องศา ความเร็วจะอยู่ในช่วง 5.09 ถึง 5.24 เมตรต่อวินาที และความลาดชันการไหลที่ 35 องศา ความเร็วจะอยู่ในช่วง 5.6 ถึง 5.90 เมตรต่อวินาที เพิ่มขึ้นตามความลาดชันของการไหลที่เพิ่มขึ้น ส่วนผสมแบบแห้ง สามารถไหลได้เร็วกว่าแบบเปียก ดังแสดงในรูป 5(b)



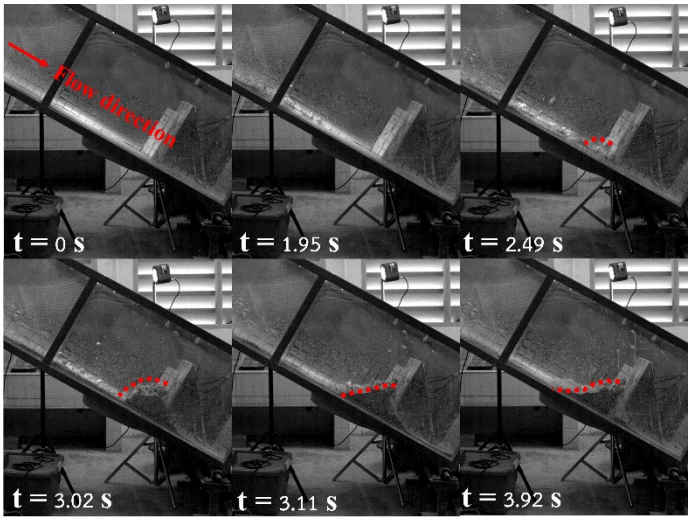
รูปที่ 5 (a) เวลาก่อนการชนของวัสดุที่ความลาดชัน 25, 30 และ 35 องศา (b) ความเร็วการไหลก่อนชนสิ่งกีดขวางที่ความลาดชันต่าง 25, 30 และ 35

ลักษณะและพฤติกรรมแรงกระแทกย่อยโครงสร้างแบบแข็ง

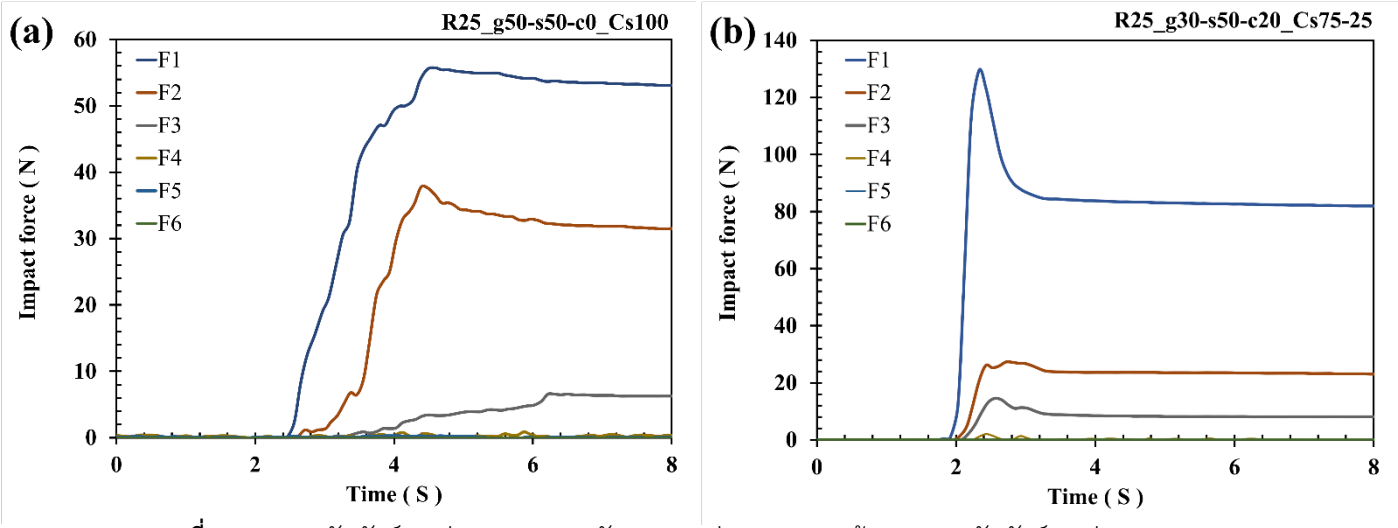
ลักษณะแรงกระที่เกิดขึ้นนั้นจะแตกต่างกันอย่างชันเจนเนื่องจากพฤติกรรมการไหล จากรูปที่ 6 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระแทกย่อยกับเวลาของส่วนผสมแบบแห้ง แรงกระแทกสูงสุด F1 เท่ากับ 55 นิวตัน และแรงคงค้าง 50 นิวตัน จากรูปที่ 6 (b) ที่เวลา t = 0 s บ่งบอกถึงทิศทางการไหล ที่เวลา t = 1.84 s ถึง t = 4.02 s จะเห็นได้ชัดว่าส่วนผสมแบบแห้งที่ไหลลงมาจะมีการกองสะสมอยู่บริเวณหน้าโครงสร้างแบบแข็ง (pile–up mechanism) ซึ่งต่างจากส่วนผสมแบบเปียกจากรูปที่ 7 (a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระแทกย่อยกับเวลาของส่วนผสมแบบเปียกแรงกระแทกสูงสุด F เท่ากับ 130 นิวตัน แรงคงค้าง 80 นิวตัน จากรูปที่ 7 (b) ที่เวลา t = 0 s บ่งบอกถึงทิศทางการไหล ที่เวลา t = 1.95 s ถึง t = 3.92 s ส่วนผสมมีการไหลด้วยความเร็วและมีความหนาเล็กน้อยเมื่อไหลชนกับโครงสร้างแบบแข็ง จึงเกิดการไหลซัดขึ้น (run–up mechanism) และลดลงมาอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 6 การกองขึ้นแต่ละช่วงเวลาของส่วนผสมแบบแห้ง R25_g50_s50_c0_Cs100 เมื่อไหลมาชนกับกำแพงแบบแข็ง



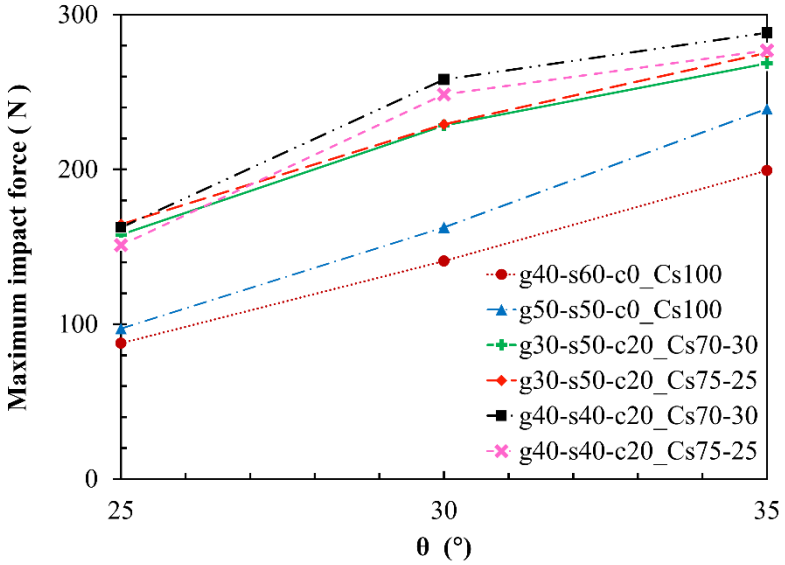
รูปที่ 7 การไหลซัดขึ้นแต่ละช่วงเวลาของส่วนผสมแบบเปียก R25_g30_s50_c20_Cs75-25 เมื่อไหลมาชนกับกำแพงแบบแข็ง



รูปที่ 8 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระแทกกับเวลาของส่วนผสมแบบแห้ง (b) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระแทกกับเวลาของส่วนผสมแบบเปียก

พฤติกรรมแรงกระแทกต่อสิ่งกีดขวางแบบแข็ง

ผลแรงกระแทกจากแสดงดังรูปที่ 9 โดยจะติดตั้งโหลดเซลล์ เป็นตัววัดแรงกระแทกจำนวณ 6 ตัว ทำการทดลองที่ความลาดชันการ ไหลมุม 25, 30 และ 35 องศา สรุปได้ดังนี้ ความลาดชันการไหล 25 องศา ส่วนผสมที่มีแรงกระแทกมากที่สุดคือ g30-s50-c20_Cs75-25 วัดแรงได้ 165 นิวตัน ในขณะที่แรง กระแทกต่ำที่สุดเท่ากับ 88 นิวตัน คือส่วนผสม g40-s60-c0_Cs100-0 Froude number จะอยู่ในช่วง 6.60 – 6.69 Savage number จะอยู่ในช่วง 7.22 ถึง 8.14 มุม 30 องศา ส่วนผสมที่มีแรงกระแทกมาก ที่สุดคือ g40-s40-c20_Cs70-30 วัดแรงได้ 264 นิวตัน ในขณะที่แรง กระแทกต่ำที่สุดเท่ากับ 140 นิวตัน คือส่วนผสม g40-s60-c0_Cs100 0 Froude number จะอยู่ในช่วง 8.84 – 9.03 Savage number จะอยู่ในช่วง 8.31 ถึง 9.08 มุม 35 องศา ส่วนผสมที่มีแรงกระแทกมาก ที่สุดคือ g40-s40-c20_Cs70-30 วัดแรงได้ 288 นิวตัน ในขณะที่แรง กระแทกต่ำที่สุดเท่ากับ 199 นิวตัน คือส่วนผสม g40-s60-c0_Cs100 Froude number จะอยู่ในช่วง 9.74 – 10.07 Savage number จะอยู่ในช่วง 9.34 ถึง 9.73



รูปที่ 9 พฤติกรรมการรับแรงกระแทกต่อโครงสร้างแบบแข็งที่ความลาดชันต่างๆ 25, 30 และ 35 องศา

อภิปรายและสรุปผล

การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลหลากของดินโคลนเมื่อไหลผ่านโครงสร้างแบบแข็งพบว่า ความลาดชันและขนาดของอนุภาคนั้นมีผลต่อแรงกระแทกและความเร็วในการไหล พฤติกรรมของส่วนผสมแบบแห้ง pileup–mechanism เมื่อชนกับกำแพงคลื่นจะไม่มีการกระเด็นแต่จะมีการสะสมอยู่ข้างหน้าของกำแพงแบบแข็ง พฤติกรรมของส่วนผสมแบบเปียกเรียกว่า vertical jet run–up mechanism เมื่อมีการชนกำแพงจะมีการกระเด็นขึ้นไปเป็นแนวตั้งและไหลย้อนกลับขึ้นไปตามรางน้ำ จากการทดลองทั้ง 3 มุม Froude number มีค่ามากกว่าหนึ่งแสดงว่าในการไหลของวัสดุเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤต (Super – Critical flow) และ Savage number มีค่ามากว่า 0.1 แสดงว่าการไหลจะมีการชนกันของอนุภาคมากกว่าการเสียดสี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยาที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยและอำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่ห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณครูช่างประจำห้องปฏิบัติการที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์การในการเตรียมแบบจำลอง สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ นาย ทศพล ทุ่งฝนภูมิ มหาบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้คำปรึกษาดูแลรวมถึงให้คำชี้แนะในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

เชียงใหม่ฝนตกหนัก 3 อำเภอ น้ำหลาก ดินถล่ม สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2566 .ได้จาก https://www.thaipbs.or.th/news/content/320047

บันทึกเหตุการณ์ดินโคลนถล่ม อ.บ่อเกลือ จ.น่านวันที่ 28 ก.ค สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2566 .ได้จาก https://tiwrm.hii.or.th/current/2018/landslideNan/nan_jul2018.html.

ฝนถล่มหนัก จ.น่าน เกิดดินสไลด์ปิดทับเส้นทางสาย 1256 หน้า ดอยภูคาสืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2566 . ได้จาก https://www.nationtv.tv/news/region/378925859

กรมทางหลวงรายงานสถานการณ์ดินสไลด์บนทางหลวง จ.น่านและ จ.ตากผ่านไม่ได้ 4 แห่ง สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2566 .ได้จาก https://www.thailandplus.tv/archives/727157

สรุปเหตุ น้ำท่วม-ดินสไลด์ ใน 2 จังหวัด สัญจรไม่ได้ 7 แห่งสืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2566 .ได้จาก https://www.thaipbs.or.th/news/content/330429

Choi, C. E. et al. (2015). Flume investigation of landslide granular debris and water runup mechanisms.

น้ำฝน คำพิลัง มัลลิกา นิลล้อม และศรัณย์ แก้วเมืองมูล. (2563). การประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มชนิด Debris Flow พื้นที่ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์.ฉบับที่ สทข.1 1/2563

Choi, C. E. et al. (2015). Froude characteristics of both dense granular and water flows in flume modelling. SpringerLink.

Faug, Thierry (2015). Macroscopic force experienced by extended objects in granular flows over a very broad Froude–number range. (38 Ed.). SpringerLink.

Gordon G. D. Et al (2019). Depositional mechanisms and morphology of debris. flow: physical modelling

Gordon G. D. Et al (2013). Study of Solids Contact Shearing and Collisions in Granular Debris Flows. AIP Conference Proceedings.

Richard M. Et al. (2016). Debris flow runup on vertical barriers and adverse slopes. (121 Ed.). American Geophysical Union.

ผลกระทบของผงหินบะซอลต์ต่อคุณสมบัติของมอร์ต้าร์

Effect of basalt powder addition on properties of mortar

รวี เดสูงเนิน[1*], ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง[1], ภัทร์ธีนันท์ พันธุ์เขตกรรม[1] และ สมพร ทองสุก[1]
Rawee Desungnoen[1*], Narongchai Wiwattanachang[1], Phatthinan Phanketgram[1] and Sompom Thongsuk[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าโดยใช้ผงหินบะซอลต์เป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ กรณีศึกษาผงหินบะซอลต์โรงโม่หินชัยบาดาล จังหวัดสระบุรี โดยใช้ผงหินบะซอลต์เป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบที่ร้อยละ 0,25,50,75 และแทนที่ทรายทั้งหมด โดยออกแบบส่วนผสมระหว่างวัสดุผง:มวลรวมละเอียดเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนักและกำหนดอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในสัดส่วนต่างๆ โดยการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมมอร์ต้าด้วยการทดสอบการไหลด้วยแท่นทดสอบการไหลแผ่แบบหล่อและคาลิเปอร์กับปริมาณที่ต้องการสำหรับการไหลแผ่ที่ร้อยละ 110±5 และหล่อแท่งตัวอย่างขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร บ่มคอนกรีตโดยวิธีแช่น้ำตลอดอายุคอนกรีตที่ อายุคอนกรีต 3,7,14,28 และ 56 วัน พบว่าตัวอย่างมอร์ต้าตัวอย่างที่ผสมหินบะซอลต์บางส่วนและทั้งหมด มีค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 145 ถึง 184 เท่าของกำลังอัดประลัยเฉลี่ยจากการผสมด้วยทรายหยาบทั้งหมด แสดงว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยผงหินบะซอลต์จากโรงโม่หินชัยบาดาล จังหวัดสระบุรี เป็นส่วนผสมประเภทมวลรวมละเอียดแทนทรายหยาบ สามารถรับกำลังอัดประลัยได้ใกล้เคียงกับมอร์ต้าที่ผสมด้วยทรายหยาบเป็นมวลรวมละเอียดทั้งหมด ดังนั้นจึงถือได้ว่าผงหินบะซอลต์จากโรงโม่หินชัยบาดาล จังหวัดสระบุรี สามารถใช้แทนทรายหยาบในงานคอนกรีตได้

คำสำคัญ: ผงหินบะซอลต์, ทรายหยาบ, มวลรวมละเอียด, กำลังอัดประลัย

[1] นักศึกษาและอาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี 72130
[1] Students and professors Rajamong Khl Suvarnabhumi University of Technology Suphan Buri Center, Suphanburi 72130
*Corresponding author : Rawee_012@hotmail.com

Abstract

The purpose of this research was to study the compressive strength of mortar using basalt powder instead of coarse sand; a case study of basalt powder in the stone mill at Chai Badan, Saraburi Province with uses basalt powder instead of coarse sand of 0, 25, 50, 75 percent instead of all sand and divided into powder material: fine aggregate as 1:2.75, the water to cement ratio type 1 with the appropriate proportion of water to mixed with mortar and flow test by flow table and caliper with the required quantity of flowing 110+5 percentage and table sample size 50x50x50 mm. concrete cure with a soak in water throughout the age of concrete at 3, 7, 14, 28, and 56 days. This research found that the average compression strength in the sample of mortar mixed with part or whole of basalt powder was 145 to 184, equal to the average compression strength mixed with all coarse sand. This finding shows that the concrete mixed with basalt powder in the stone mill at Chai Badan, Saraburi Province, was fine aggregate instead of coarse sand, and the amount of compression strength is near to mortar mixed with coarse sand as all fine aggregate. Therefore, it can be concluded that basalt powder in the stone mill at Chai Badan, Saraburi Province, can be used instead of coarse sand in concrete work.

Keywords: basalt powder, coarse sand, fine aggregate, compression strength

บทนำ

ในปัจจุบันนี้งานก่อสร้างได้มีบทบาทอย่างมากในประเทศที่กำลังพัฒนา และได้มีการขยายตัวแบบกว้างขวางการก่อสร้างที่อยู่อาศัยและสิ่งก่อสร้างอื่นนั้นสามารถเป็นตัวบ่งชี้ในการพัฒนาประเทศได้อีกทางหนึ่ง โครงสร้างต่างๆของอาคารจำเป็นที่จะต้องใช้คอนกรีตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญทั้งสิ้น นอกจากนี้ยังได้มีการวิจัยศึกษาคิดค้นวิธีการใหม่ๆที่จะนำคอนกรีตมาใช้ได้สะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายโดยที่สามารถคงคุณสมบัติในการรับกำลังในด้านต่างๆของคอนกรีตไว้ได้

ผงหินบะซอลต์จากโรงโม่หินชัยบาดาล จังหวัดสระบุรี เป็นวัสดุที่เกิดจากอุตสาหกรรมการโม่หิน เพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างโดยทั่วไป แต่ผงหินบะซอลต์ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่ามากนักและผู้ประกอบการโรงโม่หินโดยส่วนใหญ่คิดว่าเป็นเป็นเศษวัสดุที่หลงเหลือจากการผลิตและเป็นภาระที่จะต้องนำไปทิ้งหรือกำจัด อีกทั้งผงหินบะซอลต์ยังเป็นมลภาวะและเป็นการเพิ่มมลพิษให้กับโลกอีกด้วย

(ธีระ เทพพรหม,2552) ศึกษาหินฝุ่นโรงโม่หิน นราธิวาสโดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมแทนที่ทรายหยาบที่ร้อยละ 0,40,60,80,90 และแทนที่ทรายทั้งหมด ที่ค่าการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังอัด 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร บ่มก้อนตัวอย่างโดยวิธีแช่น้ำตลอดอายุคอนกรีต ที่ 7,14และ28 วันพบว่าก้อนตัวอย่างผสมหินฝุ่นบางส่วนและทั้งหมด ค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.00–1.06 เท่าของกำลังอัดประลัยเฉลี่ยจากการผสมด้วยทรายหยาบทั้งหมด แสดงว่าคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นสามารถรับน้ำหนักได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตผสมด้วยทรายหยาบและสามารถใช้ทรายหยาบในการทำคอนกรีตโครงสร้างทั่วไปได้

(วินิต ช่อวิเชียร,2544) วัสดุผสมคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้าง โดยส่วนใหญ่นั้นจะประกอบด้วยหินย่อย กรวด และทรายหยาบ โดยรวมเรียกว่าวัสดุผสมโดยจะต้องเป็นแร่ธาตุเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพลสโดยมีหน้าที่ในการแทรกในเนื้อซีเมนต์เพลสประมาณสามในสี่ส่วนของเนื้อคอนกรีตและจะต้องมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นวัสดุผสมจึงต้องมีส่วนทำให้ได้ราคาคอนกรีตที่ถูกลงด้วยโดยที่คอนกรีตจะต้องมีคุณสมบัติตามที่ต้องการคงเดิม

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ในการศึกษาวิจัยคุณสมบัติของผงหินบะซอลต์ในการนำไปใช้ทดแทนทรายหยาบเป็นส่วนผสมมอร์ต้า เพื่อจะได้สามารถหาคุณสมบัติเปรียบเทียบในการรับกำลังอัดของมอร์ต้า ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของคอนกรีตลงได้ โดยจะส่งผลให้สามารถนำทรัพยากรผงหินบะซอลต์ที่ถือว่าเป็นวัสดุที่เหลือใช้มาสร้างให้เกิดคุณค่าและจะส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายในงานก่อสร้างโดยรวมต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อนำผงหินบะซอลต์มาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อลดต้นทุนในงานคอนกรีต
2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผงหินบะซอลต์แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนต่างๆ
3) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเชิงกลของผงหินบะซอลต์แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนต่างๆ

วิธีการศึกษา

วิธีการดำเนินงานของโครงการวิจัยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. ศึกษาหาข้อมูลทางเอกสาร
2. การสำรวจแหล่งวัสดุผสมมอร์ต้า
3. การเก็บตัวอย่างวัสดุผสมมอร์ต้าโดยใช้ผงหินบะซอลต์จากโรงโม่หินชัยบาดาล จังหวัดสระบุรี
4. การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมวัสดุผสมมอร์ต้าประกอบด้วย ค่าส่วนขนาดคละ ค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ ค่าปริมาณความชื้น หน่วยน้ำหนักของมวลรวม
5. ออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตในแต่ละค่ากำลังอัดรับกำลังอัดประลัยที่ 190 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
6. หล่อก้อนมอร์ต้าตัวอย่างตามที่ได้ออกแบบจำนวน 75 ตัวอย่าง (ตารางที่ 1)
7. ทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนมอร์ต้าที่อายุการบ่ม 3,7,14,28 และ 56 วัน
8. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ตารางที่ 1 จำนวนก้อนมอร์ต้าที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด

ที่	อายุคอนกรีต (วัน)	จำนวนก้อนมอร์ต้าในแต่ละปริมาณร้อยละผงหินบะซอลต์แทนที่ทรายหยาบ					รวมตัวอย่าง
		0%	25%	50%	75%	100%	
1	3	3	3	3	3	3	15
2	7	3	3	3	3	3	15
3	14	3	3	3	3	3	15
4	28	3	3	3	3	3	15
5	56	3	3	3	3	3	15
รวมก้อนมอร์ต้าทั้งสิ้น							**75**

วัสดุและวิธีการ

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1.1 วัสดุประสาน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.15

1.2 วัสดุผสมมวลรวมละเอียด ประเภททรายหยาบ สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ตามมาตรฐาน ASTM C33[3] ที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

1.3 วัสดุผสมมวลรวมละเอียด ประเภทผงหินบะซอลต์ ที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

1.4 น้ำประปาที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ในช่วง 6-8

2. อัตราส่วนผสมและวิธีการผสมมอร์ต้า

ในการศึกษาคุณสมบัติของมอร์ต้าที่ได้จากการนำผงหินบะซอลต์เป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ กรณีศึกษาผงหินบะซอลต์โรงโม่หินชัยบาดาล จังหวัดสระบุรี โดยใช้ผงหินบะซอลต์เป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบที่ร้อยละ 0,25,50,75 และแทนที่ทรายทั้งหมด โดยออกแบบส่วนผสมระหว่างวัสดุผง:มวลรวมละเอียดเท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนักและกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในสัดส่วนต่างๆโดยการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมมอร์ต้าด้วยการทดสอบการไหลด้วยแท่นทดสอบการไหลแผ่แบบหล่อและคาลิเปอร์กับปริมาณที่ต้องการสำหรับการไหลแผ่ที่ร้อยละ110±5 ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยการผสมจะเริ่มจากการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผงหินบะซอลต์ที่ผ่านการร่อนและทรายหยาบ มาผสมคลุกให้เข้ากันจากนั้นใส่น้ำตามปริมาณที่ได้กำหนดไว้ คลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้งด้วยเครื่องผสม เมื่อทำการผสมแล้วเสร็จแล้วจัดเตรียมเก็บตัวอย่างแท่งตัวอย่างขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร โดยแบ่งการใส่วัสดุตัวอย่างที่ผสมกันแล้วเป็นสามชั้นโดยแต่ละชั้นต้องน้ำแท่งเหล็กกระทุ้งชั้นละประมาณ 25 ครั้งตามด้วยค้อนยางทุบบริเวณด้านข้างโมลล์เพื่อไล่ฟองอากาศที่อยู่ด้านในและใส่มอร์ต้าให้เต็มปาดหน้าให้เรียบร้อย

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษา

ส่วนผสม	อัตราส่วนการแทนที่โดยน้ำหนัก (%)	วัสดุในส่วนผสม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)			ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)
		ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (g)	ผงหินบะซอลต์ (g)	ทราย (g)	
Con.	0	500	0	1,375	0.65
WHA25	25	500	343.75	1,031.25	0.65
WHA50	50	500	687.5	687.5	0.63
WHA75	75	500	1,031.25	343.75	0.63
WHA100	100	500	1,375	0	0.62

3. วิธีการทดสอบ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีการทดสอบตามมาตราฐานการทดสอบวัสดุของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกา (American Society for Testing Materials,ASTM) และมาตรฐานอังกฤษ (British Standards,BS)โดยได้กำหนดวิธีการทดสอบตามมาตราฐานดังต่อไปนี้

3.1) การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียด ใช้มาตรฐาน ASTM.C 136

3.2) การทดสอบการไหลด้วยแท่นทดสอบการไหลแผ่แบบหล่อและคาร์ลิเปอร์ ใช้มาตรฐาน ASTM.C 230/C230M

3.3) การทดสอบการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด ใช้มาตรฐาน ASTM.C 128

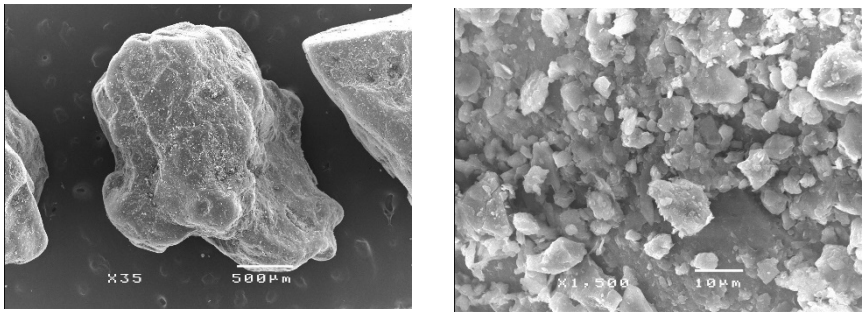
3.4) การหล่อแท่งมอร์ต้าตัวอย่างทรงลูกบาศก์ ใช้มาตรฐาน BS.1881:3

3.5) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า ASTM.C 109 [5]

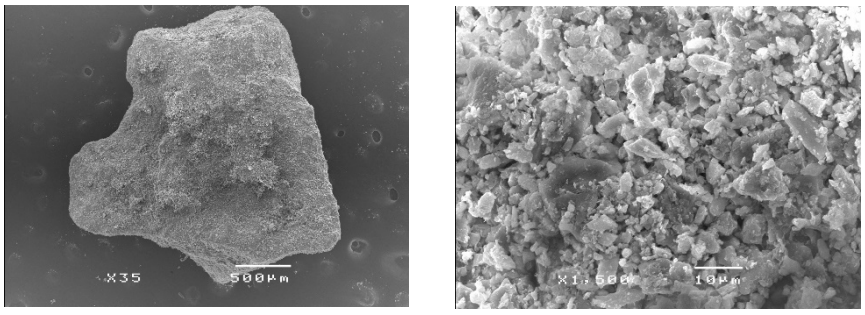
ผลการทดสอบและวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของวัสดุ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเบื้องต้นของผงหินบะซอลต์พบว่ามีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักเท่ากับ 58.14% รองลงมาได้แก่อลูเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เท่ากับ 14.16% ส่วนองค์ประกอบอื่นๆไม่สูงมากนัก ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของทรายให้องค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์โดยวิธี X-ray Fluorescence (XRF) ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีหลักคือ ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักเท่ากับ 95.4% รองลงมาได้แก่อลูเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เท่ากับ 0.90%



ภาพที่ 1 ลักษณะรูปร่างของวัสดุผสมมวลรวมละเอียด ประเภททรายหยาบ (กำลังขยาย 1,500 เท่า)



ภาพที่ 2 ลักษณะรูปร่างของวัสดุผสมมวลรวมละเอียด ประเภทผงหินบะซอลต์ (กำลังขยาย 1,500 เท่า)

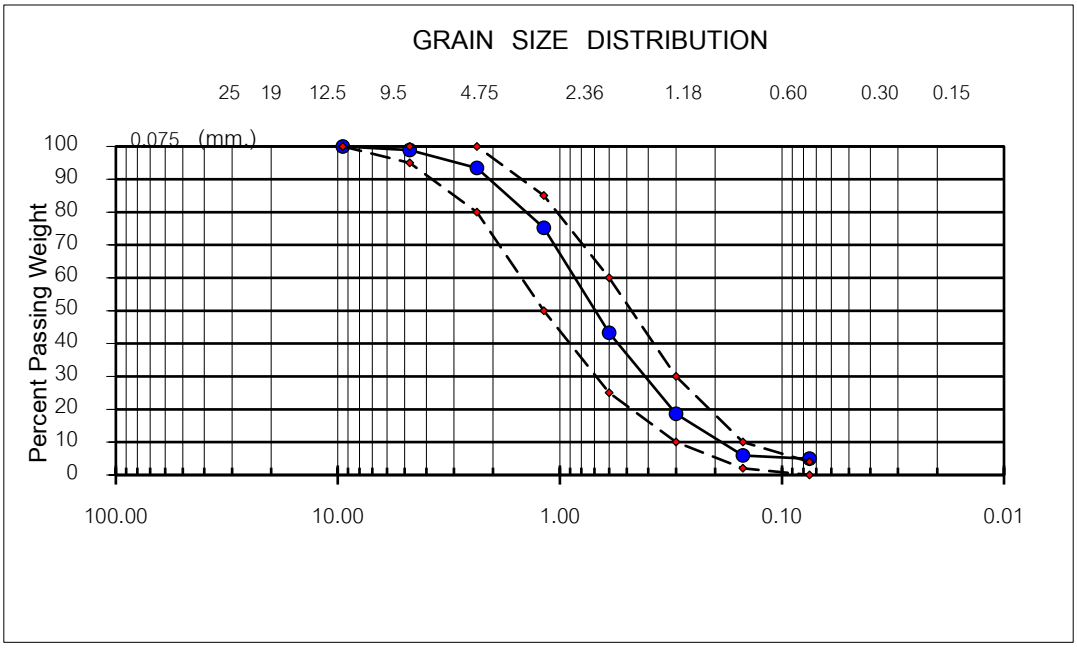
ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของผงหินบะซอลต์และทราย

องค์ประกอบทางเคมี	ผงหินบะซอลต์	ทราย
SiO_2	58.14	95.4
Al_2O_3	14.60	0.90
Fe_2O_3	8.66	0.60
CaO	7.47	0.30
MgO	3.16	2.00
K_2O	2.56	-
TiO_2	1.19	-
Na_2O	3.42	-
ZrO_2	0.04	-
P_2O_5	0.35	-
V_2O_5	0.03	-
CuO	0.01	-

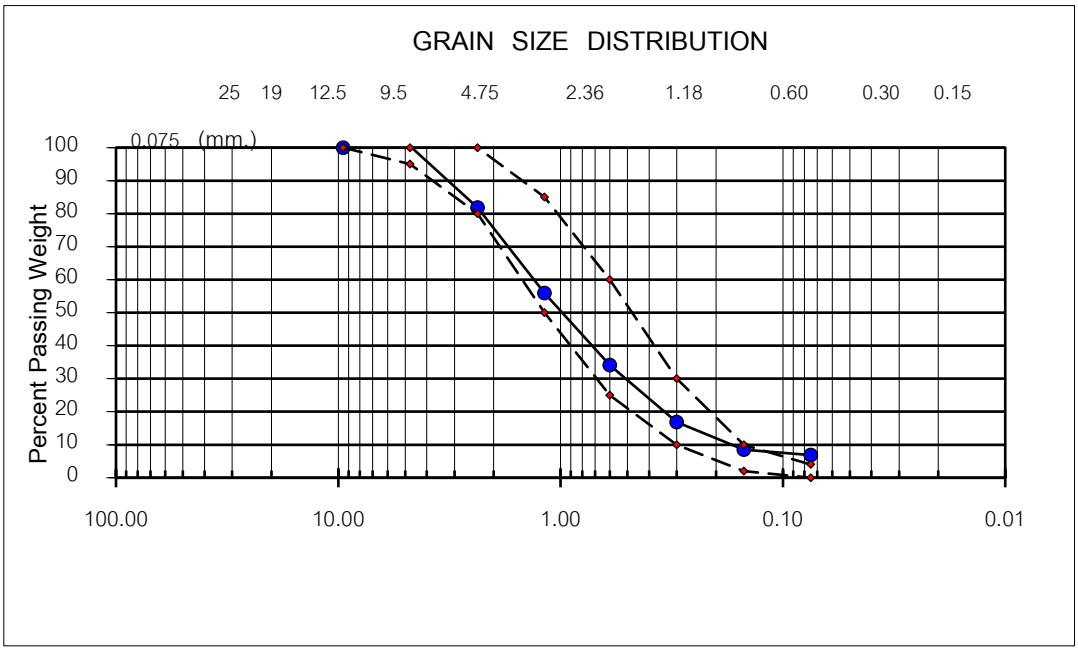
2. ทดสอบหาขนาดคละของทรายและขนาดคละของผงหินบะซอลต์

การทดสอบหาขนาดส่วนคละ ทรายหยาบและผงหินบะซอลต์ มีค่าร้อยละผ่านตะแกรงมาตรฐาน เป็นไปตามมาตราฐาน ASTM.C33 ค่าโมดูลัสความละเอียดของผงหินบะซอลต์ทดสอบได้ 2.677 และค่าโมดูลัสของทรายหยาบทดสอบได้ 3.006 แสดงว่าผงหินบะซอลต์มีอนุภาคโดยรวมละเอียดกว่าทรายหยาบ

ตารางที่ 4 ตารางเปรียบเทียบขนาดคละของทราย



ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบขนาดคละของผงหินบะซอลต์

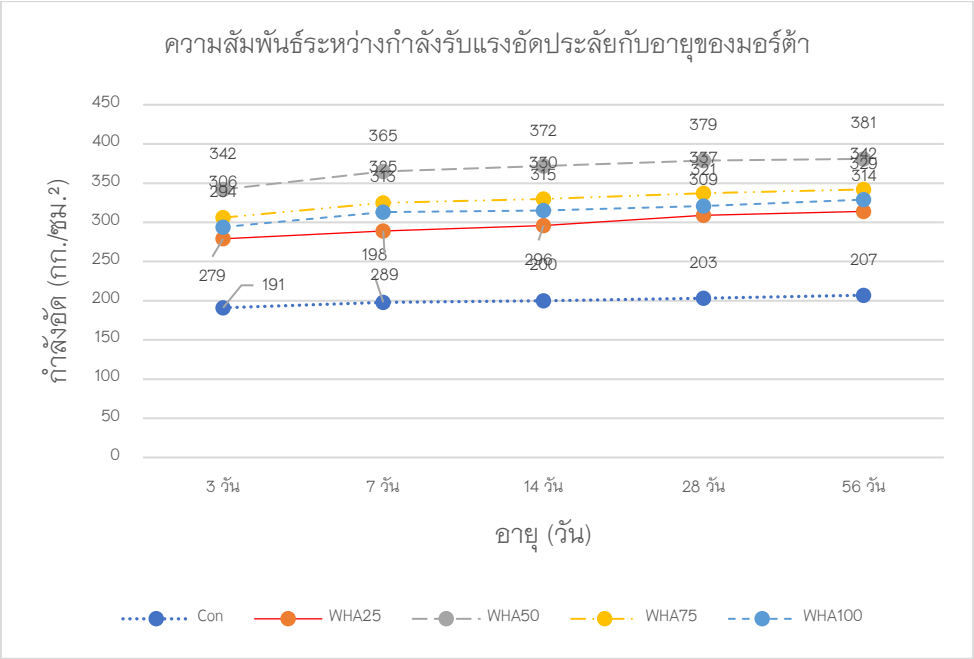


3. ความสามารถในการรับแรงอัด

ในการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของมอร์ต้าในส่วนผสม Con., WHA25, WHA50, WHA75, WHA100 โดยใช้ผงหินบะซอลต์เป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบที่ร้อยละ 0,25,50,75 และแทนที่ทรายทั้งหมดตามลำดับจะให้ค่ากำลังรับแรงอัด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมผงหินบะซอลต์

ส่วนผสม	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)-(ร้อยละกำลังอัดประลัย (%))				
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	56 วัน
Con.	191-(100)	198-(100)	200-(100)	203-(100)	207-(100)
WHA25	279-(146)	289-(145)	296-(148)	309-(152)	314-(151)
WHA50	342-(179)	365-(184)	372-(186)	379-(187)	381-(184)
WHA75	306-(160)	325-(164)	330-(165)	337-(166)	342-(165)
WHA100	294-(154)	313-(158)	315-(157)	321-(158)	329-(158)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุของการบ่มเมื่อผสมผงหินบะซอลต์แทนที่ทรายในอัตราส่วนต่างๆ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าโดยใช้ผงหินบะซอลล์จากโรงโม่หินชัยบาดาล จังหวัดสระบุรี เป็นส่วนผสมมอร์ต้าบางส่วนและแทนที่ทั้งหมดโดยได้ดำเนินการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของวัสดุและหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผสม ได้แก่ ผงหินบะซอลต์ ทรายหยาบ ซึ่งประกอบด้วยการทดสอบหาขนาดคละ ค่าการดูดซึมน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิจัย ซึ่งจากผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

1. ผงหินบะซอลต์เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงโม่หินชัยบาดาล จังหวัดสระบุรี เป็นวัสดุที่เกิดจากอุตสาหกรรมการโม่หิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีการนำไปใช้ประโยชน์มากน้อยแต่เมื่อนำมาศึกษาอย่างละเอียดพบว่า ผงหินบะซอลต์มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับทราย ส่งผลให้มีความสามารถในการรับแรงอัดได้ใกล้เคียงกับทราย

2. จากการทดสอบหาขนาดส่วนคละ ทรายหยาบและผงหินบะซอลต์ มีค่าร้อยละผ่านตะแกรงมาตรฐาน เป็นไปตามมาตราฐาน ASTM.C33 ค่าโมดูลัสความละเอียดของผงหินบะซอลต์ทดสอบได้ 2.677 และค่าโมดูลัสของทรายหยาบทดสอบได้ 3.006 แสดงว่าผงหินบะซอลต์มีอนุภาคโดยรวมละเอียดกว่าทรายหยาบ

3. กำลังอัดประลัยของมอร์ต้าที่อายุการบ่ม 3,7,14,28 และ 56 วัน พบว่าค่ากำลังอัดประลัยของมอร์ต้าทุกอัตราส่วนผสมมีการพัฒนากำลังอัดประลัยเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Malhotra and Mehta,1996) โดยกำลังอัดประลัยของมอร์ต้าที่ใช้ผงหินบะซอลต์แทนที่ทรายจะมีค่าสูงกว่ามอร์ต้าควบคุมทุกอัตราส่วนการแทนที่และทุกช่วงระยะเวลา ทั้งนี้เนื่องจากมวลรวมที่เป็นผงหินบะซอลต์ที่อนุภาคที่เป็นเหลี่ยมและผิวหยาบกว่าอนุภาคของทรายจึงทำให้มีแรงยึดหน่วงระหว่างมอร์ต้าได้ดีกว่าทำให้กำลังอัดประลัยของมอร์ต้าดีขึ้น แต่เมื่อผงหินบะซอลต์มีปริมาณสูงขึ้นมีผลมีผลทำให้ขนาดคละของมวลรวมละเอียดไม่ดีค่ากำลังอัดประลัยก็จะลดลง โดยสัดส่วนการใช้ผงหินบะซอลต์ทดแทนทรายที่ร้อยละ 50 ดีที่สุดในการวิจัยในครั้งนี้ โดยกำลังรับแรงอัดประลัยที่ 56 วัน เท่ากับ 381 กก./ซม.^{2} คิดเป็นร้อยละ 184 ของมอร์ต้าควบคุม ซึ่งอัตราส่วนนี้ทำให้มวลรวมมีการคละขนาดที่ดีที่สุด จึงทำให้ช่องว่างในมอร์ต้ามีค่อนข้างน้อยจึงส่งผลให้เนื้อมอร์ต้ามีความหนาแน่นมากกว่ามอร์ต้าที่แทนที่ทรายด้วยผงหินบะซอลต์ในอัตราส่วนผสมอื่น

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นของการนำผงหินบะซอลต์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพราะทั้งนี้ยังไม่มีงานวิจัยมากนักในเรื่องของการนำผงหินบะซอลต์มาใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีต ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยอย่างละเอียดในคุณสมบัติต่างๆของมอร์ต้าที่ใช้ผงหินบะซอลต์ในส่วนผสม เช่น การหดตัวของมอร์ต้า การแยกตัวของมอร์ต้า ความคงทนของมอร์ต้า และอื่นๆ เป็นต้น เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงลักษณะพฤติกรรมของมอร์ต้าที่มีส่วนผสมของผงหินบะซอลต์ดังเช่นผสมสารผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิที่สนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมโยธา และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมที่สนับสนุนการนำเสนองานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ชูเกียรติ ชูสกุล และ ขวัญชีวา หยงสตาร์.2561.กำลังอัดของมอร์ต้าที่ใช้หินฝุ่นแทนทราย.น.324–332. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย** 10(2) : 324–332(2561)

ประภาส วันทอง และ ประชุม คำพุฒ.การศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยและหินฝุ่น.น.20–25. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี**

ธีระ เทพพรหม.2552.การศึกษากำลังอัดคอนกรีตโดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ กรณีศึกษา หินฝุ่นโรงโม่หิน นราธิวาสโรงโม่หิน.น.28–41. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยนราธิวาสราช นครินทร์**

ณัฐวุฒิ อินทบุตร.การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าผักตบชวา.**การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 11**

จิรวัฒน์ วิมุตติสุขวิริยา.การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ที่ผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวล.น.62–76.**PBRU SCIENCE JOURNAL ปีที่ 18 ฉบับที่ 1**

เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี และ ประชุม คำพุฒ.2550.**รายงานวิจัยการใช้หินฝุ่นแทนทรายในงานคอนกรีตผสมเถ้าลอย.**คณะวิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พวงแก้ว บัวทอง,รวิกานต์ อมฤตเบญจฤทัย และ ดนุพล ตันนโยภาส.2557.สมบัติของมอร์ต้าผสมหินฝุ่นแกรนิตดัดแปร.**วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ** 17(1) ;5–12

สุทธิเทพ รมยเวศม์ และ สุรพิน พรมแดน.2556.**รายงานการวิจัยการศึกษาการนำหินฝุ่นจากโรงโม่หินมาใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรง.**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคภายัพ.

ASTM.1997.ASTM C 33.Standard Specification Concrete Aggregates. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia

ASTM.2001a. ASTM C 128. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Vol. 04.02, Philadelphia.

ASTM.2001c. ASTM C 136. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Vol. 04.02, Philadelphia.

ASTM.2013.ASTM C 109/C 109M–13. Standard Test Method for Compressive Strength of hydraulic cement mortars (using 2–in or [50–mm] cube specimens).Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Vol. 04.01,West Conshohcken.

Lohani,T.K.,Padhi,M.,Dash,K.P.and Jena,S.2012.Optimum utilization of quarry dust as partial replacement of sand in concrete.**International Journal of Applied Science and Engineering Research 1[2]:391–404**

Rai,B.,Kumar,S.and Satish,K.2014.Effect of fly ash on mortar mixes with quarry dust as fine aggregate.**Advances in Materials Science and Engineering** 2014:1–7

การพัฒนาคอนกรีตด้วยมวลรวมเก่านำกลับมาใช้ใหม่

Concrete development with old aggregates reused

ณัฐวุฒิ อินทบุตร[1], สุนิทัศน์ กันเผือก[1*], วรวิช สินปรุใหญ่[1], ปิยบุตร ไชยณรงค์[1] และ อภิโชติ อุฬารตินนท์[1]

Nuttawut Intaboot[1], Sunitat Kanpuek[1*], Worawit Sinpuyai[1], Piyaboot Chainalong[1] and Apichote Urantinon[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาการรับกำลังของคอนกรีตจากมวลรวมเก่านำกลับมาใช้ใหม่ โดยกำหนดวัสดุอัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ และผสมเพิ่มในส่วนของเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนทุบ และเถ้าแกลบดำในอัตราส่วนผสม 10%,20% และ 30% ของปริมาณปูนซีเมนต์ และ หินธรรมชาติ โดยศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมและด้านกายภาพของคอนกรีตเพื่อทดสอบการรับแรงอัด การรับแรงดึง การดูดซึมน้ำ และค่ายุบตัว ของคอนกรีต ผลการทดสอบตัวอย่างที่อายุการบ่ม 28 วันพบว่า คอนกรีตสามารถรับกำลังได้ใกล้เคียงกับการผสมแบบปกติ โดยค่าการดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัดและ กำลังรับแรงดึงใกล้เคียงกับผสมแบบปกติ ซึ่งการเพิ่มเถ้าแกลบในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดมีความพรุนมากขึ้น ทำให้คอนกรีตรับกำลังได้น้อยลงตามมาอีกด้วย

คำสำคัญ: มวลรวมเก่านำกลับมาใช่ใหม่ , การก่อตัวของคอนกรีต , กำลังอัดคอนกรีต

Abstract

The objective of this research is to study the development of concrete's strength from recycled aggregates by determining the mixing rate materials, mortar, sand, stone, water, and mixing in the fraction of concrete debris from demolition and black husk ash at an ingredient rate of 10%, 20% and 30% of the amount of cement and natural stone by studying the engineering and physical properties of concrete to test compressive strength and tensile strength. At the age of 28 days, the test results showed that concrete can receive power far from normal mixing by water absorption, compressive strength and tensile strength similar to normal mixing. Less concrete is also being made.

Keywords: aggregates reused, concrete setting time, strength

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

[1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Yanyao, Samchuk, Suphanburi 72130, Thailand

*,Corresponding author : Sunitat2512@gmail.com

1. บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเศษวัสดุคอนกรีตจากการรื้อถอนมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการเติบโตทาง เศรษฐกิจ การขยายตัวและการเปลี่ยนแปลงของสังคมเมือง ผลที่ตามมา คือ ปัญหาอันเนื่องมาจากกากหรือเศษวัสดุคอนกรีตเป็นส่วนหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อน ปัญหาการใช้ทรัพยากรที่มีอย่างจำกัด ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ ทุกประเทศทั่วโลกต่างก็ ให้ความสำคัญ เมื่อการรื้อถอนทำให้เกิดภาวะดังกล่าว การนำกลับมาใช้ไม่มากหรือน้อยเพื่อช่วยในการรักษาสิ่งแวดล้อม การลดการใช้ หินจากธรรมชาติ ยังสามารถยืดระยะเวลาในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ยาวนาน และยัง ช่วยในการลดต้นทุน ค่าใช้จ่าย ที่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากคอนกรีตรีไซเคิลนั้นมีข้อด้อยบางประการโดยเฉพาะกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผลิตจากคอนกรีตรีไซเคิลรับกำลังได้น้อยกว่า เมื่อนำไปเปรียบเทียบ กับการผลิตคอนกรีตที่ผลิตจากหินจาก ธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้จึง ต้องปรับปรุง และพัฒนาคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล ให้ตรงตามคุณสมบัติทางด้าน วิศวกรรม ทางคอนกรีต [1]

ในการที่จะนำเศษวัสดุจำพวกคอนกรีตเก่านำกลับมาใช้ใหม่นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติและพฤติกรรมของคอนกรีตดังกล่าว ซึ่งที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตร่วมกับเถ้าชานอ้อยบดละเอียด โดยพบว่าเถ้าขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน จะช่วยพัฒนากำลังอัดได้ [2] ซึ่งทำให้ทราบว่าการที่จะนำเศษคอนกรีตที่เหลือใช้จำเป็นจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพโดยการใช้วัสดุประสานจำพวกปอซโซลานมาช่วยเพิ่มคุณภาพของคอนกรีต ทั้งนี้นอกจากเถ้าชานอ้อยที่เป็นวัสดุจำพวกปอซโซลานแล้ว เถ้าแกลบก็เป็นวัสดุจำพวกปอซโซลานอีกด้วยเช่นกัน ซึ่งจากการศึกษาของ สำเริง และปริญญา, 2551 [3] พบว่าเถ้าแกลบมีองค์ประกอบหลักทางเคมีเป็นซิลิกา ซึ่งเมื่อนำมาผสมคอนกรีตจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นการใช้เถ้าแกลบที่แทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบความดันในอัตราส่วนร้อยละ 20 จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด [4] ทั้งนี้ทำให้ทราบว่าการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตโดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตที่มีส่วนผสมจากเศษคอนกรีตเก่าจำเป็นต้องมีการใช้วัสดุจำพวกปอซโซลานมาช่วยในการปรับคุณสมบัติด้วย

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาพัฒนาคอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากเศษคอนกรีตเก่า และใช้เถ้าแกลบซึ่งเป็นวัสดุจำพวกปอซโซลาน มาเป็นส่วนผสมในการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมานั้นได้มีการใช้เศษคอนกรีตเก่าและเถ้าชานอ้อย ดังนั้นงานวิจัยในครั้งจึงมีการประยุกต์ในการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เถ้าแกลบมาช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดังกล่าว เพื่อให้คอนกรีตสามารถถูกพัฒนาจากเศษวัสดุที่เหลือทิ้งสามารถนำไปใช้งานในส่วนต่างๆต่อไปได้

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (OPC)

2. เถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลภายในประเทศไทย ทำการอบแห้งและนำมาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตโดยไม่บดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต

3. ทรายแม่น้ำและคอนกรีตโครงสร้างที่ได้จากการรื้อถอนอาคารเก่าที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวแห้ง การกระจายขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน

4. น้ำประปาที่มีความเป็นกรดด่างในช่วง 6–8

2.2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต

ในการศึกษาการไหลแผ่ของคอนกรีตจากผลของการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ด้วยเถ้าแกลบที่ไม่ได้ผ่านการบดนั้น จะทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตประกอบด้วย การไหลแผ่ หน่วยน้ำหนัก และความสามารถในการต้านทานแรงอัด โดยในการทดลองจะใช้เถ้าแกลบไม่บดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วนร้อยละ CON_0 , 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ตั้งแต่ 2480 – 2640 กก/ม^3 ปูนซีเมนต์และทรายหยาบคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 1

(ก) กลุ่มแรก คือ คอนกรีตที่มีวัสดุผสมแบบปกติปูนซีเมนต์ หินจากธรรมชาติ ทรายจากแม่น้ำ และน้ำที่ใสสะอาด

(ข) กลุ่มที่สอง คือ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเก่าจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าโครงสร้างแทนที่หินจากธรรมชาติทั้งหมดร่วมกับทรายแม่น้ำ และ น้ำที่ใสสะอาดนอกจากนี้ใช้เถ้าแกลบละเอียดเพิ่ม ในอัตราส่วนร้อยละ 10% 20% และ 30% ของปริมาณปูนซีเมนต์

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยค่าดูดซึมน้ำของคอนกรีต

สูตร	ปูนซีเมนต์ (กก/ม^3)	ทราย (กก/ม^3)	หิน (กก/ม^3)	เศษคอนกรีต (กก/ม^3)	เถ้าแกลบ (กก/ม^3)	W/C
Con.	530	750	1200	–	–	0.675
Rc10Ra10	530	750	1080	120	53	0.675
Rc20Ra20	530	750	960	240	106	0.675
Rc30Ra30	530	750	840	360	160	0.675

ทั้งนี้ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตจะไม่นำน้ำที่อยู่ภายในของมวลรวมละเอียดมาคิดในอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน โดยการผสมจะเริ่มจากการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เถ้าแกลบที่ผ่านการอบแห้ง และทราย มาผสมคลุกให้เข้ากัน จากนั้นใส่น้ำตามปริมาณอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ได้ออกแบบไว้แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วทำการใส่เศษคอนกรีตที่ได้เตรียมไว้ คุลกเคล้าให้เข้ากัน ทั้งนี้เมื่อทำการผสมเสร็จก็ดำเนินการนำคอนกรีตที่ได้เตรียมทำการทดสอบการไหลแผ่ เมื่อทำการทดสอบการไหลแผ่เป็นที่เรียบร้อยก็ดำเนินเก็บตัวอย่างในแบบหล่อคอนกรีตขนาด Ø0.15x0.30 เซนติเมตร เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติอื่นๆต่อไป ดังภาพที่ 1



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 1 วัสดุและส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษา

2.3 วิธีการทดสอบ

1. ทดสอบหน่วยน้ำหนักคอนกรีตสด โดยเริ่มจากการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในแบบหล่อคอนกรีตขนาด Ø0.15x0.30 เซนติเมตร ทุกส่วนผสม จากนั้นเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 28 วัน ทำการแกะแบบแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ทำการบันทึกผลแล้วคำนวณตามสมการ

$$\rho = m/v$$

โดยที่ ρ หมายถึงหน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)

m หมายถึงน้ำหนักของคอนกรีต (kg)

v หมายถึงปริมาตรของคอนกรีต (m^3)

2. ทดสอบระยะการไหลแผ่ (Slump flow test) สูงสุดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C1611 หลังจากผสมคอนกรีตเป็นที่เรียบร้อย ดำเนินการนำคอนกรีตบรรจุลงในกรวยทดสอบให้เต็ม ปาดผิวหน้าให้เรียบ จากนั้นทำการยกขึ้นแล้วจับเวลา 5 วินาที วัดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 2 แกนพร้อมหาค่าเฉลี่ย ทำทุกส่วนผสมแล้วบันทึกผลการทดสอบ

3. ทำการทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C39 ที่อายุ 28 วัน ตามลำดับ โดยการทดสอบจะใช้ตัวอย่างละ 3 ก้อน ที่อายุต่างๆกัน ทุกส่วนผสม มาทำการทดสอบกำลังอัด ด้วยเครื่องทดสอบ แล้วทำการบันทึกผลหาค่าเฉลี่ย

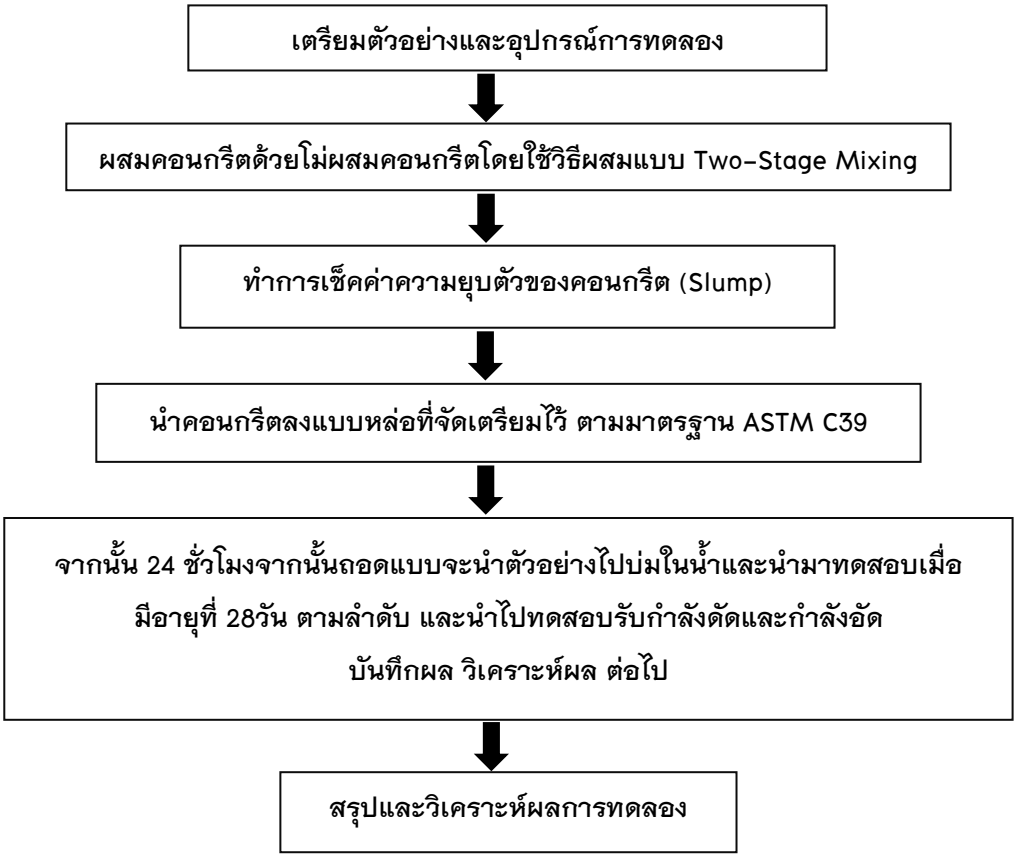
2.4 การทดสอบค่าดูดซึมน้ำ

1. การนำตัวอย่างคอนกรีตมาแช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
2. อบชิ้นทดสอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. คำนวณหาค่าดูดซึมน้ำ

$$\% \text{ การดูดซึมน้ำ} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักหลังอบแห้ง}}\right) x100$$

2.5 การหล่อคอนกรีต

การหล่อคอนกรีตนี้ จะยึดการหล่อตามมาตรฐาน ASTM C192 และASTM C39 เป็นการผสมคอนกรีตด้วยโม่ผสมคอนกรีตโดยจะผสมด้วยวิธี two-stage mixing approach (TSMA) method ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการปรับปรุงคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบโดย มีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การหล่อคอนกรีต

จากภาพขั้นตอนการผสมคอนกรีตโดยวิธี Two-Stage Mixing Approach (TSMA) Methodแสดงถึงขั้นตอนการนำมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดผสมให้เข้ากันในระยะเวลา 60 วินาทีจากนั้นเติมน้ำ 1 : 2 ของน้ำที่ใช้ในการผสม ผสมให้เข้ากันในระยะเวลา 60 วินาทีจากนั้นเติมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมในโม่ระยะเวลา 30 วินาที่เพิ่มน้ำที่เหลือลงไปในการผสมและผสมต่ออีก 120 วินาทีจึงจบขั้นตอนการผสมแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA)

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางกายภาพของวัสดุ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 พบว่ามีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลัก เท่ากับ 65% รองลงมา ได้แก่ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เท่ากับ 21.0% อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เท่ากับ 4.7% ส่วนองค์ประกอบอื่นไม่สูงมากนัก ด้านองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบพบว่า มีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) สูงถึง 93.0% รองลงมาได้แก่โปตัสเซียมออกไซด์ (K_2O) 1.3% และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) 1.1% ตามลำดับ ในขณะที่องค์ประกอบอื่นๆมีปริมาณน้อยเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 2–3 [5] ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพนั้นพบว่า เถ้าแกลบที่ไม่ได้ผ่านการบดจะมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ ซึ่งทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าปูนซีเมนต์ในปริมาตรเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม เถ้าแกลบมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าปูนซีเมนต์ส่งผลให้เถ้าแกลบมีน้ำหนักเบากว่าปูนซีเมนต์ในปริมาตรเดียวกันด้วย ทั้งนี้เถ้าแกลบที่ผ่านการบดและไม่ผ่านการบดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมือนกัน และไม่แตกต่างกันเพราะการปรับปรุงคุณภาพวัสดุปอซโซลานโดยการบดไม่มีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเปลี่ยนไป [3][6][7]

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ และเถ้าแกลบ [5]

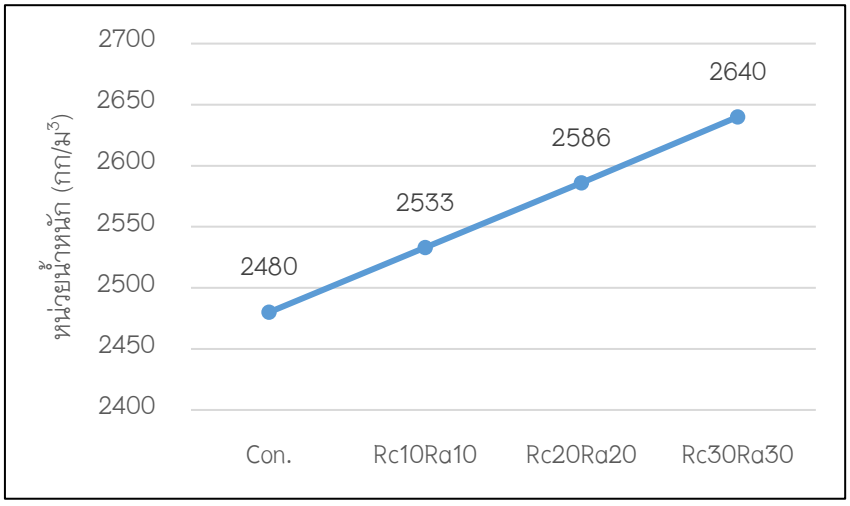
องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์	เถ้าแกลบ
ซิลิคอน ไดออกไซด์ (SiO_2)	21.0	93.0
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	4.70	0.50
ไอออนออกไซด์ (Fe_2O_3)	3.30	0.20
แมงกานีสออกไซด์ (MnO)	0.08	0.13
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.64	0.10
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	65.50	1.10
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.20	0.10
โปตัสเซียมออกไซด์ (K_2O)	0.40	1.30
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	2.70	0.90

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ และเถ้าแกลบ [5]

คุณสมบัติทางกายภาพ (%)	ปูนซีเมนต์	เถ้าแกลบ
พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/kg)	610	370
ความถ่วงจำเพาะ	3.20	2.24
การสูญเสียน้ำหนักจากการการเผาไหม้ (%)	1.70	1.27
อนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตร (μm)	23.32	39.34

3.2 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

จากการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบมากขึ้น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เท่าเดิม ทำให้หน่วยน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ดังภาพที่ 3

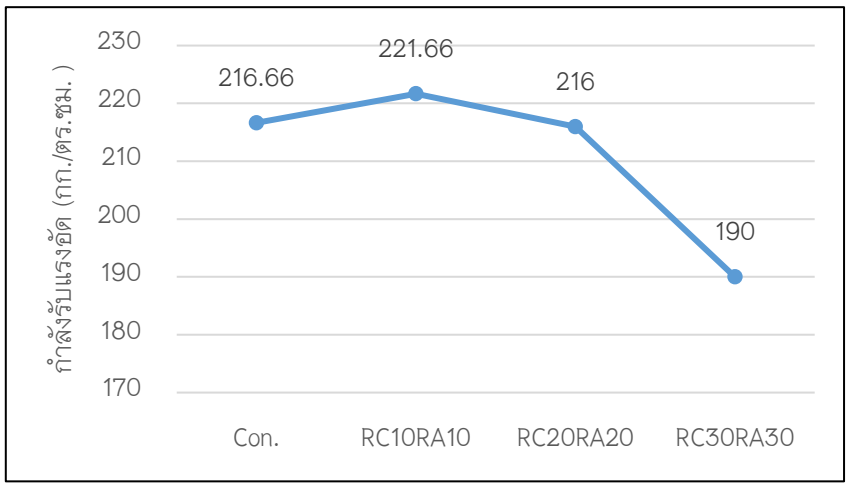


3.3 ความสามารถในการรับแรงอัด

ในการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดจะทำการทดสอบในคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ในแบบหล่อคอนกรีตขนาด Ø0.15x0.30 เซนติเมตร ผลการทดสอบ พบว่าการรับแรงอัดของคอนกรีตควบคุม (Con.) จะมีค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 216.66 กก./ตร.ซม. โดยคอนกรีตในส่วนผสมสูตรอื่นๆ มีค่ากำลังดังนี้ RC10RA10 มีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 221.66 กก./ตร.ซม. ซึ่งเป็น สูตรที่มีค่ารับแรงอัดสูงสุด RC20RA20 มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 216 กก./ตร.ซม.RC30RA30 มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 190 กก./ตร.ซม. ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5



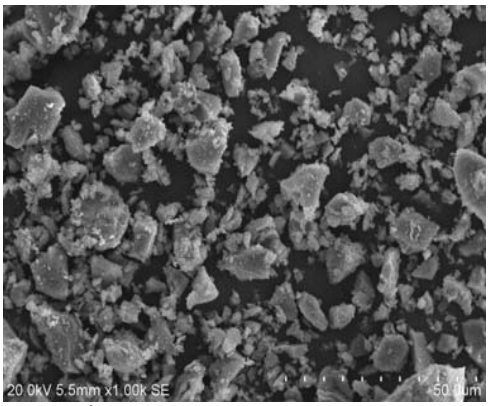
ภาพที่ 4 ทำการทดสอบหาค่าการรับแรงอัด



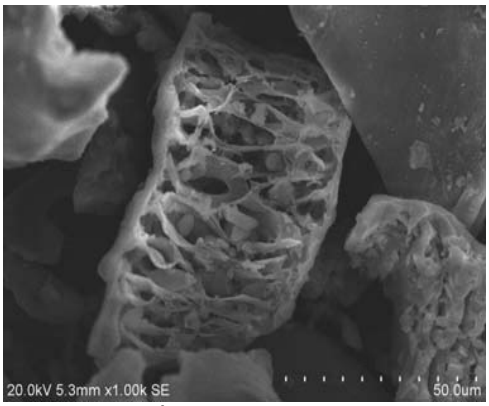
ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

จากภาพที่ 5 จะสังเกตว่า การเพิ่มเถ้าแกลบในปริมาณที่สูงขึ้นเกินกว่า 10% ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง และเมื่อปริมาณเถ้าแกลบสูงเกินกว่า 20% ค่ากำลังรับแรงอัดจะต่ำกว่าสูตรควบคุม เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่ของเถ้าแกลบที่ผสมอยู่ในคอนกรีต ทำให้มีความต้องการน้ำในการผสมสูงขึ้น ปริมาณน้ำที่มากนี้ทำให้เกิดน้ำส่วนเกินจากการทำปฏิกิริยา น้ำส่วนเกินนี้จะกระจายอยู่ในรูปของโพรง ส่งผลให้คอนกรีตมีความพรุนสูงและกำลังอัดลดลง [4] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ รัฐพล และ ชัย [8] ที่ทำการศึกษาการปรับปรุงการรับกำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้วัสดุเชื่อมประสานที่บดละเอียด พบว่าถ้าคอนกรีตมีความพรุนสูง จะส่งผลกำลังของคอนกรีต และยิ่งมีการเพิ่มวัสดุเชื่อมประสานในปริมาณที่มากขึ้น ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์หายไป ทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาต่ำลง ส่งผลให้ปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นลดลงตามไปด้วย จึงทำให้กำลังอัดที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลานไม่เพียงพอที่จะชดเชยกำลังอัดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ที่หายไป ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุเชื่อมประสานในปริมาณสูงมีค่าต่ำนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มเถ้าแกลบในปริมาณที่เหมาะสม ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานจะมีส่วนช่วยให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัดได้ดีขึ้น

ทั้งนี้การใช้วัสดุเชื่อมประสานที่ทำการบดละเอียดสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับกำลังของคอนกรีตได้ เพราะเนื่องจากวัสดุเชื่อมประสานที่บดละเอียดนี้จะไปแทรกซึมอุดรูพรุนของคอนกรีตทำให้คอนกรีตเกิดการอัดแน่น ลดช่องว่างส่งผลให้มีค่ากำลังอัดที่สูงขึ้น [9] ดังนั้นการใช้เถ้าแกลบที่ไม่บดมาเป็นส่วนผสมทดแทนปูนซีเมนต์จะส่งผลโดยตรงต่อ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เพราะเถ้าแกลบที่ไม่บดมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ เกิดช่องว่าง มีความพรุนสูง และมีในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้คอนกรีตมีแนวโน้มเกิดการแยกตัวได้มากขึ้น [5] โดยภาพขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดังแสดงในภาพที่ 6–7



ภาพที่ 6 อนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [5]



ภาพที่ 7 อนุภาคของเถ้าแกลบ [5]

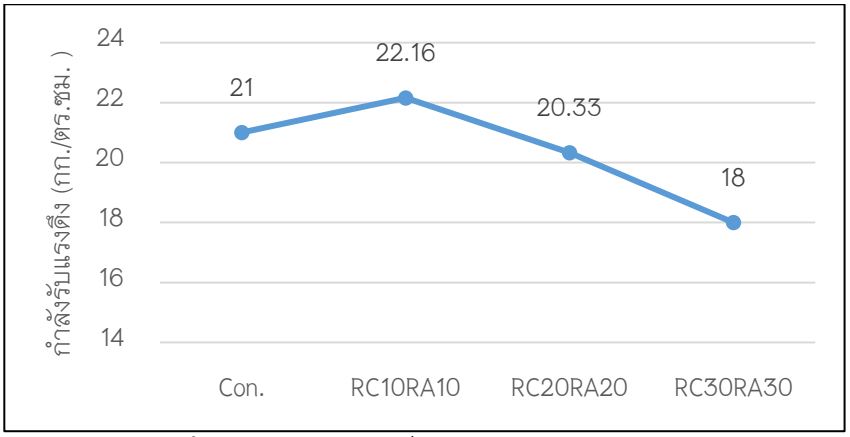
ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การเพิ่มเถ้าแกลบบดละเอียด ตามสูตร RC10RA10 จะมีกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น ถ้าสูตร RC20RA20 และ RC30RA30 จะมีกำลังอัดลดลง ตามอัตราส่วนของเถ้าแกลบ ถ้าเถ้าแกลบมีประมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังอัดลดลง ดังนั้นการเพิ่มของเถ้าแกลบในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้กำลังอัด มีค่าใกล้เคียงกับสูตรปกติ

3.4 ผลการคอนกรีตทดสอบกำลังรับแรงดึงของ

การทดสอบคอนกรีต ในอัตราส่วนผสมในส่วนที่ 1 และอัตราส่วนผสมในส่วนที่ 2 ทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงดึง หาค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ 28 วัน ดังภาพที่ 8 และภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดึง

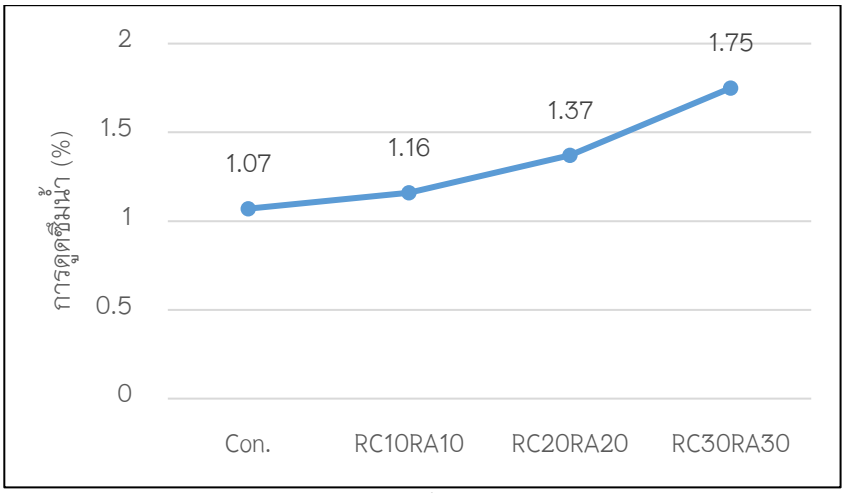


ภาพที่ 9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การเพิ่มเถ้าแกลบบดละเอียด ตามสูตร RC10RA10 RC20RA20 และ RC30RA30 จะมีกำลังดึงลดลง ตามอัตราส่วนของเถ้าแกลบ ถ้าเถ้าแกลบมีประมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงดึงลดลง ดังนั้นการเพิ่มของเถ้าแกลบในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้กำลังรับแรงดึง มีค่าใกล้เคียงกับสูตรปกติ

3.5 ผลทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบคอนกรีต ในอัตราส่วนผสมในส่วนที่ 1 และอัตราส่วนผสมในส่วนที่ 2 ทำการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 กราฟค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ

จากภาพที่ 10 พบว่า การเพิ่มเถ้าแกลบบดละเอียด ตามสูตร RC10RA10 RC20RA20 และ RC30RA30 จะดูดซึมน้ำดีขึ้น ตามอัตราส่วนของเถ้าแกลบ เนื่องจากเถ้าแกลบเป็นวัสดุที่พื้นผิวมีความพรุนสูง ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อคอนกรีตมีส่วนผสมของเถ้าแกลบจะทำให้คอนกรีตมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงขึ้นตามปริมาณที่เถ้าแกลบเพิ่มขึ้นไปด้วย

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษา การพัฒนาคอนกรีตจากมวลรวมเก่านำกลับมาใช้ใหม่ และใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุในการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต ทำให้เราทราบว่าคุณภาพของคอนกรีตในส่วนของความสามารถในการรับแรงอัด ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักของคอนกรีตนั้นจะดีขึ้นเมื่อมีการใช้เถ้าแกลบในสัดส่วนที่เหมาะสมในปริมาณไม่เกิน 20% เพราะความสามารถในการับแรงอัดมีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุม (Con.) แต่ถ้าเพิ่มเข้าไปในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง ทั้งนี้การที่จะพัฒนาความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเศษวัสดุเก่าควรจะต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติความพรุนของคอนกรีต โดยการเติมวัสดุเชื่อมประสาน เพื่อลดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้ความพรุนลดลง ความสามารถในการรับแรงอัดเพิ่มขึ้น

การเพิ่มเถ้าแกลบเข้าไปส่งผลช่วยให้คอนกรีตเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน จากคุณสมบัติองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ ซึ่งจะมีส่วนช่วยให้คอนกรีตมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น และเมื่อเพิ่มเถ้าแกลบจะทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และมีค่าการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากการก่อสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งเศษคอนกรีตเก่ามาใช้ในการผลิตคอนกรีตเพื่อลดการใช้หินจากธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลนั้น ก็จำเป็นต้องคัดเลือกและทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวมเสียก่อน เพื่อให้ประสิทธิภาพของคอนกรีตที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานและสามารถนำไปใช้งานได้จริง อีกทั้งยังสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของคอนกรีตจากส่วนผสมของเศษวัสดุเก่าให้ดีขึ้นได้ด้วยเทคนิคต่างๆดังที่กล่าวมาแล้ว และในการก่อสร้างบางประเภทไม่จำเป็นที่จะต้องใช้คอนกรีตที่มีกำลังสูงมากนัก เช่น บ้าน อาคารขนาดเล็ก ถนน หรือคอนกรีตหยาบ (Lean concrete) เป็นต้น นั้นสามารถนำเศษวัสดุที่เหลือทิ้งดังผลการศึกษานี้ มาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตได้ เพื่อลดการใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติ และเป็นการลดของเสียจากการก่อสร้าง อีกทั้งเป็นการช่วยมลภาวะจากขยะก่อสร้างให้กับสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิที่สนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมโยธา และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนในการนำเสนองานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

Department of Primary Industries and Mines. Report on mineral consumption of Thailand in 2558 [Online] Available: http://www7.dpim.go.th/stat/consumption.php

ปกป้อง รัตนชู, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2559). สมบัติทางกลของคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตเป็นส่วนผสมร่วมกับเถ้าชานอ้อยบดละเอียด. **วาสารสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย,** ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, หน้า 36-48.

สำเริง รักซ้อน และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2551). การใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตเกษตรกรรมในงานคอนกรีต. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร,** ปีที่ 3, ฉบับที่ 1. หน้า 49-55.

สุชีพ ศรีชู และ จตุพล ตั้งปกาศิต. (2559). ผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อคุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบอัดความ**ดัน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี.** ปีที่ 14, ฉบับที่ 2. หน้า 55-67.

กฤษดา เสือเอี่ยม และ ณัฏฐ์ มากุล (2556). สมบัติของคอนกรีตชนิดอัดแน่นตัวได้ผสมเถ้าแกลบไม่บดปริมาณสูง. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา,** ปีที่ 24, ฉบับที่ 4, หน้า 20-27.

วรวิช สินปรุใหญ่ และ ปิยบุตร ไชยณรงค์. การพัฒนาคอนกรีตด้วยมวลรวมเก่านำกลับมาใช้ใหม่. **โครงงานวิศวกรรมโยธา**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 2565.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ เพิ่มพล ศรีนวล (2555). การศึกษาสมบัติของมอร์ต้าร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 5 ผสมเถ้าแกลบบดและผงหินปูน**. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ**, ปีที่ 35, ฉบับที่ 2, หน้า 201-218.

รัฐพล สมนา และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2554).การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำและความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ,** ปีที่ 34, ฉบับที่ 4, หน้า 369-318.

พงษ์ศักดิ์ จิตตบุตร, สุปรีดิ์ พินิจสุนทร และ ปริญญา จินดาประเสริฐ (2557). การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและการนำความร้อนของซีเมนต์เพสต์ผสมนาโนซิลิกา. **วารสาร มทร.อีสาน**, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, หน้า 1-15.

การวิเคราะห์ความทนต่อการสึกหรอของหินโรยทางรถไฟจากสัณฐานวิทยา: การศึกษาเบื้องต้นโดยข้อมูลภาพแบบ 3 มิติ

Analysis of ballast morphology on abrasion resistance: A preliminary study using 3D scanner

ชัยณรงค์ ทรงสิริวงศ์[1*], พุทธิกร ธัมมรักษ์[1], ปาลินี สุมิตรสวรรค์[1], กฤษดา ธนะวงศ์[2] และ สุริยาวุธ ประอ้าย[2]

Chainarong Songsiriwong[1*], Phuttigon Dhammarak[1], Palinee Sumitsawan[1], Krisdha Thanawong[2] and Suriyavut Pra-ai[2]

บทคัดย่อ

หินโรยทางรถไฟ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของโครงสร้างทางรถไฟ ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรงและคงทน มีความเป็นเหลี่ยมมุมและสามารถระบายน้ำได้ดี เมื่อผ่านการใช้งานช่วงเวลาหนึ่ง หินโรยทางรถไฟจะเกิดการเสื่อมสภาพ เกิดการแตกหักของอนุภาคหินโรยทาง, เสียรูป, ความเป็นเหลี่ยมมุมลดลงและมีลักษณะโค้งมนมากขึ้น รวมถึงมีการปนเปื้อนด้วยวัสดุอนุภาคเล็ก ซึ่งจะก่อให้เกิดการลดลงของเสถียรภาพโครงสร้างทางรถไฟ บทความนี้จะนำเสนอผลการศึกษาบางส่วนจากชุดการทดสอบกำลังและความต้านทานการขัดสีในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องมือการทดสอบความทนต่อการสึกหรอ (Los Angeles Abrasion, LAA) โดยพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากความชื้น (นั่นคือตัวอย่างจะถูกทดสอบในสภาวะแห้งและอิ่มตัวด้วยน้ำ) จากกผลการทดสอบโดยข้อมูลภาพแบบ 3 มิติ พบว่าปริมาณความชื้นในหินโรยทางมีผลต่อความแข็งแรงอย่างเห็นได้ชัด โดยตัวอย่างแบบแห้งจะมีการสึกหรอโดยน้ำหนักสำหรับหินโรยทางที่ค้างบนตะแกรงที่มีช่องเปิดขนาด 1” และ 1.5” อยู่ที่ร้อยละ 5.12 และ 5.77 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างแบบเปียกจะพบว่ามีการสึกอยู่ที่ 12.44 และ 26.93 ตามลำดับ ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินความสามารถกำลังรับแรงเฉือนของหินโรยทางต่อไป

คำสำคัญ: หินโรยทางรถไฟ, เครื่องมือทดสอบ, การสึกหรอ, ข้อมูลภาพแบบ 3 มิติ

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Phayao, Phayao, 56000

[2]หน่วยวิจัยชลศาสตร์, เทคโนโลยีธรณีและภูมิสารสนเทศระยะไกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2]RS2GH Research Unit, School of Engineering, University of Phayao, Phayao, 56000

*Corresponding author : 66103365@up.ac.th

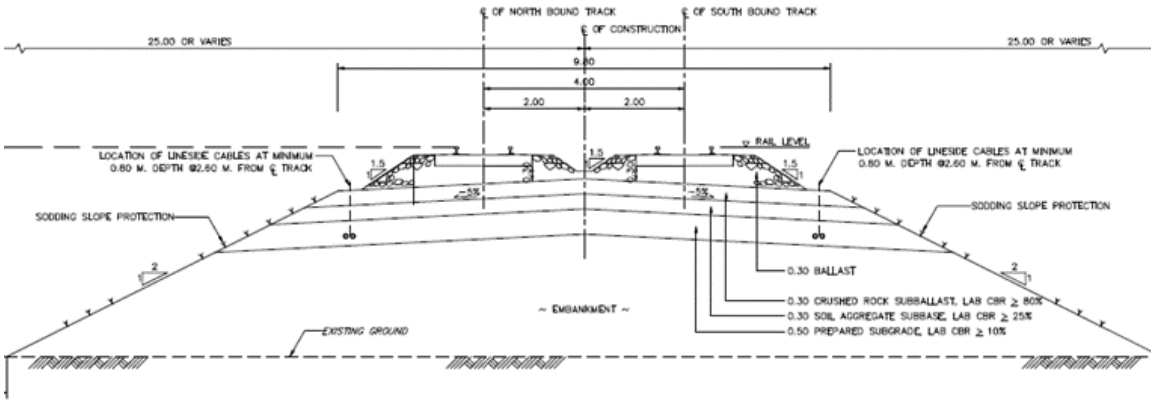
Abstract

The ballast layer plays a pivotal role in railway substructure, necessitating characteristics such as hardness, angularity, durability, and efficient drainage. Over time, however, ballast tracks undergo degradation, resulting in the fragmentation of particles, diminished angularity, and a shift towards a more rounded shape. This deterioration ultimately leads to excessive settlement within the railway structure. This article presents a series of comprehensive laboratory tests focusing on the abrasion resistance of ballast, utilizing a Los Angeles Abrasion (LAA) device. The influence of water content was taken into account, with tests conducted under both dry and water–saturated conditions. The results from 3D scanner revealed an impact of saturation on sample abrasion. Dry samples exhibited volume abrasion for particles retained on sieves with 1" and 1.5" openings, measuring 5.12% and 5.77%, respectively. In contrast, wet samples exhibited considerably higher volume abrasion, with measurement of 12.44% and 26.93%, respectively. These findings provide a fundamental understanding of the impact of water content on ballast abrasion resistance. They serve as a vital reference point for further assessments of the shear strength of ballast in railway engineering.

Keywords: Ballast, Los Angeles Abrasion device, Abrasion, 3D scanner

บทนำ

หินโรยทางรถไฟ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของโครงสร้างทางรถไฟ (ดูรูปที่ 1 ประกอบ) ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรงและคงทน มีความเป็นเหลี่ยมมุมและสามารถระบายน้ำได้ดี โดยทั่วไปอนุภาคของหินโรยทางจะมีขนาดเฉลี่ย 20 – 65 mm ปัญหาหลักของโครงสร้างทางรถไฟแบบทั่วไปคือการเสื่อมสภาพทางเรขาคณิต ซึ่งส่วนใหญ่มักจะส่งผลต่อการทรุดตัวของโครงสร้างทางรถไฟ การทรุดตัวที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากการเสียรูปอย่างถาวรของชั้นหินโรยทางเป็นหลัก (ยกตัวอย่างเช่น การอัดตัวการขยายตัว การบิดเบี้ยวและการเสื่อมสภาพ) การเสื่อมสภาพของชั้นหินโรยทางจากการใช้งานเนื่องจากขบวนรถไฟที่วิ่งไปมาตลอดระยะอายุการใช้งาน หรือแม้แต่กระทั่งกระบวนการบำรุงรักษาชั้นหินโรยทาง [1] ทำให้นักวิจัยมีความสนใจในการที่จะศึกษาการเสื่อมสภาพของชั้นหินโรยทางดังกล่าวเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงหรือเสริมกำลังเพื่อยืดอายุการใช้งาน อย่างไรก็ตามผลการศึกษาบางประเด็นยังคงเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ ยกตัวอย่างเช่น ผลกระทบของรูปร่างและขนาดของหินโรยทางต่อการเสื่อมสภาพและการเสียรูป [2–5] จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ารูปร่างและความหยาบของอนุภาคหินโรยทางมีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงเฉือน และเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคที่โค้งมน อนุภาคที่มีความเป็นเหลี่ยมมีผลทำให้การเสียรูปถาวรน้อยลง [1, 4] อย่างไรก็ตามความเป็นมุมของอนุภาคที่สูงขึ้นนั้นจะสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความเครียดในการแตกหักและความแข็งแรงของหินโรยทางจะมีค่าลดลง การศึกษาอื่นๆที่เกี่ยวกับรูปร่างของหินโรยทางแสดงให้เห็นว่าอนุภาคที่มีรูปร่างเป็นแผ่นหรือมีรูปร่างยาวจะมีกำลังรับแรงเฉือนได้ดีมากขึ้นและจะช่วยลดการทรุดตัว [5]



รูปที่ 1 ตัวอย่างของรูปแบบหน้าตัดของชั้น Substructure

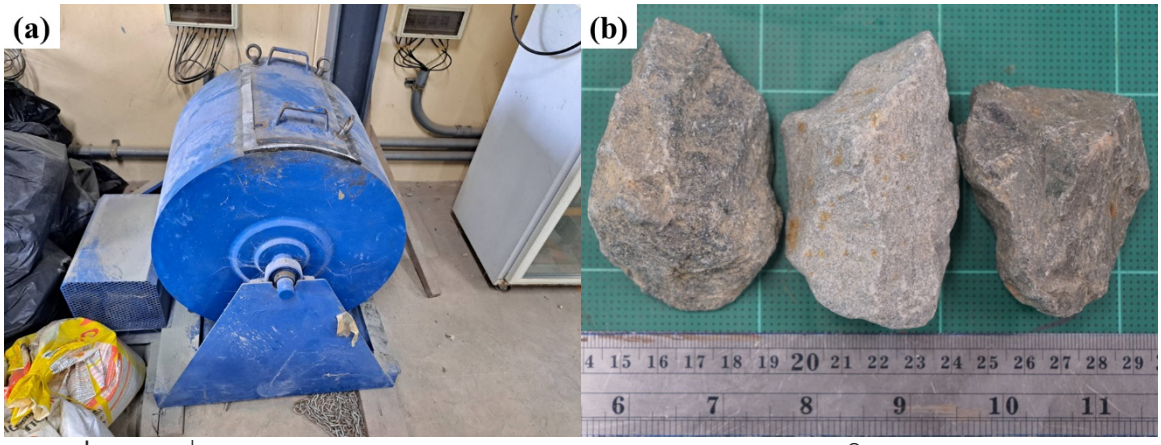
ของโครงการก่อสร้างรถไฟรางคู่เส้นทางเด่นชัย–เชียงราย–เชียงของ

โดยทั่วไปเครื่องทดสอบลอสแองเจลีส (Los Angeles Abrasion, LAA) จะถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาความต้านทานการสึกหรอของหิน รวมถึงหินย่อย กรวดย่อย กรวดและวัสดุมวลรวมหยาบ (coarse aggregates) เพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของหินในการต้านทานการศึกหรอและการกระแทก [5, 7–9] แม้ว่าการทดสอบ LAA อาจจะไม่สามารถจำลองผลกระทบของสภาวะการรับแรงในทางสภาพจริงได้อย่างสมบูรณ์ [10] แต่อย่างไรก็ตามผลของการทดสอบ LAA มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบแบบกระแทกของหินโรยทางที่บรรจุในกล่อง [11–12]

ปัจจุบันนี้การศึกษาการเสื่อมสภาพของหินโรยทางได้มีการศึกษาโดยพิจารณาจากระบบภาพดิจิทัลหรือภาพเอ็กซ์เรย์โดยนักวิจัยหลายๆท่าน ทำให้สามารถประเมินการสึกหรอได้ถูกต้อง [5, 8–9] อย่างไรก็ตามการพิจารณาผลกระทบของตัวอย่างที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำยังคงพบเห็นไม่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของหินโรยทางที่มีแหล่งกำเนิดในประเทศไทย [8–9] บทความนี้จะเป็นการนำเสนอการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ความทนต่อการสึกหรอของหินโรยทางรถไฟ โดยที่จะพิจารณาจากสัณฐานวิทยาโดยใช้ข้อมูลภาพที่ได้จากการบันทึกด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ ทั้งนี้บทความนี้จะเป็นการพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากความชื้นต่อการทนการสึกหรอของหินโรยทาง ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ครั้งนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินความสามารถกำลังรับแรงเฉือนของหินโรยทางต่อไป

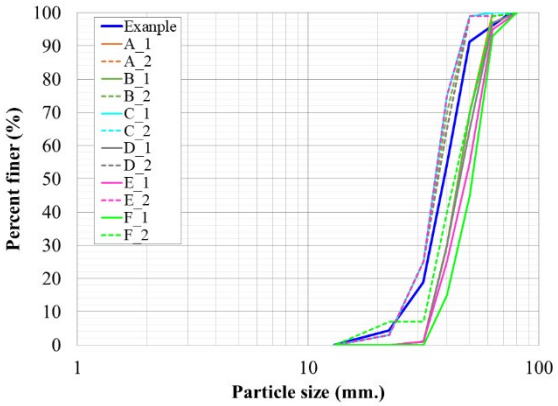
เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

โดยทั่วไปเครื่องมือทดสอบหาความสึกหรอ (Los Angeles Abrasion, LAA) จะใช้สำหรับหาค่าความต้านทาน การย่อยสลายเมื่อถูกขัดถู ขัดสีของหิน กรวดและวัสดุมวลรวมหยาบ (coarse aggregates) โดยเครื่องมือทดสอบจะประกอบไปด้วยถังเหล็กรูปทรงกระบอกวางทางนอนปิดหัวท้ายทั้งสองด้าน ตามมาตรฐาน ASTM C131, C535 (รูปที่ 2a) ในการทดสอบจะมีลูกเหล็กทรงกลม (abrasive charge) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 46.8 mm จำนวน 12 ลูก น้ำหนักรวม 5000 g รวมอยู่ในถังเหล็กรวมกับหินโรยทาง เครื่องมือ 3D scanner ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นรุ่น ArtecEva ซึ่งเป็นเครื่องสแกนที่สามารถจับภาพวัตถุที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก มีความแม่นยำของจุด 3D เท่ากับ 0.1 mm มีระยะการทำงาน 0.4–1 m และระยะการจับปริมาตร 61,000 cm^3 โดยภาพที่บันทึกได้จะมีการประมวลผลด้วยโปรแกรม Artec Studio 17

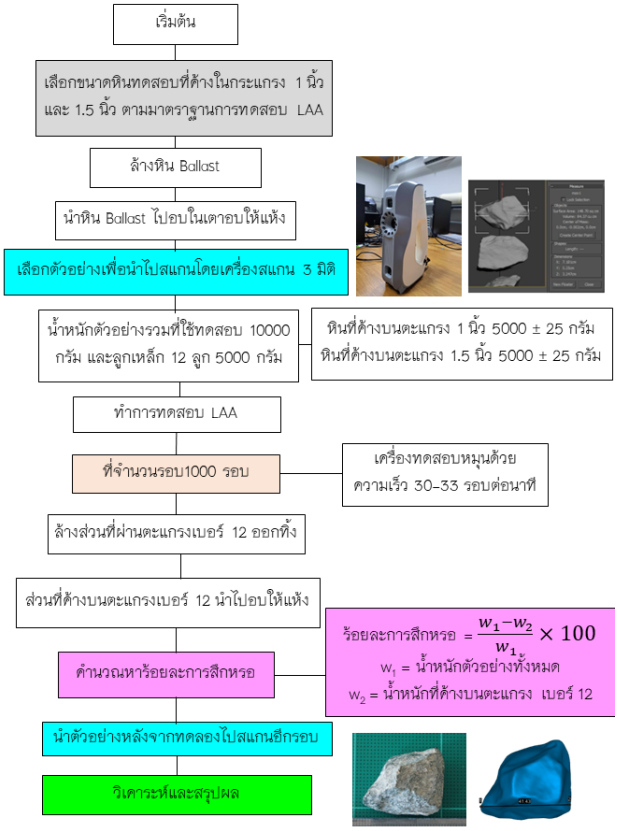


รูปที่ 2 (a) เครื่องมือทดสอบ Los Angeles Abrasion (LAA); (b) ตัวอย่างของหินโรยทางจากจังหวัดอุตรดิตถ์

สำหรับหินโรยทางที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มาจากตำบลท่าอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ เมื่อพิจารณาโครงสร้างธรณีวิทยาในพื้นที่ของแหล่งที่มาหินโรยทางจะพบว่าส่วนใหญ่เป็นหินอัคนีชนิดกรด (พวกหินแกรนิต) [13] ลักษณะสัณฐานวิทยามีความเป็นมุม (angular) ดังแสดงในรูปที่ 2b ในขณะที่ขนาดคละของหินโรยทางสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยจะพบว่าหินโรยทางตัวอย่างอยู่ในเกณฑ์ที่ถูกระบุสำหรับหินโรยทางรถไฟที่ใช้สำหรับก่อสร้างในประเทศไทย [14] หินตัวอย่างจะถูกนำมาล้างให้สะอาดแล้วอบให้แห้ง หลังจากนั้นหินโรยทางจะถูกนำมาบรรจุใส่ในเครื่องมือ LAA ความเร็วสำหรับการหมุนจะถูกกำหนดที่ 30–33 รอบต่อนาที โดยกำหนดจำนวนรอบที่ 1000 รอบ รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและวิธีดำเนินการสำหรับตัวอย่างแบบแห้ง ในกรณีที่จะศึกษาอิทธิพลของความชื้นต่อการคงทนต่อการสึกหรอ หินตัวอย่างจะถูกนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้แน่ใจว่าหินตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ หลังจากนั้นกระบวนการจะเหมือนกับการทดสอบแบบแห้ง



รูปที่ 3 ขนาดคละของหินโรยทางตัวอย่างที่ได้มาจากจังหวัดอุตรดิตถ์เมื่อเทียบกับเกณฑ์สำหรับหินโรยทางที่ใช้ก่อสร้างในประเทศไทย



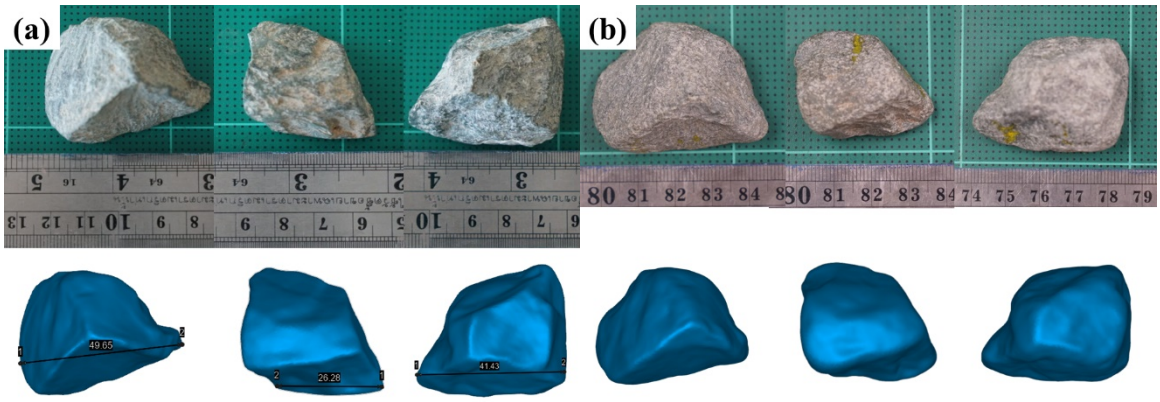
รูปที่ 4 ขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและวิธีดำเนินการการทดสอบหาความคงทนต่อการสึกหรอของหินโรยทางโดยวิธี LAA และเครื่องมือ 3D Scanner

ผลการศึกษา

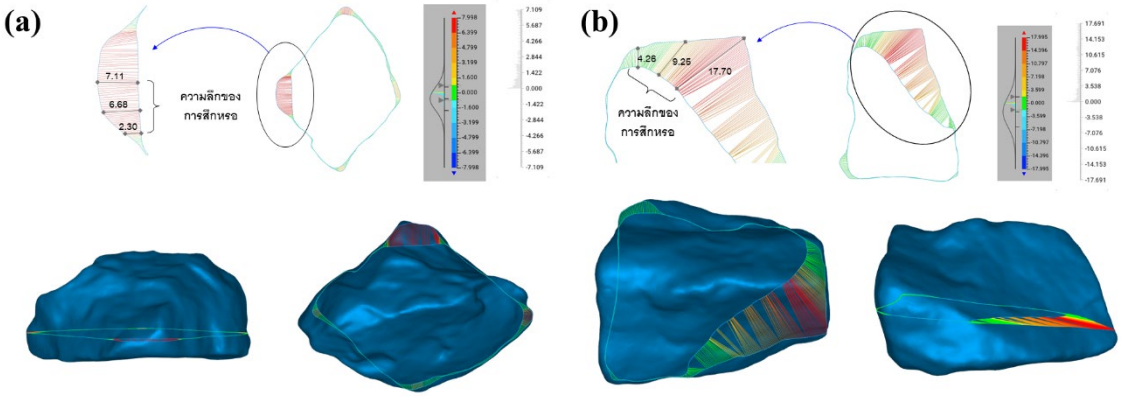
เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปร่างหินโรยทางต่อการสึกหรอจากการทดสอบ LAA อนุภาคหินโรยทางบางส่วนจะถูกสแกนเพื่อการวิเคราะห์ในภายหลังโดยใช้เครื่องสแกน อนุภาคหินโรยทางที่สแกน ซึ่งเลือกจากช่วงขนาดที่แตกต่างกัน 3 ช่วง มีลักษณะรูปร่างเป็นแผ่นหรือเรียวยาว (flaky or elongated particle) และเป็นลูกบาศก์ (cube) เพื่อให้แยกแยะจากอนุภาคหินโรยทางที่ไม่ได้สแกน จะมีการทำเครื่องหมายไว้ที่หินโรยทาง (รูปที่ 5a) หลังจากผ่านการทดสอบโดยเครื่องมือ LAA ที่จำนวน 1000 รอบที่ความเร็วรอบ 30-33 รอบต่อนาที อนุภาคของหินโรยทางจะมีการสึกหรอหรือความเป็นมุมจะลดลงและเมื่อทำการสแกนอนุภาคตัวอย่างจะได้ดังรูปที่ 5b เมื่อพิจารณาปริมาณการสึกหรอสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$Loss \quad (\%) \quad = \quad \frac{W_0 - W_i}{W_0} \times 100 \qquad (1)$$

โดยที่ W_0 คือน้ำตัวอย่างทั้งหมด และ W_i คือน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12 และเมื่อพิจารณาปริมาตรการสึกหรอจากผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องสแกนจะพบว่าปริมาตรการสึกหรอจากการทดสอบแบบเปียกมีค่ามากกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับการทดสอบแบบแห้ง (รูปที่ 6) และจากการวิเคราะห์โดยเครื่องสแกนทำให้สามารถคำนวณหาการสึกหรอเชิงปริมาตรได้ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 และสิ่งที่เห็นได้ชัดจากการทดสอบแบบเปียกนั่นคืออนุภาคมีความเปราะทั้งนี้จะเห็นได้ว่าอนุภาคที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะเกิดการแตกหักหลังจากผ่านการทดสอบ LAA ดังแสดงในรูปที่ 7



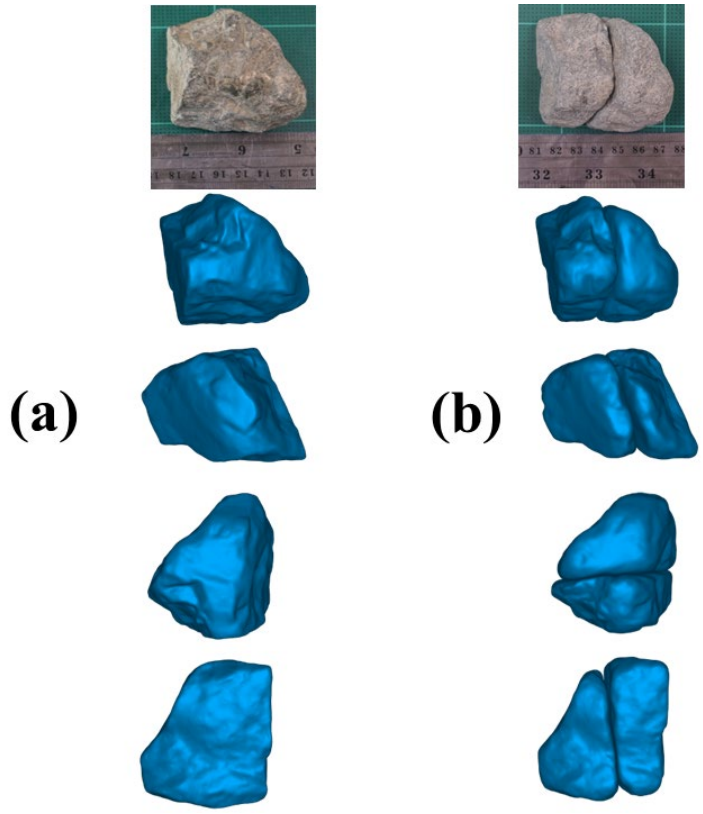
รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพของอนุภาคของหินโรยทาง (a) ก่อนการทดสอบแบบแห้ง; (b) หลังการทดสอบแบบแห้ง



รูปที่ 6 ตัวอย่างการวิเคราะห์การสึกหรอเชิงปริมาตร (a) การทดสอบแบบแห้ง; (b) การทดสอบแบบเปียก

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์การสึกหรอเชิงปริมาตรจากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Artec Studio 17

			ก่อนการทดสอบ		หลังการทดสอบ			
ชนิดการทดสอบ	ขนาดผ่านตะแกรง	ตัวอย่าง	Surface area (mm^2)	Volume (mm^3)	Surface area (mm^2)	Volume (mm^3)	Volumetric Abrasion (%)	Average
แบบแห้ง	1”	1	4320.82	19175.89	3952.02	18018.91	6.0335	5.1181
		2	3016.32	11411.45	2807.82	10802.18	5.3391	
		3	4560.13	22410.33	4248.59	21464.11	4.2222	
	1.5”	1	8955.38	55555.13	8561.05	54390.33	2.0967	5.7910
		2	6911.08	37689.13	6093.12	34307.27	8.9730	
		3	8525.71	50751.69	7583.44	46959.54	7.4720	
แบบเปียก	1”	1	4563.12	19335.6	3458.82	14745.36	23.7398	12.446
		2	3506.04	13496.09	3243.05	12990.81	3.7439	
		3	4173.54	18170.1	3739.74	16918.16	6.8901	
	1.5”	1	8141.38	47435.02	8333.24	40973.34	13.6222	26.923
		2	7498.31	42152.14	5634.82	27964.06	33.6592	
		3	10292.09	74706.13	12548.14	51108.44	31.5874	



รูปที่ 7 ลักษณะของการแตกหักจากตัวอย่างแบบเปียก
(a) ตัวอย่างก่อนการทดสอบ (b) ตัวอย่างหลังการทดสอบ LAA

สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาครั้ง เป็นการนำเสนอการศึกษาจากชุดการทดสอบกำลังและความต้านทานการขัดสีในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องมือการทดสอบความทนต่อการสึกหรอ (Los Angeles Abrasion, LAA) ของหินโรยทางที่นำมาจากจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากความชื้น ตัวอย่างถูกทดสอบในสภาวะแห้งและอิ่มตัวด้วยน้ำ จากกผลการทดสอบโดยข้อมูลภาพแบบ 3 มิติโดยโปรแกรม Artec Studio 17 จากการทดสอบในครั้งนี้พบว่าปริมาณความชื้นในหินโรยทางมีผลต่อความแข็งแรงและการต้านทานการสึกหรออย่างเห็นได้ชัด โดยตัวอย่างแบบเปียกจะมีการแตกเปราะและมีการสึกหรอหลังจากผ่านการทดสอบ LAA ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินความสามารถกำลังรับแรงเฉือนของหินโรยทางต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยพะเยาที่สำหรับทุนสนับสนุนในการทำวิจัยและขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่ห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์สำหรับความเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ 3D scanner

เอกสารอ้างอิง

Sun QD, Indraratna B, Nimbalkar S. (2015) Deformation and degradation mechanisms of railway ballast under high frequency cyclic loading, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 142(1), 04015056.

Ngo NT, Indraratna B. (2016) Improved performance of rail track substructure using synthetic inclusions: experimental and numerical investigations, International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. 2(3), 24.

Kabo E (2006) A numerical study of the lateral ballast resistance in railway tracks, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 220(4), 425–433

Huang H, Tutumluer E, Dombrow W. (2009). Laboratory characterization of fouled railroad ballast behavior, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2117, 93–101.

Guo Y, Markine V, Song J, Jing G. (2018). Ballast degradation: Effect of particle size and shape using Los Angeles Abrasion test and image analysis. Construction and Building Materials, 169, 414–424. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.170

Ionescu E. (2004) Evaluation of the engineering behaviour of railway ballast. PhD thesis. University of Wollongong.

Qian Y, Boler H, Moaveni M, Tutumluer E, Hashash Y, Ghaboussi J. (2014) Characterizing ballast degradation through Los Angeles Abrasion test and image analysis. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board.

Kwunjai S, Somsri T, Jitsangiam P, Binaree T, Qian Y, Jing G. (2023) Characterization of deteriorated railway ballast morphological changes using 3D scanning and supervised machine learning data analytics. Construction and Building Materials. 398, 132445

Varuntanya K, Kwunjai S, Binaree T, Jitsangiam P, Jing G, Aela P. (2023) Laboratory investigation of railway–used ballast morphology using 3D imaging data analyses. Case studies in Construction Materials. 19, e02272

Moaveni M, Qian Y, Qamhia IIA, Tutumluer E, Basye C, Li D. (2016) Morphological Characterization of Railroad Ballast Degradation Trends in the Field and Laboratory, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2545, 89–99.

Lim WL. (2004), Mechanics of railway ballast behaviour, PhD thesis. University of Nottingham, 2004

McDowell GR, Lim WL, Collop AC, Armitage R, Thom NH. (2005) Laboratory simulation of train loading and tamping on ballast, Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Transport, Thomas Telford Ltd, 2005, pp. 89–95

กรมทรัพยากรธรณี (2551) การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดอุตรดิตถ์.

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (2561) มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ

โครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรุนที่มีการจ่ายอากาศเป็นขั้น

Temperature Structure inside a Porous Media Burner with Staged Air Supply

กาญจนา วรรณญาติ[1] ทรงสุภา พุ่มชุมพล[1] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา[1] และ อภินันต์ นามเขต[1*]
Kanjana Wannayat[1], Songsupa Pumchumpol[1], Umphisak Teeboonma[1] and Apinunt Namkhat[1*]

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรุนที่มีการจ่ายอากาศเป็นขั้น หัวเผาถูกติดตั้งด้วยวัสดุพรุนที่ทำมาจากเม็ดหินอะลูมินาเพื่อช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นทั้งสามโหมดในเวลาเดียวกัน คือการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี วัสดุพรุนที่ใช้ทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (*FR*) ตำแหน่งการจ่ายอากาศส่วนที่สอง (ชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3) และปริมาณการจ่ายอากาศส่วนที่สอง (Q_{air}) ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่ม *FR* และ Q_{air} ส่งผลให้อุณหภูมิภายในหัวเผาเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้เปลวไฟจะติดตรงกึ่งกลางหัวเผากรณีจ่ายอากาศชั้นที่ 2 หรือ 3

คำสำคัญ: โครงสร้างอุณหภูมิ, หัวเผาวัสดุพรุน และ การจ่ายอากาศเป็นขั้น

Abstract

The purpose of this research was to study the temperature structure inside a porous media burner with staged air supply. The burner is filled up with the inert alumina balls which are used as the porous medium in order to enhance heat transfer rate. All three modes of heat transfer; including conduction, convection, and radiation, occurs simultaneously. The porous media with 15 mm–diameters was examined. The study variables were the firing rate (*FR*), the secondary air supply position (stage#1, stage#2 and stage#3) and the flow rate of the secondary air supply (Q_{air}). The results showed that increasing the *FR* and Q_{air} will lead to a rise in the temperature inside the burner. In addition, the combustion zone occurs in the middle of the burner in the case of air supply at second or third stage.

Keywords: Temperature Structure, Porous Media Burner and Staged Air Supply

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
[1] Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, 85, Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani Province 34190
* Corresponding author : apinunt.n@ubu.ac.th

บทนำ

หัวเผาในปัจจุบันนิยมใช้เชื้อเพลิงจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือ แอลพีจี เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ง่าย ปลดปล่อยมลพิษต่ำ และสะดวกต่อการใช้งาน อย่างไรก็ตาม เชื้อเพลิงดังกล่าวมีปริมาณอยู่อย่างจำกัดและมีความต้องการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย ทั้งในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม หรือแม้กระทั้งภาคการขนส่ง โดยจากข้อมูลสถิติพลังงานของประเทศไทยปี พ.ศ. 2566 ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน [1] พบว่ามีการนำแก๊สแอลพีจีไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเคมีในปริมาณที่สูงถึง 38% รองลงมาคือการใช้ในภาคครัวเรือนอยู่ที่ 35% ภาคการขนส่ง 15% และภาคอุตสาหกรรม 11% ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว จึงควรใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในภาคครัวเรือนเพราะมีสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวในปริมาณสูง

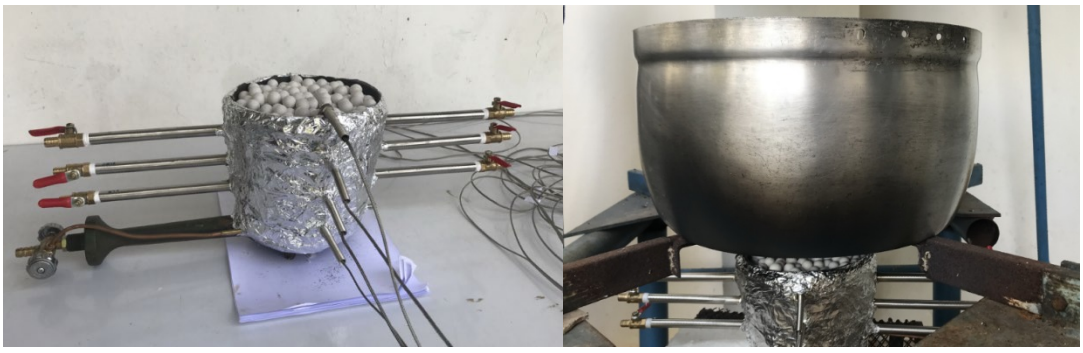
การออกแบบและพัฒนาหัวเผาให้มีประสิทธิภาพสูงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจุบันได้นำหลักการอุ่นส่วนผสม (Mixture) มาประยุกต์ใช้งานในกระบวนการการเผาไหม้ ซึ่งจะนำเอาวัสดุพรุน (Porous Medium) เข้ามาช่วยในการอุ่นส่วนผสม เนื่องจากวัสดุพรุนมีลักษณะเด่นคือ สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับความร้อนและตัวแผ่รังสีความร้อน โดยความร้อนจากการเผาไหม้จะแผ่รังสีมายังส่วนผสมและอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยทำให้หัวเผามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นและลักษณะเด่นของวัสดุพรุนอีกข้อคือมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ซึ่งทำให้ส่งผลดีต่อการถ่ายเทความร้อนทั้งการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) จึงช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนจากหัวเผาไปยังหม้อภาชนะได้ดีขึ้น จากลักษณะดังกล่าวทำให้การเผาไหม้ภายในวัสดุพรุนนั้นช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ภายในตัวเองจากทางออกของหัวเผา (Downstream) ไปยังด้านทางเข้าของหัวเผา (Upstream) ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์มากขึ้น สามารถทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าทางทฤษฎี และส่งผลให้เกิดเปลวไฟแบบซุปเปอร์อะเดียบาติก (Super Adiabatic Flame) ทำให้ความเร็วในการเผาไหม้ (Burning Velocity) เพิ่มขึ้น อีกทั้งความเข้มของการเผาไหม้สูงขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งนั่นหมายความว่าการออกแบบขนาดห้องเผาไหม้ จะมีขนาดเล็กลงและความเข้มของการแผ่รังสีในห้องเผาไหม้มากขึ้น ดังนั้น อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จึงสูงสม่ำเสมอและขยายช่วงการทำงานของเตาให้สามารถเผาไหม้ที่สภาวะเจือจาง ได้มากเกินกว่าขอบเขตการติดไฟ หรือสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำที่ไม่สามารถเผาไหม้ในหัวเผาทั่วไปได้ [2–4] งานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาการนำวัสดุพรุนมาใช้กับหัวเผาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน เช่น Yoksenakul and Jugjai [5] ทำการออกแบบหัวเผาวัสดุพรุนโดยการเปลี่ยนจากหัวเผาแบบดั้งเดิม มาเป็นแบบวัสดุพรุน (Self–aspirating Porous Medium Burner, SPMB) โดยที่หัวเผาแบบ SPMB จะให้เปลวไฟแบบฝังลงไปในหัวเผาวัสดุพรุน ซึ่งเผาไหม้ให้ค่าการปลดปล่อยมลพิษ CO น้อยกว่า 200 ppm และค่ามลพิษ NOx น้อยกว่า 98 ppm ในขณะเดียวกัน อาวุธ และ จารุวัตร [6] ได้เปรียบเทียบพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวในหัวเผาวัสดุพรุนกับหัวเผาแบบหมุนวน พบว่า เมื่อทำการเผาไหม้ด้วยหัวเผาวัสดุพรุนจะให้อุณหภูมิและประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าสูงกว่าหัวเผาแบบหมุนวน เนื่องจากวัสดุพรุนมีส่วนช่วยส่งเสริมในการเผาไหม้ แต่ยังมีข้อเสียที่สำคัญคือปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ เช่น CO ยังคงมีค่าที่สูง เนื่องจากเกิดความดันตกคร่อมภายในหัวเผาสูง จึงเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกมาใช้ในการเผาไหม้ได้ลดน้อยลง ต่อมา อาชวิน เพชรสังคูณ [7] และ คำนวณ พลตรี [8] ได้ปรับปรุงและพัฒนาหัวเผาให้มีการเหนี่ยวนำปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้มากยิ่งขึ้น โดยการออกแบบหัวเผาให้เป็นแบบวงแหวนชนิดมีการเหนี่ยวนำอากาศด้วยตัวเองสำหรับเชื้อเพลิงแก๊สและเชื้อเพลิงเหลว ตามลำดับ พบว่าเปลวไฟสามารถติดฝังและมีเสถียรภาพในชั้นวัสดุพรุน และการมีรูทางเข้าอากาศส่วนที่สองช่วยให้หัวเผาสามารถเหนี่ยวนำอากาศมาช่วยในการเผาไหม้ได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งสามารถลดการปลดปล่อยมลพิษ CO เมื่อเทียบกับหัวเผากรณีที่ไม่มีรูทางเข้าอากาศส่วนที่สอง ทั้งนี้ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO ยังคงถือว่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่

กำหนด เนื่องจากเป็นหัวเผาที่อาศัยการเหนี่ยวนำอากาศด้วยตัวเองตามธรรมชาติ เพื่อใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งเหนี่ยวนำได้น้อยเนื่องจากอิทธิพลของความดันตกคร่อมที่สูงภายในหัวเผาวัสดุพรุน ดังนั้น อภิสิทธิ์ และคณะ [9] จึงได้ปรับปรุงหัวเผาใหม่โดยการเติมอากาศแบบบังคับที่ได้จากเครื่องอัดอากาศ เพื่อป้อนให้กับหัวเผาให้มีอากาศเพียงพอต่อการเผาไหม้ แต่ปัญหาที่พบคือเปลวไฟไม่เสถียรภายในหัวเผา เกิดการไหลย้อนกลับของเปลวไฟ หรือ Flashback เนื่องจากห้องเผาไหม้ของหัวเผามีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ส่งผลให้ความเร็วในการลามของเปลวไฟสามารถเอาชนะความเร็วการไหลของแก๊สส่วนผสมได้ง่าย ความไม่เสถียรของเปลวไฟดังกล่าว ทำให้ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO มีค่าสูง มีช่วงการทำงานที่แคบและการควบคุมการทำงานของหัวเผาทำได้ค่อนข้างยาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาหัวเผาวัสดุพรุนใหม่ให้มีห้องเผาไหม้เป็นรูปทรงกรวย เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของเปลวไฟ ซึ่งจะช่วยให้เปลวไฟมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น โดยทำการศึกษาผลของการเติมอากาศส่วนที่สอง (2nd Air Supply) ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรุน ซึ่งทำการติดตั้งตำแหน่งการจ่ายอากาศส่วนที่สอง 3 ตำแหน่งคือ ด้านล่าง (stage#1) กึ่งกลาง (stage#2) และด้านบน (stage#3) ของชั้นวัสดุพรุนภายในหัวเผา และปรับปริมาณการจ่ายอากาศต่างๆ ดังนี้ 100, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง ผลจากการศึกษาโครงสร้างอุณหภูมิของเปลวไฟนี้ ช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการเผาไหม้และจะช่วยนำไปสู่การออกแบบและพัฒนาหัวเผาให้มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

วิธีการศึกษา

หัวเผาที่ใช้ในการศึกษาถูกออกแบบให้มีการใช้งานง่าย โดยการดัดแปลงจากเตาแก๊สหุงต้มขนาด KB-5 ที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งนำเอาหัววงแหวนบนหัวเผาออกและแทนที่ด้วยชุดหัวเผาวัสดุพรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่น ซึ่งมีห้องเผาไหม้ขนาดความสูง 14 เซนติเมตร และความกว้างปากทางออกของหัวเผาคือ 18 เซนติเมตร โดยวัสดุพรุนที่ใช้คือเม็ดอะลูมินา มีชื่อทางเคมีคือ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium Oxide: Al_2O_3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 1(ก) โดยติดตั้งหัวฉีดแก๊สเชื้อเพลิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร และทำการติดตั้งชุดเติมอากาศส่วนที่สองเข้าไปยังห้องเผาไหม้เพื่อให้มีอากาศเพียงพอต่อการเผาไหม้ ซึ่งในการทดสอบการวัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะทำการติดตั้งหม้อภาชนะต้มน้ำ แสดงดังภาพที่ 1(ข)

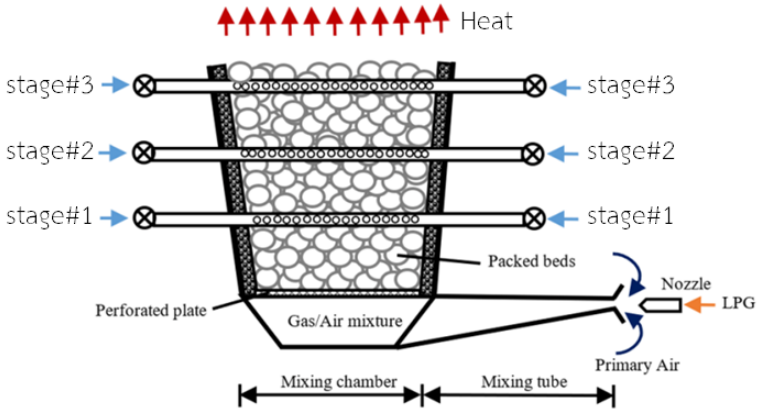


(ก) (ข)

ภาพที่ 1 การติดตั้งชุดเติมอากาศเข้ากับหัวเผา (ก) และการทดสอบการต้มน้ำเดือด (ข)

หลักการทำงานของหัวเผาแสดงดังภาพที่ 2 เริ่มจากเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ถูกป้อนด้วยความเร็วสูงผ่านหัวฉีดแก๊ส ซึ่งจะเหนี่ยวนำเอาอากาศส่วนแรก (Primary Air) เข้าไปผสมกันในท่อผสมเรียกว่าส่วนผสม จากนั้นส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอากาศจะไหลผ่านชั้นของวัสดุพรุน และถูกจุดติดไฟในชั้นของวัสดุพรุน ภายในชั้นวัสดุพรุนความร้อนจากการเผาไหม้จะถ่ายเทไปในทุกทิศทาง ซึ่งจะทำให้แก๊สผสมที่อยู่ด้านล่างถูกอุ่นให้ร้อนก่อนการ

เผาไหม้ จากนั้นแก๊สผสมที่ถูกอุ่นจะถูกใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มสูงขึ้นตาม แต่ในขณะเดียวกัน ผลของวัสดุพรุนจะทำให้เกิดความดันตกคร่อมภายในหัวเผาเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นปริมาณอากาศส่วนแรกที่ถูกเหนี่ยวนำโดยธรรมชาติ (Natural Draft) จะไม่สามารถเข้าไปในห้องเผาไหม้ได้อย่างเพียงพอ ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการติดตั้งท่อเติมอากาศส่วนที่สอง (Secondary Air) เพื่อเพิ่มอากาศในการเผาไหม้ให้เพียงพอ โดยทำการติดตั้งทั้งหมด 3 ระดับ คือ ชั้นที่ 1 (stage#1) จะอยู่ใกล้ทางเข้าชั้นวัสดุพรุน ชั้นที่ 2 (stage#2) จะอยู่กึ่งกลางชั้นวัสดุพรุน และชั้นที่ 3 (stage#3) จะอยู่ใกล้ทางออกชั้นวัสดุพรุน ซึ่งท่อเติมอากาศจะแทรกเข้าไปในชั้นของวัสดุพรุนและมีการเจาะรูขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร) กระจายโดยรอบท่อที่อยู่ภายในหัวเผา เพื่อให้อากาศที่เติมเข้าไปสามารถกระจายเข้าไปในชั้นของวัสดุพรุนได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งทั้ง 3 ท่อ จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันคือ 13 มิลลิเมตร โดยท่อชั้นที่ 2 (stage#2) จะอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของหัวเผา ในขณะเดียวกัน ท่อชั้นที่ 1 (stage#1) จะอยู่ด้านล่างท่อชั้นที่ 2 (stage#2) มีระยะห่าง 3.5 เซนติเมตร และท่อชั้นที่ 3 (stage#3) จะอยู่ด้านบนท่อชั้นที่ 2 (stage#2) มีระยะห่าง 3.5 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน โดยในการทดลองจะทำการเติมอากาศที่ชั้นใดชั้นหนึ่งเพียงชั้นเดียวเท่านั้น จากนั้นทำการทดสอบในชั้นที่เหลือตามลำดับ อีกทั้งปริมาณการเติมอากาศทำการปรับ 6 ค่า คือ 100, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง โดยแหล่งจ่ายอากาศส่วนที่สองนี้ได้จากเครื่องอัดอากาศ

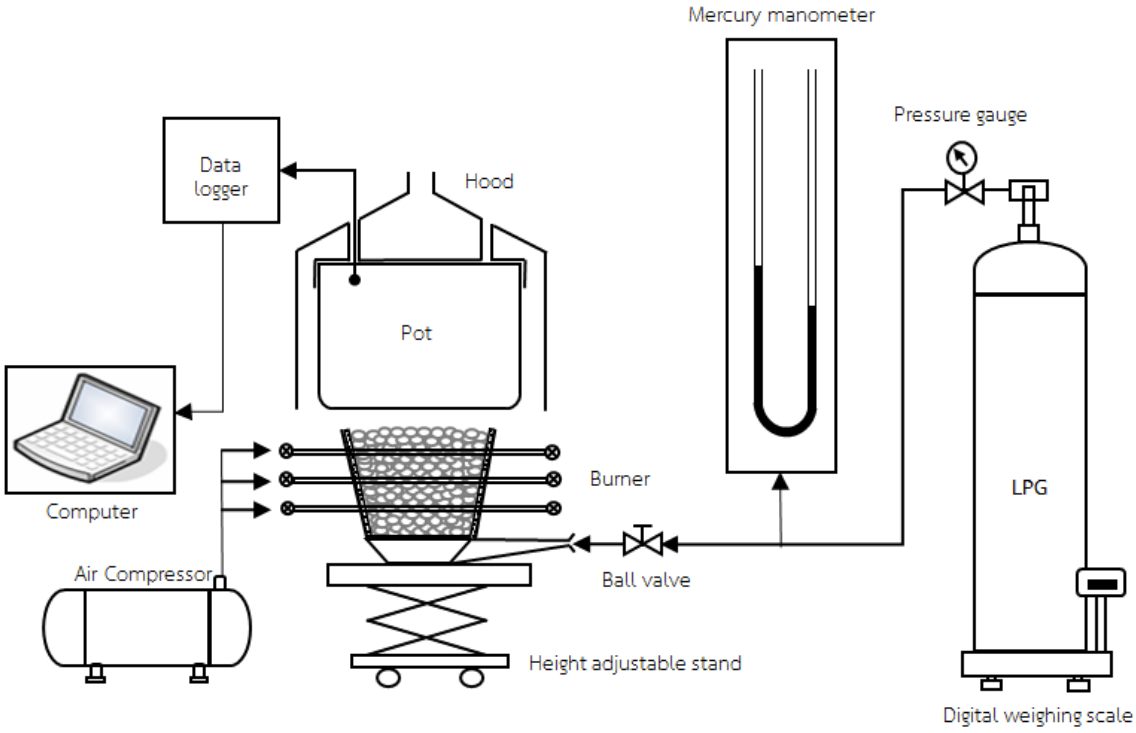


ภาพที่ 2 หลักการทำงานของหัวเผาวัสดุพรุนแบบทรงกรวย

อุปกรณ์และวิธีการทดสอบในงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 3 เริ่มต้นจากการต่อสายแก๊สเชื้อเพลิงจากถังบรรจุแก๊ส LPG สู่หัวเผาวัสดุพรุนที่มีการจ่ายอากาศเป็นขั้น โดยมีวาล์วปรับความดันแก๊สเป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง ในขณะเดียวกันความดันของแก๊สเชื้อเพลิงจะถูกวัดด้วย มานอมิเตอร์ชนิดปรอทและทำการชั่งน้ำหนักของแก๊สเชื้อเพลิงที่ลดลงระหว่างการทดลองด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเชื้อเพลิง ($\dot{m}_g$) จากนั้นติดตั้งชุดครอบแก๊สไอเสีย (Hood) และอุปกรณ์เก็บบันทึกค่าอุณหภูมิโดยใช้ Data Logger รุ่น Midi Logger GL220 ในการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำและอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ของหัวเผาวัสดุพรุน โดยเริ่มต้นจากการอุ่นหัวเผาเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปิดหัวเผาและวางหม้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร ที่ฐานวางหม้อและเติมน้ำปริมาณ 30.6 กิโลกรัม ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำในหม้อและเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล จากนั้นเริ่มจุดหัวเผาใหม่อีกครั้ง ด้วยอัตราการป้อนเชื้อเพลิงตามเงื่อนไขการทดลอง ในขณะเดียวกันอากาศจากถังอัดอากาศ (Air Compressor) จะถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาที่ตำแหน่งชั้นที่ 1 (stage#1) โดยสามารถปรับอัตราการไหลด้วยเครื่องปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Flow Meter) ที่อัตราการไหลต่างๆ ตามเงื่อนไขการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดสอบ

ตัวแปร	ปริมาณ (หน่วย)
ระยะห่างก้นหม้อถึงหัวเผา (*h*)	5 cm
ตำแหน่งการจ่ายอากาศส่วนที่สอง	stage#1, stage#2 และ stage#3
ปริมาณการจ่ายอากาศส่วนที่สอง (Q_{air})	100, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 L/h
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (*FR*)	6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 kW



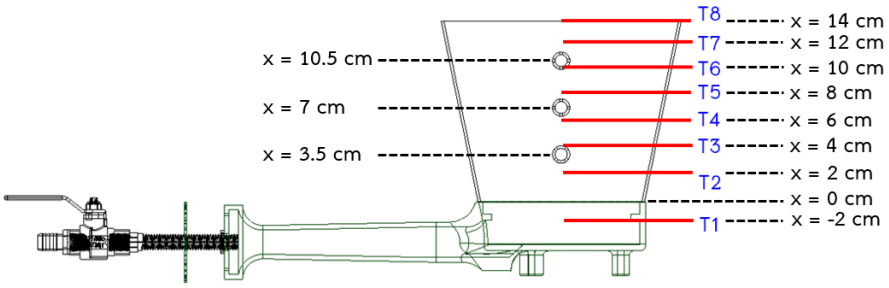
ภาพที่ 3 ชุดอุปกรณ์การทดสอบโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรุน

โดยทดสอบที่ค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (*FR*) ตั้งแต่ 6 ถึง 12 กิโลวัตต์ การปรับและควบคุมค่า *FR* นั้นสามารถทำได้โดยการปรับค่าอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเชื้อเพลิง ($\dot{m}_g$) ซึ่งค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของหัวเผาสามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ (1)

$$FR = \dot{m}_g \times LHV \tag{1}$$

เมื่อ $\dot{m}_g$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเชื้อเพลิง (kg/s)

LHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)



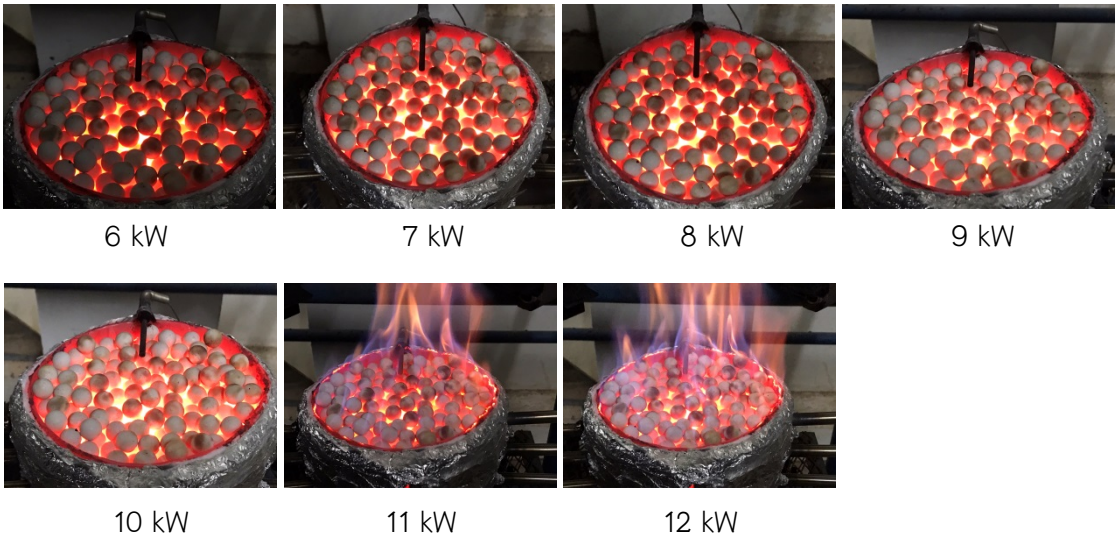
ภาพที่ 4 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในหัวเผา

เมื่อทำการทดสอบที่ตำแหน่งการจ่ายอากาศชั้นที่ 1 (stage#1) เสร็จ ก็ให้เริ่มทำการทดลองที่ตำแหน่งชั้นที่ 2 (stage#2) และ ตำแหน่งชั้นที่ 3 (stage#3) ต่อไปตามลำดับ โดยทำการทดลองที่เงื่อนไขเดิมซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยในการรายงานผล ซึ่งในทุกเงื่อนไขการทดลองจะทำการวัดค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในชั้นวัสดุพรุนของหัวเผา โดยทำการวัดทั้งหมด 8 ตำแหน่ง กระจายตามแนวแกนกลางของหัวเผา แสดงดังภาพที่ 4 โดยมีระยะห่างแต่ละจุดที่เท่า ๆ กันคือ 2 เซนติเมตร จากค่าอุณหภูมิที่วัดได้สามารถนำไปช่วยวิเคราะห์การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาวัสดุพรุนได้เป็นอย่างดี

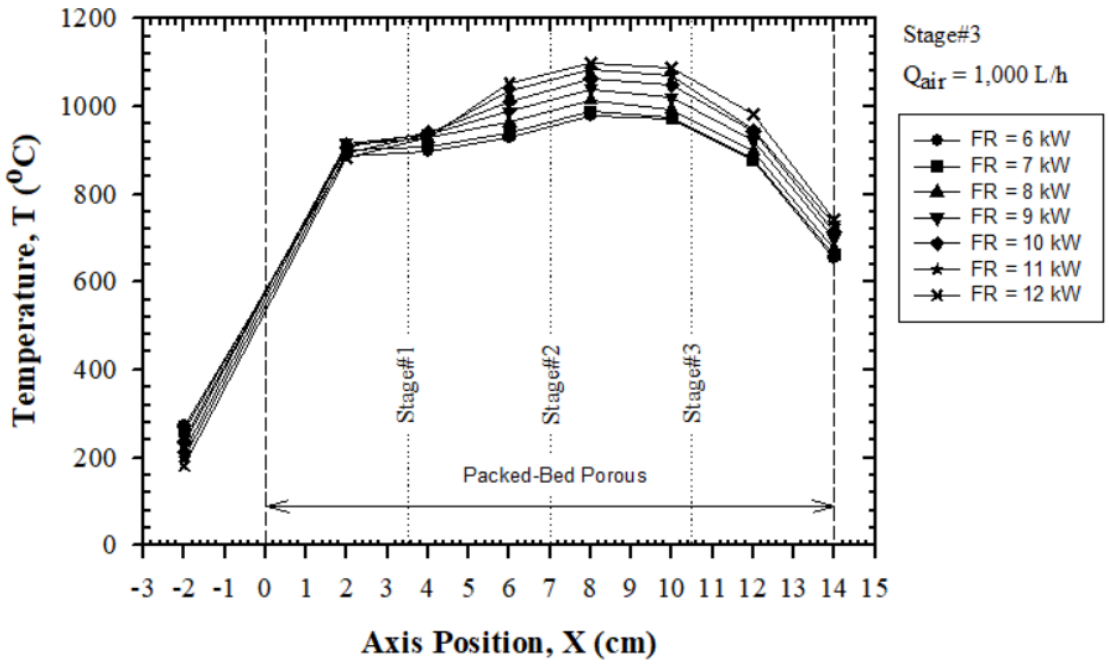
ผลการศึกษา

การกระจายตัวของเปลวไฟในหัวเผาวัสดุพรุน

ภาพถ่ายภายในหัวเผาวัสดุพรุน แสดงดังภาพที่ 5 ยกตัวอย่างกรณีการทดสอบที่การจ่ายอากาศส่วนที่สองที่ตำแหน่ง stage#3 (ชั้นบนสุด) และปริมาณการจ่ายอากาศส่วนที่สอง (Q_{air}) เท่ากับ 1,000 L/h พบว่า ที่สภาวะอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ คือ 6 kW จะไม่สามารถสังเกตเห็นการเผาไหม้อย่างชัดเจน เมื่อมองจากด้านบนของหัวเผาจะสังเกตเห็นเพียงโครงสร้างเนื้อวัสดุพรุนสีขาว โดยมีเปลวไฟสีฟ้าและแดงปรากฏเล็กน้อย เนื่องจากเปลวไฟส่วนใหญ่จะติดอยู่ที่ตำแหน่งด้านล่างของห้องเผาไหม้ เพราะที่สภาวะอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ ความเร็วของส่วนผสมไอดีมีค่าต่ำ การเผาไหม้จึงเกิดขึ้นที่ตำแหน่งค่อนไปทางเข้าของหัวเผา (Upstream) จึงไม่สังเกตเห็นการลามของเปลวไฟมายังด้านบนหัวเผา ในขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น จะสังเกตเห็นการเผาไหม้ที่รุนแรงมากขึ้น ปรากฏสีแดงกระจายทั่วหน้าตัดของวัสดุพรุน โดยเฉพาะที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 12 kW เนื่องจากเมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลและความเร็วของไอดีเพิ่มสูงขึ้น การเผาไหม้จะลามจากวัสดุพรุนชั้นล่างมายังชั้นบนที่ทางออกของหัวเผา (Downstream) และเกิดการเผาไหม้กระจายอย่างทั่วถึง และที่สภาวะดังกล่าวจะเกิดความปั่นป่วนสูง ส่งผลให้เปลวไฟสามารถเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่สองเพิ่มมากขึ้น เกิดการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากอุณหภูมิที่วัดได้ภายในห้องเผาไหม้



ภาพที่ 5 ภาพถ่ายเปลวไฟที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่าง ๆ



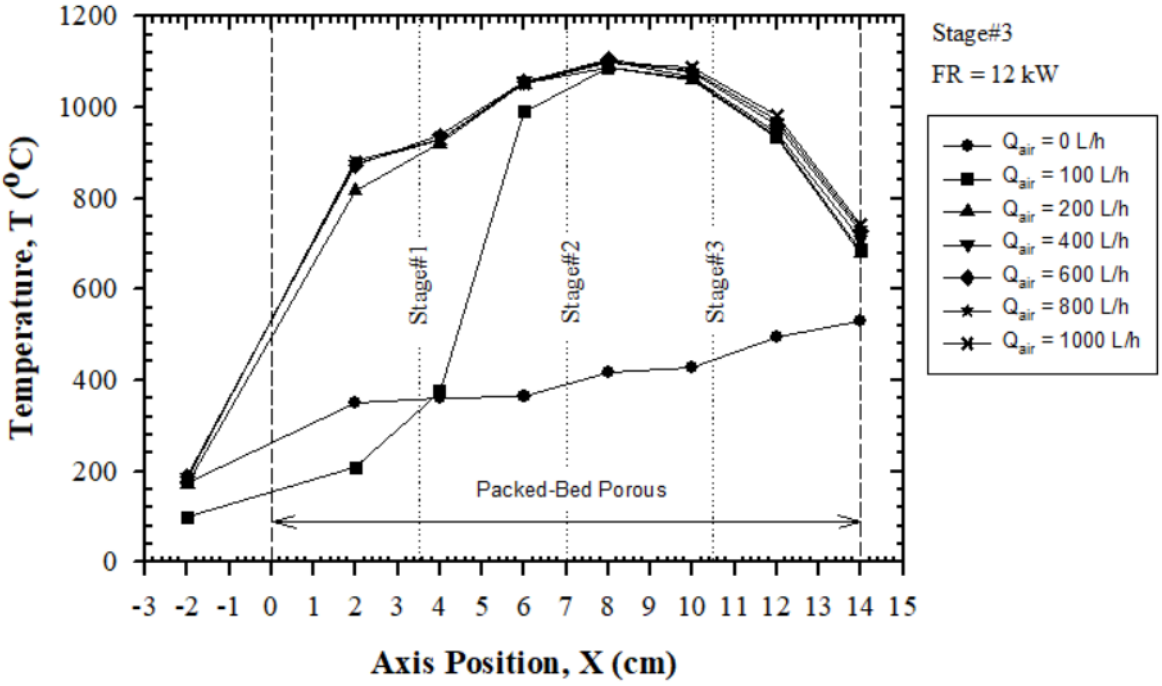
ภาพที่ 6 การกระจายตัวอุณหภูมิภายในหัวเผาที่ *FR* ต่างๆ

อิทธิพลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (*FR*) ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผา

ภาพที่ 6 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเปลวไฟภายในหัวเผาที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่าง ๆ โดยยกตัวอย่างกรณีการทดสอบที่การจ่ายอากาศส่วนที่สองที่ตำแหน่ง stage#3 (ชั้นบนสุด) และปริมาณการจ่ายอากาศส่วนที่สอง (Q_{air}) เท่ากับ 1,000 L/h พบว่า ที่ตำแหน่งทางเข้าของหัวเผา (Upstream) อุณหภูมิมีค่าต่ำเนื่องจากยังไม่มีการเผาไหม้ เป็นบริเวณอุ่นไอดี จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น และมีค่ามากที่สุดบริเวณ x เท่ากับ 8 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณการเผาไหม้ จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดน้อยลงตรงทางออกของหัวเผา ในขณะเดียวกันพบว่า การเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (*FR*) ส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณความร้อนป้อนจากเชื้อเพลิง

อิทธิพลของปริมาณการจ่ายอากาศส่วนที่สอง (Q_{air}) ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผา

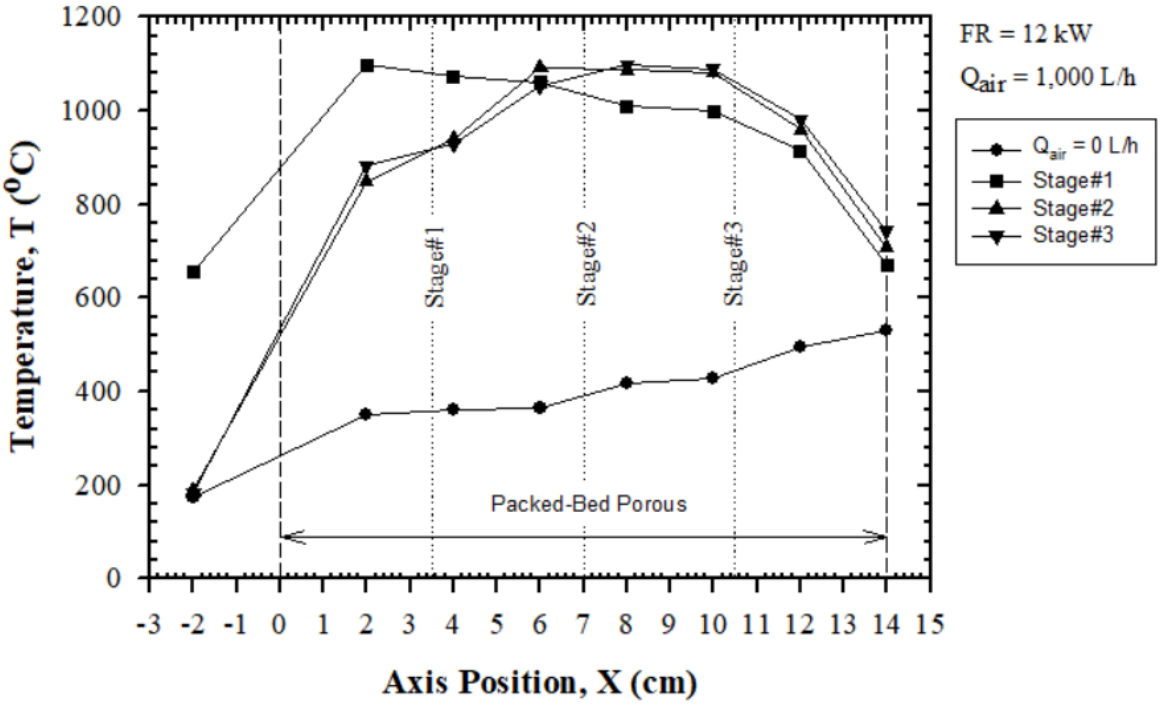
ภาพที่ 7 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเปลวไฟภายในหัวเผาที่ปริมาณการจ่ายอากาศส่วนที่สอง (Q_{air}) ต่าง ๆ โดยยกตัวอย่างกรณีการทดสอบที่การจ่ายอากาศส่วนที่สองที่ตำแหน่ง stage#3 (ชั้นบนสุด) และอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (*FR*) เท่ากับ 12 kW พบว่า ที่ตำแหน่งทางเข้าของหัวเผา (Upstream) อุณหภูมิมีค่าต่ำเนื่องจากยังไม่มีการเผาไหม้ เป็นบริเวณอุ่นไอดี จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น และมีค่ามากที่สุดบริเวณ x เท่ากับ 8 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณการเผาไหม้ จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดน้อยลงตรงทางออกของหัวเผา ในขณะเดียวกันพบว่า การเติมอากาศส่วนที่สองส่งผลให้อุณหภูมิเปลวไฟเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณอากาศเพียงพอต่อการเผาไหม้



ภาพที่ 7 การกระจายตัวอุณหภูมิภายในหัวเผาที่ Q_{air} ต่างๆ

อิทธิพลของตำแหน่งการจ่ายอากาศส่วนที่สอง ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผา

ภาพที่ 8 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิเปลวไฟภายในหัวเผาที่ตำแหน่งการจ่ายอากาศส่วนที่สองต่าง ๆ โดยยกตัวอย่างกรณีการทดสอบที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (*FR*) เท่ากับ 12 kW และปริมาณการจ่ายอากาศส่วนที่สอง (Q_{air}) เท่ากับ 1,000 L/h พบว่า ที่ตำแหน่งทางเข้าของหัวเผา (Upstream) อุณหภูมิมีค่าต่ำเนื่องจากยังไม่มีการเผาไหม้ เป็นบริเวณอุ่นไอดี จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น และมีค่ามากที่สุดบริเวณ x เท่ากับ 8 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณการเผาไหม้ จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดน้อยลงตรงทางออกของหัวเผา ในขณะเดียวกันพบว่า กรณีไม่เติมอากาศส่งผลให้เปลวไฟติดที่ทางออกของหัวเผา (Downstream) เนื่องจากขาดอากาศภายในหัวเผาสำหรับการเผาไหม้ และเมื่อมีการเติมอากาศส่วนที่สอง ส่งผลให้เปลวไฟลามเข้ามาติดภายในหัวเผา ซึ่งการเติมอากาศในชั้นที่ 1 (stage#1) จะทำให้เปลวไฟมาติดที่ชั้นล่างของวัสดุพรุน ส่วนกรณีการเติมอากาศที่ชั้นที่ 2 (stage#2) และ 3 (stage#3) จะทำให้เปลวไฟมาติดที่ตรงกึ่งกลางของหัวเผา



ภาพที่ 8 การกระจายตัวอุณหภูมิภายในหัวเผาที่ตำแหน่งการจ่ายอากาศต่างๆ

อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (*FR*) ตำแหน่งการจ่ายอากาศส่วนที่สอง และอัตราการป้อนอากาศส่วนที่สอง (Q_{air}) ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรุน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (*FR*) ส่งผลให้อุณหภูมิภายในหัวเผาเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณความร้อนป้อนจากเชื้อเพลิง และพบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิเปลวไฟจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ และสูงที่สุดที่ตำแหน่ง x เท่ากับ 8 เซนติเมตร
2. การเติมอากาศส่วนที่สองส่งผลให้อุณหภูมิเปลวไฟเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณอากาศเพียงพอต่อการเผาไหม้
3. กรณีไม่เติมอากาศส่งผลให้เปลวไฟไปติดที่ทางออกของหัวเผา เนื่องจากขาดอากาศในการเผาไหม้ และเมื่อมีการเติมอากาศเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เปลวไฟลามเข้ามาติดภายในหัวเผา
4. การเติมอากาศในชั้นที่ 1 (stage#1) จะทำให้เปลวไฟมาติดที่ชั้นล่างของวัสดุพรุน ส่วนกรณีการเติมอากาศชั้นที่ 2 (stage#2) และ 3 (stage#3) จะทำให้เปลวไฟมาติดที่ตรงกึ่งกลางของหัวเผา ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (31 พฤษภาคม 2566). **ข้อมูลพลังงาน (Energy Database)**. http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information

ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ. (2544). **การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม**. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วสันต์ โยคเสนะกุล. (2547). **หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่มีการหมุนเวียนความร้อนและการไหลแบบหมุนวน**. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภานุวัฒน์ บุณโยประการ. (2543). **การปรับปรุงหัวเตาแก๊สหุงต้มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประยุกต์ใช้ในครัวเรือน**. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Yoksenakul W and Jugjai S. (2011). Design and development of a SPMB (self-aspirating, porous medium burner) with a submerged flame. **Energy**, 36(5), 3092-3100.

อาวุธ ลภิรัตนากูล และ จารุวัตร เจริญสุข. (2551). เตาเผาไหม้วัสดุพรุนกับเตาเผาไหม้แบบหมุนวน (Part 1). **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22**. หน้า 76-82.

อาชวิน เพชรสังคูณ. (2556). **การพัฒนาหัวเผาวัสดุพรุนแบบวงแหวนที่มีการเหนี่ยวนำอากาศด้วยตัวเองสำหรับเชื้อเพลิงแก๊ส**. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

คำนวณ พลตรี. (2557). **เตาเผาไหม้ในวัสดุพรุนแบบวงแหวนที่มีการเหนี่ยวนำอากาศด้วยตนเองโดยใช้เชื้อเพลิงเหลว.** (วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อภิสิทธิ์ พรมดอน ปฏิวัติ วรามิตร อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และ อภินันต์ นามเขต. (2565). การเผาไหม้ในหัวเผาวัสดุพรุนที่มีการจ่ายอากาศเป็นขั้น. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 7**. หน้า 179-190.

การออกแบบและสร้างรถเอจีวีสำหรับขนส่งกล่องทีวีเปล่า

Design and implementation AGV for transporting the empty TV boxes

รัตติกาล ศาลาคำ[1], เกียรติศักดิ์ เนเรียะ[1], ชนกสุดา พิพัฒน์พงษ์[1], อรพิชา บัวบาน[1], ธวัชชัย ทองเหลี่ยม[1*] และ สัญญา ควรคิด[1]

Rrattikan Salakum[1], Kiatisak Neria[1], Chanoksuda Phiphatphong[1], Aornpicha Buaban[1], Thawatchai Thongleam[1*] and Sanya Kuankid[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างรถเอจีวีสำหรับขนส่งกล่องทีวีเปล่า รถเอจีวีใช้บอร์ดอาร์ดุยโน่ mega 2560 ประมวลผลสัญญาณจากอินฟาเรดเซนเซอร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถและตรวจเช็คสถานี A และสถานี B อาร์ดุยโน่ uno บอร์ดที่หนึ่งรับสัญญาณอัลตราโซนิคเซนเซอร์ ซึ่งตรวจเช็คสิ่งกีดขวางเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ และอาร์ดุยโน่ uno บอร์ดที่ 2 ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณจากโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ซึ่งตรวจนับจำนวนกล่อง และแสดงจำนวนกล่องเปล่าที่หน้าจอ 7 segment งานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้รถเอจีวีมี 2 ฟังก์ชัน การทำงานของรถเอจีวีฟังก์ชันที่ 1 รถเอจีวีเคลื่อนที่ตามเส้นไปยังสถานี A รับกล่องทีวีเปล่าแล้วไปส่งที่สถานี B จากนั้นเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเพื่อไปรับกล่องทีวีเปล่าที่สถานี A อีกครั้ง และฟังก์ชันที่ 2 รถเอจีวีเดินตามเส้นไปยังสถานี A รับกล่องทีวีเปล่าแล้วกลับรถเพื่อไปส่งที่สถานี B จากนั้นกลับรถมารับกล่องทีวีเปล่าที่สถานี A อีกครั้ง รถเอจีวีสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.29 เมตรต่อวินาที จากผลการทดลองพบว่ารถเอจีวีสามารถทำงานทั้ง 2 ฟังก์ชัน ได้ถูกต้อง เซนเซอร์สามารถนับจำนวนกล่องได้ครบถ้วนตามเงื่อนไขของแต่ละสถานี ผลการทดลองการหยุดในระยะที่ปลอดภัยในขณะตรวจพบสิ่งกีดขวางทั้ง 2 ฟังก์ชัน รถเอจีวีสามารถหยุดในระยะประมาณ 35 เซนติเมตร

คำสำคัญ : รถเอจีวี ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดุยโน่, ขนส่งกล่องทีวีเปล่า, โฟโตเซนเซอร์, อัลตราโซนิคเซนเซอร์

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000

[1] Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University Nakhon Pathom, 73000

* Corresponding author: thawatchait@webmail.npru.ac.th

Abstract

This paper presents the design and implementation of the AGV vehicle for transporting the empty TV boxes. The AGV vehicle uses Arduino mega 2560 board in order to process signals from the infrared sensors to control the moving vehicle and check Station A and Station B. The first Arduino uno board receives the ultrasonic sensor signals to detect all obstacles and prevent accidents. The second Arduino uno board is used to process signals from the photoelectric sensors, which counts the number of boxes and shows the number of the empty boxes on the 7-segment. The AGV vehicle in this research is designed including 2 functions. The AGV vehicle performing function 1, it moves along the line to station A to receives the empty TV boxes and deliver to station B and then moves forward to receives the empty TV boxes at station A again. The operation function 2, the AGV vehicle can follow the line to Station A to receive the empty TV boxes and then makes a U-turn to drop off at Station B, after that, U-turn to receives the empty TV boxes at Station A again. The AGV can move at a speed of 0.29 m/s. As the results, the AGV vehicle is able to perform both functions correctly. The sensor can accurately count the number of boxes according to the conditions of each station. For the experimental results of a safe stopping distance when encountering obstacles for both functions, the AGV can stop within an approximate distance of 35 cm.

Keywords : AGV, Microcontroller Arduino, Transporting TV Boxes, Photosensor and Ultrasonic sensor

1. บทนำ

พาหนะขนส่งอัตโนมัติ (automated guide vehicle : AGV) คือรถขนถ่ายสินค้าอัตโนมัติแบบไร้คนขับ รถ AGV มีระบบนำทางการเคลื่อนที่จากต้นทางไปปลายทาง ระบบนำทางมี 4 ลักษณะได้แก่ 1. แถบแม่เหล็ก (Magnetic Tape) ฝังอยู่ในพื้นผิวของทางเดิน รถ AGV ใช้แมกเนติกเซนเซอร์ตรวจเช็คแถบแม่เหล็กเพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปตามแถบแม่เหล็ก วิธีการนี้มีความถูกต้องสูง เซนเซอร์ก็มีราคาสูง 2. แถบสีหรือเทปสะท้อนแสงติดบนพื้น รถ AGV ใช้อินฟาเรดเซนเซอร์ตรวจเช็คสีเพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ วิธีการนี้มีความถูกต้องน้อย แต่เซนเซอร์มีราคาถูก 3. กล้องทีวีหรือซีซีดี (CCD Camera) นำภาพแถบสีบนพื้นมาประมวลผลด้วยภาพเพื่อให้รถ AGV เคลื่อนที่ตามแถบสี วิธีการนี้มีความถูกต้องสูงและกล้องก็มีราคาสูง และ 4. แถบโลหะ (Metal Tape) วางลักษณะเดียวกับแถบสี รถ AGV ใช้พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ตรวจเช็คเส้นทาง วิธีการนี้มีความถูกต้องน้อยและเซนเซอร์มีราคาถูก [2]

พงศ์เทพ ดวงมาศ (2550) [3] นำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับรถเอจีวีชนิดแบบลากจูง ระบบที่นำเสนอใช้ระบบนำร่องแบบพิกัดตำแหน่ง X และ Y รถเอจีวีใช้พีแอลซีควบคุมการทำงานและใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมและรับส่งข้อมูลร่วมกับพีแอลซี โปรแกรมควบคุมอัจฉริยะประกอบด้วยดังนี้ 1. การควบคุมแบบบังคับด้วยมือ 2. การควบคุมแบบอัตโนมัติ และ 3. ส่วนแสดงผลซึ่งมีการแสดงผลด้วยกราฟเส้นและภาพจากกล้องซีซีดีไร้สาย ผู้ใช้งานป้อนเส้นทางเดินในโปรแกรมระบบควบคุมอัจฉริยะในคอมพิวเตอร์แล้วส่งข้อมูลไปพีแอลซีบนรถเอจีวีโดยใช้การสื่อสารแบบมอดบัสผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย จากนั้นรถเอจีวีก็เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ได้รับจากผู้ใช้งาน งานวิจัยนี้จะให้รถเอจีวีเคลื่อนที่ด้วยรูปแบบเส้นทางเดินแบบเส้นตรง ตัวเอส วงกลม และสี่เหลี่ยม จากผลการทดลองการเคลื่อนที่มีความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 98 นันทพันธ์ กนกศิริรุจิษยา (2562) [2] นำเสนอการออกแบบระบบการลำเลียงขนด้วยยานพาหนะอัตโนมัติเอจีวี (automated guided vehicle) ซึ่งทำหน้าที่ขนส่งตัวอย่างทดสอบทางการแพทย์ด้วยการวิ่งตามเส้น รถ AGV ที่นำเสนอใช้อาร์ดุยโน่ IDE และเซ็นเซอร์ควบคุมการทำงาน รถเคลื่อนที่มีความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที แบตเตอรี่ที่ใช้เท่ากับ 12 โวลต์ 50 แอมแปร์ต่อชั่วโมง รถ AGV ทำงานได้ 12 ชั่วโมง รถสามารถบรรทุกน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ความแม่นยำในการหยุดร้อยละ 90 จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ สามารถนำยานพาหนะอัตโนมัติเอจีวี

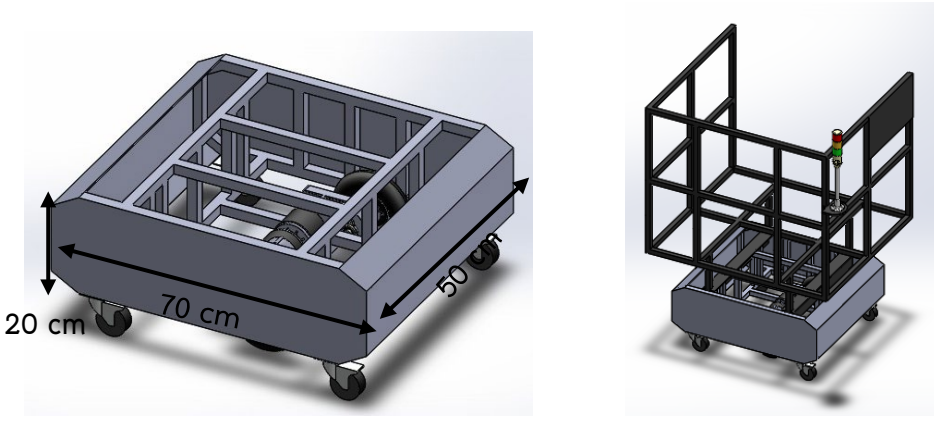
เข้ามาทดแทนแรงงานคนได้ นพรุจ เขียวนาค และ สมมาตร พรหมพุฒ (2565) [1] นำเสนอการออกแบบและพัฒนารถขนส่งอัตโนมัติราคาถูกสำหรับการใช้งานขนส่งวัสดุ รถขนส่งสามารถบรรทุกน้ำหนักไม่เกิน 10 กิโลกรัม และได้ออกแบบจากชุดต้นกำลังที่เป็นของสเต็ปปิงมอเตอร์ งานวิจัยนี้ใช้อาร์ดุยโน่และเซ็นเซอร์ควบคุมการทำงาน รถขนส่งวัสดุในโรงงานวิ่งตามเส้นและสามารถควบคุมผ่านแอพพลิเคชันด้วยบอร์ด NodeMCU ผู้ใช้งานจะสั่งให้รถวิ่งจากจุดออกรถไปลากจูงกระบะทุกด้วยแอพพลิเคชัน รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.344 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถสามารถวิ่งส่งวัสดุในบริเวณที่กำหนดได้ตรงจุด กรณีผู้ใช้งานสั่งงานผ่านแอพพลิเคชัน กรณีมีคนหรือสิ่งของกีดขวางแนวทางการเดินของรถ รถจะหยุดหากนำสิ่งที่ขวางทางออกรถจะสามารถวิ่งต่อไปได้

บริษัท ไทยฮาเบล อินดัสเตรียล จำกัด พบปัญหาขณะเคลื่อนย้ายกล่องทีวีเปล่าอาจจะเกิดการตกหล่น และเกี่ยวชนกับสิ่งของรอบข้าง ทำให้กล่องเปล่าเกิดความเสียหาย คณะผู้วิจัยนำเสนองานวิจัยนี้นำเสนอการใช้รถ AGV มาช่วยในการขนย้ายกล่องทีวีเปล่าของบริษัท ไทยฮาเบล อินดัสเตรียล จำกัด เพิ่มความถูกต้อง ไม่ทำให้วัสดุเกิดความเสียหาย และส่งผลให้ลดต้นทุนของบริษัทได้

2. รถเอจีวีที่นำเสนอ

2.1 โครงสร้างรถเอจีวี

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบรถเอจีวีมีขนาดความกว้าง 50 เซนติเมตร ความยาว 70 เซนติเมตร และความสูง 20 เซนติเมตร มีล้อทั้งหมด 6 ล้อ เป็นล้อขับเคลื่อน 2 ล้อ และเป็นล้ออิสระ 4 ล้อ ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนล้อทั้งหมด 2 ตัว ผู้วิจัยเลือกใช้เหล็กกล่องขนาด 1 X 1 นิ้ว ความหนา 2.7 มิลลิเมตร แผ่นเหล็กแบบบางมีความหนา 1.7 มิลลิเมตร และแผ่น สเตนเลสมีความหนา 1.7 มิลลิเมตร สร้างเป็นตัวรถเอจีวีแสดงดังภาพที่ 1 (ก) โครงบรรทุกกล่องทีวีเปล่าซึ่งติดอยู่บนรถ เอจีวีมีความกว้าง 79.5 เซนติเมตร ความยาว 109.2 เซนติเมตร และความสูง 68.5 เซนติเมตร ตัวโครงมีการติดตั้งไฟแสดงสถานะของรถ เซนเซอร์ตรวจเช็คจำนวนกล่อง จอแสดงตัวเลข สวิตช์เริ่มต้นโปรแกรม และสวิตช์ฉุกเฉิน



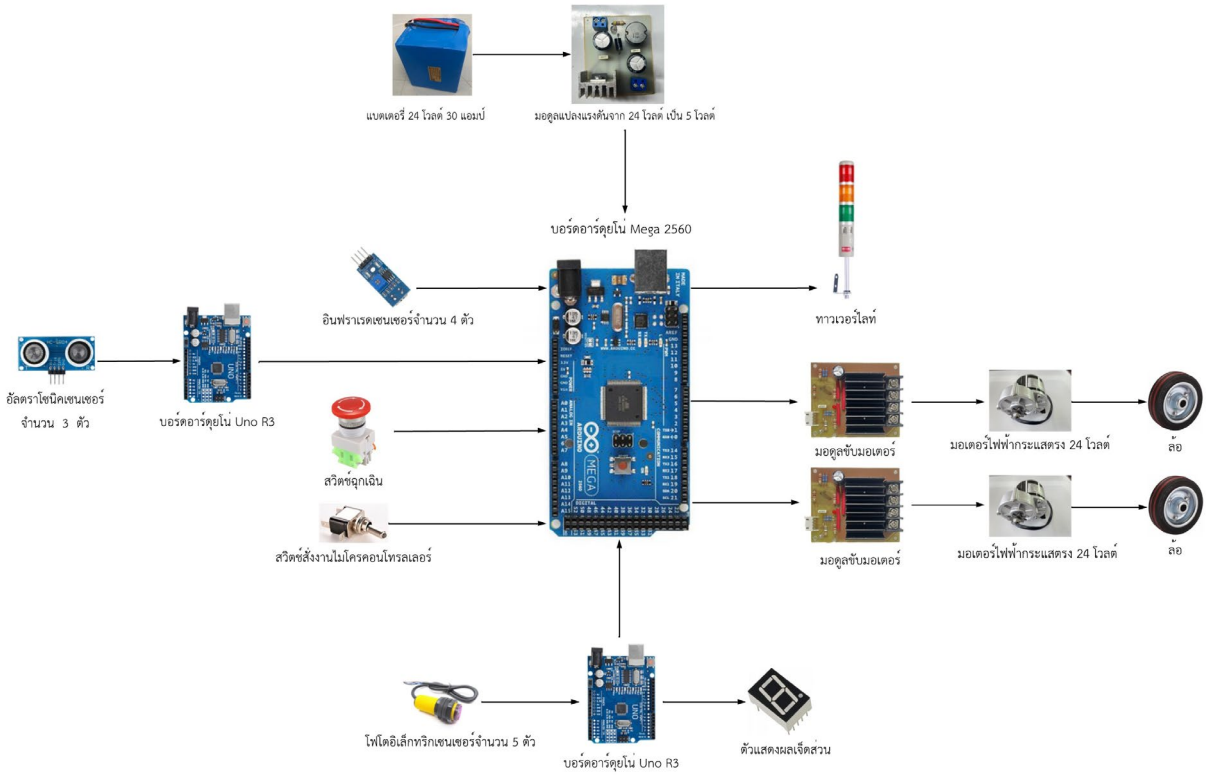
(ก) (ข)

ภาพที่ 1 (ก) รถเอจีวี และ (ข) รถเอจีวีติดตั้งโครงบรรทุกกล่อง

2.2 การออกแบบการควบคุมรถเอจีวี

งานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดุยโน่ 3 ตัว อาร์ดุยโน่ mega 2560 เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดังนี้ 1. อินฟราเรดเซนเซอร์ 4 ตัว ซึ่งทำหน้าที่ตรวจเช็คเส้นขาวหรือดำ อาร์ดุยโน่ mega ควบคุมให้รถอยู่ในเส้นดำและตรวจเช็คสถานี A หรือสถานี B 2. มอดูลขับมอเตอร์รับสัญญาณ PWM (พัลส์วิดมอดูเลชัน) จากอาร์ดุยโน่ mega อาร์ดุยโน่ mega สั่งให้มอเตอร์ทำงานเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา 3. ไฟทาวเวอร์ทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงานของรถไฟทาวเวอร์แสดงสีแดงหมายถึงอัลตราโซนิคเซนเซอร์ตรวจพบสิ่งกีดขวาง ไฟทาวเวอร์แสดงสีเหลืองหมายถึงอิน

ฟาเรดโฟโตเซนเซอร์ตรวจพบเจอสถานี A หรือสถานี B และไฟทาวเวอร์แสดงสีเขียวหมายถึงรถเอจีวีกำลังเคลื่อนที่ไปหาสถานี A หรือสถานี B อาร์ดุยโน่ uno ตัวที่หนึ่งเชื่อมต่อกับอัลตราโซนิคเซนเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลการตรวจจับสิ่งกีดขวาง กรณีอัลตราโซนิคตรวจพบสิ่งกีดขวางก็จะส่งสัญญาณลอจิก “1” ไปยังบอร์ดอาร์ดุยโน่ mega 2560 อาร์ดุยโน่ สั่งให้รถ เอจีวีหยุดทำงาน อาร์ดุยโน่ uno ตัวที่ 2 ทำหน้าที่ประมวลผลการตรวจเช็คจำนวนกล่องของโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์และสั่งให้ 7 segment แสดงจำนวนกล่องทีวีเปล่า กรณีโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์นับกล่องทีวีเปล่าครบ 5 กล่อง อาร์ดุยโน่ uno จะส่งลอจิก “1” ไปที่บอร์ดอาร์ดุยโน่ mega 2560 แต่ถ้าโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์นับกล่องทีวีเปล่าได้ 0 กล่อง อาร์ดุยโน่ uno จะส่งลอจิก “0” ไปที่บอร์ดอาร์ดุยโน่ mega 2560



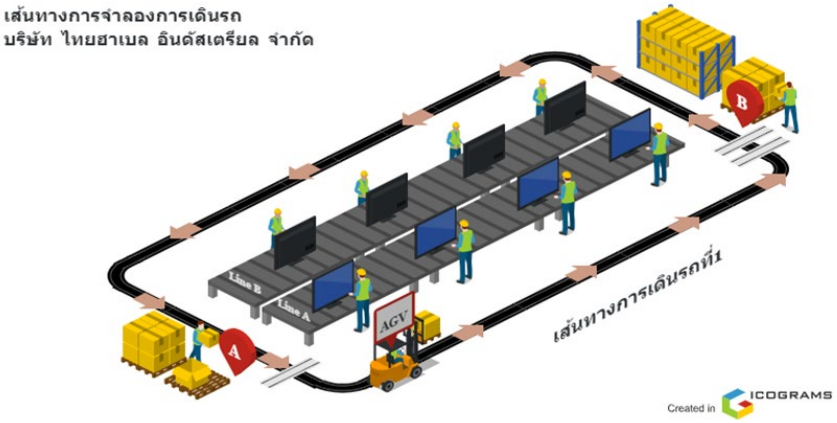
ภาพที่ 2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ กับบอร์ดอาร์ดุยโน่

3. การออกแบบเส้นทางการขนส่งของรถเอจีวีสำหรับขนส่งกล่องทีวี

คณะผู้วิจัยออกแบบเส้นทางการเคลื่อนย้ายกล่องทีวีเปล่าด้วยรถเอจีวี 2 ฟังก์ชัน ดังนี้ 1. ฟังก์ชันที่ 1 ให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแบบวนรอบแสดงดังภาพที่ 3 และ 2. ฟังก์ชันที่ 2 ให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแต่เมื่อถึงจุดสุดท้ายให้หมุนตัวกลับแสดงดังภาพที่ 4

3.1 ฟังก์ชันที่ 1 ให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแบบวนรอบ

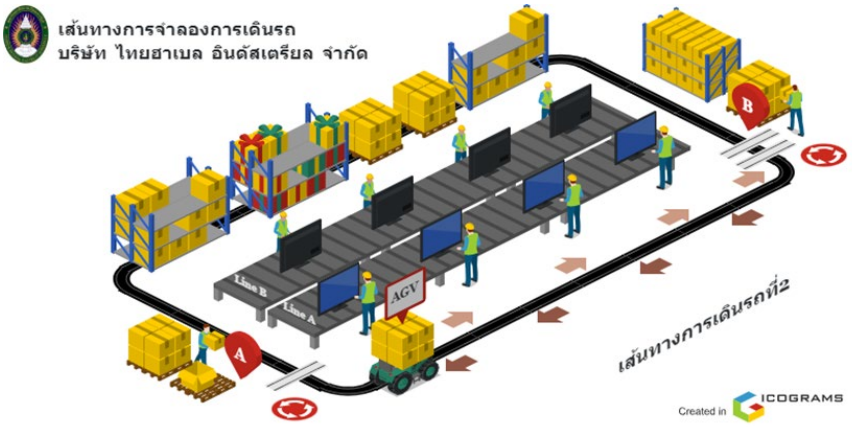
ภาพที่ 3 แสดงแผนที่รถเอจีวีรับและส่งกล่องทีวีเปล่าซึ่งทำงานฟังก์ชันที่ 1 รถเอจีวีจะรับกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี A พนักงานจะบรรจุกล่องทีวีเปล่าจำนวน 5 กล่อง แล้วรถเอจีวีจะเคลื่อนที่ผ่านไลน์ผลิต A ไปยังสถานี B เพื่อให้พนักงานนำกล่องทีวีเปล่าออกมาเตรียมไว้เพื่อบรรจุทีวีที่ทำการจัดประกอบเรียบร้อยแล้ว กรณีกล่องทีวีเปล่าถูกนำออกไปหมดแล้ว รถเอจีวีจะเคลื่อนที่ผ่านไลน์ผลิต B ไปยังสถานี A เพื่อรับกล่องทีวีเปล่าอีกครั้ง



ภาพที่ 3 เส้นทางการขนส่งของรถเอจีวีสำหรับขนส่งกล่องทีวีฟังก์ชันที่ 1

3.2 ฟังก์ชันที่ 2 ให้รถเอจีวีเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแต่เมื่อถึงจุดสุดท้ายให้หมุนตัวกลับ

แผนที่รถเอจีวีเคลื่อนที่รับและส่งกล่องทีวีเปล่าด้วยฟังก์ชันที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 4 รถเอจีวีรับกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี A พนักงานจะบรรจุกล่องทีวีเปล่าจำนวน 5 กล่อง แล้วรถเอจีวีจะเคลื่อนที่ผ่านไลน์ผลิต A ไปยังสถานี B เพื่อให้พนักงานนำกล่องทีวีเปล่าออกมาเตรียมไว้เพื่อบรรจุทีวีที่ทำการจัดประกอบเรียบร้อยแล้ว กรณีที่กล่องทีวีเปล่าถูกนำออกไปหมดแล้ว รถเอจีวีจะเคลื่อนที่หมุนตัวกลับผ่านไลน์ผลิต A ไปยังสถานี A เพื่อรับกล่องทีวีเปล่าอีกครั้ง



ภาพที่ 4 เส้นทางการขนส่งของรถเอจีวีสำหรับขนส่งกล่องทีวีรูปฟังก์ชันที่ 2

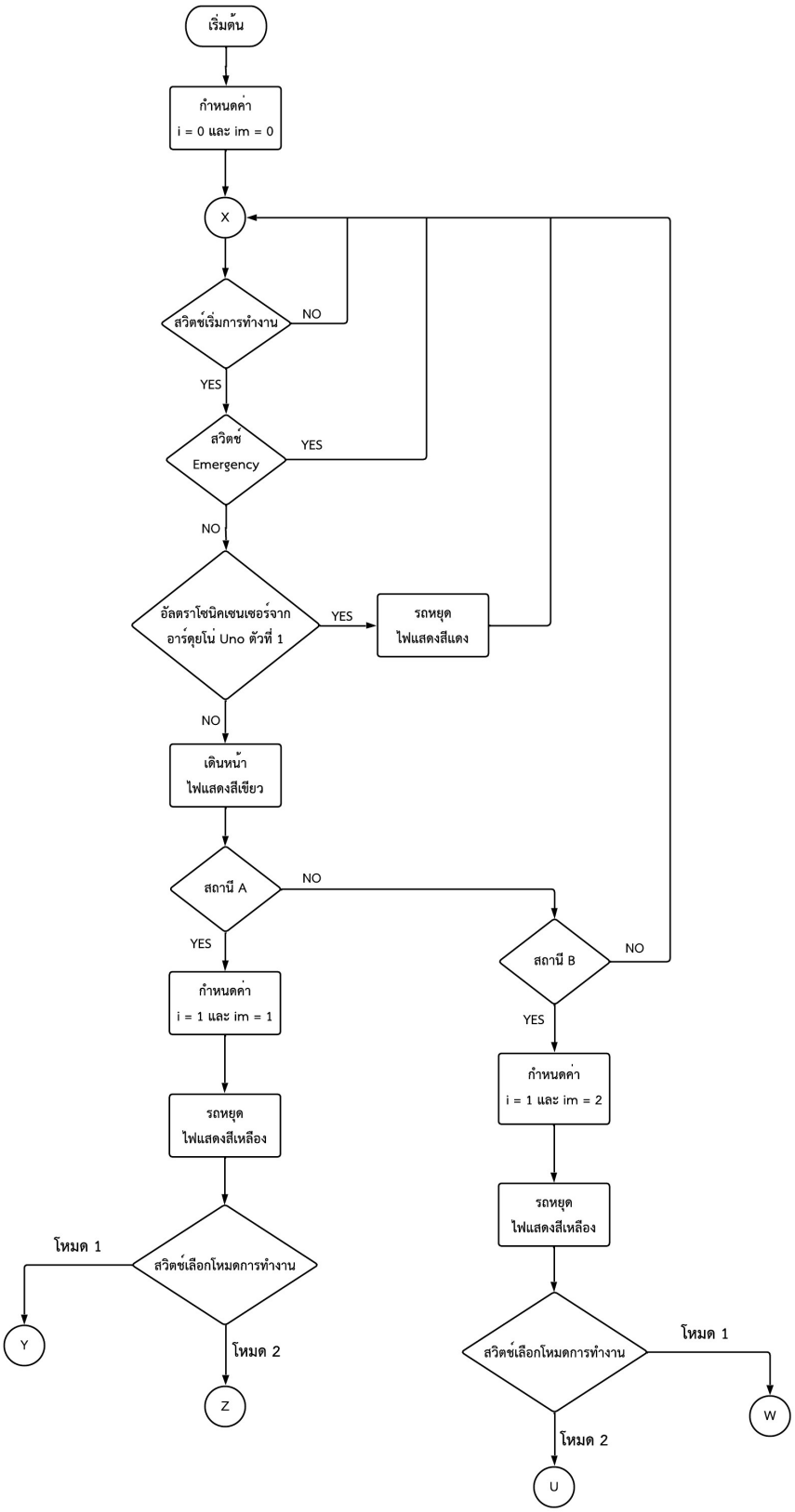
3.3 ผังงานโปรแกรมของรถเอจีวี

ภาพที่ 6 แสดงแผนภาพโปรแกรมการทำงานของรถเอจีวีสำหรับขนส่งกล่องทีวีเปล่าฟังก์ชันที่ 1 และ 2 การทำงานตามแผนภาพโปรแกรมอธิบายได้ดังนี้ เมื่อเปิดเบรกเกอร์ โปรแกรมมีการตั้งค่าเริ่มต้นการตรวจเช็คสถานีด้วยการกำหนดให้ i = 0 (i คือ การตรวจสอบการพบสถานี) และ im = 0 (im คือ การตรวจสอบสถานี A หรือ B) อาร์ดุยโน่ mega 2560 จะรอสัญญาณจากสวิตช์สั่งงาน กรณีสวิตช์ไม่ป้อนสัญญาณลอจิก “1” โปรแกรมจะไม่ทำงานและจะกลับไปเช็คที่โหนด X เพื่อรอสัญญาณลอจิก “1” กรณีสวิตช์ป้อนสัญญาณลอจิก “1” โปรแกรมตรวจเช็คสวิตช์ Emergency ถ้าสวิตช์ถูกกด รถหยุดการเคลื่อนที่และกลับไปเช็คสวิตช์ที่โหนด X ลำดับถัดไป โปรแกรมตรวจเช็คสัญญาณจากอาร์ดุยโน่ uno ตัวที่หนึ่ง ซึ่งตรวจเช็คสิ่งกีดขวางด้วยอัลตราโซนิคเซนเซอร์ กรณีมีสิ่งกีดขวางรถโปรแกรมสั่งให้รถหยุดทำงาน และไฟทาวเวอร์แสดงสีแดง โปรแกรมกลับไปที่โหนด X กรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง อาร์ดุยโน่ mega สั่งให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และไฟทาวเวอร์จะแสดงสีเขียว ระหว่างรถเคลื่อนที่โปรแกรมรับสัญญาณจากเซนเซอร์ตรวจเช็คเส้นขาวหรือดำเพื่อควบคุมให้รถอยู่ในเส้นดำพร้อมกับตรวจเช็คสถานี กรณีเซนเซอร์ตรวจเช็คเส้นขาวหรือดำตรวจพบเส้นสีดำ 3 ตัว (นับจากทางซ้ายของตัวรถเอจีวี) แสดงสัญลักษณ์สถานี A โปรแกรมเข้าไปทำงาน

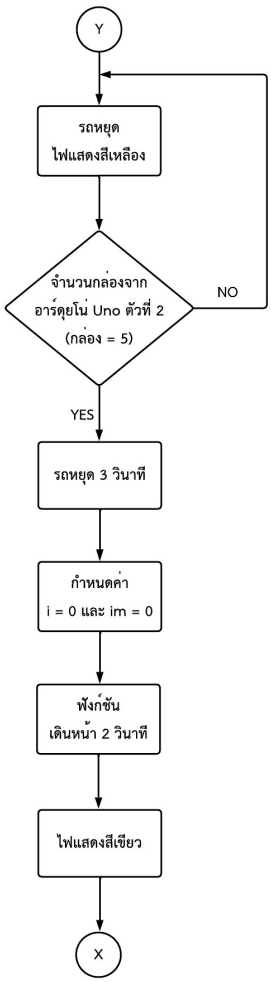
โหมดตรวจพบสถานี A กรณีเซนเซอร์ตรวจเช็คเส้นขาวหรือดำตรวจพบเส้นสีดำ 4 ตัว แสดงสัญลักษณ์สถานี B โปรแกรมเข้าไปทำงานโหมดตรวจพบสถานี B แต่ถ้าไม่พบสถานี A หรือสถานี B โปรแกรมกลับไปที่โหนด X เพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าต่อไป

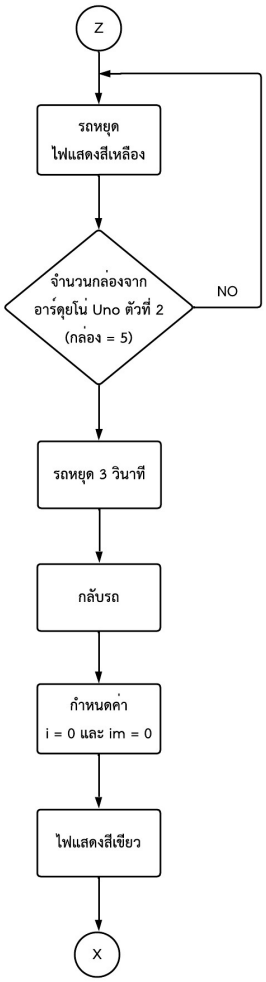
กรณีเซนเซอร์ตรวจพบสถานี A โปรแกรมเพิ่มค่า i = 1 และ im = 1 รถก็จะหยุดรับกล่องทีวีเปล่าและไฟทาวเวอร์แสดงสีเหลือง ลำดับถัดไป โปรแกรมทำการเช็คสวิตช์เลือกฟังก์ชันการทำงานของรถเอจีวี ซึ่งตั้งค่าไว้ตั้งแต่เริ่มต้นการทำงาน กรณีสวิตช์เลือกฟังก์ชันที่ 1 รถก็จะทำงานที่โหนด Y ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก) โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ 5 ตัว จากอาร์ดุยโน่ uno ตัวที่ 2 ตรวจนับจำนวนกล่องทีวีเปล่า ผู้ใช้งานจะใส่กล่องทีวีเปล่าทีละกล่องและ 7-segment แสดงจำนวนกล่องทีวีเปล่า กรณีกล่องทีวีเปล่ามีจำนวน 5 กล่อง อาร์ดุยโน่ uno ตัวที่ 2 ส่งลอจิก “1” รถหยุด 3 วินาที และโปรแกรมตั้งค่า i = 0 และ im = 0 จากนั้นโปรแกรมทำงานในฟังก์ชันเดินหน้า 2 วินาที เพื่อให้รถออกจากสถานี ไฟทาวเวอร์แสดงสีเขียว แล้วกลับไปเช็คการทำงานที่โหนด X เพื่อเคลื่อนที่ไปหาสถานี B กรณีสวิตช์เลือกฟังก์ชันที่ 2 รถก็จะทำงานที่โหนด Z ดังแสดงในภาพที่ 6 (ข) โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ 5 ตัว ตรวจนับจำนวนกล่องทีวีเปล่า ผู้ใช้งานจะใส่กล่องทีวีเปล่าทีละกล่องและ 7-segment แสดงจำนวนกล่องทีวีเปล่า กรณีกล่องทีวีเปล่าเท่ากับ 5 กล่อง อาร์ดุยโน่ uno ตัวที่ 2 ส่งลอจิก “1” รถหยุด 3 วินาที ลำดับถัดไป รถจะกลับตัวเพื่อเคลื่อนที่กลับไปหาสถานี B โปรแกรมตั้งค่า i = 0 และ im = 0 ไฟ ทาวเวอร์แสดงสีเขียว แล้วกลับไปเช็คการทำงานที่โหนด X เพื่อเคลื่อนที่ไปหาสถานี B กรณีรถเอจีวีมีกล่องทีวีเปล่า </= 5 กล่อง รถจะหยุดที่สถานี B แล้วตรวจเช็คจำนวนกล่อง รถจะรอจนกว่ากล่องทีวีเปล่าจะเท่ากับศูนย์กล่อง รถจึงจะเคลื่อนที่ไปหาสถานี A ตามฟังก์ชันที่เลือกไว้ รถเอจีวีจะทำงานวนลูปไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีการปิดสวิตช์ให้รถเอจีวีหยุดทำงาน โปรแกรมฟังก์ชันที่ 2 จะมีการตรวจเช็คสิ่งกีดขวางพร้อมกับทำการหมุนตัวกลับรถ

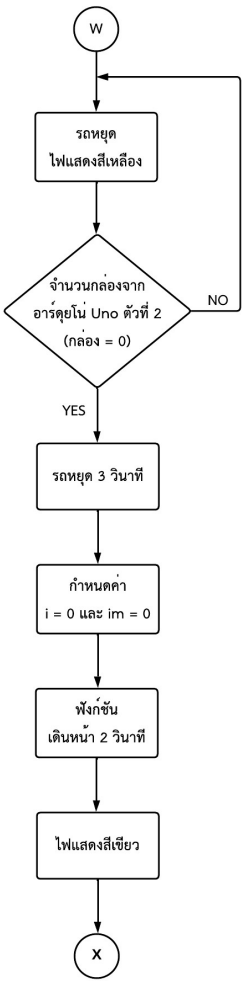
กรณีเซนเซอร์ตรวจพบสถานี B โปรแกรมเพิ่มค่า i = 1 และ im = 2 รถก็จะหยุดส่งกล่องทีวีและไฟทาวเวอร์แสดงสีเหลือง โปรแกรมทำการเช็คสวิตช์เลือกฟังก์ชันการทำงานของรถเอจีวี กรณีสวิตช์เลือกฟังก์ชันที่ 1 รถก็จะทำงานที่โหนด W ดังแสดงในภาพที่ 6 (ค) โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ 5 ตัว ตรวจนับจำนวนกล่องทีวีเปล่า ผู้ใช้งานจะนำกล่องทีวีเปล่าออกทีละกล่องและ 7-segment แสดงจำนวนกล่องทีวีเปล่า กรณีกล่องทีวีเปล่ามีจำนวนศูนย์กล่อง อาร์ดุยโน่ uno ตัวที่ 2 ส่งลอจิก “0” รถหยุด 3 วินาที และโปรแกรมตั้งค่า i = 0 และ im = 0 จากนั้นจะโปรแกรมเข้าไปทำงานที่ฟังก์ชันเดินหน้า 2 วินาที เพื่อให้รถออกจากสถานี ไฟทาวเวอร์แสดงสีเขียว แล้วกลับไปเช็คการทำงานที่โหนด X เพื่อเคลื่อนที่ไปหาสถานี A กรณีสวิตช์เลือกฟังก์ชันที่ 2 รถก็จะทำงานที่โหนด U ดังแสดงในภาพที่ 6 (ง) โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ 5 ตัว ตรวจนับจำนวนกล่องทีวีเปล่า ผู้ใช้งานจะนำกล่องทีวีเปล่าออกทีละกล่องและ 7-segment แสดงจำนวนกล่องทีวีเปล่า กรณีกล่องทีวีเปล่ามีจำนวนศูนย์กล่อง อาร์ดุยโน่ uno ตัวที่ 2 ส่งลอจิก “0” รถหยุด 3 วินาที ลำดับถัดไปรถจะกลับตัวเพื่อเคลื่อนที่กลับไปหาสถานี A โปรแกรมตั้งค่า i = 0 และ im = 0 ไฟทาวเวอร์แสดงสีเขียว แล้วกลับไปเช็คการทำงานที่โหนด X เพื่อเคลื่อนที่ไปหาสถานี A

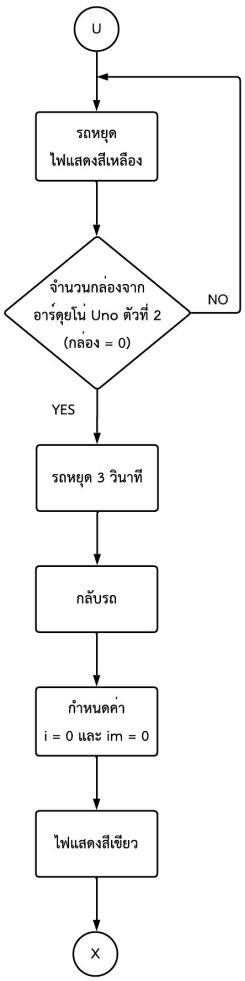


ภาพที่ 5 แผนภาพโปรแกรมการทำงานของรถเอจีวีสำหรับขนส่งกล่องทีวี


Y
รถหยุด
ไฟแสดงสีเหลือง
จำนวนกล่องจาก
อาร์ดุยโน่ Uno ตัวที่ 2
(กล่อง = 5)
NO
YES
รถหยุด 3 วินาที
กำหนดค่า
i = 0 และ im = 0
ฟังก์ชัน
เดินหน้า 2 วินาที
ไฟแสดงสีเขียว
X


Z
รถหยุด
ไฟแสดงสีเหลือง
จำนวนกล่องจาก
อาร์ดุยโน่ Uno ตัวที่ 2
(กล่อง = 5)
NO
รถหยุด 3 วินาที
กลับรถ
กำหนดค่า
i = 0 และ im = 0
ไฟแสดงสีเขียว
X


W
รถหยุด
ไฟแสดงสีเหลือง
จำนวนกล่องจาก
อาร์ดุยโน่ Uno ตัวที่ 2
(กล่อง = 0)
NO
YES
รถหยุด 3 วินาที
กำหนดค่า
i = 0 และ im = 0
ฟังก์ชัน
เดินหน้า 2 วินาที
ไฟแสดงสีเขียว
X



(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 6 แผนภาพโปรแกรมการทำงานของรถเอจีวีสำหรับขนส่งกล่องทีวีเปล่า
(ก) สถานี A ฟังก์ชันที่ 1 (ข) สถานี A ฟังก์ชันที่ 2 (ค) สถานี B ฟังก์ชันที่ 1 และ (ง) สถานี B ฟังก์ชันที่ 2

4. การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองคุณสมบัติของรถเอจีวี

รถเอจีวีถูกออกแบบให้เคลื่อนที่ทางตรงด้วยความเร็วคงที่ประมาณ 0.29 เมตรต่อวินาที และเคลื่อนที่ทางโค้งด้วยความเร็วคงที่เท่ากับ 0.25 เมตรต่อวินาที ผู้วิจัยทำการทดลองการบริโภคกำลังไฟฟ้าด้วยการให้รถเคลื่อนที่จากสถานี A ไปสถานี B และรถเคลื่อนที่จากสถานี B ไปสถานี A พร้อมกับวัดกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ จากผลการทดลองพบว่ารถใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 5 แอมป์แปร์ รถเอจีวีมีการบริโภคกำลังไฟฟ้าประมาณ 120 วัตต์ และรถสามารถใช้แบตเตอรี่ 24 โวลต์ 30 แอมแปร์ต่อชั่วโมง ได้ประมาณ 6 ชั่วโมง รถเอจีวีติดตั้งอัลตราโซนิคเซนเซอร์จำนวน 3 ตัว อยู่ด้านหน้าตรงกลาง ด้านซ้าย และด้านขวา ตั้งค่าระยะการตรวจเช็ควัตถุเท่ากับ 40 เซนติเมตร จากการทดลองการตรวจเช็ควัตถุด้านละ 10 ครั้ง พบว่ารถเอจีวีหยุดห่างจากวัตถุด้านหน้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.3 เซนติเมตร ระยะการหยุดมีความผิดพลาดเท่ากับ 4.7 เซนติเมตร รถเอจีวีหยุดห่างจากวัตถุด้านซ้ายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.19 เซนติเมตร ระยะการหยุดมีความคผิดพลาดเท่ากับ 4.84 เซนติเมตร และรถเอจีวีหยุดห่างจากวัตถุด้านขวามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.78 เซนติเมตร ระยะการหยุดมีความผิดพลาดเท่ากับ 6.22 เซนติเมตร

4.2 การทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่าด้วยฟังก์ชันที่ 1

4.2.1 การทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี A ไปสถานี B

การทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี A ไปสถานี B โดยให้อินฟราเรดเซนเซอร์ทำการตรวจเช็คเส้นขาวดำเพื่อให้รถเคลื่อนที่บนเส้นทางไปยังสถานี A เมื่อถึงสถานี A รถจะหยุด จากนั้นทำการใส่กล่องทีวีเปล่าบนโครงรถให้ครบ 5 กล่อง และ 7 segment แสดงจำนวนกล่องทีวีเปล่าที่นับได้ดังแสดงในภาพที่ 7 เมื่อกล่องทีวีเปล่าเท่ากับ 5 กล่อง แล้วรถจะหยุด 3 วินาที ต่อจากนั้นรถก็จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าไปยังสถานี B ซึ่งมีระยะทาง 38.78 เมตร และใช้เวลาเท่ากับ 2 นาที 36 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 8 (ก) ขณะรถกำลังเคลื่อนที่ รถเอจีวีจะมีการเช็คสิ่งกีดขวางโดยใช้อัลตราโซ–นิคเซนเซอร์ตรวจเช็คอยู่ตลอดการทำงาน ภาพที่ 8 (ข) แสดงรถเอจีวีเคลื่อนที่เข้าสถานี B เมื่อถึงสถานี B รถจะหยุดเพื่อส่งกล่องทีวีเปล่า ภาพที่ 9 (ก) – (จ) แสดงผลการนับจำนวนกล่องทีวีเปล่าถอยหลังจาก 5 กล่องถึงศูนย์กล่องได้อย่างถูกต้อง จากผลการทดลองพบว่ารถเอจีวีสามารถทำงานได้ถูกต้องตามกระบวนการ และกรณีมีสิ่งกีดขวางด้านหน้า รถ เอจีวีสามารถหยุดในระยะปลอดภัยได้

4.2.2 การทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี B ไปสถานี A

การทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี B ไปสถานี A เริ่มต้นด้วยการให้รถเคลื่อนที่ไปยังสถานี B เมื่อถึงสถานี B อินฟราเรดเซนเซอร์ทำการตรวจเช็คสัญลักษณ์สถานี B เมื่อพบสถานี B รถจะหยุดเพื่อส่งกล่องทีวีเปล่าดังแสดงในภาพที่ 10 (ก) จากนั้นทำการนำกล่องทีวีเปล่าออกจากโครงขนกล่องจนหมด (0 กล่อง) โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ตรวจนับจำนวนกล่อง และตัวแสดงผลเจ็ดส่วนแสดงเลขศูนย์ เมื่อนำกล่องออกหมดแล้วรถจะหยุดรอ 3 วินาที เมื่อครบ 3 วินาที รถเอจีวีเคลื่อนที่ไปยังสถานี A ดังแสดงในภาพที่ 10 (ข) รถจะใช้เวลาเคลื่อนที่จากสถานี B ไปสถานี A 1 นาที 36 วินาที ซึ่งมีระยะทาง 24.30 เมตร ระหว่างที่รถกำลังเคลื่อนที่จะมีการเช็คสิ่งกีดขวางโดยใช้อัลตราโซนิคเซนเซอร์ตรวจเช็คอยู่ตลอดการทำงาน ภาพที่ 10 (ค) แสดงรถเอจีวีเคลื่อที่ก่อนถึงสถานี A เมื่อเคลื่อนที่ถึงสถานี A รถจะหยุดเพื่อรับกล่องทีวีเปล่าอีกครั้ง จากผลการทดลองพบว่ารถเอจีวีสามารถทำงานได้ตามกระบวนการที่ออกแบบไว้ได้ถูกต้อง

4.3 การทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่าด้วยฟังก์ชันที่ 2

4.3.1 การทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี A ไปสถานี B

รถการทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี A ไปสถานี B ด้วยฟังก์ชันที่ 2 เริ่มต้นด้วยการให้รถเคลื่อนที่บนเส้นทางไปยังสถานี A อินฟราเรดเซนเซอร์ทำการตรวจเช็คเส้นสีขาวหรือดำเพื่อให้รถเคลื่อนที่ตามเส้น และตรวจหาสถานี A เมื่อถึงสถานี A รถจะหยุด จากนั้นทำการใส่กล่องทีวีเปล่าบนโครงรถจำนวน 5 กล่อง โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ตรวจนับจำนวนกล่อง และตัวแสดงผลเจ็ดส่วนแสดงเลข 5 รถจะหยุดรอ 3 วินาที จากนั้นรถเอจีวีทำการกลับรถเพื่อเคลื่อนที่ไปสถานี B ดังแสดงในภาพที่ 11 (ก) รถเอจีวีใช้เวลาเคลื่อนที่ไปยังสถานี B เท่ากับ 1 นาที 51 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 11 (ข) ขณะรถกำลังเคลื่อนที่ก็จะมีการเช็คสิ่งกีดขวางด้วยอัลตราโซนิคเซนเซอร์ตรวจเช็คอยู่ตลอดการเคลื่อนที่ ภาพที่ 11 (ค) แสดงรถเอจีวีเคลื่อนที่ก่อนถึงสถานี B เมื่อถึงรถสถานี B รถเอจีวีจะหยุดเพื่อส่งกล่องทีวีเปล่า จากผลการทดลองพบว่ารถเอจีวีสามารถทำงานได้ตามกระบวนการที่ออกแบบไว้ได้ถูกต้อง



(ก) (ข) (ค)



(ง) (จ) (ฉ)

ภาพที่ 7 จำนวนกล่องที่ตัวแสดง 7-segment (ก) จำนวนศูนย์กล่อง (ข) จำนวนหนึ่งกล่อง (ค) จำนวน 2 กล่อง (ง) จำนวน 3 กล่อง (จ) จำนวน 4 กล่อง และ (ฉ) จำนวน 5 กล่อง



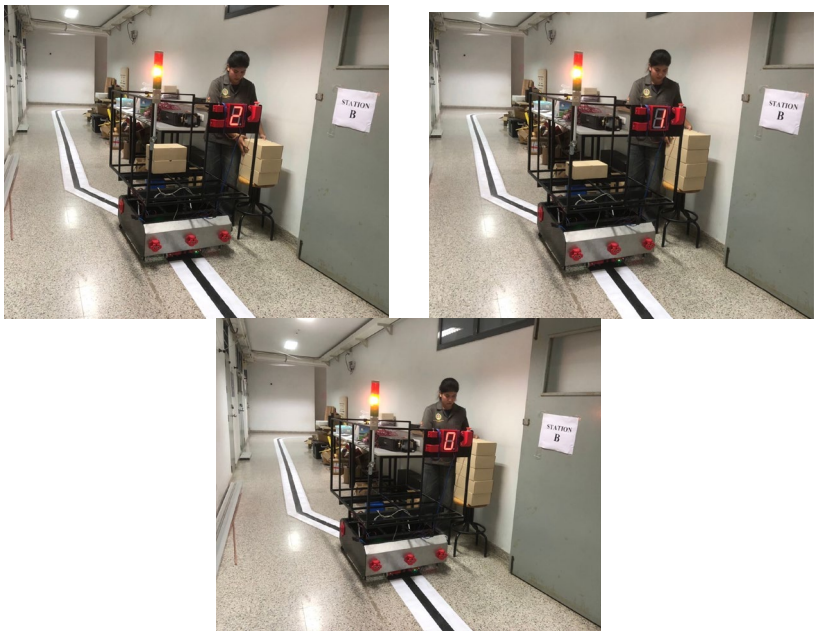

(ก) (ข)

ภาพที่ 8 การทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี A ไปสถานี B ด้วยฟังก์ชันที่ 1 (ก) เคลื่อนที่ออกจากสถานี A และ (ข) เคลื่อนที่ก่อนถึงสถานี B



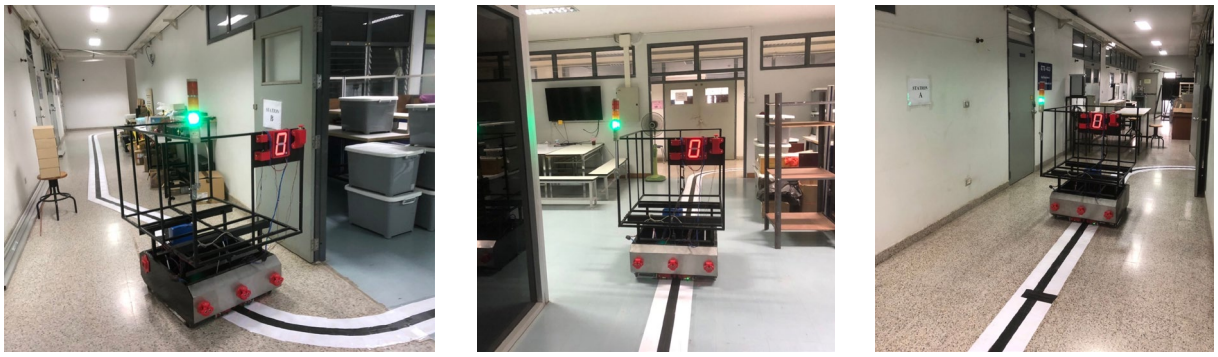



(ก) (ข) (ค)



(ง) (จ) (ฉ)

ภาพที่ 9 จำนวนกล่องเปล่าที่จอ 7-segment (ก) จำนวน 5 กล่อง (ข) จำนวน 4 กล่อง (ค) จำนวน 3 กล่อง (ง) จำนวน 2 กล่อง (จ) จำนวนหนึ่งกล่อง และ (ฉ) จำนวนศูนย์กล่อง



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 10 รถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่าจากสถานี B ไปสถานี A ด้วยฟังก์ชันที่ 1 (ก) เคลื่อนที่ออกจากสถานี B (ข) ระหว่างทาง และ (ค) เคลื่อนที่ก่อนถึงสถานี A

4.3.2 การทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี B ไปสถานี A

การทดลองรถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่า ณ สถานี B ไปสถานี A เริ่มต้นด้วยการให้รถเอจีวีเคลื่อนที่ตามเส้นดำไปยังสถานี B อินฟราเรดเซนเซอร์ตรวจพบสถานี B รถจะหยุดเพื่อส่งกล่องทีวีเปล่า จากนั้นทำการนำกล่องทีวีเปล่าออกจากโครงรถให้เหลือศูนย์กล่อง ตัวแสดงผลเจ็ดส่วนแสดงจำนวนศูนย์กล่อง รถจะหยุดรอ 3 วินาที จากนั้นรถเอจีวีก็จะทำการกลับรถแล้วเคลื่อนที่ไปยังสถานี A ดังแสดงในภาพที่ 12 (ก) การเคลื่อนที่ของรถเอจีวีจากสถานี B ไปยังสถานี A ใช้เวลาเท่ากับ 1 นาที 48 วินาที ภาพที่ 12 (ข) แสดงรถเอจีวีเคลื่อนที่จากสถานี B ไปสถานี A ภาพที่ 12 (ค) แสดงรถเอจีวีเคลื่อที่ก่อนถึงสถานี A เมื่อเคลื่อนที่ถึงสถานี A รถจะหยุดเพื่อรับกล่องทีวีเปล่าอีกครั้ง จากผลการทดลองพบว่ารถเอจีวีสามารถทำงานได้ตามกระบวนการที่ออกแบบไว้ได้ถูกต้อง และอัลตราโซนิคสามารถตรวจพบสิ่งกีดขวางได้ตลอดเวลาที่รถเคลื่อนที่



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 11 รถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่าจากสถานี A ไปสถานี B ด้วยฟังก์ชันที่ 2
(ก) กลับรถไปสถานี B (ข) ระหว่างทาง และ (ค) เคลื่อนที่ก่อนถึงสถานี B



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 12 รถเอจีวีบรรทุกกล่องทีวีเปล่าจากสถานี B ไปสถานี A ด้วยฟังก์ชันที่ 2
(ก) กลับรถไปสถานี A (ข) ระหว่างทาง และ (ค) เคลื่อนที่ก่อนถึงสถานี A

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างรถเอจีวีสำหรับขนส่งกล่องทีวีเปล่า ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดุยโน MEGA 2560 และอาร์ดุยโน UNO 2 บอร์ด ทำหน้าที่ประมวลผลการทำงานของเซนเซอร์และควบคุมการเคลื่อนที่และการแสดงจำนวนกล่องทีวีเปล่าที่ขนย้าย รถเอจีวีมีการเคลื่อนที่ 2 ฟังก์ชัน ฟังก์ชันที่ 1 เคลื่อนที่รับกล่องทีวีเปล่าที่สถานี A นำไปส่งที่สถานี B แล้วเคลื่อนที่ไปรับกล่องทีวีเปล่าที่สถานี A ซึ่งมีลักษณะวงรี และฟังก์ชันที่ 2 เคลื่อนที่รับกล่องทีวีเปล่าที่สถานี A แล้วกลับรถเคลื่อนที่ไปส่งที่สถานี B จากนั้นกลับรถมารับกล่องทีวีเปล่าที่สถานี A ซึ่งมีลักษณะครึ่งวงรี รถเอจีวีที่นำเสนอสามารถรับกล่องทีวีเปล่าจากสถานี A แล้วไปส่งที่สถานี B แล้วไปรับกล่องที่สถานี A อีกครั้งได้ถูกต้องทั้ง 2 ฟังก์ชัน หน้าจอ 7-segment แสดงจำนวนกล่องทีวีเปล่าที่บรรทุกได้ถูกต้อง กรณีมีสิ่งกีดขวางด้านหน้าและด้านข้างของรถเอจีวี รถสามารถหยุดห่างจากสิ่งกีดขวางประมาณ 35 เซนติเมตร

เอกสารอ้างอิง

นพรุจ เขียวนาค และ สมมาตร พรหมพุฒ, (2565), การออกแบบและพัฒนารถขนส่งวัสดุอัตโนมัติราคาถูกสำหรับขนส่งวัสดุระหว่างกระบวนการผลิต, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 4(1), 92–106.

นันทพันธ์ กนกศิริรุจิษยา, (2562), การออกแบบและพัฒนาระบบขนถ่ายสิ่งตรวจด้วยรถขนส่งอัตโนมัติในอุตสาหกรรมสุขภาพ, วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พงศ์เทพ ดวงมาศ. (2550). การพัฒนาระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับเอจีวี. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

โรบอทสยาม. หลักการ IR Sensor. ค้นเมื่อ พฤษภาคม 9, 2566, จาก https://shorturl.asia/CEDrA

Arduino all. โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์. ค้นเมื่อ พฤศจิกายน 24, 2565, จาก https://shorturl.asia/6apKw

Arduino all. BTN7960 BTS7960 43A Current Limiting High-Power H-Bridge DC Motor Drive Module มอดูลขับ Motor DC. ค้นเมื่อ ตุลาคม 25, 2565, จาก https://citly.me/WoUOi

Arduino all. TCRT5000 infrared reflectance Obstacle avoidance line tracking sensor. ค้นเมื่อ พฤษภาคม 9, 2566, จาก https://shorturl.asia/lt4lg

ระบบควบคุมเครื่องคั่วกาแฟลมร้อนและตรวจวัดระดับการคั่วกาแฟด้วยเทคนิคการควบคุมพีไอดี และแมชชีนเลิร์นนิง

PID controlled fluidized bed coffee roaster and roast level by machine learning technique

ปรานต์ เมฆอากาศ[1], สุกัญญา สืบแสน[2,3], กันตา แสงวิจิตร[3] และ นงนุช ศรีเล็ก[1*]

Pran Makarkard[1], Sugunya Suebsan[2,3], Kanta Sangwijit[3] and Nongnoot Srilek[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาระบบควบคุมเครื่องคั่วกาแฟลมร้อนโดยการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องคั่วด้วยเทคนิคการควบคุมแบบพีไอดีและมีการใช้การคั่วกาแฟแบบให้ความร้อนคงที่แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น พบว่า สภาวะการคั่วที่ดีที่สุด คือ ช่วงอุณหภูมิ 160–180 °C 170–190 °C และ 170–200 °C ตามลำดับ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบระดับการคั่วด้วยการประมวลผลภาพด้วยโมเดลแรนดอมฟอร์เรสจากแมชชีนเลิร์นนิงที่มีความแม่นยำที่ 93.33%

คำสำคัญ: ระบบการควบคุม, เครื่องคั่วกาแฟลมร้อน, การวัดระดับการคั่ว, แมชชีนเลิร์นนิง, การประมวลผลภาพ

Abstract

This research studies fluidized bed coffee roaster controller system. Temperature in the roasting chamber is controlled by PID controller using the pre–heating temperature and continuous temperature increase from low to high (PLHC) technique. This result shows that the best roaster conditions are 160–180 °C, 170–190 °C, and 170–200 °C respectively. Tool for measuring level of roasting coffee is image processing using random forest model from machine learning with accuracy of 93.33%.

Keywords: Controller System, Fluidized Bed Coffee Roaster, Level Coffee Measuring, Machine Learning, Image Processing

[1] โปรแกรมวิชาวิศวกรรมพลังงานและเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100

[2] สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[3] หน่วย Plasma Bioengineering คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Energy Engineering and Electrical Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100

[2] Biology Department, School of Science, University of Phayao, Phayao 56000

[3] Plasma Bioengineering Unit, School of Science, University of Phayao, Phayao 56000

* Corresponding author : k_nongnoot@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันกาแฟนับได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจในภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก และเป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัดเชียงรายที่มีการปลูกมากที่สุด ทั้งนี้เกษตรกรรายย่อยขาดความรู้ด้านมาตรฐานและคุณภาพ อีกทั้งยังควบคุมคุณภาพให้เป็นตามมาตรฐานได้ยาก เนื่องจากพื้นที่ปลูกกาแฟกระจัดกระจายอยู่ตามทิวเขาทางภาคเหนือของประเทศไทย (กรวิทย์ และ สมรรถชัย, 2565) การพัฒนากระบวนการผลิตเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่กาแฟ ซึ่งหนึ่งในกระบวนการนั้นอยู่ที่กระบวนการคั่ว ที่ให้รสชาติและระดับความเข้มของกาแฟเป็นไปตามความชอบของแต่ละกลุ่มตลาด การจำแนกระดับการคั่วสามารถจำแนกจากสีของกาแฟตามมาตรฐานจากสมาคมกาแฟพิเศษอเมริกา (The Specialty Coffee Association of America: SCAA) ซึ่งใช้ค่าสีแปลงเป็นตัวเลขในช่วง 25 ถึง 95 คือ คั่วเข้มถึงคั่วอ่อนตามลำดับ (Leme et al, 2019) โดยแบ่งใหญ่ ๆ เป็น 3 ระดับ ได้แก่ คั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม แต่ในกระบวนการการคั่วกาแฟนั้นใช้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของแต่ละบุคคล ซึ่งหากต้องการควบคุมคุณภาพในระดับชุมชน ที่มีความต้องการขยายขนาดในการผลิตจึงมีความจำเป็นที่จะใช้ระบบควบคุมและการตรวจวัดระดับการคั่วให้ได้ในมาตรฐานเดียวกันในทุกครั้ง จึงเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้ในการสร้างระบบควบคุมการคั่วกาแฟที่สามารถกำหนดระดับได้ด้วยระบบการควบคุมด้วยพีไอดี (Proportional Integral Derivative Control : PID) (Yadav et al, 2018) และมีระบบการวัดระดับการคั่วของกาแฟจากแมชชีนเลิร์นนิง (Machine Learning : ML) ที่เข้าถึงได้ง่ายและใช้ประโยชน์ได้ใกล้เคียงกับท้องตลาด

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อสร้างระบบควบคุมการคั่วกาแฟที่สามารถกำหนดระดับด้วยเทคนิคการควบคุม PID
2. สร้างระบบการวัดระดับการคั่วของกาแฟด้วยการประมวลผลภาพโดยโมเดล ML

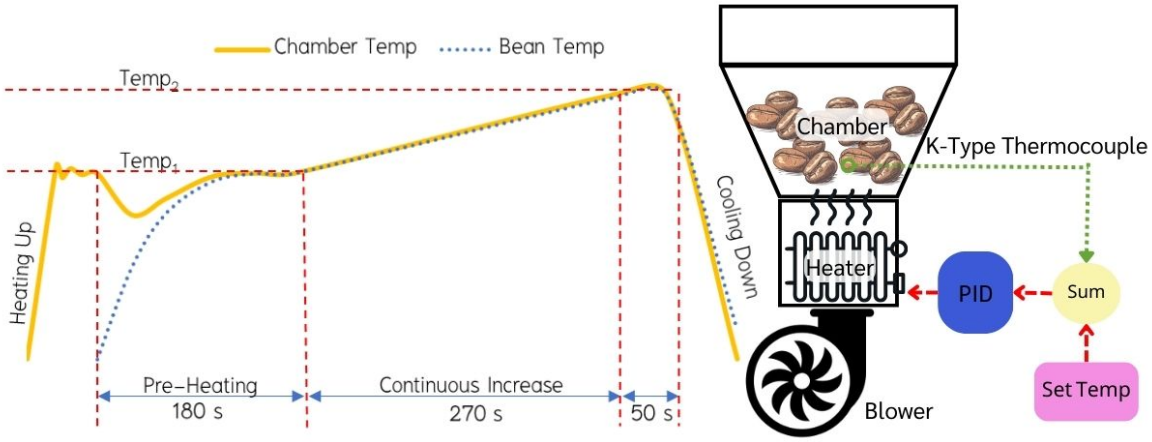
วิธีการศึกษา

การศึกษาระบบควบคุมเครื่องคั่วกาแฟลมร้อนและตรวจวัดระดับการคั่วกาแฟด้วยเทคนิคการควบคุมแบบ PID และ ML ใช้กาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าจากแหล่งดอยสวนยาหลวง จังหวัดน่าน กระบวนการเก็บเกี่ยวแบบแห้ง (Dry Process) มาทำการศึกษาดังนี้

1. ระบบควบคุมเครื่องคั่วกาแฟแบบลมร้อน

ระบบควบคุมเครื่องคั่วลมร้อนและตรวจวัดระดับการคั่วกาแฟด้วยเทคนิคการควบคุมแบบ PID เลือกใช้วิธีการคั่วแบบให้ความร้อนคงที่แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น (Pre-Heating Temperature and Continuous Temperature Increase from Low to High : PLHC) (Schenker et al, 2002) โดยหลักการทำงาน คือ ช่วงให้ความร้อนห้องคั่ว (Heating Up) ลมจากพัดลม (Blower) ที่มีความเร็วสูงผ่านเครื่องทำความร้อน (Heater) ทำให้ได้ลมร้อนไปยังห้องคั่ว (Chamber) อุณหภูมิจะถูกวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล (K-type Thermocouple) ที่อยู่ภายในห้องคั่วทำให้ทราบอุณหภูมิภายในห้องคั่ว เมื่ออุณหภูมิภายในห้องคั่วสูงขึ้นไปยังอุณหภูมิที่เริ่มต้น ($Temp_1$) ระบบควบคุม PID ทำการหรี่เร่งอุณหภูมิด้วยการจ่ายสัญญาณพัลส์ (Pulse) ไปยังโซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay) เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนไปยังเครื่องทำความร้อนให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ทำการตั้งค่า จากนั้นทำการเติมเมล็ดกาแฟลงไปยังห้องคั่วเข้าสู่ช่วงให้ความร้อนเมล็ดกาแฟ (Pre-Heating) และอุณหภูมิภายในห้องคั่วจะลดลง เนื่องจากลมร้อนที่ผ่านห้องคั่วจะพัดให้เมล็ดกาแฟเคลื่อนที่ตามแนวลม ทำให้ระบบควบคุม PID เร่งความร้อนไปยังห้องคั่วเพื่อให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนคงที่อย่างสม่ำเสมอในห้องคั่ว จากนั้น เมล็ดกาแฟเกิดการสะสมความร้อนจากลมร้อนทำให้เกิดกระบวนการคายน้ำออกจากเมล็ด และอุณหภูมิเมล็ดกาแฟมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องคั่วตามที่เริ่มต้น ($Temp_1$) ขั้นตอนนี้เมล็ดมีสีเหลืองอ่อน เมล็ดกาแฟมีการขยายตัวเล็กน้อยเยื่อหุ้มเมล็ด (Silver Skin)

หลุดออกจากเมล็ด ในกระบวนการนี้ใช้เวลา 180 วินาที (s) จากนั้นเข้าสู่ช่วงเพิ่มความร้อนให้สูงขึ้น (Continuous Increase) เครื่องทำความร้อนจะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นไปยังอุณหภูมิจบ ($Temp_2$) โดยให้อุณหภูมิภายในห้องคั่วเพิ่มระดับอุณหภูมิให้สูงขึ้นอัตโนมัติภายในช่วงเวลา 270 s และอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิห้องคั่ว ในช่วงนี้เมื่อเมล็ดกาแฟได้รับความร้อนกับเวลาที่พอเหมาะ จนเกิดการแตกตัวครั้งแรก (First Crack) แล้วแต่แหล่งและชนิดของเมล็ดกาแฟ และระดับอุณหภูมิที่สัมพันธ์กัน เมื่อครบเวลาช่วงดังกล่าว ทำการป้อนอุณหภูมิจบให้คงที่ที่ 50 s จากนั้นทำการหยุดให้ความร้อนที่เครื่องทำความร้อนเพื่อให้ระบายความร้อน (Cooling Down) ให้กับเมล็ดกาแฟเพื่อหยุดการเกิดปฏิกิริยาต่อดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รูปแบบการคั่วกาแฟแบบ PLHC

การทดสอบการคั่ว แบ่งสภาวะการคั่วแบบ PLHC โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้น ($Temp_1$) ที่ 150 °C 160 °C และ 170 °C ตามลำดับ จับคู่กับอุณหภูมิจบ ($Temp_2$) ที่ 180 °C 190 °C และ 200 °C ตามลำดับจะได้สภาวะการทดลองทั้งหมด 9 สภาวะการทดลอง สภาวะการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำกาแฟที่ผ่านการคั่วมาพักเป็นเวลา 7 วันแล้วจึงทำการบันทึกผลต่อไป

2. ระบบวัดระดับการคั่วของเมล็ดกาแฟ

การวัดระดับการคั่วกาแฟนั้นสามารถจำแนกได้จากเครื่องวัดสีความแม่นยำสูงตามมาตรฐาน SCAA ซึ่งมีราคาที่สูง เพื่อสร้างเครื่องมือการจำแนกระดับการคั่วในเบื้องต้นที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายในชุมชน งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นตัวจำแนก โดยการใช้หลักการประมวลผลภาพ (Image Processing) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนานั้นใช้ ML เป็นเครื่องมือจำแนก โดยการนำภาพกาแฟมาแปลงเป็นสี HSV (H: Hue, S: Saturation , V: Value) แล้วจึงแยกช่วงคุณสมบัติของสี (Feature) เทียบกับเมล็ดกาแฟจากท้องตลาดประกอบด้วย คั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม เป็นค่าเป้าหมาย (Target) อย่างละ 20 ภาพในการฝึกฝนโมเดล (Training) (ปรานต์ และคณะ, 2565) ดังแสดงในภาพที่ 2 โมเดลการเรียนรู้ที่ใช้ในการฝึกฝนโมเดล คือ แรนดอมฟอร์เรส (Random Forest: RF) ที่มีความผิดพลาดในการจำแนกระดับความต่างที่น้อยเนื่องจากใช้โมเดลการเรียนรู้แบบต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) หลายโมเดลรวมกัน (สุจิตรา และคณะ, 2566)

เมื่อทำการฝึกฝนโมเดลแล้วทำการทดสอบ (Testing) ความผิดพลาดด้วยคอนฟิวส์ชันเมทริก (Confusion Matrix) และหาค่าความแม่นยำในการฝึกฝน (Accuracy) ของโมเดลการฝึกฝน จากนั้นนำโมเดลที่ได้ไปทำการจำแนกระดับการคั่วจากการทดลองสภาวะการคั่วกาแฟต่อไป

ตารางที่ 1 การทดลองสภาวะการคั่วกาแฟ

การทดลองที่	$Temp_1$ (°C)	$Temp_2$ (°C)
1	150	180
2	150	190
3	150	200
4	160	180
5	160	190
6	160	200
7	170	180
8	170	190
9	170	200

*หมายเหตุ: ใช้เวลาเท่ากันทุกสภาวะ



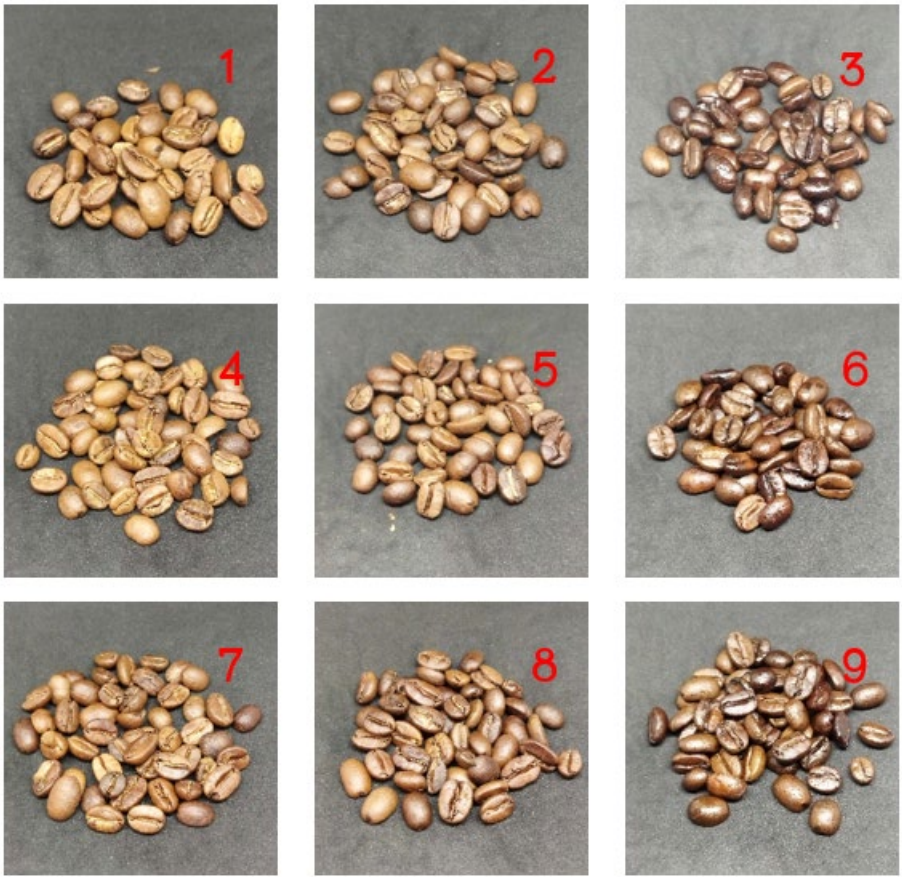
ภาพที่ 2 เมล็ดกาแฟท้องตลาด คั่วอ่อน(1) คั่วกลาง(2) และคั่วเข้ม(3)

ผลการศึกษา

ระบบควบคุมเครื่องคั่วกาแฟลมร้อนและตรวจวัดระดับการคั่วกาแฟด้วยเทคนิคการควบคุมแบบ PID และ ML ได้ทำการศึกษารูปแบบการคั่วแบบให้ความร้อนคงที่แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น และใช้คอมพิวเตอร์จำแนกระดับการคั่วโดยการประมวลผลภาพด้วยโมเดล RF ได้ผลดังนี้

1. ผลการทดลองสภาวะการคั่วกาแฟ

สภาวะการคั่วกาแฟทั้ง 9 สภาวะมีความแตกต่างกัน และพักเก็บไว้เป็นเวลา 7 วัน ผลที่ได้พบว่า สภาวะที่ 1 ได้เมล็ดกาแฟคั่วที่มีสีค่อนข้างสม่ำเสมอ คล้ายกับสภาวะที่ 2 4 และ 7 ที่ได้เมล็ดสีน้ำตาลอ่อนในบางเมล็ด ต่างจากสภาวะที่ 5 และ 8 ที่มีสีที่เข้มกว่า แต่ยังไม่เท่ากับสภาวะที่ 3 6 และ 9 ที่มีสีที่เข้มมากและมีน้ำมันออกมาเคลือบผิวเป็นจำนวนมาก ซึ่งแตกต่างจากสภาวะที่ 8 ที่มีน้ำมันเคลือบผิวเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาในด้านสีของเมล็ดกาแฟที่สม่ำเสมอ ได้แก่ สภาวะที่ 4 5 6 8 และ 9 ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการวิเคราะห์คุณภาพการคั่วในสภาวะนั้น ๆ ได้อีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เมล็ดกาแฟจากการทดลองสภาวะการคั่วกาแฟ

2. เครื่องมือวัดระดับการคั่วกาแฟด้วย ML

โมเดล RF เมื่อทำการฝึกฝนด้วยภาพกาแฟคั่วจากท้องตลาดที่มีระดับการคั่วอ่อน 20 ภาพ คั่วกลาง 20 ภาพ และคั่วเข้ม 20 ภาพ จากนั้นทำการทดสอบความแม่นยำโดยการนำภาพกาแฟคั่วจากท้องตลาดจำนวนอย่างละ 5 ภาพ ผลที่ได้พบว่า ภาพคั่วอ่อนจำแนกได้ 5 ภาพ คั่วกลางจำแนกได้คั่วกลาง 4 ภาพ เป็นคั่วอ่อน 1 ภาพ และคั่วเข้มจำแนกได้ 5 ภาพ ซึ่งความแม่นยำอยู่ที่ 93.33% ดังแสดงใน

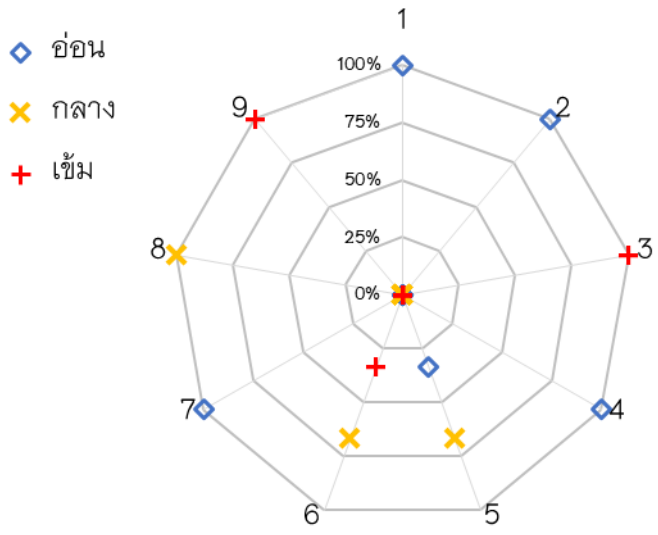
ตารางที่ 2

เมื่อนำโมเดล RF มาจำแนกระดับการคั่วทั้ง 9 สภาวะ โดยแต่ละสภาวะจะใช้ภาพมาจำแนกจำนวน 3 ภาพ พบว่า สภาวะที่ 1 2 4 และ 7 มีระดับการคั่ว คือ คั่วอ่อน สภาวะที่ 8 มีระดับการคั่ว คือ คั่วกลาง สภาวะ 3 และ 9 มีระดับการคั่ว คือ คั่วเข้ม ทั้งนี้สภาวะที่ 5 และ 6 นั้น เมื่อทำการทดสอบโมเดลการฝึกฝนจำแนกระดับการคั่วเป็นคั่วกลางเป็นส่วนใหญ่ที่ 66.66% แตกต่างกันที่ สภาวะที่ 5 จะจำแนกระดับการคั่วเป็นคั่วอ่อน และสภาวะที่ 6 จะจำแนกระดับการคั่วเป็นคั่วเข้ม โดยคิดเป็น 33.33% ดังแสดงในภาพที่ 4

ตารางที่ 2 คอนฟิวส์ชันเมทริกทดสอบความแม่นยำของโมเดล RF

	การจำแนกด้วยโมเดล RF		
ค่าจริง	อ่อน	กลาง	เข้ม
อ่อน	5	0	0

กลาง	1	4	0
เข้ม	0	0	5



ภาพที่ 4 ระดับการคั่วจากการจำแนกด้วยโมเดล RF

อภิปรายและสรุปผล

จากผลการศึกษาระบบควบคุมเครื่องคั่วกาแฟลมร้อนด้วยการควบคุม PID และตรวจวัดระดับการคั่วกาแฟด้วย ML พิจารณาจากสีของเมล็ดกาแฟคั่วที่สม่ำเสมอ และสภาวะการคั่วกาแฟด้วยเครื่องคั่วกาแฟลมร้อนแบบ PLHC โดยการอุ่นอากาศเวลา 180 s จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิไปยังอุณหภูมิจบในเวลา 270 s และทำการป้อนอุณหภูมิจบให้คงที่ที่ 50 s พบว่า สภาวะที่ดีที่สุด คือ

สภาวะที่ 4 ที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 160 °C อุณหภูมิจบที่ 180 °C มีระดับการคั่วอยู่ที่คั่วอ่อน

สภาวะที่ 8 ที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 170 °C อุณหภูมิจบที่ 190 °C มีระดับการคั่วอยู่ที่คั่วกลาง

สภาวะที่ 9 ที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 170 °C อุณหภูมิจบที่ 200 °C มีระดับการคั่วอยู่ที่คั่วเข้ม

ทั้งนี้สภาวะที่ 5 และ 6 นั้นมีสีของเมล็ดที่มีความสม่ำเสมอแต่ยังมีความคลุมเครือของการจำแนกของระดับการคั่ว โดยที่การศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งการจำแนกระดับการคั่วไว้เพียง 3 ระดับ คือ คั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาครั้งต่อไปหากทำการขยายช่วงการจำแนกเป็น 5 ระดับ โดยการเพิ่ม กลางค่อนอ่อน และกลางค่อนเข้ม เพื่อเพิ่มขอบเขตการจำแนกระดับการคั่วกาแฟจากการประมวลผลภาพด้วย ML ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายและมหาวิทยาลัยพะเยาที่ได้ให้การสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Dimas Samid Leme, Sabrina Alves da Silva, Bruno Henrique Groener Barbosa, Flavio Meira Borem and Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Prerira. (2019). Recognition of coffee roasting degree using a computer vision system. Computers and Electronics in Agriculture, 312–317.

Palaniyappan T K, Vaishali Yadav, Ruchira Vijay, Kumar Tayal and Pallavi Choudekar. (2018). PID Control Design for a Temperature Control System. 2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC), (หน้า 632-637). India.

S. Schenker, C. Heinnemann, M. Huber, R. Pompizzi and F. Escher. (2002). Impact of Roasting Conditions on the Formation of Aroma Compounds in Coffee Beans. Journal of Food Science, 60-66.

กรวิทย์ ฟักคง และ สมรรถชัย แย้มสอาด. (2565). โซ่อุปทานและโอกาสทางการตลาดของอุตสาหกรรมกาแฟและผลิตภัณฑ์กาแฟบนที่สูงของไทยเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางการตลาดในประเทศกลุ่มประชาคมอาเซียน. วารสารมนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์มหาวิทยาลัยธนบุรี, 56-67.

ปรานต์ เมฆอากาศ สุจิตรา จีนวงษ์ สิทธิชัย จีนวงษ์ และ นิวัติ นวลกัน. (2565). การคัดแยกความสุกของสับปะรดภูแลด้วยซัพพอร์ทเวคเตอร์แมชชีนและต้นไม้ตัดสินใจ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14, (หน้า 532-535).

สุจิตรา จีนะวงษ์ ปรานต์ เมฆอากาศ สิทธิชัย จีนะวงษ์ และ นิวัติ นวลกัน. (2566). การคัดเลือกลักษณะสำคัญของรูปสำหรับการจำแนกระดับความสุกของสับปะรดภูแล. การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่15 (15 ECTI-CARD 2023), (หน้า 53-57).

แบบจำลองเชิงตัวเลขของไซโคลนโดยวิธีคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

Numerical study of cyclone separator using computational fluid dynamics

สุทธินันท์ ศรีรัตยาวงค์[1], วสันต์ คำสนาม[1], สุธรรม อรุณ[1], ฝนทิพย์ จินันทุยา[1], วิชญ์พล ฟักแก้ว[1], นพรัตน์ เกตุขาว[1], ปรเมศร์ ปธิเก[1], เชาวนัส จันทร์เสาร์[1], ชัชชัย จันทร์เสาร์[1], ศราวุธ เวฬุวนารักษ์[1], ปุริมพัฒน์ สัทธรรมนุวงศ์[1] และ รัชนีวรรณ อังกุรบุตร์[1*]

Sutthinan Srirattayawong[1], Wasan Kmsanam[1], Sutham Arun[1], Fontip Jinantuya[1], Wichaphon Fakkeaw[1], Nopparat Katkhaw[1], Paramate Pathike[1], Chaowanat Jansao [1], Chatchai Jansao[1], Sarawut Weruwanarak[1], Purimpat Satthumnuwong[1] and Rachaneewan Aungkurabrut[1*]

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองเชิงตัวเลขสำหรับรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในไซโคลน และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไซโคลน โดยใช้การคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) ในการจำลองไซโคลนใช้เป็นรูปแบบ 2D2D ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.15 m และแป้งมันสำปะหลังถูกใช้ในการวิเคราะห์การไหลของอนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์อนุภาคเฉลี่ย 10.5 µm และมีความหนาแน่นเท่ากับ 1,461 kg/m^3 จากการศึกษาพบว่ารูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในไซโคลนเกิดการหมุนวนภายในไซโคลนเนื่องจากเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางซึ่งจะเกิดการหมุนวนสองชั้น ชั้นนอกจะเคลื่อนที่ลงส่วนล่างของไซโคลน ส่วนชั้นในจะหมุนวนเคลื่อนตัวย้อนกลับขึ้นออกสู่ด้านบนของทางออกของไซโคลน และพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไซโคลน คือ ความเร็วลมทางเข้าไซโคลน และขนาดอนุภาค ดังนั้นไซโคลนสำหรับงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 99.5% เมื่อขนาดอนุภาคมีค่ามากกว่า 7.5 µm และความเร็วลมทางเข้าไซโคลนมีค่ามากกว่า 9.89 m/s

คำสำคัญ: ไซโคลน, การจำลองเชิงตัวเลข, ประสิทธิภาพ

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา 19 ตำบลแม่กา อ.เมือง จ.พะเยา 56000

[1] School of Engineering, University of Phayao 19 Mae Ka Subdistrict Mueang District Phayao Province 56000

* Corresponding author : Rachaneewan.ch@up.ac.th

Abstract

This project aims to study numerical simulation for the flow pattern that occurs inside the cyclone and study factors affecting the performance in the separation of cyclone particles using numerical computation fluid dynamics (CFD) in simulation. The 2D2D type has been designed for the cyclone with a diameter of 0.15 m. Tapioca starch was employed in the analysis with an average diameter particle size of 10.5 μm and a bulk density of 1,461 kg/m^3. The results show that the vortex flow inside the cyclone is centrifugal force. The main vortex moves down to the bottom of the cyclone. The other core vortex is toward the top of the cyclone exit. Moreover, the factors affecting the performance of cyclones are the inlet velocity of the cyclone and the particle size. Therefore, the cyclones for this research demonstrated the highest efficiency at 99.5% when the particle size is greater than 7.5 μm and the cyclone inlet air velocity is more than 9.89 m/s

Keywords: Cyclone, Numerical simulation, Efficiency

บทนำ

ในทุก ๆ ช่วงเวลาปัญหามลพิษทางอากาศเกิดขึ้นให้เห็นมากมาย เช่น ปัญหา PM 2.5 ที่เกิดจากการเผาในที่โล่งและโรงงานอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร [1] ซึ่งส่งผลร้ายแรงต่อระบบทางเดินหายใจของประชากรเป็นอย่างมาก และปัจจุบันประเทศไทยมีการเจริญทางอุตสาหกรรม ทำให้เกิดปัญหาของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมในแต่ละปีมากขึ้น โดยเฉพาะการเผาเชื้อเพลิงชีวมวลของหัวเผา ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลมักจะมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นส่งผลให้ได้อากาศเสียที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ปะปนในอากาศทำให้เกิดผงฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ การงดเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในที่โล่งแจ้งเป็นการแก้ปัญหาที่สามารถลดฝุ่นได้ส่วนหนึ่ง เพราะยังมีการเผาไหม้จากโรงงานอุตสาหกรรมทำให้เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและมลพิษทางอากาศ การแก้ปัญหาที่เหมาะสมควรเป็นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ เช่น การกรองฝุ่นก่อนปล่อยอากาศสู่ภายนอก ในบรรยากาศจะได้รับอากาศที่สะอาดจากการเผาไหม้ หรือเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถนำอากาศสะอาดไปใช้ได้ จึงได้มีการสร้างระบบกรองฝุ่น เพื่อช่วยการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุยังช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายในการจัดการมลภาวะนั้นได้ด้วย

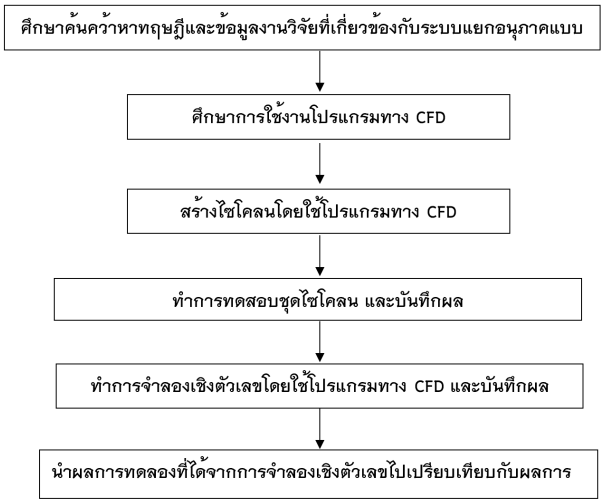
เทคโนโลยีในการแยกฝุ่นละอองมีหลายวิธีเช่น [2] ห้องตกฝุ่น (Settling chamber) เครื่องจับฝุ่นด้วยหยดน้ำ (Wet scrubber) ไซโคลน (Cyclone separator) เครื่องกรองฝุ่น (fabric filters) และเครื่องจับฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitators) วิธีที่นิยมในอุตสาหกรรมคือ เครื่องดักเก็บอนุภาคแบบไซโคลน เนื่องจากไซโคลนสร้างได้ง่าย ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ ทำจากโลหะที่ทนทาน ติดตั้งและบำรุงรักษาง่าย และต้นทุนในการสร้างต่ำ ธีรดนย์ อภิสิทธิ์สันติกุล และคณะ [2] ศึกษาการสร้างและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแยกขี้เถ้าของไซโคลน ในรูปแบบ 2D2D เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.15 m ในการทดสอบได้ใช้ขี้เถ้าจากแกลบ มีความหนาแน่นเฉลี่ย (bulk density) เท่ากับ 0.2297 g/cm^3 และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคเฉลี่ย 338 μm โดยใช้อัตราการไหลของอากาศระหว่าง 103 cfm และ 567 cfm ผลจากการทดสอบจากการการทดลองพบว่า อัตราการไหลมีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกขี้เถ้าและความดันสูญเสียภายในไซโคลน ไซโคลนได้ถูกนำมาใช้ในเตาชีวมวล [3] มีการศึกษาการออกแบบและสร้างไซโคลนสำหรับเตาชีวมวลแบบอากาศไหลลง เพื่อลดปริมาณอนุภาคในก๊าซที่ผลิตได้จากเตาชีวมวล โดยทำการออกแบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลนแบบชนิด High Efficiency ซึ่งไซโคลนมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 70.7 mm และในการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานไซโคลนใช้การจำลองพฤติกรรมการไหล (CFD) ของก๊าซภายในไซโคลนด้วยโปรแกรม ANSYS Fluent เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของของไหลในไซโคลน ซึ่งในการทดสอบได้ใช้ขี้เถ้าจากข้อไผ่พันธุ์ซางหม่นและไม้ลำไย โดยกำหนด

ความเร็วก๊าซที่เข้าสู่ไซโคลนระหว่าง 1.8 m/s – 4.0 m/s ผลจากการจำลองความเร็วของก๊าซพบว่า ความเร็วก๊าซด้านเข้าเท่ากับ 3.0 m/s ไซโคลนมีประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของขี้เถ้าได้ดีที่สุด คือ ไม้ไผ่เท่ากับ 98.98% และของไม้ลำไยเท่ากับ 90.79% การทดสอบผลของความดันสูญเสียภายในไซโคลน [4] ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการไหลของอากาศ–ผงแป้ง ในไซโคลนรูปแบบทั่วไป การวิเคราะห์ใช้แบบจำลอง Reynolds stress model ผลของความดันและการไหลจะถูกทดสอบโดยนำมาเปรียบเทียบกับการทดลอง โดยใช้ไซโคลนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.2 m ผลของขนาดอนุภาคและความเร็วของอากาศต่อประสิทธิภาพในการคัดแยกถูกนำมาวิเคราะห์ พบว่าผลการวิเคราะห์สอดคล้องกัน ซึ่งเมื่อความเร็วของอากาศจากการทดลองกับการคำนวณเท่ากับ 5 m/s ประสิทธิภาพในการแยกของไซโคลนจากการทดลองเท่ากับ 85 % จากการคำนวณเท่ากับ 83 % การใช้ไซโคลนในระบบการเผาไหม้ชีวมวล [5] ได้ศึกษาและออกแบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ รูปร่างและขนาดของไซโคลนถูกกำหนดตามสมมติฐานของ Stairmand และสมรรถนะของไซโคลนประเมินด้วยวิธีของ Leith and Licht และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเท่ากับ 32 cm ในการทดสอบใช้มูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง และมูลฝอยประเภทกระดาษ ผลจากการทดสอบพบว่า อัตราการไหลของแก๊สร้อนเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความดันสูญเสีย และประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาการจำลองเชิงตัวเลขของการไหลและเส้นทางเดินอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวมวลในเครื่องคัดแยกอนุภาคแบบไซโคลน [6,7] โดยใช้ไซโคลนแบบ High efficiency ตามมาตรฐานของ Stairmand เพื่อหาประสิทธิภาพการคัดแยกชีวมวลผงของไซโคลน สนามการไหลในไซโคลน เส้นทางเดินชีวมวลผง อิทธิพลของแรง Saffman ที่มีผลต่อเส้นทางเดินชีวมวลผงเมื่อเข้าสู่ไซโคลนและเส้นทางเดินชีวมวลผงเมื่อปรับมุมทางเข้าไซโคลนที่ 3° และ 5° ซึ่งในการจำลองใช้ชีวมวลผงที่มีขนาด 7.40 และ 6.76 μm ด้วยโปรแกรม ANSYS Fluent ผลจากการจำลองหาประสิทธิภาพการคัดแยกผงชีวมวลพบว่า ประสิทธิภาพของไซโคลนเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเร็วที่ทางเข้าสูงขึ้นและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาพเล็กลง ผลที่ได้จากการจำลองสนามการไหลในไซโคลนพบว่า เมื่อความเร็วที่ทางเข้าเพิ่มขึ้น บริเวณใกล้ผนังมีค่าความเร็วลมลดลงมาก นอกจากนี้การศึกษาและการพัฒนาอุปกรณ์ปรับลมวนแบบกรวย [8,9] เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของไซโคลน โดยได้ทำการศึกษาจากไซโคลน 7 ชนิด แต่ละชนิดมีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับสมดุลแบบกรวยที่มีมุม 90° ถึง 150° ในการทดสอบได้ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษารูปแบบการไหลในเครื่องแยกอนุภาคไซโคลน โดยเส้นทางเดินของอนุภาค ความดันสูญเสีย และประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของไซโคลน ซึ่งในการจำลองใช้ขี้เถ้าจากกำมะถัน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 5 μm ความหนาแน่นของอนุภาค (bulk density) 2,065 kg/m^3 ผลที่ได้จากการจำลองพบว่า อุปกรณ์ปรับสมดุลแบบกรวยมีผลต่อการลดลงของความเข้มข้นความปั่นป่วนในตัวกรวยของไซโคลนอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นอนุภาคที่จะปลิวหลุดออกจากตัวกรวยของไซโคลนมีการลดน้อยลงและชนิดที่มีการปรับมุมอุปกรณ์ปรับสมดุลแบบกรวยเท่ากับ 140° มีประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของไซโคลนมากที่สุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษาแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในไซโคลน และศึกษาผลของความเร็วลมทางเข้าและขนาดของอนุภาคแป้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคของไซโคลน โดยใช้โปรแกรม Ansys fluent ในการจำลองพฤติกรรมการไหล และเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบ และนำผลที่ได้จากการจำลองไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์รูปแบบการไหลภายในไซโคลนเพื่อในการออกแบบและสร้างต่อไป

วิธีการศึกษา

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย โดยการจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้ขบวนการ CFD จำลองพฤติกรรมการไหล และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ และค่าความเร็วลมในการแยกอนุภาคของไซโคลน และการเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบ เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของโปรแกรม แสดงได้ดังรูปที่ 1



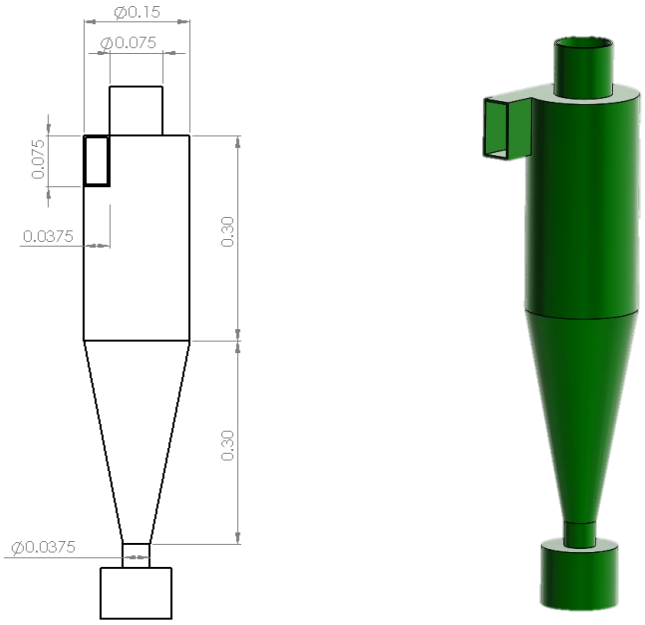
รูปที่ 1 แผนดำเนินการ

1. ขั้นตอนการจำลองเชิงตัวเลข ด้วยวิธี CFD

1.1 การสร้างแบบจำลองไซโคลน ด้วยกระบวนการ CFD โดยในการสร้างแบบจำลองไซโคลนใช้ขนาดไซโคลนดังตารางที่ 1 โดยไซโคลนที่ได้ทำการออกแบบเป็นรูปแบบ 2D2D [10] มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 0.15 m ดังรูปที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงการออกแบบไซโคลน 2D2D [2]

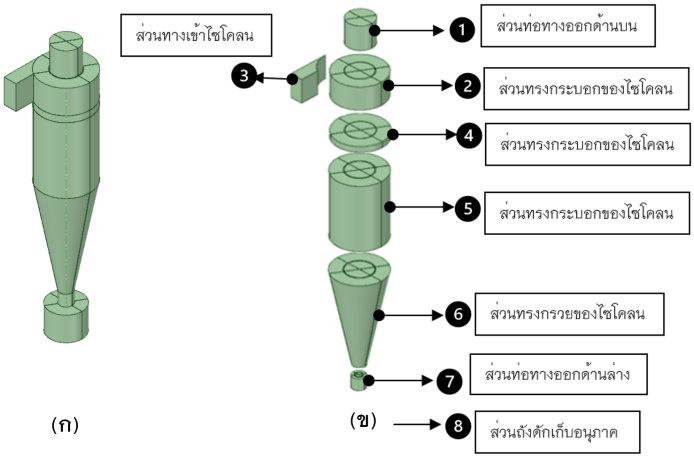
Cyclone separator dimensions			
	Dimensions	Ratio	Dimensions (m)
Diameter of cyclone Body (Barrel)	D	D	0.15
Length of the Body	L_b	2D	0.3
Length of Cone	L_c	2D	0.3
High of Inlet	H	D/2	0.075
Width of Inlet	W	D/4	0.0375
Diameter of Gas Exit	D_e	D/2	0.075
Diameter of Dust Outlet	D_d	D/4	0.0375
Length of Vortex Finder	S	0.625D	0.09375
Total length of cyclone	L_c+L_b	4D	0.6



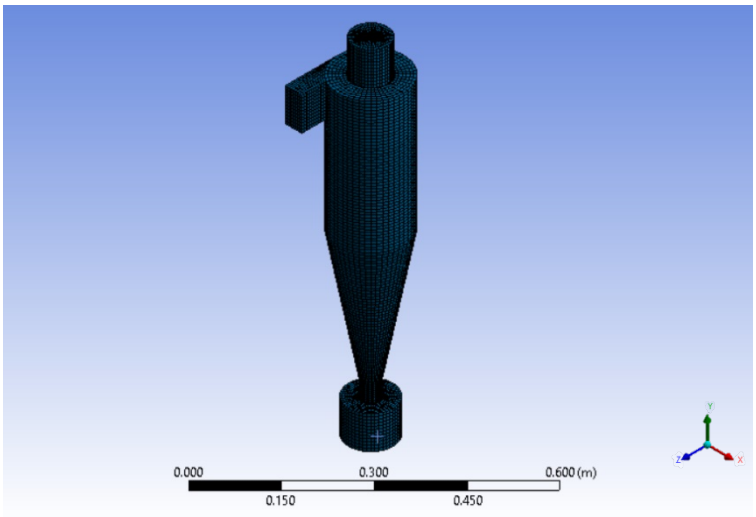
ภาพที่ 2 แบบจำลองไซโคลนที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรมการไหลด้วย CFD

1.2 การแบ่งปริมาตรของแบบจำลองไซโคลน (Mesh)

แบบจำลองไซโคลนเชิงเรขาคณิตจะถูกทำการแบ่งปริมาตรออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ (Partition) ดังภาพที่ 3 เพื่อให้สะดวกในสร้างอิลิเมนต์ เพื่อคำนวณการไหลภายในขอบเขตที่สร้างขึ้น โดยในการศึกษาครั้งนี้สร้างเมชที่มีโครงสร้างแบบ Hexahedral ดังภาพที่ 4 และทดสอบความอิสระของเมช (Mesh independence test) เพื่อหาจำนวนเมชที่เหมาะสมในการคำนวณ ในการศึกษาใช้จำนวนอิลิเมนต์ 32,360, 82,752, 482,040 และ 611,632 เซลล์ เพื่อทำการคำนวณด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลขของการไหลในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 3 (ก) แบบจำลองไซโคลนสำหรับการสร้างเมช (ข) การแบ่งปริมาตรแบบจำลองไซโคลนออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ (Partition)



ภาพที่ 4 เมชโครงสร้างแบบ Hexahedral

1.3 การจำลองเชิงตัวเลขของการไหล (Computational Fluid Dynamics)

ในการจำลองเชิงตัวเลขของการไหล โดยใช้กระบวนการ CFD เพื่อศึกษาทิศทางการไหล ความเร็วลมภายในไซโคลน และเพื่อหาประสิทธิภาพของไซโคลน โดยในส่วนของการทดสอบการจำลองสามารถแบ่งได้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. เลือกแบบจำลองการไหลภายในไซโคลน (Models)
2. เลือกวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง (Materials)
3. กำหนดเงื่อนไขสำหรับขอบเขตที่จะใช้กับแบบจำลอง (Boundary Condition)
4. เลือกโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ไขสมการนาเวียร์สโตก
5. ทำการจำลองการไหลจนลู่เข้าสู่คำตอบ
6. วิเคราะห์ผลการจำลอง

สำหรับการจำลองเชิงตัวเลขได้ทำการเลือกใช้สมการการคำนวณแบบ RSM (Reynolds Stress Model) วสันต์ ศรีเมือง [11] โดยใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน ระหว่าง k-epsilon, RNG, RSM กระบวนการหาคำตอบแบบ SIMPLE และการประมาณค่าภายในแบบ QUICK ความเร็วของอนุภาคจะเท่ากับความเร็วอากาศที่ทางเข้าของไซโคลน การจำลองนี้เลือกใช้อนุภาคเป็นแป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch) [12] มีความหนาแน่น (bulk density) เท่ากับ 1,461 kg/m^3 และมีขนาดอนุภาค 3.5 – 10.5 µm กำหนดความเร็วทางเข้าไซโคลน ได้แก่ 2.75 m/s, 6.17 m/s, 9.89 m/s, 13.40 m/s, 17.40 m/s เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการหาประสิทธิภาพ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วทางเข้าไซโคลน และเมื่อทำการคำนวณเสร็จสิ้นจะนำผลที่ได้จากการจำลองนี้ไปเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการแยกอนุภาคที่ได้จากการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

2. สมการพื้นฐานของพลศาสตร์ของไหล

งานทางด้านวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการไหลต่าง ๆ เช่น การไหลในท่อ การไหลผ่านแผ่นเรียบ และอื่น ๆ จะมีพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วน สมการพื้นฐานของพลศาสตร์ของไหลที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งสมมุติให้เป็นการไหลแบบสภาวะคงตัว ของไหลเป็นของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ และมีอุณหภูมิ มีความหนืดคงที่ ประกอบด้วย สมการกฎทรงมวล (continuity equation) และสมการโมเมนตั้ม (momentum equation) ดังสมการที่ (1) และ (2)

2.1) สมการกฎทรงมวล (continuity equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \qquad (1)$$

2.2) สมการโมเมนตั้ม (momentum equation)

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j) = -\frac{\partial p_i}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) + \rho g_j \qquad (2)$$

โดยที่ค่า ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

u_i คือ ความเร็วของของไหลแต่ละแกน (m/s)

μ คือ ค่าความหนืด ($N \cdot s/m^2$)

g_i คือ ค่าแรงโน้มของโลก (m/s^2)

x_i คือ ค่าพิกัดแกน x, y, z (m)

3. ประสิทธิภาพของไซโคลน

ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน หมายถึง อัตราส่วนของอนุภาคที่ไซโคลนสามารถดักเก็บไว้ได้ต่ออนุภาคทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในไซโคลน สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของไซโคลนได้จากสมการที่ (3)

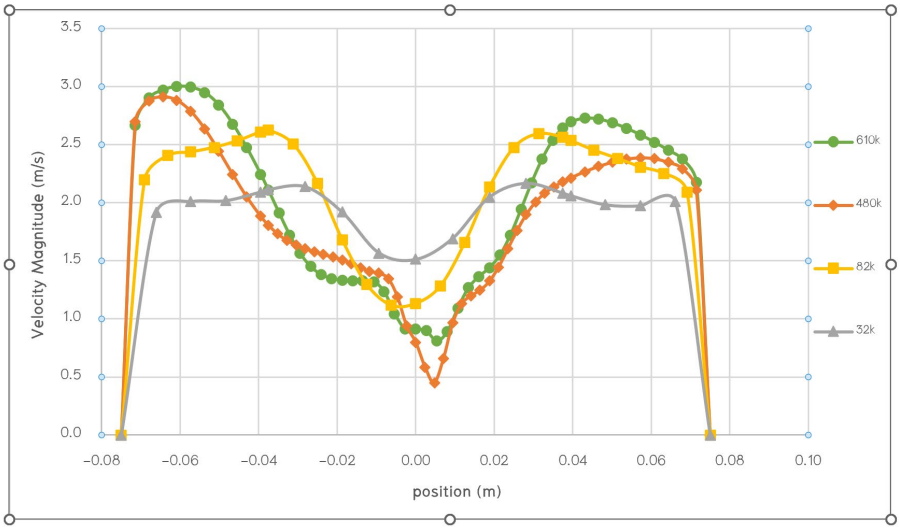
$$\text{ประสิทธิภาพ } (\eta) = \frac{\text{ปริมาณฝุ่นที่ดักได้}}{\text{ปริมาณฝุ่นทางเข้า}} \times 100 \qquad (3)$$

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาจะประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ความอิสระของเมช ผลของการจำลอง และเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการจำลอง ดังต่อไปนี้

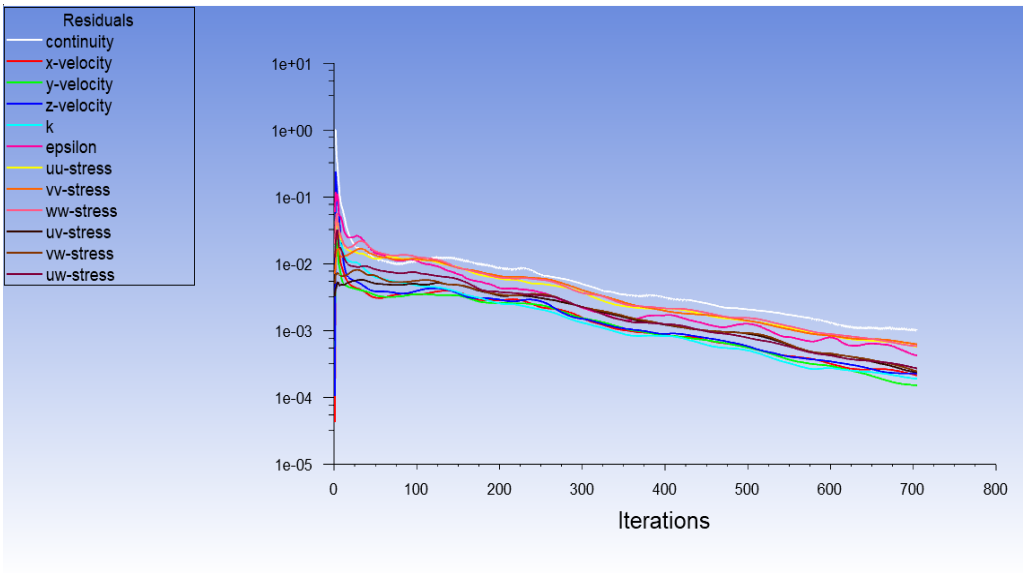
1. การทดสอบความอิสระตัวของเมช (Mesh independence test)

สำหรับงานวิจัยนี้การทดสอบความอิสระตัวของเมชนั้นจะพิจารณาโดยเปรียบเทียบผลการคำนวณจากจำนวนเมช 32,360, 82,752, 482,040 และ 611,632 เซลล์ โดยการวิเคราะห์ความเร็วในแนวสัมผัสภายในไซโคลนที่ระดับ Y = 0.505 m ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเร็วและจำนวนเมชที่ต่างกัน ณ ระดับ Y = 0.505

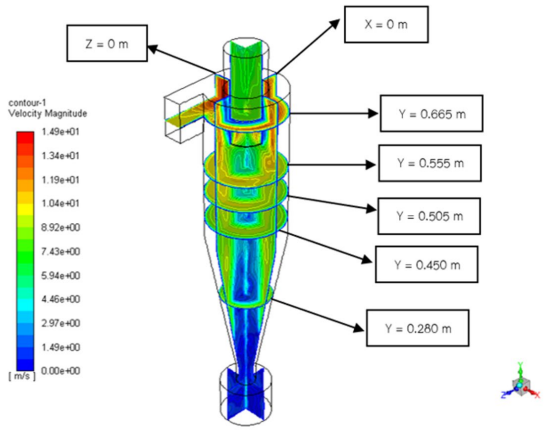
จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า จำนวนเมซ 482,040 และ 611,632 เซลล์ มีค่าความแตกต่างของความเร็วเท่ากับ 10.25% ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้จำนวนเมซ 482,040 (480k) เซลล์ ในการวิเคราะห์ และค่าความคลาดเคลื่อนในการจำลองเชิงตัวเลข แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงการลู่เข้าสู่คำตอบและความคลาดเคลื่อนของการจำลองเชิงตัวเลข

2. การแบ่งระนาบในการวิเคราะห์

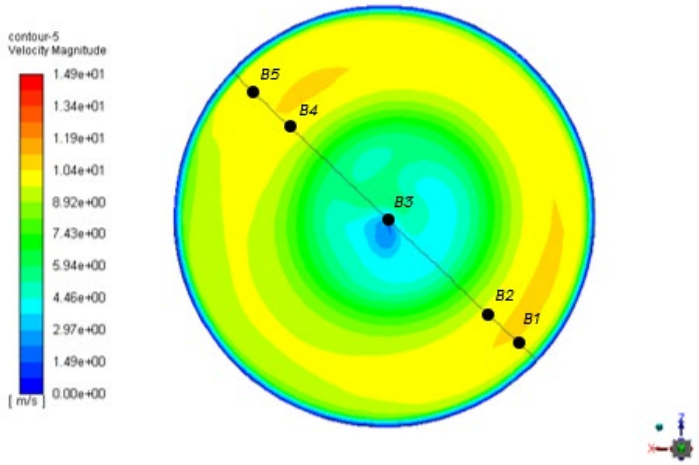
สำหรับผลของการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อหาความเร็วลมภายในไซโคลน จะพิจารณาโดยทำการสร้างระนาบดังภาพที่ 7 (โดยที่จุดศูนย์กลางไซโคลน คือ r = 0 m) เพื่อนำเสนอความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในไซโคลนในรูปแบบคอนทัวร์ (Contour) และทำการสร้างเส้น (Line) ในแต่ละระนาบ เพื่อแสดงค่าความเร็วในแนวสัมผัส ในระนาบที่ระดับต่าง ๆ



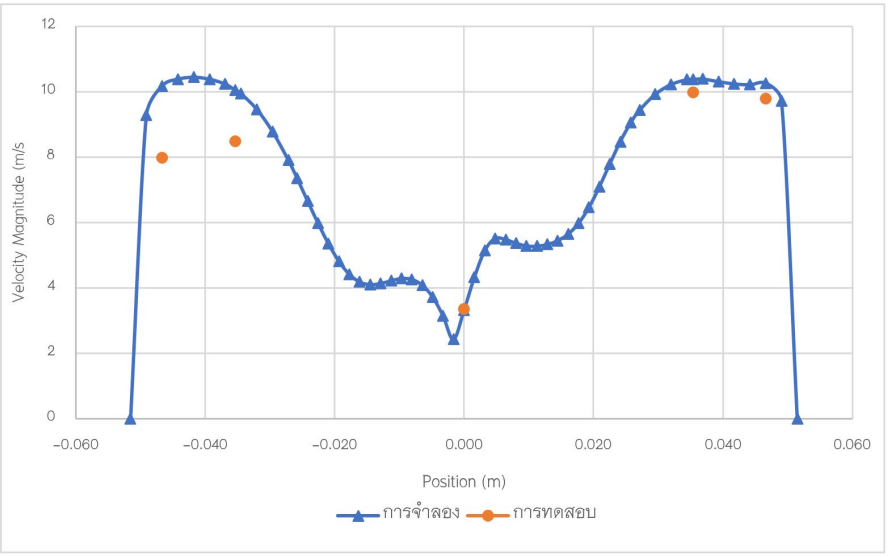
ภาพที่ 7 แสดงระนาบที่ระดับต่าง ๆ ของไซโคลน

3. การวิเคราะห์ความถูกต้องของโปรแกรม (Errors and Validation Results)

3.1 การเปรียบเทียบความเร็วจากการทดสอบและการจำลองของระนาบ Y = 0.555 m พบว่าผลความเร็วลมมีความสอดคล้องกัน และมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 9.41% ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการจำลองเชิงตัวเลขนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์ไซโคลนนี้ได้ ดังภาพที่ 8



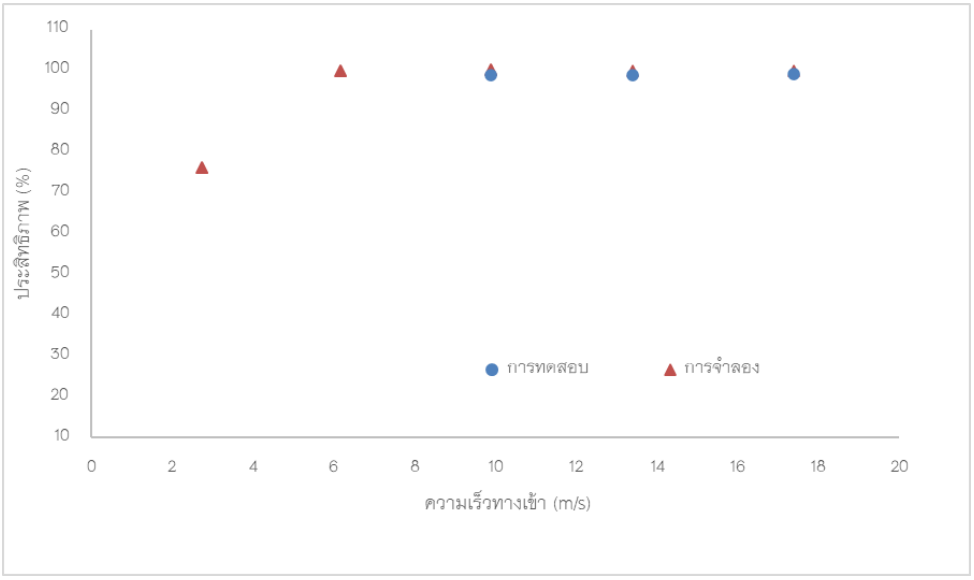
ภาพที่ 8 ระยะที่วัดความเร็วลม ที่ระนาบ Y = 0.555 m



ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเร็วจากการจำลองและการทดสอบ ณ ระนาบ Y = 0.555 m

3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดแยกอนุภาคของไซโคลน จากการจำลองเชิงตัวเลขและจากการทดสอบ

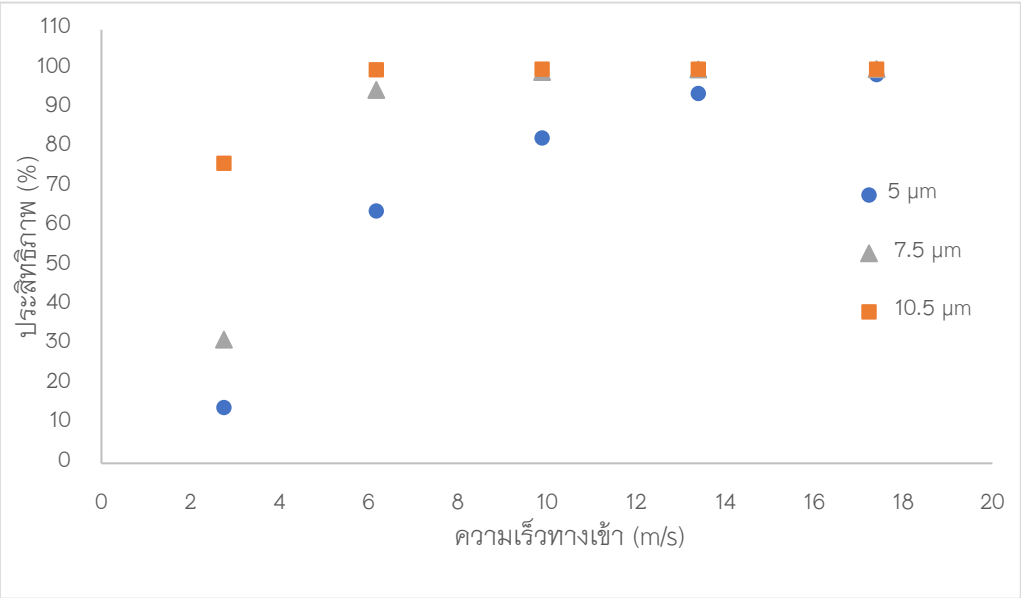
สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคของไซโคลนจากการจำลองเชิงตัวเลขและจากการทดสอบ จะพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ความเร็วทางเข้า 9.89, 13.40 และ 17.40 m/s และอนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 μm จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ พบว่า ผลการทดสอบและการจำลองเชิงตัวเลขมีความสอดคล้องกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การจำลองเชิงตัวเลขในการวิเคราะห์ไซโคลนสามารถนำมาใช้ในการศึกษาได้ ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบและการจำลอง

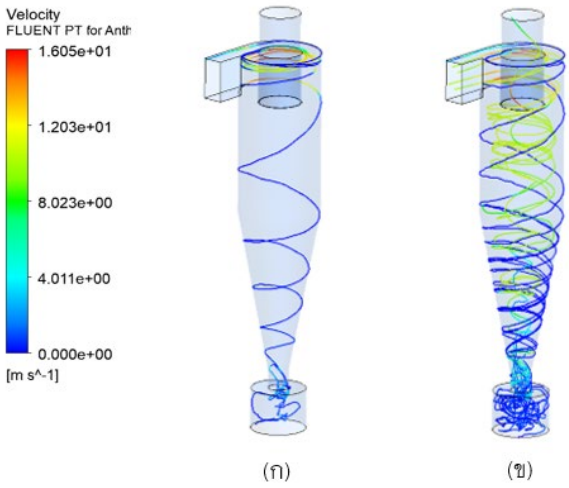
3.3 การจำลองเชิงตัวเลขเพื่อหาประสิทธิภาพของไซโคลน

เมื่อทำการจำลองเชิงตัวเลขสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ จึงได้วิเคราะห์ความเร็วของอนุภาคที่ทางเข้าไซโคลน เพื่อศึกษาพฤติกรรมและลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในไซโคลน และกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเท่ากับ 5, 7.5 และ 10.5 μm ความเร็วของอากาศและอนุภาคที่ไหลเข้าไซโคลนเท่ากับ 2.75, 6.71, 9.89, 13.40, และ 17.40 m/s ผลการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อหาประสิทธิภาพของไซโคลนพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็ว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคจะทำให้ประสิทธิภาพของไซโคลนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมากขึ้น จึงทำให้อนุภาคชนผนังมากขึ้น และทำให้อนุภาคติดกับผนังเมื่อความเร็วลดลง และเมื่ออนุภาคติดอยู่ที่ผนังจึงทำให้อนุภาคตกลงสู่ห้องเก็บด้วยแรงโน้มถ่วง ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการคัดแยกอนุภาคของไซโคลนจากการจำลอง

จากภาพที่ 12 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในไซโคลน พบว่าลักษณะของเส้นการไหลจะเกิดการหมุนวนภายในไซโคลนเนื่องจากเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะเกิดการหมุนวนสองชั้น ชั้นนอกเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นของอนุภาคสูง อนุภาคจะชนกับผนังไซโคลนและจะเคลื่อนที่ตกลงส่วนล่างของไซโคลนด้วยน้ำหนักของอนุภาค เนื่องจากแรงโน้มถ่วง ส่วนชั้นในจะมีความหนาแน่นของอนุภาคต่ำจะหมุนวนเคลื่อนตัวย้อนกลับขึ้นออกสู่ด้านบนของทางออกของไซโคลน จากภาพที่ 12 (ก) และ (ข)



ภาพที่ 12 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาด 10.5 μm ภายในไซโคลนที่ความเร็วทางเข้า 2.75 m/s

อภิปรายและสรุปผล

ไซโคลนรูปแบบ 2D2D ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 m ศึกษาโดยใช้กระบวนการ CFD ในการจำลองเชิงตัวเลข สามารถรุปได้ว่า แบบจำลอง Reynold stress model (RSM) เป็นโมเดลที่เหมาะสมในวิเคราะห์ไซโคลน และแบบจำลองมีความสอดคล้องกับการทดสอบมีความคลาดเลื่อนเท่ากับ 9.41% สามารถนำแบบจำลองมาใช้ในการวิเคราะห์ไซโคลนได้ และผลการวิเคราะห์พบว่า ความเร็วลมและขนาดของอนุภาคเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลน เมื่อความเร็วลมและขนาดของอนุภาคมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพมากขึ้นตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

กองการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ, (2566), ข้อมูลดัชนีคุณภาพ อากาศ, (วันที่สืบค้นข้อมูล 5 กันยายาน 2566) จาก http://air4thai.pcd.go.th/webV2.

ธีรดนย์ อภิสิทธิ์สันติกุล, อภิวัฒน์ หวันแดง และอรอนงค์ วงศ์วัฒนา, (2563), การศึกษาระบบแยกขี้เถ้า, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

วิโรจน์ เรืองประเทืองสุข, ชัยวัฒน์ กันหารี, เพ็ชร รักถนอม, (2561), อุปกรณ์แยกฝุ่นไซโคลนสำหรับการศึกษาในห้องปฏิบัติการ, วารสารบัณฑิตวิทยาลัยรำไพพรรณี, 1(1), 85–98.

พิพัฒน์พงศ์ วัฒนวันยู, อาภากร วัฒนะ และเกรียงศักดิ์ เวชเตง, (2557), การศึกษาการออกแบบและสร้างไซโคลนสำหรับเตาชีวมวลแบบอากาศไหลลง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศกรรมยานยนต์, มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี.

L.Wang, E. Chen, L. Ma, Z.Yang, Z. Li, W. Yang, H. Wang, Y. Chang, (2021), Chinese Journal of Chemical Engineering, 51, 43–52.

B.Wang, D.L.Xu, K.W.Chu and A.B.Yu. (2004), Numerical study of gas–solid flow in a cyclone separator, Journal of Applied Sciences, 4, 1326–1342.

สมศรี จงรุ่งเรือง และเบญจวรรณ โชคติพัฒนผล, (2539), การศึกษาและการออกแบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแกสที่ได้จากการเผาไหม้, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ.

สิริธิดา สุขทั่ว, (2560), การจำลองเชิงตัวเลขของการไหลและเส้นทางเดินอนุภาคของเชื้อเพลิง ชีวมวลในเครื่องคัดแยกอนุภาคแบบไซโคลน, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหาร ลาดกระบัง, กรุงเทพ.

Masoud Dorfeshan and Shahram Hashemi Marghzar, (2011), Development of a Cone Vortex Stabilizer to Improve Cyclone Separator Performance, Journal of Applied Sciences, 11(12), 2179–2185.

Muhammad I. Taiwo, Mohammed A. Namadi, and James B. Mokwa, (2016), Design and analysis of cyclone dust separator, Department of Mechanical Engineering, Kaduna polytechnic, Kaduna Department of Mechanical Engineering, Federal Polytechnic Bida.

วสันต์ ศรีเมือง, (2547), การจำลองระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขการไหลภายในไซโคลน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพ.

Gbenga A. and Kayode A. O., (2010), Assessment of tapioca starches after different steeping peroids as binders in a paracetamol tablet formulation, Obafemi Awolowo University.

การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยความสนใจทางสายตาผ่านตัวเลขนับถอยหลัง

Brain-computer iInterface based on visual attention via countdown numbers

นัจมีย์ โต๊ะขวัญ[1] ชญานิษฐ์ ฮาแว[1] เจริญพร บัวแย้ม[1] และ ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์[1*]

Natjamee Tohkhwan[1], Chayanit Ha-wea[1] Charoenporn Bouyam[1] and Yunyong Punsawad[1*]

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการพัฒนาวิธีการเชื่อมต่อสมองมนุษย์กับคอมพิวเตอร์สำหรับเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรง มุ่งเน้นส่วนของการออกแบบกระบวนทัศน์เพื่อสร้างคำสั่งจากคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยความสนใจทางสายตา สำหรับการทดลองเบื้องต้น ผู้จัดทำได้ใช้ประโยชน์จากตัวเลขนับถอยหลังเพื่อให้เกิดกิจกรรมของสมองในระยะเวลาที่กำหนด 5 และ 15 วินาที จากการนับถอยหลังของเลข 5 และ 15 ในทุกวินาที นอกจากนี้ได้เสนอวิธีการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและอัลกอริทึมในการสร้างคำสั่งสำหรับระบบเชื่อมต่อสมองมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ด้วยความสนใจทางสายตาผ่านตัวเลขนับถอยหลังด้วยการประมวลผลในเวลาจริง ผลทดลองแสดงให้เห็นว่าคลื่นไฟฟ้าสมองจากบริเวณท้ายทอย (Occipital) ด้วยการใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างคลื่นแอลฟาและบีตามีค่าความแม่นยำเฉลี่ยสูงสุดในการจำแนกเท่ากับ 78.6 เปอร์เซ็นต์ ระบบที่เสนอยังต้องการการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีการใช้ความสนใจทางสายตาผ่านตัวเลขนับถอยหลังสามารถนำไปพัฒนาระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์สำหรับผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรงได้จริงในอนาคต

คำสำคัญ: การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์, คลื่นไฟฟ้าสมอง, ความสนใจทางสายตา

Abstract

This paper proposes a developing method of brain-computer interface for assistive technology in people with severe physical disabilities. We focus on the part of the paradigm design to generate commands from EEG with visual attention. For preliminary experiments, we employed the countdown numbers to produce brain activity for 5 and 15 seconds by counting down the numbers 5 and 15 every second. Moreover, we proposed EEG acquisition and command classification algorithms for a real-time brain-computer interface system based on visual attention via countdown numbers. The results show that EEG from the occipital region (Occipital) with the alpha-beta ratio achieved the highest average classification accuracy of 78.6%. The proposed system needs to improve for higher efficiency. However, the proposed method will guide the development of a brain-computer interface system for severely physically disabled people in the future.

Keywords: Brain-Computer Interface, Electroencephalogram, Visual attention

[1] สำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 ตำบลไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160

[1] School of Informatics, Walailak University 222 Thaiburi Thasala District Nakhonsrithammarat Province 80160

* Corresponding author : yunyong.pu@wu.ac.th.

บทนำ

ประเทศไทยมีจำนวนผู้พิการทางกายภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากสถิติจำนวนผู้พิการในประเทศไทยปี 2566 สัดส่วนของผู้พิการคิดเป็นร้อยละ 3.2 ต่อประชากรทั้งหมด พบว่าส่วนใหญ่เป็นประชากรผู้พิการทางการเคลื่อนไหวหรือทางร่างกาย คิดเป็นร้อยละ 0.17 ผู้พิการจะมีข้อจำกัดในการทำกิจกรรมและการดำรงชีวิตประจำวัน [1] ส่วนใหญ่เป็นผู้พิการทางการเคลื่อนไหวจากอุบัติเหตุ ความพิการตั้งแต่กำเนิด หรือโรคที่ส่งผลต่อการเป็นอัมพาตทำให้สูญเสียความแข็งแรง และการควบคุมกล้ามเนื้อ ได้แก่ โรคหลอดเลือดสมอง (Stroke) โรคกล้ามเนื้ออ่อนแรง (Amyotrophic lateral sclerosis: ALS) การบาดเจ็บไขสันหลัง (Spinal cord injury: SCI) และโรคหรืออาการที่เกี่ยวข้อง สำหรับกลุ่มผู้ป่วยที่ไม่สามารถสั่งกล้ามเนื้อได้เลย การใช้คลื่นสมองเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Brain–computer interface: BCI) เป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเก้าอี้รถเข็นไฟฟ้า รวมถึงการเพิ่มความสามารถในการโต้ตอบกับสิ่งแวดล้อมโดยรอบ [2] การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalography: EEG) [3] โดยการวางอิเล็กโทรดลงบนหนังศีรษะเป็นวิธีที่ปลอดภัยและได้รับความนิยมอย่างมากในการพัฒนาและสร้างอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกเป็นการเพิ่มอิสระภาพในการทำกิจกรรมของผู้ป่วยอัมพาตที่สูญเสียความสามารถในการเคลื่อนไหวและการทำกิจวัตรประจำวัน สอดคล้องกับยุทธศาสตร์และภารกิจหลักของหน่วยงาน แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566–2570) ส่วนที่ 4 หมุดหมายที่ 4 ศักยภาพทางด้านวิชาการและการวิจัยทางการแพทย์ของไทยยังไม่สามารถนำไปสู่การพึ่งพาตนเองได้ ไทยเป็นศูนย์กลางทางการแพทย์และสุขภาพมูลค่าสูง

การพัฒนาเทคโนโลยีและอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อผู้พิการในปัจจุบัน มีงานวิจัยจำนวนมากกล่าวถึงการประยุกต์ใช้สัญญาณชีวการแพทย์ในการเชื่อมต่อระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์หรือเครื่องจักร (Human–computer/machine interface) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain–computer interface: BCI) ด้วยการวัดสัญญาณสมองส่งไปยังคอมพิวเตอร์โดยตรงเพื่อประมวลผลออกมาเป็นคำสั่งควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวก เช่น เก้าอี้รถเข็นไฟฟ้า แขนกล และเครื่องใช้ไฟฟ้า [3–7]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การใช้คลื่นไฟฟ้าสมองขณะมีความสนใจสำหรับการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ Mohammadpour และ Mozaffari [8] ได้ทำการทดลองและการจำแนกความสนใจผ่านการทำกิจกรรม 4 รูปแบบด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองขณะที่อาสาสมัครมีความสนใจ ประกอบด้วย 1) ผ่อนคลายด้วยการหลับตา (Baseline task) 2) อ่านหนังสือในใจ (Reading silently task) 3. คิดเลขในใจ (Mathematic task) และ 4) การให้ความสนใจอย่างต่อเนื่อง (Sustained attention task) โดยอาศัยการสร้างความสนใจอย่างต่อเนื่องในการตอบสนองต่ออักษรเป้าหมาย โดยใช้คลื่นเดลตา (Delta) แอลฟา (Alpha) และ ทีตา (Theta) จากตำแหน่งอิเล็กโทรด Fp1–Fp2 F3–F4 F7–F8 และ Fz ทำการจำแนกข้อมูลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks: ANN) ได้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกเท่ากับ 64.13% นอกจากนี้ Renton และคณะ [9] ได้เสนอรูปแบบความสนใจทางสายตา (Visual attention) เพื่อศึกษาการจำแนกเชิงพื้นที่และเชิงคุณลักษณะโดยการทดสอบเพียงแค่หนึ่งรอบการทดลอง โดยให้ความสนใจเฉพาะจุดดำหรือขาว ตามคุณลักษณะบนสิ่งเร้าทางสายตาที่ความถี่ 6.0 เฮิรตซ์ (Hz) และ 7.5 Hz ด้วยการใช้คลื่นไฟฟ้าจากการกระตุ้นคงตัวทางสายตา (Steady–state visual evoked potential: SSVEP) และใช้คลื่นแอลฟาขณะมีความสนใจต่อการกระตุ้นคงตัวทางสายตา การวิเคราะห์การจำแนกประเภทเชิงเส้น (Linear discriminant analysis: LDA) สามารถให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกเฉลี่ยได้สูงสุด เท่ากับ 66.8% นอกจากนี้ Felix และคณะ [10] ได้เสนอการใช้ความสนใจภาพต่อการเลือกซื้อสินค้าโดยจะให้อาสาสมัครเลือกรูปแบบสินค้าแต่ละประเภท โดยใช้คลื่นแกมมา (Gamma) บีตา (Beta) แอลฟา เดลตา และทีตา ทำการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ผลการทดลองรายงานค่าความถูกต้องในการจำแนกเท่ากับ 60%–90% นอกจากนี้ Tonin และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความซ่อนเร้นจากการมองเห็นเชิงพื้นที่ในการ

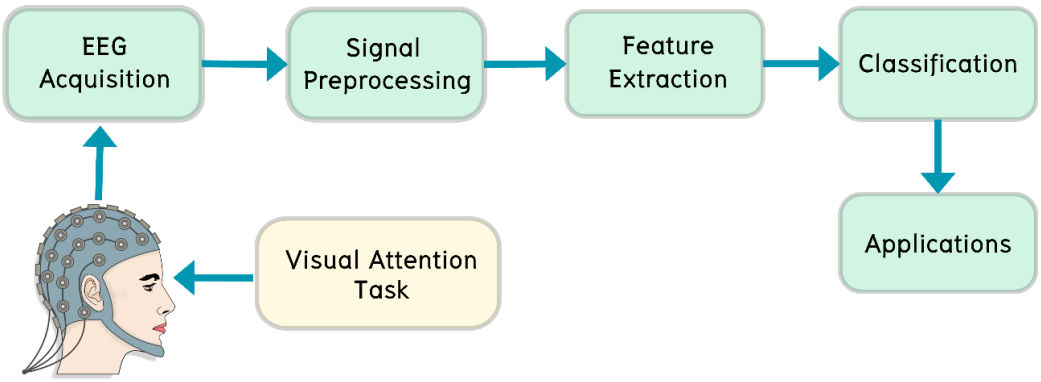
สนใจเป้าหมายบริเวณทิศทางซ้ายและทิศทางขวาโดยใช้คลื่นเดลตา และใช้วิธีการจำแนกแบบการวิเคราะห์จำแนกประเภทกำลังสอง (Quadratic discriminant analysis: QDA) ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกเท่ากับ 84%–89.4% จากงานวิจัยก่อนหน้ารายงานถึงความเป็นไปได้ถึงการใช้ความสนใจเพื่อให้สมองมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น การใช้ความสนใจทางสายตา [12,13]

โครงการนี้มุ่งเน้นการพัฒนารูปแบบและวิธีการเชื่อมต่อสมองมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ด้วยความสนใจทางสายตาสำหรับเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรง เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มความสามารถของผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรงในการสื่อสารและการควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยตัวเองได้จริงในอนาคต

วิธีการศึกษา

ระบบที่นำเสนอ

ระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากความสนใจทางสายตาดังแสดงในภาพที่ 1 มีองค์ประกอบหลัก 6 ส่วน ดังนี้ 1) กระบวนทัศน์ความสนใจทางสายตา (Visual attention task) เพื่อเร้าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานสมอง 2) การได้มาของคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG acquisition) โดยใช้อุปกรณ์ขยายและทำการประมวลสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จากการวางอิเล็กโทรดลงบนหนังศีรษะ ทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งไปยังคอมพิวเตอร์ 3) การประมวลสัญญาณ (Signal processing) เพื่อขจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมหรือแหล่งพลังงาน 4) การสกัดคุณลักษณะ (Feature extraction) เพื่อนำลักษณะเด่นของสัญญาณออกมาและนำเข้าสู่ส่วนที่ 5) การจำแนกเพื่อสร้างคำสั่งด้วยอัลกอริทึมที่เสนอ และ 6) การประยุกต์ใช้งาน (Applications) เพื่อนำคำสั่งที่สร้างขึ้นด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองไปควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการ หรือประยุกต์ใช้งานด้านการบำบัดฟื้นฟู เป็นต้น

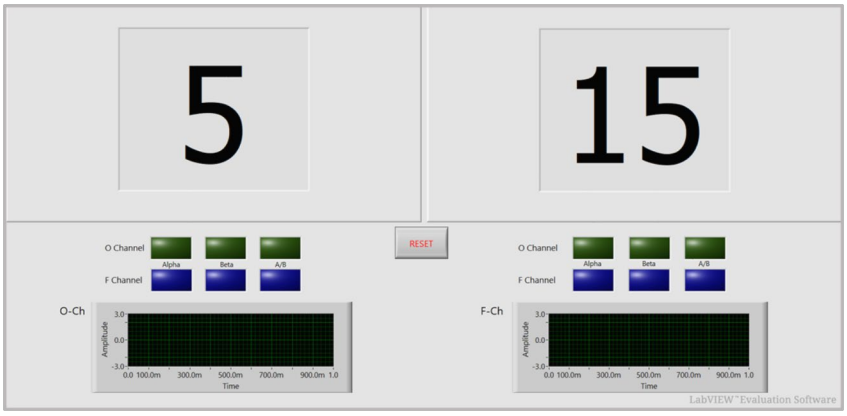


ภาพที่ 1 ไดอะแกรมระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยความสนใจทางสายตา

กระบวนทัศน์ความสนใจทางสายตา

จากการศึกษางานที่เกี่ยวข้องกับการสร้างความสนใจทางสายตา ผู้วิจัยได้เสนอการใช้ตัวเลขนับถอยหลังจนกลายเป็นเลขศูนย์เพื่อโน้มน้าวมนุษย์ให้เกิดความสนใจในช่วงเวลาที่กำหนด ส่งผลให้สมองสร้างคลื่นไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการมีความสนใจทางสายตาขึ้นตามระยะเวลาที่กำหนด สำหรับการศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวเลขจำนวน 2 ตัวเลข คือ 5 และ 15 เพื่อทำการทดสอบเบื้องต้นการใช้กระบวนทัศน์ความสนใจแบบล็อคเวลาด้วยตัวเลขนับถอยหลัง โดยตัวเลข 5 และ 15 มีระยะเวลาในการนับถอยหลังห่างเป็นเวลา 10 วินาที เพื่อทำให้เห็นความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 2 แสดงส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้ โดยกำหนดให้มีการนับถอยหลังในทุก 1 วินาที

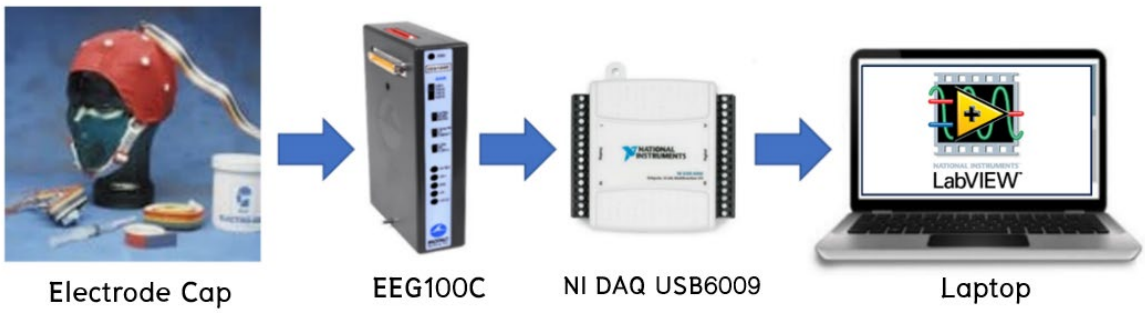
เลข 5 จะใช้เวลา 5 วินาทีจนนับถอยหลังถึงเลข 0 ส่วน 15 จะใช้เวลา 15 วินาที ดังนั้นตัวเลขสองจำนวนมีความแตกต่างของเวลาเท่ากับ 10 วินาที โดยกระบวนทัศน์จะใช้เวลา 18 วินาทีเพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองและนำไปดำเนินการในลำดับต่อไป



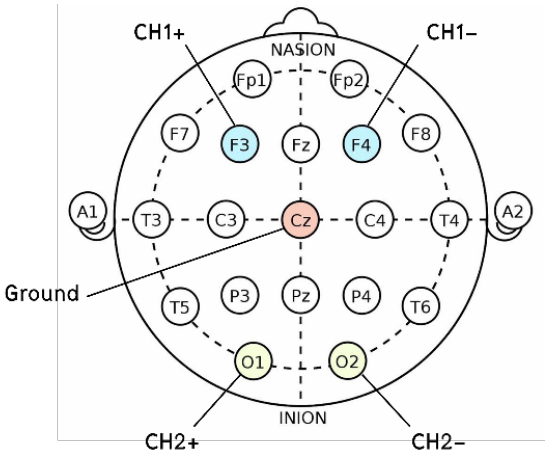
ภาพที่ 2 ส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้ของระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์

การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง

งานวิจัยนี้ใช้หมวกอิเล็กโทรด (Electrode cap) เพื่อวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบ bipolar จำนวน 2 ช่อง ประกอบด้วย สัญญาณช่องที่ 1 สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าสมองจากบริเวณท้ายทอย Occipital ที่ตำแหน่งอิเล็กโทรด O1 และตำแหน่งอ้างอิงที่ O2 สัญญาณช่องที่ 2 สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าสมองจากบริเวณ Frontal ที่ตำแหน่งอิเล็กโทรด F3 และตำแหน่งอ้างอิงที่ F4 โดยกำหนดให้ตำแหน่งอิเล็กโทรด Cz เป็นกราวด์ของสัญญาณ ดังภาพที่ 4 สัญญาณไฟฟ้าจากอิเล็กโทรดจะถูกขยายด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ EEG100C ของบริษัท BIOPAC System ที่อัตราขยาย 50000 เท่า จากนั้นทำการกรองความถี่แบบแถบผ่าน (Bandpass) ที่ความถี่ 0.5–35 Hz โดยใช้ Analog filter และลดสัญญาณรบกวนจาก Power line ที่ 50 Hz ด้วยวงจรกรองสัญญาณ notch filter ทำการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิทัลด้วยอุปกรณ์ Data acquisition (DAQ) รุ่น NI DAQ USB 6009 ที่อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling rate) เท่ากับ 1000 Hz เพื่อส่งไปประมวลผลและจำแนกคำสั่งด้วยอัลกอริทึมที่เสนอบนโปรแกรม LabVIEW ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภาพการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง



ภาพที่ 4 การวางขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรดสำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง

การประมวลสัญญาณและการสกัดคุณลักษณะ

คลื่นไฟฟ้าสมองที่เข้ามายังโปรแกรม LabVIEW ทำการกรองสัญญาณรบกวนอีกครั้งด้วยการกรองแบบดิจิทัลความถี่แถบผ่านที่ 3–35 Hz จากนั้นทำการแปลงสัญญาณในโดเมนเวลาให้เป็นโดเมนความถี่ในทุก 1 วินาที ใช้การทับซ้อน (Overlapping) ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง ($\boldsymbol{PSD}$) ของสเปกตรัมที่ความถี่ ($\boldsymbol{f}$) ทำการคำนวณเพื่อหาความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของคลื่นความถี่แอลฟา ($\boldsymbol{\alpha}$) ที่ช่วง 8–13 Hz และบีตา ($\boldsymbol{\beta}$) ที่ช่วง 14–30 Hz ของสัญญาณช่อง O1–O2 และ F3–F4 ด้วยสมการ (1) และ (2) และสามารถคำนวณค่าอัตราส่วนระหว่างแอลฟาและบีตา ($\boldsymbol{Re}$) ดังสมการ (3) จากนั้นทำการเก็บค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวจนครบ 18 ค่า (18 วินาที) ในแต่ละช่องสัญญาณ และทำการจัดเรียงตามลำดับเวลาเพื่อทำการหาตำแหน่งที่มีค่ามากสุด ($\boldsymbol{Pm}$) ด้วยฟังก์ชัน $\mathbf{argmax}$ สำหรับการจำแนกคำสั่งต่อไป

$$\boldsymbol{\alpha} = \sum_{\boldsymbol{f=8}}^{\boldsymbol{13}} \boldsymbol{PSD(f)} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{\beta} = \sum_{\boldsymbol{f=14}}^{\boldsymbol{30}} \boldsymbol{PSD(f)} \tag{2}$$

$$\boldsymbol{Re} = \frac{\boldsymbol{\alpha}}{\boldsymbol{\beta}} \tag{3}$$

การจำแนกคำสั่ง

พารามิเตอร์จากการสกัดคุณลักษณะจะถูกนำมาใช้จำแนกและสร้างเป็นคำสั่งตัวเลข 5 15 และ ไม่มีคำสั่ง จากการออกแบบกระบวนทัศน์ความสนใจทางสายตาด้วยตัวเลขนับถอยหลังเพื่อให้เกิดกิจกรรมของสมองในระยะเวลาที่กำหนด 5 และ 15 วินาที จากการนับถอยหลังของเลข 5 และ 15 ในทุกวินาที สามารถนำช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของค่าพารามิเตอร์จากคลื่นในขณะมีความสนใจที่เป้าหมายมาใช้กำหนดเงื่อนไข (Decision rule) ด้วยข้อสังเกตจากค่าสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงเวลาที่กำหนด ดังนี้ คำสั่ง

ตัวเลข 5 จะอยู่ในช่วงเวลาที่ 3–10 วินาที และคำสั่ง 15 จะอยู่ในช่วงเวลาที่ 11–18 วินาที สามารถเขียนในรูปแบบสมการได้ดังนี้

If	$3 \leq \boldsymbol{Pm} \leq 10$	กำหนดให้เป็น	“คำสั่งจากตัวเลข 5”
Else If	$11 \leq \boldsymbol{Pm} \leq 18$	กำหนดให้เป็น	“คำสั่งจากตัวเลข 15”
Else	Otherwise	กำหนดให้เป็น	“ไม่มีคำสั่ง”

การทดลอง

อาสาสมัครเข้าร่วมการทดลองจำนวน 7 คน มีอายุ 20–21 ปี เป็นเพศหญิงจำนวน 5 คน และเพศชายจำนวน 2 คน การทดลองจะให้อาสาสมัครนั่งห่างจากหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นระยะ 60 เซนติเมตร ดังภาพที่ 5 ก่อนเริ่มการทดลองอาสาสมัครได้รับการฝึกฝนการใช้งานระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์ที่นำเสนอเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นพักเป็นเวลา 2 นาทีก่อนเริ่มการทดลอง อาสาสมัครทำการสร้างคำสั่งผ่านส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้ดังภาพที่ 2 โดยสนใจไปที่ตัวเลขเป้าหมาย โดยอาสาสมัครจะต้องสร้างคำสั่งจำนวน 8 คำสั่ง ตามลำดับดังตารางที่ 1 ใช้เวลาทั้งสิ้น 2 นาทีต่อ 1 รอบการทดลอง อาสาสมัครแต่ละคนทำการทดลองทั้งสิ้น 5 รอบการทดลอง ระหว่างรอบจะมีช่วงเวลาให้พัก 2 นาทีก่อนเริ่มรอบการทดลองถัดไป อาสาสมัครหนึ่งรายจะใช้เวลาในการทดลองประมาณ 30 นาที

ตารางที่ 1 ลำดับเป้าหมายของการทดลอง

ลำดับที่	1	2	3	4	5	6	7	8
เป้าหมาย	5	15	5	5	15	5	15	15

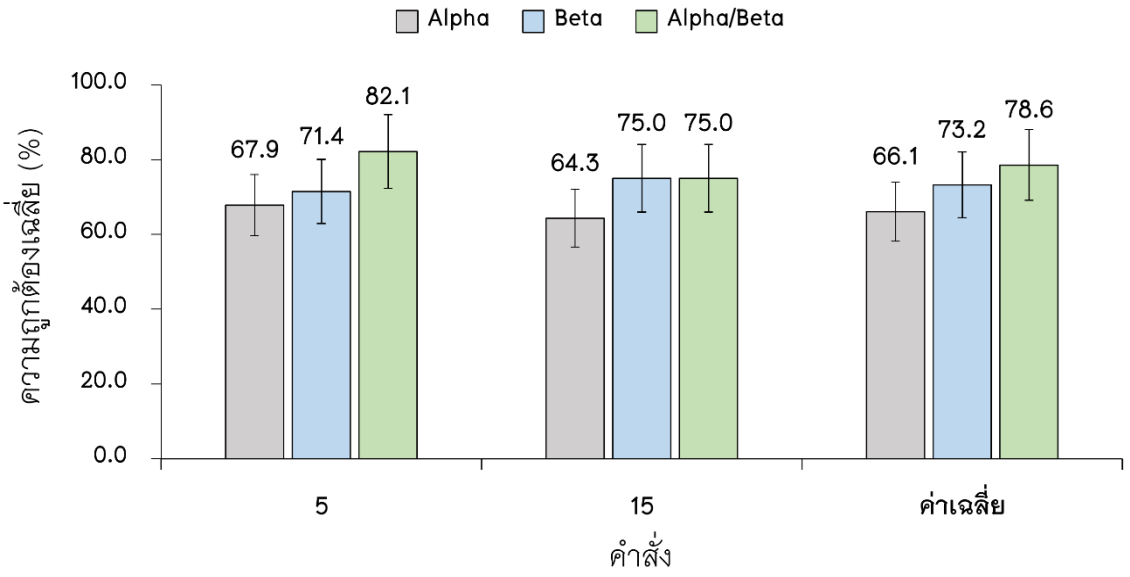


ภาพที่ 5 ภาพจำลองตัวอย่างขณะทำการทดลอง

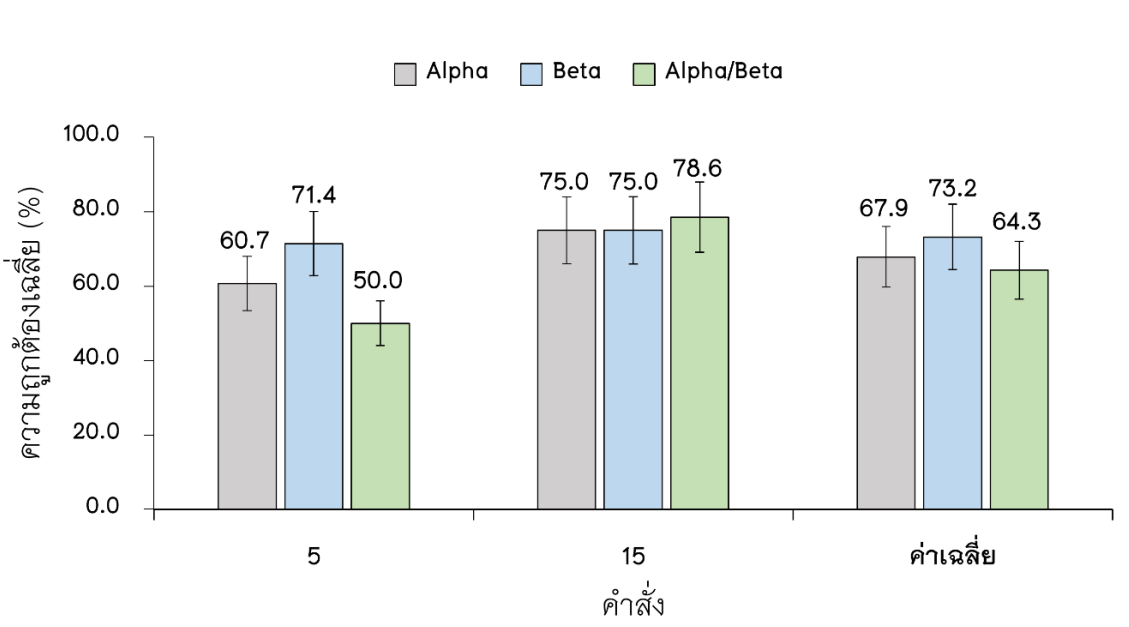
ผลการทดลอง

ภาพที่ 6 แสดงผลลัพธ์การจำแนกคำสั่งด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากช่องสัญญาณ O1–O2 ด้วยพารามิเตอร์จากสเปกตรัมของคลื่นแอลฟาและบีตามีค่าความถูกต้องเฉลี่ยจากอาสาสมัครทุกรายอยู่ในช่วง 64.3% ถึง 82.1% เมื่อพิจารณาคำสั่งตัวเลข 5 พบว่าอัตราส่วนระหว่างแอลฟาและบีตาให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยใน

การจำแนกสูงสุดเท่ากับ 82.1% ส่วนของคำสั่งตัวเลข 15 พบว่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกด้วยคลื่นบีตาและอัตราส่วนระหว่างแอลฟาและบีตามีค่าสูงสุดเท่ากับ 75.0% เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าอัตราส่วนระหว่างแอลฟาและบีตาสามารถสร้างความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 78.6%



ภาพที่ 6 ผลลัพธ์ของความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกคำสั่งด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง O1–O2



ภาพที่ 7 ผลลัพธ์ของความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกคำสั่งด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง F3–F4

ภาพที่ 7 แสดงผลลัพธ์การจำแนกคำสั่งด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากช่องสัญญาณ F3–F4 ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกอยู่ในช่วง 50.0% ถึง 78.6% เมื่อพิจารณาผลของคำสั่งตัวเลข 5 พบว่าคลื่นบีตาให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 71.4% และคำสั่งตัวเลข 15 การใช้อัตราส่วนระหว่างแอลฟาและบีตาให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 78.6% แต่ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกคำสั่งตัวเลข 5 ต่ำสุดเท่ากับ 50% เมื่อพิจารณาความถูกต้องเฉลี่ยรวมในการจำแนกสองคำสั่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 73.2% ด้วยคลื่นบีตา

อภิปรายและสรุปผล

โครงการนี้ได้นำเสนอระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยความสนใจทางสายตาผ่านตัวเลขนับถอยหลังด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง และทำการทดลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบในการสร้างคำสั่งตัวเลข 5 และ 15 พบว่าความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ในช่วง 66.1% ถึง 78.6% ซึ่งอัตราส่วนระหว่างคลื่นแอลฟาและบีตาจากคลื่นไฟฟ้าสมองช่อง O1–O2 ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดเท่ากับ 82.1% ที่คำสั่งตัวเลข 5 และให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยสูงสุดในการจำแนกสองคำสั่งเท่ากับ 78.6% โดยคลื่นไฟฟ้าสมองช่อง F3–F4 กับการใช้คุณลักษณะให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสองคำสั่งเท่ากับ 73.2% เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างภาพที่ 6 และ 7 พบว่าการใช้คลื่นไฟฟ้าสมองจากช่องสัญญาณ O1–O2 ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงกว่าการใช้คลื่นไฟฟ้าสมองจากช่องสัญญาณ F3–F4 สัมพันธ์กับกระบวนทัศน์ความสนใจทางสายตาและทำงานของสมองส่วนการประมวลผลการมองเห็น จากการทดลองระบบยังมีประสิทธิภาพไม่สูงมากอาจเกิดจากความไม่ชำนาญในการใช้งานและอาการล้าของผู้ทดลอง

จากกระบวนทัศน์ความสนใจทางสายตาผ่านตัวเลขนับถอยหลังที่เสนอสำหรับการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรงได้ ในการควบคุมแบบไม่ต่อเนื่องในการสร้างคำสั่ง เช่น การเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อย่างไรก็ตามระบบที่เสนอยังต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการพัฒนาอัลกอริทึมการจำแนกคำสั่งและการเพิ่มจำนวนคำสั่งเพื่อการควบคุมที่หลากหลาย รวมถึงการใช้งานที่สะดวกด้วยอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบสวมใส่ได้ เพิ่มการทดลองกับกลุ่มอาสาสมัครเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบที่แท้จริง จะเป็นแนวทางการพัฒนาระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์สำหรับผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรงได้จริงในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานนวัตกรรมสารสนเทศทางการแพทย์ สาขานวัตกรรมสารสนเทศทางการแพทย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และขอขอบพระคุณอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ [อินเทอร์เน็ต]. 2566; สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2566. ได้จาก: https://dep.go.th/th/homepage.
2. Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, Vaughan TM. Brain–computer interface for communication and control. Clinical Neurophysiology. 2002;113(6): 767–791.
3. Coyle S, Ward TE, Markham C. Brain–computer interfaces: a review. Interdisciplinary Science Reviews. 2003;28: 112–118.
4. Punsawad Y, Siribunyaphat N, Wongsawat Y. Exploration of illusory visual motion stimuli: An EEG-based brain–computer interface for practical assistive communication systems. Heliyon. 2021;7(3): 1–8.
5. Morshed BI, Khan AS. A Brief Review of Brain Signal Monitoring Technologies for BCI Applications: Challenges and Prospects. Journal of Bioengineering and Biomedical Science. 2014;4: 1–10.

6. Šumak B, Spindler M, Debeljak M, Heričko M, Pusnik M. An empirical evaluation of a hands-free computer interaction for users with motor disabilities. Journal of Biomedical Informatics. 2019;96: 1-16.
7. Abdulkader SN, Atia A, Mostafa MSM. Brain computer interfacing: Applications and challenges. Egyptian Informatics Journal. 2015;16(2): 213-230.
8. Mohammadpour M, Mozaffari S. Classification of EEG-based attention for brain computer interface. In: Proceeding of the 2017 3rd Iranian Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ICSPIS); 2017: 34-37.
9. Renton AI, Painter DR, Mattingley JB. Optimising the classification of feature-based attention in frequency-tagged electroencephalography data. Scientific Data. 2022; 9.
10. Tonin L, Leeb R, Millán JD. Single trial detection of spatial covert visual attention for BCI. 2011.
11. Hamza-Lup F, Suri A, Iacob I, Goldbach I, Rasheed L, Borza P. Attention Patterns Detection using Brain Computer Interfaces. In: Proceedings of the 2020 ACM Southeast Conference; 2020.
12. Treder MS, Bahramisharif A, Schmidt NM, van Gerven MA, Blankertz B. Brain-computer interfacing using modulations of alpha activity induced by covert shifts of attention. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2011;8: 24.
13. Delorme A, Mullen T, Kothe C, Akalin Acar Z, Bigdely-Shamlo N, Vankov A, et al. EEGLAB, SIFT, NFT, BCILAB, and ERICA: New tools for advanced EEG processing. Comput Intell Neurosci. 2011;2011: 1-12.
14. Nicolas-Alonso LF, Gomez-Gil J. Brain computer interfaces, a review. Sensors. 2012;12.
15. Wilder J, Kowler E, Schnitzer BS, Gersch TM, Dosher BA. Attention during active visual tasks: Counting, pointing, or simply looking. Vision Research. 2009;49: 1017-1031.
16. Kelly SP, Lalor EC, Finucane C, McDarby G, Reilly RB. Visual spatial attention control in an independent brain-computer interface. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2005;52: 1588-1596.
17. Åstrand E, Wardak C, Ben Hamed S. Selective visual attention to drive cognitive brain–machine interfaces: from concepts to neurofeedback and rehabilitation applications. Frontiers in Systems Neuroscience. 2014;8: 1-16.

การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองโดยใช้การกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะ

EEG-based brain-computer interface using transient tactile stimulation

ณฐกานต์ บุญเรืองขาว[1], ฟ้าประทาน เจะตำ[1], มโนรส บริรักษ์อราวินท์[2] และ ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์[1*]
Nathagarn Boonruangkhao[1], Fapratan Jehtam[1], Manorot Borirakarawin[2], Yunyong Punsawad[1*]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเชื่อมสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์จากการกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะสำหรับเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกและการฟื้นฟู ได้มีการออกแบบและทดลองการกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะด้วยการสั่นสะเทือนแบบสุ่มเพื่อสร้างคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์จากการสนใจไปที่ตำแหน่งตัวกระตุ้นเป้าหมายที่ติดตั้งอยู่ที่แขนทั้งสองข้างของอาสาสมัครจำนวน 4 ตำแหน่งเพื่อสร้างคำสั่งจำนวน 4 คำสั่ง ผลการทดลองแสดงค่าความถูกต้องในการจำแนกเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วง 61.9% ถึง 79.8% โดยตำแหน่ง P3 มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยสูงสุดในการจำแนกคำสั่ง ในอนาคตควรมีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพการจำแนกให้สูงขึ้น วิธีการที่นำเสนอเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สำหรับผู้พิการทางกายภาพที่มีความบกพร่องทางการได้ยินและการมองเห็นร่วมด้วยเพื่อควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกและอุปกรณ์กายภาพบำบัด

คำสำคัญ: การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์, คลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์, การกระตุ้นการสัมผัส

Abstract

This paper proposed an event-related potential-based brain-computer interface via transient tactile stimulation for assistive technology and rehabilitation. We design a tactile stimulus pattern using vibrotactile stimulator. We also observed a tactile ERP response from attention to the target stimulus placed on the arms with four positions to create four commands. The results show average classification accuracy ranging from 61.9% to 79.8%. P300 response from the parietal area yielded the highest average classification accuracy. In future work, we will improve classification efficiency. The proposed method can guide the development of a brain-computer interface system for physically disabled people with visual and auditory impairments to control assistive and rehabilitation devices.

Keywords: Brain-Computer Interface, Event-Related Potential, Tactile Stimulation

---

[1] สำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160
[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 1 ตำบลท่างิ้ว อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280
[1] School of Informatics, Walailak University 222 Thaiburi, Thasala District Nakhon Si Thammarat 80161
[2] Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University 1 Tha Ngio, Mueang District Nakhon Si Thammarat 80280
* Corresponding author : yunyong.pu@wu.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยมีจำนวนผู้พิการทางร่างกายขั้นรุนแรงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ตามรายงานของกรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ [1] ความพิการเหล่านี้อาจเกิดจากอุบัติเหตุ ความชรา และโรคหรืออาการเจ็บป่วย เช่น โรคหลอดเลือดสมอง (Stroke) การบาดเจ็บที่ไขสันหลัง (Spinal cord injury: SCI) และโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรง (Amyotrophic lateral sclerosis: ALS) ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความสามารถในการเคลื่อนไหว ส่งผลต่อการดำรงชีวิตประจำวัน อันนำมาซึ่งการพัฒนาอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการกลุ่มนี้อย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีการเชื่อมสมองและคอมพิวเตอร์ (Brain–computer Interface: BCI) [2–11] เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจอย่างมากในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว การใช้สัญญาณสมองเพื่อควบคุมและสื่อสารกับคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ภายนอก โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนคำสั่งด้วยมือหรือคำพูด โดยผู้ใช้สัญญาณสมองควบคุมได้โดยตรงจากสมอง สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวก ได้แก่ แขนกล ขากล หรือเก้าอี้รถเข็นไฟฟ้า [2] รวมถึงการสื่อสารกับคนรอบข้าง คลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG) นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการเชื่อมสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์ ได้แก่ คลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Event–related potentials: ERPs) [3] ที่อาศัยสิ่งเร้าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมองเพื่อใช้สร้างคำสั่งผ่านรูปแบบการกระตุ้นทางระบบประสาทการรับรู้ทางการมองเห็น (Visual) การได้ยิน (Auditory) และทางการสัมผัส (Somatosensory) ที่ทำให้เกิดคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ที่เกิดขึ้นภายในระยะเวลา 250–400 มิลลิวินาทีหลังจากการกระตุ้น สำหรับการกระตุ้นทางการสัมผัสเพื่อให้เกิดคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์แบบชั่วขณะ (Transient somatosensory evoked potential: TSEP) และแบบคงตัว (Steady–state somatosensory evoked potential: SSSEP) [4–5] เป็นคลื่นไฟฟ้าที่ถูกให้ความสำคัญมากขึ้นในการพัฒนาระบบเชื่อมสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการฟื้นฟูและช่วยเหลือผู้ป่วยจำนวนมาก ซึ่งดำเนินการอยู่ในขั้นการทดลองในห้องปฏิบัติการ [7–14]

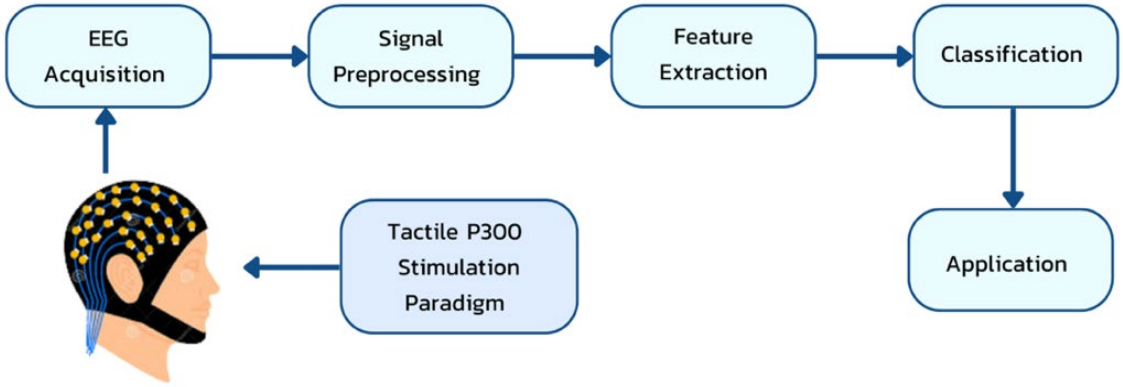
จากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาระบบเชื่อมสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากการกระตุ้นทางการสัมผัสในปัจจุบัน พบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการกระตุ้นทางการสัมผัสโดยการใช้การสั่นร่วมด้วย Wenbin Zhang และคณะ [7] ได้เสนอวิธีการกระตุ้นการสั่นสะเทือนทางกลแบบวงปิด (Dependent closed–loop vibration stimulus: PDS) ที่นิ้วชี้ของมือข้างที่ไม่ถนัด โดยมีรูปแบบการกระตุ้นการสั่นสะเทือนแบบวงปิดที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังนี้ 1) แบบต่อเนื่อง 2) ช่วงที่เพิ่มขึ้น 3) ช่วงที่ลดลง 4) ไม่มีการกระตุ้น พบว่าการกระตุ้นการสั่นสะเทือนแบบวงปิดที่ใช้ในช่วงที่จิตนาการถึงการเคลื่อนไหวช่วยให้ผู้เข้าร่วมสร้างคลื่นไฟฟ้าสมองที่ไม่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Event–related desynchronization: ERD) ได้อย่างชัดเจน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพวิธีการจินตนาการการเคลื่อนไหว (Motor imagery: MI) นอกจากนี้ Lin Yao และคณะ [9] ได้เสนอวิธีการกระตุ้นด้วยแรงสั่นสะเทือนที่สัมผัสผิวหนังบริเวณข้อมือซ้ายและขวาของผู้เข้ารับการทดลองด้วยแรงที่เท่ากัน การทดลองกับอาสาสมัครจำนวน 9 คน โดยอาสาสมัครจำนวน 6 คนมีความแม่นยำในการแยกแยะมากกว่า 80% และอาสาสมัครจำนวน 3 คนมีความแม่นยำในการจำแนกมากกว่า 95% พบว่าการกระตุ้นทางการสัมผัสช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของจินตนาการการเคลื่อนไหว

ผู้วิจัยเห็นถึงประโยชน์ของการกระตุ้นทางการสัมผัสในการพัฒนาระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ โดยการออกแบบวิธีการกระตุ้นทางการสัมผัสสำหรับการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 [10] และทดสอบประสิทธิภาพการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 จากกระตุ้นทางการสัมผัสที่นำเสนอเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สำหรับผู้พิการทางกายภาพที่มีความบกพร่องทางการได้ยินและการมองเห็นร่วมด้วย

วิธีการศึกษา

ระบบที่นำเสนอ

การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองโดยใช้การกระตุ้นทางการสัมผัสแสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วย 1) กระบวนทัศน์การกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะเพื่อสร้างคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP) 2) การได้มาของคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG Acquisition) โดยการใช้หมวกอิเล็กโทรดวัดสัญญาณ 3) การประมวลสัญญาณ (Signal Processing) เพื่อขจัดสัญญาณรบกวนภายนอก จากนั้นใช้อัลกอริทึมเพื่อจำแนกคลื่น P300 ซึ่งประกอบด้วย 4) การสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) เพื่อตรวจจับคลื่นไฟฟ้า P300 5) การจำแนก (Classification) เพื่อสร้างคำสั่ง และประยุกต์ใช้งานเพื่อควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการหรือการบำบัดฟื้นฟู เป็นต้น



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองโดยใช้การกระตุ้นทางการสัมผัส

อุปกรณ์กระตุ้นทางการสัมผัส

อุปกรณ์กระตุ้นทางการสัมผัสโดยใช้มอเตอร์สั่นขนาดเล็กกระแสตรง (Eccentric rotating mass vibration motor: ERM) ที่แรงดัน 3 โวลต์ มีแรงสั่นสะเทือนใกล้เคียงกับการแจ้งเตือนของโทรศัพท์ที่ความถี่ 130–180 Hz ที่ใช้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ [11] ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานมอเตอร์สั่นและสร้างสัญญาณความถี่ของการสั่น รวมถึงส่งสัญญาณพัลส์ระบุตำแหน่งตัวกระตุ้นไปยังอุปกรณ์บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง มอเตอร์สั่นถูกติดกับแท่นพลาสติกที่ออกแบบให้ใส่สายรัดข้อมือได้ เพื่อปรับให้ตัวกระตุ้นเหมาะสมกับแขนและข้อมือของอาสาสมัคร ดังภาพที่ 2(ก) จำนวน 4 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 2(ข) ประกอบด้วย 1) ข้อมือซ้าย 2) ข้อศอกซ้าย 3) ข้อมือขวา 4) และข้อศอกขวา

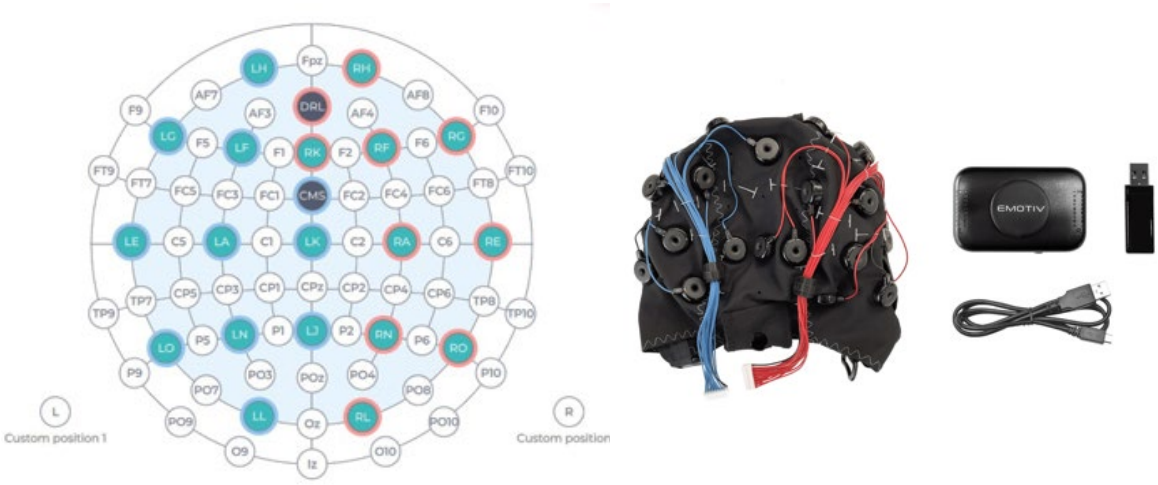


(ก) (ข)

ภาพที่ 2 (ก) อุปกรณ์กระตุ้นทางการสัมผัส (ข) ตำแหน่งการติดตั้งตัวกระตุ้นแบบชั่วขณะทางการสัมผัส

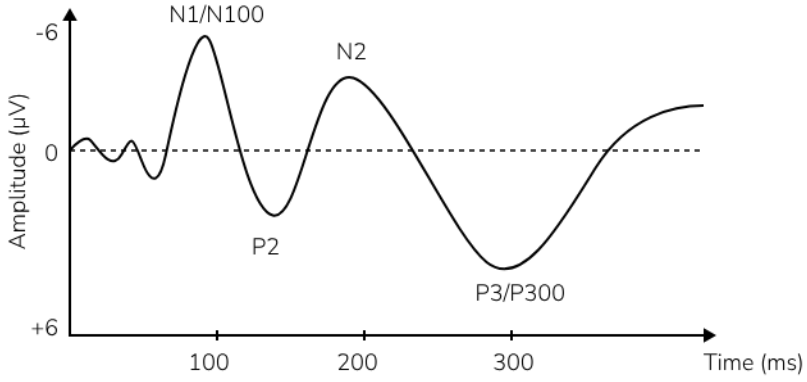
การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

การทดลองจะทำการวัดคลื่นสัญญาณสมองด้วยหมวกอิเล็กโทรดรุ่น Saline Pre-Configured Kit ที่ใช้น้ำเกลือเป็นสื่อนำไฟฟ้า จำนวน 19 ช่องมีตำแหน่งที่อ้างอิงตามระบบมาตรฐานนานาชาติ 10 – 20 (International 10 – 20 System) แสดงดังภาพที่ 3(ก) ทำการขยายด้วยอุปกรณ์ EPOC Flex [16] ที่มีการรับส่งสัญญาณแบบไร้สายด้วย Bluetooth ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อการบันทึกด้วยโปรแกรม Emotive Pro ที่อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling rate) เท่ากับ 128 Hz



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 (ก) แสดงตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กโทรดตามมาตรฐาน10-20 (ข) เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง 32 ช่อง รุ่น EPOC Flex ของบริษัท Emotiv (https://www.emotiv.com/flex-saline)



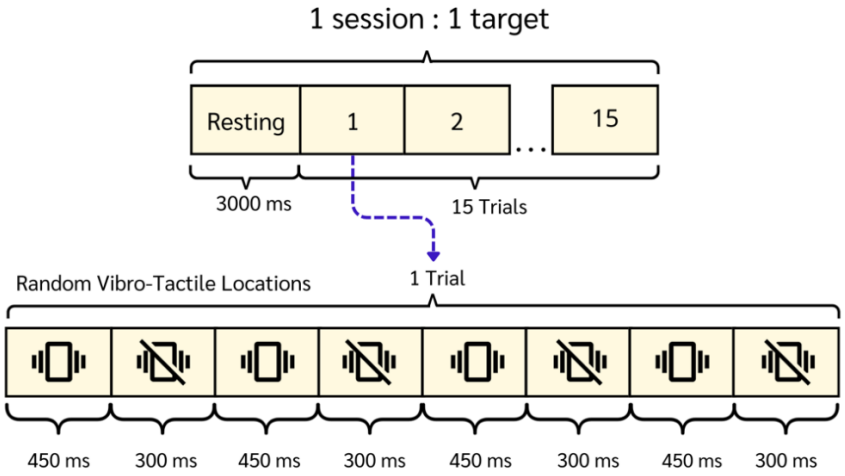
ภาพที่ 4 คลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ (ERP)
ที่มาจาก https://www.emotiv.com/tutorials/event-related-potentials/

อัลกอริทึมในการจำแนกคลื่น P300

คลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้ถูกนำมาประมวลสัญญาณและสกัดคุณลักษณะด้วยโปรแกรม MATLAB ทำการประมวลผลด้วย EEGLAB TOOLBOX [17] ทำการตัดสัญญาณรบกวนออกด้วยการกรองดิจิทัลแบบช่วงความถี่ผ่าน 0.1–25 Hz จากนั้นทำการตัดคลื่นไฟฟ้า (ใช้ตำแหน่งสัญญาณพัลส์ขณะเริ่มกระตุ้น) เพื่อให้ได้คลื่นไฟฟ้าสมองก่อนการกระตุ้นเป็นเวลา 200 ms และหลังจากการตุ้นเป็นเวลา 500 ms เพื่อหาค่าเฉลี่ยของความสูงของคลื่น P300 ในทุกรอบการกระตุ้นจากทุกช่องสัญญาณ ลักษณะของคลื่น P300 หรือ P3 แสดงดังภาพที่ 4 เปรียบเทียบคลื่น P300 จากตำแหน่งเป้าหมายและตำแหน่งที่ไม่ใช่เป้าหมาย ทำการจำแนกด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกแบบเชิงเส้น (Linear Discriminant Analysis: LDA) เพื่อจำแนกค่าเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดในแต่ละรอบออกมาเป็นคำสั่งตามตำแหน่งที่ติดตั้งตัวกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะ 4 ตำแหน่ง

การทดลอง

การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะ มีอาสาสมัครสุขภาพดีเข้าร่วม จำนวน 7 คน มีอายุ 20–22 ปี เป็นเพศชายจำนวน 2 คน และเพศหญิงจำนวน 5 คน อาสาสมัครทำการทดลองตามกระบวนทัศน์ดังภาพที่ 6 การกระตุ้นแบบชั่วขณะทางการสัมผัสประกอบด้วย การทดลอง 1 ช่วงมีตัวกระตุ้นทางการสัมผัสด้วยการสั่น 4 ตำแหน่งแบบสุ่มลำดับจำนวน 15 รอบ (trial) การกระตุ้นแต่ละครั้งประกอบด้วยระยะเวลาการสั่น 450 มิลลิวินาที (ms) ระยะพัก 300 ms ก่อนเป็นตำแหน่งถัดไป ดังนั้น 1 รอบการทดลองจะใช้ระยะเวลาเท่ากับ 3000 ms เมื่อคิดเวลาต่อ 1 ช่วง (session) จะใช้เวลาทั้งสิ้น 47 วินาที (s) สำหรับ 1 การทดลองมีจำนวน 12 เป้าหมาย (ตำแหน่งละ 3 ครั้ง) ใช้เวลาทั้งสิ้น 9.4 นาที



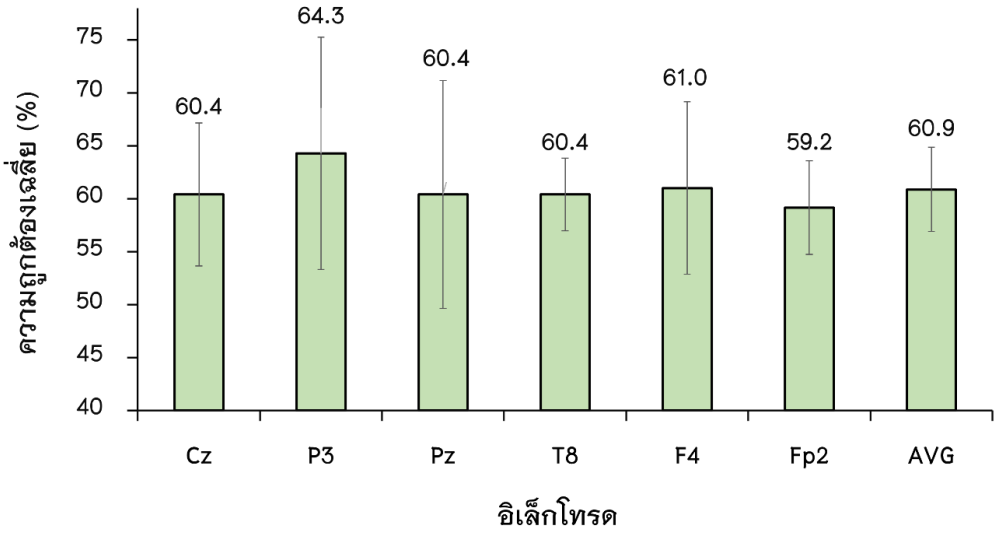
ภาพที่ 5 กระบวนทัศน์ต่อ 1 ช่วงการทดลองของการกระตุ้นแบบชั่วขณะทางการสัมผัส



ภาพที่ 6 ตัวอย่างขณะทำการทดลอง

ผลการศึกษา

จากภาพที่ 7 แสดงค่าความถูกต้องเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่งของอิเล็กโทรด ภาพที่ 3(ก) ค่าความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ในช่วง 59.2% ถึง 64.3% ด้วยการใช้คลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ด้วยการกระตุ้นทางการสัมผัส คลื่นไฟฟ้าสมองจากอิเล็กโทรด P3 มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 64.3% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัญญาณที่วัดจากตำแหน่ง P3 มีความถูกต้องมากที่สุดในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในสมองที่เกิดขึ้นในระหว่างเหตุการณ์ที่ได้รับการกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะ



ภาพที่ 7 แผนภูมิแสดงค่าความถูกต้องของช่องอิเล็กโทรด

ตารางที่ 1 ค่าความถูกต้องเฉลี่ยของอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอ

อาสาสมัคร	ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนก (%)							
	คำสั่ง 1		คำสั่ง 2		คำสั่ง 3		คำสั่ง 4	
	F	P	F	P	F	P	F	P
1	75.0	83.3	33.3	75.0	41.7	41.7	50.0	58.3
2	33.3	58.3	50.0	16.7	66.7	83.3	41.7	83.3
3	41.7	100.0	83.3	58.3	83.3	33.3	83.3	58.3
4	58.3	66.7	50.0	66.7	66.7	33.3	75.0	66.7
5	58.3	83.3	50.0	66.7	66.7	50.0	58.3	41.7
6	50.0	83.3	58.3	75.0	66.7	66.7	75.0	91.7
7	66.7	83.3	50.0	75.0	100.0	83.3	75.0	50.0
ค่าเฉลี่ย	54.8	79.8	53.6	61.9	70.2	55.9	65.5	64.3
ค่าสูงสุด	75.0	100.0	83.3	75.0	100.0	83.3	83.3	91.7

***หมายเหตุ** P: สมองกลีบข้าง (Parietal) และ F: สมองส่วนหน้า (Frontal)

จากตารางที่ 1 แสดงค่าความถูกต้องของแต่ละคำสั่งของอาสาสมัครทั้งหมด ทำการเปรียบเทียบในแต่ละคำสั่งบริเวณสมองส่วนไหนมีค่าความถูกต้องสูงสุด โดยใช้ค่าของคลื่นที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์จากอิเล็กโทรดบริเวณสมองกลีบข้าง Parietal (P3, Pz) และบริเวณสมองส่วนหน้า Frontal (F4) พบว่าการจำแนกคำสั่งแต่ละคำสั่งมีค่าถูกต้องเฉลี่ยมากกว่า 65.0% พิจารณาแต่ละคำสั่ง พบว่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 79.8% ที่คำสั่งที่ 1 ด้วยคลื่นไฟฟ้า P300 จากบริเวณสมอง Parietal เช่นเดียวกับ คำสั่ง 2 ที่มีความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 61.9% สำหรับคำสั่ง 3 มีความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 70.2% ด้วยคลื่นไฟฟ้า P300 จากบริเวณสมองส่วนหน้า Frontal เช่นเดียวกับ คำสั่ง 4 ที่มีความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 65.5% เมื่อพิจารณาคำสั่งที่ 1 และ 3 ที่เกิดตัวกระตุ้นที่บริเวณข้อมือซ้ายและขวาตามลำดับ ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกมากกว่า 70.0% ทั้งสองคำสั่ง

อภิปรายและสรุปผล

จากผลทดลองระบบเชื่อมต่อสมองด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ P300 จากการกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะ พบว่าคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 บริเวณสมองกลีบข้างและสมองส่วนหน้าให้ประสิทธิภาพในการจำแนกคำสั่งได้ดี เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีหน้าที่ในการประมวลการรับรู้ทางการสัมผัสและการจดจ่อเป้าหมาย เมื่อพิจารณาเพียง 2 คำสั่ง จากการกระตุ้นฝั่งซ้าย (คำสั่งที่ 1) และกระตุ้นฝั่งขวา (คำสั่งที่ 3) ที่บริเวณข้อมือมีประสิทธิภาพในการจำแนกคำสั่งได้ดีกว่าบริเวณข้อศอก (คำสั่ง 2 และ 4)

บทความนี้นำเสนอการเชื่อมสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์จากการกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะ จากการออกแบบการกระตุ้นทางการสัมผัสด้วยการใช้แรงสั่นสะเทือนจากมอเตอร์สั่นขนาดเล็กกระแสตรงเพื่อเร้าให้เกิดคลื่นไฟฟ้าสมอง P300 ด้วยการสนใจไปที่ตำแหน่งตัวกระตุ้นเป้าหมายที่ติดตั้งอยู่ที่แขนทั้งสองข้างของอาสาสมัครจำนวน 4 ตำแหน่งเพื่อสร้างคำสั่งจำนวน 4 คำสั่ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้การกระตุ้นทางการสัมผัสแบบชั่วขณะสำหรับการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งวิธีการที่นำเสนอเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สำหรับผู้พิการทางกายภาพที่มีความบกพร่อง

ทางการได้ยินและการมองเห็นร่วมด้วยเพื่อควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวก สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีกเพื่อช่วยในการบำบัดและฟื้นฟูระบบประสาทที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของแขนและขา อย่างไรก็ตามวิธีการที่นำเสนอยังต้องการการฝึกฝนเพื่อช่วยให้อาสาสมัครสามารถสนใจไปที่ตำแหน่งเป้าหมายการกระตุ้นทางการสัมผัสได้ง่าย ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น นอกจากนี้ควรมีการปรับปรุงอัลกอริทึมในการจำแนกให้มีความแม่นยำมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานนวัตกรรมสารสนเทศทางการแพทย์ สาขานวัตกรรมสารสนเทศทางการแพทย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และขอขอบพระคุณอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่านเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

1. กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ [อินเทอร์เน็ต]. 2566; สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2566. ได้จาก: https://dep.go.th/th/homepage.
2. Nicolas-Alonso, L. F., Gomez-Gil, J. Brain computer interfaces, a review. Sensors 2012; 12(2): 1211-1279.
3. Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, Vaughan TM. Brain-computer interface for communication and control, Clinical Neurophysiology, 2002; 113(6): 767-791.
4. Abdulkader SN, Atia A, Mostafa MSM, Brain computer interfacing: Applications and challenges. Egyptian Informatics Journal 2015; 16(2): 213-230.
5. Vlaar MP, Van Der Helm FC, Schouten AC. Frequency domain characterization of the somatosensory steady state response in electroencephalography. IFAC-papersonline 2015; 8(28): 1391-1396.
6. Pokorny C, Breitwieser C, Müller-Putz GR. The role of transient target stimuli in a steady-state somatosensory evoked potential-based brain–computer interface setup. Frontiers in neuroscience 2016; 10: 152.
7. Zhang W, Song A, Zeng H, Xu B, Miao M. Closed-loop phase-dependent vibration stimulation improves motor imagery-based brain-computer interface performance. Frontiers in Neuroscience 2021; 15: 1-10.
8. Zhang W, Song A, Zeng H, Xu B, Miao M. The Effects of Bilateral Phase-Dependent Closed-Loop Vibration Stimulation With Motor Imagery Paradigm. in IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 2002; 30: 2732-2742.
9. Yao L, Meng J, Zhang D, Sheng X, Zhu X. Selective sensation based brain-computer interface via mechanical vibrotactile stimulation. PloS one 2013; 8(6): 1-9.
10. Picton T W. The P300 wave of the human event-related potential. Journal of clinical neurophysiology 1992; 9: 456-456.
11. Stanke D, Duente T, Rohs M, TactileWear: A comparison of electrotactile and vibrotactile feedback on the wrist and ring finger. In: Proceedings of the 11th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Shaping Experiences, Shaping Society Tallinn, Estonia, 2020. pp. 1-13.

12. Kato R, Matsubara A, Nakashima S, Nishifuji S, Multi-Class Brain Computer Interface Using Steady-State Somatosensory Evoked Potentials, In: IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Osaka, Japan, 2022. pp. 328-331.
13. Kim M-K, Cho J-H, Shin H-B, Lee S-W. Towards Brain-based Interface for Communication and Control by Skin Touch, In: 11th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI), Gangwon, Korea, Republic of, 2023. pp. 1-5.
14. Zhong Y, Yao L, Wang J, Wang Y. Tactile sensation assisted motor imagery training for enhanced BCI performance: a randomized controlled study. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 2022; 70(2): 694-702.
15. Emotiv. [Internet]. 2023 . Date of Publication 18 July 2023. Available from: https://www.emotiv.com/flex-saline
16. Williams NS, McArthur GM, de Wit B, Ibrahim G, Badcock NA. A validation of Emotiv EPOC Flex saline for EEG and ERP research. PeerJ 2020 Aug 11; 8:e9713.
17. Delorme A, Makeig S. EEGLAB: an open-source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics, Journal of Neuroscience Methods 2004: 134: 9-21.

เว็บแอปพลิเคชันเพื่อการซื้อขายแอคเคาท์เกม โดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน

Web application for trading game account using block chain technology

ภูมิทวี ร่มโพธิ์[1] และ อรจิรา สิทธิศักดิ์[1*]

Poomtawee Rompho [1] and Onjira Sitthisak [1*]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเกมในประเทศไทย มีการพัฒนามากขึ้น และมีการซื้อขายไอเทมในเกม หรือแอคเคาท์เกมกันแบบC2C(Customer to Customer) เป็นจำนวนมาก จากรูปแบบการซื้อขายทรัพย์สินดิจิทัลทำให้มีผู้ไม่ประสงค์ดี ที่คอยหาผลประโยชน์จากการซื้อขายทรัพย์สินดิจิทัลเหล่านี้ ด้วยการฉ้อโกง หลอกลวง บิดเบือนสัญญาการซื้อขาย หรือแม้แต่ปลอมแปลงการทำธุรกรรม จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อซื้อขายแอคเคาท์เกมขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน เพื่อเป็นระบบกลางที่มีความน่าเชื่อถือ โดยจะให้มีการยืนยันตัวตนของผู้ขาย และทำให้สามารถดำเนินการในทางกฎหมายได้หากผู้ขายได้ขายสินค้าออกไปแต่มีการเข้าไปแก้ไขข้อมูลต่างๆของสินค้าให้เกิดความเสียหายแก่ผู้ซื้อ(ในกรณีที่สินค้ามีการผูกไว้กับข้อมูลอื่นและผู้ขายไม่ต้องการขายข้อมูลในส่วนนั้น) งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบให้สามารถเข้าใช้งานได้ผ่านกระเป๋าเงินดิจิทัล เพื่อให้ตรวจสอบธุรกรรมการชำระเงินได้ซึ่งสามารถการันตีได้ว่าเมื่อผู้ซื้อจ่ายเงินแล้วจะได้รับสินค้าอย่างแน่นอน

คำสำคัญ : บล็อกเชน, การซื้อขาย, เกม

Abstract

Currently, the development of the gaming industry in Thailand is increasing. There are trading items in the game or a C2C (Customer to Customer) gaming account. As a result, there are many trading frauds such as misrepresenting trading contracts or even falsifying transactions. From this problem. The researchers have developed a project for a web application to trade game accounts by using blockchain technology. This will verify the seller's identity and enable legal action. If the seller sells the product, they edit various information about the product that was badly damaged (if the product is tied to other information and the seller does not want to sell that information). This research has designed the system to be able to access through a digital wallet so that payment transactions can be verified. Therefore, we can guarantee that when the buyer pays, they will receive the product for sure.

Keywords: Blockchain, trading, game

[1] สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี 12121

[1] Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University Rangsit Campus, Pathum Thani, 12121

* Corresponding author: onjira@tu.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันผู้คนให้ความสนใจกับการซื้อขายทรัพย์สินดิจิทัลกันมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นแอคเคาท์เกมส์, ไอเทมในเกม, NFT, แอคเคาท์โซเชี่ยลมีเดียต่างๆ, คริปโทเคอร์เรนซี เป็นต้น การซื้อขายแอคเคาท์เกมออนไลน์ ในปัจจุบันผู้คนส่วนมากจะใช้วิธีการซื้อขายโดยผู้ซื้อหรือผู้ขาย จะโพสลงบนโซเชียลมีเดียต่างๆ เช่น กลุ่มในเฟสบุ๊ค กลุ่มไลน์ กลุ่มเทเลแกรม เป็นต้น จากนั้นผู้ซื้อหรือผู้ขายจะทำการติดต่ออีกไปเพื่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม หรือต่อรองราคา เมื่อทำข้อตกลงกันเสร็จสิ้น จะมีวิธีการในการแลกเปลี่ยนกันในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งทำให้มีผู้ไม่ประสงค์ดี ที่คอยหาผลประโยชน์จากการซื้อขายทรัพย์สินดิจิทัลเหล่านี้ ด้วยการฉ้อโกง หลอกลวง บิดเบือนสัญญาการซื้อขาย หรือแม้แต่ปลอมแปลงการทำธุรกรรม ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนอแอปพลิเคชันเพื่อการซื้อขายแอคเคาท์เกม “วีเด็กซ์” ขึ้นมา โดยมีเป้าหมายเพื่อให้การซื้อขายไม่จำเป็นต้องผ่านคนกลาง และมีความโปร่งใสชัดเจน ทำให้สามารถรับมือกับการฉ้อโกงได้เกือบทุกรูปแบบ ทำให้ผู้ซื้อและผู้ขายเกิดความเชื่อมั่นในการทำธุรกรรมมากขึ้น และนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมเกมให้ก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Blockchain

Blockchain [2] คือเทคโนโลยีการประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลแบบกระจายศูนย์ หรือที่เรียกว่า Distributed Ledger Technology (DLT) ซึ่งเป็นรูปแบบการบันทึกข้อมูลที่ใช้หลักการ Cryptography ร่วมกับ Consensus Algorithm โดยข้อมูลที่ถูกบันทึกในระบบ Blockchain นั้นจะสามารถทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ยาก ช่วยเพิ่มความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของข้อมูล ในส่วนเรื่องความมั่นคงปลอดภัยของบล็อกเชนนั้น ก็ขึ้นอยู่กับกลไกธรรมาภิบาล (Governance) ของแต่ละเครือข่ายบ[1] สำหรับ Blockchain หรือเครือข่ายธุรกรรมออนไลน์ Smart Contract เปรียบได้กับโค้ดมาตรฐาน ที่หากมีการนำไปใช้ ก็จะสามารถแปลงสิ่งใดก็ได้ให้กลายเป็นสินทรัพย์ดิจิทัลได้ทันที ยกตัวอย่าง โค้ดมาตรฐานสำหรับสร้างบิทคอยน์ หรือโค้ดมาตรฐานสำหรับสร้าง NFT ดังนั้นการสร้าง NFT จึงสามารถทำได้ง่ายมาก โดยอาศัย Smart Contract ซึ่งสามารถเข้าถึงได้ง่ายมากเช่นกัน

บล็อกเชน ได้มีการนำมาใช้งานกับหลากหลายแวดวงธุรกิจ โดยเฉพาะในธุรกิจอีคอมเมิร์ซที่หลายแพลตฟอร์มเริ่มนำบล็อกเชนเข้ามาใช้เพื่อพัฒนาและอำนวยความสะดวกให้การซื้อขายออนไลน์เป็นไปอย่างราบรื่นไร้รอยต่อมากยิ่งขึ้น ด้วยคุณสมบัติเด่นของระบบที่ไม่มีศูนย์กลาง ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในแง่ของการเงินจึงเปรียบเสมือนกับการทำธุรกรรมโดยไม่ผ่านศูนย์กลางหรือคนกลาง เช่น ธนาคาร หรือ ผู้ให้บริการด้านการเงิน ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนด้านการทำธุรกรรม ลดขั้นตอนและระยะเวลาในการจ่ายเงินผ่านคนกลางหรือแพลตฟอร์ม เพราะบล็อกเชนเข้ามาทำให้ผู้ซื้อสามารถทำธุรกรรมซื้อขายสินค้าจากผู้ขายได้โดยตรงนั่นเอง

นอกจากในแง่ของการทำธุรกรรมทางการเงินแล้ว บล็อกเชนยังสามารถเข้ามาช่วยบริหารจัดการการขนส่งสินค้าได้อีกเช่นกัน โดยผู้ซื้อจะสามารถเห็นข้อมูลทุกขั้นตอนของการจัดส่งสินค้า ไม่ว่าจะเป็นเส้นทางการจัดส่งสินค้า การตรวจสอบข้อมูลการขนส่งย้อนกลับ (Traceability) เพื่อดูต้นทางที่มาที่ไปของสินค้าที่ผู้ซื้อสั่งซื้อ และอื่น ๆ นอกจากช่วยลดภาระแล้วยังช่วยเพิ่มความโปร่งใสและความน่าเชื่อถือให้แก่ผู้ขาย และลดความกังวลใจให้ผู้ซื้อได้อีกเช่นกัน เพราะสินค้าที่สั่งซื้อสามารถทำการตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ได้ [2]

2. Cryptography

Cryptography [3] คือ กระบวนการสำหรับการแปรรูปข้อมูลเล็กทรอนิกส์ธรรมดาให้อยู่ในรูปที่บุคคลทั่วไปไม่สามารถอ่านเข้าใจได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการเข้ารหัสจะกระทำก่อนการจัดเก็บข้อมูลหรือก่อนการส่งข้อมูล โดยการนำข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ธรรมดากับกุญแจ (key) ซึ่งเป็นตัวเลขสุ่มใดๆ มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ผลที่ได้ก็คือข้อมูลที่เข้ารหัส ขั้นตอนที่กล่าวมานี้จะเรียกว่า “การเข้ารหัส” และเมื่อต้องการอ่านข้อมูล ก็นำเอาข้อมูลที่เข้ารหัสกับกุญแจมาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือข้อมูลดั้งเดิม ซึ่งขั้นตอนนี้จะเรียกว่า “การถอดรหัส” [4]

(1) Private Key คือ กุญแจส่วนตัวเป็นรหัสเล็กๆที่ถูกจับคู่กับกุญแจสาธารณะ เพื่อกำหนดอัลกอริทึมสำหรับการเข้ารหัสและการถอดรหัสข้อมูล โดยถูกสร้างให้เป็นส่วนหนึ่งในการใช้งานร่วมกับรหัสแบบกุญแจสาธารณะ ในระหว่างการเข้ารหัสข้อมูลและใช้ในการถอดรหัสข้อมูลนั้น โดยสามารถแปลงข้อความจากที่ไม่สามารถอ่านค่าได้ ให้เป็นรูปแบบที่อ่านได้ มีการจับคู่กุญแจสาธารณะและกุญแจส่วนตัวเพื่อการสื่อสารที่ปลอดภัย เช่น อีเมล กุญแจส่วนตัวสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า รหัสลับ (Secret Key)

(2) Public Key คือ กุญแจสาธารณะถูกสร้างขึ้นจากเทคโนโลยีระบบรหัสแบบกุญแจสาธารณะ ที่ใช้อัลกอริทึมในรูปแบบระบบการเข้ารหัสแบบอสมมาตร (Asymmetric Key digital assets graphy) โดยกุญแจสาธารณะจะเป็นตัวแปลงข้อมูลปกติให้เป็นข้อมูลที่ไม่สามารถอ่านค่าได้โดยตรง ซึ่งการที่จะอ่านค่าได้ ต้องทำการถอดรหัสโดยการใช้กุญแจส่วนตัว (Private keys) ที่เข้าคู่กันเท่านั้น กุญแจสาธารณะและกุญแจส่วนตัวที่เข้าคู่กันนั้น จะสามารถรักษาความลับของข้อมูลนั้นได้

3. NFT

NFT (Non-Fungible Token) คือ สินทรัพย์ดิจิทัล ที่แต่ละโทเคนหรือแต่ละเหรียญมีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งไม่สามารถแทนที่กันได้ NFT จัดเป็นสินทรัพย์ Cryptocurrency ชนิดหนึ่ง หากแตกต่างจากสกุลเงินคริปโตที่รู้จักกันทั่วไป เช่น Bitcoin หรือ Eth ซึ่งเป็น Fungible Token หมายถึงสินทรัพย์ที่สามารถแลกเปลี่ยนหรือแทนที่กันได้ แม้ ID ของแต่ละเหรียญสกุลคริปโตจะต่างกัน แต่มูลค่าของเหรียญสกุลนั้นๆ จะเท่ากันเสมอ สามารถทดแทนกันและกันได้ เหมือนการแลกเปลี่ยนซื้อขายสกุลเงินตราต่างประเทศทั่วไป [5] สำหรับสินทรัพย์ดิจิทัล NFT นั้น แต่ละ ID จะสะท้อนลักษณะเฉพาะของ token นั้นๆ ซึ่งมีความเป็นต้นฉบับที่ตรวจสอบได้ จึงมักนำเอางานศิลปะในรูปแบบดิจิทัล ดนตรี ไฟล์ภาพและเสียง เกมดิจิทัล หรือกระทั่งที่ดินในโลกเสมือน(metaverse) มาทำเป็น NFT ซึ่งสามารถแสดงสิทธิ์ในการเข้าถึง token ได้เฉพาะเจ้าของ NFT นั้นๆ เท่านั้น โดยมีการบันทึกข้อมูลของเจ้าของกรรมสิทธิ์ลงใน Blockchain อัตโนมัติทันที ไม่สามารถถูกแก้ไขได้ ทำให้ทราบโดยชัดเจนว่าใครคือเจ้าของ NFT ดังกล่าว

4. KYC (การพิสูจน์ตัวตน)

KYC (Know Your Customer) คือ กระบวนการทำความรู้จักกับลูกค้า ที่ผู้ให้บริการทำความรู้จักลูกค้าผ่านการระบุตัวตน และพิสูจน์ตัวตนอย่างถูกต้อง ซึ่งก็คือ KYC เป็นวิธีที่สถาบันการเงินใช้ยืนยันตัวตนของลูกค้า ทั้งบุคคลธรรมดา นิติบุคคล หรือผู้เยาว์ เพื่อป้องกันมิจฉาชีพโจรกรรมข้อมูลบัตรประชาชนไปทำสิ่งผิดกฎหมายได้ [6] โดยแบ่งการตรวจสอบลูกค้าอย่างกว้างได้ 2 ประเภท คือ การยืนยันตัวตนลูกค้า (Identification) และ การพิสูจน์ตัวตนลูกค้า (Verification) – ผู้วิจัยใช้การพิสูจน์ตัวตนแบบไม่เห็นหน้า (Non Face-to-Face) โดยข้อมูลจำเป็นในการพิสูจน์ตัวตน คือ ชื่อ-นามสกุล วัน เดือน ปีเกิด บัตรประชาชน หนังสือเดินทาง หรือใบขับขี่ หมายเลขโทรศัพท์ E-Mail และภาพถ่ายคู่กับบัตรประชาชน ซึ่งการพิสูจน์ตัวตนแบบไม่เห็นหน้า (Non Face-to-Face) ใช้วิธีการพิสูจน์ได้

ด้วย eKYC หรือการยืนยันตัวตนผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันการเงินมักจะให้ลูกค้าถ่ายรูปตนเองและบัตรประจำตัวประชาชนส่งให้ รวมถึงอาจมีการติดต่อผ่านวิดีโอเพื่อสังเกตอากัปกิริยาของลูกค้าด้วย

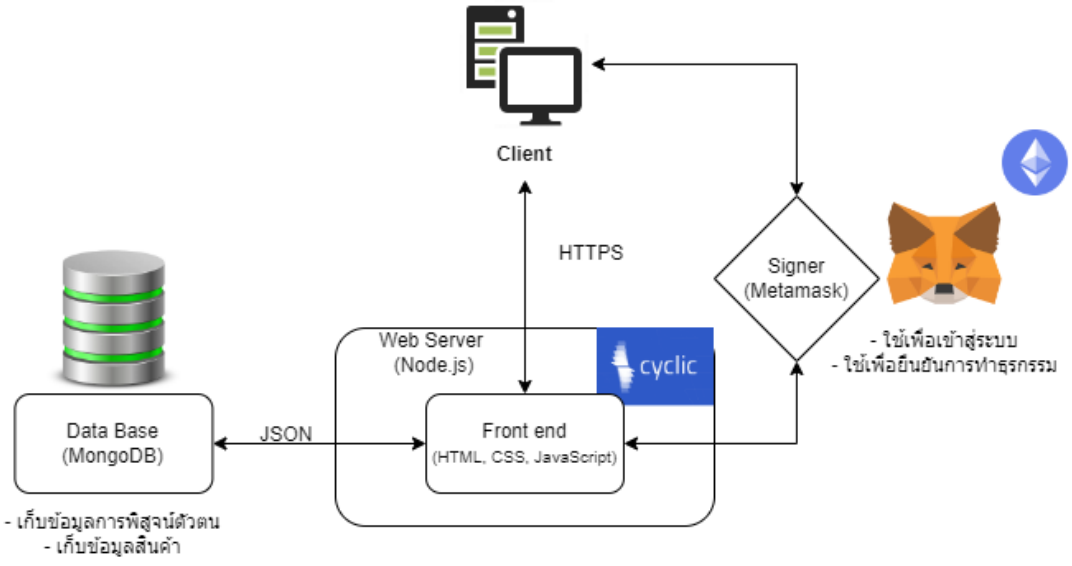
5. แอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้อง

5.1 OpenSea [7] เป็นตลาดที่ถูกสร้างขึ้นมาสำหรับซื้อขายแลกเปลี่ยนงานศิลปะหรือของสะสมในรูปแบบของ Non-fungible token (NFT) โดยเฉพาะสำหรับของสะสมดิจิทัล โดย OpenSea เป็นแพลตฟอร์มกระจายอำนาจแบบ Peer-to-Peer ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถทำธุรกรรมระหว่างกันได้โดยตรง โดยที่ไม่ต้องพึ่งพาตัวกลาง พร้อมเปิดโอกาสให้ศิลปินทั่วโลกสามารถสร้างสรรค์ผลงาน NFT บนแพลตฟอร์ม OpenSea เป็นของตัวเองได้โดยไม่เก็บค่าใช้จ่าย

5.2 BAZAAR [8] เป็นระบบที่ใช้สำหรับซื้อขายตัวละครและไอเท็มในเกม CryptoBlades ซึ่งเป็นเกมส์ NFTเต็มรูปแบบ ข้อมูลการเล่นทั้งหมดถูกเก็บบน BlockChain รวมถึงข้อมูลการซื้อขายด้วย (BAZAAR, 2565) โดยระบบจะให้ผู้ขายทำสัญญากำหนดราคาของNFT แล้วส่งNFTนั้นไปยังกระเป๋าที่กำหนดไว้ จากนั้นผู้ซื้อจะทำการกดซื้อสินค้าที่หน้าเว็บ แล้วระบบจะร้องขอยืนยันการธุรกรรมผ่าน Metamask แสดงราคาที่ต้องจ่ายพร้อมค่าธรรเนียม หลังจากนั้นเหรียญจะถูกส่งไปที่ผู้ขาย แล้วสินค้าก็จะถูกส่งไปที่ผู้ซื้อตามลำดับ

วิธีการศึกษา

สถาปัตยกรรมของระบบ



รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมของระบบ

รูปที่ 1 แสดงสถาปัตยกรรมของระบบ โดยผู้ใช้เรียกใช้หน้าเว็บผ่านทางเครือข่ายโดยใช้ Web browser ที่ติดตั้งอยู่ที่เครื่องของผู้ใช้ เช่น Google Chrome ซึ่งในส่วนนี้จะใช้ HTTPS Protocol ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง Client กับ Web Server และใช้ภาษาJavaScript ในส่วนของหน้าเว็บ หลังจากผู้ใช้เข้าสู่หน้าเว็บแล้วกด “Connect Wallet” Metamask จะร้องขอ Approval เมื่อกดยืนยันการเข้าสู่ระบบจะเป็นอันเสร็จสิ้น หลังจากนั้นจะสามารถทำการพิสูจน์ตัวตนได้ โดยกดที่ Verify แล้วหน้าเว็บจะแสดงหน้าให้อัพโหลดข้อมูลการพิสูจน์ตัวตน ข้อมูลจะถูกส่งไปจัดเก็บที่ Database เมื่อต้องการซื้อสินค้า กดเลือกสินค้าจากหน้าเว็บจากนั้นกดเลือก Buy ข้อมูลจากหน้าเว็บจะ

ถูกส่งไปที่ Node เพื่ออ่านโค้ด Smart Contract จาก BlockChain ซึ่งเขียนด้วยภาษา Solidity แล้วโค้ดจะถูกรันโดย EVM(Ethereum Virtual Machine) จากนั้น Output จะถูกส่งกลับมาที่หน้าบ้านเพื่อให้ Metamask ร้องขอการยืนยันการทำธุรกรรม หลังจากทำการยืนยันข้อมูลการซื้อขายจะถูกบันทึกลงบน BlockChain การซื้อขายจะเป็นอันเสร็จสิ้น ซึ่งในส่วนนี้จะใช้ JSON RPC Protocol ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง Web Sever กับ Node

การมอบอำนาจให้กับสมาชิก Admin ทำได้โดยกดที่ Appoint จากนั้นหน้าเว็บจะส่งคำสั่งไปที่ Database เพื่อเรียกดูข้อมูลของสมาชิกแต่ละคน โดยจะแสดงเป็น Public Key ของสมาชิก สถานะVerification และตำแหน่งของสมาชิก ซึ่งข้อมูลส่วนนี้จะใช้ภาษา SQL ในการจัดเก็บ จากนั้นผู้ใช้กดเลือกสมาชิกแล้วเลือกตำแหน่งที่ต้องการมอบ เมื่อกดยืนยันข้อมูลจากหน้าเว็บจะถูกส่งไปเก็บที่Database ซึ่งในส่วนนี้จะใช้ JSON RPC Protocol ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง Web Sever กับ Database

การทำงานของระบบ

เว็บแอพลพลิเคชั่นเพื่อซื้อขายแอคเคาท์เกมส์โดยจะให้มีการยืนยันตัวตนของผู้ขาย และทำให้สามารถดำเนินการในทางกฎหมายได้ เมื่อผู้ขายได้ขายสินค้าออกไป แล้วมีการเข้าไปแก้ไขข้อมูลต่างๆของสินค้าให้เกิดความเสียหายแก่ผู้ซื้อ(ในกรณีที่สินค้ามีการผูกไว้กับข้อมูลอื่นและผู้ขายไม่ต้องการขายข้อมูลในส่วนนั้น) ระบบถูกออกแบบมาให้สามารถเข้าใช้งานได้ผ่านกระเป๋าเงินดิจิทัล เพื่อให้ตรวจสอบธุรกรรมการชำระเงินได้ ทำให้สามารถการันตีได้ว่าเมื่อผู้ซื้อจ่ายเงินแล้วจะได้รับสินค้าอย่างแน่นอน

กลุ่มผู้ใช้ระบบ แบ่งเป็น 4 ประเภท คือ

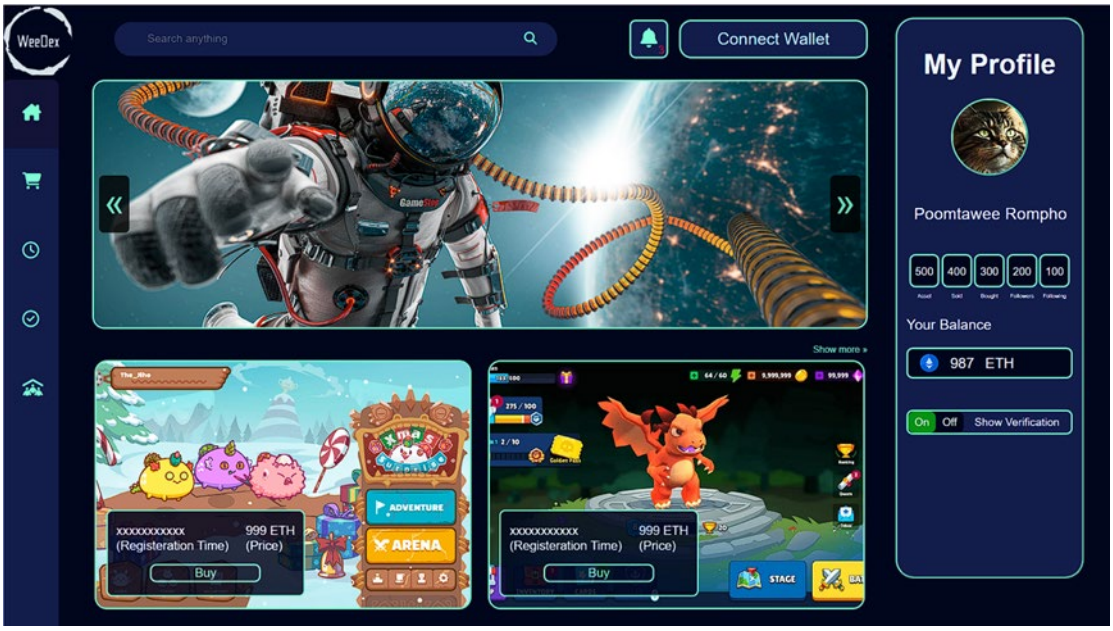
(1) บุคคลทั่วไป (User) คือ ผู้ใช้ที่ยังไม่ได้เข้าสู่ระบบ สามารถดูรายการสินค้า และประกาศต่างๆผ่านเว็บไซต์ได้

(2) สมาชิก (Member) คือ ผู้ใช้ที่เข้าสู่ระบบผ่าน Public Key แล้ว สามารถดูรายการสินค้า ประกาศต่างๆ และสามารถทำการซื้อขายสินค้าผ่านเว็บไซต์ได้

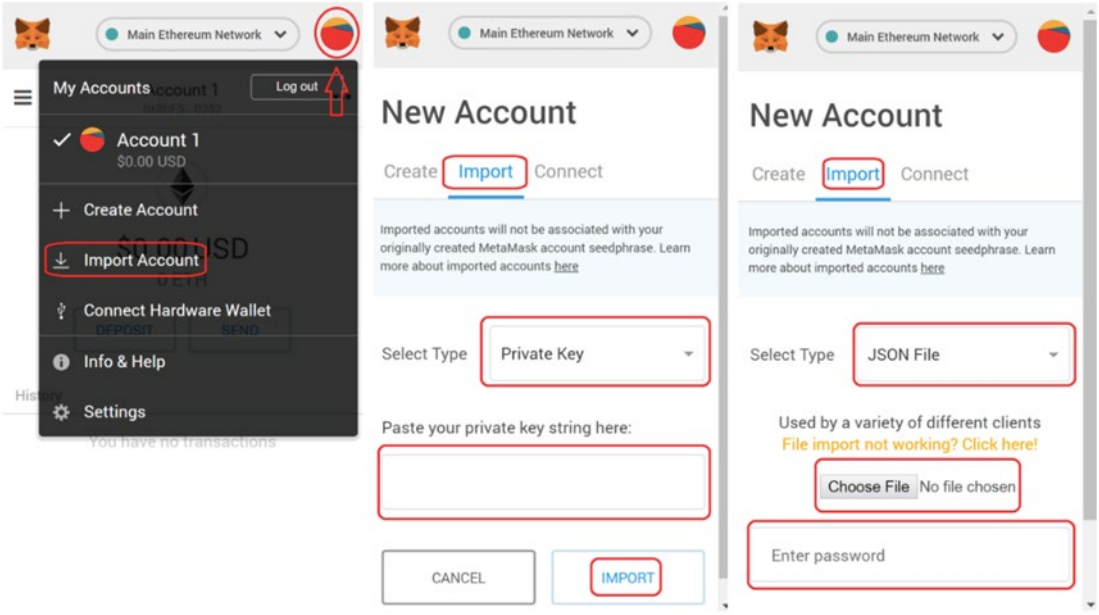
(3) สมาชิกพิสูจน์ตัวตนแล้ว (Verified Member) คือ ผู้ใช้ที่เข้าสู่ระบบผ่าน Public Key แล้ว และทำการยืนยันตัวตนแล้ว สามารถดูรายการสินค้า ประกาศต่างๆ และสามารถทำการซื้อขายสินค้าผ่านเว็บไซต์ได้

(4) พนักงาน (Staff) คือ พนักงานที่ตรวจสอบข้อมูลการยืนยันตัวตนของสมาชิก สามารถมอบ เพิกถอนสถานะยืนยันตัวตน หรือแบนการใช้งาน ให้กับสมาชิกได้

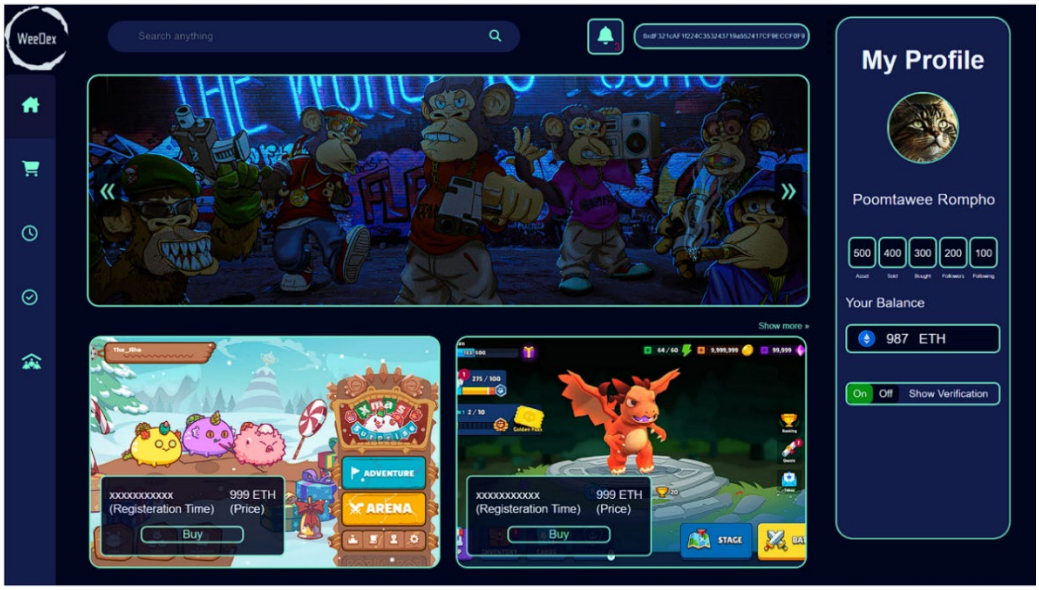
ภาพที่ 2 แสดงหน้าหลัก(ยังไม่ได้ Connect Wallet)สำหรับสมาชิก แล้วทำการเข้าใช้งานMetaMask ดังภาพที่ 3 โดยมีการนำเข้า Private Key หรือ JSON file แล้วกดเพื่อติดต่อ Wallet ดังภาพที่ 4 ซึ่งจะแสดงยอดเงินที่มีอยู่ในระบบ หากต้องการซื้อให้ทำการกดปุ่ม Buy ดังภาพที่ 5 สำหรับการขายให้กดปุ่ม Sell เมื่อทำการซื้อหรือขายระบบจะแสดงหน้ายืนยันตัวตนดังภาพที่ 6 ภาพที่ 7 แสดงประวัติการซื้อขาย



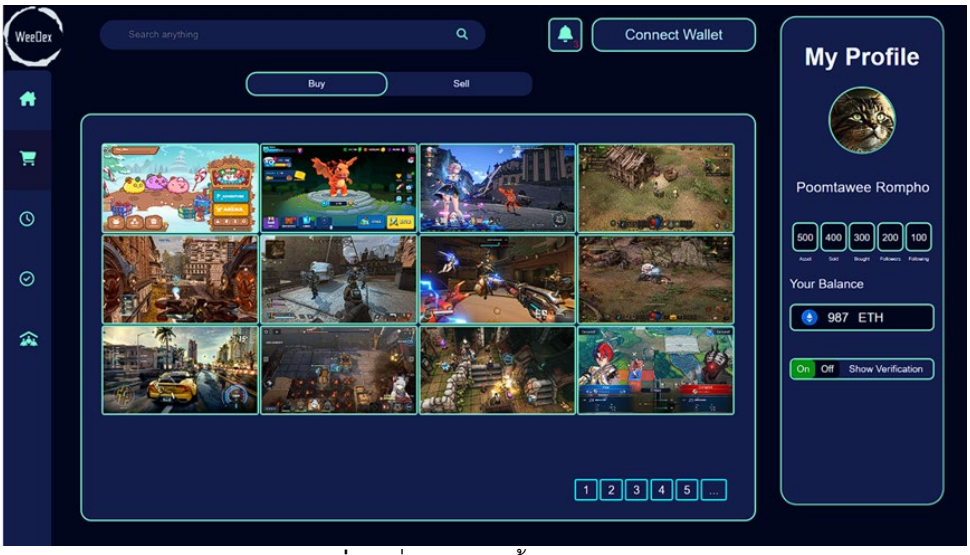
ภาพที่ 2 หน้าหลัก(ยังไม่ได้ Connect Wallet)



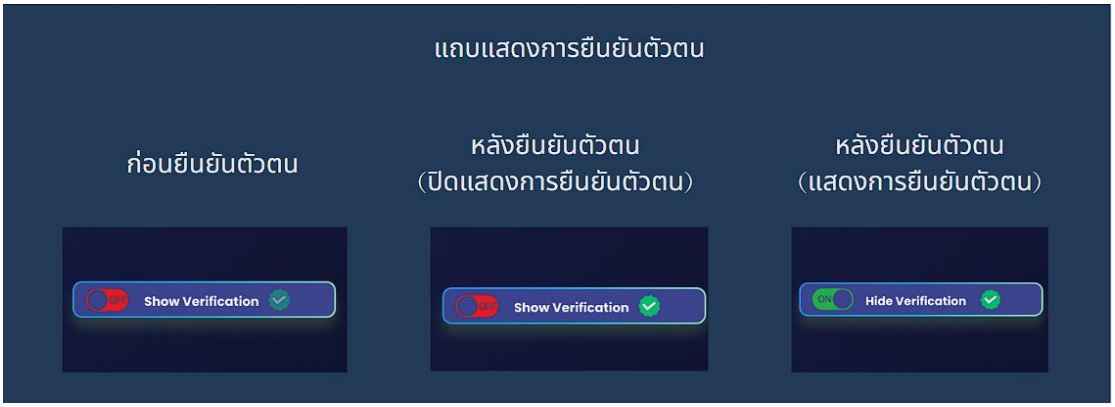
ภาพที่ 3 เข้าใช้งานMetaMask



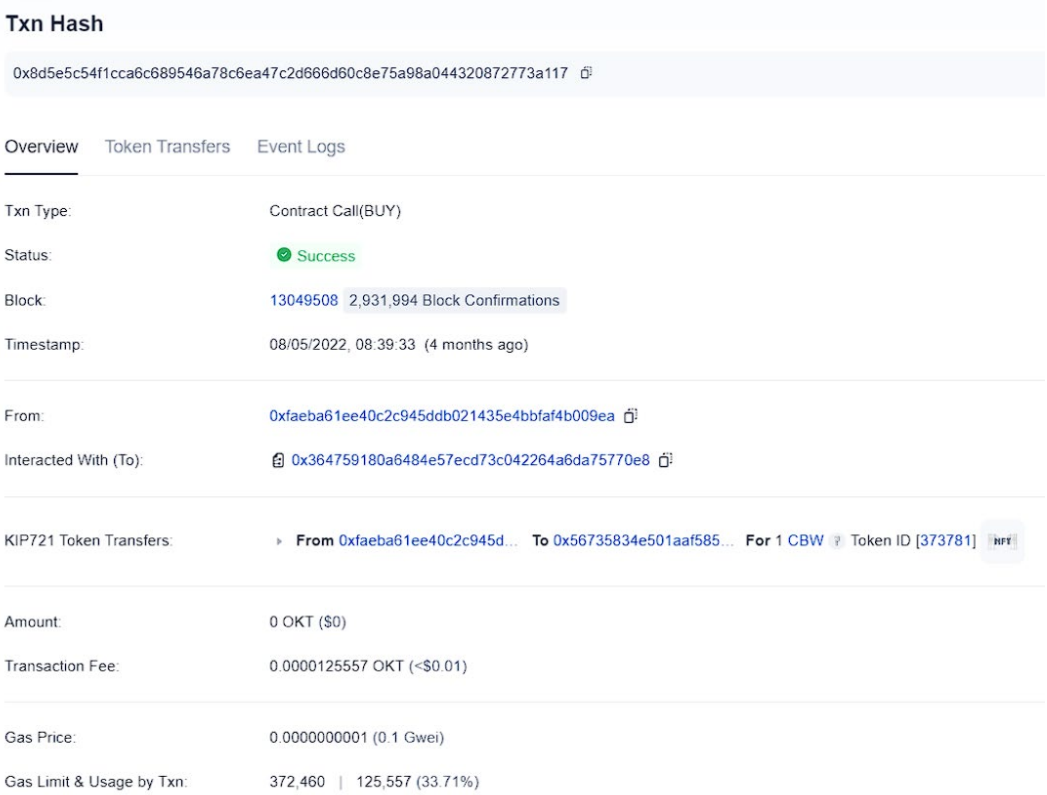
ภาพที่ 4 หน้าหลักเมื่อ Connect Wallet แล้ว



ภาพที่ 5 เมื่อต้องการซื้อหรือขายสินค้า



ภาพที่ 6 แสดงการยืนยันตัวตน



ภาพที่ 7 ประวัติการซื้อขาย

ผลการศึกษา

เว็บแอปพลิเคชันเพื่อซื้อขายแอคเคาท์เกมได้ให้ผู้ทดลองใช้งานแอปพลิเคชันจริง โดยมีจำนวนผู้ทดลองทั้งหมด 10 คน โดยเป็นนักศึกษาระดับปริญาตรี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่เคยเล่นเกมมาก่อน ซึ่งมีอายุระหว่าง 20–24ปี แบ่งเป็น เพศชาย 4 คนและเพศหญิง 6 คนได้ทำการประเมินความพึงพอใจหลังทดลองใช้แอปพลิเคชัน โดยมีเกณฑ์คะแนนเฉลี่ยและการแปลผล ดังนี้ 5 หมายถึง ดีมาก 4 หมายถึง ดี 3 หมายถึง พอใช้ 2 หมายถึง ควรปรับปรุง 1 หมายถึง ควรปรับปรุงเร่งด่วน สำหรับการแปลผลใช้เกณฑ์ 4.51–5.00 หมายถึง ดีมาก 3.51–4.50 หมายถึง ดี 2.51–3.50 หมายถึง พอใช้ 1.51–2.50 หมายถึง ต้องปรับปรุง เกณฑ์ S.D และการแปลผล ดังนี้ มากกว่า 1.75 มีความแตกต่างมาก 1.25–1.75 มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก น้อยกว่า 1.25 มีความแตกต่างน้อย หรือใกล้เคียงกันหรือเหมือน ๆ กันจากผลการประเมินหลังการใช้งานของผู้ทดลองใช้แอปพลิเคชันในตารางที่ 1 สรุปผลการประเมิน พบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันมีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$ = 3.88) อยู่ในระดับดีและการที่แอปพลิเคชันมีการกระจายตัวของข้อมูลน้อย (S.D.=0.96) มีเพียงในเรื่องของความสอดคล้องและลำดับของเนื้อหาที่มีความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันมีค่าเฉลี่ยน้อยสุด ($\bar{x}$ = 3.5) เพราะแอปพลิเคชันขาดฟังก์ชันที่ใช้ในการจัดเรียงลำดับสินค้า ทำให้ค้นหาได้ลำบาก อย่างไรก็ตามสรุปได้ว่า แอปพลิเคชันเพื่อซื้อขายแอคเคาท์เกมได้การตอบรับที่ดีจากผู้ทดลองใช้งาน

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน

หัวข้อประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
การออกแบบและการจัดรูปแบบเว็บไซต์	4.3	0.67	ดีมาก
มีความชัดเจน น่าเชื่อถือ	3.6	1.07	ดี
ภาพประกอบสามารถสื่อความหมายได้	3.8	0.91	ดี
ความง่ายในการใช้งาน	4.1	0.88	ดี
ความสอดคล้อง และลำดับของเนื้อหา	3.5	1.27	พอใช้
สีพื้นหลังและสีตัวอักษร ง่ายต่อการอ่าน	4.0	0.94	ดี
รวมทุกด้าน	3.88	0.96	ดี

สรุปผลและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้นำเสนอแอปพลิเคชันเพื่อการซื้อขายแอคเคาท์เกม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้การซื้อขายไม่จำเป็นต้องผ่านคนกลางที่ไม่มีความโปร่งใส ทำให้สามารถรับมือกับการฉ้อโกงได้เกือบทุกรูปแบบ ทำให้ผู้ซื้อและผู้ขายเกิดความเชื่อมั่นในการทำธุรกรรมมากขึ้น และนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมเกมให้ก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น โดยระบบเก็บข้อมูลการพิสูจน์ตัวตน เพื่อให้สามารถติดตามตัวผู้กระทำผิดมาดำเนินคดีได้ และใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ามาช่วยในการทำธุรกรรม เพื่อให้เกิดความโปร่งใสและปลอดภัยต่อผู้ที่ทำการซื้อขาย อีกทั้งยังสามารถเรียกดูประวัติการทำธุรกรรมที่ถูกบันทึกลงบนบล็อกเชนได้อีกด้วย ระบบจะมีการบริหารงานโดยตำแหน่ง Staff จะมีอำนาจในการตรวจสอบข้อมูลการพิสูจน์ตัวตนของMember แล้วสามารถมอบสัญลักษณ์การพิสูจน์ตัวตนให้กับ Member ได้ ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบโดยใช้ภาษา JavaScript ในการทำส่วน Front-end ใช้ภาษา Solidity ทำส่วน Back-end ของระบบ ในส่วนของฐานข้อมูลที่เก็บข้อมูลการพิสูจน์ตัวตนจะใช้ภาษา SQL ในการจัดเก็บข้อมูลตัวอักษร โดยโปรโตคอลที่ใช้ในการการติดต่อสื่อสารจะใช้ HTTPS ทั้งหมด

จากการทดสอบระบบกับผู้ใช้จริงพบว่า ผู้ใช้ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันอยู่ในระดับดี มีเพียงในเรื่องของความสอดคล้องและลำดับของเนื้อหาที่มีความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันอยู่ในระดับพอใช้ เพราะแอปพลิเคชันขาดฟังก์ชันที่ใช้ในการจัดเรียงลำดับสินค้า ทำให้ค้นหาได้ลำบาก

ในอนาคตผู้วิจัยวางแผนที่จะเพิ่มฟังก์ชันที่ใช้ในการจัดเรียงลำดับสินค้า และพัฒนาระบบที่เกี่ยวข้องกับโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน เพิ่มเติม ผู้วิจัยคาดหวังที่จะให้นำระบบต้นแบบนี้มาพัฒนาให้งานกับNFT ด้านอื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Lantz, L. and Cawrey, D. Mastering Blockchain: Unlocking the Power of Cryptocurrencies, Smart Contracts, and Decentralized Applications.1st edition: O'Reilly Media; 2020
2. [Blockchain จะเปลี่ยนโลกของ e-Commerce ได้อย่างไร [อินเทอร์เน็ต]. 2561;.สืบค้นข้อมูลเมื่อ 15 ตุลาคม 2566 ได้จาก https://www.etda.or.th/th/Useful-Resource/knowledge-sharing/articles/What-is-Smart-Contract.aspx?feed=590fb9ad-c550-4bc5-9a56-459ad4891d74
3. Danial, K., Laurence, T., Kent, P., Bain, T. and Solomon, M. G., Cryptocurrency All-in-One for Dummies. 1st edition; For Dummies; 2022
4. Bertaccini M. Cryptography Algorithms: A guide to algorithms in blockchain, quantum cryptography, zero-knowledge protocols, and homomorphic encryption. 1st edition; Packt Publishing; 2022
5. ชาติสยาม หม่อมแก้ว.NFT คืออะไร? อ.จุฬาฯ แนะเท่าทันและเข้าใจ NFT ก่อนตัดสินใจ[อินเทอร์เน็ต]. 2565. สืบค้นข้อมูลเมื่อ 15 ตุลาคม 2566 ได้จาก https://www.chula.ac.th/highlight/87419/
6. ทำความเข้าใจง่าย ๆ KYC คืออะไร ทำไมต้องยืนยันตัวลูกค้า. 2565. สืบค้นข้อมูลเมื่อ 15 ตุลาคม 2566 ได้จาก https://www.ktc.co.th/article/knowledge/what-is-kyc
7. OpenSea คืออะไร? ทำความรู้จักกับตลาด NFT ที่ใหญ่ที่สุดในโลก. 2565. สืบค้นข้อมูลเมื่อ 15 ตุลาคม 2566 ได้จาก https://www.finnomena.com/planet46/what-is-opensea/
8. เกม CryptoBlades คืออะไร พร้อมฟีเจอร์เด่นในเกม. 2565. สืบค้นข้อมูลเมื่อ 15 ตุลาคม 2566 ได้จาก https://zipmex.com/th/learn/cryptoblades-game/

การกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสสำหรับการเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์

Steady-state somatosensory stimulus pattern for brain-computer interface

ปริยาภัทร สายตานี[1], ฟิตรี เจะเงาะ[1], มโนรส บริรักษ์อราวินท์[2] และ ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์[1*]

Pariyapat Saitanee[1], Fitree Che-ngoh[1], Manorot Borirakarawin[2], Yunyong Punsawad[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เสนอการกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสสำหรับการเชื่อมต่อสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรงที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นและการได้ยินร่วมด้วย ได้ทำการออกแบบและสร้างตัวกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสที่สร้างรูปแบบของการสั่นสะเทือนด้วยความถี่ที่แตกต่างกันจำนวนสองความถี่ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์การกระตุ้นไว้ที่ข้อมือของอาสาสมัคร ทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองเพื่อสำรวจการตอบสนองและจำแนกคำสั่ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า วิธีการและอัลกอริทึมที่ใช้ในการจำแนกสามารถให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกคำสั่งอยู่ในช่วงเท่ากับ 62.2% ถึง 77.8% อย่างไรก็ตามควรมีการปรับปรุงเพื่อให้มีความแม่นยำ รวมถึงการทดสอบที่สามารถยืนยันได้ถึงการนำไปใช้งานจริงได้ในอนาคตกับผู้พิการกลุ่มเป้าหมาย

คำสำคัญ: การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์, คลื่นไฟฟ้าสมอง, การกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัส

Abstract

This research proposes a steady-state tactile stimulation for an EEG-based brain-computer interface to guide the development of assistive technology for the severely physically disabled with visual and auditory impairments. We designed and built a steady-state tactile stimulator using two-frequency vibrotactile patterns. The stimulators were placed on the wrist to record the EEG to observe a response and classify commands. The preliminary study results reported that the classification methods and algorithms can provide an average order classification accuracy of 62.2% to 77.8%. However, the proposed method should improve the accuracy, including experiments that can verify for reality use in the future with the target group.

Keywords: Brain-Computer Interface, Electroencephalogram, Steady-State Somatosensory Stimulation

[1] สำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 1 ตำบลท่างิ้ว อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

[1] School of Informatics, Walailak University 222 Thaiburi, Thasala District Nakhon Si Thammarat 80161

[2] Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University 1 Tha Ngio, Mueang District Nakhon Si Thammarat 80280

* Corresponding authorl: yunyong.pu@wu.ac.th

บทนำ

ปัญหาเรื่องของความพิการเป็นสิ่งที่สังคมเริ่มมีการรับรู้มากขึ้น หลายประเทศให้ความสำคัญในการสนับสนุนการช่วยเหลือและฟื้นฟูทั้งสภาพกายและจิตใจ มีการส่งเสริมทางด้านเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกและการฟื้นฟูที่ครอบคลุมทุกกลุ่มและทุกระดับความพิการ ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีผู้พิการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากความเจ็บป่วยหรืออุบัติเหตุ อันส่งผลให้เกิดความสูญเสียความสามารถการดำเนินชีวิตประจำวันและการทำงาน [1] ซึ่งมีหลายหน่วยงานประเทศทำหน้าที่ส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้พิการ นอกจากนี้เทคโนโลยีเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้พิการเช่นกัน ได้แก่ อุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวก อวัยวะเทียม และระบบอัจฉริยะที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อผู้พิการในปัจจุบันอาจยังได้รับการพัฒนาไม่ครอบคลุมในทุกระดับความพิการ ตัวอย่างเช่น กลุ่มผู้พิการซ้ำซ้อนหรือต้องการการช่วยเหลือเฉพาะที่ไม่สามารถใช้งานอุปกรณ์ที่อยู่ในท้องตลาดได้ จึงเป็นความท้าทายของโครงงานนี้ในการพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อผู้พิการ

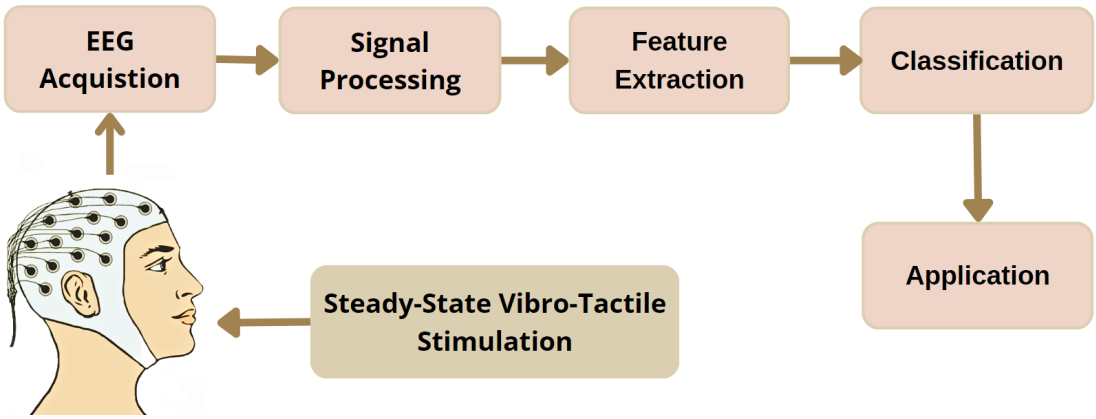
จากการศึกษาถึงแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีและอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อผู้พิการในปัจจุบันและอนาคตพบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่กล่าวถึงการประยุกต์ใช้สัญญาณชีวการแพทย์ในการเชื่อมต่อระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์หรือเครื่องจักร (Human computer/machine interface) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์ (Brain computer interface: BCI) [2–7] ที่วัดสัญญาณสมองส่งไปยังคอมพิวเตอร์โดยตรงเพื่อประมวลผลออกมาเป็นคำสั่งในการควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวก เช่น เก้าอี้รถเข็นไฟฟ้า แขนกล และเครื่องใช้ไฟฟ้า [2] สำหรับผู้พิการที่มีปัญหาด้านการสื่อสารหรือไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalography: EEG) นิยมใช้การอย่างแพร่หลายในการพัฒนาระบบเชื่อมสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์ เนื่องจากมีความปลอดภัยและง่ายต่อการใช้งาน คลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ (Event-related potentials : ERPs) ที่อาศัยสิ่งเร้าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมอง ถูกนำมาใช้กับระบบเชื่อมสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์อย่างแพร่หลาย [4] โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกระตุ้นทางระบบประสาทการรับรู้ เช่น การรับรู้ทางการมองเห็น การรับรู้ทางการได้ยิน และการรับรู้ทางการสัมผัส [5–15] ซึ่งความเหมาะสมขึ้นอยู่กับความสามารถที่เหลือของผู้พิการในการรับรู้ การกระตุ้นทางการสัมผัสเพื่อให้เกิดคลื่นไฟฟ้าสมองที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์สามารถแบ่งออกเป็น การกระตุ้นแบบชั่วขณะ (Transient somatosensory (TS) stimulation) และการกระตุ้นแบบคงตัว (Steady-state somatosensory (SSS) stimulation) ทำให้เกิดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบ Transient somatosensory evoked potential (TSEP) [7, 10 –12] และ Steady-state somatosensory evoked potential (SSSEP) [8, 9, 14, 15] ตามลำดับโดยงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบเชื่อมสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากการกระตุ้นทางการสัมผัสเพื่อใช้ในการฟื้นฟูและช่วยเหลือผู้ป่วยจำนวนมาก ซึ่งดำเนินการอยู่ในขั้นการทดลองในห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้า Pokorny [6] ได้นำเสนอการกระตุ้นแบบคงตัวทางการสัมผัสด้วยการติดตั้งมอเตอร์สั่นที่ปลายนิ้วทั้งสองข้างและสั่นด้วยความถี่ 237Hz สลับซ้ายขวา ผลการประเมินประสิทธิภาพ การกระตุ้นระบบผสมผสาน (Hybrid BCI) ระหว่างการใช้วิธีกระตุ้นแบบ SSSEP และ P300 โดยอาสาสมัครจำนวน 9 คนใช้วิธี SSSEP และอาสาสมัครจำนวน 12 คนใช้วิธี P300 โดยที่ความถูกต้องเฉลี่ยโดยใช้วิธี SSSEP เท่ากับ 48.6% วิธี P300 เท่ากับ 50.7% และวิธีผสมผสานระหว่าง SSSEP และ P300 เท่ากับ 55.5% นอกจากนี้ Kuleshov และคณะ [7] ได้ศึกษาการกระตุ้นด้วยการสั่นที่ผิวหนังและตรวจจับคลื่น P300 โดยมอเตอร์สั่นจะสั่นที่มีระยะเวลาในช่วง 40–600 ms ด้วยความถี่ 1–2 Hz และประเมินการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าสมองที่ตำแหน่ง Cz และ Pz โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้นคือ 320 ms ที่ความถี่ 1 Hz

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการนำเสนอระบบสมองเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ผู้พิการทางกายภาพ แต่ยังส่วนน้อยที่มีการประยุกต์ใช้กับกลุ่มผู้พิการทางกายภาพที่มีความบกพร่องทางการได้ยินและการมองเห็นร่วมด้วย ในงานนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาการเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยการกระตุ้นแบบคงตัวทางการสัมผัส เพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปสร้างอุปกรณ์ช่วยเหลือในการควบคุมและการสื่อสารสำหรับการดำรงชีวิตประจำวัน โดยมีขอบเขตดังนี้ 1) สร้างต้นแบบอุปกรณ์กระตุ้นทางการสัมผัสสำหรับการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง 2) ทำการทดลองเพื่อสำรวจการตอบสนองของคลื่นไฟฟ้าสมอง SSSEP จากการกระตุ้นการสัมผัสที่ข้อมือซ้ายและข้อมือขวาข้างละ 4 ตำแหน่งเพื่อสร้างคำสั่งจำนวน 2 คำสั่ง และเป็นแนวทางการประยุกต์ใช้สำหรับผู้พิการทางกายภาพที่มีความบกพร่องทางการได้ยินและการมองเห็นร่วมด้วย

ระบบที่นำเสนอ

ระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ที่เสนอนี้อาศัยการกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัส เพื่อกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่บริเวณ Somatosensory cortex ที่ทำหน้าที่ประมวลผลการรับรู้สัมผัส แผนภาพระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสแสดงดังภาพที่ 1 องค์ประกอบสำคัญมีดังนี้ 1) การกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัส (Steady-state vibro-tactile stimulation) 2)การได้มาของคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG acquisition) 3) การประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) 4) การสกัดคุณลักษณะ (Feature extraction) 5) การจำแนก (Classification) ส่วนการประยุกต์ใช้งานเพื่อสร้างคำสั่งควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการหรือการบำบัดฟื้นฟู



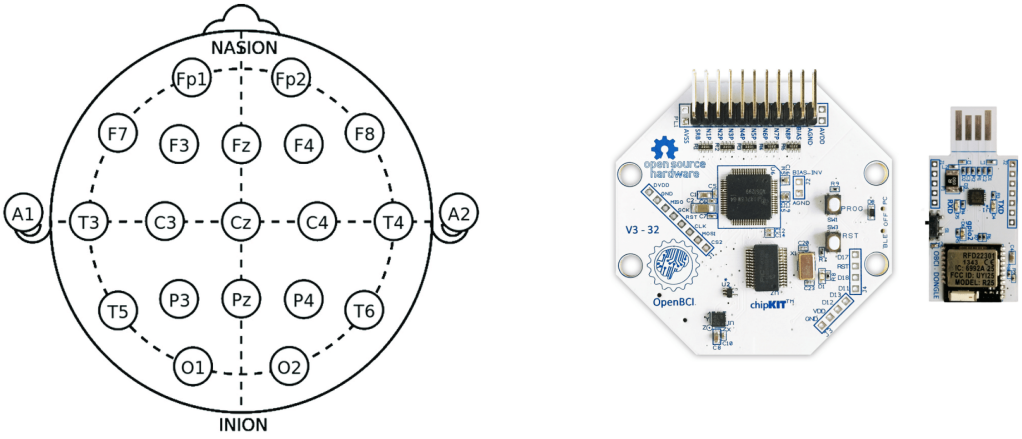
ภาพที่ 1 ไดอะแกรมระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ที่เสนอนี้อาศัยการกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัส

การกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัส

การกระตุ้นทางการสัมผัสโดยใช้การส่งสัญญาณสัมผัสในรูปแบบการสั่นของวัสดุ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์สั่นขนาดเล็กกระแสตรง (Eccentric rotating Mass Vibration Motor: ERM) ที่ถูกควบคุมและสร้างรูปแบบการสั่นด้วยบอร์ด Raspberry Pi 3 ที่ทำงานร่วมกับวงจรขยายสัญญาณเพื่อสร้างความถี่ให้กับตัวกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัส โดยใช้ความถี่มูลฐาน 5 Hz (5 ครั้งภายใน 1 วินาที) ติดตั้งอยู่ที่ข้อมือซ้าย และ 7 Hz (7 ครั้งภายใน 1 วินาที) ติดตั้งอยู่ที่ข้อมือขวา มีแรงสั่นสะเทือนใกล้เคียงกับการแจ้งเตือนของโทรศัพท์ที่ความถี่ 130 –180 Hz ที่ใช้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ [13] มอเตอร์สั่นจะถูกติดตั้งลงบนแท่นพลาสติกที่สามารถใส่สายรัดข้อมือเพื่อให้สามารถปรับให้เหมาะสมกับข้อมือของอาสาสมัคร โดยมีการสวมสายรัดข้อมือที่ข้อมือซ้ายและขวา ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อุปกรณ์กระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสและการติดตั้งขณะทำการทดลอง



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 อุปกรณ์สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (ก) ตำแหน่งการวางอิเล็กโทรดตามมาตรฐาน 10–20 (ข) อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมองรุ่น Cyton (8–channels) ของบริษัท openBCI (www.openBCI.com)

การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

การวัดและบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยการวางอิเล็กโทรดบนหนังศีรษะแล้วเชื่อมต่อเข้าเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองรุ่น Cyton Biosensing Board (8–channels) ของบริษัท Open BCI ที่มีการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านสมองและการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยใช้หมวกอิเล็กโทรดตรงตามระบบการวางตำแหน่งอิเล็กโทรดมาตรฐานแบบ 10–20 ดังภาพที่ 3(ก) ใช้อิเล็กโทดจำนวน 7 ตำแหน่ง ได้แก่ Fz Cz C3 C4 Pz P3 และ P4 เชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ขยายสัญญาณและส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านระบบไร้สาย

การประมวลสัญญาณและการสกัดคุณลักษณะ

คลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้ถูกนำมาประมวลผลด้วย EEGLAB toolbox [16] ในโปรแกรม MATLAB สัญญาณที่บันทึกได้ถูกนำมากรองด้วยการกรองดิจิทัลแบบช่วงความถี่ผ่าน 3–30 Hz ทำการแบ่งออกมาเป็นช่วง

ระยะพักและช่วงที่ได้รับการกระตุ้นตาม ทำการแปลงสัญญาณแต่ละช่วงเป็นสเปกตรัมความถี่ของคลื่นด้วยวิธีการ Fast Fourier transform (FFT) เพื่อสกัดขนาดสเปกตรัมความถี่ที่ต้องการเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำแนก จากอุปกรณ์กระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสมีความถี่มูลฐานที่ 5 Hz และ 7 Hz โดยที่แต่ละความถี่มีความถี่ฮาร์มอนิกของตัวเอง ในงานนี้จะพิจารณาเฉพาะความถี่ฮาร์มอนิกที่ 1 และ 2 เท่านั้น ที่ความถี่ 5 Hz ประกอบด้วยความถี่ฮาร์มอนิก 10 Hz และ 15 Hz ส่วนความถี่ 7 Hz ประกอบด้วยความถี่ฮาร์มอนิก 14 Hz และ 21 Hz ของคลื่นไฟฟ้าสมองแต่ละช่อง โดยมีกระบวนการและขั้นตอนดังนี้

1) การตั้งค่าพารามิเตอร์ฐาน (Baseline) โดยนำค่าขนาดสเปกตรัมพลังงานในระยะพักจะถูกนำมาสร้างเป็นพารามิเตอร์พื้นฐาน สามารถดำเนินการได้ดังสมการ (1) และ (2) สำหรับความถี่ 5 Hz และ 7 Hz ตามลำดับ

$$\boldsymbol{BL_5} = \boldsymbol{max}\,(\boldsymbol{BL_5}, \boldsymbol{BL_{10}}, \boldsymbol{BL_{15}}) \quad (1)$$

$$\boldsymbol{BL_7} = \boldsymbol{max}\,(\boldsymbol{BL_7}, \boldsymbol{BL_{14}}, \boldsymbol{BL_{21}}) \quad (2)$$

$\boldsymbol{BL_5}$ และ $\boldsymbol{BL_7}$ คือค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของความถี่พื้นฐานถี่ 5 Hz และ 7 Hz โดยคำนวณจากการหาค่ามากสุดของค่าขนาดสเปกตรัมพลังความถี่ฮาร์มอนิกของแต่ละความถี่

2) การแยกคุณสมบัติ ทำการหาขนาดของสเปกตรัมพลังงานที่ความถี่กระตุ้น 5 Hz และ 7 Hz ($\boldsymbol{f_5}$ และ $\boldsymbol{f_7}$) ที่ได้จากวิธี FFT เช่นเดียวกับการหาพารามิเตอร์พื้นฐาน จากสมการ (3) และ (4) $\boldsymbol{f_5}$ และ $\boldsymbol{f_7}$ คือพารามิเตอร์การกระตุ้นของความถี่ 5 Hz และ 7 Hz โดยคำนวณจากการหาค่ามากสุดของค่าขนาดสเปกตรัมพลังความถี่ฮาร์มอนิกของแต่ละความถี่

$$\boldsymbol{f_5} = \mathbf{max}(\boldsymbol{f_5}, \boldsymbol{f_{10}}, \boldsymbol{f_{15}}) \quad (3)$$

$$\boldsymbol{f_7} = \mathbf{max}(\boldsymbol{f_7}, \boldsymbol{f_{14}}, \boldsymbol{f_{21}}) \quad (4)$$

จากนั้นทำการสกัดคุณลักษณะด้วยการเปรียบเทียบกับ $\boldsymbol{BL_5}$ และ $\boldsymbol{BL_7}$ เพื่อให้ได้ผลต่างระหว่างการกระตุ้นและระยะพักด้วยสมการ (5) และ (6) จะได้ค่าความแตกต่าง ($\Delta\boldsymbol{f_5}$ และ $\Delta\boldsymbol{f_7}$) พารามิเตอร์ที่ความถี่กระตุ้น 5 Hz และ 7 Hz กับค่าพารามิเตอร์ฐาน เมื่อการกระตุ้นมีค่ามากกว่าพารามิเตอร์ฐานจะนำค่าความแตกต่างที่ได้ไปใช้ต่อในการจำแนก หากน้อยกว่าจะกำหนดค่าความแตกต่างเป็นศูนย์

$$\Delta\boldsymbol{f_5} = \begin{cases} \boldsymbol{f_5} - \boldsymbol{BL_5} & , \ \boldsymbol{f_5} \geq \boldsymbol{BL_5} \\ \mathbf{0} & , \ \boldsymbol{f_5} < \boldsymbol{BL_5} \end{cases} \quad (5)$$

$$\Delta\boldsymbol{f_7} = \begin{cases} \boldsymbol{f_7} - \boldsymbol{BL_7} & , \ \boldsymbol{f_7} \geq \boldsymbol{BL_7} \\ \mathbf{0} & , \ \boldsymbol{f_7} < \boldsymbol{BL_7} \end{cases} \quad (6)$$

การจำแนกคำสั่ง

จากการกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นความถี่ที่กระตุ้นเพิ่มขึ้นจากสภาวะปกติ โดยใช้การตอบสนองจากกระตุ้นที่ข้อมือทั้งสองข้างซึ่งมีความถี่ที่แตกต่างกันของค่าสเปกตรัมพลังงาน $\Delta\boldsymbol{f_5}$ และ $\Delta\boldsymbol{f_7}$ โดยเพื่อนำมาตรวจสอบเงื่อนไขและจำแนกคำสั่งได้ดังนี้

If	$\Delta f_5 > \Delta f_7$	กำหนดให้เป็น	“คำสั่ง 5”
Else If	$\Delta f_5 < \Delta f_7$	กำหนดให้เป็น	“คำสั่ง 7”
Else	Otherwise	กำหนดให้เป็น	“ไม่มีคำสั่ง”

การทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาเบื้องต้นของการกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสมีอาสาสมัครเข้าร่วมจำนวน 6 คน เป็นเพศชายจำนวน 2 คน และเพศหญิงจำนวน 4 คน มีอายุ 19–22 ปี อาสาสมัครจะได้รับการกระตุ้นแบบคงตัวทางการสัมผัส อาสาสมัครทำการทดลองตามกระบวนทัศน์การกระตุ้นแบบคงตัวทางการสัมผัสทั้ง 2 รูปแบบ กระบวนทัศน์ที่ใช้ในการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

การทดลอง 1 รอบจะมีตัวกระตุ้นแบบคงตัวทางการสัมผัสด้วยวิธีการสั่น ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกันที่แขนทั้งสองข้างด้วยความถี่แตกต่างกัน โดยการทดลอง 1 รอบ ให้อาสาสมัครสนใจไปที่ตัวกระตุ้นเป้าหมาย 12 เป้าหมาย ดังตารางที่ 1 ใช้เวลารวมทั้งสิ้น 3 นาที อาสาสมัครจะทำการทดลองรายละ 3 รอบ โดยมีระยะพักระหว่างรอบเป็นเวลา 2 นาที ใช้เวลาในการทดลอง 13 นาทีต่อการทดลอง อาสาสมัครหนึ่งคนจะใช้ประมาณ 25 นาที รวมการติดตั้งอุปกรณ์และการให้คำแนะนำ

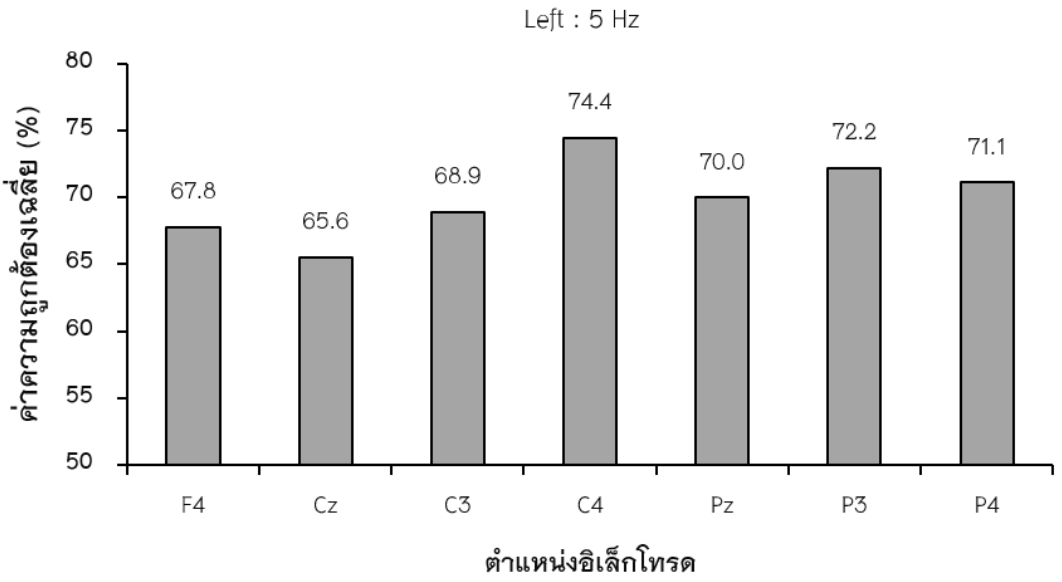
ตารางที่ 1 ลำดับคำสั่งที่ใช้สำหรับการทดลอง

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
เป้าหมาย	ซ้าย	ขวา	ขวา	ซ้าย	ซ้าย	ขวา	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ซ้าย	ขวา
ความถี่	5 Hz	7 Hz	7 Hz	5 Hz	5 Hz	7 Hz	7 Hz	5 Hz	7 Hz	5 Hz	5 Hz	7 Hz

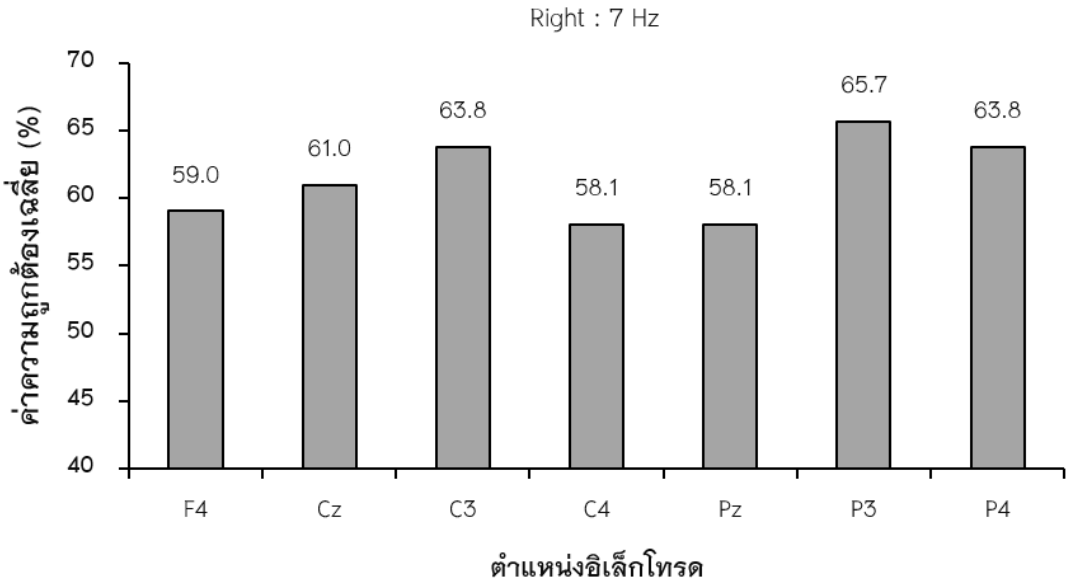
ผลลัพธ์การทดลอง

ภาพที่ 4 แสดงค่าความถูกต้องจากการจำแนกของคำสั่ง 5Hz ที่เกิดจากความถี่ 5Hz มีช่วงเท่ากับ 65.6% ถึง 74.4% ที่ตำแหน่งอิเล็กโทรด C4 P4 C3 P3 สามารถให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกมากกว่า 70% โดยช่องสัญญาณ C4 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 74.4% และช่องสัญญาณ P4 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกน้อยกว่าเท่ากับ 65.6% โดยคำสั่งที่ความถี่ 5Hz พบว่ามีความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกเท่ากับ 77.8% ในส่วนของภาพที่ 5 แสดงค่าความถูกต้องจากการจำแนกของคำสั่ง 7Hz ที่เกิดจากความถี่ 7Hz มีช่วงเท่ากับ 58.1% ถึง 65.7% ที่ตำแหน่งอิเล็กโทรด C4 P4 C3 P3 สามารถให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกมากกว่า 60% โดยช่องสัญญาณ P3 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 65.7% และช่องสัญญาณ P4 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกน้อยเท่ากับ 58.1% โดยคำสั่งที่ความถี่ 7Hz พบว่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกเท่ากับ 62.2%

จากการเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 คำสั่ง จะเห็นความสัมพันธ์ระหว่าง 2 คำสั่งเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างภาพที่ 4 และ 5 พบว่าการใช้คลื่นไฟฟ้าสมองจากช่องสัญญาณ P4 และ C4 ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงกว่าการใช้คลื่นไฟฟ้าสมองจากช่องสัญญาณ P3 และ C3 เท่ากับ 77.8% ที่ความถี่ 5Hz โดยที่คลื่นไฟฟ้าสมอง P4 และ C4 ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 74.4% ซึ่งสัมพันธ์กับกระบวนทัศน์กระตุ้นคงตัวทางการสัมผัส



ภาพที่ 4 ความถูกต้องเฉลี่ยแต่ละอิเล็กโทรดในการจำแนกคลื่นไฟฟ้าสมองจากการกระตุ้นแบบคงตัวทางการสัมผัสที่ข้อมือซ้ายด้วยความถี่ 5 Hz



ภาพที่ 5 ความถูกต้องเฉลี่ยแต่ละอิเล็กโทรดในการจำแนกคลื่นไฟฟ้าสมองจากการกระตุ้นแบบคงตัวทางการสัมผัสที่ข้อมือขวาด้วยความถี่ 7 Hz

ตารางที่ 2 แสดงค่าความถูกต้องในการจำแนกคลื่นไฟฟ้าสมองจากการกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัส โดยที่ข้อมือซ้ายกระตุ้นด้วยความถี่ 5 Hz ความถูกต้องในการสร้างคำสั่งของผู้เข้าร่วมทดลองทุกคนเท่ากับ 66.7% ถึง 86.7% โดยเฉลี่ยเท่ากับ 77.8% โดยผู้เข้าร่วมที่มีความถูกต้องมากสุดคือผู้เข้าร่วมคนที่ 6 ความถูกต้องในการสร้างคำสั่งเท่ากับ 86.7 และ ผู้เข้าร่วมที่มีความถูกต้องน้อยสุดคือผู้เข้าร่วมคนที่ 4 ความถูกต้องในการสร้างคำสั่งเท่ากับ 66.7% และข้อมือขวากระตุ้นด้วยความถี่ 7 Hz ความถูกต้องในการสร้างคำสั่งของผู้เข้าร่วมทดลองทุกคน

เท่ากับ 53.3% ถึง 73.3% โดยเฉลี่ยเท่ากับ 62.2% โดยผู้เข้าร่วมที่มีความถูกต้องมากสุดคือผู้เข้าร่วมคนที่ 5 ความถูกต้องในการสร้างคำสั่งเท่ากับ 73.3% และผู้เข้าร่วมที่มีความถูกต้องน้อยสุดคือผู้เข้าร่วมคนที่ 1และ 3 ความถูกต้องในการสร้างคำสั่งเท่ากับ 53.3% สามารถสรุปได้ว่า

ตารางที่ 2 ความถูกต้องเฉลี่ยของการจำแนกคำสั่งด้วยอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอ

ผู้ร่วมทดลอง	ค่าความถูกต้องเฉลี่ยของการจำแนกคำสั่ง (%)	
	Left: 5 Hz	Right: 7 Hz
1	73.3	53.3
2	80.0	66.7
3	80.0	53.3
4	66.7	60.0
5	80.0	73.3
6	86.7	66.7
MEAN ± S.D.	77.8 ± 6.29	62.2 ± 7.37

อภิปรายและสรุปผล

โครงงานนี้ได้นำเสนอระบบเชื่อมสมองเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากการกระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสและทำการทดลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบในการสร้างคำสั่ง 2 คำสั่งที่ความถี่ 5Hz พบว่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 77.8% และ 7Hz พบว่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 62.2% ซึ่งอัตราส่วนระหว่างความถี่ 5Hz และ ความถี่ 7Hz ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดเท่ากับ 77.8% ที่ความถี่ 5Hz โดยที่คลื่นไฟฟ้าสมอง P4 และ C4 ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดเท่ากับ 74.4% โดยที่คลื่นไฟฟ้าสมองช่อง P3 และ C3 กับการใช้คุณลักษณะให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสองคำสั่งเท่ากับ 65.7% เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างภาพที่ 4 และ 5 พบว่าการใช้คลื่นไฟฟ้า สมองจากช่องสัญญาณ P4 และ C4 ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงกว่าการใช้คลื่นไฟฟ้าสมองจาก ช่องสัญญาณ P3 และ C3 ซึ่งสัมพันธ์กับกระบวนทัศน์กระตุ้นคงตัวทางการสัมผัส นอกจากนี้พบว่าค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการจำแนกจากข้อมือแต่ละฝั่งมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งอาจเกิดจากความไม่ถนัดของข้อมือทั้งสองข้างของผู้ทดลองที่ส่งผลต่อการรับรู้ทางการสัมผัส รวมถึงผลกระทบจากการกระตุ้นเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดความรู้สึกทางการสัมผัสที่คงเหลืออยู่

จากกระบวนทัศน์กระตุ้นคงตัวทางการสัมผัสและวิธีการจำแนกของระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ที่นำเสนอ จากผลการทดลองระบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรงที่มีความบกพร่องทางการได้ยินและการมองเห็นร่วมด้วย อย่างไรก็ตามระบบที่เสนอยังต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยวิธีการจำแนกที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น การเรียนรู้ของเครื่อง การเรียนรู้เชิงลึก เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานนวัตกรรมสารสนเทศทางการแพทย์ สาขานวัตกรรมสารสนเทศทางการแพทย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และขอขอบพระคุณอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ [อินเทอร์เน็ต]. 2566; สืบค้นเมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม 2566. ได้จาก: https://dep.go.th/th/homepage..
2. Šumak B, Spindler M, Debeljak M, Heričko M, Pusnik M. An empirical evaluation of a hands-free computer interaction for users with motor disabilities. Journal of Biomedical Informatics. 2019;96: 1-16.
3. Abdulkader SN, Atia A, Mostafa MSM. Brain computer interfacing: Applications and challenges. Egyptian Informatics Journal. 2015;16(2): 213-230.
4. Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, Vaughan TM. Brain-computer interface for communication and control, Clinical Neurophysiology, 2002; 113(6): 767-791.
5. Vlaar MP, Van Der Helm FC, Schouten AC. Frequency domain characterization of the somatosensory steady state response in electroencephalography. IFAC-papersonline 2015; 8(28): 1391-1396.
6. Pokorny C, Breitwieser C, Müller-Putz GR. The role of transient target stimuli in a steady-state somatosensory evoked potential-based brain–computer interface setup. Frontiers in neuroscience 2016; 10: 152.
7. Kuleshov D, Gremitskiy I, Dmitriev A, Morozov D. and Shiryaeva V, Vibro-Tactile Stimulation for Finger Discrimination in P300 BCI for Post-Stroke Rehabilitation: Study on Healthy Subjects. In: Ural-Siberian Conference on Computational Technologies in Cognitive Science, Genomics and Biomedicine (CSGB), Novosibirsk, Russian Federation, 2022, pp. 220-225.
8. Zhang W, Song A, Zeng H, Xu B, Miao M. The Effects of Bilateral Phase-Dependent Closed-Loop Vibration Stimulation With Motor Imagery Paradigm. in IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 2002; 30: 2732-2742.
9. Yao L, Meng J, Zhang D, Sheng X, Zhu X. Selective sensation based brain-computer interface via mechanical vibrotactile stimulation. PloS one 2013; 8(6): 1-9.
10. Vlaar MP, Van Der Helm FC, Schouten AC. Frequency domain characterization of the somatosensory steady state response in electroencephalography. IFAC-papersonline 2015; 8(28): 1391-1396.
11. Yajima H, Makino S, Rutkowski TM. Fingertip stimulus cue-based tactile brain-computer interface. In: Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), Hong Kong, China, 2015, pp. 1059-1064.
12. Zhong Y, Yao L, Wang J, Wang Y. Tactile sensation assisted motor imagery training for enhanced BCI performance: a randomized controlled study. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 2022; 70(2): 694-702.

13. Pirani Z, Momin A, Kadri A. and Shaikh A. Survey of Numerous Accessible Applications for Paralysis Patients, Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), Madurai, India, 2018. pp. 1965–1969.
14. Novičić M, Savić A. M. Somatosensory Event–Related Potential as an Electrophysiological Correlate of Endogenous Spatial Tactile Attention: Prospects for Electrotactile Brain–Computer Interface for Sensory Training. Brain Sciences 2023; 13(5), 766.
15. Petit J, Rouillard J, Cabestaing F. EEG–based brain–computer interfaces exploiting steady–state somatosensory–evoked potentials: a literature review. Journal of Neural Engineering 2021; 18(5), 051003.
16. Delorme A, Makeig S. EEGLAB: an open–source toolbox for analysis of single–trial EEG dynamics, Journal of Neuroscience Methods 2004; 134, 9–21.

การสังเคราะห์แบบจำลองสถานการณ์ด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทานโดยใช้โปรแกรม Flexsim

Logistics and supply chain simulation model synthesis by using flexsim program

สมควร สงวนแพง[1], กำพล หว่างลี้สกุล[1], โกลัญญา มาสม[1], ประนัดดา คำเพ็ง[1]
และ พิมพ์ลดา ศุภโรจน์พงศ์[1]
Somkuan Sanguanpang[1], Kumphol Wanglisakul[1], Kolanya Masom[1], Pranadda Khampeng [1]
and Pimrada Suparojphong[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัย การสังเคราะห์แบบจำลองสถานการณ์ด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทานโดยใช้โปรแกรมเฟล็กซ์ซิม มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและสร้างคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทานโดยใช้โปรแกรมเฟล็กซ์ซิม และศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อคู่มือการทดลอง มีขั้นตอนดำเนินงานวิจัยดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 พัฒนาและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ คู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์ การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรมเฟล็กซ์ซิม ขั้นตอนที่ 2 หาคุณภาพคู่มือการทดลอง ประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญและใช้แบบทดสอบวัดผล 2 ครั้ง คือก่อน-หลังเรียน กับนักศึกษาสาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์ จำนวน 12 คน

ผลการดำเนินงาน พบว่า การพัฒนาและสร้างคู่มือการทดลอง (1) มีค่าระดับความเหมาะสมของคู่มือการทดลองตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ย 3.85 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.88 และ ระดับคุณภาพมีความเหมาะสมมาก (2) ค่า IOC ของแบบทดสอบวัดผลตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวนแบบทดสอบ 40 ข้อ มีค่า IOC เท่ากับ 0.90 ผลการพิจารณาแบบทดสอบวัดผลสามารถนำไปใช้ได้ (3) ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.70 สรุปได้ว่าแบบทดสอบมีความเชื่อมั่นสูง และ (4) ผลการหาคุณภาพของคู่มือการชุดลองโดยทดลองใช้กับนักศึกษา พบว่าคะแนนเฉลี่ยความรู้หลังเรียนจากคู่มือการทดลอง เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าก่อนศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผลการศึกษาหาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และ โซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรมเฟล็กซ์ซิม นักศึกษามีความพึงพอใจระดับมาก ($\bar{X}$= 4.22 S.D = 0.66)

คำสำคัญ: โปรแกรม เฟล็กซ์ซิม, โลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, แบบจำลองสถานการณ์

[1] สาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงราย 57120
[1] Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Rai 57120
*Corresponding author: sutthira.fah42@hotmail.com

Abstract

This Research Synthesis of logistics and supply chain scenario models using Flexsim program the objective is to develop and create experimental manuals. studying students' satisfaction with the experimental manual. Step 1: Develop and build research tools, including experimental manuals. Scenario Model Learning Kit Solving logistics and supply chain problems using Flexsim Step 2: Find the Experimental Guide Quality The test was conducted 2 times, before–after studying with 12 students in logistics engineering. Performance It was found that the development and creation of an experimental manual. (1) The suitability level of the expert review test manual has an average value of 3.85, a standard deviation of 0.88, and the quality level is very appropriate. (2) The IOC value of the 40 question expert test has an IOC value of 0.90. The results of the assessment test can be used. (3) The confidence value is 0.70. In conclusion, the test has high confidence, and (4) The results of determining the quality of the fitting manual. By experimenting with students, it was found that the average score of knowledge after learning from the experimental manual. increased statistically significantly more than before the study at 0.05 and the results of the study found students' satisfaction with the experimental manual. found that students had a high level of satisfaction ($\bar{X}$= 4.22 S.D = 0.66)

Keywords: Flexsim program, Logistics and supply chain, Scenario modeling

บทนำ

การพัฒนาการจำลองสถานการณ์เป็นเทคนิคหนึ่งของศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการที่จะช่วยให้วิศวกรสามารถออกแบบและปรับปรุงระบบการผลิต (Production Line System) ระบบการขนถ่ายวัสดุ (Material Handling System) ระบบโลจิสติกส์ (Logistics System) และอื่น ๆ อีกมากมายให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ก่อนที่จะดำเนินการใด ๆ ลงไป อันจะส่งผลทำให้สามารถลดความเสี่ยงในการตัดสินใจผิดพลาดลงไปได้ ไม่ต้องลองผิดลองถูกกับสถานการณ์จริงไม่ต้องเสี่ยงกับการสูญเสียเงิน เวลา ทรัพยากรต่าง ๆ ไปกับการตัดสินใจที่ปราศจากข้อมูล วิศวกรผู้ออกแบบระบบหรือการผลิต ต้องรู้ผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นก่อนที่จะดำเนินการใด ๆ ลงไป ในปัจจุบันโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้ในการจำลองสถานการณ์ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ อาทิเช่น Arena Simulation, Enterprise Dynamic, Flexsim เป็นต้น

โปรแกรม Flexsim เป็นซอฟต์แวร์จำลอง 3 มิติที่สร้างแบบจำลองเหตุการณ์และแสดงภาพใช้กันอย่างแพร่หลายในหลากหลายอุตสาหกรรม และเกือบทุกอุตสาหกรรมผู้บริหารใช้เป็นเครื่องมือในการสนับสนุนการตัดสินใจ เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมขนส่ง อุตสาหกรรมการให้บริการ อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม อุตสาหกรรมการบิน และอื่น ๆ อีกมากมายที่ได้นำโปรแกรม Flexsim ไปใช้ในการออกแบบ และปรับปรุงระบบการทำงาน นอกจากนี้อาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชา ENGIE307 การจำลองแบบปัญหา Simulation Modeling ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการจำลองสถานการณ์ ในคลังสินค้าตลอดจนการจำลองสถานการณ์ ในกระบวนการผลิตโปรแกรม Flexsim ลงในหลักสูตรของสาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย เป็นหลักสูตรที่เปิดสอนในระดับปริญญาตรี หลักสูตร 4 ปี และเทียบโอน เพื่อให้นักศึกษาได้ทำความเข้าใจและศึกษาเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจริงในระบบการทำงานของแบบจำลองปัญหาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ชื่อว่า Flexsim มาใช้เป็นเครื่องมือสร้างแบบจำลองสถานการณ์ Flexsim เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ช่วยในการจำลองสถานการณ์แบบ 3 มิติ เพื่อหาแนวทางแก้ไข และ

พัฒนาระบบต่าง ๆ อาทิ เช่น การหาแนวทางการปรับปรุงรอบระยะเวลาในการดำเนินงาน แนวทางในการจัดสรรทรัพยากร เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน รวมไปถึงการสร้างภาพเคลื่อนไหวเสมือนจริงของระบบงานไว้บนจอคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการติดตั้งและศึกษาโปรแกรมเพื่อสร้างและพัฒนาคู่มือการทดลองชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim เพื่อให้มีความเข้าใจง่ายและเพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้งานในการใช้งานโปรแกรม

วิธีการศึกษา

การสังเคราะห์แบบจำลองสถานการณ์ด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทานโดยใช้โปรแกรม FlexSim ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พัฒนาและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่

1. คู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม FlexSim

ศึกษาเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกัน การจำลองแบบปัญหาและการใช้งานเบื้องต้นของโปรแกรม FlexSim ดำเนินการคัดเลือกหัวข้อเรื่องและตั้งคำถามพร้อมสร้างตัวเลือกคำตอบของแบบทดสอบ

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสำหรับนักศึกษา

ออกแบบและพัฒนาแบบทดสอบ ดำเนินการสร้างแบบทดสอบแบบปรนัยชนิดเลือกคำตอบ 4 จำนวน 40 ข้อ

3. แบบทดสอบถามความพึงพอใจสำหรับผู้เชี่ยวชาญและนักศึกษา

3.1 นำแบบทดสอบที่สร้างเสร็จแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามของแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยใช้สูตร IOC ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยในการวิเคราะห์จะใช้ค่าเฉลี่ยเทียบกับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

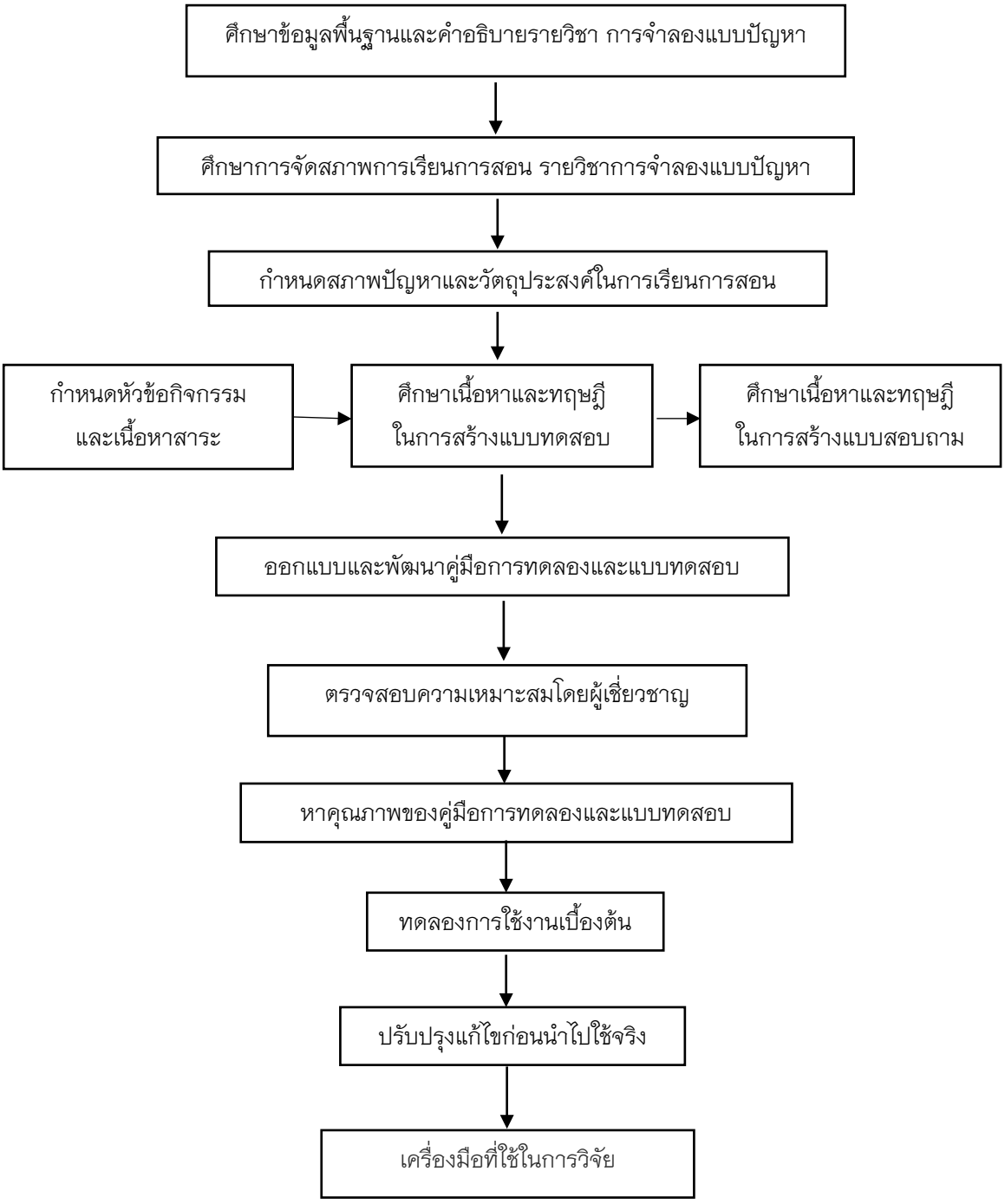
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	4.51 – 5.00	หมายความว่า	เหมาสมมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	3.51 – 4.50	หมายความว่า	เหมาะสมมาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	2.51 – 3.50	หมายความว่า	เหมาะสมปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	1.51 – 2.50	หมายความว่า	เหมาะสมน้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	1.01 – 1.50	หมายความว่า	เหมาะสมน้อยที่สุด

เกณฑ์เฉลี่ยของระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในงานนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของคะแนนตั้งแต่ 3.51 ขึ้นไป และค่าความเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 1.00 และดำเนินการปรับปรุงข้อคำถามและภาษาที่ใช้ให้เหมาะสมตามคำแนะนำ

3.2 แบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อคู่การทดลอง ชุดการเรียนรู้จำลองสถานการณ์ การแก้ไขปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม FlexSim ดังนี้

ออกแบบและสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจให้ครอบคลุมประเด็นที่ต้องการสอบถาม กำหนดค่าระดับคะแนนเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ การแปลความหมายใช้ค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดคะแนนเฉลี่ย ดังนี้

เหมาะสมมากที่สุด	ระดับคะแนน 5
เหมาะสมมาก	ระดับคะแนน 4
เหมาะสมปานกลาง	ระดับคะแนน 3
เหมาะสมน้อย	ระดับคะแนน 2
เหมาะสมน้อยที่สุด	ระดับคะแนน 1



ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนที่ 1 พัฒนาและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 หาคุณภาพคู่มือการทดลอง

หาคุณภาพคู่มือการทดลองชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยการใช้โปรแกรม FlexSim

1. จัดเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ คู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม FlexSim แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจ

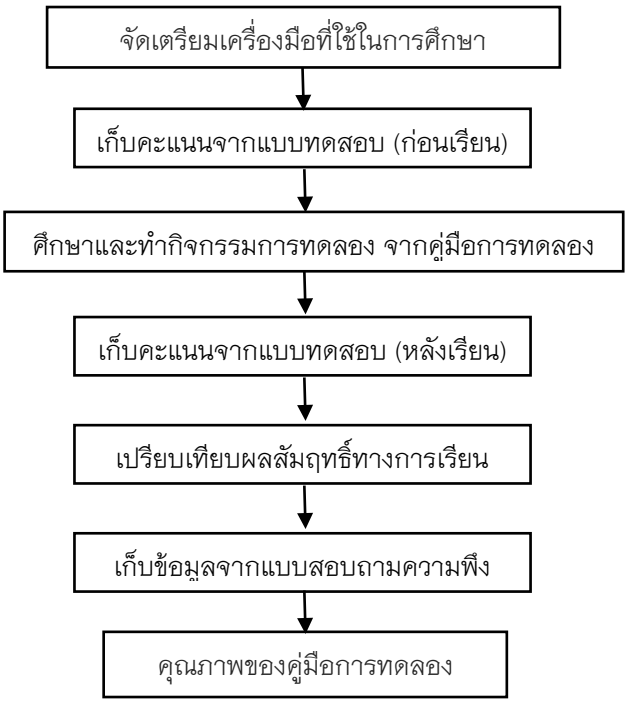
2. ให้นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ ระดับปริญญาตรี จำนวน 12 คน ทดสอบก่อนเรียนโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (ก่อนเรียน) จำนวน 40 ข้อ ดำเนินการตรวจข้อสอบและบันทึกคะแนน

3. ให้นักศึกษาทำกิจกรรมและศึกษาคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม FlexSim โดยให้นักศึกษา ศึกษาเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง และทำแบบฝึกหัดท้ายกิจกรรม ตามที่โจทย์กำหนด

4. ให้นักศึกษาทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (หลังเรียน) ซึ่งเป็นฉบับที่เคยใช้ทดสอบก่อนเรียน แล้วดำเนินการตรวจข้อสอบและบันทึก

5. วิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการนำคะแนนทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาทั้ง 12 คน มาคำนวณหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาและหาคุณภาพของคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และ โซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม FlexSim

6. เก็บข้อมูลจากแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาหลังจากศึกษาและทำกิจกรรมการทดลอง ในคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม FlexSim แล้วทำการวิเคราะห์และสรุปผลคะแนนความพึงพอใจ



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนที่ 2 หาคุณภาพคู่มือการทดลอง

ผลการศึกษา

งานวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim มีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด 2 ขั้นตอน และผู้วิจัยได้นำเสนอผลการดำเนินงานดังนี้

1. การสังเคราะห์แบบจำลองสถานการณ์ด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim

ผลการสังเคราะห์ คู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างและพัฒนาคู่มือการทดลองเพื่อนำคู่มือการทดลองมาใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอน ในรายวิชาการจำลองแบบปัญหา โดยเน้นให้คู่มือการทดลองที่สร้างขึ้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมและเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งในคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim มีเนื้อหาและส่วนประกอบ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน มีรายละเอียด ดังนี้

ส่วนที่ 1 ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วยเนื้อหาสาระ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรม Flexsim ซึ่งมีเนื้อหาจำนวน 10 เรื่อง

ส่วนที่ 2 ส่วนกิจกรรมการทดลอง มีทั้งหมด 14 กิจกรรม ในแต่ละกิจกรรมการทดลองมีรายละเอียด ดังนี้ 1) ชื่อกิจกรรม 2) วัตถุประสงค์ 3) ทฤษฎีและเนื้อหา 4) อุปกรณ์การทดลองและสถานการณ์ที่กำหนด 5) ขั้นตอนการทดลอง 6) แบบฝึกหัดหลังการทดลอง

2. ผลการทดลองใช้คู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim

ผลการหาคุณภาพคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim จากการใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับนักศึกษา สาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย จำนวน 12 คน เพื่อทดสอบความเข้าใจของนักศึกษาพบว่า นักศึกษามีความรู้เพิ่มมากขึ้นหลังศึกษาคู่มือการทดลอง แสดงดังตารางต่อไปนี้

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า นักศึกษามีคะแนนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้น จากศึกษาคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim โดยมีคะแนนฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 21.85 คะแนน คิดเป็น 54.59 เปอร์เซ็น

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษา

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน	ผลต่าง
1	26	34	8
2	12	37	25
3	7	37	30
4	16	36	20
5	15	38	23
6	13	38	25
7	19	38	19
8	15	36	21
9	14	38	24
10	13	36	23
11	21	38	17
12	8	35	27
ค่าเฉลี่ย	14.92	36.75	21.83
ร้อยละ	37.29	91.88	54.58

จากตารางที่ 2.2 พบว่า นักศึกษามีคะแนนความรู้หลังใช้เครื่องมือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim เพิ่มมากขึ้น เมื่อศึกษาจากคะแนนผลสัมฤทธิ์เฉลี่ย ($\bar{X}$) ก่อนศึกษาคู่มือการทดลองมีค่าเท่ากับ 14.92 ทางการเรียน หลังศึกษาคู่มือการทดลองมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 36.75 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังใช้คู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 แสดงว่า คู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และ โซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim ที่ผู้วิจัยได้สร้างและพัฒนาขึ้นมีผลทำให้นักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการจำลองสถานการณ์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.2 แสดงการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ ก่อน-หลังศึกษาคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim

การทดสอบ	N	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	t-test
ก่อนเรียน	12	40	14.92	5.62	13.45
หลังเรียน	12	40	36.75	1.36	

จากตารางที่ 2.3 นักศึกษามีความพึงพอใจหลังจากศึกษาคู่มือการทดลองชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ =4.22, S.D.= 0.66)

ตารางที่ 2.3 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาหลังจากศึกษาคู่มือการทดลองชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim

จำนวนนักศึกษา	$\bar{x}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
12	4.22	0.66	มาก

สรุปผลและอภิปรายผล

1. ผลการสร้างและหาคุณภาพของคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim ประกอบด้วยรายละเอียด 2 ส่วน ได้แก่ เนื้อหาสาระวิธีการใช้งานโปรแกรม Flexsim และกิจกรรมการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมการทดลองทั้งหมด 14 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมที่ 1 Starting FlexSim กิจกรรมที่ 2 พื้นฐานการสร้างแบบจำลอง กิจกรรมที่ 3 การกำหนดช่องทางเลือกโปรแกรม กิจกรรมที่ 4 การกำหนดช่องทางเลือกให้โปรแกรม กิจกรรมที่ 5 การกำหนดข้อมูลของแบบจำลอง กิจกรรมที่ 6 กลยุทธ์การป้อนข้อมูล Input Strategiesท กิจกรรมที่ 7 การรวมตัวและการแยกออกของโมดูล 1 กิจกรรมที่ 8 การรวมตัวและการแยกออกของโมดูล 2 กิจกรรมที่ 9 การวางซ้อนทับและการห่อผลิตภัณฑ์ 1 กิจกรรมที่ 10 การวางซ้อนทับและการห่อผลิตภัณฑ์ กิจกรรมที่ 11 การเคลื่อนย้ายของผลิตภัณฑ์ในระบบ (Transporter1) กิจกรรมที่ 12 การเคลื่อนย้ายของผลิตภัณฑ์ในระบบ (Transporter2) กิจกรรมที่ 13 การเคลื่อนย้ายของผลิตภัณฑ์ในระบบ (Transporter3) กิจกรรมที่ 14 การควบคุมการทำงานในระบบ (Operator1)

2.ผลการประเมินความเหมาะสมของคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน พบว่ามีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.85, S.D. = 0.88) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ความเหมาะสมของแบบฝึกหัดท้ายการทดลองมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{x}$ = 3.85)

3. ผลการวิเคราะห์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและจากการทดสอบสมมติฐานพบว่าก่อนการศึกษาคู่มือการทดลองฯ นักศึกษาจำนวน 12 คน มีค่าเฉลี่ยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนเท่ากับ 14.92 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.62 หลังการศึกษาคู่มือการทดลองฯ มีค่าเฉลี่ยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เท่ากับ 36.75 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 1.36 และผลการทดสอบสมมติฐานโดยใช้สถิติการทดสอบแบบ t-test พบว่า คะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการศึกษาคู่มือการทดลองฯ สูงกว่าก่อนการศึกษาคู่มือการทดลองฯ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (t=13.45)

4. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim พบว่า ในภาพรวมของการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}$ =4.22, S.D.=0.66) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า นักศึกษามีความพึงพอใจในส่วนของแบบฝึกหัดหลังการทดลอง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{x}$ =4.22, S.D.= 0.66) และความพึงพอใจในส่วนของกิจกรรมการทดลอง ($\bar{x}$ =4.22, S.D.= 0.66) ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์สมควร สงวนแพง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์หลัก ที่ให้แนวคิดและคำแนะนำช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยตลอดจนแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยในครั้งนี้รวมทั้ง อาจารย์กำพล หว่างลี้สกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำแนะนำด้านทฤษฎีเนื้อหาและรูปแบบของคู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim ทั้ง ผศ.ขวัญเรือน สินณรงค์ และ ผศ.คมกฤต เมฆสกุล ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินตรวจสอบเครื่องมือวิจัยและให้คำแนะนำการออกแบบ เพื่อพัฒนาคู่มือการทดลอง สำหรับประกอบการทำปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับมหาวิทยาลัยเทคโน โลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองและพัฒนางานวิจัย ตลอดนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรม-โลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ทุกคนที่ได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการทดลองใช้คู่มือการทดลอง ชุดการเรียนรู้แบบจำลองสถานการณ์การแก้ปัญหาด้าน โลจิสติกส์และ โซ่อุปทาน โดยใช้โปรแกรม Flexsim

เอกสารอ้างอิง

Flexsim Thailand [อินเตอร์เน็ต]. 2566; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 9 มิถุนา 2566. ได้จาก https://youtube.com/@flexsimthailand707?si=vA3SKwiU5ihAcTit

Flexsim [อินเตอร์เน็ต]. 2566; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 9 มิถุนา 2566. ได้จาก https://www.flexsim.com

Flexsim Simulation [อินเตอร์เน็ต]. 2561; สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 9 มิถุนา 2566. ได้จาก https://youtube.com/@_talkwithie.5264?si=KMGdsZNPFHpB__je

สุนิตย์ เย็นสบาย. (2543). **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหนังสืออ้างอิง**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : สถาบันราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.

เยาวดี วิบูลย์ศรี. (2539). **การวัดผลและการสร้างแบบสอบผลสัมฤทธิ์**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์

อุทุมพร จามรมาน. (2544). **การวัดและประเมินการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษา**. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : ไฮเอ็ดพับพลิซซิ่ง.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2530. **การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์, สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา.** (การค้นคว้าแบบอิสระ) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากอุปกรณ์ Emotiv insight

EEG-based brain-computer interface using emotiv insight neuroheadset

ภัทราภรณ์ ยอดเพ็ชร[1], ชญานิศ คงปาน[1], มโนรส บริรักษ์อราวินท์[2] และ ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์[1*]
Phattharaporn Yodpect[1], Chayanid Kongpan[1], Manorot Borirakarawin[2], Yunyong Punsawad[1*]

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv Insight มีขนาดกะทัดรัดสวมใส่สะดวกเพื่อประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการทางกายภาพ การทดลองได้มีการให้อาสาสมัครทำกิจกรรมผ่านการจดจ่อที่วัตถุและการหลับตาเพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง นำคลื่นไฟฟ้าที่บันทึกได้ไปประมวลและจำแนกกิจกรรมเพื่อสร้างคำสั่งอย่างง่ายให้กับระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ จากการทดลองพบว่าคลื่นไฟฟ้าสมองจากสมองส่วนหน้า (AF3) ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกการจดจ่อกับการพักเท่ากับ 90.5% ด้วยอัตราส่วนของคลื่นแอลฟาและบีตา และความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกการหลับตากับการพักเท่ากับ 96.4% ด้วยคลื่นบีตา อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv Insight สามารถให้ประสิทธิภาพได้ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ได้ด้วยการสร้างคำสั่งอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน ในอนาคตจะทำการทดสอบการควบคุมอุปกรณ์จริงเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์สำหรับผู้พิการทางร่างกายขั้นรุนแรง

คำสำคัญ: การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์, คลื่นไฟฟ้าสมอง

Abstract

This paper studies brain-computer connectivity using Emotiv Insight. The EEG device is compact and wearable for assistive technology applications in people with physical disabilities. The experiment involved volunteers concentrating on an object and closing their eyes to record their EEG. The recorded EEG signals were processed and classified to create simple commands for the brain-computer interface. The experiment showed that EEG from the frontal lobe (AF3) had an average accuracy of 90.5% in classifying attention from rest, with alpha/beta ratio. The average accuracy in classifying closed eyes and rest state was 96.4.3% with beta. The Emotiv Insight can effectively apply to brain-computer interfaces with simple and uncomplicated command creation. In the future, testing with actual device controls will be performed to develop brain-computer interfaces for people with severe physical disabilities.

Keywords: Brain-Computer Interface, Electroencephalogram, Mental Imagination

[1] สำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160
[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280
[1] School of Informatics, Walailak University, Nakhon Si Thammarat 80161
[2] Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat 80280
* Corresponding author e-mail: yunyong.pu@wu.ac.th

บทนำ

ผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรงที่มีความบกพร่องทางการสื่อสารร่วมด้วยประสบปัญหาและอุปสรรคอย่างมากในการดำรงชีวิตประจำวัน ปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์เทคโนโลยีอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการอย่างแพร่หลายเพื่อช่วยสื่อสารสำหรับผู้พิการกลุ่มนี้เพื่อบอกความต้องการให้แก่แพทย์หรือผู้ดูแล อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระดับความพิการมีความแตกแต่งกัน จึงต้องการทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกแบบเฉพาะเพื่อครอบคลุมในทุกระดับความพิการ ส่งผลให้อุปกรณ์มีราคาค่อนข้างสูง สำหรับเทคโนโลยีสมัยใหม่มีการประยุกต์ใช้สัญญาณชีวการแพทย์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ช่วยสื่อสาร ได้แก่ การเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain–computer interface: BCI) [1–7] สำหรับเพิ่มช่องทางการสื่อสารให้แก่ผู้พิการ โดยอาศัยคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG) เพื่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์สำหรับการสื่อสารร่วมกับอุปกรณ์เสริมและการสื่อสารทางเลือก (Augmentative and alternative communication: AAC) [7] ที่สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี ได้แก่ 1) วิธีการสื่อสารโดยธรรมชาติ เช่น การใช้ท่าทางของแต่ละบุคคล การออกเสียงการแสดงออกทางสีหน้า การบอกสัญญาณโดยไม่ใช้การพูด 2) การใช้ภาพสัญลักษณ์กลุ่มภาพและระบบสัญลักษณ์ในการสื่อสาร และ 3) การใช้เครื่องช่วยสื่อสารเป็นการสื่อสารทางเลือกหนึ่งที่มีการวิจัยมากมายที่มีผลลัพธ์ว่าสามารถช่วยพัฒนาการสื่อสาร [6, 8–12] การเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มจากวิธีการและคลื่นไฟฟ้าสมอง ได้แก่ 1) Exogenous BCI ที่อาศัยสิ่งเร้าจากภายนอกเพื่อกระตุ้นผ่านระบบประสาทการรับรู้ทางการมองเห็น การสัมผัสและการได้ยิน นิยมใช้ในการสะกดคำเนื่องจากสามารถสร้างคำสั่งได้เยอะและใช้เวลาในการฝึกฝนน้อย แต่ไม่สามารถใช้กับผู้ใช้ที่สูญเสียการทำงานของประสาทการรับรู้ 2) Endogenous BCI [5] ที่ใช้การเร้าจากภายในร่างกาย สามารถใช้วิธีนี้ได้โดยไม่ต้องอาศัยสิ่งเร้าภายนอก แต่จะใช้เวลาในการฝึกฝนมากกว่า นิยมใช้สำหรับการควบคุมและการฟื้นฟู

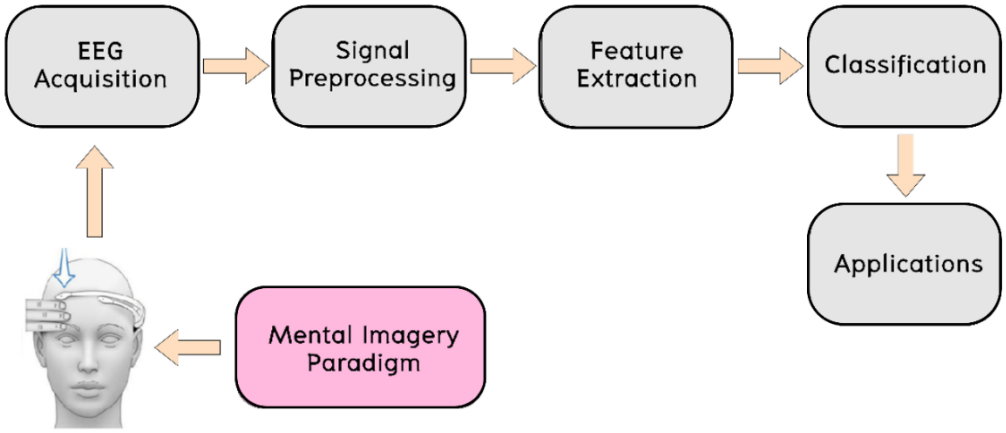
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้คลื่นไฟฟ้าสมองขณะจินตนาการและหลับตาสำหรับการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ พงศกร และพิชชาพร [9] ได้ทำการทดลองสร้างคำสั่งด้วยสัญญาณไฟฟ้าสมองที่เกิดขึ้นผ่านการทำกิจกรรมเพื่อเปลี่ยนแปลงการทำงานของสมอง 4 รูปแบบด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง ประกอบไปด้วย 1) การจินตนาการถึงความเคลื่อนไหว 2) การคิดคำนวณตัวเลข 3) การเพ่งสนใจ และ 4) การทำจิตใจให้ผ่อนคลาย สำหรับควบคุมคำสั่งเพื่อสั่งการอุปกรณ์โดยใช้เครื่องมือ NeuroSky headset เพื่อวัดสัญญาณไฟฟ้าสมองจากช่อง Fp1 โดยจุดอ้างอิงเป็นช่อง A1 และ A2 ส่งคลื่นไปที่อุปกรณ์เพื่อแปลงคำสั่งควบคุมอุปกรณ์ที่ช่วยสื่อสารได้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนก 81.8–98.2% นอกจากนี้ Francisco และคณะ [10] ได้ทำการพัฒนาระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำสั่งเสียงในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้เพื่อเพิ่มความสะดวกในการควบคุมอุปกรณ์โดยใช้คลื่นไฟฟ้าสมองควบคุมอุปกรณ์ UMA–BCI speller แปลงเป็นคำสั่งส่งไปยัง Google Assistant ที่ทำงานบนสมาร์ทโฟนเพื่อควบคุม UMA–BCI speller กลับไปยังผู้ดูแล ระบบให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกเฉลี่ยได้สูงสุด 80.68% นอกจากนี้ Kamilya และคณะ [11] ได้เสนอใช้ระบบ BCI เพื่อเข้าถึง อุปกรณ์เสริมและการสื่อสารทางเลือก Tobii Dynavox Communicator 5 ด้วยคลื่น P300 จากการมองเห็นเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบจากตำแหน่งอิเล็กโทรดที่ตำแหน่ง Fz Cz P3 Pz P4 PO7 PO8 และ Oz ผลการทดลองรายงานค่าความถูกต้องในการจำแนกเท่ากับ 97% จากงานวิจัยที่ผ่านมารายงานถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองในการสร้างคำสั่งเพื่อติดต่อสื่อสารหรือสั่งการอุปกรณ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง

งานวิจัยนี้เสนอการพัฒนาระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์สำหรับอุปกรณ์เสริมและการสื่อสารทางเลือกด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจากอุปกรณ์ Emotiv Insight ขณะทำกิจกรรมการจินตนาการและการหลับตาเพื่อให้สมองมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน [14] เป็นแนวทางในการศึกษาการนำระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์มา

ประยุกต์ใช้ ในการสร้างคำสั่งเพื่อติดต่อสื่อสาร หรือสั่งการอุปกรณ์จะทำให้ผู้พิการมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น สามารถทำกิจวัตรประจำวันได้ด้วยตนเองและสร้างกำลังใจในการดำรงชีวิตของผู้พิการ

ระบบที่นำเสนอ

ระบบการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจาก EMOTIV INSIGHT ดังภาพที่ 1 ประกอบด้วย การได้มาของคลื่นไฟฟ้าสมองโดยใช้อุปกรณ์ขยายและทำการประมวลสัญญาณไฟฟ้าและแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งไปยังคอมพิวเตอร์ มีการประมวลสัญญาณเพื่อขจัดสัญญาณรบกวน อัลกอริทึมในการสร้างคำสั่งประกอบด้วยการสกัดคุณลักษณะเพื่อจำแนกสัญญาณด้วยอัลกอริทึมที่เสนอและถ่ายโอนไปเป็นคำสั่งเพื่อควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการหรือการประยุกต์ใช้งานด้านการแพทย์



ภาพที่ 1 แผนผังการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองจาก EMOTIV INSIGHT

การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง



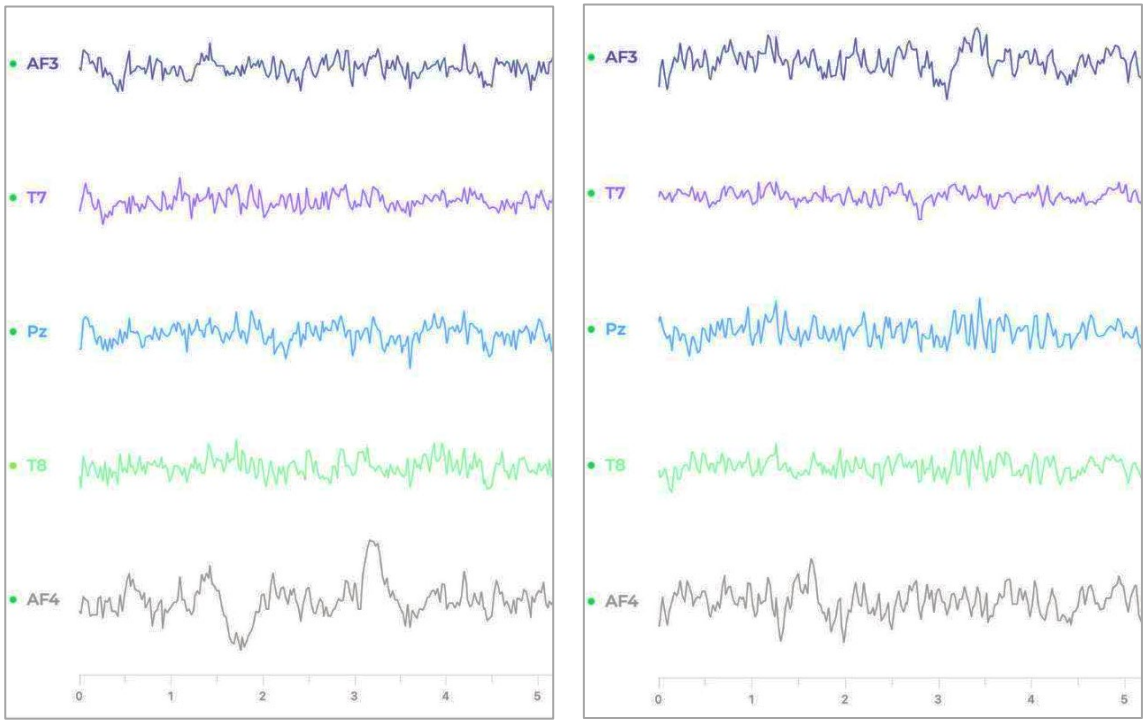
(ก) (ข)

ภาพที่ 2 (ก) อุปกรณ์วัดคลื่นสมองไฟฟ้า EMOTIVE Insight 2.0 (ข) ตำแหน่งอิเล็กโทรด

งานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv Insight 2.0 ดังภาพที่ 2(ก) สามารถวัดคลื่นไฟฟ้าสมองได้จำนวน 5 ช่องสัญญาณจากตำแหน่งอิเล็กโทรด AF3 AF4 T7 T8 และ Pz ดังภาพที่ 2 ที่มีการรับส่งสัญญาณแบบไร้สายด้วย Bluetooth ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อการบันทึกด้วยโปรแกรม Emotive Pro ที่อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling rate) เท่ากับ 128 Hz เนื่องจากตัวอุปกรณ์มีขนาดกะทัดรัดและสะดวกต่อการสวมใส่ แต่มีช่องสัญญาณน้อย เป็นสาเหตุหนึ่งที่ผู้วิจัยต้องการศึกษาถึงการนำอุปกรณ์ Emotiv Insight มาทดลองกับกิจกรรมสามารถสร้าง

การเปลี่ยนของคลื่นไฟฟ้าสมองได้ชัดเจน ได้แก่ การหลับตาและการคิดจินตนาการ ทำการสำรวจประสิทธิภาพและนำไปใช้ในการเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์

การสำรวจคลื่นไฟฟ้าสมองขณะมีการจดจ่อและหลับตา



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 ตัวอย่างคลื่นไฟฟ้าสมอง (ก) ขณะมีการจดจ่อ (ข) ขณะหลับตา

ผู้วิจัยได้เสนอการสร้างคำสั่งอย่างง่ายสำหรับการเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์ โดยใช้คลื่นไฟฟ้าสมองจากขณะมีการจดจ่อและหลับตา จากภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างคลื่นไฟฟ้าสมองในโดเมนเวลาที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv Insight พบว่าหากสำรวจด้วยตาเปล่าอาจเห็นความแตกต่างของขนาดของคลื่นในแต่ละช่องสัญญาณ อย่างไรก็ตามสามารถนำวิธีการประมวลสัญญาณเพื่อสกัดคุณลักษณะเด่นเพื่อจำแนกและสร้างคำสั่งได้ อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv Insight สามารถวัดคลื่นในส่วนสมองที่สัมพันธ์กับการจดจ่อและหลับตาได้

การประมวลผลสัญญาณและสกัดคุณลักษณะ

คลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกได้ถูกนำมาประมวลสัญญาณและสกัดคุณลักษณะด้วย EEGLAB toolbox [15, 16] ในโปรแกรม MATLAB โดยมาจากการตัดสัญญาณรบกวนออกด้วยการกรองดิจิทัลแบบช่วงความถี่แถบผ่านที่ 3–35 Hz จากนั้นทำการตัดคลื่นไฟฟ้าออกเป็นชุดระหว่างช่วงพักและการทำกิจกรรม ทำการแปลงเป็นสเปกตรัมพลังงานในทุก 5 วินาที ให้อยู่ในโดเมนความถี่ด้วยระเบียบวิธีการของ Welch ที่ลดความแปรปรวนของสัญญาณในการแปลงสัญญาณให้อยู่ในโดเมนความถี่ โดยใช้การทับซ้อนกัน 50 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (Power spectrum density) ($\boldsymbol{PSD}$) ที่ความถี่ ($\boldsymbol{f}$) สามารถนำคำนวณค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของช่วงความถี่แอลฟา ($\boldsymbol{\alpha_i}$) (8–13 เฮิรตซ์) และคลื่นเบต้า ($\boldsymbol{\beta_i}$) (14–30 เฮิรตซ์) ได้จากสมการ (1) และ (2) เมื่อ $\boldsymbol{i}$ คือ ตำแหน่งอิเล็กโทรด AF3 AF4 T7 T8 Pz นำค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของทั้งสองคลื่นมาหาอัตราส่วนได้จากสมการ (3) จากค่าที่ได้นำมาสร้างเป็นพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการจำแนกต่อไป

$$\alpha_i = \sum_{f=8}^{13} PSD_i \quad (1)$$

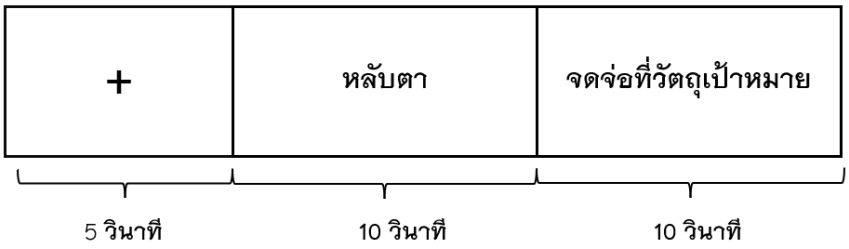
$$\beta_i = \sum_{f=14}^{30} PSD_i \quad (2)$$

$$R_i = \alpha_i / \beta_i \quad (3)$$

พารามิเตอร์จากการสกัดคุณลักษณะด้วยคลื่นแอลฟาและบีตาจะถูกนำมาผ่านกระบวนการ Normalization เพื่อทำเป็นชุดข้อมูลและใช้จำแนกระหว่างสถานะพักกับการจดจ่อ และสถานะพักกับการหลับตา ด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกแบบเชิงเส้น (Linear discriminant analysis: LDA) ด้วย Classification learner App ในโปรแกรม MATLAB

การทดลอง

อาสาสมัครสุขภาพดีเข้าร่วมการทดลองจำนวน 10 คน เป็นเพศหญิงจำนวน 7 คน และเพศชายจำนวน 3 คน ช่วงอายุ 20–24 ปี ก่อนทดลองมีการอธิบายถึงขั้นตอนและวิธีปฏิบัติโดยละเอียดให้แก่อาสาสมัคร ขณะทดลองอาสาสมัครนั่งอยู่ในห้องที่มีแสงปกติมีระยะห่างจากหน้าจอ 60 เซนติเมตร ดังภาพที่ 5 โดยอาสาสมัครทำการทดลองดังกระบวนทัศน์สำหรับบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองดังภาพที่ 4 โดยให้อาสาสมัครทำการผ่อนคลายเป็นระยะเวลา 5 วินาที จากนั้นหลับตาเป็นระยะเวลา 10 วินาที ส่วนการจดจ่อที่เป้าหมายเป็นระยะเวลา 10 วินาที อาสาสมัครแต่ละรายทำการทดลองทั้งหมด 30 รอบ จะมีระยะเวลาสำหรับพักเมื่อครบ 10 รอบเป็นเวลา 2 นาที ใช้เวลาในการทดลองประมาณทั้งสิ้น 25 นาที รวมการติดตั้งอุปกรณ์และให้คำแนะนำการทดลอง



ภาพที่ 4 กระบวนทัศน์สำหรับการทดลองและบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

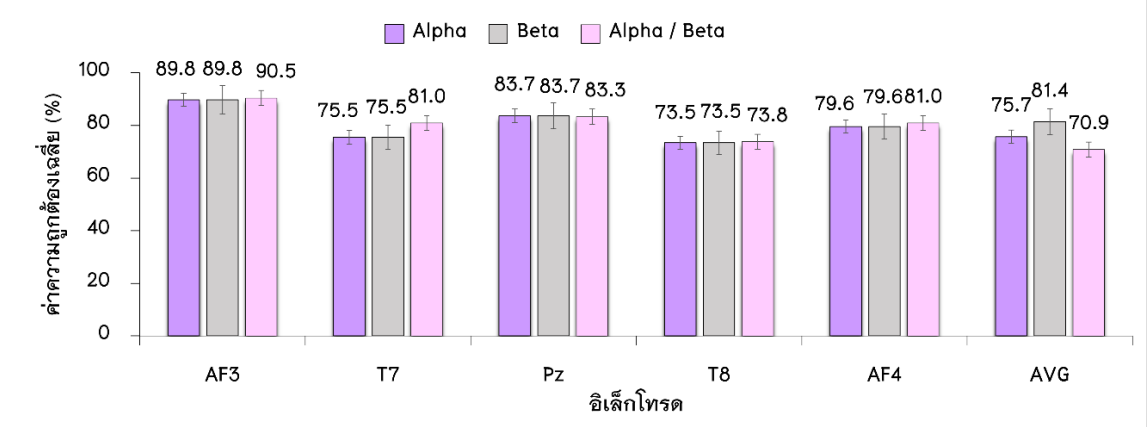
จากการทดลองได้คลื่นไฟฟ้าในแต่ละกิจกรรมของอาสาสมัครแต่ละราย นำเข้าสู่กระบวนการประมวลผลสัญญาณและสกัดคุณลักษณะข้างต้นเพื่อสร้างพารามิเตอร์และจัดเป็นชุดข้อมูล ประกอบด้วยข้อมูลสถานะพักจำนวน 300 ชุด การจดจ่อ 300 ชุด และการหลับตา 300 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยพารามิเตอร์คลื่นแอลฟา บีตา และอัตราส่วนคลื่นแอลฟาและบีตา ในทุกช่องสัญญาณ จากนั้นนำเข้าสู่โปแกรม MATLAB และเลือกข้อมมูลไปยัง Classification learner application เลือกการจำแนกแบบ LDA โดยแบ่งข้อมูลในการฝึกฝนและทดสอบแบบ 4–cross validation และทำการบันทึกความถูกต้องในการจำแนกเพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป



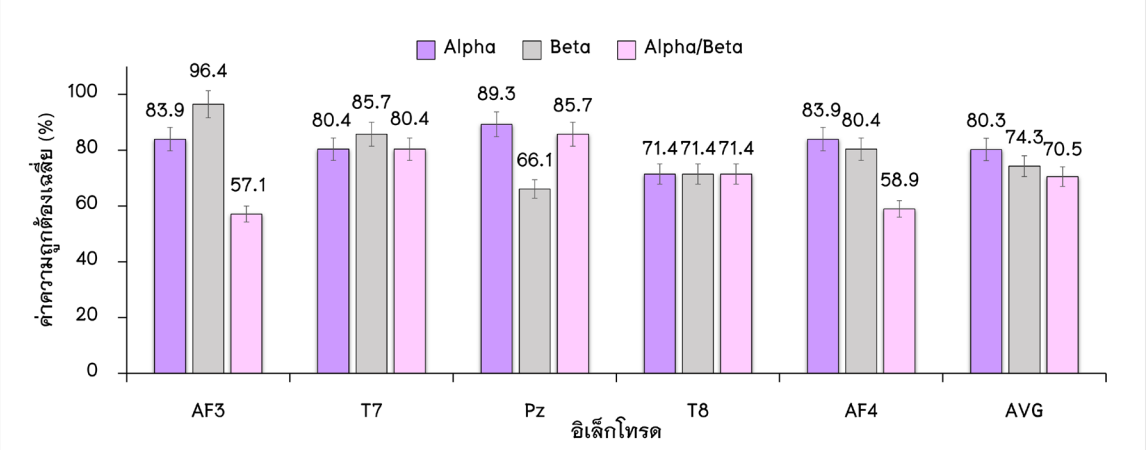
ภาพที่ 5 ตัวอย่างขณะเตรียมความพร้อมในการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง

ผลการศึกษา

ภาพที่ 6 แสดงผลลัพธ์การจำแนกคลื่นไฟฟ้าสมองขณะมีการจดจ่อ พบว่าค่าความถูกต้องเฉลี่ยด้วยการใช้คลื่นแอลฟาเท่ากับ 75.7% คลื่นบีตาเท่ากับ 81.4% และอัตราส่วนแอลฟาและบีตาเท่ากับ 70.9% เมื่อพิจารณาจากช่องสัญญาณแต่ละตำแหน่งอิเล็กโทรดพบว่า ช่อง AF3 ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 90.5% ด้วยอัตราส่วนแอลฟาและบีตา ซึ่งคลื่นแอลฟาและบีตาก็ให้ค่าความถูกต้องที่สูงเช่นกัน สำหรับภาพรวมพารามิเตอร์ทุกค่าของสัญญาณแต่ละช่องให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกมากกว่า 70%



ภาพที่ 6 ผลลัพธ์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกคำสั่งด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองขณะมีการจดจ่อ



ภาพที่ 7 ผลลัพธ์ความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกคำสั่งด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองขณะหลับตา

ภาพที่ 7 แสดงค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกคำสั่งด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองขณะหลับตา พบว่าค่าความถูกต้องเฉลี่ยด้วยการใช้คลื่นแอลฟาเท่ากับ 80.3% คลื่นบีตาเท่ากับ 74.3% และอัตราส่วนแอลฟาและบีตาเท่ากับ 70.5% เมื่อพิจารณาจากช่องสัญญาณแต่ละตำแหน่งอิเล็กโทรดพบว่า สำหรับภาพรวมพารามิเตอร์แต่ละค่าของสัญญาณแต่ละช่องให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกมากอยู่ในช่วง 57.1% ถึง 96.4% นอกจากนี้คลื่นไฟฟ้าสมองจากช่อง AF3 ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกสูงสุดเท่ากับ 96.4% ด้วยพารามิเตอร์จากคลื่นบีตา เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์แต่ละค่า พบว่าคลื่นแอลฟาของสัญญาณทุกช่องให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกมากกว่า 80%

อภิปรายและสรุปผล

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการจำแนกของพารามิเตอร์และอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลสัญญาณจากคลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดจากอุปกรณ์ Emotiv Insight สำหรับการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ ในการจำแนกระหว่างสถานะพักกับการจดจ่อและสถานะพักกับการหลับตาเพื่อสร้างคำสั่งอย่างง่าย พบว่าคลื่นไฟฟ้าสมองจากสมองส่วนหน้า (AF3) สร้างความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกการจดจ่อกับการพักได้สูงสุดเท่ากับ 90.5% ด้วยอัตราส่วนของคลื่นแอลฟาและบีตา และความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกการหลับตากับการพักเท่ากับ 96.4% ด้วยคลื่นบีตา สอดคล้องกับการทำงานของสมองและการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ [14]

จากการศึกษาการใช้งานอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv Insight สำหรับระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์สามารถให้ประสิทธิภาพได้ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกด้วยการสร้างคำสั่งอย่างง่ายได้ ในอนาคตจะทำการทดสอบควบคุมอุปกรณ์จริงเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์สำหรับผู้พิการทางร่างกายขั้นรุนแรง รวมถึงการทดลองด้วยกระบวนทัศน์หรือการกระตุ้นรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงขีดความสามารถของอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Emotiv Insight

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานนวัตกรรมสารสนเทศทางการแพทย์ สาขานวัตกรรมสารสนเทศทางการแพทย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และขอขอบพระคุณอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่านเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

1. Augmentative and Alternative Communication (AAC) [อินเตอร์เน็ต]. 2023; สืบค้นเมื่อวันที่ 9 กันยายน 2566. ได้จาก https://www.asha.org/public/speech/disorders/AAc/.
2. Sun X, Li M, Li Q, Yin H, Jiang X, Li H, Sun Z, Yang T. Poststroke Cognitive Impairment Research Progress on Application of Brain–Computer Interface. **Biomed Res Int**. 2022;2022.
3. Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, Vaughan TM. Brain–computer interface for communication and control. **Clinical Neurophysiology**. 2002;113(6): 767–791.
4. Chaudhary U, Birbaumer N, Ramos–Murguialday A. Brain–computer interfaces for communication and rehabilitation. **Nature Reviews Neurology**. 2016.
5. Yadav H, Maini S. Electroencephalogram based brain–computer interface: Applications, challenges, and opportunities. **Multimed Tools Appl**. 2023;22(4).

6. Beukelman DR, Light JC. Augmentative & Alternative Communication. Baltimore, MD: Paul H. **Brookes Publishing Co;** 1998.
7. Lin CT, Ko LW, Chang CJ, Wang YT, Chung CH, Yang FS, Duann JR, Jung TP, Chiou JC. Wearable and Wireless Brain–Computer Interface and Its Applications. In: Schmorrow DD, et al, editors. **Augmented Cognition,** HCII 2009; 741–748.
8. American Speech–Language–Hearing Association. บทบาทและความรับผิดชอบของนักพยาธิวิทยาด้านการพูดและภาษาด้วยความเคารพต่อการสื่อสารเสริมและทางเลือก: คำชี้แจงจุดยืน; 2548. สืบค้นจากต้นฉบับเมื่อ 2009–02–13 . สืบค้นเมื่อ2009–01–23.
9. นายพงศกร วัฒนสืบสิน, นางสาวพิชชาพร นิ่มดา. อุปกรณ์สื่อสารด้วยระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์สำหรับผู้พิการขั้นรุนแรง. คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2558.
10. Francisco Velasco–Álvarez, Álvaro Fernández–Rodríguez, Ricardo Ron–Angevin. **Brain–computer interface (BCI)–generated speech to control domotic devices**. Volume 509.2022,14(10): 121–136.
11. EEG–Based Brain–Computer Interface Access to Tobii Dynavox Communicator 5 [อินเตอร์เน็ต]. 2017; สืบค้นเมื่อ วันที่ 9 กันยายน 2566 ได้จาก https://www.resna.org/sites/default/files/conference/2017/cac/Gosmanova.html.
12. Brumberg JS, Pitt KM, Kozlowski AM, Burnison JD. Brain–Computer Interfaces for Augmentative 3 Alternative Communication: A Tutorial. **Am J Speech Lang Pathol**. 2018;27(1):1–12.
13. Jennifer BCI lets completely “locked–in” man communicate with his son, ask for a beer. **Ars Technica,** 2022;16(4).
14. Mohammadpour M, Mozaffari S. Classification of EEG–based attention for brain computer interface. **In: 2017 3rd Iranian Conference on Intelligent Systems and Signal Processing** (ICSPIS); 2017: 34–37.
15. Delorme A, Makeig S. EEGLAB: an open–source toolbox for analysis of single–trial EEG dynamics**, Journal of Neuroscience Methods** 2004: 134; 9–21.
16. Delorme A, Mullen T, Kothe C, Akalin Acar Z, Bigdely– Shamlo N, Vankov A, et al. EEGLAB, SIFT, NFT, BCILAB, and ERICA: New tools for advanced EEG processing. **Comput Intell Neurosci**. 2011;2011: 1–12.

ระบบการเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยการกระตุ้นทางสายตาและจินตนาการภาพสั่นไหว

Brain–computer interface system using steady–state visual stimulation and visual flicker imagination

พิมพ์อมร แนมใส[1], รัตติกาญจน์ ศรีรัฐ[1], นันท์นภัส ศิริบุญญพัฒน์[2] และ ยรรยงค์ พันธ์สวัสดิ์[1*]
Pimamorn Namsai[1], Rattikarn Srirat[1], Nannaphat Siribunyaphat[2] and Yunyong Punsawad[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยการกระตุ้นทางสายตาเพื่อการสื่อสารและควบคุมสำหรับผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรง ผู้วิจัยได้ปรับปรุงรูปแบบการกระตุ้นคงตัวทางสายตา วิธีเดิมด้วยการเพิ่มตัวเลขวิ่งวนตามความถี่การกระตุ้น และเสนอวิธีการจินตนาการภาพสั่นไหวเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในสภาวะล้าทางสายตา รวมถึงการเสนออัลกอริทึมในการจำแนกคำสั่งการกระตุ้นจากความถี่มูลฐานถี่จำนวน 3 ความถี่ จากการทดลองพบว่าค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกคำสั่งด้วยรูปแบบการกระตุ้นคงตัวทางสายที่เสนอเท่ากับ 69.67% และจากการจินตนาการภาพสั่นไหวเท่ากับ 63.83% จากวิธีการและระบบที่นำเสนอเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์สำหรับเพิ่มความสามารถในการควบคุมและสื่อสารให้กับผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรงได้ในอนาคต นอกจากนี้วิธีการจินตนาการภาพสั่นไหวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการกระตุ้นคงตัวทางสายตาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้

คำสำคัญ : การเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์, การกระตุ้นคงตัวทางสายตา, การจินตนาการภาพ

[1] สำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160
[1] วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ กรุงเทพมหานคร 10210
[1] School of Informatics, Walailak University, Nakhon Si Thammarat 80161
[2] College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210
* Corresponding author I: yunyong.pu@wu.ac.th

Abstract

This work proposes a brain–computer interface using visual stimulation for communication and control for people with severe physical disabilities. We developed the previous steady–state visual stimulus pattern by including a running number according to the stimulation frequency. We also proposed a visual flicker Imagination method to increase efficiency during the visual fatigue period and an algorithm to classify commands with three fundamental frequencies. The experiment results showed that the average accuracy in classifying commands with the proposed steady–state visual stimulus pattern was 69.67%, and visual flicker Imagination was 63.83%. The proposed method and system can be employed to develop a brain–computer interface system for increasing the ability to control and communicate for people with severe physical disabilities in the future. In addition, the proposed visual flicker Imagination method can be combined with steady–state visual stimulation to improve the efficiency of the brain–computer interface system.

Keywords: Brain–computer interface (BCI), Steady–state visual stimulation, Visual imagery

บทนำ

ปัจจุบันนี้มีผู้คนมากมายกำลังประสบกับความพิการและยังคงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี สาเหตุส่วนใหญ่มาจากโรคภัยไข้เจ็บ อุบัติเหตุ หรือพิการแต่กำเนิด ในปี 2565 มีประชากรใหม่ทั่วโลกที่เป็นโรคหลอดเลือดสมองซึ่งเป็นโรคที่ส่งผลกระทบให้เกิดความพิการเพิ่มขึ้นประมาณ 12.2 ล้านรายต่อปี [1] ประเทศไทยได้แบ่งระดับของผู้พิการโดยใช้เกณฑ์ความสามารถ ความต้องการความช่วยเหลือ ตามการประเมินจาก พ.ร.บ. การฟื้นฟูสมรรถภาพคนพิการได้เป็น 5 ระดับ ได้แก่ ผู้พิการขั้นรุนแรงที่ต้องการความช่วยเหลือและการดูแลในกิจวัตรประจำวัน จำเป็นต้องมีผู้ดูแลตลอดเวลา (Totally dependent or assisted) ผู้พิการที่ต้องการความช่วยเหลือและการดูแลในชีวิตประจำวันระดับปานกลาง จำเป็นต้องมีผู้ช่วยเหลือในบางกิจกรรม (Moderately dependent or assisted) ผู้พิการที่ต้องการความช่วยเหลือและการดูแลในชีวิตประจำวันระดับน้อย ต้องการความช่วยเหลือบางส่วน (Minimal dependent or assisted) ผู้พิการที่สามารถทำกิจกรรมต่างๆ ได้ด้วยตนเองในสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อผู้พิการ (Independent under adapted environment) และผู้พิการที่สามารถทำกิจกรรมต่างๆ ได้เหมือนบุคคลทั่วไป ไม่ต้องการความช่วยเหลือเพิ่มเติม (Independent like other normal individual) [2] จากจำนวนผู้พิการที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทำให้มีการส่งเสริมและพัฒนาให้ผู้พิการมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น และสามารถดำรงชีวิตประจำวันได้ใกล้เคียงปกติมากที่สุด

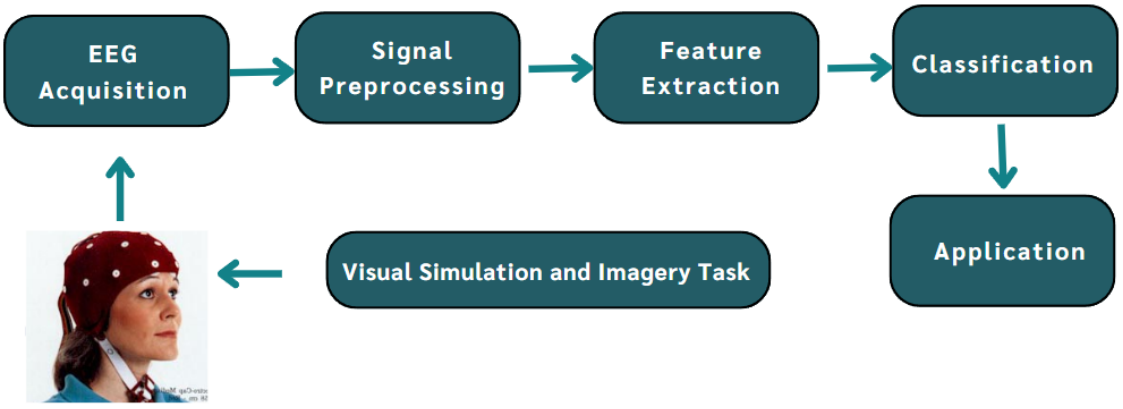
เทคโนโลยีเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain–Computer Interface: BCI) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างสมองของมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ผ่านสัญญาณสมองซึ่งสามารถนำไปใช้ในการควบคุมสิ่งต่างๆ เพื่อช่วยเหลือมนุษย์ที่ไม่อาจเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ตามใจนึก [3] โดยทั่วไปแล้ว BCI จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1.การเก็บข้อมูลจากสัญญาณสมอง 2.อัลกอริทึมที่ใช้ในการสกัดและแยกคุณลักษณะ และ 3.การแปลคำสั่งและจัดกลุ่มเพื่อนำไปใช้งาน ในการนำสัญญาณสมองมาเพื่อใช้งานจะมีวิธีแบบรุกรานผู้ใช้งาน (Invasive method) ซึ่งเป็นวิธีที่จะนำขั้วสัญญาณไปใช้งานที่เนื้อสมองเพื่อเก็บสัญญาณสมอง ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ได้ค่าสัญญาณที่ชัดเจนแต่ส่งผลกระทบต่อร่างกายของผู้ใช้ และวิธีแบบไม่รุกราน (Noninvasive method) ซึ่งเป็นวิธีที่ปลอดภัยเนื่องจากไม่จำเป็นต้องผ่าตัดเพื่อนำขั้วสัญญาณไปวางที่เนื้อสมองโดยตรง แต่จะนำมาวางที่บริเวณหนังศีรษะ แต่ความชัดเจนของสัญญาณจะน้อยลงและมีสัญญาณรบกวนมากขึ้น [4,5] แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการเก็บคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG) เป็นวิธีการเก็บสัญญาณสมองแบบไม่รุกรานที่เป็นที่นิยมของนักวิจัยในการ

พัฒนาระบบ BCI เพื่อนำมาต่อยอดในการสร้างคำสั่งเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ในปัจจุบันนี้มีการพัฒนาอุปกรณ์ EEG แบบพกพาที่ใช้กับขั้วไฟฟ้าแบบแห้ง เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งานจริง ซึ่งถูกนำไปใช้กับเทคโนโลยีช่วยเหลือ (Assistive technology) [6] การวินิจฉัยโรค [7] การฟื้นฟูสมรรถภาพ [8] รวมถึงเทคโนโลยีที่ไม่เกี่ยวข้องกับการแพทย์ เช่น ความบันเทิง [9] หรือการนำไปควบคุมอุปกรณ์ในบ้าน [10] เป็นต้น

โดยปกติคลื่นไฟฟ้าสมองจะเกิดขึ้นเองตามกิจกรรมที่ทำ (Spontaneous brain potential) ซึ่งจะสร้างสัญญาณไฟฟ้าสมองออกมาทั้งหมด 4 ช่วง คือ เดลตา ทีตา แอลฟา และบีตา และจะมีสัญญาณที่เกิดขึ้นตามเหตุการณ์ (Event-Related Potentials: ERPs) เช่น การเชื่อมต่อและการยกเลิกการเชื่อมต่อที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ (Event-Related Desynchronization / Event-Related Synchronization: ERD/ERS) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากกระบวนการทางความคิด เช่น การจินตนาการการเคลื่อนไหว (Motor Imagery) การจินตนาการการพูด (Speech Imagery) การจินตนาการถึงภาพ (Visual Imagery) เป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากการกระตุ้นประสาทสัมผัส เช่น การกระตุ้นการมองเห็น (Visual evoked potential) ซึ่งอาจจะกระตุ้นแบบชั่วคราว (Transient VEP) หรือที่รู้จักกันในชื่อวิธี P300 หรืออาจจะใช้วิธีการกระตุ้นการมองเห็นในสภาวะคงตัว (Steady-State Visual Evoked Potential: SSVEP) ที่จะใช้ตัวกระตุ้นทางการมองเห็นที่มีความถี่คงตัวในการกระตุ้น อย่างไรก็ตาม การกระตุ้นสมองด้วยวิธีการต่างๆ นั้นส่งผลกระทบต่อร่างกายและจิตใจที่อาจจะต้องรับภาระในด้านของความเหนื่อยล้า ทำให้ไม่สามารถใช้ระบบเหล่านี้ได้ต่อเนื่องในระยะเวลานานๆ และส่งผลกระทบต่อค่าความแม่นยำของระบบ [11] ซึ่งจุดนี้เป็นโจทย์ให้นักวิจัยจากทั่วทุกมุมโลกพยายามพัฒนาวิธีการใหม่ๆ เพื่อลดภาระของผู้ใช้งานและปรับปรุงให้ระบบมีค่าความแม่นยำมากขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่อไป เช่น วิธีการจินตนาการการเคลื่อนไหว วิธีการจินตนาการการพูด หรือวิธีการจินตนาการรูปภาพ [12,13,14] รวมถึงการกระตุ้นการมองเห็นในสภาวะคงตัวที่มีการพัฒนาตัวกระตุ้นการมองเห็น ไม่ว่าจะเป็นการใช้การกะพริบของหลอด LED รูปภาพเคลื่อนไหว ภาพลวงตา หรือรูปแบบต่าง ๆ [15,16]

จากที่กล่าวมา ทำให้การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การเสนอวิธีการใช้คลื่นไฟฟ้าสมองจากการจินตนาการถึงภาพโดยใช้ภาพสั่นไหวจากการกระตุ้นคงตัวทางสายตาด้วยความถี่ที่แตกต่างกันเพื่อสร้างจังหวะ (Self-paced) ขึ้นเอง โดยปราศจากการมองเพื่อสร้างคำสั่งในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานกับผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรงในอนาคต

ระบบที่นำเสนอ



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยการจินตนาการภาพสั่นไหวคงตัวทางสายตา

งานวิจัยได้เสนอระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองการจินตนาการถึงภาพสั่นไหว โดยองค์ประกอบของระบบแสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วย 1) การกระตุ้นทางสายตา และการจินตนาการภาพเพื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานสมองที่เกี่ยวการรับรู้ทางการมองเห็น (Occipital) ทำการวัดและบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG acquisition) ประมวลสัญญาณและแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งไปยังคอมพิวเตอร์ การประมวลสัญญาณ (Signal processing) เพื่อปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะแก่การตรวจจับการตอบสนองจากการกระตุ้น มีการสกัดคุณลักษณะ (Feature extraction) เพื่อสร้างเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำแนก (Classification) เพื่อสร้างคำสั่ง และส่วนของการประยุกต์ใช้งานเพื่อนำคำสั่งที่สร้างขึ้นด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองไปควบคุมอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการ

กระบวนทัศน์การกระตุ้นทางการมองเห็น

การกระตุ้นคงตัวทางสายมีการประยุกต์ใช้ภาพกะพริบขาวดำที่ใช้กันทั่วไปในการกระตุ้นการมองเห็นของมนุษย์ โดยทำการเพิ่มตัวเลขวิ่งวนไปจนถึงค่าความถี่การกระพริบที่กำหนด ได้แก่ 5 Hz 7Hz และ 9 Hz ตัวอย่างรูปแบบที่ปรับปรุงแสดงดังภาพที่ 2 และทำการจัดเรียงดังภาพที่ 3 นอกจากนี้ได้เสนอรูปแบบการจินตนาการภาพสั่นไหวคงตัวเพื่อลดอาการล้าทางสายตาที่เป็นจุดอ่อนของวิธีการกระตุ้นคงตัวทางการมองเห็น การจินตนาการภาพสั่นไหวคงตัวจะใช้ภาพตัวเลขความถี่ 5 Hz 7Hz และ 9 Hz ที่ไม่มีการกระพริบ ดังภาพที่ 3 เพื่อช่วยในการจินตนาการถึงภาพกะพริบของแต่ละความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน



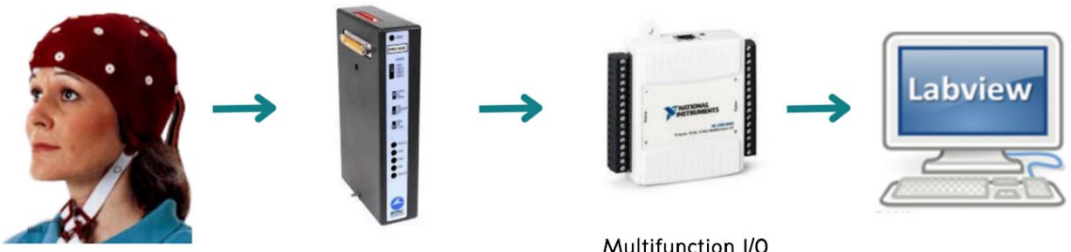
ภาพที่ 2 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตัวกระตุ้นคงตัวทางสายตาความถี่ 5 Hz



ภาพที่ 3 การจัดเรียงตัวกระตุ้นคงตัวทางสายตาและจินตนาการภาพ

การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง

วัดคลื่นไฟฟ้าสมองที่ตำแหน่ง O1 โดยมี Pz เป็นตำแหน่งอ้างอิง และ Cz เป็นตำแหน่งกราวด์ ด้วยหมวกอิเล็กโทรด (Electrode cap) เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ขยายสัญญาณ EEG100C ที่อัตราขยาย 50000 เท่า จากนั้นทำการกรองสัญญาณแบบแอนาลอกเพื่อลดสัญญาณรบกวนแบบช่วงความถี่แถบผ่านที่ 0.5–30 Hz จากนั้นสัญญาณแอนาลอกจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ด้วยอุปกรณ์ NI DAQ USB6009 เพื่อส่งไปยังคอมพิวเตอร์และทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW ในการสร้างคำสั่งสำหรับการควบคุมต่อไป ไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมองแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมและอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง

การประมวลสัญญาณและอัลกอริทึมในการจำแนก

การบันทึกค่าพื้นฐาน (Baseline): จะทำการบันทึกค่าความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลัง (Power Spectral Density: PSD) ของความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์มอนิกที่ 1 และ 2 (1st and 2nd Harmonics) ของความถี่มูลฐานเพื่อแยกความแตกต่างในการตอบสนองของการกระตุ้นคงตัวทางสายตา (SSVEP) โดยที่ค่าพื้นฐาน EEG ที่เกิดขึ้นเอง (B_i) แสดงถึงขนาดสูงสุดของค่าความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังที่ได้จากความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์มอนิกของมันตามสมการที่ 1 และกำหนดเกณฑ์ (T_i) ที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการจำแนกคำสั่งตามสมการที่ 2

$$B_i = max(f_i, f_{2i}, f_{3i}) \quad (1)$$

$$T_i = 1.5 \times B_i \quad (2)$$

ทำการคำนวณค่าความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังสูงสุดของความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์มอนิกด้วยสมการ 3

$$P_i = max(f_j, f_{2j}, f_{3j}) \quad (3)$$

การสกัดคุณลักษณะ การสกัดคุณสมบัติจะตรวจสอบการตอบสนอง SSVEP ว่าสูงกว่าค่าพื้นฐานหรือไม่ โดยผลลัพธ์ของความหนาแน่นของสเปกตรัม (A_i) จะแสดงถึงความแตกต่างระหว่าง P_i และ T_i เมื่อ i = 5 7 และ 9 ซึ่งคำนวณจากสมการ 4 จากนั้นนำ A_5 A_7 และ A_9 มาหาค่าตำแหน่งที่มีค่ามากสุด P_{out} ด้วยสมการ 5

$$A_i = \begin{cases} P_i - T_i & , \quad P_i - T_i > 0 \\ 0 & , \quad P_i - T_i \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$P_{out} = argmax[A_5, A_7, A_9] \quad (5)$$

การจำแนกสัญญาณ พารามิเตอร์จากการสกัดคุณลักษณะเข้ามาในระบบแบบเรียลไทม์จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ โดยจะทำการประมวลผลทุก 2 วินาที ซึ่งคำสั่งจะถูกจำแนกด้วยเงื่อนไขดังนี้

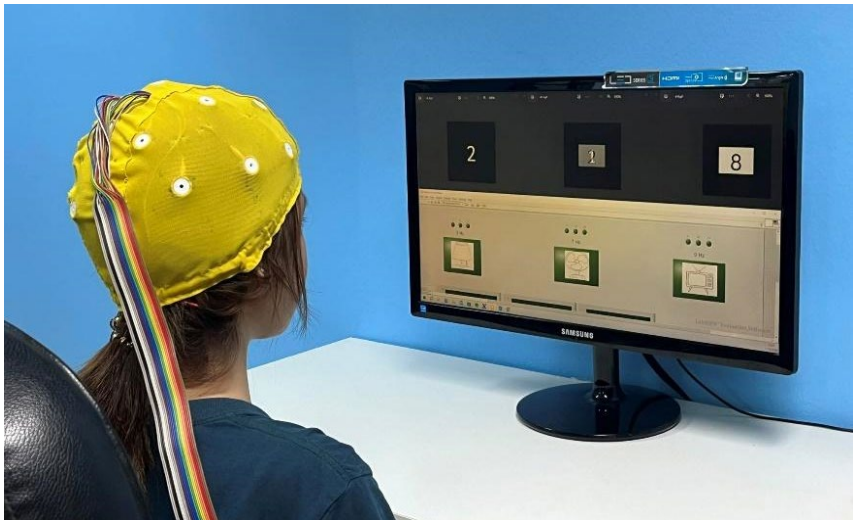
If	$\boldsymbol{P_{out}}$ = 1	กำหนดให้เป็น	“คำสั่งที่ 1”
If	$\boldsymbol{P_{out}}$ = 2	กำหนดให้เป็น	“คำสั่งที่ 2”
If	$\boldsymbol{P_{out}}$ = 3	กำหนดให้เป็น	“คำสั่งที่ 3”
Else	Otherwise	กำหนดให้เป็น	“ไม่มีคำสั่ง”

การทดลอง

การทดลองมีอาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 6 คน เป็นเพศหญิงจำนวน 4 คน และเพศชายจำนวน 2 คน มีอายุ 20–22 ปี อาสาสมัครนั่งหน้าจอคอมพิวเตอร์มีระยะห่าง 60 เซนติเมตร อาสาสมัครทำการสร้างคำสั่งผ่านส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้ดังภาพที่ 5 อาสาสมัครจะต้องสร้างคำสั่งด้วยการมองไปที่ตัวกระตุ้นเป้าหมายจำนวน 12 คำสั่งต่อหนึ่งรอบการทดลองตามลำดับ ดังตารางที่ 1 ผ่านการกระตุ้นสองรูปแบบ ให้ผู้ทดลองมองตัวกระตุ้นภาพกระพริบความถี่คงตัวและจินตนาการถึงภาพความถี่กะพริบที่ได้มอง การทดลองแต่ละรอบใช้เวลาทั้งสิ้น 3 นาที อาสาสมัครแต่ละคนทำการทดลองรูปแบบละ 3 รอบ ระหว่างรอบจะมีช่วงเวลาให้พัก 2 นาทีก่อนเริ่มรอบการทดลองถัดไป และมีระยะพักระหว่างเปลี่ยนรูปแบบเป็นเวลา 5 นาที จะใช้เวลาทั้งสิ้น ต่ออาสาสมัครหนึ่งราย 40 นาทีรวมการติดตั้งอุปกรณ์และให้ฝึกใช้งานระบบ

ตารางที่ 1 ลำดับเป้าหมายของการทดลอง

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
คำสั่ง	7 Hz	9 Hz	7 Hz	7 Hz	5 Hz	9 Hz	9 Hz	5 Hz	7 Hz	5 Hz	5 Hz	9 Hz



ภาพที่ 5 ตัวอย่างขณะทำการทดลอง

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 แสดงผลลัพธ์จากการทดลองกระตุ้นคงตัวทางสายตาและการจินตนาการภาพสั่นไหว พบว่าการกระตุ้นคงตัวทางสายตาที่นำเสนอมีค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกคำสั่งจากอาสาสมัครทุกรายอยู่ในช่วง 67.0% ถึง 83.0% และให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกเฉลี่ยเท่ากับ 69.6% ส่วนการจินตนาการภาพสั่นไหวมีค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกจากอาสาสมัครทุกรายอยู่ในช่วง 58.0% ถึง 75.0% และให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกเฉลี่ยเท่ากับ 63.8% การกระตุ้นสัญญาณสมองด้วยความถี่คงตัวทางสายตาให้ค่าความถูกต้องสูงสุดอยู่ที่ 83.0% จากอาสาสมัครคนที่ 1 ส่วนอาสาสมัครที่เหลือได้ค่าความถูกต้องอยู่ที่ 67.0% ส่วนการจินตนาการการมองเห็น อาสาสมัครคนที่ 5 ให้ค่าเฉลี่ยความถูกต้องสูงสุดอยู่ที่ 75.0% เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองวิธีการพบว่ากระตุ้นคงตัวทางสายตามีค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกมากว่าการจินตนาการภาพสั่นไหว อย่างไรก็ตามเมื่อสอบถามอาสาสมัครถึงอาการล้าทางสายตาพบว่า การจินตนาการภาพสั่นไหวมีระดับน้อยมาก

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ของการจำแนกคำสั่ง

อาสาสมัคร	ค่าความถูกต้องเฉลี่ยของการจำแนกคำสั่ง (%)	
	การกระตุ้นคงตัวทางสายตา	จินตนาการภาพกระพริบ
1	83.00	58.00
2	67.00	67.00
3	67.00	58.00
4	67.00	67.00
5	67.00	75.00
6	67.00	58.0
MEAN ± S.D.	69.6 ± 5.96	63.8 ± 6.41

อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้นำเสนอระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์โดยนำเสนอวิธีการกระตุ้นคงตัวทางสายตาด้วยภาพกระพริบ 3 ความถี่ คือ 5 Hz 7 Hz และ 9 Hz และมีการเสนอการจินตนาการภาพสั่นไหวคงตัวทางสายตาเพื่อลดอาการล้าทางสายตาด้วยภาพนิ่งของตัวเลขค่าความถี่ โดยทำการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการเลือกคำสั่งจากทั้งสองวิธีการ จากผลลัพธ์ทดลองพบว่า การกระตุ้นคงตัวทางสายตาให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ 69.7% ส่วนการจินตนาการภาพสั่นไหวให้ค่าความถูกต้องอยู่ที่ 63.8% ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระตุ้นการมองเห็นด้วยภาพคงตัวทางสายตาให้ค่าความถูกต้องได้สูงกว่า โดยที่อาสาสมัครจำนวนครึ่งหนึ่งใช้วิธีการกระตุ้นทางสายตาได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยความถูกต้องมีค่าน้อยซึ่งอาจเกิดจากความไม่คุ้นเคยในการใช้ระบบเชื่อมสมองกับคอมพิวเตอร์ของอาสาสมัคร อย่างไรก็ตามการจินตนาการภาพสั่นไหวให้ประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการกระตุ้นคงตัวทางสายตาด้วยภาพกระพริบเพื่อช่วยทดแทนในสภาวะที่มีการล้าทางสายตาหรือเสริมการตอบสนองทางการกระตุ้นคงตัวทางสายตาให้มีความชัดเจนมากขึ้นในการเพิ่มประสิทธิภาพจากวิธีการและระบบที่นำเสนอเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบเชื่อมต่อสมองกับคอมพิวเตอร์สำหรับเพิ่มความสามารถในการควบคุมและสื่อสารให้กับผู้พิการทางกายภาพขั้นรุนแรง ในอนาคตจะมีการปรับปรุงรูปแบบการกระตุ้นและพัฒนาอัลกอริทึมด้วยปัญญาประดิษฐ์ รวมถึงการทดสอบกับอาสาสมัครกลุ่มเป้าหมายเพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานนวัตกรรมสารสนเทศทางการแพทย์ สาขานวัตกรรมสารสนเทศทางการแพทย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และขอขอบพระคุณอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่านเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

1. Che Nawi CM, Mohd Hairon S, Wan Yahya WN, Wan Zaidi WA, Hassan MR, Musa KI. Machine Learning Application: A Bibliometric Analysis from a Half-Century of Research on Stroke. Cureus. 2023;15.
2. กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ [อินเทอร์เน็ต]. 2566; สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2566. ได้จาก: https://dep.go.th/th/homepage.
3. Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, Vaughan TM. Brain-computer interface for communication and control, **Clinical Neurophysiology**, 2002; 113(6): 767-791.
4. Nicolas-Alonso, L.F.; Gomez-Gil, J. Brain Computer Interfaces, a Review. **Sensors** 2012, 12, 1211-1279.
5. Mridha MF, Das SC, Kabir MM, Lima AA, Islam MR, Watanobe Y. Brain-computer interface: Advancement and challenges**. Sensors**. 2021;21: 5746.
6. Millán JdR, Rupp R, Mueller-Putz G, Murray-Smith R, Giugliemma C, Tangermann M, Vidaurre C, Cincotti F, Kubler A, Leeb A, Neuper C, Mueller K, Mattia D. Combining Brain–Computer Interfaces and Assistive Technologies: State-of-the-Art and Challenges. **Frontiers in Neuroscience**. 2010;4
7. Song Z, Fang T, Ma J, Zhang Y, Le S, Zhan G, Zhang X, Wang S, Li H, Lin Y, Jia J, Zhang L, Kang X. Evaluation and Diagnosis of Brain Diseases based on Non-invasive BCI. **2021 9th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI),** 1-6.
8. Casey A, Azhar H, Grzes M, Sakel M. BCI controlled robotic arm as assistance to the rehabilitation of neurologically disabled patients. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**. 2021;16: 525-537.
9. Kerous B, Skola F, Liarokapis F. EEG-based BCI and video games: A progress report. **Virtual Real**. 2018;22:119-135.
10. Lanka L, Dhulipalla DK, Karumuru SB, Yarramaneni NS, Dhulipalla VR. Electroencephalography (EEG) based Home Automation for Physically Challenged People using Brain Computer Interface (BCI). In: **Proceedings of the 5th International Conference on Inventive Computation Technologies, ICICT** 2022, 683–687.
11. Amiri S, Rabbi A, Azinfar L, Fazel-Rezai R. A Review of P300, SSVEP, and Hybrid P300/SSVEP Brain-Computer Interface Systems [Internet]. **Brain-Computer Interface Systems – Recent Progress and Future Prospects.** InTech; 2013. Available from: http://dx.doi.org/10.5772/56135
12. Lee SH, Lee M, Lee SW. Neural Decoding of Imagined Speech and Visual Imagery as Intuitive Paradigms for BCI Communication**. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**. 2020;28(12): 2647-2659.

13. Kilmarx J, Gamper H, Emmanouilidou D, Johnston D, Cutrell E, Wilson AD, Tashev IJ. Investigating Visual Imagery as a BCI Control Strategy: A Pilot Study. **2022 10th International Winter Conference on Brain–Computer Interface (BCI)**, 1–6.
14. Lee, S., Jang, S., & Jun, S. C. (2022). Exploring the Ability to Classify Visual Perception and Visual Imagery EEG Data: **Toward an Intuitive BCI System**. Electronics (Switzerland), 11(17).
15. Floriano A, Rodríguez DD, Diez PF, Filho TF. Assessment of high–frequency steady–state visual evoked potentials from below–the–hairline areas for a brain–computer interface based on Depth–of–Field. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**. 2019;184: 105271.
16. Angrisani L, Arpaia P, De Benedetto E, Duraccio L, Regio FL, Tedesco A. Wearable Brain–Computer Interfaces Based on Steady–State Visually Evoked Potentials and Augmented Reality: A Review. **IEEE Sensors Journal.** 2023;23: 16501–16514.
17. Che Nawi CM, Mohd Hairon S, Wan Yahya WN, Wan Zaidi WA, Hassan MR, Musa KI. Machine Learning Application: A Bibliometric Analysis from a Half–Century of Research on Stroke. **Cureus**. 2023;15: 1–12.
18. Maslova O, Komarova Y, Shusharina NN, Kolsanov A, Zakharov AV, Garina E, Pyatin V. Non–invasive EEG–based BCI spellers from the beginning to today: a mini–review. **Frontiers in Human Neuroscience**. 2023;17.

พัฒนาหลักสูตรเสริมสร้างสมรรถภาพด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารโดยใช้เมตริกซ์การเชื่อมโยงระหว่างสมรรถนะของครูและผู้เรียน

The development of enrichment curriculum to enhance Information Communication Technology (ICT) Competency using teachers–learners of the teaching profession competency matrix

ปริญญา บรรณเภสัช[1*]
Parinya Bannaphesut[1*]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบหลักสูตรเสริมเพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารโดยใช้เมตริกซ์การเชื่อมโยงระหว่างสมรรถนะของครูและนักศึกษา เพื่อศึกษาประสิทธิภาพรูปแบบการประเมินความเหมาะสมรูปแบบที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาหลังจากใช้รูปแบบการเรียนแบบใหม่และ เปรียบเทียบคะแนนผลการเรียนและความคิดก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาที่เรียนโดยใช้ชุดบทเรียนแบบใหม่และศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อรูปแบบการเรียนแบบใหม่ โดยนำเสนอบูรณาการสมรรถนะครูด้าน ICT ที่กำหนดตามมาตรฐานยูเนสโก้ (Unesco ICT)

การออกแบบชุดสมรรถนะด้าน ICT ของครูคอมพิวเตอร์สามารถพัฒนาสมรรถนะได้ 2วิธี คือ ใช้ฟอร์มเป็นตัวกำหนดวิธีการสร้างหลักสูตรเสริมด้าน ICT และ ใช้วิธี TPCK พัฒนาหลักสูตรสร้างสมรรถนะของครูที่ได้รับความรู้ด้านเทคโนโลยี มาพัฒนาร่วมกันได้หลักสูตรที่ครอบคลุมเทคโนโลยีการสอนและเนื้อหา โดยนำเสนอวิธีการใหม่ในการกำหนดชุดสมรรถนะด้าน ICT และสมรรถนะด้านครูผู้สอนมาบูรณาการเข้ากับนักศึกษาที่พัฒนาโดยใช้ชุดรูปแบบเมตริกซ์ดังกล่าว

กลุ่มตัวอย่างประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษาวิชาชีพครูชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยจำนวน 100 คน ผู้วิจัยทดลองกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 36 คน โดยวิธีสุ่มแบบแบ่งกลุ่มโดยวิธีจับสลาก เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่เรียนรู้โดยใช้บทเรียนผ่านเว็บออนไลน์ด้วยรูปแบบการสอนที่สร้างขึ้น วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าฐานนิยม t–test แบบ dependent

ผลการวิจัยพบว่า ได้ชุดสมรรถนะที่มีบทเรียนที่เหมาะสมกับสมรรถนะด้าน ICT ของผู้เรียนตามหลักสูตรแกนกลางและ สมรรถนะของครูด้าน ICT ที่กำหนดในมาตรฐานยูเนสโก้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ 82.50/80.10 โดยผู้ใช้สามารถเข้าใจระบบและเนื้อหาได้โดยง่ายซึ่งระบบช่วยให้อาจารย์สามารถสอนนักศึกษาให้เข้าใจได้มากขึ้นนักศึกษาสามารถเตรียมตัวก่อนเรียนและทบทวนได้ตลอดเวลา และค่าเฉลี่ยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีความสัมพันธ์

[1] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
[1] Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12121
* Corresponding author: parinya_b@rmutt.ac.th

ในทางเดียวกัน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนโดยใช้รูปแบบการเรียนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักศึกษามีความพึงพอใจต่อการเรียนโดยใช้ชุดบทเรียน ICT ตามมาตรฐานยูเนสโก้ (Unesco ICT) ด้วยรูปแบบการสอนที่พัฒนาขึ้นในระดับมาก และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ได้อย่างคุ้มค่า

คำสำคัญ: การพัฒนาหลักสูตร,สมรรถนะ,เมตริกซ์, ระบบการประเมินผลออนไลน์, การเชื่อมโยง

Abstract

The purposes of this research were to construct Development of The Development Of enrichment Curriculum to enhance Information Communication Technology (ICT) Competency Using Teachers–Students of the Teaching Profession Competency Matrix. The proposed model is developed for instructors and Students in order to teach and learn more effectively. Students to study correlation between learning achievement of students between experimental group learned by instructional and control group learned by web–based instruction and creative thinking score after learning via the Learning Package, to compare creative thinking score between before and after learning via ICT Competency Courses for Computer teacher Using Teacher–Students Competency Matrix, to compare the pre–test and the post–test learning achievement score and study the students satisfaction toward the ICT Competency Package online learning with the constructed instructional model by researcher. The Unesco ICT Competency Standard for teacher.

The Design of teacher's Competency, a curriculum can be defined to train the teacher to acquire the desired level of Competency. The curriculum can be structured using form based approach or using the TPCK technique. Both techniques consider only the competency of teacher. A New technique is proposed based on teacher–Learner Competency Matrix (TL Matrix).

The population for the research was 100 students who study in University Bangkok. The subject for the experiment phase was 36 students who were selected by cluster random sampling. The data were analyzed by percentage, mean, standard deviation and Mode, t–test and Pearson product moment correlation coefficient. The main features of ICT Course and Evaluation,etc. There are learning who work evaluation committee Content and model. They found that the appropriated evaluation level was very high level. It was evaluated by instructors result was in high level.

The result of the research were found that the efficiency of the TL Matrix ICT Package Learning met the criteria score at 82.50/80.10, using scores to determine a correlation coefficient for the learning achievement had significantly positive relationship with the creative at the level of .05 after using TL Matrix ICT Package Learning the students and learning achievement scores were significantly increased at .05 level, and the students were satisfied with Electronic Base Learning Package at 'high' level. The Unesco ICT Competency Standard for Teachers and The Students ICT Competency as defined Core Curriculum of Basic Education are Used to Create the TL Matrix. The Composite Competency sets are then derived and Shown to Create Subjects for teacher training Curriculum in ICT.This style of learning is a fully student–center approach.

Keyword: Development curriculum, Competency, Matrix, enhance Information communication technology (ICT), E–evaluation, Connectivism

บทนำ

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติปี พ.ศ.2542 ซึ่งเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและยุทธศาสตร์เพื่อการศึกษาตลอดชีวิตกระบวนการจัดการศึกษาที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาได้ตามธรรมชาติและเต็มศักยภาพของตนเอง นอกจากนั้นตามยุทธศาสตร์ชาติด้านการศึกษาที่ส่งเสริมและพัฒนาการศึกษาเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (e-Education) ที่เป็นการสร้างความรู้และความสามารถโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) เป็นเครื่องมือทั้งนี้เพื่อการก้าวไปสู่สังคมแห่งภูมิปัญญา และการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยเป็นสถาบันการศึกษาในระดับอุดมศึกษาที่พัฒนาความรู้ความสามารถให้กับครูในทศวรรษเพื่อหาคุณลักษณะครูที่พึงประสงค์ในด้านวิชาชีพ ด้านลักษณะความเป็นครู ด้านทักษะวิชาชีพครู ด้านการมีส่วนร่วมการพัฒนาชุมชน โดยครูต้องเป็นนักเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารและติตามเทคนิคความก้าวหน้าวิธีการสอนโดยเรียนรู้ตลอดเวลาอย่างต่อเนื่องโดยครูต้องมีสมรรถภาพด้าน ICT และนำไปพัฒนาหลักสูตรการสอนแบบบูรณาการที่ฝึกปฏิบัติจริงในการพัฒนาสมรรถภาพครูเพื่อพัฒนาสมรรถภาพด้าน ICT สำหรับครูและผู้เรียนในการเชื่อมโยงภาคทฤษฎีและปฏิบัติให้ได้รับความรู้ใหม่ที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโดยใช้รากฐานความรู้เดิมและความรู้ใหม่มาพัฒนาเกิดการเรียนรู้และมีพฤติกรรมในการปรับเปลี่ยนของผู้เรียนและครูได้ ที่สำคัญบุคคลได้มีการพัฒนาตนเองเพื่อนำไปสู่การพัฒนาประเทศให้มีความเจริญก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องสู่การเรียนรู้รูปแบบใหม่

วิธีการศึกษา

วัตถุประสงค์

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้มีวัตถุประสงค์หลัก ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษากรอบสมรรถนะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารขององค์การยูเนสโก้(Unesco)ในการนำมาพัฒนารูปแบบสมรรถนะวิชาชีพครูคอมพิวเตอร์ให้เป็นมาตรฐาน
2. เพื่อพัฒนารูปแบบหลักสูตรในการสร้างสมรรถนะสำหรับครูและผู้เรียนทางด้านเทคโนโลยีสารเทศและการสื่อสาร (ICT) โดยใช้การเชื่อมโยงระหว่างสมรรถนะสำหรับครูและผู้เรียนที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพ
3. เพื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนกับคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของรูปแบบสำหรับครูและผู้เรียน
4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของครูและผู้เรียนที่เรียนรู้โดยใช้ชุดบทเรียนที่พัฒนาขึ้น

ขอบเขตด้านเนื้อหา

ในการวิจัยการพัฒนาหลักสูตรเสริมเพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารโดยใช้เมตริกซ์การเชื่อมโยงระหว่างสมรรถนะของครูและผู้เรียน

ผู้วิจัยได้ใช้รายวิชาในหลักสูตรการศึกษาของมหาวิทยาลัยทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) ซึ่งเป็นวิชา ระบบคอมพิวเตอร์ในภาควิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ นอกจากนั้นยังได้สร้างระบบห้องปฏิบัติการเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (e-Laboratory) ขอบเขตของเนื้อหาสนับสนุนให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงบทเรียนได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 หลักสูตรเพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) โดยใช้การเชื่อมโยงระหว่างสมรรถนะสำหรับครูและผู้เรียน

1.2 พัฒนารูปแบบชุดรายวิชาเพื่อสร้างสมรรถนะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำหรับครูและผู้เรียนได้ตามมาตรฐานหลักสูตร

1.3 ผู้เรียนสามารถศึกษาเรียนรู้ได้ด้วยตนเองผ่านระบบ

1.4 ผู้เรียนสามารถสร้างปฏิสัมพันธ์กับผู้สอนตลอดจนกิจกรรมต่างๆร่วมกับผู้เรียนคนอื่นผ่านระบบ

1.5 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองหลักสูตรเสริมได้แก่ ครูผู้สอนและผู้เรียนคือนักศึกษามีการให้นักศึกษาได้ทดสอบความรู้ก่อนและหลังจากการจบบทเรียน

1.6 มีการประมวลผลความรู้หลังจากที่นักศึกษาเรียนจบบทเรียน

1.7 สร้างระบบการประเมินเนื้อหาและรูปแบบและรูปแบบการประเมินผลผ่านระบบออนไลน์

ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1.1 ประชากร ได้แก่ ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาวิชาชีพครูชั้นปีที่ 1 จำนวน 100 คนลงทะเบียนรายวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ นักศึกษาวิชาชีพครู ชั้นปีที่ 1 จำนวน 36 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม เพื่อหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อรูปแบบการเรียนเชิงอิเล็กทรอนิกส์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

James David Reye,2002 นักศึกษาปริญญาเอกคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย Griffith University ประเทศออสเตรเลีย ได้ทำวิทยานิพนธ์"Dynamic Planning for Flexible Tutoring" การศึกษาทฤษฎีการสอนเสริมแบบยืดหยุ่นพบว่า การสอนเสริมแบบยืดหยุ่นที่กำหนดวัตถุประสงค์แบบพลวัตช่วยให้ผู้เรียนสามารถเลือกทางที่ดีและถูกต้องได้ โดยวิธีการปรับเปลี่ยนวัตถุประสงค์การเรียนรู้ตามผู้เรียนโดยอิงจากพฤติกรรมผู้เรียน [5]

นายวินเซ็นโซ ดีวิโต (Vincenzo Devito) ของสถาบันโนว์เลจซิสเต็มส์ (Knowledge System Institute) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำวิทยานิพนธ์ " A Survey of Distance Learning" การศึกษาทางไกลนิยามจากการวางแผนการสอน การเรียน ด้วยการใช้เทคโนโลยีที่หลากหลายสำหรับการเข้าถึงผู้เรียนที่อยู่ห่างไกล ซึ่งไม่สะดวกในการเข้าเรียนตามระบบห้องเรียนแบบดั้งเดิม และสถานศึกษาสำหรับการศึกษาทางไกล นอกจากนั้นมีรูปแบบที่แตกต่างกันของการศึกษาทางไกลมี 2 ลักษณะ คือ Synchronous การเรียนแบบถ่ายทอดสด real time และ Asynchronous เป็นการเรียนหลังจากการสอนสดโดยเรียนจากเครื่องบันทึกการสอน ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้อ้างถึงระบบการศึกษาทางไกลของ New York University, Knowledge Systems Institute, และ Wayne state University

ทิพย์เกสร บุญอำไพ,2542 นักศึกษาปริญญาดุษฎีบัณฑิต ของสถาบัน ภาควิชาโสตทัศนศึกษาบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้จัดทำการพัฒนาระบบการสอนเสริมทางไกลผ่านอินเทอร์เน็ตขมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ซึ่งแสดงรูปแบบการเรียนการสอนทางไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในรูปแบบการเรียนโดยสามารถศึกษาได้จากทุกสถานที่ [8]

บุญเรือง เนียมหอม,2542 นักศึกษาปริญญาครุศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาโสตทัศนศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำวิทยานิพนธ์หัวข้อเรื่อง “การพัฒนาระบบการเรียนการสอนทางอินเทอร์เน็ตในระดับอุดมศึกษา "โดยจัดทำรูปแบบกระบวนการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายในระดับอุดมศึกษาเพื่อเปรียบเทียบศักยภาพรูปแบบการเรียนการสอนแบบเดิมและการนำมาพัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีมาใช้เป็นสื่อในกระบวนการเรียนการสอน [9]

การจัดรูปแบบการเรียนการสอนผ่านเว็บแบบผสมผสานเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (E-Learning)

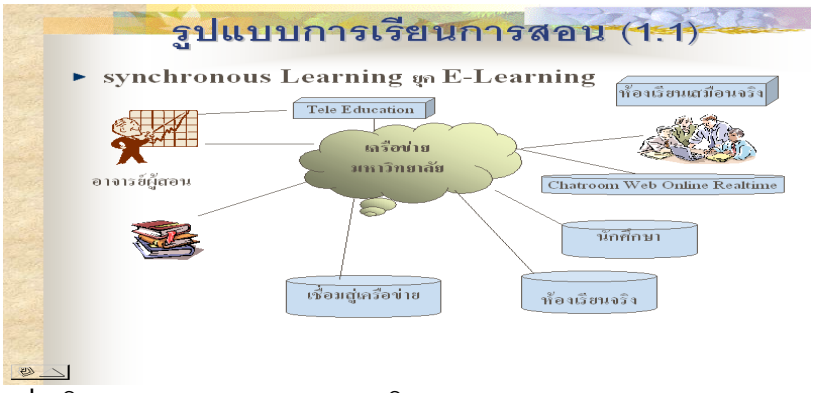
ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีมาช่วย ด้านการเรียน การสอน โดยมุ่งเน้นผู้เรียนเข้าถึงผู้เรียนได้ทุกเวลาทุกสถานที่ โดยจัดระบบการเรียนการสอน ซึ่งมีการเปลี่ยนรูปแบบจากเดิมโดยแบ่งการเรียนการสอนเป็นแบบซิงโคนัส (Synchronous Learning) และอะซิงโคนัส (Asynchronous Learning)

. **E-Learning** มีคำที่ใช้ใกล้เคียงกันอยู่หลายคำเช่น Distance Learning (การเรียนทางไกล) Computer based training (การฝึกอบรมโดยอาศัยคอมพิวเตอร์ หรือเรียกย่อๆว่า CBT) online learning (การเรียนทางอินเทอร์เน็ต หรือการเรียนการสอนออนไลน์) และยังมีคำอื่นๆอีกหลายคำ ในที่นี้จะขอใช้ ความหมายของ e-Learning ว่า "เป็นรูปแบบของการเรียนรู้โดยอาศัยเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในการ ถ่ายทอดหรือสนับสนุน หรือการปฏิสัมพันธ์ (ในไม่ช้านี้อาจจะไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์แล้ว) เครือข่ายดังกล่าวอาจจะเป็นInternet หรือ LAN (การเชื่อมต่อภายในโรงเรียนหรือมหาวิทยาลัย) หรือแม้กระทั่ง WAN (การเชื่อมต่อ ในวงกว้างขึ้นเช่นในองค์กรหรือบริษัท) การเรียนแบบ e-Learning อาจเป็นแบบเรียนเป็นรายคน โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ หรือเรียนเป็นหมู่ก็ได้ การเรียนแบบออนไลน์ ดังกล่าวนี้จะมีลักษณะพิเศษอยู่ สองประการ

โมเดลแบบ ซิงโคนัส (Synchronous)

เป็นการเรียนการสอนที่มีการนัดเวลา นัดสถานที่ นัดตัวบุคคล เพื่อให้เกิดการเรียนการสอน มีการกำหนดตารางเวลา หรือตารางสอนซึ่งเป็นรูปแบบการโต้ตอบทันทีทันใด เช่นการเรียนในชั้นเรียน การพูดคุย (Chat) การเขียนข้อความทาง Web board, การประชุมทางไกล (teleconference, videoconference) หรือ MOOs หรือ MUDs การพูดคุยแบบเสมือนจริงโดยมีผู้พูด ร่วมกันทีเดียวหลายๆคน

เทคโนโลยีสารสนเทศที่เข้ามาช่วยในเรื่องการนำเสนอเนื้อหาบทเรียนของอาจารย์ผู้สอน เครื่องมือช่วย เช่น ระบบสไลด์ เพาเวอร์พอยด์ ระบบจำลองรูปภาพ ระบบการนำเครื่องมือช่วยสอน และจำลองสถานการณ์ต่างมาใช้ให้นิสิตเรียนรู้ได้ง่าย และสร้างความกระตือรือร้นในการเรียนการสอน (Active) ขณะเดียวกันก็สามารถลดเวลาในการเรียนรู้ได้มาก ดังแสดงดังรูป



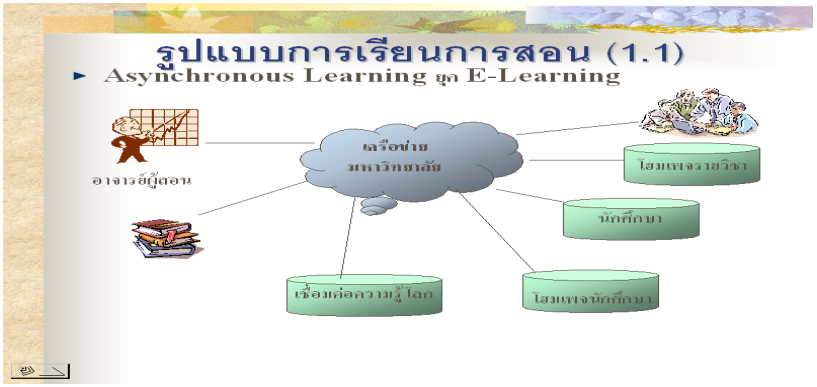
ภาพที่ 1 โมเดลการเรียนการสอนแบบซิงโครนัส (Synchronous Learning)

ตัวอย่างรูปแบบการเรียน การสอน เช่น การบันทึกรายการเรียน บันทึกการสอน การวัดผล การติดตามผล ช่วยรับส่งข้อมูลข่าวสาร และสามารถบันทึกกิจกรรมการสอนทั้งหมดไว้ เช่น เมื่อมีการเรียนการสอนทางไกลวีดีโอคอนฟีเรนซ์ก็สามารถบันทึกการสอนทั้งหมดแล้วใส่ไว้ใน วีดีโอเซิร์ฟเวอร์เพื่อเรียกดูภายหลังได้

โมเดลแบบอะซิงโคนัส (Asynchronous)

ระบบอะซิงโคนัส ปัจจุบันนิยมการเรียนการสอนผ่านเว็บโดยมีบทเรียนและเครื่องมือที่ช่วยในการเรียนการสอนอยู่บนเว็บ มีการสร้างโฮมเพจประจำวิชา มีการให้นิสิตมีโฮมเพจของตนเพื่อเข้ามาเรียนรู้แบบออนไลน์ เรียนรู้ตามความต้องการอัธยาศัย (On demand)

เครื่องมือที่ช่วยได้แก่ ระบบอีเมล์ที่ช่วยในการติดต่อสื่อสารระหว่างอาจารย์กับนิสิต และนิสิตกับนิสิตด้วยกันเอง เว็บบอร์ดกระดาน ที่ใช้เป็นประโยชน์ในเรื่องการแลกเปลี่ยนข่าวสาร ข้อคิดเห็น โฮมเพจเป็นบทเรียนให้นักศึกษาได้ด้วยตนเอง การเรียนรู้การรับส่งการบ้าน และสามารถติดต่ออาจารย์โต้ตอบได้ทันที แสดงดังรูป



ภาพที่ 2 โมเดลการเรียนการสอนแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Learning)

แบบ Asynchronous (การโต้ตอบแบบทิ้งช่วงเวลา เช่น ผู้เรียนติดต่อกับ ผู้สอนภายหลังโดยใช้ Email, Listservs (การติดต่อผ่านผู้จัดรายการเป็นกลุ่ม) Web Forums (การอภิปรายผ่านทางเครือข่าย) เป็นต้น

ผลการศึกษา

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การจัดการเรียนการสอนผ่านเว็บ แบบผสมผสานสำหรับมหาวิทยาลัย ผู้สอนและผู้เรียนจะต้องมีปฏิสัมพันธ์กันมีขั้นตอนการจัดการเรียนการสอน

1.1 กำหนดวัตถุประสงค์ของการเรียน

1.2 การวิเคราะห์ผู้เรียน

1.3 การออกแบบเนื้อหารายวิชา

1.3.1 เนื้อหาตามหลักสูตรและสอดคล้องตรงความต้องการผู้เรียน

1.3.2 จัดลำดับเนื้อหา จำแนกหัวข้อตามหลักการเรียนรู้

1.3.3 กำหนดระยะเวลาและตารางการศึกษาในแต่ละหัวข้อ

1.3.4 กำหนดวิธีการศึกษา

1.3.5 กำหนดสื่อที่ใช้ประกอบการศึกษา

1.3.6 กำหนดวิธีการประเมินผล

1.3.7 กำหนดความรู้และทักษะพื้นฐานที่จำเป็น

1.3.8 สร้างประมวลรายวิชา

1.4 การกำหนดกิจกรรมการเรียนการสอนอินเทอร์เน็ต

1.5 การเตรียมความพร้อมสิ่งแวดล้อม การเรียนการสอนทางอินเทอร์เน็ต ได้แก่

1.5.1 สำรวจแหล่งทรัพยากรสนับสนุนการเรียนการสอน

1.5.2 กำหนดสถานที่และอุปกรณ์ที่ให้บริการและที่ต้องใช้ในการติดต่อ

1.5.3 สร้างเว็บเพจเนื้อหาความรู้ตามหัวข้อของการเรียนการสอน

1.5.4 สร้างแฟ้มข้อมูลเนื้อหาวิชาเสริมการเรียนการสอนสำหรับการถ่ายโอน

1.6 การปฐมนิเทศผู้เรียน ได้แก่

1.6.1 แจ้งวัตถุประสงค์ เนื้อหา และวิธีการเรียนการสอน สำรวจความพร้อมของผู้เรียน

1.6.2 จัดการเรียนการสอนตามแบบที่กำหนดไว้โดยการใช้ข้อความเร้าความสนใจที่อาจเป็นภาพกราฟิก ภาพเคลื่อนไหว

1.6.3 แจ้งวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของรายวิชาหรือหัวข้อในแต่ละสัปดาห์

1.6.4 สรุปทบทวนความรู้เดิมหรือโยงไปหัวข้อ

1.7 จัดการเรียนการสอนตามแบบที่กำหนดไว้โดยในเว็บเพจจะมีเทคนิคและกิจกรรมที่สามารถสร้างขึ้นได้แก่

1.7.1 การใช้ข้อความเร้าความสนใจที่อาจเป็นภาพกราฟิก ภาพเคลื่อนไหว

1.7.2 แจ้งวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของรายวิชา หรือหัวข้อในแต่ละสัปดาห์

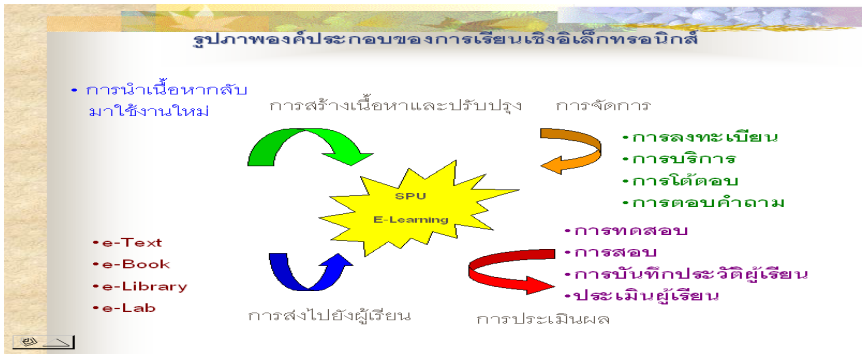
1.7.3 สรุปทบทวนความรู้เดิมหรือโยงไปหัวข้อที่ศึกษาแล้ว

1.7.4 เสนอกิจกรรม แบบฝึกหัด หนังสือหรือบทความ การบ้าน การทำรายงานเดี่ยวรายงาน กลุ่มในแต่ละสัปดาห์ และแนวทางในการประเมินผล

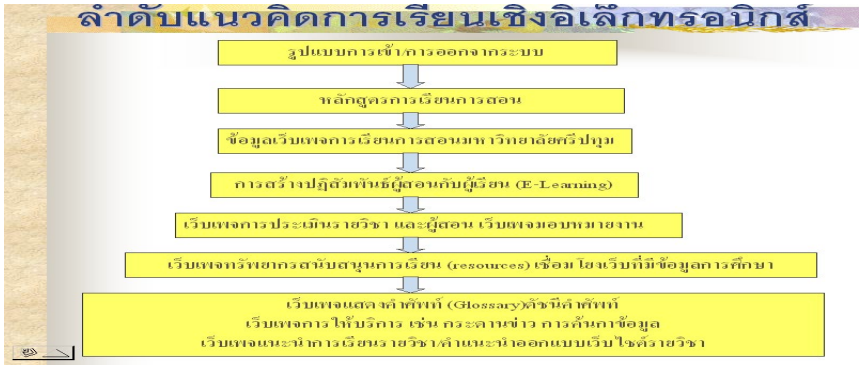
1.7.5 ผู้เรียนทำกิจกรรม ศึกษา ทำแบบฝึกหัดและการบ้านส่งผู้สอนทั้งทางเอกสารทางเว็บเพจและส่งผลงานของตนเองเพื่อให้ผู้เรียนคนอื่น

1.7.6 ผู้สอนตรวจผลงานของผู้เรียนส่งคะแนนและข้อมูลย้อนกลับเข้าสู่เว็บเพจประวัติผู้เรียน

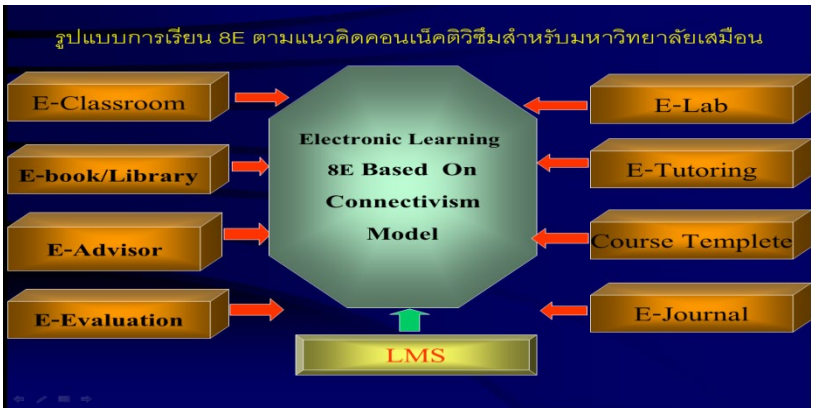
1.8 การประเมินผล ผู้สอนสามารถใช้การประเมินผลระหว่างเรียนและการประเมินผลเมื่อสิ้น สุดการเรียนรวมทั้งการเรียนการประเมินผลผู้สอนประเมินผล



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของการเรียน



ภาพที่ 4 ลำดับแนวคิดการเรียนเชิงอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 5 รูปแบบการเรียนเชิงอิเล็กทรอนิกส์ 8E

ผลที่ได้จากการวิจัยครั้งที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 8 ส่วนได้แก่

1.E-Classroom เป็นห้องเรียนเชิงอิเล็กทรอนิกส์หรือห้องเรียนเสมือน

2.E-Lab เป็นการสร้างระบบห้องปฏิบัติการเชิงอิเล็กทรอนิกส์โดยเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติตามบทเรียนเสมือนที่อยู่ในห้องปฏิบัติการจริง

3.E-Course Template เป็นรูปแบบการสร้างโครงการสอนในรายวิชาต่างๆ สำหรับอาจารย์ผู้สอนสามารถสร้างโครงการสอนสำเร็จรูปได้โดยง่ายทั้งนี้ผู้เรียนสามารถเข้ามาศึกษาในแต่ละรายวิชาตามที่ได้กำหนดไว้ใน Course List

4.E-Advisor เป็นระบบอาจารย์ที่ปรึกษาเชิงอิเล็กทรอนิกส์ หมายถึงส่วนผู้เรียนที่เข้ามาปรึกษาอาจารย์ทั้งเรื่องการเรียนและส่วนตัว มีคำถามที่พบบ่อย กระดานถามตอบปัญหาอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้เรียน และอาจารย์ที่ปรึกษาสามารถตรวจดูรายชื่อนักศึกษาภายใต้การดูแลได้ นอกจากนั้นนักศึกษาสามารถนัดหมายเพื่อเข้าพบอาจารย์ที่ปรึกษาได้

5.E-Tutoring เป็นระบบห้องสอนเสริมเชิงอิเล็กทรอนิกส์โดยเน้นรูปแบบห้องเรียนเสริม โดยเริ่มการสมัครสมาชิก มีแบบทดสอบก่อนเรียน และการจัดลำดับคะแนนสูงสุด

6.E-book/E-Library ระบบห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์ที่รวมหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

7.E-Journal วารสารและบทความอิเล็กทรอนิกส์ในเว็บไซต์ที่กำหนดโดยระบบได้ทำการเชื่อมโยงไปยังวารสารที่มีการเผยแพร่ตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการ

8.E-Evaluation เป็นระบบการประเมินผลการเรียนการสอนเชิงอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วย การประเมินอาจารย์ผู้สอนในแต่ละรายวิชาและแสดงผลในรูปแบบสถิติและกราฟ นอกจากนี้มีการสร้างแบบสำรวจความคิดเห็นโดยสร้างหัวข้อที่น่าสนใจ (E-Poll) โดยให้อาจารย์ผู้สอนทำการสร้างโพแบบสำเร็จรูปได้การประเมินผลของระบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน ผลการประเมินด้านเนื้อหาและการออกแบบเว็บในภาพรวม 8 ด้าน พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมมากที่สุด ($\bar{x}$=4.48) แสดงให้เห็นว่าระบบที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงกับผู้เรียน ได้บทเรียนเชิงอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ 81.53/80.10 โดยผู้ใช้สามารถเข้าใจระบบและเนื้อหาได้โดยง่ายซึ่งระบบช่วยให้อาจารย์สามารถสอนนักศึกษาให้เข้าใจได้มากขึ้นนักศึกษาสามารถเตรียมตัวก่อนเรียนและทบทวนได้ตลอดเวลา และค่าเฉลี่ยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01และความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนโดยใช้รูปแบบการเรียนมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักศึกษามีความพึงพอใจต่อการเรียนโดยใช้บทเรียนผ่านเว็บออนไลน์ได้รูปแบบการสอนที่พัฒนาขึ้นในระดับ

มาก และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ได้อย่างคุ้มค่าและประหยัดเวลาในการเรียนรู้ผลการประเมินทัศนคติและความคิดเห็นของนักศึกษามหาวิทยาลัย จำนวน 100 คนพบว่ามีระดับความคิดเห็นอยู่ในเกณฑ์ระดับที่เห็นด้วยมาก($\bar{x}$=4.17) กับการนำการเรียนเชิงอิเล็กทรอนิกส์มาประกอบการเรียนการสอนควบคู่ภายในห้องเรียนปกติ

อภิปรายและสรุปผล

การพัฒนารูปแบบการเรียนมีรูปแบบที่มีความเหมาะสมต่อการเรียนเป็นอย่างมากเห็นได้จากการประเมินผู้เชี่ยวชาญและการใช้งานของนักศึกษาในมหาวิทยาลัยโดยเฉพาะผู้เรียนนั้นสามารถเรียนได้ตลอดเวลาและช่วยให้การเรียนการสอนในห้องปกติมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเรียนในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถลดค่าใช้จ่ายและประหยัดเวลาลงได้มากเมื่อเทียบกับการเรียนในห้องปกติ ผลโดยรวมพบว่าการเรียนเชิงอิเล็กทรอนิกส์นั้นประกอบไปด้วยหลายองค์ประกอบย่อย ผู้เรียนมีโอกาสทบทวนบทเรียนหลังเลิกเรียนได้ตามความต้องการแสดงให้เห็นว่าการเรียนเชิงอิเล็กทรอนิกส์ใช้เป็นส่วนประกอบหรือสื่อเสริมเพื่อทำให้การเรียนในรูปแบบปกติได้ประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สิ่งสำคัญผู้เรียนต้องมีวินัยและความรับผิดชอบตัวเองและเพิ่มประสิทธิภาพระบบการเรียน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณงานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจาก วช. และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และการได้รับการตีพิมพ์ที่มหาวิทยาลัยพะเยา ผู้วิจัยขอขอบพระคุณยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. Porter Lynnette R. Creating the Virtual Classroom: Distance Learning with the Internet, Wiley Computer Publishing, USA. 1997.
2. Kenneth E., Kendall and Julie E. Kendall. System Analysis and Design, 4thed, NewYork, McGraw – Hill. 1996.
3. Rosenberg. Marc J. e-Learning: Strategies for Delivering Knowledge in the Digital Age, McGraw-Hill. 2001.
4. B.H.Khan, ED. Web-Based Instruction. Englewood, Cliffs NJ. Educ. Technol. Pub. 1997.
5. James David Reye. Dynamic planning for Flexible Tutoring. Doctor of Philosophy. Faculty of Science and Technology Griffith University. Australia. 2002.
6. สาโรช โศภีรักษ์. ระเบียบวิธีวิจัยขั้นสูงทางเทคโนโลยีการศึกษา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551.
7. ยืน ภู่วรรณ. ไอซีทีเพื่อการศึกษาของไทย. ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2546.
8. ทิพย์เกสร บุญอำไพ. การพัฒนาระบบการสอนทางไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาคุรุศาสตรดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาโสตทัศนศึกษา. จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย. 2542.
9. บุญเรือง เนียมหอม. การพัฒนาระบบการเรียนการสอนทางอินเทอร์เน็ตในระดับอุดมศึกษา. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาคุรุศาสตรดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาโสตทัศนศึกษา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
10. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542. พริกหวานการพิมพ์ จำกัด.
11. ถนอมพร เลาหจรัสแสง. การศึกษาผ่านระบบเครือข่าย e- Learning. วารสารด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 513. (16-31 ตุลาคม 2543). 2542. หน้า 21-26.

การลดก๊าซเรือนกระจกจากการลดการเดินทางเมื่อมีการใช้งานแพลตฟอร์มดิจิทัล กรณีศึกษา การขอรับบริการจากหน่วยงานราชการระดับท้องถิ่น

Greenhouse gas emission reduction from the transportation reduction by using digital platform case study: Requesting services from local government agencies

จตุรวิชญ์ จันทร์ฉาย[1*], กรกนก ทองทา[1], กฤษณะ วังสอง[1], วัชริศ สุชาตตระกูล[1], ดนุพล ศรีหนองแสง[1] และ วนาวัลย์ ปรากฏ[1]

Chaturawit Chanchai[1*], Kornganok Thongta[1], Kitsana Wangsong[1], Watcharit Suchattrakun[1], Danuphon Srinongseng[1], and Wanawan pragot[1]

บทคัดย่อ

การเดินทางโดยใช้ยานพาหนะก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ซึ่งวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในด้านการใช้ยานพาหนะในการเดินทาง เป็นการบรรเทาผลกระทบภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการลดการปลดปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางเมื่อมีใช้แพลตฟอร์มดิจิตอลเพื่อลดการเดินทางเข้ามาเพื่อขอข้อมูลจากหน่วยงานราชการในท้องถิ่น จากการเก็บข้อมูลจากตัวแทนผู้ให้ข้อมูล จำนวน 20 คน จาก 9 พื้นที่การศึกษาในพื้นที่จังหวัดพะเยา ลำพูน และจังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ ชนิดยานพาหนะ ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ และที่อยู่ของผู้ให้ข้อมูล รวมถึง ที่ตั้งของหน่วยงานระดับท้องถิ่นในพื้นที่ และนำมาวิเคราะห์และคำนวณค่าการลดปลดปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางโดยใช้ยานพาหนะ พบว่า การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของผู้ทดลองกรอกข้อมูลมีค่าเฉลี่ยที่ 1.4236±2.63 $kgCO_2eq$ /คน โดยโดยผู้รับบริการในพื้นที่อำเภอเชียงม่วน จังหวัดพะเยา ที่เดินทางไปยังองค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียงในส่วนกองทุนสวัสดิการชุมชนคือเวียง มีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด (14.764 $kgCO_2eq$/person) จะเห็นได้ว่าการใช้แพลตฟอร์มดิจิตอลสามารถลดค่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางได้อย่างเป็นรูปธรรมที่สามารถเสนอต่อหน่วยงานราชการท้องถิ่นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิตอลที่สามารถลดการเดินทางไปติดต่อราชการของผู้รับบริการและเป็นแนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไป

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก, คาร์บอนฟุตพรินท์, การเดินทาง, แพลตฟอร์มดิจิตอล, การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

[1] วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Environmental Engineering, School of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author : 64140083@up.ac.th

Abstract

Transportation is responsible for the emission of greenhouse gases due to the significant combustion of fossil fuels. This research aims to study the emission reduction greenhouse gases from transportation when digital platforms are used instead of traveling to the local government to request for the suggestion. The study involved 20 participants from 9 different areas, including Phayao, Lamphun, and Chiang Mai provinces. Data will be analyzed to calculate the carbon dioxide emissions associated with various vehicle types, fuel specifications, and the geographical origins of data providers. The average reduction in greenhouse gas emissions from the travel of participants who provided data is 1.4236 ± 2.63 kgCO2eq per person. Remarkably, individuals utilizing services in the Chiang Muan district, Phayao province, specifically those traveling to the Tambon Administration Organization in Wiang, under the community welfare fund, exhibited the highest reduction in greenhouse gas emissions (14.764 kgCO2eq/person). It is evident that the use of digital platforms can effectively contribute to a fair reduction in greenhouse gas emissions from travel. These findings can be presented to local government agencies as a guideline for the development of digital platforms capable of minimizing travel for engaging with government services, serving as a model for future initiatives to reduce greenhouse gas emissions.

Keywords: Greenhouse gases, Carbon footprint, Transportation, Digital platform, Greenhouse gas reduction

บทนำ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม ทั้งการใช้พลังงาน การเกษตรกรรม การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางโดยใช้ยานพาหนะ เป็นอีกหนึ่งสาเหตุหลักของการเกิดก๊าซเรือนกระจก และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีแนวโน้มการใช้รถยนต์ส่วนตัวในการเดินทางเพิ่มมากขึ้น

ในปัจจุบัน ประเทศไทยได้ดำเนินตามยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561 – 2580) ที่จะนำไปสู่การปฏิบัติเพื่อให้ประเทศไทยบรรลุวิสัยทัศน์ “ประเทศไทยมีความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน เป็นประเทศพัฒนาแล้ว มีประเด็นที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศคือ สร้างการเติบโตอย่างยั่งยืนบนสังคมที่เป็นมิตรต่อสภาพภูมิอากาศ โดยต้องลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปรับตัวเพื่อลดความสูญเสียและเสียหายจากภัยธรรมชาติและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (คศช. ,2561) ซึ่งจากการเดินทางโดยใช้ยานพาหนะยังจำเป็นต้องตระหนักถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม การใช้ยานพาหนะปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อคนถึง 61,175.42 $kgCO_2$-eq/y (กระทรวงพลังงาน, 2562) ในการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง (ดรัลพร บัวสำลี ลลิน เหล็กตั๋ว และพรรณทิสซา ธนตระกลศรี, 2565) ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจก พบว่า ประเภทที่ 1 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบเคลื่อนที่และอยู่กับที่เป็น 88.43 TCO2-eq/y คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 13.48 นอกจากนี้ พัชรี ศรีรอด (2562) พบว่ากิจกรรมการใช้รถยนต์สำนักงานและการเช่ารถยนต์ (Diesel) ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 483.12 $kgCO_2eq$ จะเห็นได้ว่าการเดินทางโดยใช้ยานพาหนะก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ซึ่งวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในด้านการใช้ยานพาหนะในการเดินทาง เป็นการบรรเทาผลกระทบภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้น เพื่อมุ่งสู่สังคมการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero) ยังเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ด้วยความตระหนักในผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเดินทางโดยการใช้ยานพาหนะที่เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิง การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการลดปลดปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางโดยใช้แพลตฟอร์มดิจิตอล โดยจะนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าการลดปลดปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางโดยใช้ยานพาหนะในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไซด์เทียบเท่า และสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการเดินทางโดยใช้ยานพาหนะต่อในอนาคต

วิธีการศึกษา

1.การเก็บรวบรวมข้อมูล

1.1 เก็บรวบรวมข้อมูลประเภทข้อมูลพื้นฐาน เช่น ชนิดยานพาหนะที่ไปใช้สิทธิ์พร้อมระบุชนิดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ และที่อยู่ของผู้ให้ข้อมูล รวมถึง ที่ตั้งของหน่วยงานระดับท้องถิ่นในพื้นที่

1.2 เก็บข้อมูลโดยการสอบถามผู้ให้ข้อมูลแต่ละพื้นที่ โดยนักวิจัยที่ลงพื้นที่ศึกษาใน 9 พื้นที่ศึกษา ในจังหวัด พะเยา ลำพูน และเชียงใหม่ ได้แก่ 1) กองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลป่าบง 2) กองทุนสวัสดิการชุมชนดำเนินงานโดยเทศบาลตำบลแม่คือ อ.ดอยสะเก็ด 3) สถาบันการจัดการเงินทุนชุมชนบ้านเวียง ต.เวียง อ.เชียงคำ 4) องค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลคือเวียง 5) กองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลบ้านปิน โดย อบต.บ้านปิน 6) กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลศรีถ้อย 7) กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลบ้านกลาง จ.ลำพูน 8) กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลเหมืองจี้ 9) สำนักงานเทศบาลตำบลอุโมงค์ อ.เมืองลำพูน จ.ลำพูน ซึ่ง 9 หน่วยงาน เป็นหน่วยงานที่เป็นตัวแทนของ 3 จังหวัดพื้นที่ศึกษา จำนวน 20 คน โดยมาจากผู้นำหมู่บ้านจาก 9 หน่วยงาน ซึ่งเพียงพอต่อการเก็บข้อมูลเป็นกรณีศึกษาเบื้องต้นเพื่อใช้ในการพัฒนาแนวทางในการเก็บข้อมูลและแนวทางการคำนวณในกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้นในการวิจัยต่อไป

2.การจำแนกข้อมูล โดยนำข้อมูลที่ได้มาจำแนกออกเป็น 5 ส่วน คือ

2.1 จำแนกที่อยู่ของผู้ให้ข้อมูลตามที่ตั้งของหน่วยงานระดับท้องถิ่นในพื้นที่

2.2 ระยะทางจากที่อยู่ของผู้ให้ข้อมูลไปยังที่ตั้งของหน่วยงานระดับท้องถิ่นในพื้นที่

2.3 จำแนกชนิดยานพาหนะประเภทต่างๆ

2.4 จำแนกชนิดเชื้อเพลิง

2.5 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันของยานพาหนะแต่ละชนิด จากการเดินทางโดยยานพาหนะประเภทต่างๆโดยประเมินการใช้ค่าอ้างอิงจาก อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ตามตาราง 1

วิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ระยะทางการเดินทาง

ทำการรวบรวมข้อมูลและใช้ระบบ GIS ที่ตั้งของหน่วยงานระดับท้องถิ่นในพื้นที่ และพื้นที่ตั้งของผู้เข้ารับบริการที่ได้ทดลองกรอกข้อมูลในแพลตฟอร์มฯ นำข้อมูลจากระบบ GIS หาระยะทางและคำนวณปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางเมื่อมีการใช้แพลตฟอร์มฯ โดยใช้สมมติฐานที่ว่าเป็นการลดการเดินทางจากบ้านผู้กรอกข้อมูลไปยังหน่วยงานระดับท้องถิ่นในพื้นที่ของผู้รับบริการทั้ง 9 พื้นที่ได้ และสามารถคำนวณระยะทางจากระยะห่างของทั้งสองพื้นที่ดังกล่าว

วิเคราะห์ปริมาณเชื้อเพลิง

นำค่าระยะทางการเดินทางที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้อัตราการสิ้นเปลืองตามชนิดรถยนต์และชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในตาราง 1 และสมการที่ 1 ดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง} = \frac{\text{ระยะทาง } (km)}{\text{อัตราการสิ้นเปลือง } (km/L)} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

ตาราง 1. ข้อมูลอัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน

ประเภทยานพาหนะ	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน (กม./ลิตร)	แหล่งอ้างอิง
รถเก๋งเฉลี่ยทุกขนาด	14.763	กรมควบคุมมลพิษ,2551
รถกระบะบรรทุกเฉลี่ย	6.369	American Petroleum Intitute, 2004
รถ NGV	11.905 km/kg	American Petroleum Intitute, 2004
รถ LPG	8.929	American Petroleum Intitute, 2004
รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะเฉลี่ยทุกขนาด	37.640	กรมควบคุมมลพิษ,2551
รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะเฉลี่ยทุกขนาด	32.435	กรมควบคุมมลพิษ,2551

ที่มา: อบก. (2565)

วิเคราะห์ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยอ้างระเบียบวิธีการประมาณการและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามหลักของ Emission Factor ที่ประกาศโดย อบก. ฉบับปัจจุบัน โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ มีสูตรคำนวณดังนี้

$$CO_2 \text{ Emission} = \text{Activity data} \times \text{Emission factor} \qquad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่

Activity data = เป็นข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิงในการเดินทาง

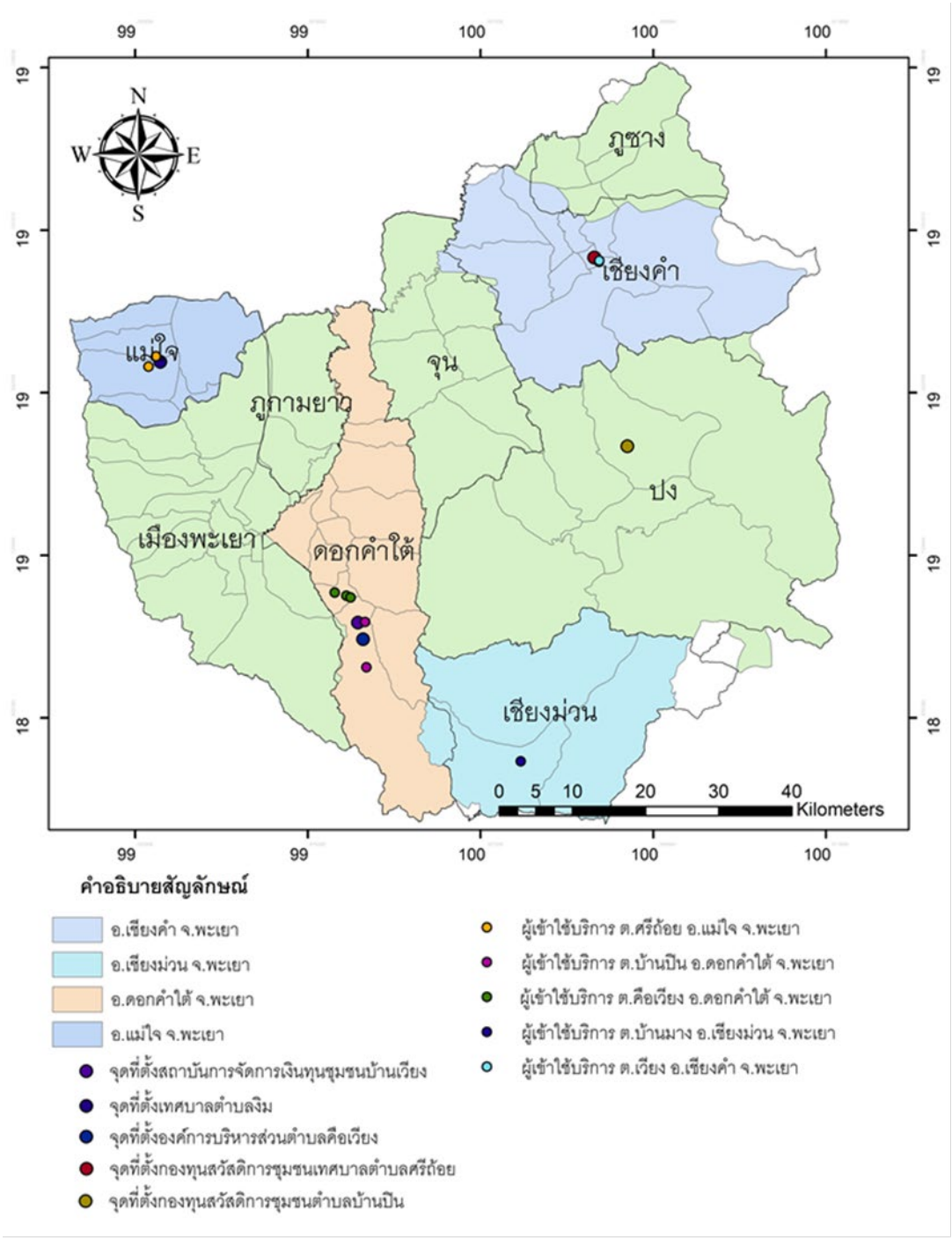
Emission factor = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ตาราง 2. Emission Factor น้ำมันเชื้อเพลิง ที่มา TGO CFO Emission Factor Update เมษายน 2565, อบก. (2565)

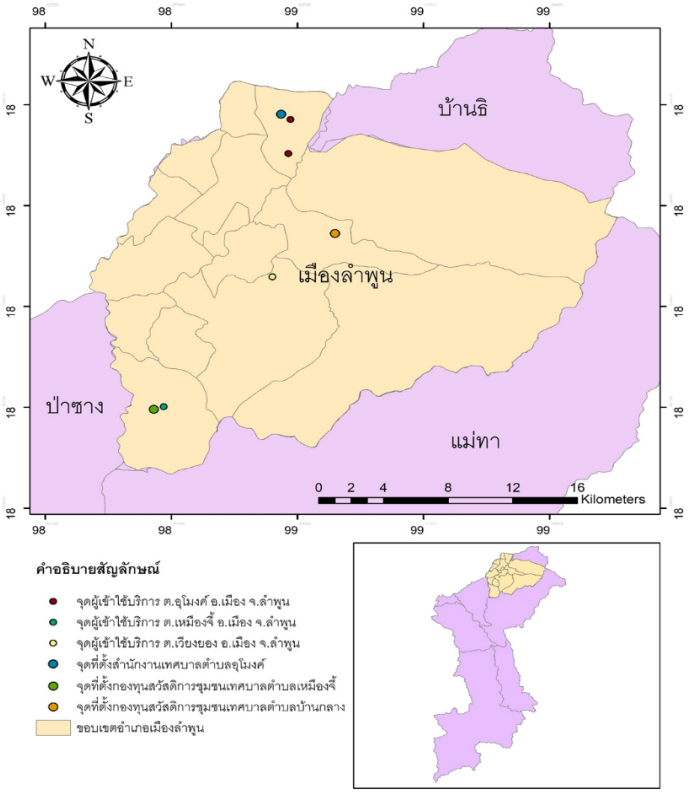
น้ำมันเชื้อเพลิง	Unit	Emission Factor ($kgCO_2$/unit)
Gasoline	L	2.2394
Diesel	L	2.7406
NGV	kg	2.2609
LPG	L	1.7306

ผลการศึกษา

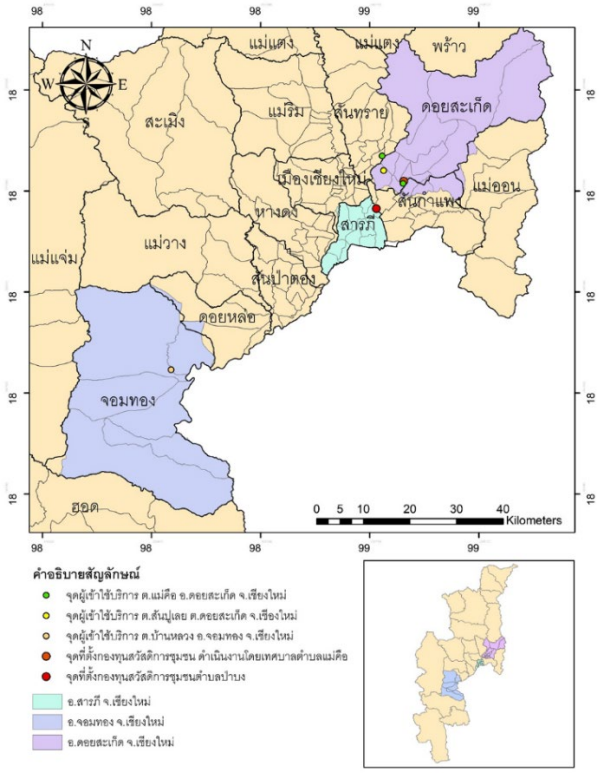
ดำเนินการเก็บข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 คน ซึ่งเป็นตัวแทนหน่วยงานระดับท้องถิ่นทั้งหมด 9 หน่วยงานที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ 3 จังหวัดได้แก่ จังหวัดพะเยา จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน โดยผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลและใช้ระบบ GIS ที่ตั้งของหน่วยงานระดับท้องถิ่นในพื้นที่ และพื้นที่ตั้งของผู้เข้ารับบริการที่ได้ทดลองกรอกข้อมูลในแพลตฟอร์มฯ และสามารถแสดงภาพหน่วยงานระดับท้องถิ่นและพื้นที่ตั้งของผู้เข้ารับบริการได้ดังนี้



ภาพ 1 พื้นที่ตั้งของหน่วยงานระดับท้องถิ่นและผู้เข้ารับบริการ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา



ภาพ 2 พื้นที่ตั้งของหน่วยงานระดับท้องถิ่นและผู้เข้ารับบริการ ในพื้นที่จังหวัดลำพูน



ภาพ 3 พื้นที่ตั้งของหน่วยงานระดับท้องถิ่นและผู้เข้ารับบริการ ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่

นอกจากนั้น สามารถนำข้อมูลจากระบบ GIS หาระยะทางและคำนวณปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางเมื่อมีการใช้แพลตฟอร์มฯ โดยใช้สมมติฐานที่ว่าเป็นการลดการเดินทางจากบ้านผู้ให้

ข้อมูลไปยังหน่วยงานระดับท้องถิ่นในพื้นที่ของผู้รับบริการทั้ง 9 พื้นที่ได้ และสามารถคำนวณระยะทางและคำนวณค่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง ดังแสดงในตารางและภาพต่อไปนี้

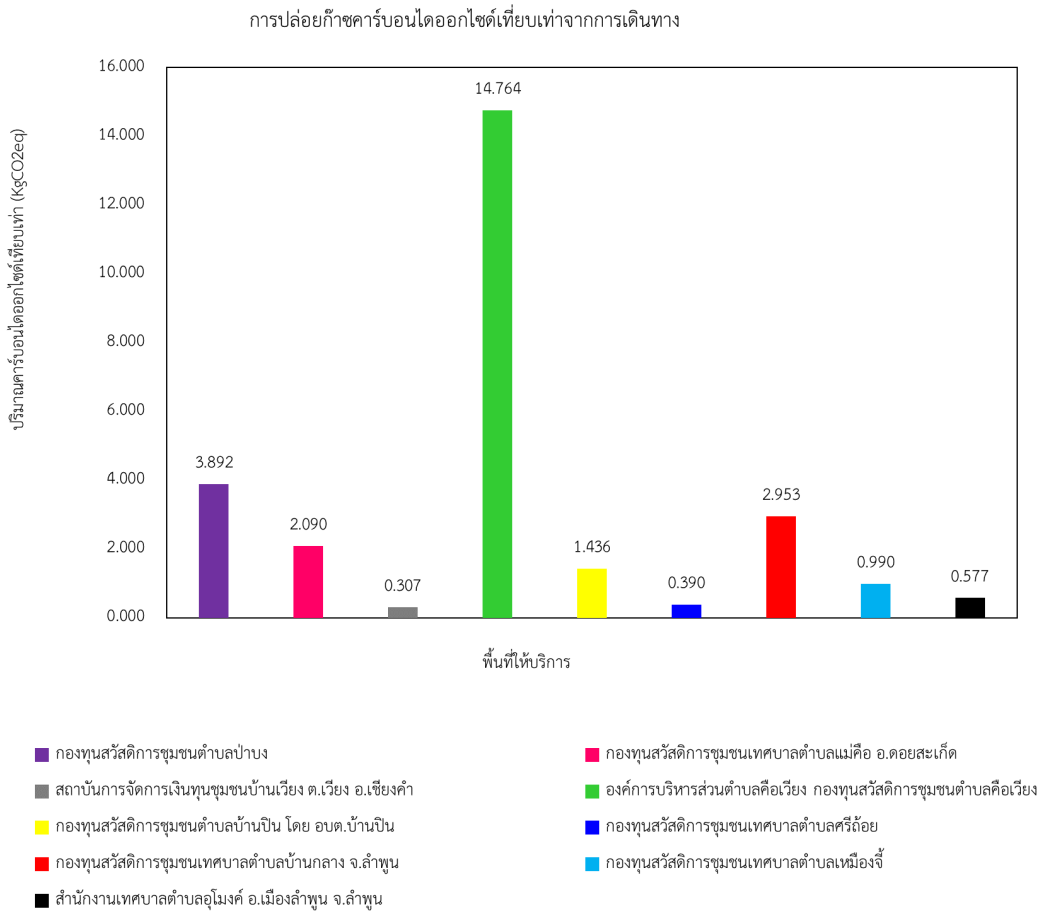
ตาราง 3. ผลคำนวณระยะทางและคำนวณค่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง

เส้นทางบ้าน --> สถานที่ให้บริการ	ตำบล	พื้นที่บริการ	ยานพาหนะ	เชื้อเพลิง	ระยะทาง	CF / คน ($kgCO_2eq$/person)	CF / พื้นที่ / คน ($kgCO_2eq$/site)
บ้านหลวง จอมทอง เชียงใหม่ --> ชุมชนป่าบง	บ้านหลวง	กองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลป่าบง	รถจักรยานยนต์	เบนซิน	66.9	3.8917	3.8917
แม่คือ เชียงใหม่ --> เทศบาลตำบลแม่คือ	แม่คือ	กองทุนสวัสดิการชุมชนดำเนินงานโดยเทศบาลตำบลแม่คือ อ.ดอยสะเก็ด	รถแท็กซี่	เบนซิน	1.6	0.2373	0.6968
บ้านแม่คือ แม่คือ เชียงใหม่ --> เทศบาลตำบลแม่คือ	แม่คือ	กองทุนสวัสดิการชุมชนดำเนินงานโดยเทศบาลตำบลแม่คือ อ.ดอยสะเก็ด	รถยนต์ส่วนบุคคล	ดีเซล	0.8	0.8000	
สันปูเลย ดอยสะเก็ด เชียงใหม่ --> เทศบาลตำบลแม่คือ	สันปูเลย	กองทุนสวัสดิการชุมชนดำเนินงานโดยเทศบาลตำบลแม่คือ อ.ดอยสะเก็ด	รถยนต์ส่วนบุคคล	เบนซิน	7.1	1.0530	
บ้านเลขที่ 197 หมู่ 6 หมู่บ้านเวียง ตำบลเวียง อำเภอเชียงคำ พะเยา --> สถาบันการจัดการเงินทุนชุมชนบ้านเวียง	เวียง	สถาบันการจัดการเงินทุนชุมชนบ้านเวียง ต.เวียง อ.เชียงคำ	รถยนต์ส่วนบุคคล	เบนซิน	1.4	0.2076	0.1533
บ้านเลขที่ 106 หมู่ 6 หมู่บ้านเวียง ตำบลเวียง อำเภอเชียงคำ พะเยา --> สถาบันการจัดการเงินทุนชุมชนบ้านเวียง	เวียง	สถาบันการจัดการเงินทุนชุมชนบ้านเวียง ต.เวียง อ.เชียงคำ	รถจักรยานยนต์	เบนซิน	1.7	0.0989	
บ้านเลขที่ 43 หมู่ 9 หมู่บ้านบ่อตอง ตำบลบ้านมาง อำเภอเชียงม่วน พะเยา --> องค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนคือเวียง	บ้านมาง	องค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลคือเวียง	รถกระบะส่วนบุคคล	ดีเซล	59.2	11.9732	3.9591
บ้านเลขที่ 47 หมู่ 4 ตำบลคือเวียง อำเภอดอกคำใต้ พะเยา --> องค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนคือเวียง	คือเวียง	องค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลคือเวียง	รถยนต์ส่วนบุคคล	ดีเซล	8	1.6180	
บ้านเลขที่ 204 หมู่ 8 หมู่บ้านปาง ตำบลคือเวียง อำเภอดอกคำใต้ พะเยา --> องค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนคือเวียง	คือเวียง	องค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลคือเวียง	รถยนต์ส่วนบุคคล	ดีเซล	5.8	1.1731	
บ้านเลขที่ 19 หมู่ 9 หมู่บ้านปางแม่หล่ายพะเยา ตำบลคือเวียง อำเภอดอกคำใต้ พะเยา --> องค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนคือเวียง	คือเวียง	องค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลคือเวียง	รถยนต์ส่วนบุคคล	ดีเซล	5.3	1.0719	

เส้นทางบ้าน --> สถานที่ให้บริการ	ตำบล	พื้นที่บริการ	ยานพาหนะ	เชื้อเพลิง	ระยะทาง	CF / คน ($kgCO_2eq/person$)	CF / พื้นที่ / คน ($kgCO_2eq/site$)
บ้านเลขที่ 182/1 หมู่ 5 หมู่บ้านบ้านปิน ตำบลบ้านปิน อำเภอดอกคำใต้ พะเยา --> องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านปิน บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนบ้านปิน	บ้านปิน	กองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลบ้านปิน โดย อบต.บ้านปิน	รถยนต์ส่วนบุคคล	เบนซิน	3	0.4450	0.7180
บ้านเลขที่ 127 หมู่ 5 หมู่บ้านงิ้วงาม ตำบลบ้านปิน อำเภอดอกคำใต้ พะเยา --> องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านปิน บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนบ้านปิน	บ้านปิน	กองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลบ้านปิน โดย อบต.บ้านปิน	รถยนต์ส่วนบุคคล	ดีเซล	4.9	0.9910	
บ้านเลขที่ 132 หมู่ 5 หมู่บ้านป่าไผ่ ตำบลศรีถ้อย อำเภอแม่ใจ พะเยา --> กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลศรีถ้อย	ศรีถ้อย	กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลศรีถ้อย	รถยนต์ส่วนบุคคล	เบนซิน	1.1	0.1631	0.1950
บ้านเลขที่ 148 หมู่ 9 หมู่บ้านสันติสุข ตำบลศรีถ้อย อำเภอแม่ใจ พะเยา --> กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลศรีถ้อย	ศรีถ้อย	กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลศรีถ้อย	รถจักรยานยนต์	เบนซิน	3.9	0.2269	
บ้านเลขที่ 83 หมู่ 1 หมู่บ้านร่องไร่ ตำบลเวียงยอง อำเภอเมืองลำพูน ลำพูน --> กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลบ้านกลาง	เวียงยอง	กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลบ้านกลาง จ.ลำพูน	รถยนต์ส่วนบุคคล	ดีเซล	7.3	1.4764	1.4764
บ้านเลขที่ 83 หมู่ 1 หมู่บ้านร่องไร่ ตำบลเวียงยอง อำเภอเมืองลำพูน ลำพูน --> กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลบ้านกลาง	เวียงยอง	กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลบ้านกลาง จ.ลำพูน	รถกระบะส่วนบุคคล	ดีเซล	7.3	1.4764	
บ้านเลขที่ 272 หมู่ 8 ตำบลเหมืองจี้ อำเภอเมืองลำพูน ลำพูน --> กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลเหมืองจี้	เหมืองจี้	กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลเหมืองจี้	รถยนต์ส่วนบุคคล	ดีเซล	0.85	0.1719	0.4953
ตำบลเหมืองจี้ อำเภอเมืองลำพูน ลำพูน --> กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลเหมืองจี้	เหมืองจี้	กองทุนสวัสดิการชุมชนเทศบาลตำบลเหมืองจี้	รถตู้ประจำทาง	เบนซิน	0.85	0.8186	
ตำบลอุโมงค์ อำเภอเมืองลำพูน ลำพูน --> สำนักงานเทศบาลตำบลอุโมงค์	อุโมงค์	สำนักงานเทศบาลตำบลอุโมงค์ อ.เมืองลำพูน จ.ลำพูน	รถจักรยานยนต์	เบนซิน	1	0.0582	0.2887
บ้านเลขที่ 291 หมู่บ้านชัยสถาน ตำบลอุโมงค์ อำเภอเมืองลำพูน ลำพูน --> สำนักงานเทศบาลตำบลอุโมงค์	อุโมงค์	สำนักงานเทศบาลตำบลอุโมงค์ อ.เมืองลำพูน จ.ลำพูน	รถยนต์ส่วนบุคคล	เบนซิน	3.5	0.5191	
รวมการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของผู้ทดลองกรอกข้อมูล						28.4714	11.8743
ค่าเฉลี่ยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของผู้ทดลองกรอกข้อมูล						1.4236±2.63	

ผลการศึกษา พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของผู้ทดลองกรอกข้อมูล สูงสุดที่ 3.9591 ซึ่งเป็นของผู้ทดลองกรอกข้อมูลใช้บริการที่องค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผู้ทดลองกรอกข้อมูลต่ำสุดที่ 0.1533 ซึ่งเป็นของผู้ใช้บริการสถาบันการเงินทุนชุมชนบ้านเวียง อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา เนื่องจากการเดินทางของผู้ตอบแบบสอบถามในตำบลคือเวียงเป็นการเดินทางโดยรถยนต์ส่วนบุคคลเป็นระยะทางไกล และเป็นการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลเผาไหม้ซึ่งมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันและค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สูงกว่ารถจักรยานยนต์ที่มีการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเบนซิน

ผลการศึกษา พบว่า การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของผู้ทดลองกรอกข้อมูลมีค่าเฉลี่ยที่ 1.4236±2.63 $kgCO_2eq$ /คน โดยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของผู้ทดลองกรอกข้อมูลสูงสุดที่ 11.9732 $kgCO_2eq$ ซึ่งเป็นผู้ของผู้ทดลองกรอกข้อมูลในพื้นที่ อำเภอเชียงม่วน พะเยาที่เดินทางไปยังองค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนคือเวียง และสามารถแสดงกราฟเปรียบเทียบการลดการการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของผู้ทดลองกรอกข้อมูลแยกตามพื้นที่บริการได้ดังนี้



ภาพ 4 กราฟเปรียบเทียบการลดการการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของผู้ทดลองกรอกข้อมูลแยกตามพื้นที่บริการ

ผลการศึกษา พบว่า ผู้ทดลองกรอกข้อมูลในพื้นที่ อำเภอเชียงม่วน พะเยาที่เดินทางไปยังองค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียง บริหารกองทุนสวัสดิการชุมชนคือเวียง มีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางสูงสุดที่ 14.76 $kgCO_2eq$ เนื่องจากผู้รับบริการอยู่ห่างจากพื้นที่บริการมากที่สุด รวมระยะทางเป็น 73 km จากกลุ่มตัวอย่าง 3 ผู้ทดลองกรอกข้อมูล รองลงมาได้แก่ ผู้ผู้ทดลองกรอกข้อมูลที่ใช้บริการกองทุนสวัสดิการชุมชนตำบลป่าบงมีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางที่ 3.892 $kgCO_2eq$ จะเห็นได้ว่าค่าการลดการ

ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการเดินทางแปรผันโดยตรงกับระยะทางในการเดินทาง และผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นผู้ที่มีที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการ ดังนั้น ในการขยายผลและเก็บข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้นในการวิจัยต่อไป เพื่อพัฒนาแนวทางในการเก็บข้อมูลและแนวทางการคำนวณต่อไป ที่จะได้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติของผู้ใช้บริการ

อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลผลการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางโดยเป็นกรณีศึกษา 9 พื้นที่ศึกษาในจังหวัดพะเยา จังหวัดลำพูน และจังหวัดเชียงใหม่ โดยคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) ที่เกิดขึ้นจากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลผลการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากผู้ให้ข้อมูลจำนวน 20 คน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของผู้ให้ข้อมูลมีค่าเฉลี่ยที่ 1.4236±2.63 $kgCO_2eq$ /คน
2. ผู้รับบริการในพื้นที่อำเภอเชียงม่วน จังหวัดพะเยา ที่เดินทางไปยังองค์การบริหารส่วนตำบลคือเวียงในส่วนกองทุนสวัสดิการชุมชนคือเวียง มีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด จำนวน 14.764 $kgCO_2eq/person$ เมื่อนำผลวิจัยมาเทียบกับการใช้ยานพาหนะปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อคนจากการใช้ยานพาหนะปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อคนถึง 61,175.42 $kgCO_2$-eq/person.y คิดเป็น 167.60 $kgCO_2$-eq/person (กระทรวงพลังงาน, 2562) จะเห็นได้ว่าการศึกษานี้มีค่าน้อยกว่าเนื่องจากเป็นเพียงการลดการเดินทางจากการติดต่อราชการเท่านั้น
3. ผู้ให้ข้อมูลในจังหวัดพะเยามีการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการเดินทางเป็นอันดับ 1 จาก 3 จังหวัดพื้นที่ศึกษา เนื่องจากประกอบด้วยผู้ให้ข้อมูลสูงสุด ซึ่งหากมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมอาจมีการเปลี่ยนแปลงส่วนนี้
4. ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจาก ค่า Emission Factor ของน้ำมันดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันเบนซิน
5. ยานพาหนะมีผลต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจาก อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของยานพาหนะแต่ละประเภทไม่เท่ากัน รถยนต์ส่วนบุคคลมีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันสูงที่สุด (ตาราง 1) จึงทำให้การเดินทางโดยยานพาหนะชนิดนี้ มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง
6. ระยะทางมีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากที่อยู่ของผู้รับบริการในแต่ละพื้นที่มีระยะห่างจากหน่วยงานที่ให้บริการสิทธิ์ต่างๆ ไม่เท่ากันกัน บางพื้นที่มีระยะห่างที่ใกล้กันมาก จึงทำให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้น้อยตามระยะทางที่เกิดขึ้น
7. ผลการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางการเก็บข้อมูลและแนวทางการคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางติดต่อราชการได้ และเพียงพอต่อการเก็บข้อมูลเป็นกรณีศึกษาเบื้องต้นเพื่อใช้ในการพัฒนาแนวทางในการเก็บข้อมูลและแนวทางการคำนวณในกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้นในการวิจัยต่อไป
8. การใช้แพลตฟอร์มดิจิตอลสามารถลดค่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางได้อย่างเป็นรูปธรรมที่สามารถเสนอต่อหน่วยงานราชการท้องถิ่นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิตอลที่สามารถลดการเดินทางไปติดต่อราชการของผู้รับบริการและเป็นแนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ โครงการ “การพัฒนาระบบและกลไกการจัดสวัสดิการสังคมเฉพาะบุคคลในชุมชนท้องถิ่นที่ไม่ทิ้งใครไว้ข้างหลังด้วยแพลตฟอร์มดิจิทัลและเกม “มีสิทธิ” ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำการศึกษานี้ และขอบคุณนักวิจัยในโครงการฯ ทุกท่านที่ร่วมกันจัดกิจกรรมและรวบรวมข้อมูลให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลครั้งนี้ จนการศึกษาสำเร็จไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอกราบพระคุณ มา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. (2562). **แผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ.2564–2573 สาขาพลังงาน.** สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

ดรัลพร บัวสำลีลลิน, เหล็กตั๋ว และพรรณทิสชา ธนตระกลศรี. (2565). **การประเมินการปลดปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง.**

พัชรี ศรีรอด. (2562). **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างยั่งยืนของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาตร์, กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2561). **ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561 – 2580 (ฉบับย่อ).** กรุงเทพมหานครฯ: สำนักงานคณะกรรมการ พัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (16bสิงหาคม 2565)

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย (องค์การมหาชน) (อบก). (2565). **ข้อกำหนดการคำนวณและรายงาน CFO** (พิมพ์ครั้งที่ 8, ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 6, 2565)

การสะสมคาร์บอนของป่าไม้: แปลงศึกษาในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา

Forestry carbon storage: A rai pilot plot study in University of Phayao

กฤษณะ วังสอง[1*], วัชริศ สุชาตตระกูล[1], จตุรวิชญ์ จันทร์ฉาย[1], วุฒิภัทร อ่อนสิงห์[1], พุฒิพงศ์ นันทกัป[1], พัชราภา บุญทาคำ[1], ตฤณ เสรเมธากุล[2], พิมพ์ศิริ สุวรรณพัฒน์[1] และ วนาวัลย์ ปรากฏ[1]

Kitsana Wangsong[1*] Watcharit Suchattrakun[1], Chaturawit Chanchai[1], Wuttipat Aonsing[1], Puttipong Nantakab[1], Patcharapa Boontakhum[1], Trin Seramethakul[2], Pimsiri Suwannapat[1] and Wanawan Pragot[1]

บทคัดย่อ

พื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยาเป็นลักษณะป่าเป็นป่าผลัดใบซึ่งเป็นป่าเต็งรัง (Deciduous dipterocarp forest) ซึ่งมีความสำคัญในการเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนจากการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศ งานวิจัยนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อความหลากหลายทางชีวภาพและตรวจวัดการสะสมคาร์บอนของป่าไม้และของป่าไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา โดยการวางแปลงศึกษาขนาด 40 x 40 เมตร ในพื้นที่ 1 ไร่ จำนวน 1 แปลง ได้แปลงย่อยจำนวน 16 แปลง เพื่อเก็บข้อมูลจำนวน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และความสูง (H) ป่าไม้และไม้ตาย รวมถึงปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนของดิน (%OM) ในแปลงศึกษา ผลการศึกษาพบพรรณไม้ทั้งหมด 179 ต้น โดยมี 9 สายพันธุ์ ไม้เต็งเป็นพรรณไม้เด่นในป่าของชนิดไม้ทั้งหมด (37.99%) การสะสมคาร์บอนรวมมีค่าเท่ากับ 67.4329 tCO_2eq/rai โดยเป็นการสะสมคาร์บอนในต้นไม้ 59.2650 tCO_2eq/rai (87.88%) การสะสมคาร์บอนในไม้ตาย 0.0310 tCO_2eq/rai (0.04%) การสะสมคาร์บอนในดิน 8.1369 tCO_2eq/rai (12.06%) จะเห็นได้ว่าป่าไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยาเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก และสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการพื้นที่พัฒนาของป่าไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยาต่อไป

คำสำคัญ: การสะสมคาร์บอน, คาร์บอนไดออกไซด์เท่าเทียบเท่า, ป่าไม้, ป่าเต็งรัง, ไม้ตาย, ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนของดิน

[1] คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

*Corresponding author e-mail: 63140745@up.ac.th

Abstract

The forest area around Phayao University is characterized as deciduous dipterocarp forest, which is significant for its ability to sequester carbon dioxide by absorbing carbon dioxide from the atmosphere. The objective of this research is to study biodiversity and measure carbon accumulation within the forests surrounding Phayao University. The study involved setting up plots of 40 x 40 meters within a one-Rai area, totaling 16 subplots. Data were collected on the diameter (D) and height (H) of trees and dead wood, along with the organic carbon content of the soil (%OM) in the study plots. The study revealed a total of 179 individual trees belonging to 9 different species. Notably, *Shorea obtusa* Wall. ex Blume. were the predominant tree species, constituting 37.99% of the forest. The overall carbon accumulation was calculated to be 67.4329 tCO_2eq/rai. This includes 59.2650 tCO_2eq/rai (87.88%) stored in trees, 0.0310 tCO_2eq/rai (0.04%) in dead wood, and 8.1369 tCO_2eq/rai (12.06%) in the soil. These findings underscore the potential of the forests around Phayao University in mitigating greenhouse gas emissions. The insights gained from this study can inform future forest management and development strategies in the Phayao University area.

Keywords: Carbon Stock, Carbon Dioxide Equivalent (CO_2eq), Forest, Deciduous dipterocarp forest, Dead Wood, Soil Organic Carbon

บทนำ

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเกิดจากกิจกรรมต่างๆ มีผลมากต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและอุณหภูมิโลก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสาเหตุหลักและมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากรายงานขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization) ถึงสถานะสภาพภูมิอากาศของโลกปี 2020 พบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปี 2022 โดยค่าเฉลี่ยของคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วโลกสูงเกิน 410 ppm และเพิ่มขึ้นเป็น 414 ppm ในปี 2023 (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023)

พื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยาเป็นลักษณะป่าเป็นป่าผลัดใบซึ่งเป็นป่าเต็งรัง (Deciduous dipterocarp forest) มีพื้นที่ป่าตามโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ จำนวน 1,863 ไร่ โดยทั่วไปเป็นป่าเต็งรังมีลักษณะเป็นป่าโปร่งในพื้นที่แห้งแล้งดินร่วนปนทรายหรือลูกรัง ซึ่งจะพบได้ทั่วไปในที่ราบและที่ภูเขาในภาคเหนือปี ซึ่งป่าชนิดนี้มีความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยพะเยาและพื้นที่รอบๆใกล้เคียงชุมชน รวมถึงมีความใกล้ชิดกับวิถีชุมชมและมีการใช้ประโยชน์จากผืนป่า รวมถึงเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนจากการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศ สามารถช่วยรักษาสมดุลของธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (เกษราภรณ์ อุ่นเกิด และคณะ, 2558) และยังมีความสำคัญต่อการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมเพื่อสอดคล้องกับการขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทย Thailand's SDG Progress Report (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2564)

เนื่องด้วยคุณสมบัติการการสะสมคาร์บอนของป่าไม้ที่สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศได้ดังกล่าว จึงเป็นผลดีหากสามารถทราบปริมาณการสะสมคาร์บอนของป่าไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยาได้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดการสะสมคาร์บอนของป่าไม้และความหลากหลายทางชีวภาพของป่าไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยนี้มาใช้เป็นแนวทางหนึ่งใน

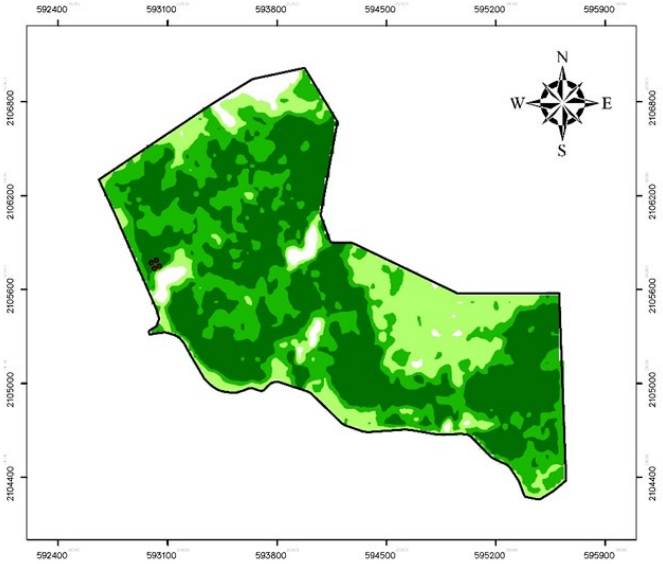
การลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก และสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการพื้นที่พัฒนาของป่าไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยาต่อไป

วิธีการศึกษา

การวางแปลงตัวอย่าง

ด้วยวิธีการการสุ่มเลือกข้อมูลโดยใช้แปลงศึกษา (Sampling plot) ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบ (stratified sampling) ในพื้นที่ความหนาแน่นมาก (วิชญ์วิสิฐ เกษรสิทธิ์ และคณะ, 2562) โดยการใช้ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่มีระบบการบันทึกภาพด้วยระบบ OLI (operational land imager) (Lovelanda and Ironsb, 2016) เพื่อตรวจสอบความหนาแน่นในพื้นที่การศึกษา กำหนดจุดพิกัด GPS จุดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างแปลงศึกษาโดยใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่วิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ภาพที่ 1)

ในแปลงศึกษามีการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลพรรณไม้ในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยการวางแปลงสุ่มตัวอย่างขนาด 40 x 40 เมตร จำนวน 1 แปลง ดังนั้นจึงได้เลือกวางแปลงแบบการสุ่มเลือกข้อมูลโดยใช้แปลงศึกษา (Sampling plot) ในพื้นที่ป่าไม้ของมหาวิทยาลัยพะเยา



ภาพที่ 1 แผนที่ตำแหน่งพื้นที่แปลงศึกษา พิกัด 593016, 2105734

การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลต้นไม้และไม้ตายในแปลงศึกษาโดยการวัดเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับอก (stem girth at breast height, DBH) (ภาพ 2) ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร หรือเท่ากับ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไปและ ข้อมูลความสูงของต้นไม้ โดยใช้เครื่องมือดังแสดงในภาพที่ 2 ในการศึกษานี้ได้ทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนเมษายน ปี พ.ศ.2566



เครื่องวัดความสูง(Nikon Forestry Pro 2) | เทปวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง Lufkin W606PM (2 เมตร)

ภาพที่ 2 ตัวอย่างเครื่องมือวัดความสูงของต้มไม้วัดและเทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง

การเก็บข้อมูลดินในแปลงศึกษาเป็นการเก็บแบบสุ่มให้กระจายขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพื้นที่ เช่น ความลาดชัน เนื้อดิน สีดิน เป็นต้น ดังนั้นการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บดินโดยนำเศษซากพืชออกจากจุดเก็บดิน ขุดดินให้เป็นรูปลิ่มลึก 30 ซม. เก็บตัวอย่างดินโดยใช้วิธีแบบทำลาย โครงสร้างดิน (Disturbed soil sampling) ที่ความลึก 0 – 30 ซม. ใช้พลั่วแซะดินให้ได้ดินเป็นแผ่นหนา ประมาณ 2 – 3 ซม. จนถึงก้นหลุมเก็บดินใส่ถังน้ำพลาสติก คลุกเคล้าดินแต่ละจุดที่เก็บมาให้เข้ากัน โดยนำมาเทรวมกันบนผ้าพลาสติก แบ่งดินเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน จากนั้นเก็บตัวอย่างดิน 1 ส่วนใส่ในถุงพลาสติกให้ได้ดินหนักประมาณครึ่งกิโลกรัม (1 – 2 กก. หากดินมีหินกรวดปนมามาก) เขียนรายละเอียดกำกับถุงตัวอย่างดินที่เก็บ นำตัวอย่างดินวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในดินในห้องปฏิบัติการ

การคำนวณปริมาณสะสมคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่

การคำนวณแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) การคำนวณการสะสมคาร์บอนของต้นไม้ (T-VER-TOOL-FOR/AGR-01 Version 4) 2) การคำนวณการสะสมคาร์บอนในดิน (T-VER-TOOL-FOR/AGR-02 Version 3) และ 3) การคำนวณการสะสมคาร์บอนของไม้ตายและเศษซากพืช (T-VER-TOOL-FOR/AGR-03 Version 2) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2566) โดยคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วย (tCO_2eq) สามารถแสดงสมการการคำนวณได้ดังนี้

1. การคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอน จะประกอบด้วย

1.1 การคำนวณการสะสมคาร์บอน เหนือพื้นดินของต้นไม้ในพื้นที่แปลงศึกษาและปรับหน่วยให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ (สมการ 1)

$$C_{ABG} = \sum_{j=1}^{n} M_j \times CF \times \frac{44}{12} \qquad \text{(สมการ 1)}$$

เมื่อ C_{ABG} = กลุ่มพรรณไม้ทั่วไป สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้

M = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

i = ชั้นภูมิ 1, 2, 3,...n

j = ชนิดไม้ 1, 2, 3,...n

CF = กลุ่มพรรณไม้ทั่วไป สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้

= ร้อยละ 0.47 ของน้ำหนักแห้ง

โดยการหาค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ (M) สามารถทำได้โดย การคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอนจากมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Aboveground Biomass; ABG) หามวลชีวภาพของไม้ขนาดใหญ่ (DBH ≥ 4.5 cm) ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ ใช้สมการของ Ogawa et al. (1965) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ประเมินมวลชีวภาพของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ในป่าเต็งรัง การประเมินมวลชีวภาพของต้นไม้ สำหรับการคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอนจากมวลชีวภาพใต้ดิน (Belowground Biomass; BLG) การประเมินมวลชีวภาพของรากไม้ สามารถคำนวนได้จากสัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้น ใช้สมการที่เหมาะสมกับชนิดไม้ ดังแสดงในภาพและสมการดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3 มวลชีวภาพของต้นไม่ส่วนต่างๆ

$$W_S = 0.0396\ (D^2H)^{0.933}$$
$$W_B = 0.00349\ (D_2H)^{1.030}$$
$$W_L = (28/(W_S + W_B + 0.025))^{-1}$$
$$C_{ABG} = W_S + W_B + W_L$$

(สมการ 2)

เมื่อ W_T = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กิโลกรัม)
W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)
W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)
W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (ซม.)
H = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร)

1.2 การคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอนใต้ดินของต้นไม้ในพื้นที่ สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ (สมการ 3)

$$\boldsymbol{C_{BLG} = C_{ABG} \times R}$$

(สมการ 3)

เมื่อ $\boldsymbol{C_{BLG}}$ = ปริมาณสะสมคาร์บอนใต้ดิน
$\boldsymbol{C_{ABG}}$ = ปริมาณสะสมคาร์บอนเหนือพื้นดิน
$\boldsymbol{R}$ = สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นไม้ (ร้อยละ 0.27 ของน้ำหนักแห้ง)

1.3 การคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอนรวมของพื้นที่แปลงศึกษา

เมื่อทำการคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอนทั้งเหนือพื้นดินและใต้ดินแล้ว นำมาหาปริมาณการสะสมคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่ได้จาก (สมการ 4)

$$C_{TT} = C_{BLG} \times C_{ABG} \quad \text{(สมการ 4)}$$

2. การคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอนที่สะสมในดิน

สามารถคำนวณจากการสะสมคาร์บอนในดิน มีรายละเอียดการคำนวณดัง (สมการ 5)

$$SOC_0 = SOC_{ref} \times F_{LU_0} \times F_{MG_0} \times F_{l_0} \times \frac{44}{12} \quad \text{(สมการ 5)}$$

เมื่อ SOC_0 = ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดิน (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า tCO_2eq)

SOC_{ref} = ค่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินจากการสุ่มตัวอย่างและนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (ตันคาร์บอนต่อไร่)

F_{LU_0} = ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงการสะสมคาร์บอนในดินตามประเภทการใช้ที่ดิน (ค่าคงที่ 0.82)

F_{MG_0} = ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงการสะสมคาร์บอนในดินตามวิธีการจัดการดิน (ค่าคงที่ 1.22)

F_{l_0} = ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงการสะสมคาร์บอนในดินตามระดับอินทรีย์วัตถุที่กลับคืนสู่ดิน (ค่าคงที่ 0.92)

โดยปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินสามารถหาได้จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน สามารถวิเคราะห์ได้โดยนำดินที่เก็บด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างดิน ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปอบที่ 105 องศา แล้วนำมาคำนวณส่วนการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ (Organic Carbon) ทำการวิเคราะห์โดยวิธี (Walkly and Black, 1947) ด้วยการหาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนโดยการใช้สารเคมีทำให้เกิด oxidation กับคาร์บอนในอินทรียวัตถุในดินแล้วคำนวนปริมาณคาร์บอนในอินทรียวัตถุจากปริมาณของสารเคมีที่ใช้ไปปฏิกิริยา และเมื่อทราบปริมาณคาร์บอนแล้วสามารถ นำมาคำนวนปริมาณอินทรียวัตถุโดยประมาณ โดยคูณกับ “Van Bemmelen factor” ซึ่งเท่ากับ 1.724 (Allison, 1965) ดังสมการปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดิน

$$\text{OC (\%)} = \text{OM (\%)} / 1.72$$

$$\text{SOC} = \frac{\text{OC (\%)} \times \text{BD} \times \text{Depth} \times 10000}{6.25} \quad \text{(สมการ 6)}$$

เมื่อ Soil Organic Carbon (SOC) = ค่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินก่อนเริ่มโครงการ (ตันคาร์บอน/ไร่)

Organic Matter (OM) = ร้อยละอินทรียวัตถุในดิน (วิเคราะห์ผลจากห้องปฏิบัติการ)

Organic Carbon (OC) = ร้อยละอินทรีย์คาร์บอนในดิน

Bulk Density (BD) = ความหนาแน่นรวมของดิน (กรัม/ลบ.ซม.)

Depth = ความลึกที่เก็บดิน (ซม.)

3. การคำนวณการสะสมคาร์บอนของไม้ตายและเศษซากพืช

สามารถคำนวณโดยใช้ค่าที่กำหนดให้ โดยไม้ตายที่เกิดขึ้นต้องไม่มีการนำออก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (สมการ 4)

$$C_{Dead} = C_{TT} \times DF_{DW} \quad \text{(สมการ 8)}$$

เมื่อ C_{Dead} = ปริมาณการสะสมคาร์บอนในไม้ตาย (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

C_{TT} = ปริมาณการสะสมคาร์บอนของต้นไม้ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

DF_{DW} = ค่าคงที่สำหรับคำนวณการสะสมคาร์บอนในไม้ตาย (ค่าคงที่ 0.01)

- ความสูงจากระดับน้ำทะเล ไม่เกิน 2,000 เมตร
- ปริมาณน้ำฝน อยู่ระหว่าง 1000–1600 มิลลิเมตรต่อปี

4. ในการคำนวณการสะสมคาร์บอนรวม

สามารถคำนวณโดยใช้ค่าที่กำหนดให้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (สมการ 5)

$$tCO_2eq = C_{ABG} + C_{BLG} + C_{Dead} + SOC_0 \quad \text{(สมการ 9)}$$

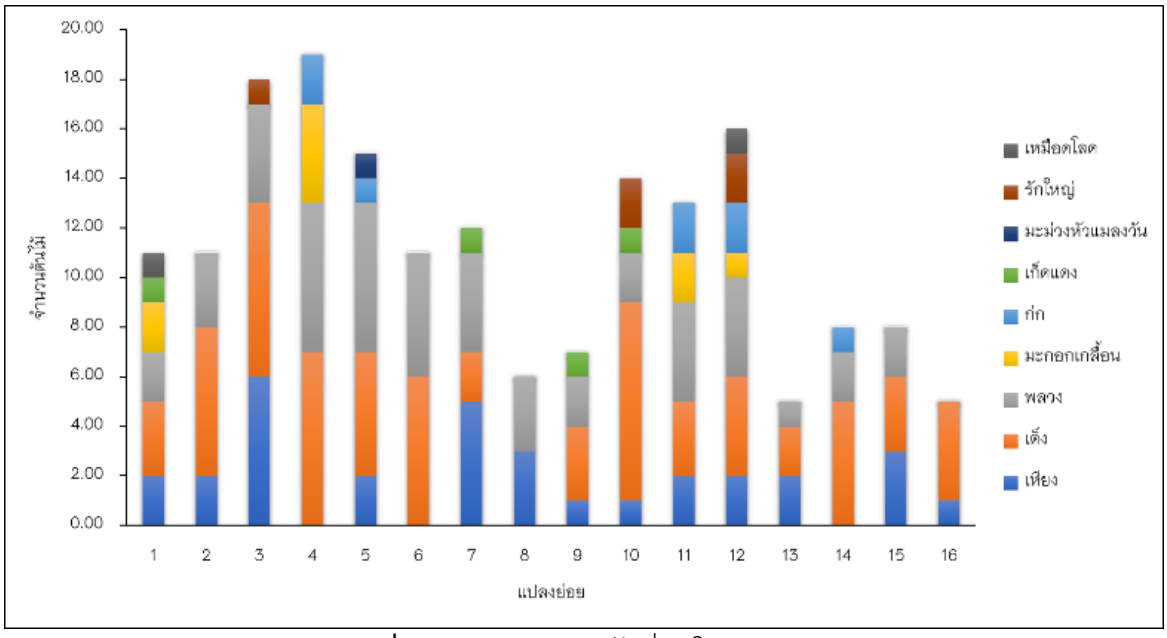
เมื่อ tCO_2eq = ปริมาณการสะสมคาร์บอนทั้งหมด (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

ผลการศึกษา

จากการเลือกแปลงศึกษา วิเคราะห์โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ความละเอียดภาพ 30 เมตร x 30 เมตร โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI พบว่ามีค่าดัชนีพืชพรรณอยู่ในช่วง 0.3680 ถึง 0.6950 โดยการคัดเลือกแบบสุ่มชั้นภูมิที่พื้นที่ป่าความหนาแน่นมาก มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5572 ถึง 0.6950 เพื่อเป็นตัวแทนพื้นที่ของแปลงศึกษาในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา

จำแนกชนิดพรรณไม้

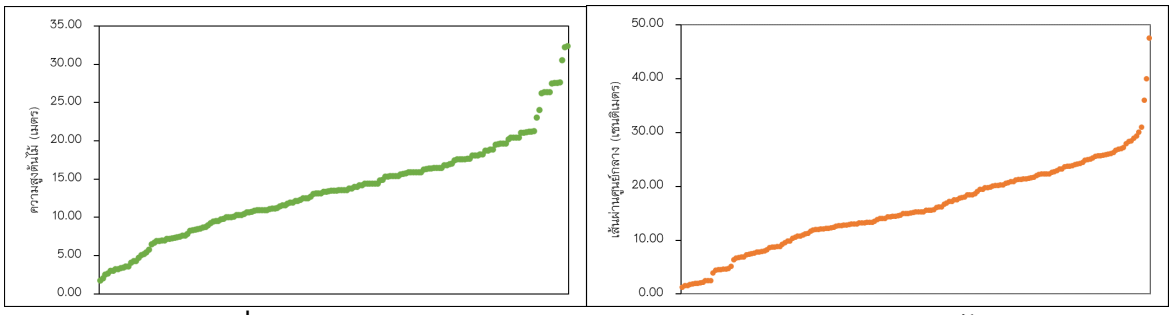
จากการสำรวจโดยการวางแปลงตัวอย่างขนาด 40 เมตร x 40 เมตร เพื่อสำรวจ ต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับอก 4.5 ซม. ขึ้นไป พบว่ามีจำนวนต้นไม้ใหญ่ทั้งหมด 179 ต้น และพบว่าชนิดของพรรณไม้ที่มีอยู่ในพื้นที่มากที่สุดคือ วงศ์ Dipterocarpaceae เขียนให้ถูกต้องตามหลักชื่อทางวิทยาศาสตร์ มีจำนวน 9 ชนิด สามารถยกตัวอย่างพรรณไม้ 4 ชนิดที่พบมากที่สุดในแปลงศึกษา คือ เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume.) พบ 68 ต้น รองลงมาได้แก่ พลวง และเหียง พบ 50 และ 32 ต้น ตามลำดับ ดังภาพ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงพรรณไม้ที่พบในแปลงศึกษา

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของต้นไม้

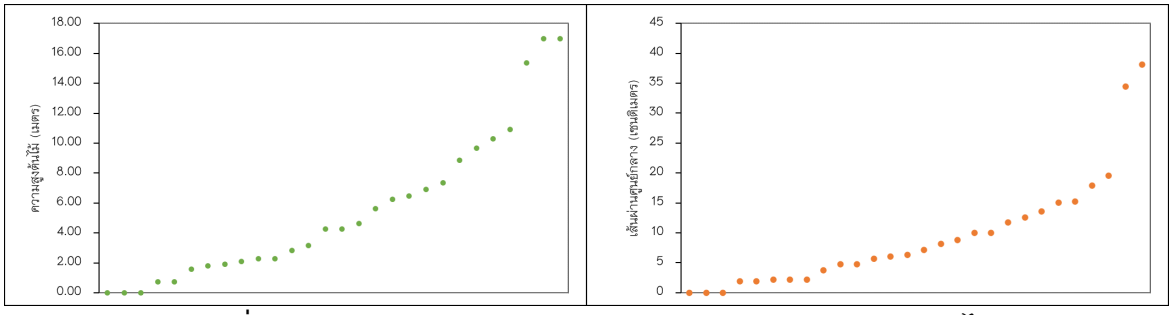
จากผลการศึกษาขนาดความสูง (ภาพที่ 5) พบว่า มีความสูงต่ำที่สุดอยู่ที่ 1.77 เมตร และมีความสูงมากที่สุดอยู่ที่ 32.36 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ในแปลงศึกษา พบว่า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำที่สุด 1.27 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด 47.57 เซนติเมตร ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ชนิดของต้นไม้ อายุ ระยะห่างและสภาพพื้นที่



ภาพที่ 5 กราฟแสดงการกระจายของความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของไม้ตาย

จากผลการศึกษาขนาดความสูง (ภาพที่ 6) พบว่า มีความสูงต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.75 เมตร และมีความสูงมากที่สุดอยู่ที่ 16.99 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ในแปลงศึกษา พบว่า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำที่สุด 1.91 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด 38.12 เซนติเมตร



ภาพที่ 6 กราฟแสดงการกระจายของความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้

ปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของดิน

จากการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ดินในแปลงตัวอย่างซึ่งมีอินทรีย์วัตถุในดินโดยวิเคราะห์ผลจากห้องปฏิบัติการมีค่า %OM เท่ากับ 0.51 จากนั้นนำมาหาค่าสัดส่วนอินทรีย์คาร์บอนในดินจะได้ %OC เท่ากับ 0.29 สามารถวิเคราะห์คาร์บอนได้เท่ากับ 2.2192 tC ซึ่งปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในดิน เท่ากับ 8.1369 tCO_2eq

ปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของต้นไม้และไม้ตาย

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณการสะสมคาร์บอนของต้นไม้และไม้ตายในพื้นที่แปลงศึกษาทั้งหมด เท่ากับ 16.1759 tC โดยปริมาณการสะสมคาร์บอนเหนือพื้นดินและใต้ดิน เท่ากับ 16.1632 tC และปริมาณการสะสมคาร์บอนในไม้ตาย เท่ากับ 0.0128 tC ซึ่งปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าทั้งหมด เท่ากับ 59.2960 tCO_2eq จากการเปรียบเทียบ พบว่า ไม้ตายในพื้นที่แปลงศึกษาได้รับผลกระทบจากไฟป่าซึ่งมีผลต่อการสะสมคาร์บอนได้น้อยเมื่อมีการเผาไหม้จนเป็นขี้เถ้า

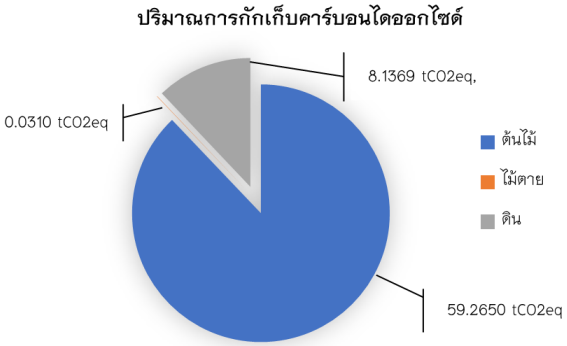
ตารางที่ 1 ปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

แปลงย่อย	Carbon		tCarbon	CO_2eq		tCO_2eq (Total)
	AGB+BGB (t)	Dw (t)	(Total)	AGB+BGB (t)	Dw (t)	
1	0.9845	0.0013	0.9892	3.6099	0.0047	3.6112
2	1.2086	0.0000*	1.2086	4.4316	0.0000*	4.4316
3	0.7596	0.0002	0.7598	2.7852	0.0007	2.7859
4	1.6073	0.0000*	1.6073	5.8935	0.0002	5.8937
5	1.1334	0.0000*	1.1334	4.1558	0.0001	4.1559
6	0.7862	-	0.7862	2.8829	-	2.8829
7	0.9385	0.0002	0.9387	3.4412	0.0006	3.4418
8	0.9724	0.0011	0.9735	3.5654	0.0039	3.5693
9	0.9801	-	0.9801	3.5935	-	3.5935
10	1.0960	0.0002	1.0962	4.0188	0.0008	4.0196
11	1.3426	-	1.3426	4.9229	-	4.9229
12	0.8410	0.0002	0.8412	3.0838	0.0008	3.0846
13	0.9188	0.0001	0.9189	3.3689	0.0002	3.3691
14	0.9342	0.0038	0.9380	3.4253	0.0139	3.4392
15	1.5166	0.0004	1.5170	5.5608	0.0016	5.5624
16	0.1433	0.0018	0.1451	0.5255	0.0067	0.5322
Total	16.1632	0.0094	16.1759	59.2650	0.0344	59.2960

โดย * หมายถึง มีค่าน้อยมาก

\- หมายถึง ไม่มีไม้ตาย

จากปริมาณการสะสมคาร์บอนและปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า พบว่า ปริมาณการสะสมคาร์บอนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 18.3951 tC และปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่สะสมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 67.4329 tCO_2eq โดยเป็นการสะสมคาร์บอนในต้นไม้ 59.2650 tCO_2eq (87.88%) การสะสมคาร์บอนในไม้ตาย 0.0310 tCO_2eq (0.04%) การสะสมคาร์บอนในในดิน 8.1369 tCO_2eq (12.06%)



ภาพ 10 กราฟแสดงปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ในต้นไม้ ไม้ตายและดิน

อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในดิน โดยมีพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยพะเยาทางด้านทิศเหนือเป็นพื้นที่ศึกษา โดยใช้การเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ค่า %OM ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.51 จะเห็นได้ว่าในพื้นที่การศึกษามีค่า %OM น้อยกว่า เนื่องจากสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน ชนิดป่าไม้และชนิดดินเป็นดินประเภท Ch-D หรือชุดดินพะเยามีลักษณะเป็นดินเหนียวมีความหนืดสูง ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (ปนกรวดหรือเศษหิน) สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน (2552) ในพื้นที่ซึ่งส่งผลต่อความอุดมสมบูณ์ของดินและศักยภาพในการดูดซับการสะสม %OM และการสะสมปริมาณคาร์บอนได้แตกต่างกัน โดยจากการศึกษา กรินลักษณ์ เรืองจินดา (2562) ในพื้นที่ศึกษาของตำบลแหลมใหญ่ จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นชุดดินสมุทรสงครามมีลักษณะเป็นพวกดินร่วนหรือดินเหนียวที่เป็นชั้นสลับจากการยกร่องในพื้นที่ลุ่ม สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน (2552) ที่ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ช่วงฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน (เดือนเมษายน) ฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม) และฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน) ได้เก็บตัวอย่างดินของ ระดับความลึก 30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์หาค่า %OM จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินมีค่า เท่ากับ 1.39, 0.29 และ 0.14 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงฤดูร้อนมีค่า %OM สูงสุด จากเห็นได้ว่า พื้นที่ศึกษาของมหาวิทยาลัยพะเยามีค่าน้อยกว่าพื้นที่ศึกษาของตำบลแหลมใหญ่ จังหวัดสมุทรสงคราม ป็นจังหวัดที่มีความสมบูณ์ทางสิ่งแวดล้อมและมีชายฝั่งติดทะเลอ่าวไทยและผลการศึกษาเขตอนุรักษ์ธรรมชาติ Dinghushan ในมณฑลกวางตุ้งประเทศจีน ชุมชนป่าสามแห่งของป่ากึ่งเขตร้อนของ Huimin Xiang (2022) ที่เป็นตัวแทนของสามขั้นตอนต่อเนื่องกันในเขตสงวน: ป่าสนที่ปลูก (PF), ป่าสนและป่าเบญจพรรณใบกว้าง (PBMF) และป่าใบกว้างที่เขียวชอุ่มตลอดปี (MEBF) มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินมีค่า ปริมาณการสะสมคาร์บอนในดิน เท่ากับ 0.59, 1.05 และ 1.28 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับป่าที่ศึกษา ป่าสนและป่าเบญจพรรณใบกว้าง (PBMF) มีค่าการกักเก็บคาร์บอนในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับป่าชนิดอื่นๆ ความเป็นตัวแทนของระยะเวลาเก็บข้อมูล จากเห็นได้ว่า พื้นที่ศึกษาของมหาวิทยาลัยพะเยามีค่าใกล้เคียงกับเขตอนุรักษ์ธรรมชาติ Dinghushan ในมณฑลกวางตุ้งประเทศจีน เนื่องจากลักษณะป่าโปร่งซึ่งมีความใกล้เคียงสภาพอากาศ ลักษณะดินและปริมาณน้ำฝน

ปริมาณการสะสมคาร์บอนของต้นไม้ เท่ากับ 16.1632 tC/rai และมีปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากับ 59.2960 tCO2eq/rai มีค่ามากกว่าการศึกษาของ ยุพเยาว์ และคณะ (2563) ในการศึกษาการสะสมคาร์บอนของต้นไม้ในป่าชุมชนบ้านแสงตะวัน จังหวัดสุรินทร์ ปริมาณการสะสมคาร์บอนของต้นไม้ เท่ากับ 12.2812 tC/rai และมีปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากับ 45.0310 tCO_2eq/rai อาจจะเป็นเพราะลักษณะพื้นที่ที่แตกต่างกันและภูมิอากาศต่างกันจึงจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้หรืออาจเกิดจากการที่ต้นไม้มีอายุแตกต่างกัน ในช่วงของแต่ละฤดูกาล

ปริมาณการสะสมคาร์บอนของไม้ตาย เท่ากับ 0.0094 tC/rai และมีปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากับ 0.0344 tCO_2eq/rai มีการสะสมน้อยกว่า การศึกษาของบริษัท กระเบื้องกระดาษไทย จำกัด ที่ขึ้นทะเบียนโครงการ (T-VER) ภาคป่าไม้(2566) ในการศึกษาสภาพป่า เป็นป่าเบญจพรรณมีปริมาณการสะสมคาร์บอนของไม้ตาย (3.12 tC/rai) และมีปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากับ 11.45 tCO_2eq/rai อาจเป็นเพราะมีการเกิดไฟป่าตลอดทั้งปีทำให้ไม้ที่ตายถูกเผาไหม้จนกลายเป็นขี้เถ้า

มีปริมาณการสะสมคาร์บอนในดิน เท่ากับ 2.2162 tC/rai และมีปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากับ 8.1369 tCO_2eq/rai จากการเปรียบเทียบของบริษัท กระเบื้องกระดาษไทย จำกัด ที่ขึ้นทะเบียนโครงการ (T-VER) ภาคป่าไม้(2566) การศึกษา พบว่า ปริมาณการสะสมคาร์บอนในดิน เท่ากับ 3.1222 tC/rai และมีปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากับ 10.25 tCO2eq/rai พบว่า ประเภทป่าเป็นป่าเบญจพรรณที่มีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลาง นอกจากนี้ยังมีผลเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศ สภาพพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน

จากศึกษาสถานะการณ์ไฟป่าส่งผลการทบต่อการสะสมปริมาณคาร์บอนโดยตรง IPCC (2006) การเกิดไฟป่าที่มีความถี่สูงในช่วงฤดูร้อนทำให้ปริมาณคาร์บอนในป่าลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงได้รับผลกระทบโดยตรงจากพันธุ์ไม้ ขนาด และโครงสร้างของป่าไม้ ซึ่งสัมพันธ์กับการตายของต้นไม้หลังไฟไหม้ ซึ่งสอดคล้องกบการศึกษาของ Panmei Jiang (2023) และในการการศึกษานี้ ดังนั้นจะต้องมีการป้องกันไฟป่า เช่น การสร้างแนวกันไฟ ดูแลพื้นที่ริมแนวชายป่า การชิงเผา เป็นต้น ซึ่งแปลงศึกษาในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยาเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนทำให้มีผลต่อการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ ซึ่งระบบนิเวศป่าไม้มีการสะสมคาร์บอนอยู่ทั้งในส่วนของต้นไม้และดินที่มีส่วนสำคัญในการลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพรวม ทั้งนี้ควรมีการลดความเสื่อมโทรมในพื้นที่ป่าธรรมชาติเพื่อให้มีผลทำให้ศักยภาพในการสะสมคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย และจะต้องมีมาตรการป้องกันไฟป่าเพื่อให้เกิดการสะสมคาร์บอนสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุร่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.ตฤณ เสรเมธากุล ที่ให้ความรู้ด้านพันธุ์ในป่าเต็งรัง ขอบคุณโครงการปริมาณการสะสมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยามุ่งสู่การเป็นกลางทางคาร์บอนที่ให้ความสนับสนุนในการเก็บข้อมูลครั้งนี้ รวมถึงมีส่วนร่วมในการจัดทำวิจัยและเก็บข้อมูลทุกท่าน จึงใคร่ขอกราบพระคุณมา ณ ที่นี่

เอกสารอ้างอิง

กรินลักษณ์ เรืองจินดา และ ศิรประภา เปรมเจริญ. สภาพป่าและการกักเก็บคาร์บอนในดินบริเวณป่าชายเลน ตำบลแหลมใหญ่ จังหวัดสมุทรสงคราม. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. กรุงเทพฯ 2562. หน้า 3041-3050.

เกษราภรณ์ อุ่นเกิด, พสุธา สุนทรห้าว และลดาวัลย์ พวงจิตร. (2558). การประเมินมูลค่าคาร์บอนที่สะสมในไม้ยืนต้นของป่าชุมชนเขาวง จังหวัดชัยภูมิ. วารสารวนศาสตร์, 34(1), 29-38.

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2552. ลักษณะและสมบัติของชุดดินในภาคเหนือและที่สูงของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ณิชาภัทร์ ดวงทิพย์, นิวัติ อนงค์รักษ์, ปณิดา กาจีนะ, สุนทร คำยอง. โครงสร้างสังคมพืชและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในป่าชุมชนป่าเต็งรังที่ใช้ใบพลวงเป็นของป่าในภาคเหนือของประเทศไทย. 2565; 6 (1): 13-30.

ทิพวรรณ อิ่มเอิบ. (2564). ศึกษาค่าดัชนีพืชพรรณขั้นสูง NDVI SAVI และ RVI ที่มีศักยภาพใน การติดตามการเกษตรไม้ผล กรณีศึกษาสวนส้มในเขตอำเภอแม่พริก จังหวัดลำปาง. ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. คณะเกษตรศาสตร์. ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

มนตรี บรรจงการ, กฤษดา พงษ์การัณยภาส, แหลมไทย อาษานอกและวรรณา มังกิตะ. (2565). การกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้นในป่าชุมชนบ้านปง จังหวัดแพร่. สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้–แพร่ เฉลิมพระเกียรติ. แพร่.

วิชญ์วิสิฐ เกษรสิทธิ์, ปรีชญา หะสะเล็ม และจิรา วัลย์จิตรถเวช. 2562. การสร้างชั้นภูมิโดยใช้เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยอัลกอริทึมเคมีนสำหรับการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้า พระนครเหนือ 29(2): 321–331.

สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล, สุนทร คำยอง, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง, นิวัติ อนงค์รักษ์. ความหลากชนิดพันธุ์ไม้และการสะสมคาร์บอนในป่าเต็งรังที่มีไฟป่าและไม่มีไฟป่า บริเวณสถานีวนวัฒนวิจัยอินทขิล จังหวัดเชียงใหม่. 2555; 31 (3): 1–14.

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2564). รายงานความก้าวหน้า SDGs ของประเทศไทย พ.ศ. 2559–2563. 8 กันยายน 2564

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. (2552). ลักษณะและสมบัติของชุดดินในของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. คู่มืออ้างอิงการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทยสาขาป่าไม้และการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก; 2559.

Allison, L.E. 1965. Organic Carbon. In Methods of Soil Analysis. Part 2; Chemical and Microbiological Methods. 2 nd ed. (ed. Klute, A.), pp. 1367–1378. Madison: Soila Science Society of America, Inc.

Caren JarmainThomas. Soil organic carbon stocks by soil group for afforested soils in Ireland. Department of Biological Sciences, School of Natural Sciences. journal Geoderma Regiona 2023; 32(1) Available from: https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00615

IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventourics. International Pacel on Climate Change. IGES. Japan.

IPCC, 2006. Chapter 2: Generic Methodologies applicable to multiple land–use categories.https://www.ipcc–nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch02_ Generic%20Methods.pdf.

Lovelanda, R. T. and J. R. Ironsb.2016. Landsat 8: The plans, the reality, and the legacy. Remote Sens. of Environ. 185: 1

National Oceanic and Atmospheric Administration. 2023. สื่อออนไลน์, สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2566. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/

Nitanan Koshy Matthew, Ahmad Shuib, Ismail Muhd Ekhzarizal Mohd Eusop, Sridar Ramachandran, Syamsul Herman Mohammad Afandi & Zaiton Samdin. Carbon Stock and Sequestration Valuation in a Mixed Dipterocarp Forest of Malaysia. Arboricultural Journal 2018; 47(3): 447–455.

Ogawa, H., K. Yoda and T. Kira. 1965. A preliminary survey on the vegetation of Thailand. Nature and life in SE Asia 1: 21–157.

Panmei Jiang, Matthew B. Russell, Lee Frelich, Chad Babcock and James E. Smith. Wildfires correlate with reductions in aboveground tree carbon stocks and sequestration capacity on forest land in the Western United States. 2023; 893(1), Available from: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164832

Shahariar Jaman, Xiang Zhangc and Ferzana Islama. Carbon storage and tree diversity in the urban vegetation of Dhaka city, Bangladesh: a study based on intensive field investigation. Arboricultural Journal 2020: 0307–1375.

Vicent Birungi, Sintayehu Workeneh Dejene, Michael S. Mbogga, Marc Dumas–Johansen. Carbon stock of Agoro Agu Central Forest reserve in Lamwo district Northern Uganda. Haramaya University. Journal Heloyon 2023; 9(3). Available from: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14252

Walkley, A. andI. A. Black.1947. Chromicacid titration method for determination of soilorganic matter. Soil Sci. Amer. Proc. 63: 257.

Huimin Xiang, Xianzhen Luo, Lingling Zhang, Enqing Hou, Jiong Li, Qiandong Zhu and Dazhi Wen. Forest succession accelerates soil carbon accumulation by increasing recalcitrant carbon stock in subtropical forest topsoils. 2022; 212(1). Available from: https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106030

การประเมินพื้นที่สีเขียวในเขตเทศบาลนครเชียงรายและเปรียบเทียบความเพียงพอต่อประชากรของเทศบาลนครเชียงรายเพื่อหาแนวทางการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเทศบาลนครเชียงรายทั้ง 19 แห่ง

Evaluating green areas in Chiang Rai Municipality and comparing their adequacy for the population of Chiang Rai Municipality to find ways to increase green space in all 19 areas of Chiang Rai Municipality

ณัฐวุฒิ ผลกุศล[1] และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ[1]
Natthawut Phonkusol[1] และ Sukthai Pongpattanasiri[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์พื้นที่สีเขียวของเมืองเพื่อเพิ่มศักยภาพพื้นที่สีเขียวของเมืองในเขตเทศบาลนครเชียงราย วิธีการวิจัย ใช้การสำรวจและสังเกตการณ์ในพื้นที่ ร่วมกับการจัดทำฐานข้อมูลพื้นที่สีเขียว ด้วยระบบภูมิสารสนเทศ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลขนาดพื้นที่สีเขียวในเทศบาลนครเชียงรายทั้ง 19 แห่ง สถานการณ์เชิงพื้นที่ของพื้นที่สีเขียวในเขตเทศบาลนครเชียงรายผลวิจัยพบว่าโอกาสการพัฒนาศักยภาพพื้นที่สีเขียวของเมือง จากปัจจัยที่ตั้งจะได้ผลว่าพื้นที่สีเขียวของเทศบาลนครเชียงรายทั้ง 19 แห่ง มีพื้นที่ทั้งหมด 566.75 ไร่ คิดเป็นตารางเมตรจะได้ว่า 907,070 ตารางเมตร ซึ่งเมื่อนำพื้นที่สีเขียวในหน่วยของตารางเมตรมาเฉลี่ยต่อประชากร 77,838 คนในปี 2559 ของเทศบาลนครเชียงรายจะได้ค่าเฉลี่ยพื้นที่สีเขียวต่อประชากรอยู่ที่ 11.65 ตารางเมตร/คน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่ามาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก(WHO)ได้ตั้งไว้ที่ 9 ตารางเมตร/คน

คำสำคัญ: พื้นที่สีเขียว,องค์การอนามัยโลก,ระบบภูมิสารสนเทศ

Abstract

This research therefore aims to analyze the green areas of the city in order to increase the potential of the green areas of the city in Chiang Rai Municipality. The research method used surveys and observations in the area. together with the preparation of a green space database with the geographic information system To analyze data on the size of green areas in all 19 areas of Chiang Rai Municipality, the average green area per population is 11.65 square meters/person, which is higher than the standard set by the World Health Organization (WHO).) has been set at 9 square meters/person.

Keywords: Green areas,World Health Organization,Geographic information systems

[1] คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
[1] Faculty of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao, 56000
*Corresponding author: natthawut0873@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันเมืองมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วเพื่อสนองตอบการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ ประกอบกับจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการอพยพย้ายถิ่นเข้ามาอาศัยอยู่ในเมือง ส่งผลให้มีความต้องการใช้ที่ดินเพื่อการก่อสร้างมากขึ้น ก่อให้เกิดที่ว่างในเมืองลดน้อยลง และยังส่งผลทำให้พื้นที่สีเขียวในเขตเมืองลดลงไปด้วย ฉะนั้นการดำเนินการเพื่อจัดการพื้นที่สีเขียวจึงมีความสำคัญยิ่ง เพราะนอกจากจะส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อมเมืองแล้ว ยังส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมของเมือง และที่สำคัญไปกว่านั้นคือช่วยให้คนเมืองมีสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ ออกกำลังกาย พบปะพูดคุย และช่วยเพิ่มคุณภาพชีวิตของคนเมืองอีกด้วย

พื้นที่สีเขียวเป็นองค์ประกอบสำคัญของการใช้ประโยชน์ที่ดินทุกประเภทในชุมชนเมือง มีความสำคัญต่อวิถีชีวิต ความเป็นอยู่ของผู้คนที่ตอบสนองความต้องการทางด้านร่างกาย จิตใจ การพักผ่อนและกิจกรรมนันทนาการที่เอื้อต่อสภาพแวดล้อมการอยู่อาศัยที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดว่าเมืองที่มีสิ่งแวดล้อมที่ดีควรมีพื้นที่สีเขียว 9 ตารางเมตรต่อคนส่วนมาตรฐานของประเทศไทย อยู่ที่ 16 ตารางเมตรต่อคน ความสำคัญของพื้นที่สีเขียวยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เพิ่มพื้นที่ซึมน้ำลงดิน ลดความร้อนของอุณหภูมิพื้นผิว ช่วยกรองมลพิษ ฝุ่นควัน และผลิตออกซิเจนแก่เมือง ตลอดจนช่วยบรรเทาปัญหาสุขภาพอนามัยของประชาชน การเพิ่มพื้นที่สีเขียวที่เอื้อต่อประโยชน์ใช้สอยและกิจกรรมที่ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ อย่างเพียงพอต่อความต้องการและรองรับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นในอนาคตจึงเป็นความท้าทายของเมือง

ปัจจุบันเมืองเชียงรายได้เป็นเมืองที่มีปริมาณประชากรทั่วไปและประชากรแฝงสูงเมื่อมีปริมาณของประชากรที่สูงก็จะส่งผลให้สวนสาธารณะและพื้นที่สีเขียวของเมืองจำเป็นต่อการเป็นพื้นที่สำคัญในเพื่อให้มีการดูแลรักษาสวนสาธารณะและพื้นที่สีเขียวเมืองมีการเอาพื้นที่ของสวนสาธารณะนั้นไปต่อยอดในการทำกิจกรรมอย่างอื่นเช่นมีการปลูกต้นไม้เพิ่มในพื้นที่สวนหรือการหาวิธีการดูแลต้นไม้ภายในสวนสาธารณะ

วิธีการศึกษา

บทนี้จะเป็นวิธีการดำเนินในการประมาณการดูดซับก๊าซเรือนกระจกของพื้นที่สีเขียวภายในเทศบาลนครเชียงรายและเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกกับพื้นที่สีเขียวต่อจำนวนประชากรภายในเทศบาลนครเชียงราย

3.1 การกำหนดขอบเขตพื้นที่

สวนสาธารณะและพื้นที่สีเขียวภายในเทศบาลนครเชียงรายจำนวน 19 แห่ง

3.2 การเก็บข้อมูล

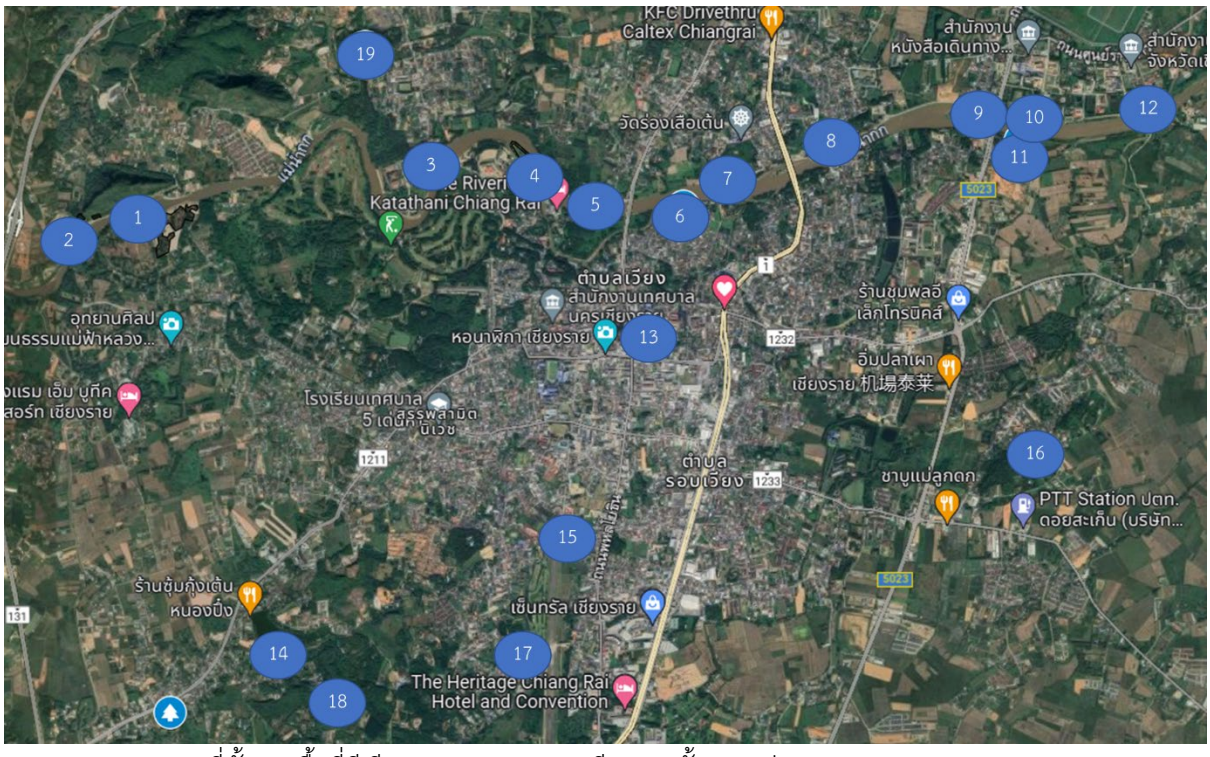
1. การลงสำรวจพื้นที่ภาคสนาม
2. ในการวิเคราะห์หาสัดส่วนพื้นที่สีเขียวใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)
3. กำหนดจุดพิกัดของพื้นที่สีเขียว
4. ตั้งขอบเขตของสวนสาธารณะและพื้นที่สีเขียวทั้งหมด
5. ตั้งขอบเขตของสวนสาธารณะและพื้นที่สีเขียวทั้งหมดเฉพาะในส่วนที่ปลูกต้นไม้

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. สำรวจพื้นที่ของพื้นที่สีเขียวทั้งหมดของเทศบาลนครเชียงราย
2. จำแนกระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่สีเขียวของเทศบาลนครเชียงราย
3. นำค่าขนาดพื้นที่สีเขียวมาเฉลี่ยต่อประชากรของเทศบาลนครเชียงราย
4. เปรียบเทียบพื้นที่สีเขียวต่อประชากรกับค่ามาตรฐานของทางองค์การอนามัยโลก

ผลการศึกษา

จากการศึกษาพื้นที่และการประมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจะได้ผลการศึกษาดังนี้



รูป 4-1 แสดงที่ตั้งของพื้นที่สีเขียวของเทศบาลนครเชียงรายทั้ง 19 แห่ง

ตาราง 4-1 รายชื่อพื้นที่สีเขียวของเทศบาลนครเชียงรายทั้ง 19 แห่ง

สถานที่	
1.สวนสาธารณะ 1 (หาดเชียงราย)	11.สวนสาธารณะ11(แคหวาย)
2.สวนสาธารณะ2 (ถ้ำพระ – แม่ยาว)	12.สวนสาธารณะ12 (ศูนย์ประชุมนครเชียงราย)
3.สวนสาธารณะ3 (ศาลากลาง)	13.สวนสาธารณะ13(สวนตุงและโคมเฉลิมพระเกียรติ)
4.สวนสาธารณะ4 (เกาะจอมทอง)	14.สวนสาธารณะ14(หนองปิ้ง)
5.สวนสาธารณะ5 (บ้านใหม่)	15.สวนสาธารณะ15(สนามบินเก่า)
6.สวนสาธารณะ6 (เกาะลอย)	16.สวนสาธารณะ16(ดอยสะเก็น)
7.สวนสาธารณะ7(ร่องเสือเต้น)	17.วัดดอยพระบาท
8.สวนสาธารณะ8(ฝั่งหมิ่น)	18.วัดพระธาตุดอยเขาควายแก้ว
9.สวนสาธารณะ9(ป่าแดง)	19.วัดพระธาตุวังชาง
10.สวนสาธารณะ10(สวนไม้งามริมกก)	

จากรูปและตาราง 4-1 จะเห็นได้ว่าสวนสาธารณะและพื้นที่สีเขียวของเทศบาลนครเชียงรายที่สำรวจมามีทั้งหมด 19 แห่ง ได้แก่ 1.สวนสาธารณะ 1 (หาดเชียงราย),2.สวนสาธารณะ2 (ถ้ำพระ – แม่ยาว),3.สวนสาธารณะ3 (ศาลากลาง),4.สวนสาธารณะ4 (เกาะจอมทอง),5.สวนสาธารณะ5 (บ้านใหม่),6.สวนสาธารณะ6 (เกาะลอย),7.สวนสาธารณะ7(ร่องเสือเต้น),8.สวนสาธารณะ8(ฝั่งหมิ่น),9.สวนสาธารณะ9(ป่าแดง),10.สวนสาธารณะ10(สวนไม้

งามริมกก), 11.สวนสาธารณะ11(แคหวาย),12.สวนสาธารณะ12(ศูนย์ประชุมนครเชียงราย),13.สวนสาธารณะ13(สวนตุงและโคมเฉลิมพระเกียรติ),14.สวนสาธารณะ14(หนองปึ๋ง),15.สวนสาธารณะ15(สนามบินเก่า),16.สวนสาธารณะ16(ดอยสะเก็น),17.วัดดอยพระบาท,18.วัดพระธาตุดอยเขาควายแก้ว,19.วัดพระธาตุวังซาง

ตาราง 4-2 ขนาดของพื้นที่ทั้งหมดและพื้นที่สีเขียว

สถานที่	พื้นที่ทั้งหมด (ไร่)	พื้นที่สีเขียว(ไร่)	พื้นที่สีเขียว (ตารางเมตร)
สวนสาธารณะ 1 (หาดเชียงราย)	70.5	38.5	61,600
สวนสาธารณะ2 (ถ้ำพระ – แม่ยาว)	7	6	9,600
สวนสาธารณะ3 (ศาลากลาง)	6.60	2.03	3,248
สวนสาธารณะ4 (เกาะจอมทอง)	16.65	8.77	14,032
สวนสาธารณะ5 (บ้านใหม่)	5.75	5.06	8,096
สวนสาธารณะ6 (เกาะลอย)	16.60	4.74	7,854
สวนสาธารณะ7(ร่องเสือเต้น)	8.93	4.25	6,800
สวนสาธารณะ8(ฝั่งหมิ่น)	26	8.01	12,816
สวนสาธารณะ9(ป่าแดง)	8.75	4.05	6,480
สวนสาธารณะ10(สวนไม้งามริมกก)	25.7	14.06	22,496
สวนสาธารณะเชียงราย11(แคหวาย)	48	19.82	31,712
สวนสาธารณะเชียงราย12(ศูนย์ประชุมนครเชียงราย)	4.6	2.36	3,776
สวนสาธารณะเชียงราย13(สวนตุงและโคมเฉลิมพระเกียรติ)	9.7	5.55	8,880
สวนสาธารณะเชียงราย14(หนองปึ๋ง)	104	25.25	40,400
สวนสาธารณะเชียงราย15(สนามบินเก่า)	15.18	6.7	10,720
สวนสาธารณะเชียงราย16(ดอยสะเก็น)	81.25	80.92	129,472
วัดดอยพระบาท	47.56	43.01	68,816
วัดพระธาตุดอยเขาควายแก้ว	206.25	203.14	325,024
วัดพระธาตุวังซาง	85.60	84.53	135,248
รวม	794.62	566.75	907,070

ตาราง 4-3 เปรียบเทียบพื้นที่สีเขียวต่อประชากรเทศบาลนครเชียงราย

พื้นที่สีเขียว (ตารางเมตร)	ประชากรเทศบาลนครเชียงราย (คน)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่สีเขียวต่อคน (ตารางเมตร/คน)
907,070	77,838	11.65

จากตาราง 4-3 พื้นที่สีเขียวของเทศบาลนครเชียงรายมีทั้ง 19 แห่ง มีพื้นที่ทั้งหมด 907,070 ตารางเมตร ซึ่งเมื่อนำมาเฉลี่ยต่อประชากรเทศบาลนครเชียงราย 77,838 คน จะได้ค่าเฉลี่ยพื้นที่สีเขียวต่อคน 11.65 ตารางเมตรต่อคน ซึ่งมาค่ามากกว่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก(WHO)ที่มีค่าเฉลี่ยพื้นที่สีเขียวต่อคนอยู่ที่ 9 ตาราง

เมตรต่อคน แต่ยังน้อยกว่าค่ามาตรฐานของทางสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม(สผ.)ซึ่งอยู่ที่ 16 ตารางเมตรต่อคน

สรุปผลการทดลอง

จากการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่สวนสาธารณะและพื้นที่สีเขียวภายในเทศบาลนครเชียงรายสรุปได้ดังนี้

1. พื้นที่สวนสาธารณะและพื้นที่สีเขียวภายในเทศบาลนครเชียงรายจำนวน 19 แห่ง
2. พื้นที่ทั้งหมด 794.62 ไร่ เป็นพื้นที่สีเขียว 566.75 ไร่ คิดเป็นตารางเมตรได้ที่ 907,070 ตารางเมตร
3.พื้นที่สีเขียวทั้งหมด 773,534 ตารางเมตร มาเฉลี่ยต่อประชากรของเทศบาลนครเชียงรายในปี2559 ทั้งหมด 77,838 คน จะได้อยู่ที่ 11.65 ตารางเมตรต่อคน

ข้อเสนอแนะงานวิจัย

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าปริมาณพื้นที่สีเขียวนั้นยังไม่เพียงพออาจจะเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้ทางเทศบาลนครโดยการดูแลของประชาชน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขทัย พงษ์พัฒนศิริ หัวหน้าศูนย์วิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อมหาวิทยาลัยพะเยา ช่วยอำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่เก็บข้อมูล และขอขอบคุณเทศบาลนครเชียงราย จังหวัดเชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกและให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลและอนุเคราะห์ข้อมูล งานวิจัย ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ผู้ศึกษาค้นคว้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

วีระ ปะทะขีนัง, สุรีย์พร นิพิฐวิทยา, ปกรณ์ เมฆแสงสวย (2557). **การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนสาธารณะในเมือง กรณีศึกษา : สวนลุมพินีกรุงเทพมหานคร.** การประชุมวิชาการระดับชาติ SMARTS ครั้งที่ 4 วันที่ 7 พ.ค. 2557

นวลจันทร์ สิงห์คราญ. **การประเมินการกักเก็บคาร์บอนและการผลิตออกซิเจนของต้นไม้ในสวนสาธารณะของกรุงเทพมหานคร เพื่อการพัฒนาเมืองที่ยั่งยืน และลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ.**มหาวิทยาลัยมหิดล คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.).(2566). **ระบบฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมและพื้นที่สีเขียว Thai Green Urban (TGU)** สืบค้นเมื่อ 6 ตุลาคม 2566, https://tgu.onep.go.th/#/home

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2564), **ก๊าซเรือนกระจก Greenhouse Gases**,สืบค้นเมื่อ 6 ตุลาคม 2566, https://actionforclimate.deqp.go.th/knowledge/2537/

องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), (2559), **ปลูกต้นไม้ยังไงให้ลดโลกร้อน,** สืบค้นเมื่อ 6 ตุลาคม 2566, https://www.tgo.or.th/2020/file_managers/uploads/file_managers/source/ PUBLICATION/ final%20Tree_version%2002.pdf

ชัญษา กันฉิ่งและคณะ (2559), **การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชที่มีเนื้อไม้ ป่าชุมชนห้วยข้าวก่ำ อ่ำเภอจุน จังหวัดพะเยา,** Proceedings ofThe 3rd National

Meeting on Biodiversity Management in Thailand. การประชุมวิชาการการบริหารจัดการความหลากหลายทางชีวภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 3 (2016)

วสันต์ จันทร์แดงและคณะ (2553), **การกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส ณ สวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น,** วารสารวนศาสตร์ ปีที่ 29 ฉบับที่ 3 (2553)

ชมพูนุช แสนภพ. (2554). **การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ต้นในสวนสันติภาพ.** กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม ภาควิชาโครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร

สายรุ้ง แววตะคุ, สุจิณณา กรรณสูตร และ สุรัตน์ บัวเลิศ. 2558. **ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท.** กรุงเทพฯ: สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะ สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.Jo, H.-K., Kim, J.-Y., Park, H.-M., 2019. Carbon reduction and planning strategies for urban parks in Seoul. Urban Forestry & Urban Greening 41, 48–54. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.009

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง CMIP6 เพื่อจำลองปริมาณน้ำฝนประเทศไทย

Evaluation of CMIP6 GCMs performance to simulate precipitation over Thailand

ก้องภพ ลีราช[1], วินัย เชาวน์วิวัฒน์[2] และ สิทธิชัย พิมลศรี[1*]

Kongphop Leerach[1], Winai Chaowiwat[2] and Sittichai Pimonsree[1*]

บทคัดย่อ

การศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) ที่ผ่านการคำนวณเพิ่มขนาดความละเอียดด้วยวิธีทางสถิติและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี Scaled distribution mapping (SDM) จำนวน 15 GCM ช่วงปี ค.ศ.1981–2013 โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน จำนวน 114 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย และจัดอันดับประสิทธิภาพของ GCM ด้วยวิธี ranking scores method (RS) โดยใช้แปดตัวชี้วัดทางสถิติทั้งรูปแบบเชิงพื้นที่และเชิงเวลา การศึกษาพบว่าแบบจำลองทั้ง 15 GCM ที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนกับสถานีตรวจวัด มีประสิทธิภาพสูงและมีความสัมพันธ์ของรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของฝนใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัด โดยแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด 5 ลำดับแรกได้แก่ MRI–ESM2–0, CMCC–ESM2, GFDL–ESM4, EC–Earth3 และ BCC–CSM2–MR ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้สนับสนุนการตัดสินใจเลือกแบบจำลองข้อมูลปริมาณฝนที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย และนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินผลกระทบและวางแผนรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ, CMIP6, การประเมินความถูกต้องแบบจำลอง, ปริมาณน้ำฝน, ประเทศไทย

[1] สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] ฝ่ายนวัตกรรมสารสนเทศทรัพยากรน้ำ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน), กรุงเทพมหานคร, 10900

[1] Department of Environment Engineering, School of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Hydro Informatics Institute, Bangkok, 10900

*Corresponding author: sittichai007@hotmail.com

Abstract

The study aimed to evaluate the performance of simulating precipitation data from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) global climate models (GCMs) after they underwent statistical downscaling and bias correction using the Scaled Distribution Mapping (SDM) method. This assessment involved 15 GCMs over the period from 1981 to 2013. It compared the GCM data with rainfall measurements from 114 weather stations covering various regions in Thailand. The GCMs were ranked in terms of their performance using the ranking scores method (RS), which utilized eight statistical indicators covering both spatial and temporal patterns. The study found that all 15 GCMs, after undergoing bias correction and comparison with station measurements, demonstrated high performance and exhibited a close relationship with observed rainfall patterns. The top five GCMs in terms of performance were identified as MRI-ESM2-0, CMCC-ESM2, GFDL-ESM4, EC-Earth3, and BCC-CSM2-MR. The results of this study can be used to support for selecting GCMs with efficient rainfall data for various regions in Thailand. These GCMs can be applied for efficient climate change impact assessment and adaptation planning in the future.

Keywords: Global climate models, CMIP6, Model ranking, Precipitation, Thailand

บทนำ

ปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการดำรงอยู่ของมนุษย์ พืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ ซึ่งความแปรผันของปริมาณฝนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งเชิงพื้นที่และเวลา (Yazdandoost et al., 2021) เนื่องจากประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมสองชนิด คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีความรุนแรงมากขึ้น ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝน ทำให้บางพื้นที่ได้รับผลกระทบและเกิดความเสียหายเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยปัญหาเหล่านี้เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ อีกทั้งยังก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน โครงสร้างพื้นฐานของรัฐ และส่งผลต่อความเป็นอยู่ของประชาชน การวางแผนจัดการเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาวจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลคาดการณ์สภาพภูมิอากาศที่มีความแม่นยำ เพื่อใช้ในการวางแผนการปรับตัวรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

ชุดข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่มีความละเอียดสูงจึงถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการประเมินผลทางวิทยาศาสตร์และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการปรับตัวรวมถึงการบรรเทาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต (Abro, Kassie, Tanga, Beesigamukama, & Diiro, 2020) โดยโครงการวิจัยสภาพภูมิอากาศโลก (the World Climate Research Programme: WCRP) ได้พัฒนาชุดแบบจำลอง the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) เพื่อจำลองภูมิอากาศในอนาคตด้วยแบบจำลอง Global circulation models (GCMs) สำหรับในประเทศไทยแบบจำลอง CMIP5 และเวอร์ชันก่อนหน้ามีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยในปี ค.ศ.2014 WCRP ได้เปิดตัวแบบจำลองชุดใหม่ CMIP6 (Eyring et al., 2016) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ในด้านของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศให้ชัดเจนขึ้น โดยมีการรวมกันของการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในอนาคต

(Shared Socioeconomic Pathways: SSPs) และภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Representative Concentration Pathway: RCP) ซึ่งการพัฒนานี้จะสะท้อนถึงมุมมองด้านผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม ทำให้ผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น (O'Neill, 2016) เนื่องจาก GCMs ใหม่ใน CMIP6 แสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบในการจำลองลักษณะและรูปแบบของปริมาณฝนได้ดีกว่าเวอร์ชันก่อนหน้า (Na et al., 2020; Xin et al. 2020)

นักพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศทั่วโลกยังคงเผยแพร่ผลลัพธ์ GCM ภายใต้ CMIP6 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2017 (Stouffer et al., 2017; Cui et al.,2021) และปัจจุบันมีผลลัพธ์มากกว่า 70 GCM (ESGF the Earth System Grid Federation, 2021) สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ได้นำข้อมูลจากแบบจำลอง GCM จำนวน 15 แบบจำลองมาคำนวณเพิ่มความละเอียดด้วยวิธีทางสถิติ (Statistical downscale) ด้วยข้อมูลตรวจวัดฝนของประเทศไทย โดยมีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี Scaled distribution mapping (SDM) อย่างไรก็ดี ประสิทธิภาพของแต่ละ CMIP6 GCM แตกต่างกันไปเนื่องจากโครงสร้างของแบบจำลอง การกำหนดพารามิเตอร์ การตั้งค่าเงื่อนไขเริ่มต้น และความแตกต่างด้านภูมิอากาศและภูมิประเทศ (Guo et al., 2021; Wang et al., 2021) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจำลองรูปแบบของปริมาณฝนระหว่าง GCM กับสถานีตรวจวัดที่ครอบคลุมทั้งประเทศไทย ช่วงปี ค.ศ.1981–2013 ด้วยการประเมินโดยใช้ตัวชี้วัดทางสถิติ ทั้งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลา การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ความผันผวน และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนในแต่ละแบบจำลอง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์สำหรับใช้ในการตัดสินใจเลือกแบบจำลองข้อมูลปริมาณฝนที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย และนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การประเมินผลกระทบ และวางแผนรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการศึกษา

1.ชุดข้อมูลที่นำมาศึกษา

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก CMIP6 จำนวน 15 GCMs ที่ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) แสดงรายละเอียดของแบบจำลองดังตารางที่ 1 โดยข้อมูลปริมาณฝนของแบบจำลองได้ผ่านการคำนวณเพิ่มความละเอียดด้วยวิธีทางสถิติมาที่ความละเอียดกริดประมาณ 5x5 ก.ม.^{2} และปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี Scaled distribution mapping (SDM) (M. B. Switanek et al., 2017) ที่มีการใช้ข้อมูลจากแบบจำลองปรับแก้เทียบกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 1,150 สถานี ครอบคลุมทั้งประเทศไทย

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของข้อมูลแบบจำลอง CMIP6

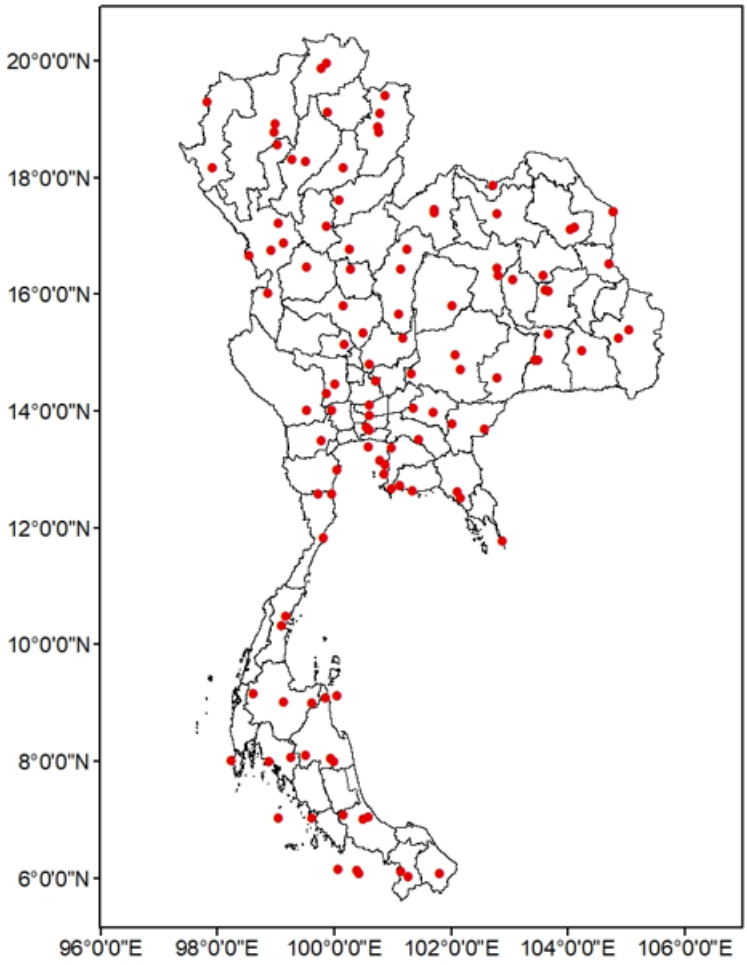
ชื่อแบบจำลอง	สถาบัน	ประเทศ	ความละเอียด (lon x lat)
ACCESS-ESM1-5	Commonwealth Scientifc and Industrial Research Organisation	Australia	1.875°x1.25°
BCC-CSM2-MR	Beijing Climate Center of China Meteorological Administration (BCC-CMA)	China	1.125°x1.125°
CanESM5	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCMA)	Canada	2.81°x2.81°
CESM2	National Center of Atmospheric Research (NCAR)	USA	1.25°x0.9°
CMCC-ESM2	Euro-Mediterranean Centre on Climate Change (CMCC)	Europe	0.9°x1.25°
EC-Earth3	European EC-Earth Consortium	Europe	0.70°x0.70°
FGOALS-g3_MIP	Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences	China	2°x2.25°
GFDL-ESM4	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, National Oceanic and Atmosphere Administration	USA	1.25°x1.0°
IPSL-CM6A-LR	Institute Pierre Simon Laplace (IPSL)	France	2.5°x1.26°
MIROC6	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute, National Institute for Environmental Studies (MIROC)	Japan	1.41°x1.41°
MPI-ESM1-HR	Max Planck Institute for Meteorology	Germany	0.94°x0.94°
MPI-ESM1-LR	Max Planck Institute for Meteorology	Germany	1.875°x1.875°
MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency	Japan	1.12°x1.12°
NorESM2-LM	Norwegian Climate Center	Norway	2.5°x1.875°
NorESM2-MM	Norwegian Climate Center	Norway	0.9°x0.9°

2.พื้นที่ศึกษา

ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อนทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย ระหว่างละติจูด 5 37' เหนือ กับ 20 27' เหนือ และระหว่างลองจิจูด 97 22' ตะวันออก กับ 105 37' ตะวันออก มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 513,115 ตารางกิโลเมตร มีขนาดใหญ่เป็นอันดับ 3 ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รองจากประเทศอินโดนีเซียและพม่า โดยประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมสองชนิด คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีปริมาณฝน 1,200-1,600 มิลลิเมตรต่อปี

3.ข้อมูลตรวจวัดและแบบจำลอง CMIP6

การศึกษานี้เลือกใช้ข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดที่ครอบคลุมทั้งประเทศไทย จำนวน 114 สถานี และใช้ข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก CMIP6 ในตำแหน่งเดียวกันกับสถานีตรวจวัด จำนวน 15 GCMs แสดงรายละเอียดตำแหน่งของสถานีตรวจวัดดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งของสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่ใช้ในการประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง

4.การประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง

สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพของข้อมูลปริมาณน้ำฝนระหว่างสถานีตรวจวัดกับแบบจำลองสภาพภูมิอากาศทั้ง 15 GCMs จะทำการศึกษาในช่วง ค.ศ.1981–2013 (33 ปี) ซึ่งจะประเมินโดยใช้ตัวชี้วัดทางสถิติทั้งหมด 8 ตัว เพื่อประเมินความถูกต้องทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย (Pimonsree, S., et al., 2023) แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 2 โดยตัวชี้วัดเหล่านี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

ตัวชี้วัดกลุ่มที่ 1 การประเมินประสิทธิภาพรูปแบบการจำลองปริมาณฝนเชิงพื้นที่ ประกอบด้วย Mean annual (MA), Mean bias errors (MBE), RMSE และ Spatial Correlation Coefficient (r_s)

ตัวชี้วัดกลุ่มที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพรูปแบบการจำลองปริมาณฝนเชิงเวลา ประกอบด้วย Correlation Coefficient (r_t), Coefficient of variation (CV), Trend, และ Mean Seasonal Cycle Amplitude (SeasonAmp)

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดตัวชี้วัดทางสถิติที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

กลุ่มที่	ตัวชี้วัด	สมการ	หน่วย	ช่วง
1	MA	$\frac{\sum_{y=1}^{N} Py}{N}$	มม.	∞
	MBE	$MA_{GCM} - MA_{OBS}$	มม.	−∞ ถึง ∞
	RMSE	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{P=1}^{n}(MA_{GCM_P} - MA_{OBS_P})^2}{n}}$	มม.	0 ถึง ∞
	r_s	$\frac{\sum_{p=1}^{n}\left(MA_{GCM_p} - \overline{MA_{GCM}}\right)(MA_{OBS_p} - \overline{MA_{OBS}})}{\sqrt{\sum_{p=1}^{n}\left(MA_{GCM_p} - \overline{MA_{GCM}}\right)^2\left(MA_{OBS_p} - \overline{MA_{OBS}}\right)^2}}$	–	–1 ถึง 1
2	r_t	$\frac{\sum_{y}\left(MA_{GCM_y} - \overline{MA_{GCM}}\right)(MA_{OBS_y} - \overline{MA_{OBS}})}{\sqrt{\sum_{t}\left(MA_{GCM_y} - \overline{MA_{GCM}}\right)^2\left(MA_{OBS_y} - \overline{MA_{OBS}}\right)^2}}$	–	–1 ถึง 1
	CV	$(\frac{SD}{MA}) \times 100$	%	∞
	Trend	$Y = a + bx$ เมื่อ $b = \frac{\sum MA_y \sum T_y^2 - \sum T_y \sum T_y MA_y}{N * \sum T_y^2 - (\sum T_y)^2}$ $a = \frac{N * \sum T_y MA_y - \sum T_y \sum MA_y}{N * \sum T_y^2 - (\sum T_y)^2}$	มม.	−∞ ถึง ∞
	SeasonAmp	$(\frac{(Mon_{wettest} - Mon_{driest})}{MA}) \times 100$	%	−∞ ถึง ∞

โดยที่ Py คือ ปริมาณฝนสะสมรายปี และ **N** คือจำนวนปีทั้งหมด, MA_{GCM} คือ ค่าเฉลี่ยฝนสะสมรายปีของ GCM, MA_{OBS} คือ ค่าเฉลี่ยฝนสะสมรายปีของสถานีตรวจวัด, MA_{GCM_P} คือ ค่าเฉลี่ยฝนสะสมรายปีของ GCM ในตำแหน่ง p, MA_{OBS_P} คือ ค่าเฉลี่ยฝนรวมรายปีของสถานีตรวจวัด ในตำแหน่ง p, **n** คือ จำนวนตำแหน่งทั้งหมด, $\overline{MA_{GCM}}$ คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนสะสมรายปีของ GCM, $\overline{MA_{OBS}}$ คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนสะสมรายปีของสถานีตรวจวัด, MA_{GCM_y} คือ ปริมาณฝนสะสมรายปีเฉลี่ยทุกตำแหน่งสถานีตรวจวัดของ GCM ในปี y, MA_{OBS_y} คือ ปริมาณฝนสะสมรายปีเฉลี่ยทุกตำแหน่งสถานีตรวจวัดของสถานีตรวจวัดในปี y, $Mon_{wettest}$ คือ ปริมาณฝนเดือนที่มากที่สุดในช่วงเวลาที่ศึกษา, Mon_{driest} คือ ปริมาณฝนเดือนที่น้อยที่สุดในช่วงเวลาที่ศึกษา, **SD** คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, **Y** คือ การคาดการณ์ในช่วง x, **a** คือ จุดตัด, **b** คือ ความชัน, **x** คือ ช่วงระยะเวลา, MA_y คือ ค่าเฉลี่ยฝนสะสมรายปีของปี y

5.การจัดลำดับ GCMs

สำหรับการจัดลำดับผลการประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลอง CMIP6 ทั้ง 15 GCMs จะใช้วิธี ranking scores method (RS) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการจัดลำดับความสามารถของ GCMs (Rupp et al., 2013; Ruan et al., 2018; Jia et al., 2019) โดย RS จะใช้ขั้นตอนในการจัดลำดับประสิทธิภาพของแบบจำลอง 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนแรก คือ การคำนวณค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของค่าทางสถิติระหว่าง GCM กับสถานีตรวจวัด ($Error_{GCM,\ M}$) โดยใช้สมการที่ 1 ซึ่ง OBS_M และ GCM_M คือผลการประเมินประสิทธิภาพของตัวชี้วัดทางสถิติ (M) ของสถานีตรวจวัด และ GCM ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในกรณีของ r ค่า OBS_M ถูกตั้งให้เป็น 1 ซึ่งหากมีค่า $Error_{GCM,\ M}$ ที่ต่ำ คือการแสดงถึงประสิทธิภาพที่สูงของ GCM (Ruan et al., 2018)

ขั้นตอนที่สอง คือ คำนวณค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ GCM ในแต่ละตัวชี้วัดทางสถิติ (M) ($RE_{GCM,\ M}$) โดยใช้สมการที่ 2 ซึ่ง min และ max คือค่าต่ำสุดและสูงสุดจาก GCM ทั้งหมดตามลำดับ

ขั้นตอนสุดท้าย คือ คำนวณค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์รวม (TRE_{GCM}) ซึ่งได้จากผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ ($RE_{GCM,\ M}$) ทั้งหมดของแต่ละตัวชี้วัดทางสถิติ (สมการที่ 3) โดยที่ N เท่ากับ 8

$$\mathbf{Error_{GCM,M}} = |\ \mathbf{OBS_M} - \mathbf{GCM_M}\ | \quad (1)$$

$$\mathbf{RE_{GCM,M}} = \frac{\mathbf{Error_{GCM,M}} - \boldsymbol{min}(\mathbf{Error_{GCM,M}})}{\boldsymbol{max}(\mathbf{Error_{GCM,M}}) - \boldsymbol{min}(\mathbf{Error_{GCM,M}})} \quad (2)$$

$$\mathbf{TRE_{GCM}} = \sum_{N=1}^{M} \mathbf{RE_{GCM,M}} \quad (3)$$

ผลการศึกษา

1.ผลการจำลองปริมาณฝนเชิงพื้นที่

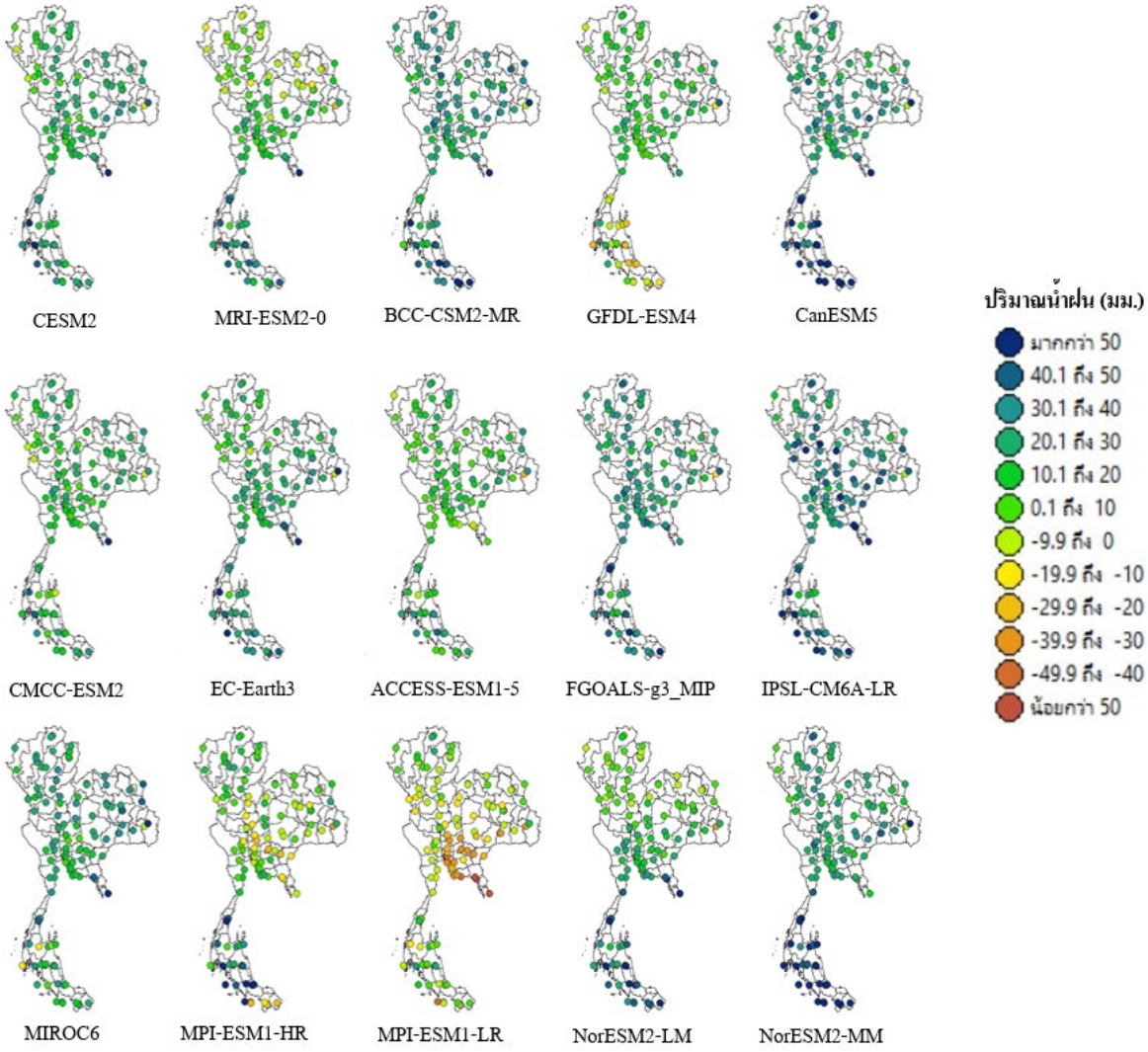
ผลการประเมินประสิทธิภาพการจำลองรูปแบบปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของสถานีตรวจวัด และ GCM แต่ละแบบจำลอง ได้รับการประเมินการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณฝนสะสมรายปีเฉลี่ยในช่วง ค.ศ.1981–2013 แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3A ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฝนสะสมรายปีเฉลี่ย (MA) ของสถานีตรวจวัดในช่วงที่ศึกษา คือ 1,543 มิลลิเมตร/ปี ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของ MA ทุกแบบจำลองอยู่ที่ 1562 มิลลิเมตร/ปี โดยแบบจำลองที่มีค่าใกล้เคียงจุดตรวจวัดที่สุดคือ GFDL–ESM4 มีค่า 1551 มิลลิเมตร/ปี เช่นเดียวกับตัวชี้วัด MBE และ RMSE ที่มีค่าความแตกต่างกับสถานีตรวจวัดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 8.01 และ 16.44 มิลลิเมตร/ปี ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความถูกต้องของการจำลองในแต่ละพื้นที่ในประเทศไทยด้วยข้อมูล MBE ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่า GFDL–ESM4 สามารถจำลองฝนได้ดีสอดคล้องกับค่าตรวจวัดมีค่า MBE ต่ำทั่วทั้งประเทศไทย ในขณะหลายแบบจำลองมีค่าเอนเอียงสูงในบางพื้นที่โดยเฉพาะภาคใต้ สำหรับตัวชี้วัด Spatial Correlation Coefficient (r_s) เนื่องจากแบบจำลองทั้ง 15 GCMs ผ่านการปรับแก้ความคาดเคลื่อนมาแล้ว ค่า r_s จึงมีค่าความสัมพันธ์ที่สูง โดยแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์สูงที่สุดคือ CMCC–ESM2 มีค่า 0.99987

2.ผลการจำลองปริมาณฝนเชิงเวลา

ผลการประเมินประสิทธิภาพการจำลองรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนเชิงเวลาของ GCM แต่ละแบบจำลองในช่วง ค.ศ.1981–2013 แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3B ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองที่มีค่า Correlation Coefficient (r_t) สูงที่สุดคือ MRI–ESM2–0 มีค่า 0.09 (r_t ที่มีค่าติดลบ หมายถึง ข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดและแบบจำลองมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม) สำหรับค่า Coefficient of variation (CV) ของสถานีตรวจวัด มีค่าเท่ากับ 18.85% โดยแบบจำลองที่มีค่า CV แตกต่างจากสถานีตรวจวัดน้อยที่สุดคือ BCC–CSM2–MR มีค่า 20.30% ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง Trend ของสถานีตรวจวัด มีค่าเท่ากับ 6.93 มิลลิเมตร/ปี แบบจำลองที่มีค่าแตกต่างจากสถานีตรวจวัดน้อยที่สุดคือ NorESM2–MM มีค่า 7.07 มิลลิเมตร/ปี (Trend ที่มีค่าติดลบ หมายถึง ปริมาณฝนมีแนวโน้มลดลง) และตัวชี้วัด Mean Seasonal Cycle Amplitude (SeasonAmp) ของสถานีตรวจวัด มีค่าเท่ากับ 19.48% แบบจำลองที่มีค่าแตกต่างจากสถานีตรวจวัดน้อยที่สุดคือ MRI–ESM2–0 มีค่า 19.44%

ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยตัวชี้วัดทางสถิติ

ตัวชี้วัด / ชื่อแบบจำลอง	3A				3B			
	กลุ่มที่ 1 การจำลองปริมาณฝนเชิงพื้นที่				กลุ่มที่ 2 การจำลองปริมาณฝนเชิงเวลา			
	MA (mm.)	MBE (mm.)	RMSE (mm.)	r_s	r_t	CV (%)	trend (mm.)	Season Amp (%)
OBS (สถานีตรวจวัด)	1543.31	0	0	1	1	18.85	6.93	19.48
CESM2	1563.20	19.89	23.36	0.99986	0.06	27.50	1.59	19.38
MRI–ESM2–0	1555.38	12.07	21.04	0.99973	0.09	23.85	5.61	19.44
BCC–CSM2–MR	1572.63	29.33	32.09	0.99981	0.08	20.30	4.07	19.42
GFDL–ESM4	1551.31	8.01	16.44	0.99974	–0.03	22.29	–4.93	19.63
CanESM5	1576.32	33.02	37.85	0.99969	–0.06	22.07	3.58	19.12
CMCC–ESM2	1559.54	16.23	19.42	0.99987	–0.01	21.73	–2.38	19.53
EC–Earth3	1565.52	22.21	25.84	0.99984	0.05	23.17	1.33	19.36
ACCESS–ESM1–5	1556.12	12.81	16.85	0.99985	–0.17	24.66	–13.68	19.34
FGOALS–g3_MIP	1572.57	29.27	31.60	0.99983	0.05	26.53	–4.31	19.10
IPSL–CM6A–LR	1578.41	35.11	39.36	0.99973	0.05	20.58	–4.69	19.37
MIROC6	1565.61	22.30	25.43	0.99981	0.00	22.64	0.53	19.38
MPI–ESM1–HR	1551.82	8.51	25.17	0.99932	0.06	24.64	–0.14	19.20
MPI–ESM1–LR	1532.53	–10.78	23.03	0.99947	0.01	24.53	–1.66	19.21
NorESM2–LM	1561.57	18.26	27.21	0.99962	–0.04	24.93	–2.01	19.03
NorESM2–MM	1574.91	31.60	37.24	0.99962	0.04	23.57	7.07	19.11



ภาพที่ 2 แสดงรายละเอียดความแตกต่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่ของค่าเฉลี่ยรายปี (MBE) ระหว่างสถานีตรวจวัดกับแบบจำลอง ช่วงปี ค.ศ.1981–2013

3.การจัดลำดับประสิทธิภาพของแบบจำลอง

จากผลการศึกษารูปแบบการจำลองปริมาณฝนทั้งเชิงพื้นที่ และเชิงเวลา จะพบว่าการประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลอง จะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันในแต่ละตัวชี้วัดทางสถิติที่นำมาวิเคราะห์ ดังนั้นจึงต้องมีการใช้ตัวชี้วัดที่หลากหลายเพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพรวมของแบบจำลอง โดยจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี ranking scores method (RS) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4 แบบจำลองที่มีคะแนนความผิดพลาดสัมบูรณ์รวม (TRE_{GCM}) น้อยที่สุด 5 อันดับแรกคือ MRI–ESM2–0, CMCC–ESM2, GFDL–ESM4, EC–Earth3 และ BCC–CSM2–MR ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาแบบจำลอง CMIP6 ก่อนหน้าโดย Iqbal et al. (2021) ที่รายงานว่า MRI–ESM2–0 และ EC–Earth3 เป็นแบบจำลองอันดับต้นๆ ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองปริมาณฝนในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ตารางที่ 4 แสดงรายละเอียดผลการจัดลำดับประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธี ranking scores method (RS)

ตัวชี้วัด / ชื่อแบบจำลอง	RE_MA	RE_MBE	RE_RMSE	RE_r_s	RE_r_t	RE_CV	RE_trend	RE_Season Amp	TRE	อันดับ
MRI-ESM2-0	0.15	0.15	0.20	0.26	0.00	0.49	0.06	0.00	1.31	1
CMCC-ESM2	0.30	0.30	0.13	0.00	0.40	0.20	0.45	0.01	1.79	2
GFDL-ESM4	0.00	0.00	0.00	0.23	0.47	0.28	0.57	0.26	1.82	3
EC-Earth3	0.52	0.52	0.41	0.06	0.17	0.40	0.27	0.19	2.54	4
BCC-CSM2-MR	0.79	0.79	0.68	0.11	0.03	0.00	0.13	0.03	2.56	5
MIROC6	0.53	0.53	0.39	0.11	0.34	0.33	0.31	0.13	2.66	6
CESM2	0.44	0.44	0.30	0.03	0.12	1.00	0.25	0.15	2.73	7
MPI-ESM1-HR	0.02	0.02	0.38	1.00	0.13	0.60	0.34	0.58	3.08	8
MPI-ESM1-LR	0.10	0.10	0.29	0.72	0.33	0.59	0.41	0.56	3.10	9
ACCESS-ESM1-5	0.18	0.18	0.02	0.04	1.00	0.61	1.00	0.24	3.26	10
IPSL-CM6A-LR	1.00	1.00	1.00	0.26	0.15	0.04	0.56	0.15	4.17	11
NorESM2-LM	0.38	0.38	0.47	0.45	0.51	0.64	0.43	1.00	4.25	12
NorESM2-MM	0.87	0.87	0.91	0.45	0.21	0.45	0.00	0.80	4.56	13
FGOALS-g3_MIP	0.78	0.78	0.66	0.07	0.16	0.87	0.54	0.84	4.71	14
CanESM5	0.92	0.92	0.93	0.33	0.60	0.25	0.16	0.78	4.90	15

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก CMIP6 จำนวน 15 GCM ในการจำลองปริมาณฝนในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจากจุดตรวจวัดจำนวน 114 สถานี ช่วงปี ค.ศ.1981-2013 ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองทั้ง 15 GCM ที่ผ่านการคำนวณเพิ่มขนาดความละเอียดด้วยวิธีทางสถิติและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนกับสถานีตรวจวัด มีประสิทธิภาพสูงและมีความสัมพันธ์ของรูปแบบการเปลี่ยนแปลงฝนใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัด ปริมาณฝนโดยรวมของแบบจำลองมีค่ามากกว่าสถานีตรวจวัดเล็กน้อย และมีความเอนเอียงสูงในบางพื้นที่ โดยเฉพาะภาคใต้ซึ่งเป็นภูมิภาคที่มีความแปรปรวนของฝนค่อนข้างสูง สำหรับแบบจำลอง 5 อันดับแรกที่ได้ผลประเมินดีที่สุดได้แก่ MRI-ESM2-0, CMCC-ESM2, GFDL-ESM4, EC-Earth3 และ BCC-CSM2-MR ตามลำดับ โดยแต่ละแบบจำลองจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันในแต่ละตัวชี้วัดทางสถิติ สำหรับ GCM ที่มีความโดดเด่นในการจัดลำดับประสิทธิภาพของแบบจำลองเชิงพื้นที่ ซึ่งมีค่าค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์รวม (TRE) ของ 4 ตัวชี้วัดเชิงพื้นที่น้อยที่สุด คือ GFDL-ESM4 และแบบจำลองที่มีความโดดเด่นในการจัดลำดับประสิทธิภาพของแบบจำลองของ 4 ตัวชี้วัดเชิงเวลา คือ BCC-CSM2-MR โดยผลการศึกษานี้สามารถใช้ประกอบการตัดสินใจสำหรับการเลือก GCM ที่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย เพื่อใช้ประโยชน์ทั้งในการวางแผนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การประเมินผลกระทบและวางแผนรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองแค่ 15 GCM ซึ่งปัจจุบันมีแบบจำลองมากกว่า 70 GCM (ESGF the Earth System Grid Federation, 2021) ดังนั้นการศึกษาต่อไปควรศึกษาแบบจำลองชุดใหม่ และเพิ่มจำนวนสถานีตรวจวัดปริมาณฝน หรืออาจใช้ชุดข้อมูลตรวจวัดแบบกริดเพื่อทำการประเมินความถูกต้องได้ครอบคลุมเชิงพื้นที่มากขึ้น เพื่อคัดเลือกแบบจำลองข้อมูลฝนที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับพื้นที่ประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) สำหรับชุดข้อมูลแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ CMIP6

เอกสารอ้างอิง

Abro, Z., Kassie, M., Tanga, C., Beesigamukama, D., & Diiro, G. (2020). Socio-economic and environmental implications of replacing conventional poultry feed with insect-based feed in Kenya. **Journal of Cleaner Production**, 265, 121871.

Cui, T., Li, C., Tian, F., 2021. Evaluation of temperature and precipitation simulations in CMIP6 models over the Tibetan Plateau. Earth Space Sci. 8, e2020EA001620 https:// doi.org/10.1029/2020EA001620.

ESGF the Earth System Grid Federation, 2021. https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/ (accessed 15 December 2021).

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C., Stevens, B., Stouffer, R.J., Taylor, K.E., 2016. Overview of the coupled model intercomparison project phase 6 (CMIP6) experimental design and organisation. Geosci. Model Dev. 9, 1937–1958. https:// doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016.

Guo, H., Bao, A., Chen, T., Zheng, G., Wang, Y., Jiang, L., De Maeyer, P., 2021. Assessment of CMIP6 in simulating precipitation over Arid Central Asia. Atmos. Res. 252 (105451), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105451.

Iqbal, Z., Shahid, S., Ahmed, K., Ismail, T., Ziarh, G.F., Chung, E.S., Wang, X., 2021. Evaluation of CMIP6 GCM rainfall in mainland Southeast Asia. Atmos. Res. 254, 105525 https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105525.

Jia, K., Ruan, Y., Yang, Y., Zhang, C., 2019. Assessing the performance of CMIP5 global climate models for simulating future precipitation change in the Tibetan Plateau. Water. 11, 1771. https://doi.org/10.3390/w11091771.

Na, Y., Fu, Q., & Kodama, C. (2020). Precipitation probability and its future changes from a global cloud-resolving model and CMIP6 simulations**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 125(5), e2019JD031926.

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. Geoscientific Model Development, 9(9), 3461-3482.

Pimonsree, S., Kamworapan, S., Gheewala, S. H., Thongbhakdi, A., & Prueksakorn, K. (2023). Evaluation of CMIP6 GCMs performance to simulate precipitation over Southeast Asia. **Atmospheric Research**, 282, 106522.

Ruan, Y., Yao, Z., Wang, R., Liu, Z., 2018. Ranking of CMIP5 GCM skills in simulating observed precipitation over the lower Mekong Basin, using an improved score-based method. Water. 10, 1868. https://doi.org/10.3390/w10121868.

Rupp, D.E., Abatzoglou, J.T., Hegewisch, K.C., Mote, P.W., 2013. Evaluation of CMIP5 20th century climate simulations for the Pacific Northwest USA. **J. Geophys. Res. Atmos.** 118, 10884–10906. https://doi.org/10.1002/jgrd.50843.

Stouffer, R.J., Eyring, V., Meehl, G.A., Bony, S., Senior, C., Stevens, B., Taylor, K.E., 2017. CMIP5 Scientific Gaps and Recommendations for CMIP6. Bull. Am. Meteorol. Soc. 98, 95–105. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00013.1.

Switanek, M. B., Troch, P. A., Castro, C. L., Leuprecht, A., Chang, H. I., Mukherjee, R., & Demaria, E. (2017). Scaled distribution mapping: a bias correction method that preserves raw climate model projected changes. Hydrology and Earth System Sciences, 21(6), 2649–2666.

Wang, L., Zhang, J., Shu, Z., Wang, Y., Bao, Z., Liu, C., Zhou, X., Wang, G., 2021. Evaluation of the ability of CMIP6 Global climate models to simulate precipitation in the Yellow River Basin, China. Front. Earth Sci. 9 (751974), 1–12. https://doi.org/ 10.3389/feart.2021.751974.

Xin, X., Wu, T., Zhang, J., Yao, J., & Fang, Y. (2020). Comparison of CMIP6 and CMIP5 simulations of precipitation in China and the East Asian summer monsoon. **International Journal of Climatology**, 40(15), 6423–6440.

Yazdandoost, F., Moradian, S., Izadi, A., Aghakouchak, A., 2021. Evaluation of CMIP6 precipitation simulations across different climatic zones: uncertainty and model intercomparison. Atmos. Res. 250, 105369 https://doi.org/10.1016/j. atmosres.2020.105369.

การศึกษาความเป็นไปได้ในการตรึงเซลล์ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* โดยการห่อหุ้มด้วยโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนต เพื่อนำไปใช้ในการผลิตไวน์กระเจี๊ยบ

Feasibility study of yeast cell immobilization *saccharomyces cerevisiae* by polysaccharide encapsulation from durian peel and sodium alginate for use in the production of roselle wine

มธุรา อุณหศิริกุล[1*], เดือนเต็ม ทองเผือก[1], เกวลิน วิเศษ[1], ธนายุต วะโร และ ศกลรัตน์ วานิชพงษ์
Matura Unhasirikul[1*], Dueantem Thongphueak[1], Kewalin Wiset[1], Tanayut Waro and Sakonrat Vanidchpong

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการสกัดโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียน นำโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนมาผลิตเซลล์ตรึงโดยผสมกับโซเดียมอัลจิเนต พบว่า อัตราส่วน 40 : 60 ได้เม็ดเจลที่แข็งแรง นำไปผลิตไวน์กระเจี๊ยบ โดยเปรียบเทียบกับเซลล์อิสระ ใช้ระยะเวลาการหมัก 12 วัน พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและค่าพีเอชของไวน์ที่หมักโดยเซลล์ตรึงมีการลดลงมากกว่าไวน์ที่หมักโดยเซลล์อิสระตามระยะเวลาของการหมักที่เพิ่มขึ้น ให้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงกว่าการหมักด้วยเซลล์อิสระ ในวันที่ 12 ของการหมักโดยเซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด เท่ากับ 9.20 และ 6.00 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ นำเซลล์ตรึงมาหมักซ้ำจำนวน 6 รอบ พบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์สุดท้าย เท่ากับ 7.48, 7.15, 7.10, 7.07, 6.43 และ 6.25 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ จำนวนการหมักซ้ำเพิ่มขึ้น ปริมาณแอลกอฮอล์จะลดลง เนื่องจากเซลล์ยีสต์มีการหลุดออกหรือเซลล์ตาย สอดคล้องกับการตรวจสอบปริมาณเซลล์ พบว่า ก่อนการหมักปริมาณเซลล์ เท่ากับ 10.20×10^6 CFU/ml หลังการหมักมีการหลุดออกของเซลล์ในเม็ดเจลลดลงเหลือเท่ากับ 0.20×10^6 CFU/ml

คำสำคัญ: โพลีแซคคาไรด์, เซลล์ตรึงรูป, ไวน์กระเจี๊ยบ, เปลือกทุเรียน

[1] ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000
[1] Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000
* Corresponding author : matura.u@rbru.ac.th

Abstract

This research explores the extraction of polysaccharides from durian peel. Polysaccharides from durian peel was produced immobilized cells by mixing it with sodium alginate, it was found that a ratio of 40:60 yielded high-quality gel beads. The gel was used to produce Roselle wine, comparing it with free cells, with a fermentation time of 12 days. The study revealed that the total dissolved solids and pH values of the wine produced with immobilized cells were significantly lower than the wine produced with free cells, as the fermentation time increased. The alcohol content of the wine fermented with immobilized cells was higher than that of the wine fermented with free cells on the 12th day of fermentation. The maximum alcohol content was found to be 9.20 and 6.00%v/v, respectively. After repeating the fermentation process 6 cycles, the final alcohol content decreased to 7.48, 7.15, 7.10, 7.07, 6.43, and 6.25%v/v, respectively. With an increase in the number of fermentation repetitions, the alcohol content decreased, indicating cell leakage or death, which was consistent with cell quantity measurements. Before fermentation, the cell quantity was 10.20×10^6 CFU/ml, and after fermentation, there was cell leakage from the gel beads, resulting in a remaining quantity of 0.20×10^6 CFU/ml.

Keywords: Polysaccharide, Cell Immobilization, Roselle Wine, Durian Peel

บทนำ

ไวน์เป็นเครื่องดื่มที่นิยมดื่มกันทั่วโลก (Reddy and Vijaya, 2009) ในประเทศแถบเขตร้อน มีปริมาณองุ่นไม่มากพอ ผลไม้อื่น ๆ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการผลิตไวน์ ไวน์จากผลไม้เขตร้อนมีรส กลิ่น สี ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว (Alobo and Offonry, 2009) กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชที่น่าสนใจนำมาผลิตไวน์ สารพฤกษเคมีที่สำคัญในดอกกระเจี๊ยบแดงสามารถนำมาใช้ในการต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันมะเร็ง ลดเบาหวาน ลดความดันโลหิต ลดไขมันได้ (นพวัฒน์ เพ็งคำศรี, 2558) การผลิตไวน์ผลไม้ในประเทศไทยมีปัญหาเรื่องความใสและความคงที่ของไวน์ ซึ่งเกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตเนื่องจากมีเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ตายแล้วตกค้างอยู่ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการนำเอาความรู้ในเรื่องเทคนิคการทำไวน์ไม่ว่าจะเป็นการกรองด้วยกระดาษกรองซึ่งต้องใช้เวลาในการกรองนานมากและกระดาษกรองที่มีขนาดช่องว่างเล็กมักมีราคาค่อนข้างแพง เครื่องมือที่ใช้ในการกรองค่อนข้างจะยุ่งยากและสิ้นเปลือง ดังนั้นเทคนิคการนำจุลินทรีย์มาผ่านกระบวนการตรึงแล้วนำมาใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์จึงมีความเป็นไปได้ในแง่การลดต้นทุนการผลิต ง่ายต่อการทำให้ไวน์ใส มีความคงที่ และคุณภาพสูง (ศศิธร คงเรือง และเบญจมาภรณ์ วงศ์อนุ, 2550)

จังหวัดจันทบุรีมีปริมาณการผลิตทุเรียนได้เป็นอันดับหนึ่งของประเทศไทย สิ่งที่ตามมาคือเปลือกทุเรียนซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากการบริโภคและการแปรรูปทุเรียน คณะผู้วิจัยจึงสนใจนำเปลือกทุเรียนมาสกัดโพลีแซคคาไรด์ และนำมาผลิตเซลล์ตรึงรูปยีสต์ *S. cerevisiae* โดยใช้โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง เนื่องจากโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนประกอบด้วยองค์ประกอบธาตุหลัก ได้แก่ Carbon, Hydrogen และ Oxygen acidic sugar ได้แก่ galacturonic acid มากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักโพลีแซคคาไรด์ มีน้ำตาล neutral sugar และพบเกลือแร่ ได้แก่ โซเดียม โปตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก เป็นส่วนใหญ่ มีคุณสมบัติสามารถสามารถพองตัวและละลายได้ในน้ำเป็นสารข้นหนืดได้ จึงน่าจะสามารถนำมาผลิตเซลล์ตรึงได้ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและเปรียบเทียบการผลิตไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* ในรูปอิสระและเซลล์ตรึงรูปยีสต์ที่ใช้โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง

วิธีการศึกษา

1. เตรียมวัตถุดิบ ดัดแปลงจากวิธีการของ Unhasirikul และคณะ (2013)

นำส่วนในของเปลือกทุเรียนมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ ประมาณ 1–2 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักสด ล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อเอาสิ่งสกปรกออก แล้วทำให้แห้งโดยการนำไปอบในเครื่องอบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักทุกวันจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาบดด้วยเครื่องปั่น (blender) ร่อนผ่านตะแกรงร่อนแป้ง บรรจุใส่ถุงพลาสติกแบบซิปล็อคและเก็บไว้ในกล่องที่มีซิลิกาเจล เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนอบแห้ง

นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1 ไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ไฟเบอร์ และคาร์โบไฮเดรตโดยรวมตามวิธีของ AOAC (2012)

3. สกัดโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนตามวิธีการของ Pongsamart และ Panmaung (1998)

นำเปลือกทุเรียน 1 กิโลกรัมมาผสมกับน้ำ 5 ลิตร ปรับพีเอชด้วยกรดซิตริกให้ได้พีเอช 4.5 นำมาต้มเป็นเวลา 20 นาที กรอง แล้วเติม Kieselguhr ปริมาณ 25 กรัม หลังจากนั้นกรองโดยใช้ระบบสุญญากาศ (vacuum filter) อีกครั้งจนกว่าจะใส ทำให้เข้มข้นด้วย Rotary Evaporator ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 75 ลงไปผสมอย่างช้า ๆ รอจนตกตะกอน นำมากรองผ่านตะแกรง ร่อนแป้ง ล้างด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 75 อีก 2 ครั้ง แล้วตามด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 นำมาอบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และนำมาร่อนผ่านตะแกรงอีกครั้ง จะได้ผงโพลีแซคคาไรด์ เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุพยุงในการตรึงเซลล์

4. การผลิตเซลล์ตรึงโดยใช้โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุตรึง

4.1 การเตรียมกล้าเชื้อ ดัดแปลงจากวิธีของเวสารัช สุนทรชัยบูรณ์ และรัชพล พะวงศ์รัตน์ (2556)

ถ่ายเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* BCC 6127 ที่เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 วัน จำนวน 1 ลูปลงในอาหารเหลว YM ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการเพาะเลี้ยงบนเครื่องเขย่าความเร็ว 120 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18– 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 (1–5x10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร)

4.2 การผลิตเซลล์ตรึงโดยใช้โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง ดัดแปลงจากวิธีการของ ศศิธร คงเรือง และเบญจมาภรณ์ วงศ์อนุ (2550); อารี ฤทธิบูรณ์ และคณะ (2550)

นำโพลีแซคคาไรด์ผสมกับโซเดียมอัลจิเนตในอัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50 และ 40 : 60 โดยใช้สารผสม 1 กรัมละลายในกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 33.3 มิลลิลิตร ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ 1 – 2 วัน จะได้สารละลายหนืดใส ฆ่าเชื้อด้วยเครื่องหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10 นาที ดูดสารละลายด้วยกระบอกฉีดยาที่ปลอดเชื้อปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในขวดเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อปลอดเชื้อ ปิเปตต์หัวเชื้อยีสต์ปริมาตร 5 มิลลิลิตรตามลงไปแล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นดูดสารผสมของยีสต์กับโพลีแซคคาไรด์และโซเดียมอัลจิเนตด้วยกระบอกฉีดยาปลอดเชื้อปริมาตร 5 มิลลิลิตร ค่อย ๆ หยดลงในขวดรูปชมพู่ที่ปลอดเชื้อที่บรรจุสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ละหยด จำนวน 1 ขวด ทำสามซ้ำ ได้เซลล์ยีสต์ตรึงรูปในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 3 ขวด ปิดฝา ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ในตู้ถ่ายเชื้อ กรองด้วยผ้าขาวบางปลอดเชื้อ เทส่วนสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทิ้ง ให้เหลือแต่ยีสต์ตรึงรูปไว้ในขวดเดิม นำเซลล์ตรึงที่ได้ส่วนหนึ่งไปผลิตไวน์ อีกส่วนหนึ่งนำมานับจำนวนโคโลนีโดยวิธี Total plate count (TPC) โดยนำตัวอย่างเม็ดเจลมาล้างด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตรแล้วแยกน้ำเกลือออกให้เหลือแต่เม็ดเจล เติมโซเดียมซิเตรต (NaCH3COO) ความเข้มข้น 0.10

โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตรเขย่าด้วยเครื่องผสม (vortex) เป็นเวลา 3 นาที โครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์จะถูกทำลายเป็นของเหลว นำตัวอย่างที่ละลายมา 0.10 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่ปลอดเชื้อทำการ pour plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ YM บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมานับจำนวนโคโลนี

5. การผลิตไวน์กระเจี๊ยบดัดแปลงวิธีการจาก Alobo และ Offonry (2009); ปิยะรัชช์ กุลเมธี (2552); กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555); Trivedi และคณะ (2012)

5.1 การเลี้ยงเชื้อและการเตรียมกล้าเชื้อ (Starter)

ทำการเขี่ยเชื้อ (Streak) *S. cerevisiae* BCC 6127 ในอาหารแข็งเอียง YM บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน นำมาเตรียมกล้าเชื้อปริมาตร 250 มิลลิลิตร โดยนำกระเจี๊ยบ 10 กรัม เติมน้ำ 250 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดนาน 10 นาที กรองด้วยผ้าขาวบางสะอาด นำน้ำกระเจี๊ยบ 250 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในฟลาสก์ขนาด 500 มิลลิลิตร และเติมน้ำตาลซูโครสลงไปให้ได้ TSS เท่ากับ 20 องศาบริกซ์ ปรับพีเอชให้ได้ 4.50 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH4OH) ความเข้มข้นร้อยละ 50 ปิดจุกสำลีแล้วนำไปทำให้ปลอดเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น เติมเชื้อ *S. cerevisiae* BCC 6127 ปริมาณ 2 ลูป นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ 720 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 (1–5 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร)

5.2 การผลิตไวน์กระเจี๊ยบ

ต้มกระเจี๊ยบ 240 กรัม ในน้ำ 6 ลิตร ให้เดือดเป็นเวลา 10 นาที กรองด้วยผ้าขาวบางสะอาด ปรับปริมาตรให้ได้ประมาณ 6 ลิตร แบ่งเป็น 2 ขวดๆ ละ 3 ลิตร ปรับ TSS ให้เท่ากับ 20 องศาบริกซ์ด้วยน้ำตาลซูโครส จากนั้นเติม $MgSO_4$, KH_2PO_4 และ $(NH_4)2SO_4$) ร้อยละ 0.01, 0.1 และ 0.5 ตามลำดับ ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 4.5 โดยใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และเติมโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ลงไปปริมาณ 100 พีพีเอ็ม ทิ้งไว้ 1 คืน เติมกล้าเชื้อจะทำ 2 วิธี คือ เติมกล้าเชื้ออิสระ โดยนำกล้าเชื้อที่เตรียมไว้ร้อยละ 5 (ปริมาตรต่อปริมาตร) และ อีกวิธี คือ เติมกล้าเชื้อเซลล์ตรึงที่มีจำนวนเซลล์เท่ากับเซลล์อิสระในวิธีที่ 1 ปริมาตรร้อยละ 5 น้ำหนักต่อปริมาตร หลังจากนั้นใส่ลงในน้ำกระเจี๊ยบปริมาตร 3 ลิตร ที่บรรจุขวดน้ำดื่มขนาด 5 ลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปิดฝาขวดด้วยจุกสำลี บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 – 14 วัน ให้มีแอลกอฮอล์อยู่ในช่วง 6 – 14 ดีกรี เก็บตัวอย่างทุก 2 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ ค่าพีเอช และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ด้วยเครื่อง ebulliometer, pH meter และ refractometer ตามลำดับ และวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (Trial Version) ทำให้ไวน์ใสโดยการตกตะกอนด้วยสารละลายเบนโทไนต์ (bentonite) ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรร้อยละ 4 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในกรณีเติมกล้าเชื้อเซลล์ตรึง ไม่ต้องเติมสารละลาย bentonite และบ่มไวน์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน บรรจุไวน์ลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ปิดฝา พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

6. การนำเซลล์ตรึงกลับมาใช้ใหม่

ทำการกรองเม็ดเจลในการหมักครั้งที่ 1 แล้วถ่ายสู่การหมักซ้ำครั้งต่อไปจำนวน 6 ครั้ง โดยก่อนการหมักครั้งใหม่ จะต้องล้างด้วยน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0.85 จำนวน 2 ครั้ง เพื่อกำจัดเซลล์ที่รั่วไหลออกจากเม็ดเจล การหมักจะเติมกล้าเชื้อเซลล์ตรึงที่ล้างด้วยน้ำเกลือแล้วลงในน้ำกระเจี๊ยบปริมาตร 3 ลิตร ที่บรรจุขวดน้ำดื่มขนาด 5 ลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปิดฝาขวดด้วยจุกสำลี บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7–14 วัน ให้มีแอลกอฮอล์อยู่ในช่วง 6–14 ดีกรี โดยจะเก็บตัวอย่างทุก 2 วัน นำมาวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ และปฏิบัติการวิธีการข้อ 5 ต่อไป

7. ตรวจสอบลักษณะปรากฏของไวน์

ทำการตรวจสอบลักษณะปรากฏของไวน์ที่ผลิตได้สุดท้ายโดยการตรวจลักษณะปรากฏ ได้แก่ สี ความใส ความขุ่น โดยใช้สายตา และวัดค่าสีตามระบบ CIE (L*, a*, b*) วัดค่าความสว่าง (L* –value) ค่าเป็นสีเขียว–แดง (a*–value) ค่าเป็นน้ำเงิน–เหลือง (b*–value) และค่าความแตกต่างสีโดยรวม (E) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น WAV–006, FRU, China)

8. ทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

นำไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึงยีสต์และเซลล์อิสระมาทำการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 5–point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 100 คน ด้าน สี กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบโดยรวม

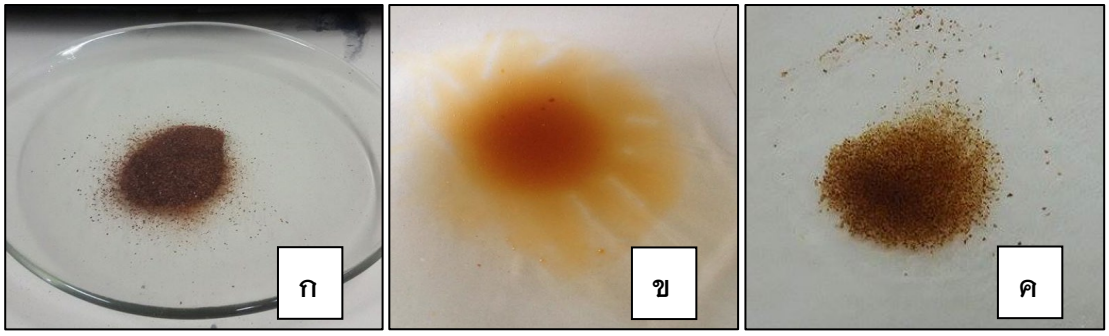
ผลการศึกษา

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีของ AOAC (2012) ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ไฟเบอร์ และคาร์โบไฮเดรตโดยรวม พบปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และไฟเบอร์ ร้อยละ 8.31, 3.36, 5.01, 5.31, 77.00 และ 1.01 ตามลำดับ

2. ผลการสกัดโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียน

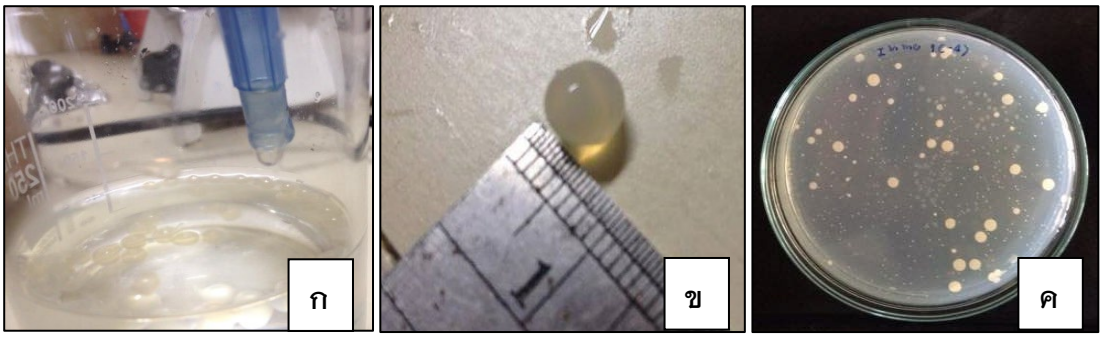
จากการสกัดโพลีแซคคาไรด์เปลือกทุเรียน ปริมาณ 100 กรัม จะได้โพลีแซคคาไรด์ 3 กรัม โดยลักษณะของโพลีแซคคาไรด์ที่ได้นั้นเป็นของแข็งสีน้ำตาล ละลายในน้ำได้เป็นเจล แต่ไม่ละลายใน เอทานอล แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียน (ก) การละลายในน้ำ (ข) และการละลายในเอทานอล (ค)

3. ผลการผลิตเซลล์ตรึงยีสต์ *S. cerevisiae* BCC 6127 โดยใช้โพลีแซคคาไรด์เปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง

ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการจับตัวเป็นเม็ดเจล โดยใช้โพลีแซคคาไรด์ผสมกับโซเดียมอัลจิเนต พบว่าอัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 ไม่สามารถนำมาผลิตเซลล์ตรึงได้เนื่องจากเป็นของเหลวไม่จับตัวเป็นเม็ดเจล อัตราส่วน 50 : 50 จับตัวเป็นเม็ดเจลแต่เจลยังไม่ค่อยมีความแข็งแรงพอ และที่อัตราส่วน 40 : 60 ได้เป็นเม็ดเจลที่แข็งแรง จึงเลือกใช้อัตราส่วน 40 : 60 ไปใช้ในการหมักไวน์ต่อไป เซลล์ตรึงที่ได้จากการใช้อัตราส่วนของโพลีแซคคาไรด์ : โซเดียมอัลจิเนต เท่ากับ 40 : 60 เป็นวัสดุตรึง มีลักษณะเป็นเม็ดกลมใส เส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 5 มิลลิเมตร มีปริมาณเซลล์เท่ากับ 10.2×10^6 CFU/ml ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เม็ดเจลที่ใช้อัตราส่วนของโพลีแซคคาไรด์ : โซเดียมอัลจิเนต เท่ากับ 40 : 60 เป็นวัสดุตรึง (ก และ ข) และจำนวนโคโลนีของเซลล์ตรึง (ค)

4. ผลการเตรียมเซลล์ยีสต์อิสระ *S. cerevisiae* BCC 6127

จากการทำ Total plate count (TPC) ที่ค่าการเจือจางที่ 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4} และ 10^{-5} นับจำนวนโคโลนีและนำมาคำนวณปริมาณเซลล์ พบปริมาณเซลล์เท่ากับ 12.3×10^{6} CFU/ml

5. ผลของการหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* BCC 6127 ที่หมักโดยใช้โพลี-แซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนผสมโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง และหมักโดยใช้เซลล์ยีสต์อิสระ

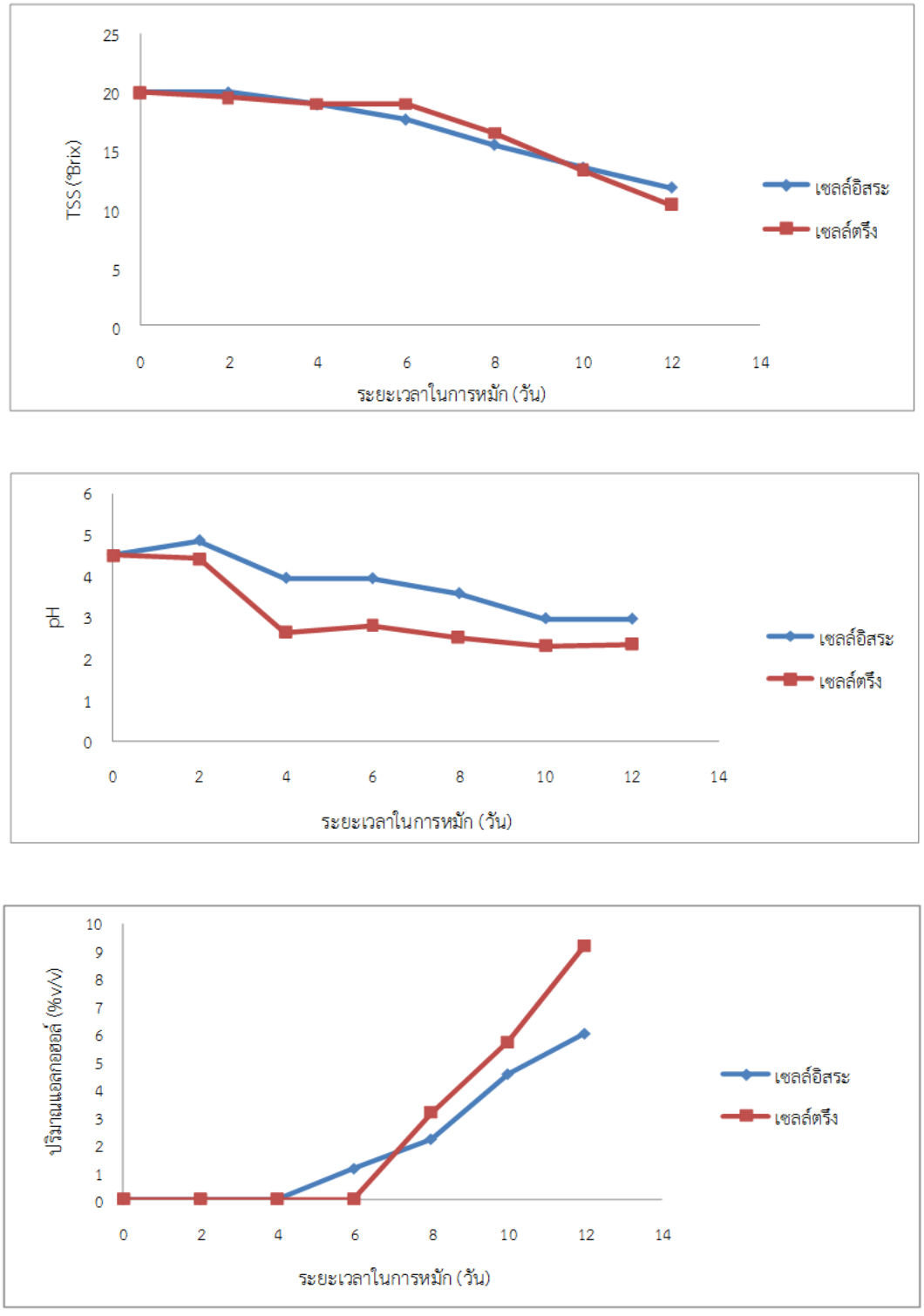
จากการหมักไวน์กระเจี๊ยบ 12 วัน พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการหมัก ไวน์ที่ใช้โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนต เป็นวัสดุตรึง มีการลดลงมากกว่าไวน์ที่หมักด้วยเซลล์อิสระ โดยในวันที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในไวน์ที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระลดลงเหลือเท่ากับ 10.33 และ 11.83 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ค่าพีเอชจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งถึงวันที่ 10 ของการหมักค่าพีเอชในไวน์ที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ เท่ากับ 2.29 และ 2.96 ตามลำดับ และในวันที่ 12 ของการหมักค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เท่ากับ 2.35 และ 2.95 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากวันที่ 10 ของการหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าพีเอชของไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึงในการหมักมีแนวโน้มลดลงมากกว่าการใช้เซลล์อิสระในการหมัก ส่วนปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาของการหมัก การหมักโดยใช้เซลล์ตรึงจะมีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มสูงกว่าการใช้เซลล์อิสระ ทั้ง 2 แบบ ปริมาณแอลกอฮอล์จะสูงที่สุดในวันที่ 12 ของการหมักร้อยละ 9.20 และ 6.00 (ปริมาตร/ปริมาตร) ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังรูปที่ 3

6. การหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง

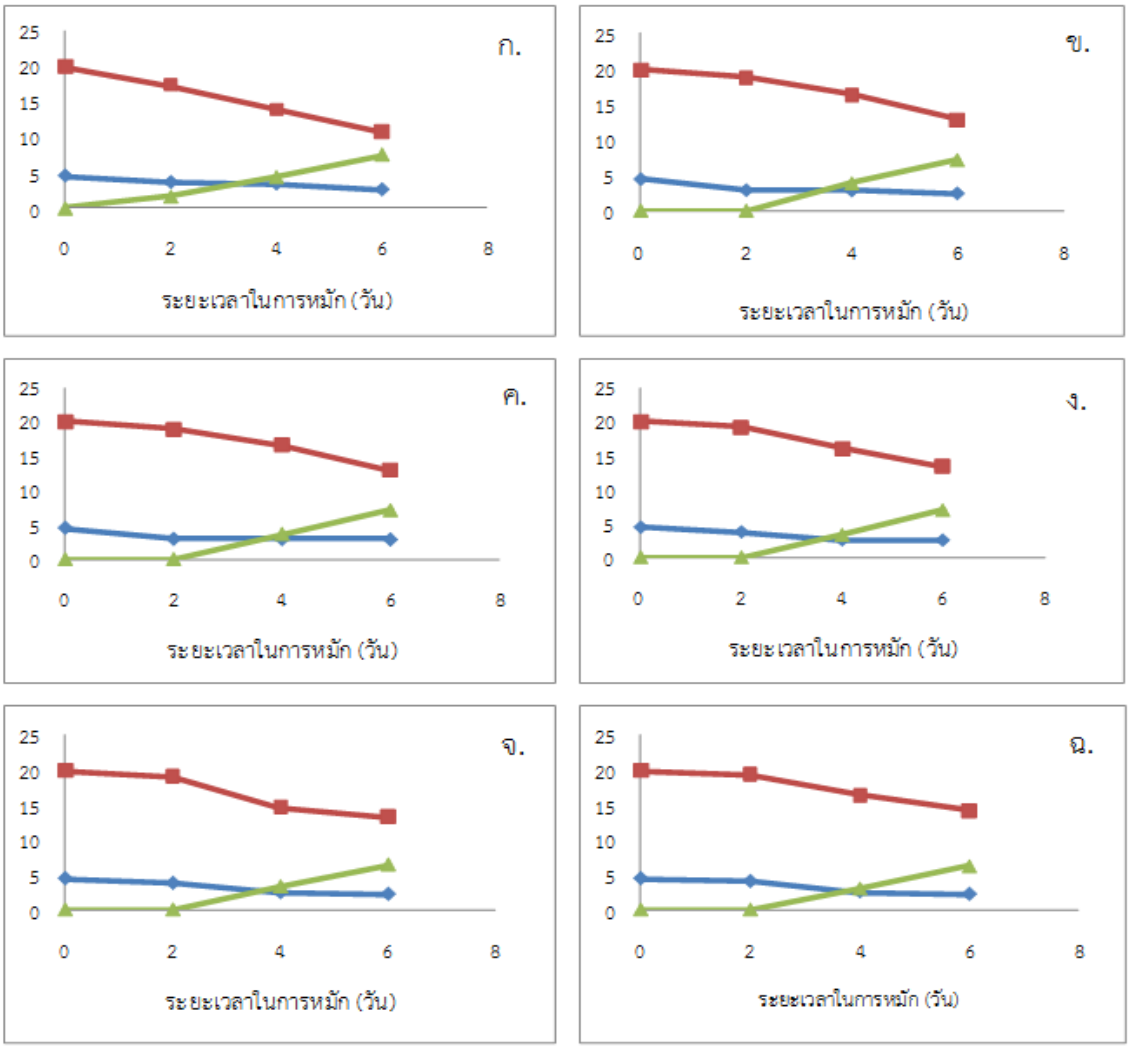
จากการนำเซลล์ตรึงยีสต์ *S. cerevisiae* BCC 6127 ที่ใช้โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึงมาทำการหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำ 6 รอบ ระยะเวลา 6 วัน เก็บตัวอย่างทุก 2 วัน จนกระทั่งปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) จึงเริ่มหมักใหม่ครั้งต่อไป มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและค่าพีเอช จะลดลง ส่วนปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมัก แสดงดังรูปที่ 4

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นที่ 20 และลดลงตามระยะเวลาของการหมัก โดยในการหมักครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงเหลือเท่ากับ 10.67, 12.83, 12.83, 13.33, 13.33 และ 14.23 องศาบริกซ์ ในวันที่ 6 ของการหมักตามลำดับ ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงสูงสุดในวันที่ 6 ของการหมักซ้ำครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 10.67 องศา บริกซ์ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อหมักซ้ำเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 4.5 หลังจากการหมักพบว่า พีเอชมีปริมาณลดลงโดยการการหมักซ้ำครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6 มีค่าพีเอชลดลงสูงสุดเท่ากับ 2.58, 2.43, 2.85, 2.50, 2.34 และ 2.34 ในวันที่ 6 ของการหมักตามลำดับ โดย

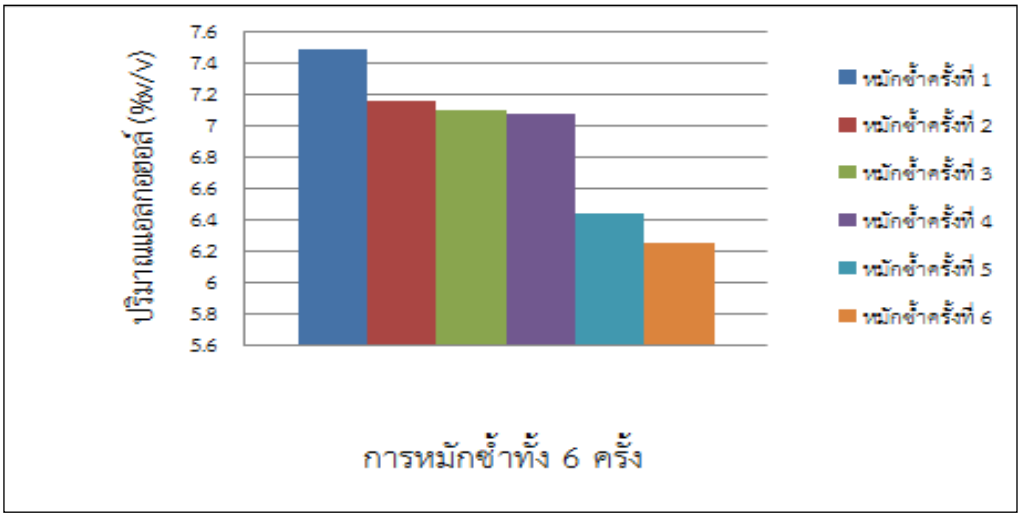
ในการหมักซ้ำครั้งที่ 5 และ 6 มีค่าพีเอช ลดลงต่ำสุดเท่ากับ 2.34 ในวันที่ 6 ของการหมัก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และปริมาณแอลกอฮอล์จะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ในวันที่ 6 ของการหมักซ้ำครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6 การหมักซ้ำครั้งที่ 1 มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดร้อยละ 7.48 (ปริมาตรต่อปริมาตร) และลดลงมาเรื่อยๆ ในการหมักซ้ำแต่ละครั้ง การหมักซ้ำครั้งที่ 2 ถึง ครั้งที่ 6 ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดร้อยละ 7.15, 7.10, 7.07, 6.43 และ 6.25 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าพีเอช และปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ ระยะเวลา 12 วัน



รูปที่ 4 ค่าพีเอช (—◆—) ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (—■—) และปริมาณแอลกอออล์ ((—▲—) ของการหมัก ซ้ำครั้งที่ 1 (ก) การหมักซ้ำครั้งที่ 2 (ข) การหมักซ้ำครั้งที่ 3 (ค) การหมักซ้ำครั้งที่ 4 (ง) การหมักซ้ำครั้งที่ 5 (จ) และการหมักซ้ำครั้งที่ 6 (ฉ)



รูปที่ 5 แสดงปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดของการหมักซ้ำครั้งที่ 1 ถึง 6 เป็นระยะเวลา 6 วัน

7. ผลการตรวจสอบปริมาณเซลล์หลังการหมักซ้ำทั้ง 6 ครั้ง

จากการตรวจสอบปริมาณเซลล์ที่เหลืออยู่ในการหมักซ้ำทั้ง 6 ครั้ง โดยวิธี Total plate count (TPC) พบว่าปริมาณเซลล์หลังการหมักลดลงเท่ากับ 0.2 x 10^6 CFU/ml โดยลดลงจากก่อนการหมักจากปริมาณเซลล์ เท่ากับ 10.2 x 10^6 CFU/ml

8. ลักษณะปรากปรากฏของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงที่ใช้โซเดียม–อัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง และเซลล์อิสระ

ค่าการวัดสีตามระบบ CIE (L*, a*, b*) ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น WAV–006, FRU, China) พบว่า ไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง และเซลล์อิสระ ค่า L*, a*, b* สีไม่มีความแตกต่างกัน ไวน์ที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึงมีแนวโน้มด้านความใสสูงกว่าไวน์ที่ใช้เซลล์อิสระในการหมัก ส่วนไวน์ที่ใช้เซลล์อิสระมีแนวโน้มไปทางสีแดงมากกว่าไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึง แสดงดังตารางที่ 1 ลักษณะปรากฏด้านสีของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ หลังการหมักเป็นเวลา 12 วัน แสดงดังรูปที่ 6

ตารางที่ 1 ค่าการวัดสีของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ

ไวน์กระเจี๊ยบ	ค่าการวัดสีตามระบบ CIE (L*, a*, b*)						
	L	a	b	△ L	△ a	△ b	△ Elab
เซลล์ตรึง	36.52±0.23	31.35±0.34	59.18±0.25	–2.30±0.33	5.19±0.28	51.72±0.42	51.98±0.27
เซลล์อิสระ	36.52±0.31	31.35±0.37	59.18±0.32	–2.16±0.23	6.45±0.29	65.36±0.31	65.71±0.22

หมายเหตุ: ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± SD

เซลล์ตรึง	เซลล์อิสระ
	

รูปที่ 6 ลักษณะปรากฏด้านสีของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึงและเซลล์อิสระหลังการหมักเป็นเวลา 12 วัน

9. ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของไวน์ที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ

จากการนำไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระในการหมักไปประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึงในการหมักจะได้คะแนนการยอมรับสูงกว่าไวน์ที่ใช้เซลล์อิสระในการหมักในทุก ๆ ด้าน คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัสของไวน์กระเจี๊ยบที่ใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระในการหมัก

ไวน์กระเจี๊ยบ	ลักษณะด้านประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความใส	ความชอบรวม
เซลล์ตรึง	3.80 ± 0.69	3.90 ± 0.74	4.09 ± 0.76	4.20 ± 0.73	4.12 ± 0.75
เซลล์อิสระ	3.65 ±0.71	3.75 ± 0.68	3.88 ± 0.80	3.96 ± 0.83	3.96 ± 0.62

หมายเหตุ: ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± SD

อภิปรายและสรุปผล

จากการนำโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนมาผลิตเซลล์ตรึงโดยผสมกับโซเดียมอัลจิเนต พบว่าอัตราส่วน 40 : 60 ได้เม็ดเจลที่แข็งแรง จากที่ผู้วิจัยทำการสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียน พบกรดกาแลคทูโรนิกร้อยละ 46.11±5.39 ปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 13.39±0.65 จัดเป็นเพกทินที่มีเมทอกซิลต่ำ (low methoxyl pectin) (มธุรา อุณหศิริกุล และคณะ, 2564) จะเกิดเจลได้โดยไม่ต้องมีของแข็งที่ละลายได้ แต่ต้องมีแคลเซียมไอออนอยู่ประมาณร้อยละ 3 มีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ตั้งแต่ร้อยละ 10–80 ที่ pH ช่วงกว้างตั้งแต่ 2.9–5.5 เจลที่ได้จะเป็นชนิด thermoreverible gel เนื้อสัมผัสของเจลจะมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากกว่าเจลที่ได้จากเพกทินที่มีเมทอกซิลสูง (สุนันท์ พงษ์สามารถ และคณะ, 2546) และอัลจิเนตสามารถเกิดเจลร่วมกับไอออนที่มีประจุบวกทั้งแบบ monovalent divalent และ trivalent cations (Hu et al, 2021)

นำเม็ดเจลที่ผลิตได้ไปผลิตไวน์กระเจี๊ยบ เปรียบเทียบกับเซลล์อิสระ หมักระยะเวลา 12 วัน พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและค่าพีเอชของไวน์ที่หมักโดยเซลล์ตรึงมีการลดลงมากกว่าไวน์ที่หมักโดยเซลล์อิสระ ตามระยะเวลาของการหมักที่เพิ่มขึ้น ให้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงกว่าการหมักด้วยเซลล์อิสระ ในวันที่ 12 ของการหมัก ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดร้อยละ 9.20 และ 6.00 เปอร์โดยปริมาตร ตามลำดับสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไวน์ มอก.ไวน์ 2089 – 2544 ที่ระบุว่าไวน์ผลไม้ที่ผลิตจากจำพวกผลไม้หรือน้ำผลไม้ เมื่อนำมาผ่านกรรมวิธีการผลิตไวน์ จะต้องมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 15 ซึ่งไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย (2549) ได้กล่าวไว้ว่า การลดลงของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดน่าจะเกิดจากยีสต์นำน้ำตาลไปใช้ในการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวน โดยจะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก ซึ่งการลดลงของค่าพีเอชมีผลต่อการเจริญของยีสต์ในระหว่างการหมัก และอรอนงค์ พริ้งศุลกะ และคณะ (2553) ได้กล่าวว่า การใช้เซลล์ตรึงรูปในการผลิตไวน์ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่าการหมักโดยใช้เซลล์อิสระ น่าจะเกิดจากยีสต์ตรึงรูปมีการใช้น้ำตาลมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์อิสระ และใช้ในการเพิ่มจำนวน โดยอาศัยพันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์ เซลล์ยีสต์จึงมีความสามารถในการยึดเกาะกับตัวพยุง จึงทำให้

การสร้างแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้น เมื่อนำเซลล์ตรึงยีสต์มาทำการหมักซ้ำจำนวน 6 ครั้ง พบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์จะลดลง เนื่องจากเซลล์ยีสต์มีการหลุดออกหรือเซลล์ตาย สอดคล้องกับการตรวจสอบปริมาณเซลล์ พบว่า ก่อนการหมักปริมาณเซลล์ เท่ากับ 10.20×10^6 CFU/ml หลังการหมักมีการหลุดออกของเซลล์ในเม็ดเจลลดลงเหลือเท่ากับ 0.20×10^6 CFU/ml ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Bangrak และคณะ (2011) ที่ศึกษาการผลิตเอทานอลแบบต่อเนื่องโดยการใช้ใยบวบเป็นวัสดุตรึงเซลล์ยีสต์และใช้อัลจิเนตเป็นตัวเชื่อม พบว่าหลังการหมัก 30 วันด้วยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* M30 เซลล์ตรึงรูปด้วยอัลจิเนตมีการเสื่อมสภาพ และการรั่วไหลของเซลล์ออกจากวัสดุตรึงเซลล์ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ช่วยในการผลิตแอลกอฮอล์ ส่งผลต่อการผลิตแอลกอฮอล์ที่ลดต่ำลง สอดคล้องกับงานวิจัยของอัษฎาวุธ อารีสิริสุข และคณะ (2554) ศึกษาการปรับปรุงการหมักเอทานอลแบบกะซ้ำโดยการตรึงเซลล์บนชานอ้อย พบว่า การใช้เซลล์ตรึงมีประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลสูงกว่าเซลล์อิสระ และยังพบว่าสามารถทำการหมักซ้ำด้วยยีสต์ตรึงรูปได้ถึง 7 ครั้ง

ค่าสีไม่มีความแตกต่างกัน ไวน์ที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึงมีแนวโน้มด้านความใสสูงกว่าไวน์ที่ใช้เซลล์อิสระในการหมัก ส่วนไวน์ที่ใช้เซลล์อิสระมีแนวโน้มไปทางสีแดงมากกว่าไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึง และผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึงในการหมักจะได้คะแนนการยอมรับสูงกว่าไวน์ที่ใช้เซลล์อิสระในการหมักในทุก ๆ ด้าน คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ปีงบประมาณ 2566 สามารถดำเนิน งานจนกระทั่งสำเร็จได้ผลเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคลากร นักศึกษา นักเรียน กลุ่มแม่บ้าน ผู้ประเมินและอีกหลายท่านซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถจะกล่าวนามมาได้ทั้งหมดคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). **อุตสาหกรรมผลิตอาหารและอาหารสัตว์**. กรุงเทพฯ: พี.เอ.ลีฟวิ่ง.

นพวัฒน์ เพ็งคำศรี. กระเจี๊ยบแดง...**พืชสมุนไพรทำเลือกในการป้องกันโรค.** สืบค้นจาก https://ccpe. pharmacycouncil.org.

ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และพัฒนา เหล่าไพบูลย์ .(2549). **ไวน์ผลไม้และสาโท ผลิตด้วยความมั่นใจได้อย่างไร**. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มธุรา อุณหศิริกุล คิดชาย อุณหศิริกุล สิริกัลยา วิสุทธิแพทย์ หทัยชนก วัฒนสิริกุลชัย และอมรรัตน์ สุวรรณโพธิ์ศรี (2564). การสกัดเพคตินจากเปลือกทุเรียนเพื่อนำไปใช้ในการผลิตแยมจากสละและระกำที่มีราคาตกต่ำในจังหวัดจันทบุรี. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี,** ปีที่ 23 ฉบับที่ 1, หน้า 81– 90.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไวน์ มอก. ไวน์ 2089 – 2544.

เวสารัช สุนทรชัยบูรณ์ และรัชพล พะวงศ์รัตน์. (มกราคม–เมษายน 2556). การใช้ประโยชน์วัสดุพยุงจากขยะธรรมชาติสาหรับการตรึงเซลล์และประยุกต์ใช้ในการผลิตเอทานอล. **Veridian E–Journal, Silpakorn University**, 6 (1), 795–807.

สุนันท์ พงษ์สามารถ วิมลมาศ ลิปิพันธ์ และพนิดา วยัมหสุวรรณ.(2546). สารสกัดโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกของผลทุเรียนเพื่อใช้ประโยชน์ทางการแพทย์. สืบค้นจาก http://www. tarr.arda.or.th.

ศศิธร คงเรือง และเบญจมาภรณ์ วงศ์อนุ. (2550). **การตรึงเซลล์ยีสต์โดยการห่อหุ้มเพื่อผลิตไวน์ลำไยอบแห้ง.** ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อัษฎาวุธ อารีสิริสุข, กนกวรรณ เมืองซอง, รัชนี ไชยช่วย, ศุภราภรณ์ ปุรณะวิทย์} อัมพวัน มีทรัพย์มั่น, ศิริพร ลุนพรม และ อนันต์ บุญปาน. (2554). **การศึกษาการปรับปรุงการหมักเอทานอลแบบกะซ้ำโดยการตรึงเซลล์บนซานอ้อย**. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลับเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

อารี ฤทธิบูรณ์, วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์ และโชติรส สำราญ. (2550). **ปฏิบัติการวิศวกรรมชีวเคมี**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อรอนงค์ พริ้งศุลกะ ณัฏฐิกา สุวรรณาศรัย และพิชาภัค สมยูรทรัพย์. (2553). **การผลิตไวน์โดยใช้*Saccharomyces cerevisiae* เซลล์ตรึงรูปในชิ้นผลไม้**. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

AOAC (2012*).* Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 16th ed. Virginia.

Alobo, A.P. & Offonry, S.U. (2009). Characteristics of Coloured Wine Produce from Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) Calyx Extract. **Journal of the Insitutet Brewing**, 115 (2*)*, 91–94.

Bangrak, C., Limtong, S., Phisalaphong, M. (2011). Continuous ethanol production using immobilized cell entrapped in loofa reinforced alginate carriers. **Journal of microbiology.** 42, 676–68.

Hu, C., Lu, W., Mata, A., Nishinari, K., & Fang, Y. (2021). Ions–induced gelation of alginate: Mechanisms and applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, 177, 578–588.

Pongsamart, S. & Panmaung, T. (1998). Isolation of polysaccharide from fruit hulls of durian (*Durio Zibethinus* L.). **Songkhanakarin Journal Science Techology**, 20 (3), 323–332.

Reddy L. V. & Vijaya S.R.O. (2009). Production, optimization and characterization of wine from Mango (Mangifera indica Linn.). **Natural Product Radiance**, 8 (4), 426–435.

Trivedi, N., Rishi, P. & Soni, S. K. (2012). Production of herbal wine from Aloe vera gel and evaluation of its effect against common food borne pathogens and probiotics. **International Journal of Food and Fermentation Technology**, 2 (2),157–166.

Surajbhan.S & Lambert, *R.* (2014). Preparation of guava wine using immobilized yeast. **Journal Biochemical Technology**. 5(4), 819–822.

Unhasirikul, M., Narkrugsa, W. & Naranong, N. (2013). Sugar production from durian (*Durio zibethinus Murray*) peel by acid hydrolysis. **African Journal of Biotechnology,** 12 (33), 5244–5251.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Development of food products from bitter gourd and their antioxidant activity

วัชรี วรัจฉรียกุล[1], ณัฐติยา ผิวอ่อน[1], โยธิการ์ กระโพธิ์[1], นฤมล อภินันท์สวัสดิ์[2] และ ภัทราวดี ศิริอำนวยลาภ[2*]

Watcharee Waratchareeyakul[1], Nattiya Phewon[1], Yotika Krapo[1], Narumon Apinansawat[2] and Pattharavadee Siriamnuaylap[2*]

บทคัดย่อ

มะระขี้นกมีฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลายแต่มีรสขมจึงไม่เป็นที่นิยมรับประทาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกเป็นมะระขี้นกอบปรุงรส มะระขี้นกสามรสอบแห้ง และมะระขี้นกดองสามรส ซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์แปรรูปโดยคิดเป็นร้อยละ 81, 82 และ 74 ตามลำดับ ถ้ามีผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกออกจำหน่ายผู้บริโภคยินดีซื้อผลิตภัณฑ์โดยคิดเป็นร้อยละ 69, 64 และ 72 ของผู้บริโภคตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบเมทานอลของมะระขี้นกกับผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช พบว่าสารสกัดหยาบเมทานอลของมะระขี้นกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด (IC_{50} = 36.24 $\mu g.ml^{-1}$) และดีกว่าสารมาตรฐานบิวทิลเลดเตด ไฮดรอกซีโทลูอีน (IC_{50} = 49.82 $\mu g.ml^{-1}$) แต่น้อยกว่ากรดแอสคอร์บิก (IC_{50} = 5.44 $\mu g.ml^{-1}$) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นก ได้แก่ มะระขี้นกอบปรุงรส มะระขี้นกสามรสอบแห้ง และมะระขี้นกดองสามรส มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงมาก (IC_{50} = 605.45, 602.81 และ 397.31 $\mu g.ml^{-1}$ ตามลำดับ) จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปมะระขี้นกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง อาจเป็นเพราะการแปรรูปทำให้สารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสลายตัวหรือเปลี่ยนไปเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยลง

คำสำคัญ: ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ, มะระขี้นก, ผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นก

[1] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

[2] ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

[1] Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

[2] Department of Home Economics, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

[*] Corresponding author: Pattharavadee.s@rbru.ac.th

Abstract

Although the bitter gourd (*Momordica charantia*) showed several biological activities, it has a bitter taste. Therefore, bitter gourd was not popular to eat. The objectives of this study were to develop food products from bitter gourds such as crispy bitter gourd, soft dried bitter gourd and pickled bitter gourds. Consumer acceptance of these food products was 81, 82 and 74 %, respectively. If bitter gourd food products were on sale, consumers would be willing to buy this product as 69, 64 and 72 %, respectively. Moreover, this research emphasized comparing the antioxidant activities of methanol extracted of bitter gourd with those of its food products using the DPPH radical scavenging technique. The results showed methanol extracted of bitter gourd obtained a strong antioxidant activity (IC_{50} = 36.24 $\mu g.ml^{-1}$) which was higher than that of butylated hydroxytoluene (IC_{50} = 49.82 $\mu g.ml^{-1}$) but less than that of ascorbic acid (IC_{50} = 5.44 $\mu g.ml^{-1}$). In the other hand, bitter gourd food products such as crispy bitter gourd (IC_{50} = 605.45 $\mu g.ml^{-1}$), soft dried bitter gourd (IC_{50} = 602.81 $\mu g.ml^{-1}$) and pickled bitter gourds (IC_{50} = 397.31 $\mu g.ml^{-1}$), showed a dramatic decrease of antioxidant activity. These results indicated that food processing might change phytochemical structures or biological activities of bitter gourd.

Keywords: Antioxidant, Bitter gourd, *Momordica charantia*, Bitter gourd food products

บทนำ

มะระขี้นก (*Momordica charantia* L.) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae พบมากในพื้นที่เขตร้อนเช่น ทวีปเอเชีย ป่าอเมซอน แอฟริกาตะวันออก และแคริบเบียน มีการใช้มะระขี้นกเป็นยาสมุนไพรรักษาโรคเบาหวาน โรคเก๊าท์ โรคไขข้ออักเสบ โรคนิ่วในไต โรคริดสีดวงทวาร โรคดีซ่าน โรคปอดบวม โรคเรื้อน โรคเรื้อนกวาง โรคสะเก็ดเงิน และโรคหิด นอกจากนี้มะระขี้นกยังเป็นส่วนประกอบของยาลดไข้ ยาต้านมาลาเรีย ยาขับพยาธิ ยาฆ่าพยาธิ ยาระบาย ยาแก้ปวดท้อง ยาขับน้ำนม ยาขับประจำเดือน ยารักษาอาการปวดประจำเดือน ยาสำหรับการทำแท้ง ยาคุมกำเนิด และใช้รักษาอาการตกขาว [1]

องค์ประกอบทางเคมีของผลมะระขี้นกถูกศึกษาตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ.1989 จึงทำให้ปัจจุบันมีข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพที่ค่อนข้างสมบูรณ์ [2] โดยมะระขี้นกมีสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) แทนนิน (tannins) ไกลโคไซด์ (glycosides) ซาโปนิน (saponins) ไตรเทอร์พีน (triterpenes) สเตอรอยด์ (steroids) แอลคาลอยด์ (alkaloids) และน้ำมันระเหยยาก (fixed oils) [1–3]

จากการศึกษางานวิจัยพบว่าส่วนสกัดหยาบเมทานอลจากผลมะระขี้นกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อทดสอบด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (IC_{50} = 17.34 ± 2.45 $\mu g.ml^{-1}$) [4] ส่วนสกัดหยาบที่สกัดด้วยเมทานอลและกรดไฮโดรคลอริก (100:1, v/v) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50} = 11.0 ± 0.76 $\mu g.ml^{-1}$) เมื่อทดสอบด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลดีพีพีเอช (DPPH assay) [5] จากข้อมูลข้างต้นถือว่ามะระขี้นกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง

องค์ประกอบทางเคมีที่พบในมะระขี้นกนอกจากจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แล้วยังมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ต้านแบคทีเรีย ฤทธิ์เพิ่มภูมิคุ้มกัน ฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด ต้านการดูดซึมกลูโคส ยับยั้งเอนไซม์แอลฟากลูโคซิเดส ต้านโรคอ้วน และต้านโรคมะเร็ง [1, 2, 6, 7] ถึงแม้ว่ามะระขี้นกจะมีคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ทางชีวภาพมาก แต่กลับได้รับการบริโภคน้อย เนื่องจากมะระขี้นกมีรสชาติขม คณะผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกเป็นมะระขี้นกอบปรุงรส มะระขี้นกสามรสอบแห้ง และมะระขี้นกดองสามรส [8–10] เพื่อสนับสนุนให้ผู้บริโภครับประทานมะระขี้นกมากขึ้น นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบเม

ทานอลของผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกเทียบกับมะระขี้นกสด เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการแปรรูปทำลายองค์ประกอบทางเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในมะระขี้นกหรือไม่

วิธีการศึกษา

วิธีแปรรูปผลิตภัณฑ์มะระขี้นกอบปรุงรส

นำผลมะระขี้นกล้างให้สะอาด ผ่าครึ่งตามยาวคว้านเอาเมล็ดออก แล้วหั่นเป็นชิ้นยาวขนาด 5 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร นำน้ำตั้งบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 270 องศาเซียลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำมะระขี้นกที่หั่นไว้ลงต้มเป็นเวลา 10 นาที ตักขึ้นแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องระยะเวลา 3 นาที พักบนตะแกรง 10 นาที คลุกกับผงปรุงรส โดยใช้มะระขี้นก 100 กรัม คลุกกับผงปรุงรส 25 กรัม เรียงใส่ถาดอบ นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซียลเซียส เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ โดยสูตรที่ 1 ใช้ระยะเวลา 10 นาที ส่วนสูตรที่ 2 ใช้ระยะเวลา 20 นาที และสูตรที่ 3 ใช้ระยะเวลา 30 นาที นำผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร ออกจากเตาอบพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง 7 นาที บรรจุลงในถุงแก้วโอพีพี (OPP) และซีลปากถุงให้ปิดสนิท [8] หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรส ทั้ง 3 สูตร มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะ ด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสโดยการให้คะแนน 1 ถึง 9 (9 point hedonic scale) เพื่อเลือกผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรส สูตรที่ดีที่สุด

วิธีแปรรูปผลิตภัณฑ์มะระขี้นกสามรสอบแห้ง

ล้างมะระขี้นกให้สะอาด ผ่าครึ่งตามยาวคว้านเอาเมล็ดออกแล้วหั่นเป็นชิ้นขนาด 1x1 เซนติเมตร ปริมาณ 60 กรัม คลุกเคล้ากับกรดซิตริก 6 กรัม เกลือ 9 กรัม และน้ำตาลทราย 30 กรัม ให้ทั่วชิ้นมะระขี้นกและพักไว้เป็นเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยสูตรที่ 1 ใช้ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนสูตรที่ 2 ใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมง และสูตรที่ 3 ใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง นำผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร มาบีบน้ำออกให้สะเด็ดน้ำ เรียงใส่ในถาดอบขนาด 45x36 เซนติเมตร โดยเว้นระยะห่างด้านละ 1 เซนติเมตร นำเข้าเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซียลเซียส เวลา 20 นาที พักไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง บรรจุลงในถุงแก้วและซีลปากถุง [9] หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกสามรสอบแห้ง ทั้ง 3 สูตร มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะ ด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสโดยการให้คะแนน 1 ถึง 9 (9 point hedonic scale) เพื่อเลือกผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกสามรสอบแห้ง สูตรที่ดีที่สุด

วิธีแปรรูปผลิตภัณฑ์มะระขี้นกดองสามรส

เตรียมน้ำดอง โดยต้มน้ำเปล่า น้ำตาล เกลือ และน้ำส้มสายชู ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พักให้เย็น นำผลมะระขี้นกมาล้างทำความสะอาด ผ่าซีกตามยาวของมะระขี้นก นำเมล็ดออก หั่นเป็นชิ้นขนาดยาว 2 เซนติเมตร กว้าง 2 เซนติเมตร แล้วนำมาคลุกเคล้ากรดซิตริก พักไว้ 20 นาที บีบน้ำออก นำมะระขี้นกใส่ขวดโหล และเทน้ำดองที่เตรียมไว้ลงไปให้ท่วมมะระขี้นก ปิดฝาให้สนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 120, 168 และ 216 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยสูตรที่ 1 ใช้ระยะเวลา 120 ชั่วโมง ส่วนสูตรที่ 2 ใช้ระยะเวลา 168 ชั่วโมง และสูตรที่ 3 ใช้ระยะเวลา 216 ชั่วโมง นำผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร ออกจากน้ำดอง พักให้สะเด็ดน้ำ บรรจุลงในถุงแก้วและซีลปากถุง [10] หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกดองสามรสทั้ง 3 สูตร มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะ ด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสโดยการให้คะแนน 1 ถึง 9 (9 point hedonic scale) เพื่อเลือกผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกดองสามรสสูตรที่ดีที่สุด

วิธีทดสอบการการยอมรับผลิตภัณฑ์

นำสูตรที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว (ผ่านการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากผู้ที่ผ่านการฝึกอบรม จำนวน 30 คน) ให้นำมาทำการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค โดยสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการให้คะแนนความชอบ 5 ระดับ (5 point hedonic scale) ซึ่ง 5 หมายถึง มากที่สุด 4 หมายถึง มาก 3 หมายถึง ปานกลาง 2 หมายถึง น้อย และ 1 หมายถึง น้อยที่สุด ในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม และข้อมูลทัศนคติที่มีต่อผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกทำการทดสอบกับผู้บริโภค จำนวน 100 คน

การสกัดพืชตัวอย่าง

นำผลมะระขี้นกสด 1 กิโลกรัม คว้านเอาเมล็ดออก ทำให้เหลือมะระขี้นกน้ำหนัก 800.57 กรัม ล้างและหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปสกัดด้วยวิธีมาเซอเรชัน (การแช่) ด้วยตัวทำละลายเมทานอล เป็นเวลา 7 วัน จำนวน 2 ครั้ง ทำให้ได้ส่วนสกัดหยาบเมทานอลจากมะระขี้นก 52.37 กรัม

นำผลมะระขี้นกสด 1 กิโลกรัม แปรรูปผลิตภัณฑ์มะระขี้นกอบปรุงรสได้ 244.21 กรัม นำไปสกัดด้วยวิธีมาเซอเรชัน ด้วยตัวทำละลายเมทานอล เป็นเวลา 7 วัน จำนวน 2 ครั้ง ทำให้ได้ส่วนสกัดหยาบเมทานอลจากผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรส 50.06 กรัม

นำผลมะระขี้นกสด 1 กิโลกรัม แปรรูปผลิตภัณฑ์มะระขี้นกสามรสอบแห้งได้ 238.11 กรัม นำไปสกัดด้วยเมทานอล เป็นเวลา 7 วัน จำนวน 2 ครั้ง ทำให้ได้ส่วนสกัดหยาบเมทานอลจากผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกสามรสอบแห้ง 53.36 กรัม

นำผลมะระขี้นกสด 1 กิโลกรัม แปรรูปผลิตภัณฑ์มะระขี้นกดองสามรสได้ 536.77 กรัม นำไปสกัดด้วยเมทานอล 7 วัน จำนวน 2 ครั้ง ทำให้ได้ส่วนสกัดหยาบเมทานอลจากผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกดองสามรส 53.89 กรัม

วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH•) (HPLC Grade, บริษัท Tokyo Chemical Industry) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Premakumara et al. [11] ดังนี้ เติมสารสกัดหยาบลงในถาดหลุม 96 หลุม (96 well plate) ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับความเข้มข้นที่ต้องการในหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH• ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร โดยชุดควบคุมใช้เอทานอลกับสารละลายดีพีพีเอชที่ความเข้มข้นเดียวกัน ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอ่านไมโครเพลต ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นคำนวณหาร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ และค่าความเข้มข้นที่ต่ำสุดยับยั้งได้ร้อยละ 50 (half maximal inhibition concentration, IC_{50}) โดยใช้สารมาตรฐานบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylhydroxytoluene; BHT) และกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) เป็นตัวควบคุมเชิงบวก

ผลการศึกษา

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นก 3 ผลิตภัณฑ์ โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ซึ่งได้แก่ ผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรส โดยศึกษาระยะเวลาในการอบมะระขี้นก ที่แบ่งออกเป็น 3 ระยะเวลา คือ 10 20 และ 30 นาที พบว่า ผู้ทดสอบมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรสที่ระยะเวลาการอบ 30 นาที ดังตาราง 1

ตาราง 1 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะระขี้นกอบปรุงรส

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะระขี้นกอบปรุงรส		
	ระยะเวลาอบ 10 นาที	ระยะเวลาอบ 20 นาที	ระยะเวลาอบ 30 นาที
สี	6.83	6.87	7.07
กลิ่น	6.23	6.77	7.17
เนื้อสัมผัส	5.80	6.43	6.20
รสชาติ	5.00	6.10	6.07
ความชอบโดยรวม	5.97	6.54	6.63

ส่วนมะระขี้นกสามรส ทำการศึกษาระยะเวลาในการแช่มะระขี้นกในสารปรุงแต่งรสชาติ ที่แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ระยะเวลา คือ ระยะเวลาในการแช่มะระขี้นกที่ 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง พบว่า ผู้ทดสอบให้ความพึงพอใจการแช่มะระขี้นกในสารปรุงแต่งรสชาติที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมงมากที่สุด ดังตาราง 2

ตาราง 2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะระขี้นกสามรส

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะระขี้นกสามรส		
	ระยะเวลาแช่ 2 ชั่วโมง	ระยะเวลาแช่ 3 ชั่วโมง	ระยะเวลาแช่ 4 ชั่วโมง
สี	7.71	7.30	7.27
กลิ่น	7.10	7.23	7.20
เนื้อสัมผัส	7.13	6.70	6.93
รสชาติ	6.77	6.90	7.23
ความชอบโดยรวม	7.04	7.03	7.16

มะระขี้นกดองสามรส โดยศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดองมะระขี้นกดองสามรส ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระยะเวลาการดอง 120 ชั่วโมง 168 ชั่วโมง และ 216 ชั่วโมง พบว่า ผู้ทดสอบให้ความพึงพอใจระยะเวลาการดอง 216 ชั่วโมงมากที่สุด ดังตาราง 3

ตาราง 3 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะระขี้นกดองสามรส

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะระขี้นกดองสามรส		
	ระยะเวลาดอง 120 ชั่วโมง	ระยะเวลาดอง 168 ชั่วโมง	ระยะเวลาดอง 216 ชั่วโมง
สี	7.20	6.67	7.03
กลิ่น	6.23	6.10	6.43
เนื้อสัมผัส	6.77	6.67	7.07
รสชาติ	6.57	6.27	6.97
ความชอบโดยรวม	6.69	6.43	6.88

จากการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภค 100 คน ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรส มะระขี้นกสามรสอบแห้ง และมะระขี้นกดองสามรส คิดเป็นร้อยละ 81, 82 และ 74 ตามลำดับ โดยผู้บริโภคให้คะแนนความพึงพอใจต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ดังตาราง 4 – 6 หากมีผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรส มะระขี้นกสามรสอบแห้ง และมะระขี้นกดองสามรส ออกจำหน่ายผู้บริโภคยินดีซื้อผลิตภัณฑ์โดยคิดเป็นร้อยละ 69, 64 และ 72 ของผู้บริโภค ตามลำดับ

ตาราง 4 ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรส

คุณลักษณะ	ความพึงพอใจของผู้บริโภค					คะแนนเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
	1	2	3	4	5		
สี	1	2	45	42	10	3.58 ± 0.74	มาก
กลิ่น	0	5	42	42	11	3.59 ± 0.75	มาก
รสชาติ	1	17	28	40	14	3.49 ± 0.97	มาก
เนื้อสัมผัส	1	17	28	40	14	3.49 ± 0.97	มาก
ความชอบโดยรวม	0	2	40	42	16	3.58 ± 0.75	มาก

ตาราง 5 ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกสามรสอบแห้ง

คุณลักษณะ	ความพึงพอใจของผู้บริโภค					คะแนนเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
	1	2	3	4	5		
สี	0	14	66	17	3	3.09 ± 0.65	ปานกลาง
กลิ่น	0	13	66	18	3	3.11 ± 0.65	ปานกลาง
รสชาติ	1	5	37	47	10	3.50 ± 0.78	มาก
เนื้อสัมผัส	0	10	39	42	9	3.60 ± 0.80	มาก
ความชอบโดยรวม	0	4	48	40	8	3.33 ± 0.70	ปานกลาง

ตาราง 6 ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกดองสามรส

คุณลักษณะ	ความพึงพอใจของผู้บริโภค					คะแนนเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
	1	2	3	4	5		
สี	5	12	34	31	18	3.45 ± 1.08	มาก
กลิ่น	5	16	35	33	11	3.29 ± 1.02	ปานกลาง
รสชาติ	5	11	27	43	14	3.50 ± 1.03	มาก
เนื้อสัมผัส	7	9	27	30	27	3.61 ± 1.18	มาก
ความชอบโดยรวม	7	13	33	34	13	3.33 ± 1.08	ปานกลาง

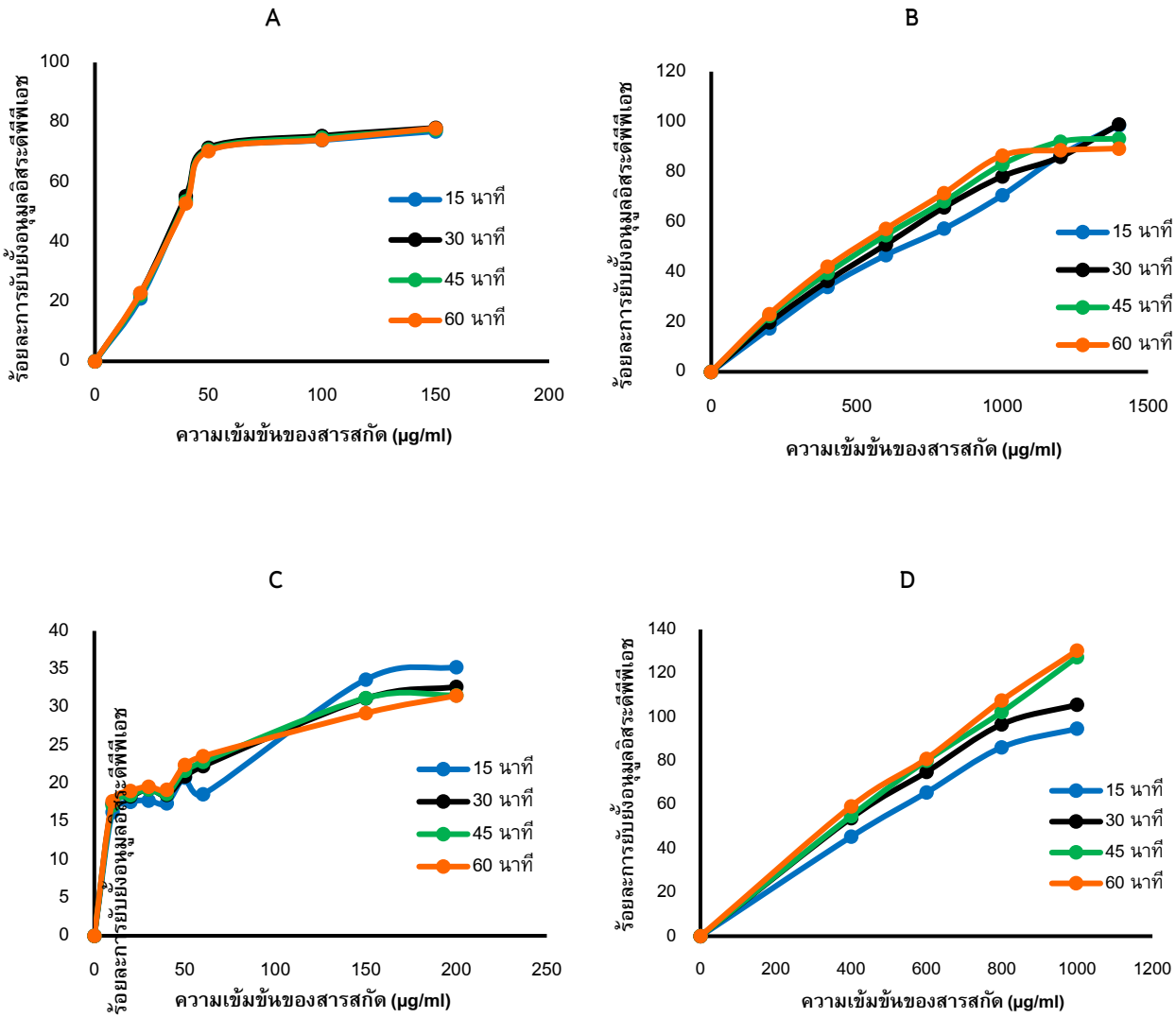
จากผลการวิจัยพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่พึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรสรองลงมาคือมะระขี้นกสามรสอบแห้ง และมะระขี้นกดองสามรส

เมื่อนำผลมะระขี้นกสด (ตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม) มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด แล้วนำผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดไปสกัดด้วยเมทานอลจนได้เป็นส่วนสกัดหยาบเมทานอล ทำการชั่งน้ำหนักและคำนวณร้อยละผลผลิต (%yield) แสดงผล ดังตาราง 7

ตาราง 7 ร้อยละผลผลิตของส่วนสกัดหยาบเมทานอลจากมะระขี้นกและผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะระขี้นก

ตัวอย่าง	น้ำหนักผลมะระขี้นกตั้งต้น (กรัม)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนสกัด (กรัม)	น้ำหนักส่วนสกัดหยาบ (กรัม)	ร้อยละผลผลิต (%yield)
มะระขี้นก	1,000	800.57	52.37	5.24
มะระขี้นกอบปรุงรส	1,000	244.21	50.06	5.01
มะระขี้นกสามรสอบแห้ง	1,000	238.11	53.36	5.34
มะระขี้นกดองสามรส	1,000	536.77	53.89	5.39

ร้อยละการต้านอนุมูลอิสระพีพีเอชของส่วนสกัดหยาบเมทานอลจากมะระขี้นกและผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะระขี้นกที่เวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที แสดงในรูป 1 ส่วนผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพีพีเอช (IC_{50}) ที่เวลา 30 นาที แสดงในตาราง 5 สารสกัดหยาบเมทานอลของมะระขี้นกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด (IC_{50} เท่ากับ 36.24 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) และดีกว่าสารมาตรฐานบิวทิลเลดเตด ไฮดรอกซีโทลูอีน (IC_{50} เท่ากับ 49.82 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) แต่น้อยกว่ากรดแอสคอร์บิก (IC_{50} เท่ากับ 5.44 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นก ได้แก่ มะระขี้นกอบปรุงรส มะระขี้นกสามรสอบแห้ง และมะระขี้นกดองสามรส มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงมาก (IC_{50} เท่ากับ 605.45, 602.81 และ 397.31 ตามลำดับ)



รูป 1 กราฟระหว่างร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระดีพีพีเอชกับความเข้มข้นของส่วนสกัดหยาบเมทานอลจากมะระขี้นก (A) ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะระขี้นกอบปรุงรส (B) มะระขี้นกสามรสอบแห้ง (C) มะระขี้นกดองสามรส (D)

ตาราง 8 ค่า IC_{50} ของสารสกัดหยาบเมทานอลของมะระขี้นกสดและผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นก ที่เวลา 30 นาที

ตัวอย่าง	**IC_{50} (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)**
มะระขี้นกสด	36.24
ผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรส	605.45
ผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกสามรสอบแห้ง	NA
ผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกดองสามรส	397.31
สารมาตรฐานบีเอชที	49.82
กรดแอสคอร์บิก	5.44

NA = ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระดีพีพีเอชไม่ถึง 50 แม้เพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดมากขึ้น

วิจารณ์และสรุปผล

ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกทั้ง 3 ชนิด นั้นคือ ผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรส มะระขี้นกสามรสอบแห้ง และ มะระขี้นกดองสามรส ผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมระดับปานกลางถึงมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ย 3.72, 3.33 และ 3.33 ตามลำดับ อาจจะมีความคาดเคลื่อนได้เนื่องจากกลุ่มทดลองที่ใช้ในการสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เป็นกลุ่มทดลองคนละกลุ่ม ถึงแม้ว่าจะเป็นกลุ่มทดลองเดียวกันแต่กลุ่มทดลองเหล่านั้นไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญด้านการทดลองทางประสาทสัมผัสหรือผู้ที่ผ่านการอบรมด้านประสาทสัมผัสจึงทำให้ผลการประเมินอาจคาดเคลื่อนได้เช่นเดียวกัน

จากผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช ที่เวลา 30 นาที พบว่า ส่วนสกัด-หยาบเมทานอลของมะระขี้นกมีค่า IC_{50} เท่ากับ 36.24 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งถือว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐานบีเอชที (IC_{50} เท่ากับ 49.82 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) แต่ยังน้อยกว่าสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (IC_{50} เท่ากับ 5.44 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)

มะระขี้นกที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 – 30 นาที ทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงมาก โดยส่วนสกัดหยาบเมทานอลของผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรส มีค่า IC_{50} เท่ากับ 605.45 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และส่วนสกัดหยาบเมทานอลของผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกสามรสอบแห้งไม่สามารถค่า IC_{50} ได้ เนื่องจากค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระดีพีพีเอชไม่ถึง 50 แม้จะเพิ่มความเข้มข้น คณะผู้วิจัยคาดว่าความร้อนน่าจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของมะระขี้นก จึงทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเปลี่ยนไป

การแปรรูปมะระขี้นกด้วยการดอง ซึ่งใช้แค่กรดซิตริกกับเกลือ แต่ไม่ได้ใช้ความร้อน ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกดองสามรสลดลงน้อยกว่าการใช้ความร้อนในการแปรรูป โดยส่วนสกัดหยาบเมทานอลของผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกดองสามรสมีค่า IC_{50} เท่ากับ 397.31 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งถือว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกอบปรุงรสเกือบ 2 เท่า จึงสรุปได้ว่าถึงแม้กรดซิตริกกับเกลือมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของมะระขี้นก แต่ก็ทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงน้อยกว่าการใช้ความร้อนอบ

ผลิตภัณฑ์แปรรูปมะระขี้นกสามรสอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปโดยใช้ทั้งความร้อน กรดซิตริก และเกลือ จึงทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากต้องการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากวัตถุดิบเดิมควรหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อน กรดซิตริก และเกลือ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณธีรเดช เสมอไชย, เพ็ญพร ชัยมงคล, ไอลดา สมบูรณ์, ลลิดา เจริญวิเศษและ รศ.สุนี ศักดาเดช จากภาควิชาคหกรรมศาสตร์ที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยชิ้นนี้ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่สนับสนุนงบประมาณและสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Grover JK, Yadav SP. Pharmacological actions and potential uses of *Momordica charantia*: a review. J Ethnopharmacol. 2004; 93(1): 123–132.
2. Raman A, Lau C. Anti–diabetic properties and phytochemistry of *Momordica charantia* L. (Cucurbitaceae). Phytomedicine. 1996; 2(4): 349–362.
3. Daniel P, Supe U, Roymon MG. A review on phytochemical analysis of *Momordica charantia*. Int J Adv Pharm Biol Chem. 2014; 3(1): 214–220.
4. Budrat P, Shotipruk A. Enhanced recovery of phenolic compounds from bitter melon (*Momordica charantia*) by subcritical water extraction. Separation and Purification Technology. 2009; 66(1): 125–129.
5. Kubola J, Siriamornpun S. Phenolic contents and antioxidant activities of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) leaf, stem and fruit fraction extracts *in vivo*. Food Chemistry. 2008; 110: 881–890.
6. Dandawate PR, Subramaniam D, Padhye SB, Anant S. Bitter melon: a panacea for inflammation and cancer. Chinese journal of natural medicines. 2016; 14(2): 81–100.
7. Matsuura H, Asakawa C, Kurimoto M, Mizutani J. α–glucosidase inhibitor from the seeds of balsam pear (*Momordica charantia*) and the fruit Bodies of *Grifola frondosa*. Biosci. Biotechnol. Biochem. 2002; 66(7): 1576–1578.
8. ธีรเดช เสมอไชย. มะระขี้นกอบปรุงรส, ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี: 2561, 32 p.
9. เพ็ญพร ชัยมงคล. มะระขี้นกสามรสอบแห้ง, ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี: 2561, 38 p.
10. ไอลดา สมบูรณ์. มะระขี้นกดองสามรส. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี: 2561, 45 p.
11. Premakumara GAS, Abeysekera WKSM, Ratnasooriya WD, Chandrasekharan NV, Bentota AP. Antioxidant, anti–amylase and anti–glycation potential of brans of some Sri Lankan traditional and improved rice (*Oryza sativa* L.) varieties. J Cereal Sci. 2013; 58(3): 451–456.

ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตบางชนิดต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อซาราซีเนีย สภาพปลอดเชื้อ

Effect of some plant growth regulators on tissue culture of *Sarracenia minor* walt

สืบพงศ์ ใจสุข[1] และ กนกอร ศรีม่วง[1*]

Suepphong Jaisuk [1] and Kanok-orn Srimuang[1*]

บทคัดย่อ

ซาราซีเนีย (*Saracenia*) เป็นพืชในกลุ่มของพืชกินเนื้อหรือสัตว์เลี้ยงเล็ก ๆ เช่นแมลง เช่นเดียวกันกับพืชในกลุ่มหม้อข้าวหม้อแกง (*Nepenthes*) และดรอซีรา (*Drosera*) ทั้งสามกลุ่มนี้มักถูกเรียกว่า พืชกินเนื้อสัตว์ หรือ พืชจับแมลง ซาราซีเนียมีลักษณะเด่นในการจับกัดแมลงด้วยใบที่เป็นหลุมลึกและมีน้ำและเส้นใยน้ำเงินซึ่งช่วยในการย่อยสลายและดูดซึมสารอาหารจากสิ่งมีชีวิตที่ถูกจับไว้ในใบนั้นๆ นอกจากนี้ยังมีสีสันและรูปร่างที่น่าสนใจ การศึกษาซาราซีเนียสามารถช่วยในการเข้าใจวิธีการที่พืชใช้เพื่อการสร้างพลังงานและอาหารและยังช่วยในการศึกษาเรื่องราวของพันธุกรรมและการปรับตัวของพืชในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ทำให้มีความสำคัญในด้านวิทยาศาสตร์และการศึกษาทางธรรมชาติ

การศึกษาผลความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการขยายพันธุ์ซาราซีเนีย (*Sarracenia minor* Walt.) ในสภาพหลอดทดลอง โดยศึกษาผลของ BA และ NAA อย่างละ 5 กรรมวิธี ๆ ละ 10 ซ้ำ ๆ ละ 1 ต้น วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยการทดลองที่ 1 การศึกษาผลของ BA ที่ความเข้มข้น 0.0, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อ เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า สูตรอาหาร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัม ต่อลิตร มีจำนวนยอดสูงสุด คือ 6.85 ยอดต่อต้น ส่วนสูตรอาหาร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนใบต่อยอดสูงสุด คือ 9.70 ใบต่อยอด และความยาวใบทุก กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความยาวใบอยู่ในช่วง 13.51 – 24.20 มิลลิเมตร ส่วนการทดลองที่ 2 การศึกษาผลของ NAA ที่ความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า การชักนำให้เกิดรากทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่าง ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีจำนวนรากอยู่ในช่วง 1.42 – 5.25 รากต่อต้น และสูตรอาหาร MS ที่ไม่เติม NAA ให้ความยาววรากสูงสุด คือ 25.72 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: ซาราซีเนีย / การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ / สารควบคุมการเจริญเติบโต

[1] ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Sufficiency Economy Learning Center, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author e-mail: kanokorn.sr@up.ac.th

Abstract

Sarracenia is a group of plants that eat carnivores or small animals such as insects, as well as plants in the *Nepenthes* and *Drosera* groups. These three groups are often referred to as carnivorous plant, or insect catching plant, *Sarracenia* is characterized by its deeply pitted leaves and blue fibers, which aid in the decomposition and absorption of nutrients from the captured organisms in the leaves. They also have interesting colors and shapes. Studying *Sarracenia* can help in understanding the methods plants use to create energy and food. It also helps to study the genetics and adaptation of plants to unsuitable environments. This makes it important in science and nature studies.

The research examined the effect concentrations of growth plant regulators on the propagation of *Sarracenia minor* Walt. under in vitro conditions. A completely randomized experiment was designed with five treatments each for both BA and NAA, comprising 10 replicates with one plant per replicate. In the first experiment, the effects of BA were examined at concentrations of 0.0, 0.5, 1.0, 3.0 and 5.0 mg/l. After 16 weeks of culture, it was observed that MS medium with concentration of 3.0 mg/l BA gave the highest number of shoots per plant with an average of 6.85 shoots per plant. When BA was added at a concentration of 0.5 mg/l to the MS medium, it yielded the highest number of leaves per shoot, averaging 9.70 leaves per shoot. There were no significant differences in leaf length among the treatments, with leaf lengths ranging from 13.51 – 24.20 mm. The second experiment, the effects of NAA were investigated at concentrations of 0.0, 0.1, 0.3, 0.5 and 1.0 mg/l. It was observed that there were no significant statistical differences in root induction among the various concentrations of NAA. The number of roots ranged from 1.42 – 5.25 roots per plant. Interestingly, the MS medium without the addition of NAA resulted in the maximum root length (25.72 mm).

Keywords: *Sarracenia minor* Walt. / Tissue culture / Plant growth regulator

บทนำ

ซาราซีเนีย (Sarracenia) เป็นสกุลของพืชกินแมลงที่มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า "พืชจับแมลง" หรือ "พืชกินแมลง" ซึ่งเป็นพืชอวบน้ำซึ่งมักพบในภาคทิวเขาของทางตอนตะวันออกในอเมริกาเหนือ และบางส่วนของแคนาดา ซาราซีเนียมีลักษณะพิเศษที่ทำให้พวกมดและแมลงตกหลุมและไม่สามารถหนีออกมาได้ เราสามารถจำและพิจารณาลักษณะต่างๆ ของพืชกินแมลงซาราซีเนีย เช่น ใบพืชมักมีรูปร่างทรงกรวยหรือทรงถ้วยที่สำหรับเก็บน้ำฝน และใบขอบของพืชมักมีขนเป็นของสลักที่ช่วยในการดูดอาหารจากแมลงที่ตกลงในถ้วย เมื่อแมลงตกลงในถ้วยของพืชกินแมลงนี้แล้ว มันจะไม่สามารถหนีได้ ส่วนใหญ่ซาราซีเนียเจริญอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำและความชื้นสูง และใช้การล่องลอยในถ้วยน้ำเพื่อดึงธาตุอาหารจากแมลงที่ตกลงมา นอกจากนี้ยังทำสีใบสดๆ เพื่อดึงแมลงมายังพืช

Sarracenia เป็นไม้ล้มลุกยืนต้นที่เติบโตจากเหง้าใต้ดิน โดยมีใบรูปเหยือกหลายใบแผ่ออกมาจากจุดที่เติบโต จากนั้นพลิกขึ้นด้านบนโดยให้ช่องดักหันเข้าหาศูนย์กลางของมงกุฎ กับดักนั้นเป็นท่อแนวตั้งที่มี 'หมวก' (เพอคิวลัม) ยื่นออกไปเหนือทางเข้า และด้านล่างสุดของท่อมักจะมีปากม้วน (เพอริสโตม) ซึ่งหลั่งน้ำหวานและกลิ่นออกมา ตัวฮูดเองก็ผลิตน้ำหวานบ่อยครั้งเช่นกันแต่ในปริมาณที่น้อยกว่า (Sarracenia, 2023) ซาราซีเนีย (Sarracenia) เป็นพืชกินแมลงที่อยู่ในวงศ์ Sarraceniaceae ในอเมริกาเหนือมีประมาณ 8 – 11 ชนิด ซาราซีเนียมีอีกชื่อเรียกว่า เหยือกทรัมเป็ต เป็นพืชพื้นเมืองที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาเหนือ แถบชายฝั่ง มหาสมุทรแอตแลนติก รัฐเท็กซัส บริเวณเกรตเลกส์ และตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศ ลักษณะเด่นของใบของพืชในสกุลจะมีการ

วิวัฒนาการเป็นรูปหลอดยาวปากแตรเพื่อที่จะดักจับแมลง และย่อยเหยื่อด้วยน้ำย่อยโปรตีน และเอนไซม์อื่น ๆ ซาราซีเนียเป็นพืชกินแมลงที่ได้รับความนิยมปลูกเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายมากขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้เริ่มมีบทบาทในการเป็นไม้ประดับเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยเพิ่มมากขึ้นด้วย การเพิ่มจำนวนด้วยวิธีเพาะเมล็ดหรือการแยกกอ ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดที่ต้องการจำนวนต้นในปริมาณมากในระยะเวลาอันรวดเร็ว (ปรียาณัฐ, 2561) ฮอร์โมนพืชมีความสำคัญในกระบวนการการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชกินแมลง เช่น ซาราซีเนีย ซึ่งเป็นพืชกินเนื้อที่สามารถจับและย่อยสลายแมลงและสัตว์จำพวกน้อย ๆ ได้ในใบของพืชนี้ ฮอร์โมนพืชมีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชกินแมลงอย่างซาราซีเนีย เนื่องจาก ซาราซีเนียมีฮอร์โมนที่ช่วยในการสร้างกลไกการจับแมลงที่มีประสิทธิภาพ ปริมาณและประเภทของฮอร์โมนที่มีอยู่ในใบของพืช ซึ่งทำให้มีความสามารถในการจับแมลงได้ดีขึ้น และเป็นที่น่าสนใจสำหรับผู้ที่สนใจการศึกษาและการเพาะเลี้ยงซาราซีเนีย นอกจากนี้ยังพบว่า ฮอร์โมนพืชในซาราซีเนียมีบทบาทในการส่งสัญญาณที่สำคัญในกระบวนการย่อยสลายแมลงที่ถูกจับไว้ในใบของพืช ซึ่งช่วยให้เนื้อเยื่อพืชกินแมลงสามารถดูดซึมสารอาหารจากแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าฮอร์โมนพืชที่มีอยู่ในซาราซีเนียมอาจมีบทบาทในการป้องกันและต้านทานต่อโรคและแมลงที่อาจเป็นอันตรายต่อซาราซีเนีย นั่นทำให้เป็นส่วนสำคัญของระบบป้องกันศัตรูพืชของพืชกินเนื้อสัตว์นี้ ดังนั้นการเข้าใจการทำงานของฮอร์โมนพืชในซาราซีเนียมสามารถช่วยในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชกินแมลงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากธุรกิจไม้กินแมลง ในกลุ่ม ซาราซีเนียในประเทศไทยกำลังขยายตัวทางธุรกิจเพิ่มมากขึ้น การเจริญเติบโตด้วยกระบวนการตามธรรมชาติ ทำให้การเพิ่มปริมาณต้นไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ดังนั้นเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้น เนื่องจากสามารถเพิ่มปริมาณจำนวนได้ในประมาณมากในระยะเวลาอันสั้น ด้วยการใช้ฮอร์โมนสังเคราะห์เพื่อเพิ่มปริมาณยอดหรือราก ซึ่งในพืชแต่ละชนิดจะมีความต้องการปริมาณฮอร์โมนที่แตกต่างกันออกไป ทั้งไซโตไคนิน (Cytokinin) ที่ใช้ในการกระตุ้นการเจริญเติบโต และออกซิน (Auxin) ที่ใช้ในการ กระตุ้นการเกิดราก นอกจากนี้ยังพบว่าการศึกษาการขยายพันธุ์ในสภาพปลอดเชื้อมีน้อยมากและมีรายงานว่าบางชนิดไม่สามารถขยายพันธุ์ในสภาพปลอดเชื้อได้โดยใช้ส่วนของลำต้นเนื่องจากยากต่อการฟอกฆ่าเชื้อที่ติดมากับชิ้นส่วนพืช (Walker, 2023)

วิธีการศึกษา

การทดลองที่ 1 การศึกษาความเข้มข้นของ BA ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยอด ซาราซีเนียในสภาพปลอดเชื้อ วางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 1 ต้น โดยใช้สูตรของ Murashige and Skoog (MS) (1962) ที่เติม BA ความ เข้มข้น 5 ระดับ ได้แก่ 0.0 , 0.5 , 1.0 , 3.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) จากนั้นทำการ บันทึกผล ได้แก่ จำนวนยอด (ยอดต่อต้น) จำนวนใบ (ใบต่อยอด) และความยาวใบ (มิลลิเมตร)

การทดลองที่ 2 การศึกษาความเข้มข้นของ NAA ที่เหมาะสมต่อการเกิดจำนวนราก และความยาวรากของรากซาราซีเนียในสภาพปลอดเชื้อ วางแผนแบบ CRD จำนวน 5 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 1 ต้น โดยใช้สูตรอาหาร MS (1962) ที่เติม NAA ความเข้มข้น 5 ระดับ ได้แก่ 0.0 , 0.1 , 0.3 , 0.5 และ 1.0 mg/l จากนั้นทำ การบันทึกผล ได้แก่ จำนวนราก (รากต่อต้น) และความยาวราก (มิลลิเมตร)

กระบวนการเตรียมและทดลองการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของ *Sarracenia minor* Walt. ในสภาพปลอดเชื้อมีขั้นตอนดังนี้ เตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยใช้สูตรอาหาร MS (Murashige and Skoog) สำเร็จรูปในสูตรพื้นฐาน เติมน้ำตาล 30 g/L ปรับค่า pH ของอาหารให้อยู่ในช่วง 5.7–5.8 เติมวุ้นในอาหารในปริมาณ 8 g/L ละลายวุ้นในอาหารโดยใช้ความร้อน ใส่สารควบคุมการเจริญเติบโต ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในการวางแผนการ

ทดลอง ทำการฆ่าเชื้อด้วย Autoclave แล้วนำอาหารที่เตรียมไว้ในใส่ขวดแก้วขนาด 8 ออนซ์ นำไปนึ่งด้วยเครื่องหม้อนึ่งแรงดัน (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121°C และความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางเมตร เป็นเวลา 20 นาที ทำการแยกของต้นซาราซีเนียที่แตกหน่อจากต้นแม่ที่เลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อมา จำนวน 1 หน่อ นำมาตัดรากและใบที่ตายออก หลังจากนั้นนำใส่ขวดอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ เตรียมไว้แต่ละกรรมวิธีจำนวน 1 หน่อต่อขวด จากนั้นนำไปเลี้ยงในห้องปลอดเชื้อที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 25 ± 2°C และให้แสงความเข้มข้นแสง 3,000 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ทำการบันทึกผลการทดลอง เมื่อเพาะเลี้ยงในห้องปลอดเชื้อเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

สถานที่ทำการทดลอง ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา

ผลการศึกษา

จากการศึกษาผลของสาร 6-Benzyladenine (BA) และสาร Napthalene acetic acid (NAA) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของซาราซีเนียในสภาพปลอดเชื้อ เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 3.0 (mg/l) มีแนวโน้มในการเพิ่มจำนวนยอดสูงสุด 6.85 ยอดต่อต้น ในขณะที่จำนวนใบ อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5 mg/l มีแนวโน้มในการเพิ่มจำนวนใบสูงสุด คือ 9.70 ใบต่อยอด ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความยาวใบของซาราซีเนียอยู่ในช่วง 13.51 – 24.20 มิลลิเมตร (ตารางที่ 1)

จากการศึกษาความเข้มข้นของสาร NAA ที่เหมาะสมต่อการเกิดจำนวนราก และความยาวรากของซาราซีเนียในอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้น 5 ระดับ ได้แก่ 0.0, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1.0 (mg/l) จำนวนรากของซาราซีเนีย ในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีจำนวนรากของซาราซีเนียอยู่ในช่วง 1.42 – 5.25 รากต่อต้น ในขณะที่ความยาวรากของซาราซีเนีย ในอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.0, 0.5 และ 0.3 mg/l ให้ความยาวรากสูงที่สุด มีค่า 5.53, 5.35 และ 5.02 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของซาราซีเนียที่เพาะเลี้ยงในอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 16 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อต้น)	จำนวนใบ/ยอด (ใบต่อยอด)	ความยาวใบ (มิลลิเมตร)
MS (Control)	2.33 ± 2.30^{b}	8.33 ± 4.93^{ab}	19.48 ± 1.61
MS + BA 0.5 mg/l	2.57 ± 1.81^{b}	9.70 ± 5.97^{a}	24.20 ± 8.30
MS + BA 1.0 mg/l	3.33 ± 2.06^{b}	6.41 ± 2.28^{ab}	17.91 ± 9.06
MS + BA 3.0 mg/l	6.85 ± 3.13^{a}	4.80 ± 0.75^{ab}	19.59 ± 7.55
MS + BA 5.0 mg/l	3.25 ± 2.06^{b}	3.82 ± 1.89^{b}	13.51 ± 3.02
F-test	*	*	ns
CV (%)	74.48	68.63	39.66

***หมายเหตุ**: อักษรที่แตกต่างกันทางแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 การเกิดรากซาราซีเนียที่เพาะเลี้ยงในอาหารกึ่งแข็ง สูตร MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่างกัน เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 16 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนราก (รากต่อต้น)	ความยาวราก (มิลลิเมตร)
MS (Control)	3.50 ± 3.53	25.72 ± 6.68^{a}
MS + NAA 0.1 (mg/l)	3.70 ± 2.11	9.14 ± 3.44^{b}
MS + NAA 0.3 (mg/l)	1.42 ± 0.78	5.02 ± 1.42^{c}
MS + NAA 0.5 (mg/l)	4.60 ± 5.31	5.35 ± 3.10^{bc}
MS + NAA 1.0 (mg/l)	5.25 ± 1.58	5.53 ± 1.01^{bc}
F-test	ns	*
CV (%)	71.39	60.27

***หมายเหตุ**: อักษรที่แตกต่างกันทางแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาผลความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการขยายพันธุ์ซาราซีเนีย (*Sarracenia minor* Walt.) ในสภาพปลอดเชื้อ พบว่า สูตรอาหาร MS ที่เติม 6- Benzylaminopurine (BA) ทุกความเข้มข้นสามารถชักนำให้เกิดยอดได้ เนื่องจาก BA เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มฮอร์โมนไซโตไคนิน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นให้เกิดหน่อและตาใหม่ อีกทั้ง BA ยังมีผลในการควบคุมการสร้างยอด และการพัฒนาของยอดและราก จึงนิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Tomaz and Marina, 2010) โดยอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มจำนวนยอดสูงสุด 6.85 ยอดต่อต้น ซึ่ง แตกต่างจากสูตรอาหารที่เติมความเข้มข้นอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสอดคล้องกับ งานของ Miclea และ Bernat (2018) ที่ศึกษาพบว่า อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 5 mg/l มีผลในการเพิ่มจำนวนต้นของ *Sarracenia purpurea* อยู่ที่ 3.75 ยอดต่อต้น ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองในครั้งนี้อย่างมาก เนื่องจากอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 5.0 mg/l ให้จำนวนยอด 3.25 ยอดต่อต้น หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ นอกจากนี้ ยังไปสอดคล้องกับการศึกษางานของ Northcutt และคณะ (2012) ซึ่งทำการเพาะเลี้ยง *Sarracenia oreopphila*, *S. leucophylla S. purpurea* และ spp. *venosa* ในอาหารสูตร MS ที่ เติม BA ความเข้มข้น 3.0 mg/l ให้จำนวนยอดสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่า BA ซึ่งอยู่ในกลุ่มฮอร์โมน ในกลุ่มไซโตไคนิน (Cytokinins) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสำหรับใช้ในการพัฒนา ให้เกิดยอดของต้นซาราซีเนีย

ในส่วนของการศึกษาฮอร์โมนในกลุ่มไซโตไคนินต่อการเพิ่มจำนวนใบ พบว่า มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยที่อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 5.0 mg/l ให้จำนวนใบน้อยที่สุด 3.25 ยอดต่อต้น เช่นเดียวกันกับความยาวใบ ที่พบว่า ในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 13.51 – 24.20 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าฮอร์โมน ในกลุ่มไซโตไคนินมีอิทธิพลน้อยมากต่อการพัฒนาจำนวนใบและขนาดใบของซาราซีเนีย การศึกษาผลของฮอร์โมน 1-naphthylacetic acid (NAA) ในอาหาร MS ต่อการพัฒนา รากใน *Sarracenia minor* Walt. พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นสามารถชักนำให้เกิดรากได้ แต่ จำนวนรากที่เกิดขึ้นในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยให้ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.42 – 5.20 รากต่อต้น และความยาวรากของซาราซีเนียในสูตรอาหาร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตสามารถชักนำให้มีความยาวรากมากที่สุด คือ 25.72 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Miclea and Bernat (2018) ที่พบว่า การเติมฮอร์โมน NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ หรือการลดปริมาณความเข้มข้นของอาหาร MS ลงไป 1/3 เท่า สามารถชักนำให้เกิดรากได้ ในขณะที่การไม่ใส่ฮอร์โมน NAA มีผลในการกระตุ้นความยาวรากมากที่สุด

สรุปผลการทดลอง

อาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 3.0 mg/l ให้จำนวนยอดสูงสุด อยู่ที่ 6.85 ยอดต่อต้น ส่วนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5 mg/l ให้จำนวนใบต่อยอดสูงสุด อยู่ที่ 9.70 ใบต่อยอด ขณะที่ความยาวใบในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ ช่วง 13.51 – 24.20 มิลลิเมตร ทุกกรรมวิธีสามารถเพิ่มจำนวนรากได้ โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมีค่าอยู่ ช่วง 1.42 – 5.25 รากต่อต้น ส่วนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติม NAA ให้ความยาวรากที่สูงที่สุด 25.72 มิลลิเมตร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่างๆ ตลอดการทำการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ปรียาณัฐ หงส์ทอง. (2561). ผลของสูตรอาหารและระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการ เจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อซาราซีเนีย สายพันธุ์ *Sarracenia leucophylla* Raf. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

Miclea I, Bernat R. (2018). *In vitro* Multiplication of the Pitcher Plant Sarracenia Purpurea. **Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies**, 75(2), 134 – 136.

Murashige T, Skoog F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. **Physiol. Plant**, 15, 473–497.

Northcutt C, Davies D, Gagliardo RW, Bucalo K, Determann RO, Cruse–Sanders J, Pullman GS. (2012). Germination *In Vitro*, Micropropagation, and Cryogenic Storage for Three Rare Pitcher Plants: *Sarracenia oreophila* (Kearney) Wherry (Federally Endangered), *S. leucophylla* Raf., and *S. purpurea* spp. venosa (Raf.) Wherry. **HortScience**, 47(1), 74 – 80.

Sarracenia. (2023). Wikipedia The Free Encyclopedia. Retrieved 24 November 2023, from https://en.wikipedia.org/wiki/Sarracenia

Tomaz R, Marina D. (2010). Cytokinins and their Function in Developings Seeds. **Acta Chim. Slov**, 57, 617 – 629.

Walker R. 2023. Tissue culture in the Home Kitchen. The Carnivorous plant tissue culture. [online]. Available http://www2.labs.agilent.com/botany/cp/slides/tc/tc.htm (24 November 2023).

ผลของไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนผักโขมแดง

Effect of micro/nano bubbles on the germination and growth of red amaranth

ชิติ ศรีตนทิพย์[1*], ช่อผกา วงค์สอน[1], ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์[1] และ วิษณุ ทองเล็ก[2]

Chiti Sritontip[1*], Chorpaka Wongsorn[1], Parinyawadee Sritontip[1] and Vishnu Thonglek[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการแช่เมล็ดร่วมกับการใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการ งอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนผักโขมแดง วางแผนการทดลองแบบ 2x4 แฟคทอเรียล โดยใช้แผนการ ทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัย A คือระยะเวลาการแช่ 12 และ 24 ชั่วโมง และปัจจัย B คือน้ำที่ผ่านการ ปั๊มด้วยเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ (MNBs) ที่ระยะเวลา 0, 5, 10 และ 15 นาที โดยนำเมล็ดผักโขมแดงมาแช่ในน้ำ ที่ผ่านการปั๊มด้วยเครื่อง MNBs ตามกรรมวิธีที่กำหนด จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์มาเพาะลงบนกระดาษเพาะ และวางไว้ที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน ผลการทดลองพบว่า การแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดผักโขมแดงมีอัตรา การงอก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนสูงกว่าการแช่เมล็ดระยะเวลา 12 ชั่วโมง การใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 – 15 นาที ทำให้เมล็ดผักโขมแดงมีอัตราการงอกของเมล็ดสูง มีจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก และเวลาในการงอกเร็วขึ้น รวมถึงการเจริญเติบโตของต้นอ่อนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำไม่ผ่านเครื่อง MNBs โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 – 15 นาที ร่วมกับระยะเวลาการแช่ 12 ชั่วโมง ทำให้อัตราการงอกของเมล็ด เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น และสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ขณะที่การใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs 5 – 15 นาที ร่วมกับการแช่ 24 ชั่วโมง ทำให้ผักโขมแดงมีจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก และเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วขึ้น รวมถึงมีอัตราการงอก เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ความกว้างใบ และความยาวรากสูงกว่าการใช้น้ำเปล่า

คำสำคัญ: ไมโคร/นาโนบับเบิลส์, ความงอก, การเจริญเติบโต, ต้นอ่อนผักโขมแดง

[1] สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000

[2] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ 50300

[1] Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, 52000

[2] Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiang Mai, 50300

* Corresponding author: Chiti@rmutl.ac.th

Abstract

The objective of this research was to study the effect of seed soaking time combined with micro/nanobubbles (MNBs) application on seed germination and the growth of red amaranth seedlings. The experimental design was 2x4 factorial using a completely randomized design with 4 replicates. Factor A was the seed soaking period at 12 and 24 hours, and factor B was the time to generate water through the MNBs generator at 4 periods of 0, 5, 10, and 15 minutes. The seeds were soaked in water generated with a MNBs machine according to each treatment. Then bring the seeds to germinate on top of the germination paper and keep them in at room temperature for 12 days. The results found that a seed soaking period of 24 hours causes red amaranth seeds to have a faster germination rate and higher seedling growth than a 12–hour seed soaking period. The use of MNBs with a generated period of 5–15 minutes increases the germination rate, faster both the number of days to emergence and germination time, also increases seedling growth compared to using water that does not pass through the MNBs machine. Moreover, using 5 – 15 minutes of water through the MNBs generator combined with a 12–hour seed soaking period enhanced the germination rate, dimeter and total phenolic compounds higher than other methods. While, using 5 – 15 minutes of water through the MNBs generator combined with a 24–hour seed soaking period, caused red amaranth seedlings to have days to emergence, and the time for germination was faster. Including, the germination rate, stem diameter, leaf width, and root length were higher than the use of distilled water.

Keywords: Micro/Nano bubbles, Germination, Growth, Red amaranth

บทนำ

ในปัจจุบันมนุษย์ได้ให้ความสำคัญต่อการดูแลสุขภาพมากขึ้น ตั้งแต่การเลือกบริโภคอาหารที่มีประโยชน์ร่างกายเพื่อการป้องกันและรักษาสุขภาพที่สามารถต้านทานต่อโรคภัยต่าง ๆ ได้ โดยเฉพาะการเลือกรับประทานอาหารที่ปลอดสารพิษ เช่นการหันกลับมารับประทานอาหารจำพวกผัก ประเภทต้นอ่อนหรือไมโครกรีน (Microgreen) ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง มีสารพฤกษเคมี (Kopsell and Sams, 2013) เป็นแหล่งของวิตามิน และแร่ธาตุ เมื่อเปรียบเทียบกับผักชนิดเดียวกันที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ (Xiao et al.,2012) มีสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพและ อุดมด้วยสารประเภท antioxidant ซึ่งช่วยลดสารพิษ อีกทั้งยังประหยัดพื้นที่ในการเพาะปลูกและมีระยะเวลาเก็บเกี่ยวสั้น สามารถนำมาทำอาหารได้หลากหลาย และเป็นรายได้เสริมที่น่าสนใจในระยะเวลาสั้น ผักไมโครกรีนจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเข้าถึงการบริโภคผักปลอดสารพิษ และเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (กรรณิกา บุญพาธรรม., 2560) อย่างเช่น ผักโขมแดง (*Amaranthus caudatus*) จัดอยู่ในวงศ์ Amaranthaceae เป็นพืชผักที่ใช้รูปแบบการปลูกแบบไมโครกรีนที่สามารถเจริญได้ทุกฤดูกาล การผลิตต้นอ่อนผักโขมแดงมีอายุเก็บเกี่ยวหลังเมล็ดงอกประมาณ 13 วัน มีลักษณะสีของต้น และใบเป็นสีม่วงและสีแดง คาดว่าน่าจะมีสารแอนโทไซยานิน เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่มีสีแดงถึงสีน้ำเงินพบในผักและไม้ดอกหลายชนิด เช่นกระเจี๊ยบแดง องุ่นแดง สตรอว์เบอร์รี่ เป็นต้น เป็นพืชผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูงประกอบด้วย เบต้า–แคโรทีน (Beta–carotene) วิตามินซี วิตามินเอ และแร่ธาตุที่สำคัญได้แก่ แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม โพแทสเซียม สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส รวมถึงมีสารแอนโทไซยานินในกลุ่ม Cyanidin–3–0–glucoside และสาร Peonidin–3–0–glucoside (จตุรงค์ พวงมณี และคณะ., 2557) การศึกษาของ Karamać et al. (2019) ในผักโขมที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบสารฟีนอลิกที่เป็นอนุพันธ์ของกรดไฮ

ดรอกซีซินนามิก พบปริมาณสูงในระยะแรกของการเจริญทางลำต้น ซึ่งสอดคล้องกับ Promdang et al. (2020) รายงานว่าผักโขมแดงมีปริมาณสารฟีนอลิกรวมสูง

โดยพืชไมโครกรีน มีปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตได้แก่ น้ำ อุณหภูมิ ความชื้น และแสง เป็นต้น ซึ่งหากพืชได้รับปัจจัยต่างๆ ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้ต้นอ่อนเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะน้ำ ที่เป็นปัจจัยหลักต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ก็ยังมีปัญหาด้านการงอกและการเพาะเมล็ดของพืช จึงได้มีการนำเทคโนโลยีไมโคร/นาโนบับเบิลส์มาช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดพืช ซึ่งเทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิ้ลส์ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มจำนวนออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้เป็นเวลานานและยังคงอยู่ในน้ำได้นานกว่าฟองอากาศขนาดทั่วไป เนื่องจากน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ทำให้เมล็ดพันธุ์มีการดูดน้ำได้อย่างรวดเร็ว และมีปริมาณออกซิเจนสูงกว่าน้ำปกติ Oshita and Liu (2013) รายงานว่าเทคโนโลยีไมโคร/นาโนบับเบิ้ลส์ ช่วยส่งเสริมการกระตุ้นการงอกของเมล็ด และการส่งเสริมกิจกรรมทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ รวมถึงช่วยเพิ่มสารประกอบฟีนอลิก (Takahashi et al., 2007) Liu et al., (2013) รายงานว่าน้ำนาโนบับเบิลส์มีหมู่ไฮโดรอซิลอยู่ในน้ำเป็นจำนวนมากที่ช่วยเพิ่มความคล่องตัวของโมเลกุลน้ำ ทำให้ผนังเซลล์อ่อนนุ่ม จึงส่งผลให้การดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์และการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่เมล็ดได้เพิ่มขึ้น มีการวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่าไมโคร/นาโนบับเบิลส์ช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอ็นไซม์ amylase ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีส่วนสำคัญต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพืช (Davies, 2004) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เทคโนโลยีฟองอากาศขนาดไมโคร/นาโนบับเบิลส์ในการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพืช รวมถึงการเจริญเติบโตของต้นกล้า และสารประกอบฟีนอลิกของต้นอ่อนผักโขมแดง

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบ 2x4 แฟคทอเรียลโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD; Completely randomized design) ปัจจัย A คือระยะเวลาการแช่ 12 และ 24 ชั่วโมง และปัจจัย B คือน้ำที่ผ่านการปั๊มฟองอากาศขนาดไมโครนาโนที่ระยะเวลา 0, 5, 10 และ 15 นาที ทำการทดลองกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

ทำการนับเมล็ดผักโขมแดง จำนวน 100 เมล็ด ใส่ลงในถุงผ้าแก้ว แล้วนำเมล็ดผักโขมแดงมาแช่ในน้ำที่ผ่านการปั๊มด้วยเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ตามกรรมวิธีที่กำหนด โดยทำการแช่เมล็ดพันธุ์ในกรรมวิธีที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงก่อน แล้วทำการแช่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง (เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์กรรมวิธีที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง แช่ผ่านไป 12 ชั่วโมง) เพื่อให้ระยะเวลาการแช่เมล็ดพันธุ์เสร็จสิ้นพร้อมกัน จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์มาเพาะลงในกล่องพลาสติกใส ขนาด 10 x 10 เซนติเมตร โดยวิธีการเพาะเมล็ดบนกระดาษ (Top of paper; TP) โดยใช้กระดาษเพาะจำนวน 6 ชั้น ตามวิธีของ ISTA (2011) นำกล่องเมล็ดพันธุ์ที่เพาะมาวางไว้ในห้องทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 61% โดยไม่ปิดฝากล่อง ทำการให้น้ำตามกรรมวิธีแก่เมล็ดพันธุ์ โดยให้ตอนเช้าและเย็น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทุกวัน

การบันทึกข้อมูล 5 ส่วน คือ ความงอกของเมล็ด ได้แก่ อัตราการงอก จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก และเวลาเฉลี่ยในการงอก การเจริญเติบโตของต้นอ่อน ที่อายุ 12 วัน ได้แก่ ความยากราก (เซนติเมตร) ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (มิลลิเมตร) ความกว้างและความยาวของใบ (เซนติเมตร) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นอ่อน (กรัม) โดยจะเก็บผลผลิตหลังการเพาะเมล็ด 12 วัน นำมาชั่งน้ำหนักสดจำนวน 10 ต้นแล้วหาค่าเฉลี่ยต่อต้น ส่วนการหาน้ำหนักแห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อน โดยใช้วิธีการของ Weterhouse (2005) และการบันทึกค่าคุณสมบัติของน้ำ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า และความเป็นกรด – ด่าง

ในการทดลองใช้เครื่องไมโครนาโนบับเบิลส์ พัฒนาโดยศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าแรงสูงพลาสมาและไมโครนาโนบับเบิลส์เพื่อการเกษตรและการประมงขั้นสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เครื่องที่ใช้โมเดล KVM10 อัตราการไหลของน้ำ 1.7 ลิตรต่อนาที การไหลของฟองอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที กำลังไฟฟ้า 240 วัตต์ อัตราการไหลของอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที มีขนาดฟองอากาศเฉลี่ยขนาด 660 นาโนเมตร และจำนวนฟองอากาศประมาณ 58,063,100 particle/ml วัดโดยเครื่องเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคแบบกระเจิงด้วยเลเซอร์ (Horiba–960A, Japan) (Thonglek. 2017; Yoshikawa and Thonglek, 2017)

ผลการศึกษา

1. อัตราการงอกและระยะเวลาการงอก

1.1 ความงอกของเมล็ด

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดผักโขมแดง ที่อายุ 7 พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ผักโขมแดงมีความงอกของเมล็ดสูงที่สุด เฉลี่ย 98.31 เปอร์เซ็นต์ และที่อายุ 12 วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาปัจจัย B การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ที่อายุ 7 วัน พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 – 15 นาที ทำให้เมล็ดผักโขมแดงมีความงอกสูงกว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที และที่อายุ 12 วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ รวมถึงปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยที่อายุ 7 วัน พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่การใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs 5 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ดระยะเวลา 12 ชั่วโมง รวมถึงการใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 – 15 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดผักโขมแดงมีความงอกสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 98.75 – 99.00 เปอร์เซ็นต์ และที่อายุ 12 วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2 จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดผักโขมแดง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และพิจารณาปัจจัย B พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที ทำให้จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกมากกว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 – 15 นาที ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ด 12 ชั่วโมง และการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง มีจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกมากกว่ากรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 1)

1.3 เวลาเฉลี่ยในการงอก

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดผักโขมแดง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และพิจารณาปัจจัย B การใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 – 15 นาที ทำให้ผักโขมแดงมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าการใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 10 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง ทำให้ผักโขมแดงมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่ากรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 1)

2. การเจริญเติบโตของต้นอ่อน

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดผักโขมแดง พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น และความยาวรากมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ต้นอ่อนผักโขมแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและความยาวรากสูงกว่าระยะวลาการแช่เมล็ด 12 ชั่วโมง ส่วนความสูงของต้นอ่อน ความกว้างของใบ และความยาวของใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาปัจจัย B การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs 5 นาที ทำให้ต้นอ่อนผักโขมแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงที่สุด และความยาวรากมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs 15 นาที มีความยาวรากสูงที่สุด แต่ความสูงของต้นอ่อน ความกว้างของใบ และความยาวของใบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ความกว้างของใบ และความยาวราก มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ด 12 ชั่วโมง และการใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 5 และ 15 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นสูงที่สุดเฉลี่ย 0.48 – 0.49 มิลลิเมตร และการใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง ทำให้ความกว้างใบสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 1.46 เซนติเมตร รวมถึงการใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 15 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง ทำให้มีความยาวรากสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 3.82 เซนติเมตร แต่ความสูงของต้นอ่อนและความยาวของใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)

3. น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นอ่อน

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดผักโขมแดง พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยน้ำหนักสดมีค่าเฉลี่ย 0.1171–0.1275 กรัมต่อ 10 ต้น ส่วนน้ำหนักแห้งมีค่าเฉลี่ย 0.0043–0.0057 กรัมต่อ 10 ต้น และเมื่อพิจารณาปัจจัย B การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยน้ำหนักสดมีค่าเฉลี่ย 0.1107 – 0.1294 กรัมต่อ 10 ต้น ส่วนน้ำหนักแห้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.0043– 0.0064 กรัมต่อ 10 ต้น ขณะที่ปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นอ่อน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 3)

4. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

เมื่อพิจารณาปัจจัย A ระยะเวลาการแช่เมล็ดผักโขมแดง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่ที่ระหว่าง 6.44 – 7.94 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และเมื่อพิจารณาปัจจัย B การใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่ที่ระหว่าง 6.32 – 7.84 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ของสองปัจจัย พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 – 15 นาที ร่วมกับการแช่เมล็ดระยะเวลา 12 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกกอยู่ที่ระหว่าง 8.21 – 9.48 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (ตารางที่ 3)

5. ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด – ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า

ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ พบว่าที่ระยะเวลา 0 นาที มีค่าต่ำที่สุด เฉลี่ย 4.67 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ที่ระยะเวลา 5 – 15 นาที พบว่าค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลา 15 นาที ทำให้น้ำมีปริมาณออกซิเจนสูงที่สุด เฉลี่ย 6.64 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) พบว่าระยะเวลา 0 นาที มีค่าต่ำที่สุด เฉลี่ย 21.65 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และเมื่อใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 15 นาที พบว่าน้ำมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเฉลี่ย 23.40 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ส่วนค่าความเป็นกรด – ด่าง พบว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 – 15 นาที มีความเป็นกลางโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 6.60 – 6.69 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 1 ผลของระยะเวลาในการแช่เมล็ด การใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยต่ออัตราการงอกและระยะเวลาการงอก

กรรมวิธี	ความงอกของเมล็ด (%)		จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก (วัน)	เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)
	7 วัน	12 วัน		
ปัจจัย A				
ระยะเวลาแช่เมล็ด 12 ชั่วโมง	97.56^{b}	98.81	4.13	4.13
ระยะเวลาแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง	98.31^{a}	99.81	3.98	3.98
F-test	*	ns	ns	ns
ปัจจัย B				
MNBs 0 นาที	96.50^{b}	99.50	4.63^{a}	4.63^{a}
MNBs 5 นาที	98.75^{a}	100.00	3.99^{b}	3.99^{b}
MNBs 10 นาที	97.88^{a}	99.88	3.59^{b}	3.59^{b}
MNBs 15 นาที	98.63^{a}	99.88	4.00^{b}	4.00^{b}
F-test	**	ns	**	**
ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัย A และ ปัจจัย B				
MNBs 0 นาที + แช่ 12 ชม.	96.25^{c}	99.50	4.59^{a}	4.59^{a}
MNBs 5 นาที + แช่ 12 ชม.	98.75^{a}	100.00	4.20^{ab}	4.20^{ab}
MNBs 10 นาที + แช่ 12 ชม.	97.00^{bc}	99.75	3.87^{bc}	3.87^{bc}
MNBs 15 นาที + แช่ 12 ชม.	98.25^{ab}	100.00	3.88^{bc}	3.88^{bc}
MNBs 0 นาที + แช่ 24 ชม.	96.75^{c}	99.50	4.67^{a}	4.67^{a}
MNBs 5 นาที + แช่ 24 ชม.	98.75^{a}	100.00	3.79^{bc}	3.79^{bc}
MNBs 10 นาที + แช่ 24 ชม.	98.75^{a}	100.00	3.31^{c}	3.31^{c}
MNBs 15 นาที + แช่ 24 ชม.	99.00^{a}	99.75	4.13^{ab}	4.13^{ab}
F-test	**	ns	**	**
C.V. (%)	0.99	0.56	10.20	10.20

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

* หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

** หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01)

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษชนิดเดียวกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ตารางที่ 2 ผลของระยะเวลาในการแช่เมล็ด การใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อน

กรรมวิธี	ความสูงของต้นอ่อน (ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (มม.)	ความกว้างของใบ (ซม.)	ความยาวของใบ (ซม.)	ความยาวของราก (ซม.)
ปัจจัย A					
ระยะเวลาแช่เมล็ด 12 ชั่วโมง	2.62	0.46^{b}	1.32	3.78	3.04^{b}
ระยะเวลาแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง	2.65	0.48^{a}	1.43	3.94	3.35^{a}
F-test	ns	**	ns	ns	**
ปัจจัย B					
MNBs 0 นาที	2.61	0.46^{b}	1.35	3.82	2.58^{c}
MNBs 5 นาที	2.63	0.48^{a}	1.39	3.92	3.23^{b}
MNBs 10 นาที	2.66	0.47^{ab}	1.40	3.91	3.40^{ab}
MNBs 15 นาที	2.65	0.46^{b}	1.36	3.78	3.59^{a}
F-test	ns	*	ns	ns	**
ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัย A และ ปัจจัย B					
MNBs 0 นาที + แช่ 12 ชม.	2.57	0.44^{bc}	1.29^{c}	3.73	2.44^{c}
MNBs 5 นาที + แช่ 12 ชม.	2.55	0.48^{a}	1.32^{bc}	3.84	3.19^{b}
MNBs 10 นาที + แช่ 12 ชม.	2.70	0.47^{ab}	1.39^{ab}	3.92	3.19^{b}
MNBs 15 นาที + แช่ 12 ชม.	2.67	0.43^{c}	1.28^{c}	3.61	3.35^{b}
MNBs 0 นาที + แช่ 24 ชม.	2.65	0.48^{a}	1.40^{ab}	3.91	2.72^{c}
MNBs 5 นาที + แช่ 24 ชม.	2.71	0.49^{a}	1.46^{a}	3.99	3.27^{b}
MNBs 10 นาที + แช่ 24 ชม.	2.62	0.47^{ab}	1.41^{ab}	3.89	3.60^{ab}
MNBs 15 นาที + แช่ 24 ชม.	2.64	0.48^{a}	1.43^{ab}	3.95	3.82^{a}
F-test	ns	**	**	ns	**
C.V. (%)	5.62	0.00	4.60	4.85	9.54

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

* หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

** หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01)

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษชนิดเดียวกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ตารางที่ 3 ผลของระยะเวลาในการแช่เมล็ด การใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของต้นอ่อน

กรรมวิธี	น้ำหนักสด (กรัม/ 10 ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ 10 ต้น)	สารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัม/ 100 กรัม)
ปัจจัย A			
ระยะเวลาแช่เมล็ด 12 ชั่วโมง	0.1171	0.0043	7.94
ระยะเวลาแช่เมล็ด 24 ชั่วโมง	0.1275	0.0057	6.44
F-test	ns	ns	ns
ปัจจัย B			
MNBs 0 นาที	0.1107	0.0064	6.32
MNBs 5 นาที	0.1314	0.0045	7.11
MNBs 10 นาที	0.1178	0.0047	7.84
MNBs 15 นาที	0.1294	0.0043	7.49
F-test	ns	ns	ns
ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัย A และ ปัจจัย B			
MNBs 0 นาที + แช่ 12 ชม.	0.1047	0.0043	5.84^{c}
MNBs 5 นาที + แช่ 12 ชม.	0.1257	0.0039	8.21^{ab}
MNBs 10 นาที + แช่ 12 ชม.	0.1155	0.0046	9.48^{a}
MNBs 15 นาที + แช่ 12 ชม.	0.1227	0.0042	8.22^{ab}
MNBs 0 นาที + แช่ 24 ชม.	0.1167	0.0085	6.79^{bc}
MNBs 5 นาที + แช่ 24 ชม.	0.1371	0.0051	6.02^{c}
MNBs 10 นาที + แช่ 24 ชม.	0.1201	0.0047	6.19^{c}
MNBs 15 นาที + แช่ 24 ชม.	0.1361	0.0044	6.76^{bc}
F-test	ns	ns	**
C.V. (%)	0.26	6.37	20.05

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

* หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

** หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P\leq0.01$)

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษชนิดเดียวกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ตารางที่ 4 ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรด – ด่าง

กรรมวิธี	DO (mg/L)	EC (µS/cm)	pH
MNBs 0 นาที	4.67	21.65	6.60
MNBs 5 นาที	5.88	22.60	6.64
MNBs 10 นาที	6.20	23.20	6.68
MNBs 15 นาที	6.64	23.40	6.69

อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาผลของไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่ออัตราการงอกและระยะเวลาการงอกของเมล็ดผักโขมแดง พบว่าการแช่เมล็ดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้มีอัตราการงอกของเมล็ดที่อายุ 7 วัน สูงกว่าการแช่เมล็ดระยะเวลา 12 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดผักโขมแดงมีความงอกเร็วขึ้น และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับสุชาดา ธิชูโต (2565) รายงานว่าการแช่เมล็ด 24 ชั่วโมงทำให้มะเขือเทศมีความงอกเร็วขึ้น ซึ่งการระยะเวลาการแช่เมล็ดพันธุ์ที่นานขึ้นอาจช่วยให้น้ำและออกซิเจนเข้าสู่เมล็ดได้มากยิ่งขึ้น (Mahakham et al., 2016) และพบว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 – 15 นาที ทำให้มีอัตราการงอกของเมล็ดที่อายุ 7 วัน รวมถึงทำให้มีเวลาเฉลี่ยในการงอก จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ความกว้างของใบ และความยาวรากเพิ่มสูงขึ้นกว่าการใช้น้ำที่ผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 0 นาที ซึ่งสอดคล้องกับ Sritontip et al, (2017) รายงานว่า Micro/Nano-bubble สามารถกระตุ้นการงอกของข้าวโพดหวานทำให้งอกได้เร็วกว่าการใช้น้ำเปล่า และมีรายงานว่าการให้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์สามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดคะน้า และเมล็ดถั่วลันเตาเพิ่มขึ้นรวมถึงมีความยาวรากมากกว่าการรดด้วยน้ำเปล่า (ชิติ และคณะ, 2561 : ชิติ และคณะ, 2565) เนื่องจากน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์มีปริมาณออกซิเจนสูงกว่าน้ำปกติ ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำเคลื่อนที่เข้าสู่เมล็ดได้ดีกว่าน้ำเปล่า จึงมีผลช่วยการกระตุ้นการงอกของเมล็ด (Oshita and Liu, 2013) และในด้านสารประกอบฟีนอลิกการใช้น้ำผ่านเครื่อง MNBs ระยะเวลา 5 – 15 นาที ร่วมกับระยะเวลาการแช่ 12 ชั่วโมง ทำให้มีสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่ากรรมวิธีอื่น สอดคล้องกับ Takahashi et al. (2007) กล่าวว่าไมโคร/นาโนบับเบิ้ลส์ช่วยเพิ่มสารประกอบฟีนอลิก เช่นเดียวกับเกศรา แก้วก้อน (2566) ที่รายงานว่าการใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ส่งผลให้พลูคาวมีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในส่วนของใบ ลำต้น ราก และหน่อสูงขึ้นกว่ากรรมวิธีควบคุม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้าน การประยุกต์ใช้ไฟฟ้าแรงสูงพลาสมาและไมโครนาโนบับเบิลส์เพื่อการเกษตรและการประมงขั้นสูง และ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช มงคลล้านนาที่สนับสนุนงบประมาณและการดำเนินโครงการ

เอกสารอ้างอิง

กรรณิกา บุญพาธรรม และ ดนุพล เกษไธสง. (2560). การประเมินผลผลิตและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผักไมโครกรีน 13 ชนิด. *วารสารแก่นเกษตร*, 45 (1) ฉบับพิเศษ, 368–373.

สุชาดา ธิชูโต. (2564). ผลของไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศเชอรี่ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาลำปาง.

เกศรา แก้วก้อน. (2566). ผลของออกซิเจนไมโครนาโนบับเบิลส์และค่าการนำไฟฟ้าต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารฟีนอลิกของพลูคาวที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์. *วารสารแก่นเกษตร*, 51(1) ฉบับพิเศษ, หน้า 29.

ชิติ ศรีตนทิพย์, ช่อผกา วงค์สอน, ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์, และวิษณุ ทองเล็ก. (2566). ผลของไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนถั่วลันเตา. ประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรสร้างสรรค์ ครั้งที่ 9. ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่. 507–521. https://webs.rmutl.ac.th/assets/upload/files/2023/09/20230914101152_73032.pdf

Davies, P. J. (2004). *A. Introduction: the plant hormones: their nature, occurrence and functions*. New York: Plant Hormones Biosynthesis.

Karamać, M., F. Gai, E. Longato, G. Meineri, M.A. Janiak, R. Amarowicz and P.G. Peiretti. 2019. Antioxidant activity and phenolic composition of Amaranth (Amaranthus caudatus) during plant growth. Antioxidants 8 (173): 1–14.

Kopsell, D.A., and C.E. Sams. 2013. Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short–duration blue light from light emitting diodes. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 138(1): 31–37.

Liu, S., S. Oshita, S. Kawabata, and D.Q. Thuyet, 2017. Nanobubble Water's Promotion Ef– fect of Barley (Hordeum vulgare L.) Sprouts Supported by RNA–Seq Analysis. J. Lang– muir. 33: 12478–12486.

Oshita, S., & Liu, S. (2013). Nanobubble characteristics and its application to agriculture and foods. Proceedings of AFHW 2013. *International Symposium on Agri–Foods for Health and Wealth. August 5–8, 2013*, Golden Tulip Sovereign Hotel, Bangkok, Thailand.

Promdang, S., Benjawan, L., Doung–ngern, U., & Sukkhaeng, S. (2020). Oxalate content and antioxidant properties in 12 genotypes of amaranth. *Khon Kaen Agriculture Journal*.

Sritontip, C., C. Dechthummarong, V. Thonglek, and W. Phonsaeng. 2017. Effects of high voltage plasma and micro/nano bubbles on seed germination and growth of crop under hydroponic system. In the 2nd International Symposium on Application of High–voltage, Plasmas & Micro/Nano Bubbles to Agricul– ture and Aquaculture (RMUTL ISHPMNB 2017). 26 – 27 July 2017, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand.

Takahashi, M., Chiba, K., & Li, P. (2007). Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus. *The Journal of Physical Chemistry B*, *111*(6), 1343-1347.

Thonglek, V. (2017). Evolution of Micro/Nano Bubbles Distributions. *In the 2nd International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano Bubbles to Agriculture and Aquaculture (RMUTL ISHPMNB 2017). 26 – 27 July 2017*, Rajamangla University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand.

Weterhouse, A.L. (2005). Determination of total phenolics. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith & P. Sporns (Eds.), *Handbook of food anylytical chemistry, pigments, colorants, flavors, texture and bioactive food components volume 1* (pp. 463-470). Jone Wiley and Sons.

Xiao, Z., G.E. Lester, Y. Luo, and Q. Wang, 2012. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. J. Agric. Food Chem. 60: 7644-7651.

ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดคอสภายใต้สภาพกระถาง

Effect of organic pellets fertilizer on growth and yield of green cos under pot condition

ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์[2], ชิติ ศรีตนทิพย์[1,2], บุศรินทร์ บุญเต็ม[2], มนัสวี วังไชยเลิศ[2] และ พิมพ์รัมภา สำราญ[1*]

Parinyawadee Sritontip[2], Chiti Sritontip[1,2], Butsarin Boontem[2], Manassawee Wangchailerd[2] and Pimrumpa Samran[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราที่เหมาะสมของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากกากน้ำตาลจากโรงงานในการผลิตสลัดคอส วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ 4 อัตรา คือ 0 800 1,600 และ 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการทดลองที่สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.ลำปาง ระยะเวลาตั้งแต่เดือนสิงหาคม–ตุลาคม 2566 จากการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดทุกอัตราไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตด้านความกว้างทรงพุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความกว้างและความยาวของใบ ค่าความเขียวของใบ และการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลต่อ จำนวนใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อต้นของผักสลัดคอส ในขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่อัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นสูงที่สุด

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากกากน้ำตาลจากโรงงาน, สลัดคอส

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง จังหวัดลำปาง 52000

[2] สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000

[1] Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang, Lampang, 52000

[2] Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, 52000

* Corresponding author: Pimrumpa_sa65@live.rmutl.ac.th

Abstract

This research aimed to investigate the optimum rate of using organic pellets fertilizer molasses with sugarcane industrial wastes for increase yield of green cos. The experimental design of CRD 4 treatments with 4 replications, was used in the study. The treatments were the rate of organic pellets fertilizer i.e., 0, 800, 1,600 and 3,200 kg/rai. period August–October 2023 at the Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, Thailand. The results showed that the canopy width, stem diameter, leaf width, leaf length, leaf green color index (SPAD) and chlorophyll fluorescence were not affected by the different rate of organic pellets fertilizer. The application of organic pellets fertilizer at the rate of 800 kg/rai improved number of leaf, fresh and dry weight per plant and application of organic pellets fertilizer at the rate of 3,200 kg/rai improved plant height.

Keywords: Organic pellets fertilizer molasses, Green cos

บทนำ

ในปัจจุบันผู้คนหันมารักและใส่ใจสุขภาพมากขึ้น จึงเกิดเป็นกระแสการรักสุขภาพและเป็นที่นิยมอย่างมาก ผักสลัดกรีนคอสถือเป็นผักอีกชนิดหนึ่งที่กลุ่มคนรักสุขภาพให้ความสนใจ โดยส่วนใหญ่นิยมนำมาประกอบอาหารหรือทำเป็นสลัด ผักสลัดกรีนคอสมีสรรพคุณช่วยบำรุงสายตา บำรุงผม บำรุงกล้ามเนื้อ บำรุงผิว และลดคอเรสเตอรอล (องค์ความรู้เพื่อการพัฒนาที่สูงอย่างยั่งยืน, 2559) เป็นผักที่โตเร็ว สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิด แต่สามารถปลูกผักสลัดได้ผลดีที่สุดในดินร่วน ผักสลัดคอส ชอบอากาศหนาวเย็น เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก มีอายุสั้นฤดูเดียว ลำต้นเดี่ยว มีลักษณะกลม อวบอ้วน มีข้อสั้น ก้านใบหนาและอวบน้ำหุ้มอยู่ออกเรียงสลับโดยรอบ กาบใบห่อซ้อนกันแน่น ปกคลุมที่โคนลำต้น ไม่ห่อหัว กาบใบมีสีเขียวอ่อน สีแดง สีน้ำตาล สีม่วง ตามสายพันธุ์ เป็นใบเลี้ยงเดี่ยว ออกตรงโคนลำต้น กาบใบอยู่ด้านนอกใหญ่กว่า กาบใบข้างในเล็กกว่า (ไทยฟู้ด, 2560) ใบมีลักษณะทรงกลมเรียวรี โคนใบกว้างใหญ่กว่า มีใบหนา (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2558) เห็นเส้นใบชัดเจน ใบสีเขียวเข้ม สีเขียวปนเหลือง สีแดง สีน้ำตาล สีม่วง ตามสายพันธุ์ มีก้านใบใหญ่ เป็นกาบหนาและอวบฉ่ำน้ำ ก้านมีสีเขียวอ่อน รสชาติหวานกรอบ (ฟาร์มแชนแนล, ม.ป.ป.) อีกทั้งยังเป็นพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่สามารถสร้างรายได้และยกระดับคุณภาพชีวิตให้แก่เกษตรกร ส่งผลให้เกษตรกรหันมาปลูกผักสลัดกรีนคอสออกมาจำหน่ายในท้องตลาดจำนวนมาก เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค แต่ในปัจจุบันมีการใช้ทรัพยากรดินโดยไม่คำนึงถึงผลเสียของปุ๋ยเคมีสังเคราะห์ ก่อให้เกิดความไม่สมดุลในแร่ธาตุและกายภาพของดิน ทำให้เกิดปัญหาทางสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม การปลูกพืชแบบเกษตรอินทรีย์เป็นอีกทางเลือกในการทำเกษตรกรรม เพื่อหลีกการใช้สารเคมีสังเคราะห์ต่าง ๆ เกษตรอินทรีย์เป็นระบบการผลิตที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อม รักษาสมดุลของธรรมชาติและความหลากหลายทางชีวภาพ หลีกเลี่ยงการใช้สารสังเคราะห์ที่อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพร่างกายของผู้บริโภค

ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากกากน้ำตาลจากโรงงานเป็นหนึ่งในปุ๋ยอินทรีย์ ที่นิยมนำมาปรับปรุงความสมบูรณ์ของดินเนื่องจากมีอินทรีย์วัตถุที่เกินกว่าร้อยละ 40 สามารถสนับสนุนความอุดมสมบูรณ์ของดินให้ดีขึ้น ซึ่ง ณัฐวุฒิ ปลื้มใจ และคณะ (2565) รายงานว่าเมื่อใช้กากตะกอนหม้อกรอง 600 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ย 100 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถยกระดับผลผลิตอ้อยได้เทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ย 200 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นจึงศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดกากน้ำตาลจากโรงงานต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส เพื่อหาอัตราส่วนของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส เพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพของผลผลิต และแก้ไขปัญหาสารเคมีตกค้าง อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการปลูกผักชนิดอื่นแบบอินทรีย์ต่อไป

วิธีการศึกษา

ทำการทดลองที่สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.ลำปาง ระยะเวลาตั้งแต่เดือนสิงหาคม–ตุลาคม 2566 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากกากน้ำตาลจากโรงงานประกอบด้วยปริมาณอินทรียวัตถุรับรองร้อยละ 31.27 มีไนโตรเจนทั้งหมด 2.90% ฟอสเฟสทั้งหมด 4.21% โพแทสเซียมทั้งหมด 1.18% ทำการทดลองทั้งหมด 4 กรรมวิธี ๆ 4 ซ้ำ ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 4 อัตรา คือ 0 800 1,600 และ 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการทดลองในกระถางพลาสติกสีดำขนาด 12 นิ้ว การเตรียมดินสำหรับการทดลองให้ใส่ดินกระถางละ 8 กิโลกรัม ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตามกรรมวิธีที่ทดลองคือ 0, 20, 40 และ 80 กรัมต่อกระถาง ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ใส่คำนวณจากดิน 1 ไร่ หนัก 3.216×10^5 กิโลกรัม (ดิน 1 ไร่ ลึก 0.15 เมตร มีพื้นที่ 1,600 ตารางเมตร มีความหนาแน่น 1.34 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร มีน้ำหนัก 0.15 เมตร x 1,600 x 1.34 x 10^{-3} กิโลกรัม ต่อ 10 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 3.216×10^5 กิโลกรัม) แล้วนำกล้าผักสลัดคอส ปลูกในกระถาง

พืชทดลองคือสลัดกรีนคอส โดยนำเมล็ดพันธุ์เพาะในถาดพลาสติกที่รองด้วยกระดาษเพาะ ทำการรดน้ำแล้วทำการบ่มไว้ในที่ทึบ 24 ชั่วโมง เมื่อกล้าอายุ 7 วัน ทำการย้ายปลูกในถาดเพาะกล้าขนาด 104 หลุม เมื่อต้นกล้ามีอายุ 14 วันจะเริ่มมีใบจริงประมาณ 2 ใบ ทำการย้ายกล้าลงกระถางที่เตรียมดินและผสมปุ๋ยเป็นเนื้อเดียวกัน รดน้ำเช้า–เย็นในปริมาณครั้งละ 500 มิลลิลิตร ต่อกระถาง

ข้อมูลที่ทำการบันทึกได้แก่

1. การเจริญเติบโตทางลำต้น

1.1 ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) วัดจากโคนต้นถึงปลายยอดของต้น

1.2 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร) วัดข้อมูล 2 ด้านของลำต้นแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

1.3 ความกว้างของทรงพุ่ม (เซนติเมตร) วัดส่วนที่กว้างที่สุดของทรงพุ่มเป็น 2 แนวตั้งฉากกันแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ อาทิตย์ แล้วนำมาหาอัตราการเจริญตามสูตรของ Shabana et al. (1981) คือ

$$R = \frac{(Xt - Xo) \times 100}{Xo}$$

โดยที่ R = อัตราการเติบโตเป็นร้อยละ

Xt = ค่าการวัดครั้งหลัง

Xo = ค่าการวัดครั้งแรก

2. การเจริญเติบโตทางใบ

2.1 จำนวนใบ โดยนับใบจริงที่แผ่ขยายเต็มที่ต่อต้น ในทุกสุปสัปดาห์

2.2 ความกว้างของใบ (เซนติเมตร) วัดที่กึ่งกลางของใบ จากขอบใบด้านซ้ายไปขอบใบด้านขวาในตำแหน่งใบที่ 3 (นับจากยอดลงมา) ในสัปดาห์แรก และทำเครื่องหมายเพื่อวัดใบเดิมในสัปดาห์ต่อไป

2.3 ความยาวของใบ (เซนติเมตร) วัดจากโคนใบถึงปลายใบ ในตำแหน่งใบที่ 3 (นับจากยอดลงมา) ในสัปดาห์แรก และทำเครื่องหมายเพื่อวัดใบเดิมในสัปดาห์ต่อไป

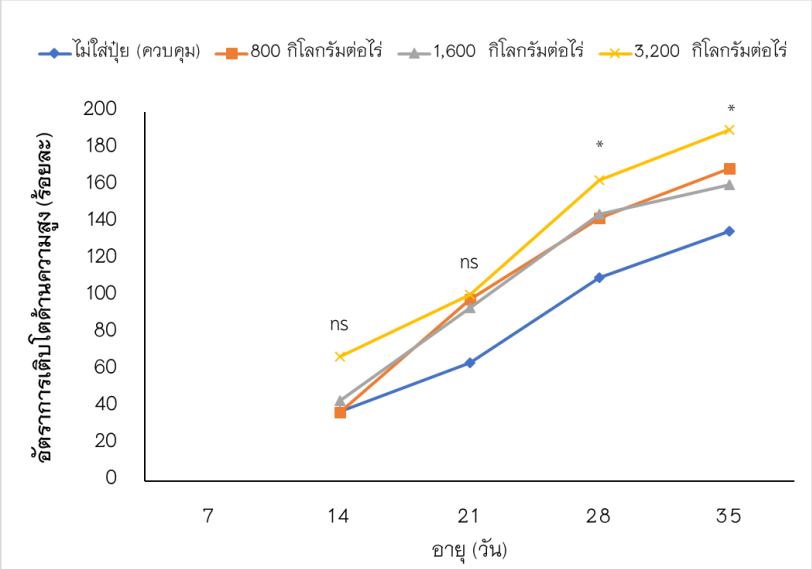
3. การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ (Chlorophyll fluorescence) ด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ รุ่น Handy PEA Plus ver. (บริษัท Hansatech instruments) และค่าดัชนีความเขียวของใบ (SPAD unit) ด้วยเครื่องวัดค่าความเขียวของใบ Minolt รุ่น SPAD-502 plus (บริษัท Konica) โดยทำการวัดใบที่แผ่ขยายเต็มที่ในครั้งแรก ในตำแหน่งข้อใบที่ 3 (นับจากยอดลงมา) ในสัปดาห์แรก และทำเครื่องหมายเพื่อวัดใบเดิมในสัปดาห์ต่อไป

4. การบันทึกข้อมูลเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (กรัม)

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยวิธีการ Analysis of Variance (ANOVA) และทดสอบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

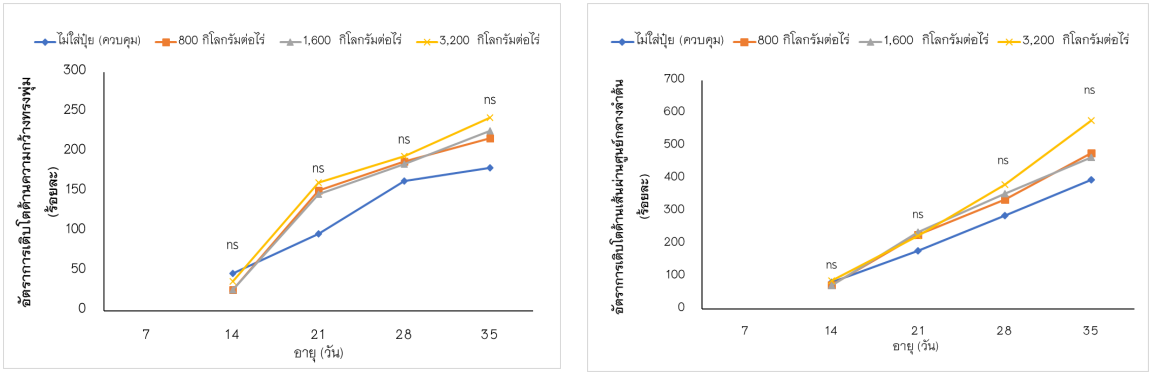
ผลการศึกษา

จากผลการทดลองอัตราการเติบโตด้านความสูงของต้น พบว่าที่อายุ 7-21 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่อายุ 28-35 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดทุกอัตรา ทำให้อัตราการเติบโตด้านความสูงของต้นสูงกว่าวิธีการไม่ใส่ปุ๋ย (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่ออัตราการเติบโตด้านความสูงของผักสลัดคอส

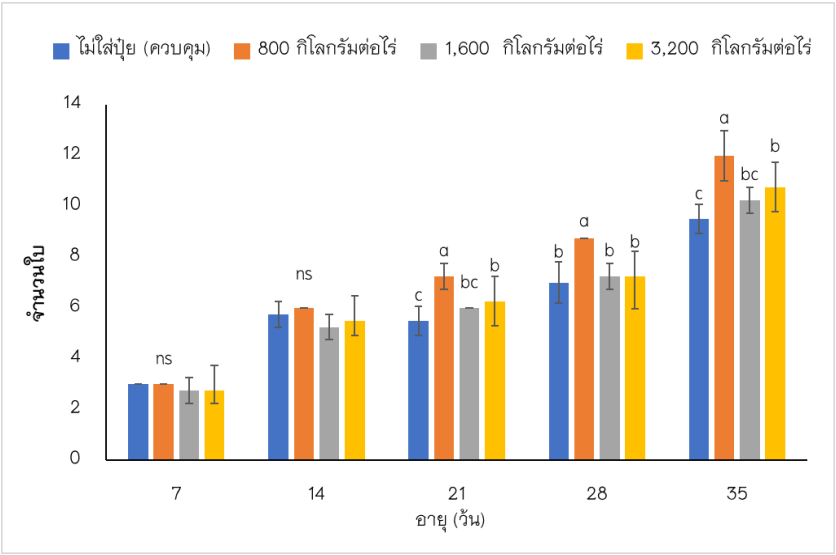
จากการทดลองการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอัตรา 0 800 1,600 และ 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่มีผลต่ออัตราการเติบโตด้านความกว้างทรงพุ่ม (ภาพที่ 2a) และอัตราการเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ภาพที่ 2b)



a b

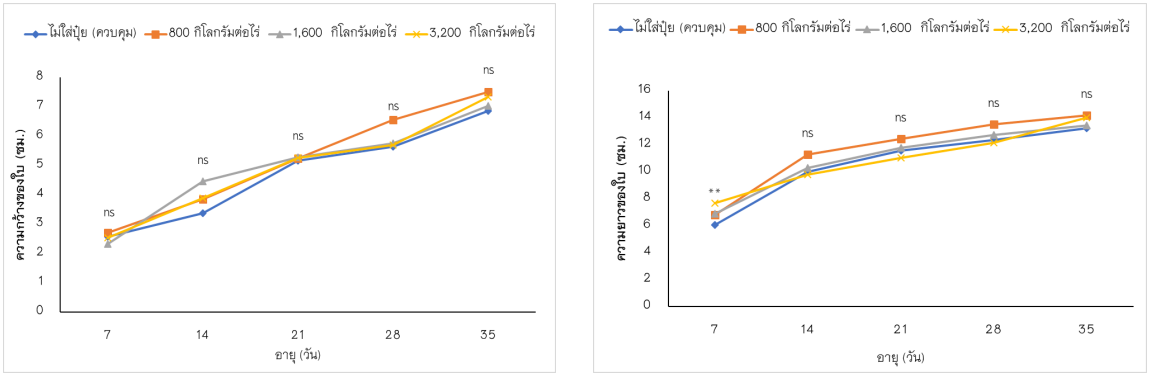
ภาพที่ 2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่ออัตราการเติบโตด้านความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดคอส (a) และอัตราการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (b)

ผลการทดลองด้านจำนวนใบพบว่าที่อายุ 7–14 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ที่อายุ 21–35 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.05$) โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้มีจำนวนใบมากที่สุด (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ

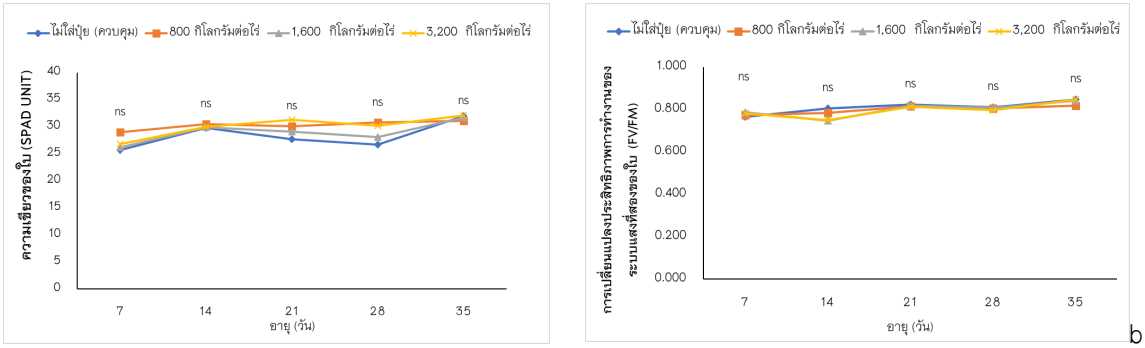
ผลการทดลองด้านการเจริญเติบโตทางใบ พบว่า ความกว้างของใบ ที่อายุ 7–35 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิต ($p>0.05$) (ภาพที่ 4a) ความยาวของใบ พบว่าที่อายุ 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.05$) โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้มีความกว้างใบมากที่สุด แต่ที่อายุ 14–35 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 4b)



a b

ภาพที่ 4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตด้านความกว้างของใบของผักสลัดคอส (a) และการเจริญเติบโตด้านความยาวของใบของผักสลัดคอส (b)

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงด้านความเขียวของใบ พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดทุกอัตรา ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความเขียวของใบ (ภาพที่ 5a) และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ (Fv/Fm) เช่นกัน (ภาพที่ 5b)



a b

ภาพที่ 5 ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความเขียวของใบของผักสลัดคอส (a) และการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบของผักสลัดคอส (b)

ผลการทดลองด้านน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อต้นพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอัตรา 800 และ 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อต้นสูงกว่าวิธีการไม่ใส่ปุ๋ย แต่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

กรรมวิธี	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
0 กิโลกรัมต่อไร่ (ควบคุม)	17.18^{b}±2.99	1.66^{b}±0.28
800 กิโลกรัมต่อไร่	31.39^{a}±2.66	2.96^{a}±0.33
1,600 กิโลกรัมต่อไร่	26.57^{a}±2.48	2.46^{a}±0.33
3,200 กิโลกรัมต่อไร่	23.98^{ab}±9.57	2.20^{ab}±0.80
T-test	*	*
C.V. %	13.89	12.23

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการใช้ DMRT
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 0 800 1,600 และ 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อคำนวณต้นทุนค่าปุ๋ยต่อกระถางจากราคาปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเท่ากับ 10 บาทต่อกิโลกรัม พบว่า แต่ละกรรมวิธีมีต้นทุนเท่ากับ 0 0.2 0.4 และ 0.8 บาท ตามลำดับ และเมื่อคำนวณผลผลิตจากผักสลัดกรีนคอส มีราคาจำหน่ายเท่ากับ 70 บาทต่อกิโลกรัม (ตลาดไท, 2566) ผลการทดลองน้ำหนักสดต่อกระถางในแต่ละวิธีเท่ากับ 17.18 31.39 26.57 และ 23.98 กรัม ตามลำดับ พบว่า ราคาที่จำหน่ายต่อต้นเท่าต้นเท่ากับ 1.20 2.20 1.86 และ 1.68 บาท ตามลำดับ เมื่อคำนวณผลตอบแทนพบว่าการใส่ปุ๋ย 0 800 1,600 และ 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลตอบแทนเท่ากับ 1.20 2.00 1.46 และ 0.88 บาทต่อต้น ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผักสลัดคอสมีน้ำหนักสูงที่สุดและมีผลตอบแทนสูงที่สุด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนของผักสลัดคอส

อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (กิโลกรัมต่อไร่)	ปริมาณปุ๋ยต่อกระถาง (กรัม)	ต้นทุนค่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อกระถาง (บาท)[1]	น้ำหนักสดต่อต้น (กรัม)	ราคาที่จำหน่าย (บาทต่อกิโลกรัม)	ราคาที่จำหน่ายต่อต้น (บาท)	ผลตอบแทนต่อต้น (บาท)[2]
0	0.0	0	17.18	70	1.20	1.20
800	20.0	0.2	31.39	70	2.20	2.00
1,600	40.0	0.4	26.57	70	1.86	1.46
3,200	80.0	0.8	23.98	70	1.68	0.88

หมายเหตุ: [1] ราคาปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดกิโลกรัมละ 10 บาท
[2] ผลตอบแทน คิดเฉพาะส่วนต่างของราคาที่จำหน่ายผักสลัดคอสหักค่าปุ๋ยที่ใส่ในแต่ละกรรมวิธี

อภิปรายและสรุปผล

เมื่อพิจารณาจากผลผลิตของผักสลัดคอส พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ผักสลัดคอสมีผลผลิตและให้ผลตอบแทนสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น เช่น ปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับถ่านชีวภาพ ที่ใช้ในการปลูกผักสลัดคอสอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผักสลัดกรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตด้านความสูง จำนวนใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด ส่งผลทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเฉลี่ยสูงที่สุด (สุทธวรรณ วชิรธนุศร, 2563) และ การใช้ปุ๋ยคอก 4,800กิโลกรัมต่อไร่ และไนโตรเจน 12 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ทำให้การเจริญเติบโตของและผลผลิตของผักสลัดสูงที่สุด (Yeshiwas, Y. et al., 2018) และ Abdelmoneim A. Elgubshawi & Hussin Attia (2019) การใช้ปุ๋ยคอก 9,500 กิโลกรัมต่อไร่ ในดินทรายที่ปลูกผักสลัด จะทำให้ผลผลิตทั้งความยาวใบ ผลผลิต และคุณภาพของผักสลัดสูงที่สุด ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากกากน้ำตาลจากโรงงานในอัตราที่ต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ อาจเนื่องจากปุ๋ยชนิดนี้มีอินทรียวัตถุรับรองถึงร้อยละ 31.27 ไนโตรเจนทั้งหมด 2.90% โดยปุ๋ยอินทรีย์ช่วยให้สมบัติทางเคมีของดินสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและสามารถเพิ่มแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ดิน (บัญชา รัตนีทู, 2552) ซึ่งปุ๋ยหมักกากตะกอนกรองจากโรงงานน้ำตาลเมื่อนำมาผสมในดินทดลองทำให้ดินร่วนซุย โปร่ง ไม่แน่นทึบ และเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่ต้นพืช สอดคล้องกับ กนกภรณ์ ดอนเจดีย์ (2562) พบว่ากากตะกอนหม้อกรองและมูลสุกรเป็นวัสดุปรับปรุงดินและช่วยลดการเสื่อมสลายของดินได้

จากการทดลองพบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 800 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลทำให้จำนวนใบสูงที่สุด ส่งผลให้ผลผลิตในด้านหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อต้นของผักสลัดคอสสูง ดังนั้นการเลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ในการผลิตผักสลัดคอสเพื่อจำหน่ายเพิ่มผลผลิตผัก จึงเป็นอัตราที่เหมาะสมที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตร์ตราจารย์ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชิติ ศรีตนทิพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาคนคว้างานวิจัย ผู้ซึ่งกรุณาเสียสละเวลา ให้ความรู้ ให้คำแนะนำในเรื่องการศึกษาค้นคว้างานวิจัย รวมทั้งให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขการค้นคว้างานวิจัยนี้กระทั่งเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

กนกภรณ์ ดอนเจดีย์ คณิตา ตังคณานุรักษ์ และนิพนธ์ ตังคณานุรักษ์. (2562). **การใช้ประโยชน์จากน้ำเสียและกากตะกอนหม้อกรองจากโรงงานน้ำตาลในการปลูกข้าวโพดหวาน**. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 37(2): 284-292.

ณัฐวุฒิ ปลื้มใจ นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์คณิตา ตังคณานุรักษ์ และดาวจรัส เกตุโรจน์. (2565). **การใช้ประโยชน์กากตะกอนหม้อกรองจากโรงงานน้ำตาลเพื่อเป็นปุ๋ยทางเลือกและลดการเสื่อมโทรมของดินหลังการปลูกอ้อย**. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 18(3): 53-66.

ตลาดไท. (2566). **ราคาผลผลิตผักสลัดคอส**. ออนไลน์. URL : https://talaadthai.com/product/8-13-02-red-oak. ค้นหาวันที่ 20 ตุลาคม 2566.

ไทยฟู้ด. (2560). **ผัดสลัดเบบี้กรีนคอส**. ออนไลน์. URL : https://www.thai-thaifood.com/th. ค้นหาวันที่ 20 ตุลาคม 2566.

บัญชา รัตนีทู. (2552). **ปุ๋ยอินทรีย์ฟื้นฟูสภาพดิน.** วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ 1(2): 1-16.

ฟาร์มแชนแนล. (ม.ป.ป.). **Cos Lettuce or Romaine Lettuce (กรีนคอส หรือ ผักกาดโรเมน)**. ออนไลน์. URL : https://farmchannelthailand.com/main/%E0%B8%9C%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%94/cos-lettuce-or-romaine-lettuce. ค้นหาวันที่ 21 ตุลาคม 2566.

สัญญา เล่ห์สิงห์. (2559). **อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของจิงจูฉ่าย**. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. (2558). **ผักกาดหวาน**. ออนไลน์. URL : https://hkm.hrdi.or.th/Knowledge/detail/6. ค้นหาวันที่ 20 ตุลาคม 2566.

สุทธวรรณ วชิรธนุศร อรประภา เทพศิลปะวิสุทธิ์ พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และสมชาย ชคตระการ. (2563). **ผลของการใช้ปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดิน การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกในดินกรด**.วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 10(2): 344-355.

สมชาย พรุเพชรแก้ว. (ม.ป.ป). **การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อลดต้นทุนการผลิต**. ออนไลน์. URL : http://www1.ldd.go.th/WEB_PSD/Employee%20Assessment/wean/pch/pch38/3.pdf, ค้นหาวันที่ 23 ตุลาคม 2566.

องค์ความรู้เพื่อการพัฒนาที่สูงอย่างยั่งยืน. (2559). **ผักสลัดคอส**. ออนไลน์. URL : https://hkm.hrdi.or.th/Knowledge/recommended. ค้นหาวันที่ 20 ตุลาคม 2566.

Abdelmoneim A. Elgubshawi & Hussin Attia. (2019). **Effects of Cow Manure on Growth and Yield of Lettuce (Lactuca sativa L.)In salty affected soil and drip irrigation system, Bahrain kingdom.** IJRDO-Journal of agriculture and research 5(4): 8-12.

Shabana, H.R., N.D. Benjamin and S. Mohammed. (1981). **Pattern of growth and development in date palm fruit**. The Plant Journal 1(1): 32-42.

Yeshiwas, Y., Zewdie, B. Y. B., Chekol, A., & Walle, A. (2018). **Research Article Effect of Nitrogen Fertilizer and Farmyard Manure on Growth and Yield of Lettuce (Lactuca sativa L.)**. International Journal of Agricultural Research 13(2): 74-79.

การประยุกต์ใช้หลักการวางแผนผังโรงงานอย่างมีระบบ สำหรับออกแบบและวางผังโรงงานแบ่งบรรจุผงบุก

Design and layout of konjac powder packing factory with systematic layout planning

วลัญช์ภัฏ อาวรณ์[1], ณัชชา สุขล้อม[1], ภานุวัฒน์ นันตา[1], นิวัฒน์ชัย ใจคำ [1*] และ วรพจน์ ศิริรักษ์[1]
Walanphat arwon[1], Natcha Suklom[1], Panuwat nanta[1], Niwatchai jaikham[1*] and Worapot sirirak[1]

บทคัดย่อ

งานศึกษานี้ใช้หลักการวางแผนผังโรงงานอย่างมีระบบ (SLP) เพื่อศึกษากระบวนการการบรรจุผงบุกในโรงงานเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ในการออกแบบผังโรงงานใหม่ และเพื่อให้ได้ผังโรงงานบรรจุผงบุกใหม่ที่เหมาะสมสำหรับการยื่นขอสถานที่ผลิตอาหาร ด้วยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการศึกษางาน ในการศึกษาเวลาของกระบวนการจัดการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์กระบวนการบรรจุผงบุกในบรรจุภัณฑ์ และการประยุกต์ใช้ทฤษฎีผังเหตุและผล ในการนำมาวิเคราะห์ปัญหาผังโรงงานไม่เหมาะสมกับการขออนุญาตสถานที่ผลิตอาหาร และการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (SLP) เพื่อหาความสัมพันธ์ในการออกแบบผังโรงงาน และเปรียบเทียบการหาระยะทางในการดำเนินการทำผังให้ได้ระยะทางที่เหมาะสม จากผลการดำเนินงานของการทำผังโรงงานแบบที่ 3 มีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากสามารถลดระยะทางในการทำงานจากเดิมได้ 8.6 เมตรและสามารถลดเวลาจากเดิมได้

คำสำคัญ: การวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (SLP), การออกแบบฝังโรงงาน, การบรรจุผงบุก

Abstract

Systematic Plant Layout (SLP) was applied in this study to investigate konjac powder packing process in the factory to determine the relationship in a new factory layout design, and to acquire a suitable konjac powder packing factory for filling a manufacturer certificate. Work study theory was used to study duration of packaging storage management process and konjac powder packing process. In addition, plant layout problem analysis, which is not suitable for filling manufacturer certificate used case and effect diagram theory. Besides, Systematic Plant Layout (SLP) was applied to find the relationship of plant layout design and compare duration in layout design process. The result of this study was found that the model 3 is the most suitable plant layout design because it can decrease duration and distance of the previous process by 8.6 meters.

Keywords: Systematic Plant Layout (SLP), Plant Layout Design, Konjac Powder Packing

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย จังหวัดเชียงราย 57120
[1] Industrial Engineering, Faculty Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai, Chiangrai, 57120
* Corresponding author: Niwatchai.jk@gmail.com

บทนำ

บุก เป็นพืชหัวล้มลุก พบได้ในป่าลึก มักขึ้นอยู่ใต้ต้นไม้ใหญ่ มีชื่อสามัญว่า Konjac (คอนจัค) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะอินโดนีเซีย และ ไทย โดยประเทศไทยนั้น ลักษณะที่โดดเด่นที่สังเกตได้ของ บุก ก็คือ ดอกจะเป็นช่อทรงกระบอกใหญ่ มีสีม่วงแดงอมเขียว ผลจะมีลักษณะรียาวติดกันเป็นช่อ ลึกลงไปใต้ดิน จะมีหัวรูปร่างค่อนข้างกลมแบนหรือกลมแป้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 เซนติเมตร ผิวขรุขระเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ เนื้อด้านในหัวจะมีสีชมพูสด หัวบุกหรือคอนจัค เป็นพืชล้มลุกคล้ายพืชตระกูลมัน มีสารสำคัญที่เรียกว่า “กลูโคแมนแนน” ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นน้ำตาล “กลูโคส” และ “แมนโนส” เมื่อสกัดแยกออก มาจะได้เป็น “ผงแห้ง” หากนำผงแห้งที่ว่านี้ไปละลายน้ำจะได้ “วุ้นใยอาหารธรรมชาติ”

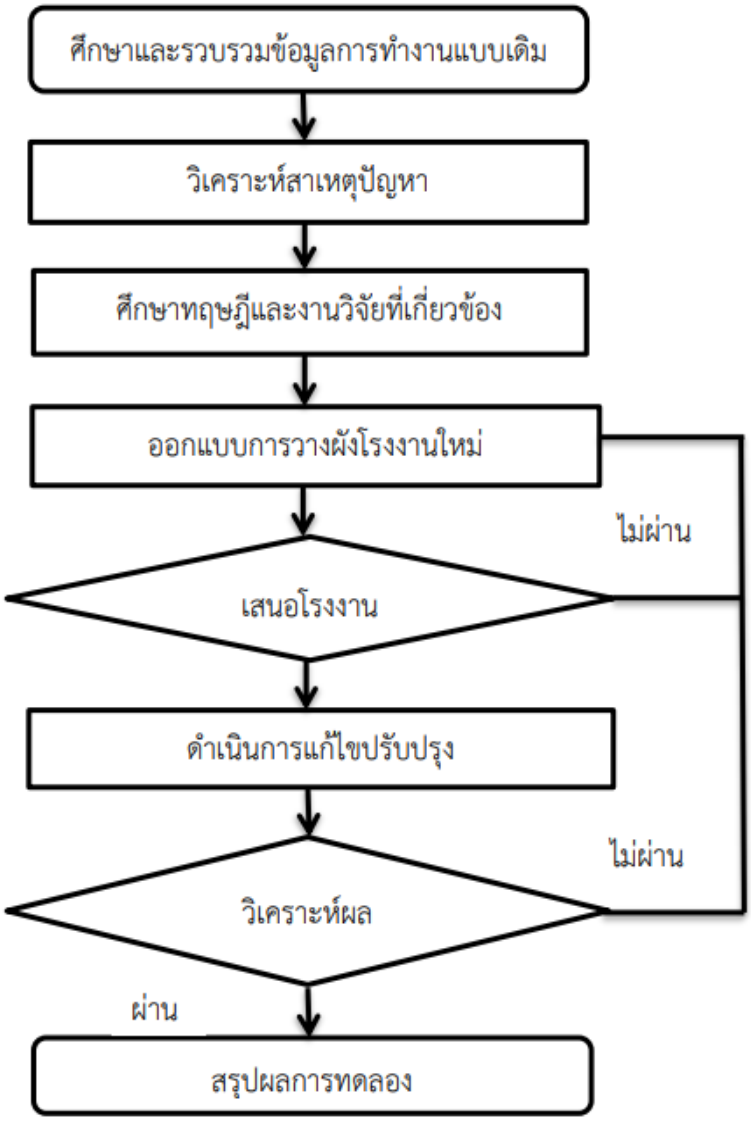
ผงบุกสามารถทำอาหารสำเร็จรูป และขนมขบเคี้ยว เช่น เส้นหมี่บุก บุกม้วน วุ้นเส้นบุก ผงชงบุก ขนมขบเคี้ยวที่ทำจากเส้นบุก และสามารถนำไปใช้ในการรักษาโรคได้ เช่น รักษาโรคเบาหวานและไขมันในเลือดสูง ช่วยลดน้ำตาลในหลอดเหลือด ช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ และรักษาแผลชนิดต่างๆได้ เป็นต้น

จากการศึกษาสภาพปัญหาของโรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา พบว่าปัจจุบันโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา ประกอบธุรกิจนำเข้าผงบุกจากประเทศอินโดนีเซีย แล้วส่งออกไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีน เดิมบริษัทนำเข้าผงบุก 10,000 กิโลกรัมต่อเดือน โดยบรรจุในกระสอบ ๆ ละ 25 กิโลกรัม ขายให้กับลูกค้าในราคา 250 บาทต่อกิโลกรัม ปัจจุบันลูกค้ามีความต้องการให้บริษัทนำผงบุกมาบรรจุในถุง ๆ ละ 1 กิโลกรัม แล้วบรรจุลงกระสอบ ๆ ละ 25 ถุง (25 กิโลกรัม) ซึ่งลูกค้าจะรับซื้อในราคา 500 บาทต่อกิโลกรัม โรงงานกรณีศึกษาจะได้กำไรทางการขายเฉลี่ยประมาณ 12,500 บาทต่อ กระสอบ หรือ 5,000,000 บาทต่อเดือน คิดเป็น 60,000,000 บาทต่อปี แต่ในการที่บริษัทจะดำเนินการคัดและบรรจุผงบุกตามที่ลูกค้าต้องการนั้นต้องการขอสถานที่ผลิตอาหารให้ถูกต้องตามกฎหมายของกระทรวงสาธารณสุขเสียก่อน

ในการขอใบอนุญาต มันต้องมีการแนบผังโรงงานที่สอดคล้องและแยกพื้นที่ในแต่ละกระบวนการอย่างเป็นระบบจากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาโครงสร้างการออกแบบและวางผังโรงงานใหม่โดยประยุกต์ใช้ความรู้ในส่วนของทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning; SLP) ซึ่งจะช่วยให้ได้รูปแบบผังโรงงานใหม่ที่เหมาะสมสำหรับ โรงงานที่เป็นกรณีศึกษาในกระบวนการคัดบรรจุผงบุกเพื่อที่จะส่งออก ให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดด้านอาหาร และมีประสิทธิภาพในการขนถ่ายสูงสุด เพื่อศึกษากระบวนการบรรจุผงบุกในโรงงาน เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ในการออกแบบผังโรงงานใหม่ และเพื่อให้ได้ผังโรงงานบรรจุผงบุกใหม่ที่เหมาะสมสำหรับการยื่นขอสถานที่ผลิตอาหาร

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้น การประยุกต์ใช้หลักการวางแผนผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning; SLP) เพื่อเตรียมความพร้อมในการขอสถานที่ผลิตอาหาร ตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร กรณีศึกษาบริษัท นำเข้าและส่งออกผงบุกแห่งหนึ่งในจังหวัดลำปาง โดยมีวิธีการดำเนินงานดังรูปที่ 1

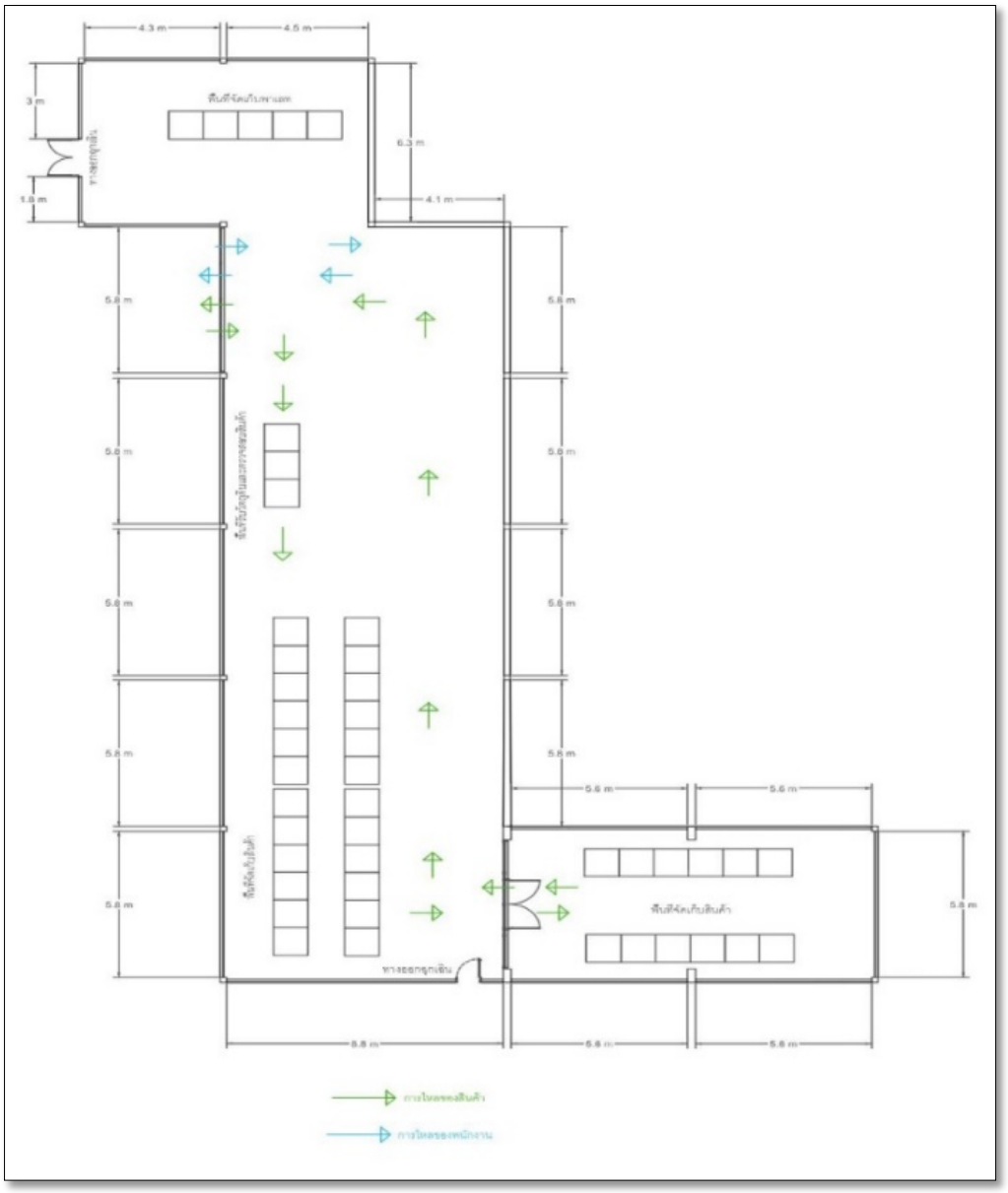


รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากรูปที่ 1 ได้มีการศึกษาผังโรงงานแบบเดิมและข้อมูลการทำงานแบบเดิมในโรงงานว่ากระบวนการในการทำงานแบบเดิมนั้นเป็นยังไงและมีการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาโดยใช้ผังก้างปลาในการวิเคราะห์ ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทำการออกแบบผังโรงงานให้สอดคล้องกับหลักทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning; SLP) นำเสนอโรงงานโดยจะมีแบบโรงงานทั้งหมด 3 แบบและเลือกแบบที่จะช่วยประเมินให้ผ่านการขอใบอนุญาตสถานที่ผลิตอาหาร และทำการดำเนินปรับปรุงแก้ไขตามที่โรงงานต้องการและสอดคล้องกับการขอใบสถานที่ผลิตอาหาร และวิเคราะห์ผลของแบบโรงงานที่เลือกและทำการสรุปผลการทดลอง

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการทำงานแบบเดิม

โดยศึกษาข้อมูลตั้งแต่กระบวนการรับซื้อผงบุกจากต่างประเทศเข้ามาสู่การจัดเก็บ การบรรจุภัณฑ์ แล้วนำส่งออก ศึกษาการไหลของวัตถุดิบ การไหลของบรรจุภัณฑ์ การไหลของสินค้าสำเร็จรูป การไหลของพนักงาน การไหลของเสีย จึงพบว่า สภาพของโรงงานยังไม่มีความเหมาะสมในการที่ใช้เป็นสถานที่ผลิต/บรรจุอาหาร ดังรูปที่ 2 และ รูปที่ 3 ดังนี้



รูปที่ 2 ผังโรงงานเดิม

จากรูปที่ 2 ผังโรงงานเดิมมีกระบวนการรับวัตถุดิบ การตรวจสอบ มีพื้นที่จัดเก็บสินค้า และมีพื้นที่จัดเก็บพาเลท และมีเพียงการไหลของสินค้าและการไหลของพนักงาน จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลวิธีการทำงานในกระบวนการบรรจุผงบุก และระยะทางของกระบวนการทำงาน โดยแสดงดังตารางที่ 1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการทำงานแบบเดิม จึงพบว่า ผังของโรงงานยังไม่มีความเหมาะสมในการที่ใช้เป็นสถานที่ผลิต/บรรจุอาหาร

ตารางที่ 1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุผงบุกเดิม

ลำดับที่	รายละเอียด	สัญลักษณ์	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)
1	พื้นที่รับสินค้าและตรวจสอบสินค้า	● □ D ⇨ ▽	2.9	180
2	เคลื่อนย้ายไปพื้นที่จัดเก็บสินค้า	○ □ D ➡ ▽	11.6	12
3	รอการขนส่งออกสินค้า	○ □ ● ⇨ ▽	26.1	26
	รวม	1 0 1 1 0	40.6	218

ความหมายของสัญลักษณ์

○ = ปฏิบัติงาน

□ = การตรวจสอบ

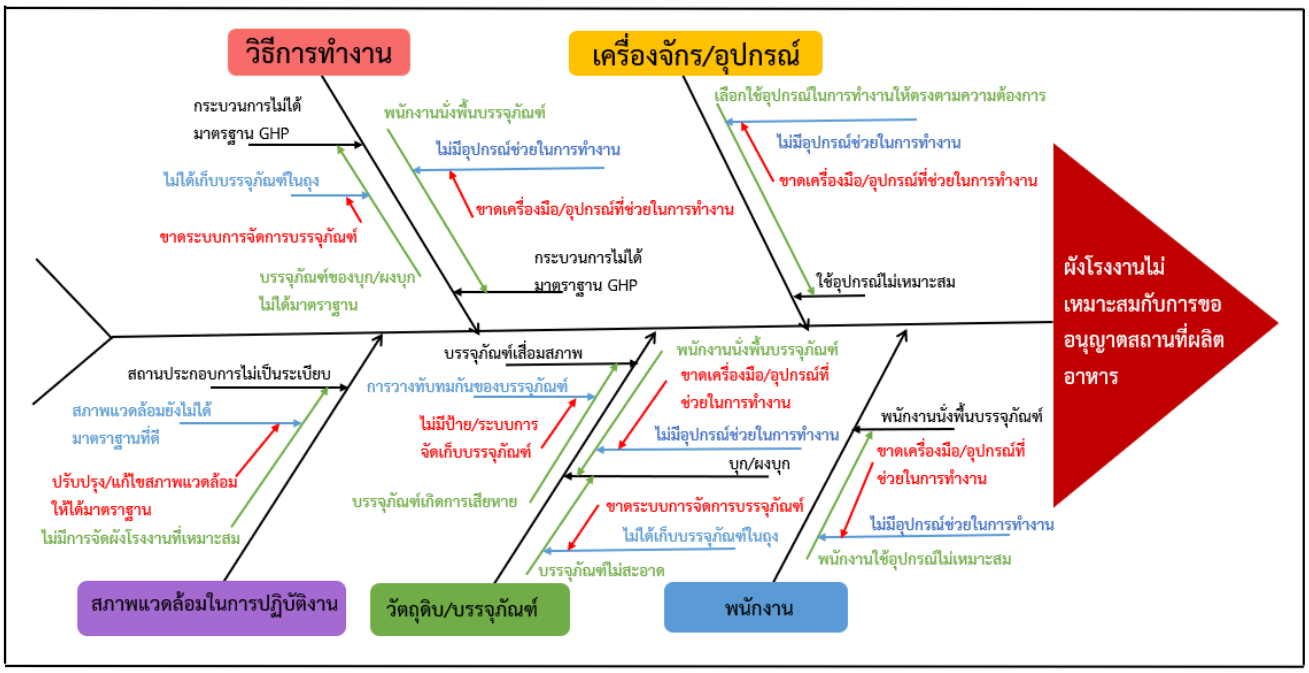
D = การรอคอย

⇨ = การขนส่ง

▽ = การจัดเก็บ

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

การประยุกต์ใช้แผนผังเหตุและผลในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการขอใบอนุญาตขอสถานที่ผลิตอาหาร พบว่าเกิดจาก การขาดระบบจัดการบรรจุภัณฑ์ที่ถูกต้องและการแบ่งพื้นที่การจัดเก็บไม่เป็นสัดส่วน ขาดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานที่เหมาะสม เนื่องจากโรงงานเป็นพื้นที่เปล่าจึงต้องมีการจัดทำผังโรงงาน เพราะว่าผังโรงงานเดิมมีแค่การไหลของสินค้าและพนักงาน ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุผังโรงงานไม่เหมาะสมกับการขออนุญาตสถานที่ผลิตอาหาร

จากผังเหตุและผลปัญหาที่พบคือผังโรงงานไม่เหมาะสมกับการขออนุญาตสถานที่ผลิตอาหารโดยประเด็นสำคัญคือ วิธีการทำงาน จะขาดระบบการจัดการบรรจุภัณฑ์ การบรรจุภัณฑ์ของบุก/ผงบุกไม่ได้มาตรฐาน และสภาพแวดล้อมในการปฏิบัติงาน จะขาดการปรับปรุง/แก้ไขสภาพแวดล้อมให้ได้มาตรฐาน

ออกแบบการวางผังโรงงานใหม่

ทำการออกแบบตั้งแต่กระบวนการรับบรรจุภัณฑ์เข้าสู่คลัง การจัดเก็บ การรักษา จนถึงกระบวนการบรรจุผงบุกเพื่อจัดส่งให้ลูกค้าโดยให้กระบวนการผลิตทั้งหมดมีทิศทางการไหลของงานไปทางเดียวกันและมีการไหลของงานอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปผังโรงงานแบบใหม่1

จากรูปที่ 4 ผังโรงงานแบบแบบใหม่ 1 นั้น จะมีกระบวนการจุดรับวัตถุดิบ จุดจัดเก็บวัตถุดิบ พื้นที่จัดเก็บสินค้านำเข้า ห้องบรรจุ พื้นที่จัดเก็บสินค้าที่บรรจุเสร็จแล้ว และพื้นที่รอการขนส่ง จึงพบว่าผังของรูปแบบโรงงานแบบใหม่ที่ 1 มีระยะทางรวมเท่ากับ 85.7เมตร และเวลารวมของกระบวนการเท่ากับ 2,459 วินาที โดยแสดงดังนี้

ตารางที่ 2 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุผงบุกแบบใหม่ที่ 1

ลำดับที่	รายละเอียด	สัญลักษณ์					ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	หมายเหตุ
		○	□	D	⇨	▽			
1	จุดรับวัตถุดิบ						2.9	180	25ถุง / 1กระสอบ
2	พื้นที่จัดเก็บสินค้านำเข้า (สต็อกของ)						8.8	69	
3	เคลื่อนย้ายไปพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบ						14.6	84	
4	ห้องบรรจุ						17.4	87	
5	เคลื่อนย้ายไปโต๊ะบรรจุ						5.6	34	
6	บรรจุสินค้า						-	1775	
7	เคลื่อนย้ายไปพื้นที่สินค้า						2.9	16	
8	พื้นที่จัดเก็บบรรจุเสร็จแล้ว						-	-	
9	เคลื่อนย้ายไปจุดรอขนส่ง						33.5	214	
10	รอคอยการขนส่ง						-	-	
	รวม	1	1	1	5	2	85.7	2,459	

ความหมายของสัญลักษณ์

○ = ปฏิบัติงาน

□ = การตรวจสอบ

D = การรอคอย

⇨ = การขนส่ง

▽ = การจัดเก็บ



รูปที่ 5 รูปผังโรงงานแบบใหม่ 2

จากรูปที่ 5 ผังโรงงานแบบใหม่ 2 ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ไปสำรวจ เก็บข้อมูล จะมีกระบวนการจุดรับวัตถุดิบ จุดจัดเก็บวัตถุดิบ พื้นที่จัดเก็บสินค้านำเข้า ห้องบรรจุ พื้นที่จัดเก็บสินค้าที่บรรจุเสร็จแล้ว และพื้นที่รอการขนส่ง จึงพบว่าผังของรูปแบบผังโรงงานแบบใหม่ 1 และทำการปรับให้พื้นที่โรงงาน ให้มีการไหลที่ไม่มีการไหลย้อนกลับเหมือนกับผังโรงงานแบบใหม่ที่ 2 จึงได้ระยะทางรวมเท่ากับ 79.9 เมตร และเวลารวมของกระบวนการเท่ากับ 2,444 วินาที โดยแสดงดังตารางที่ 3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุผงบุกแบบใหม่ 2

ตารางที่ 3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุผงบุกแบบใหม่ 2

ลำดับที่	รายละเอียด	สัญลักษณ์	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	หมายเหตุ
1	จุดรับวัตถุดิบ		2.9	180	
2	พื้นที่จัดเก็บสินค้านำเข้า(สต๊อกของ)		8.8	69	
3	เคลื่อนย้ายไปพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบ		23.3	84	
4	ห้องบรรจุ		2.9	72	
5	เคลื่อนย้ายไปโต๊ะบรรจุ		5.6	34	25ถุง / 1กระสอบ
6	บรรจุสินค้า		-	1,775	
7	เคลื่อนย้ายไปพื้นที่สินค้า		2.9	16	
8	พื้นที่จัดเก็บบรรจุเสร็จแล้ว		-	-	
9	เคลื่อนย้ายไปจุดรอขนส่ง		33.5	214	
10	รอคอยการขนส่ง		-	-	
	รวม	1 1 2 4 2	79.9	2,444	

ความหมายของสัญลักษณ์

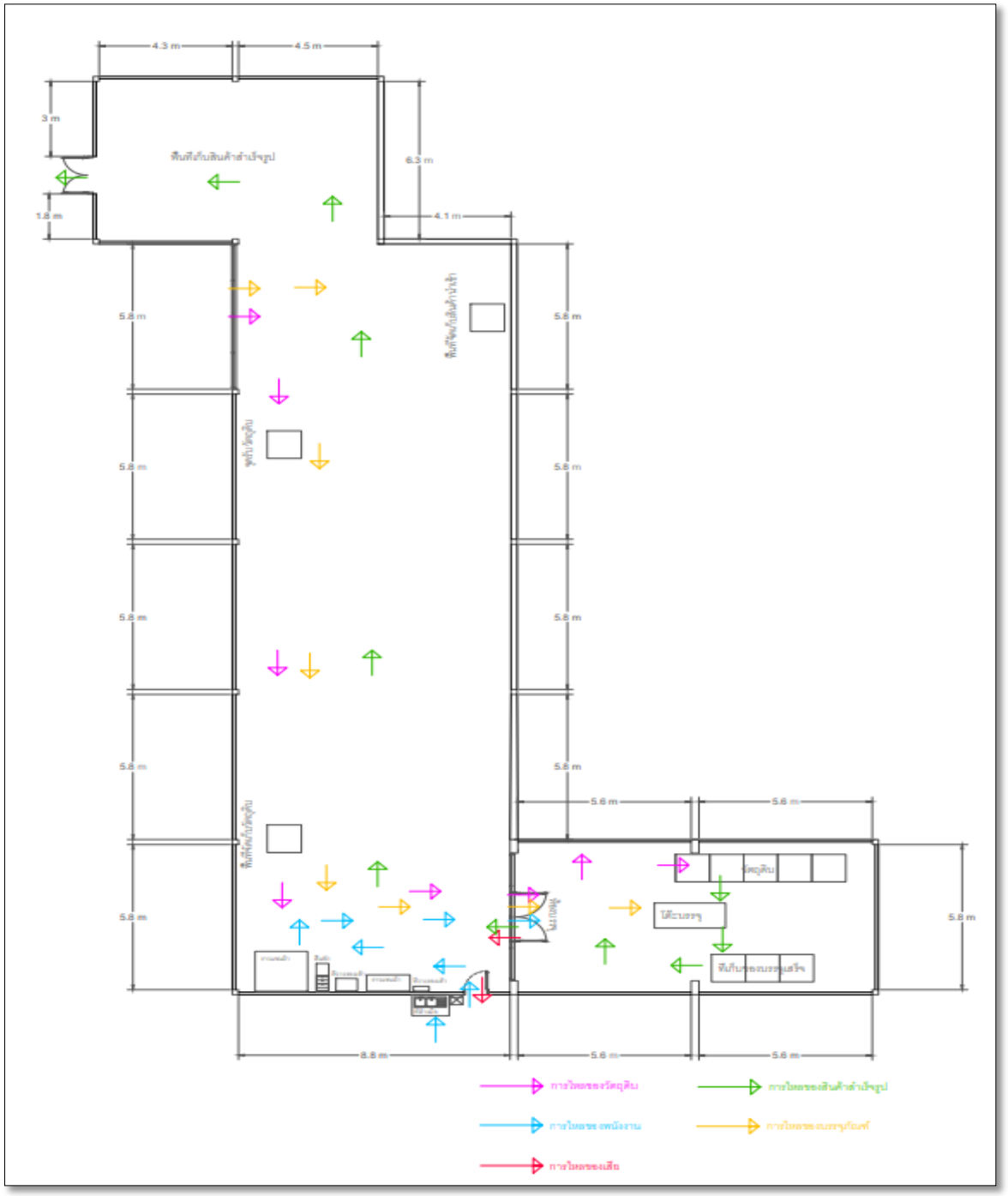
○ = ปฏิบัติงาน

□ = การตรวจสอบ

D = การรอคอย

⇨ = การขนส่ง

▽ = การจัดเก็บ



รูปที่ 6 รูปผังโรงงานแบบใหม่ 3

จากรูปที่ 6 ผังโรงงานแบบใหม่ 3 ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ไปสำรวจ เก็บข้อมูล จะมีกระบวนการจุดรับวัตถุดิบ จุดจัดเก็บวัตถุดิบ พื้นที่จัดเก็บสินค้านำเข้า ห้องบรรจุ พื้นที่จัดเก็บสินค้าที่บรรจุเสร็จแล้ว และพื้นที่รอการขนส่ง จึงพบว่าผังของรูปแบบผังโรงงานแบบใหม่ 2 และทำการปรับให้พื้นที่โรงงาน ทำให้มีการไหลที่ไม่มีการไหลย้อนกลับเหมือนกับผังโรงงานแบบใหม่ที่ทางทางโรงงานอยากได้และได้ระยะทางและเวลาในกระบวนน้อยกว่าผังโรงงานแบบใหม่ 1 รูปแบบผังโรงงานแบบใหม่2 จึงมีระยะทางรวมเท่ากับ 77.1 เมตร และเวลารวมของกระบวนการเท่ากับ 2,432 วินาที โดยแสดงดังตารางที่ 4 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุผงบุกแบบใหม่ 2

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าแบบผังโรงงานแบบใหม่ที่ 1 มีการไหลย้อนกลับของวัตถุดิบและมีระยะของการไหลของมากที่สุดตามตารางที่ 2 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุผงบุกแบบใหม่ที่ 1

จากรูปที่ 5 ผังโรงงานแบบใหม่ 2 ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ไปสำรวจ เก็บข้อมูล ได้มีการปรับการไหลของวัตถุดิบให้มีระยะทางให้น้อยกว่าของแบบผังโรงงานแบบใหม่ที่ทางโรงงานอยากได้ดังตารางตารางที่ 3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุผงบุกแบบใหม่ 1 แต่ยังมีการไหลย้อนกลับของวัตถุดิบ

ตารางที่ 4 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุผงบุกแบบใหม่ 3

ลำดับที่	รายละเอียด	สัญลักษณ์	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	หมายเหตุ
1	จุดรับวัตถุดิบ		2.9	180	
2	พื้นที่จัดเก็บสินค้านำเข้า(สต๊อกของ)		14.6	75	
3	เคลื่อนย้ายไปพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบ		8.8	69	
4	ห้องบรรจุ		8.8	69	
5	เคลื่อนย้ายไปโต๊ะบรรจุ		5.6	34	25ถุง / 1กระสอบ
6	บรรจุสินค้า		-	1,775	
7	เคลื่อนย้ายไปพื้นที่สินค้า		2.9	16	
8	พื้นที่จัดเก็บบรรจุเสร็จแล้ว		-	-	
9	เคลื่อนย้ายไปจุดรอขนส่ง		33.5	214	
10	รอคอยการขนส่ง		-	-	
	รวม	1 1 2 4 2	77.1	2,432	

ความหมายของสัญลักษณ์

○ = ปฏิบัติงาน

□ = การตรวจสอบ

D = การรอคอย

⇨ = การขนส่ง

▽ = การจัดเก็บ

จากรูปที่ 6 รูปผังโรงงานแบบใหม่ 3 ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ไปสำรวจ เก็บข้อมูล ได้มีการปรับการไหลของวัตถุดิบให้มีระยะทางให้น้อยกว่าของแบบผังโรงงานแบบใหม่ที่ 1 ได้และแบบผังโรงงานแบบใหม่ 2 ที่ผู้วิจัยได้ปรับแล้วแต่ยังมีการไหลของวัตถุดิบย้อนกลับอยู่ แต่แบบผังโรงงานแบบใหม่ 3 ไม่มีการไหลของวัตถุดิบแล้วยังมีระยะทางรวมน้อยกว่าและเวลาในการกระบวนการสั้นกว่า แบบใหม่ที่ 1 และแบบผังโรงงานแบบใหม่ 2 ตาม ตารางที่ 4 แผนภูมิการไหลของกระบวนการบรรจุผงบุกแบบใหม่ 3

1. วิเคราะห์กิจกรรมภายในกระบวนการบรรจุผงบุกในโรงงาน

1.1. วิเคราะห์ข้อมูลกิจกรรม จากการศึกษากิจกรรมภายในกระบวนการบรรจุผงบุกในโรงงาน และการให้ข้อมูลผ่านการสอบถามผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการการทำงานของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา ทำให้คณะผู้จัดทำทราบถึงกระบวนการ พื้นที่การทำงานได้นำมาจัดทำเป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ (Activity Relationship Chart) โดยแสดงกิจกรรมในรูปแบบแบบของพื้นที่กิจกรรม

1.2. กำหนดเหตุผลเพื่อกำหนดระดับความสัมพันธ์ ขั้นตอนแรกในกระบวนการ SLP คือกำหนดสัญลักษณ์ของเหตุผล ที่จะใช้ในการแสดงระดับ ความสัมพันธ์ระหว่างแผนกหรือกิจกรรมต่าง ๆ ตารางข้อมูลข้างล่างแสดงการกำหนดสัญลักษณ์ ของเหตุผล เพื่อใช้ในการประเมินระดับความสัมพันธ์ ดังนี้

ตารางที่ 5 ตารางแสดงเหตุผลสำหรับการจัดความสัมพันธ์

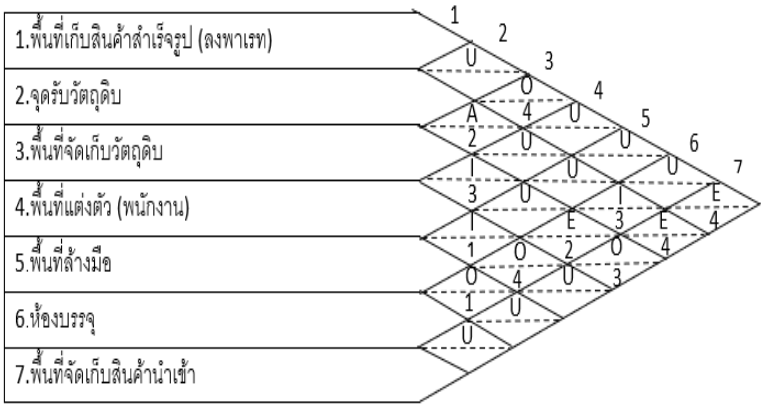
สัญลักษณ์	เหตุผลสำหรับการจัดความสำคัญ
1	ความสะอาด
2	การไหลของวัตถุดิบ
3	การใช้พนักงานร่วมกัน
4	ความสะดวก

1.3. การกำหนดสัญลักษณ์แสดงระดับความใกล้ชิด คณะผู้จัดทำได้ทำการกำหนดสัญลักษณ์แสดงระดับความใกล้ชิดซึ่งจะใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับ ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม ว่าควรอยู่ในพื้นที่ที่ใกล้ชิดกันหรือห่างกันมากน้อยเพียงใดตามตารางด้านล่าง การกำหนดสัญลักษณ์เพื่อแสดงระดับความใกล้ชิด ดังนี้

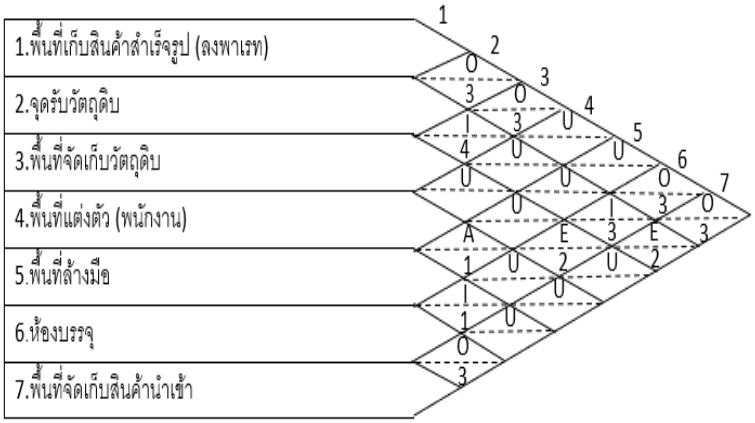
ตารางที่ 6 ตารางแสดงลำดับความสัมพันธ์

ค่าความสัมพันธ์	ความสัมพันธ์
A: Absolutely Necessary	จำเป็นต้องใกล้ชิดกัน
E: Especially Important	มีความสำคัญเป็นพิเศษ
I: Important	สำคัญ
O: Ordinary	มีความใกล้ชิดกันปกติ
U: Unimportant	ไม่สำคัญ
X: Undesirable	ห้ามอยู่ใกล้ชิดกัน

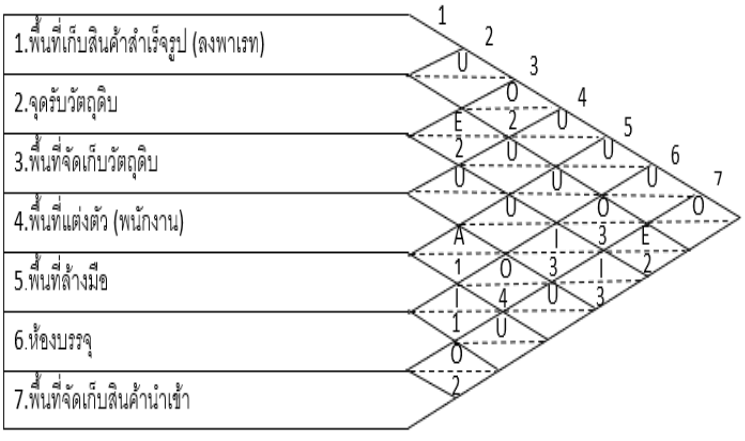
ดังนั้น จึงสามารถจัดทำแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (Activity Relationship Chart) ได้ และนำมาออกแบบพื้นที่กิจกรรมให้สอดคล้องกับการดำเนินงานภายในกระบวนการบรรจุผงบุกในโรงงานโดยคำนึงถึงความสะดวกและรวดเร็วในการดำเนินงาน ดังรูปแสดงกิจกรรมดังนี้



รูปที่ 7 กิจกรรมความสัมพันธ์ผังโรงงานแบบใหม่ 1



รูปที่ 8 กิจกรรมความสัมพันธ์ผังผังโรงงานแบบใหม่ 2



รูปที่ 9 กิจกรรมความสัมพันธ์ผังแบบใหม่ที่ 3

2. การเลือกออกแบบผังโรงงาน

จากข้อกำหนดข้างต้นคณะผู้จัดทำสามารถออกแบบแผนผังโรงงานผงบุกที่เป็นไปได้มากที่สุด ทั้งหมด 3 แผนผัง จากแผนภูมิความสัมพันธ์ (Activity Relationship Chart) มาประยุกต์ใช้ในการจัดวางพื้นที่ใน โรงงานผงบุก เพื่อให้สินค้าเคลื่อนย้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับกระบวนการทำงาน จะได้ผังโรงงานที่ดีที่สุดจากแผนภูมิความสัมพันธ์ (Activity Relationship Chart) กิจกรรมความสัมพันธ์ผังที่ 3 ดังรูปที่ 7 รูปที่ 8 และรูปที่ 9

3. การวิเคราะห์ระยะทางการดำเนินงาน

การวัดผลจากค่าระยะทางรวมของการดำเนินงาน คณะผู้จัดทำได้ทดลองและทำการวัดค่าระยะทาง ของทั้ง 3 แผนผัง เปรียบเทียบกัน โดยมีกระบวนการดังนี้

3.1. จุดเริ่มต้นในการวัดระยะทางคือพื้นที่รับวัตถุดิบและจุดสิ้นสุด คือพื้นที่ส่งสินค้า

3.2. จากพื้นที่รับไปสู่พื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบ โดยวัดจากจุดของพื้นที่รับ ไปสู่ที่จัดเก็บวัตถุดิบ

3.3. จากพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบไปสู่ห้องบรรจุ โดยวัดจากจุดพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบไปสู่ห้องบรรจุ

3.4. จากห้องบรรจุไปสู่พื้นที่จัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปโดยวัดจากจุดกึ่งกลางห้องบรรจุไปสู่พื้นที่จัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป

ทางคณะผู้จัดทำได้นำแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบพื้นที่มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของกิจกรรมตามทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (The Systematic Layout Planning Pattern: SLP) พบว่าแผนผังที่มีกระบวนการไหลของสินค้าตั้งแต่รับสินค้าเข้ามา ในกระบวนการบรรจุผงบุกไปจนถึงส่งออกนั้น แผนผังแบบที่ 3 มีระยะทางการดำเนินงานสั้นกว่าแบบที่ 1 และ ผังแบบใหม่ที่ 2

อภิปรายและสรุปผล

จากการประยุกต์ใช้หลักการวางแผนผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning; SLP) เพื่อเตรียมความพร้อมในการขอสถานที่ผลิตอาหาร ตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร สามารถสรุปผลได้ดังนี้

อภิปรายผล

จากการเลือกผังโรงงานที่จัดทำขึ้นใหม่จะช่วยให้โรงงานผ่านการประเมินเพื่อขออนุญาตสถานที่ผลิตอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 420 ในหมวดที่ 1 สถานที่ตั้ง อาคารผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา โดยมีข้อในหมวดที่ 1 ดังนี้

1.6 อารคารผลิตมีพื้นที่ผลิตเพียงพอ แยกพื้นที่การผลิตอาหารออกจากที่พักอาศัย และการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นที่มิใช่อาหารตามพระราชบัญญัติอาหาร รวมทั้งบริเวณรับประทานอาหาร

1.7 อาคารผลิตมีพื้นที่ในการผลิตเป็นสัดส่วน ละเป็นไปตามสายงานการผลิต

1.8 อาคารผลิตมีห้องบรรจุ หรือมีมาตรการจัดการพื้นที่บรรจุ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนซ้ำหลังการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ (M)

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและวิเคราะห์หาแนวทางเลือกในการออกแบบแผนผังรงงานการบรรจุผงบุกเพื่อให้ได้ แผนผังที่เหมาะสมต่อการทำงาน และมีระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้าแต่ละประเภทสั้นที่สุด ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบแผนผังทั้งหมด 3 แผนผัง โดยในแต่ละแผนผังจะมีความแตกต่างของตำแหน่งของวัตถุดิบ การจัดเก็บสินค้า รวมถึงระยะทางการดำเนินงาน และจากการเปรียบเทียบระยะทางรวม จากการทำแผนภูมิการไหล (Flow process Chart) จึงได้ว่าแผนผังที่ 3 มีระยะทางสั้นที่สุดะยะทางรวมเท่ากับ 77.1 เมตร และเวลาในการทำงานน้อยที่สุดเท่ากับ 2,432 วินาที

ข้อเสนอแนะ

การออกแบบผังโรงงานมีกิจกรรมการดำเนินงานและมีความสัมพันธ์ที่ต่างกัน การนำข้อมูล มาวิเคราะห์การให้ความสำคัญของแต่ละพื้นที่อาจมีความคาดเคลื่อนของผลลัพธ์ และการออกแบบอาจเปลี่ยนแปลง ไปตามปริมาณข้อมูลที่ได้รับ จึงต้องวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามการดำเนินงานที่เกิดขึ้นจริง อีกทั้งควรมีการพูดคุย และปรึกษากับผู้ปฏิบัติงานจริง ในการออกแบบร่วมกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและสามารถนำไปปรับใช้งานได้จริง

เอกสารอ้างอิง

กฤต จันทรสมัย และ อรอุมา ลาสุนนท์. (2566). การปรับปรุงผังโรงพยาบาลเพื่อลดระยะทางและลดเวลาในการให้บริการ. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม**, ปีที่ 16 ฉบับที่ 1, หน้า 93–106.

กิตติภณ พรรณอำไพ และคณะ. (2561). **การควบคุมกระบวนการผลิตบะหมี่สดโดยประยุกต์ใช้หลักการปฏิบัติที่ดีในการผลิต**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

ณัฐพงศ์ ชูโชติถาวร และ โสภิดา มัฆมาน. (2563). การออกแบบแผนผังคลังสินค้าสำหรับการจัดเก็บฟิล์มม้วนด้วยเทคนิคการวางแผนผังอย่างเป็นระบบ และเทคนิคการจำลองสถานการณ์กรณีศึกษา บริษัท ABC จำกัด. **วารสารวิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน**, ปีที่ 6 ฉบับที่ 1, หน้า 87–103.

ธนา ภาวนาธรรมสุข และคณะ. (2565). การออกแบบผังโรงงานอาหารปิ้งย่างพร้อมปรุงสำหรับบริการจัดส่งถึงที่. **วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย**, ปีที่ 8 ฉบับที่ 2, หน้า 34–41.

นิวัฒน์ชัย ใจคำ และคณะ. (2561). การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้หลักการซิกซ์ซิกม่าเพื่อรองรับมาตราฐานจีเอ็มพีโดเด็กซ์ กรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนกลุ่มพัฒนาเกษตรกรรมตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม**, ปีที่ 3 ฉบับที่ 1, หน้า 68–76.

ปฐมพงษ์ หอมศรี. (2564). การปรับปรุงผังโรงงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษาผู้ผลิตโคมไฟดาวน์ไลท์. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล**, ปีที่ 9 ฉบับที่ 2, หน้า 25–36.

พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล และคณะ. (2563). การออกแบบแผนผังทางเลือกสำหรับโรงงานแปรรูปผักและผลไม้. **วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี**, ปีที่ 16 ฉบับที่ 4, หน้า 28–38.

อัษฐพร ไกรอาบ และ ปภาวดี ชำนินา. (2563). **แนวทางการพัฒนาระบบการออกแบบและวางผังโรงงานสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร กรณีศึกษาโรงงานผลิตปลาหมึกกรอบ**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตย์ สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล และคณะ. (2564). การออกแบบและวางผังโรงงาน กรณีศึกษา โรงงานผลิตเส้นก๋วยตี๋ยว.**วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย**, ปีที่ 7 ฉบับที่ 2, หน้า 13–20.

ฤภูวัลย์ จันทรสา. (2563). การประเมินผังโรงงานแบบหลายปัจจัยด้วยวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ร่วมกับตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมายกรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์. **วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย**, ปีที่ 6 ฉบับที่ 2, หน้า 28–41.

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการล้างขวดน้ำดื่ม

The efficiency improvement of drinking water bottle washing process

กิตติพศ สุขประเสริฐ[1], ธนวันต์ กองลี[1], รัตติยากร ศรีมาทา[1], นิวัฒน์ชัย ใจคำ[1*] และ วรพจน์ ศิริรักษ์[1]

Kittiphot Sukprasert[1], Thanawan Konglee[1], Rattiyakorn Srimata[1], Niwatchai Jaikham[1*] and Worapot Sirirak[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดเวลาในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่ม จากข้อมูลของสถานประกอบการ โรงงานผลิตน้ำดื่มทุ่งลอ 119 หมู่ 1 ตำบล หงส์หิน อำเภอ จุน จังหวัด พะเยา พบว่าลูกค้ามีความต้องการน้ำดื่มชนิดลังแต่ละเดือนเฉลี่ย 1,578 ลังต่อเดือน แต่ทางสถานประกอบการสามารถผลิตน้ำดื่มให้กับลูกค้าได้เพียง 1,301 ลังต่อเดือน ทำให้สถานประกอบการเสียโอกาสในการขายรวม 276 ลังต่อเดือน คิดเป็นเงินมูลค่า 6,900 บาทต่อเดือน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการล้างขวดน้ำดื่ม โดยประยุกต์ใช้เทคนิค การศึกษางาน 7Q TOOLS เทคนิค ECRS และการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล จากผลการดำเนินงานพบว่า ลดเวลาในการล้างขวดน้ำดื่มจากเดิม 1,150.02 วินาทีต่อลัง เหลือ 706.79 วินาทีต่อลัง คิดเป็นร้อยละ 19.59 ทำให้สามารถผลิตน้ำดื่มชนิดลังได้ 1,907 ลังต่อเดือน ลดมูลค่าการเสียโอกาสในการขายได้ 8,228 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ: การปรับปรุงประสิทธิภาพ, เทคนิคECRS, กระบวนการล้างขวดน้ำดื่ม

Abstract

This research has the objectives to reduce the process time According to the factory information in chum Phayao, It was found that customers have monthly demand for crates of drinking water, an average of 1,578 crates per month, but the establishments were able to produce only 1,301 crates of drinking water per month, causing the establishments to lose the opportunity to sell a total of 276 crates per month. It is worth 6,922 baht per month. The researcher has an idea to improve the efficiency of the drinking water bottle washing process. By applying 7Q TOOLS work study techniques, ECRS techniques and mechanical part design. From the results of operations, it was found that Reduce the time for washing drinking water bottles from the original 1,150.02 seconds per crate to 726.80 seconds per crate, accounting for 19.59 percent, making it possible to produce 1,907 crates of drinking water per month, reducing the value of lost sales opportunities by 8,225 baht per month.

Keywords: Efficiency improvement, ECRS, Water drinking water bottle washing process

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย จังหวัดเชียงราย 57120

[1] Industrial Engineering, Faculty Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai, Chiangrai, 57120

* Corresponding author: Niwatchai.jk@gmail.com

บทนำ

น้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตในทุกด้านโดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำดื่มถือว่าเป็นความสำคัญโดยตรงที่สุดต่อสุขภาพและชีวิตของคนเรา น้ำเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในปัจจุบันของประเทศไทยต้องประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำสำหรับบริโภคเป็นประจำทุกปีและที่ผ่านมาเกิดวิกฤตน้ำขาดแคลนในภาคตะวันออกกลายเป็นปัญหาใหญ่ของประเทศไทยส่งผลกระทบต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทยซึ่งรัฐบาลได้ตระหนักถึงปัญหานี้และให้ความสำคัญเป็นอย่างมากโดยให้ทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องมีร่วมมือกันแก้ปัญหามีการกำหนดให้ดำเนินการจัดหาน้ำสะอาดรูปแบบต่าง ให้กับชุมชนทั้งในเมืองและชนบท การมีน้ำดื่มน้ำใช้ที่สะอาดและเพียงพอนับเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตและสุขภาพในแต่ละวันคนเราควรดื่มน้ำให้ได้ 6-8 แก้วจึงจะเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายคนเราอาจจะขาดอาหารได้นานนับสัปดาห์แต่จะขาดน้ำดื่มไม่เกิน 3 วัน การมีสุขภาพดีจะเกิดขึ้นได้จะต้องเริ่มที่ตัวเราเองและครอบครัวน้ำที่ดื่มควรจะเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากเชื้อโรคการได้รับน้ำดื่มที่สะอาดปลอดภัยจะทำให้สุขภาพอนามัยแข็งแรงและไม่มีพฤติกรรม เสี่ยงในการเกิดโรคภัยไข้เจ็บ ซึ่งในปัจจุบันนี้แนวโน้มความต้องการน้ำดื่มบรรจุขวดมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยตามจำนวนของประชากรและรายได้ของครัวเรือนน้ำดื่มบรรจุขวดเป็นสินค้าที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสุขอนามัยของประชาชนการบริโภคน้ำดื่มที่ไม่สะอาดและไม่เพียงพอต่อสุขภาพอนามัยเป็นประจำอาจทำให้ร่างกายเสื่อมโทรมและเจ็บป่วย ปัจจุบันคนไทยนิยมบริโภคน้ำดื่มบรรจุขวดหรือที่เรียกในภาษาราชการว่าน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทเนื่องจากติดในความสะดวกสบายและมีความเชื่อโดยบริสุทธิ์ใจว่าเป็นน้ำดื่มที่สะอาดมีคุณภาพดีมีความปลอดภัยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำดื่มจากแหล่งอื่น

จากการลงสำรวจพื้นที่ โรงงานผลิตน้ำดื่มทุ่งลอ 119 หมู่ 1 ต.หงส์หิน อ.จุน จ.พะเยา ซึ่งเป็นสถานประกอบการในการผลิตน้ำดื่ม โดยมีสินค้า 3 ประเภท คือ น้ำประเภทถัง น้ำประเภทลัง น้ำประเภทแพ็ค ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยมีขั้นตอนการผลิต 8 ขั้นตอน ดังนี้ 1.แกะฝา 2.ล้างฝาขวด 3.ล้างขวดด้วยน้ำยา 4.ล้างขวดด้วยน้ำเปล่า 5.กรอกน้ำ 6.ปิดฝา 7.ซีนคอขวด 8.นำสินค้าไปเก็บที่คลัง จากการเก็บข้อมูลขั้นตอนการดำเนินงานสินค้าประเภทน้ำลังพบว่ากระบวนการทำความสะอาดขวด มีการทำงานล่าช้า จึงทำให้การผลิตน้ำลังมีการ สูญเสียเวลาและสูญเสียต้นทุนการผลิต ในปัจจุบันทางสถานประกอบการใช้พนักงานทำความสะอาดโดยการใช้แปรงความความสะอาดทีละขวด ใช้เวลาในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มรวมทั้งหมดเฉลี่ย 1151.91 วินาทีต่อลัง ซึ่งทางสถานประกอบการสามารถผลิตน้ำดื่มให้กับลูกค้าได้ 1,301 ลังต่อเดือน พบว่าลูกค้ามีความต้องการน้ำดื่มชนิดลังแต่ละเดือนเฉลี่ย 1,578 ลังต่อเดือน ทำให้สถานประกอบการเสียโอกาสในการขายรวม 276 ลังต่อเดือน คิดเป็นเงินมูลค่า 6,900 บาทต่อเดือน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้

1. เพื่อลดเวลาในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่ม
2. เพื่อลดมูลค่าการเสียโอกาสการในขายของน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร ให้กับสถาประกอบการ

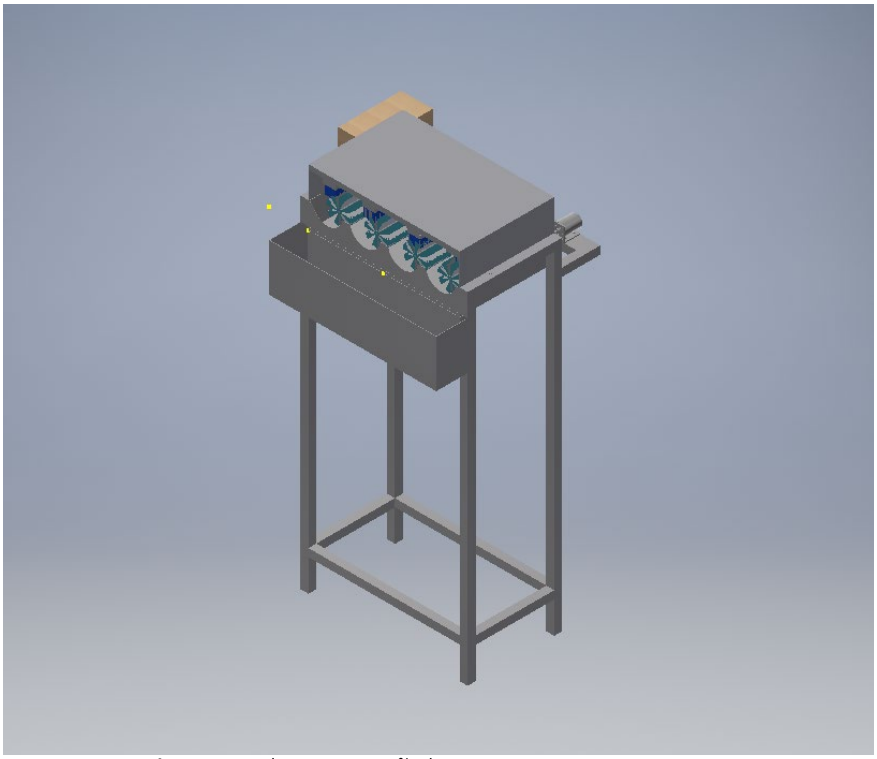
กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

จากการลงสำรวจพื้นที่ โรงงานผลิตน้ำดื่มทุ่งลอ อ.จุน จ.พะเยา สถานประกอบการมีสินค้า 3 ประเภท คือ น้ำประเภทลัง น้ำประเภทแพ็ค ขนาด 250 มิลลิลิตร จากการเก็บข้อมูลขั้นตอนการผลิตน้ำดื่ม พบว่ากระบวนการทำความสะอาดขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) การล้างขวดน้ำดื่มด้วยน้ำยาเป็นปัญหาหลักที่ทำให้เกิดความล้าช้า เนื่องจากพนักงานต้องใช้แปรงล้างขวดทั้งด้านนอกและด้านในทีละขวด จึงทำให้การผลิตน้ำลังมีการสูญเสียเวลาและเสียโอกาสในการขาย ผู้วิจัยจึงคิดค้นเครื่องล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร เพื่อลดเวลาสูญเสียและเพิ่มโอกาสในการขายของสถานประกอบการ

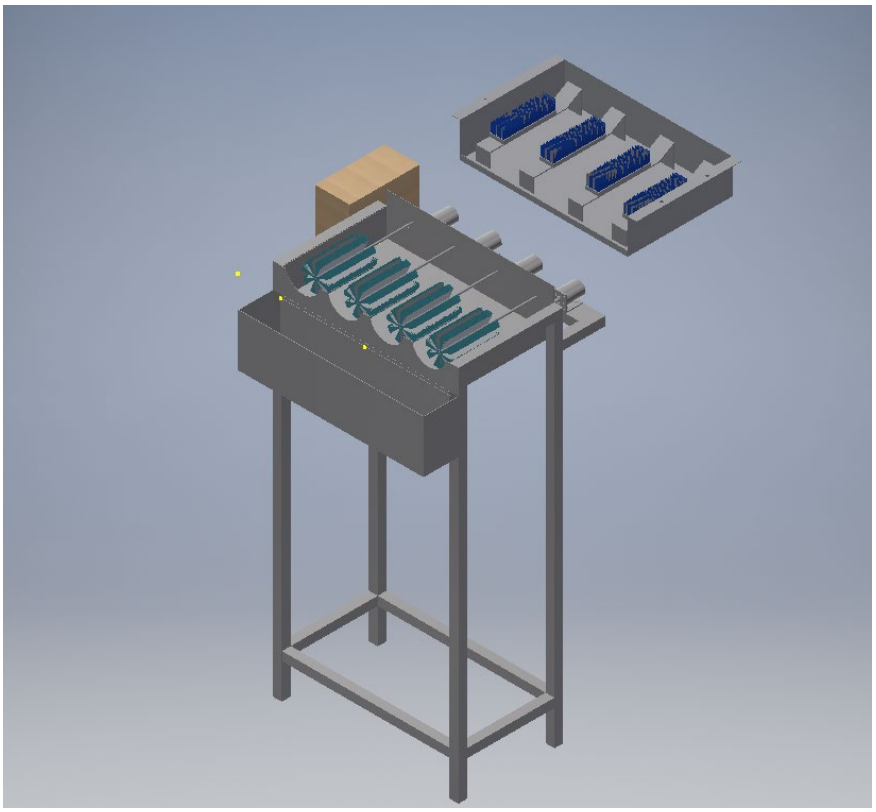
วิธีวิทยาการวิจัย

1.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยการใช้แผนผังก้างปลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ซึ่งปัญหาอยู่ในขั้นตอนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) คือการใช้กำลังคนล้างขวดน้ำดื่ม ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) โดยออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานซึ่งทำให้สามารถล้างขวดน้ำดื่มได้ทีละหลายขวดพร้อมกันโดยที่พนักงานไม่ต้องใช้แปรงล้างเอง โดยใช้หลักการออกแบบเครื่องจักรกลและการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลตามหลักวิศวกรรม

1.2 ใช้หลักการออกแบบเครื่องจักรกลและการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลตามหลักวิศวกรรม



รูปที่ 1 แบบเครื่องล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง)



รูปที่ 2 แบบเครื่องล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) ภายใน

1.2.1. ฝาครอบบน

หลักการใช้แสตนเลสแผ่นมีขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร ตัดให้ได้ขนาดตามแบบงานที่กำหนดไว้ในแต่ละด้านทั้ง 4 ด้านและทำการพับขึ้นรูปทั้ง4ด้านและทำการเชื่อม ในส่วนที่จับยึดแปลงที่ไว้สำหรับขัดทำความสะอาดขวดน้ำดื่มจะมีการเจาะรูเพื่อทำการยึดแปลงขัด โดยส่วนนี้ทำหน้าที่ขัดทำความสะอาดขวดน้ำดื่มจากด้านบน

1.2.2. จุดใส่ขวด

หลักการใช้แสตนเลสแผ่นมีขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร ตัดให้ได้ขนาดตามแบบงานที่กำหนดไว้ในแต่ละด้านทั้ง 4 ด้านและทำการพับขึ้นรูปทั้ง 4 ด้านและทำการเชื่อมและจะมีเพลาแสตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3มิลลิเมตร ทำการดัดขึ้นรูปและเชื่อมติดเพื่อประคองขวดน้ำดื่มขณะหมุน ในส่วนที่หมุนคือแปลงล้างด้านในใช้เป็นแปลงล้างขวดมีความยาวสมดุลกับด้านในขวดน้ำดื่ม แปลงล้างด้านส่วนนี้จะพาขวดน้ำดื่มหมุนและด้านนอกจะทำการขัดทำความสะอาดด้านนอกขวดน้ำดื่ม

1.2.3. มอเตอร์ส่งกำลัง

หลักการใช้มอเตอร์ส่งกำลัง 12 v 296 RPM จะเป็นตัวส่งกำลังและพาแปลงล้างด้านในหมุน และจะพาขวดน้ำดื่มหมุนตามเพื่อทำความสะอาดขวดน้ำดื่มด้านนอก

1.1.4. ฐานเครื่อง

หลักการใช้แสตนเลสกล่องขนาด 1*1 นิ้วทำการเชื่อมให้ได้ฉากขนาดยาว 48 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร ความสูง 110 เซนติเมตร เพื่อรับน้ำหนักส่วนต่างๆของเครื่องจักรและทำการเชื่อมติดกับจุดใส่ขวดหรือฝาครอบด้านล่าง

ผลการศึกษา

ตารางที่ 1 แผนภูมิกระบวนการผลิต (Process chart) ของกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) (ก่อนปรับปรุง)

แผนภูมิกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง)									
ชื่อกระบวนการ : ลดเวลาการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง)						วันที่ :			
สถานะ : ก่อนการปรับปรุง						จัดทำโดย :			
ลำดับ	ลักษณะของกิจกรรมย่อย	สัญลักษณ์					เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	จำนวนพนักงาน (คน)
1	แกะฝาขวดน้ำ						28.72		
2	เทฝาขวดน้ำใส่กะละมังล้าง						1.72		
3	ล้างฝาขวดน้ำ						126.6		
4	นำขวดน้ำใส่ซิงค์ล้างขวดน้ำด้วยน้ำยา						18.23		
5	ล้างขวดน้ำด้วยน้ำยา						565.2		
6	ขนย้ายขวดน้ำไปยังเครื่องล้างขวดน้ำด้วยน้ำเปล่า						2.48	1.2	
7	ล้างขวดน้ำด้วยน้ำเปล่า						149.4		1
8	หยิบขวดใส่ลัง						22.03		
9	ขนย้ายลังน้ำไปบรรจุน้ำดื่ม						4.16	2.5	
10	บรรจุน้ำดื่มใส่ขวด						45.85		
11	ปิดฝาขวด						93.1		
12	ขนย้ายลังไปที่ซีนคอขวดน้ำดื่ม						2.73	1.5	
13	ซีนคอขวดน้ำดื่ม						81.6		
14	ขนย้ายไปยังที่พักสินค้า						8.20	5	
15	รอจำหน่าย								
	รวม	10	4	0	0	1	1150.02	10.2	1

จากตารางที่ 1 พบว่ามีกิจกรรมย่อยในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) มีทั้งหมด 15 กิจกรรม ซึ่งใช้เวลาในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มรวมทั้งหมดเฉลี่ย 1,150.02 วินาทีต่อลัง และใช้ระยะทางในการทำงาน 10.2 เมตรต่อลัง มีการทำงานที่เกิดการสูญเปล่าใช้เวลาในการทำงานมากที่สุดคือขั้นตอนที่ 5 คือ ขั้นตอนการล้างขวดน้ำดื่มด้วยน้ำยา ใช้เวลา 565.2 วินาที ผู้วิจัยจึงเลือกทำการปรับปรุงในขั้นตอนการล้างขวดน้ำดื่มด้วยน้ำยา

ตารางที่ 2 แผนภูมิกระบวนการผลิต (Process chart) ของกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) (หลังการปรับปรุง)

แผนภูมิกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง)									
ชื่อกระบวนการ : ลดเวลาการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง)							วันที่ :		
สถานะ : ก่อนการปรับปรุง							จัดทำโดย :		
ลำดับ	ลักษณะของกิจกรรมย่อย	สัญลักษณ์					เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	จำนวนพนักงาน (คน)
1	แกะฝาขวดน้ำ	●	⇨	D	□	▽	28.72		
2	เทฝาขวดน้ำใส่กะละมังล้าง	●	⇨	D	□	▽	1.72		
3	ล้างฝาขวดน้ำ	●	⇨	D	□	▽	126.6		
4	ล้างขวดน้ำด้วยน้ำยา	●	⇨	D	□	▽	140.2		
5	ขนย้ายขวดน้ำไปยังเครื่องล้างขวดน้ำด้วยน้ำเปล่า	○	➡	D	□	▽	2.48	1.2	
6	ล้างขวดน้ำด้วยน้ำเปล่า	●	⇨	D	□	▽	149.4		
7	หยิบขวดใส่ลัง	●	⇨	D	□	▽	22.03		1
8	ขนย้ายลังน้ำไปบรรจุน้ำดื่ม	○	➡	D	□	▽	4.16	2.5	
9	บรรจุน้ำดื่มใส่ขวด	●	⇨	D	□	▽	45.85		
10	ปิดฝาขวด	●	⇨	D	□	▽	93.1		
11	ขนย้ายลังไปที่ซีนคอขวดน้ำดื่ม	○	➡	D	□	▽	2.73	1.5	
12	ซีนคอขวดน้ำดื่ม	●	⇨	D	□	▽	81.6		
13	ขนย้ายไปยังที่พักสินค้า	○	➡	D	□	▽	8.20	5	
14	รอจำหน่าย	○	⇨	D	□	▼			
	รวม	10	4	0	0	1	706.79	10.2	1

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการปรับปรุงในขั้นตอนการล้างขวด โดยออกแบบเครื่องจักรกลช่วยในการทำงาน สามารถลดรอบเวลาในการทำงานลดลงเหลือ 706.79 วินาที/ลัง โดย เวลาในการการทำงานของขั้นตอนการล้างขวดเบื้องต้นเก็บจำนวนตัวอย่าง 20 ครั้ง

ตารางที่ 3 เวลาในการทำงานของกิจกรรมการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง)

ครั้งที่	เวลา (วินาที/ลัง)
1	140.3
2	139.8
3	140.1
4	139.8
5	140.8
6	140.6
7	139.9
8	140.1
9	139.7
10	140.6
11	140.5
12	140.4
13	140.6
14	140.5
15	139.9
16	140.3
17	140.2
18	139.9
19	140.4
20	140.6
รวม	2805
เฉลี่ย	140.2

จากตารางที่ 3 แสดงเวลาในการทำงานขั้นตอนการล้างขวดน้ำดื่ม ได้ทำการเก็บข้อมูลโดย การจับเวลาจำนวน 20 ครั้ง เฉลี่ย 140.2 วินาที/ลัง ดังนั้นเวลาที่ได้จะเป็นเพียงเวลาพื้นฐานในการทำงานหลังทำการปรับปรุง โดยการหาจำนวนครั้งที่ต้องเก็บข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ ดังสมการ

การคำนวณหาเวลามาตรฐาน

ใช้เวลาในการล้าง = 706.79 วินาทีต่อ 1 ลัง

กำหนดเวลาเผื่อ = 5% ของเวลาปกติ เพื่อให้พนักงานฟื้นฟูสภาพร่างกายที่เมื่อยล้า

Standard Time = Normal Time + (Normal Time x Allowance / 100)

= 706.79 + ((5/100) x 706.79)

= 742.13 วินาที

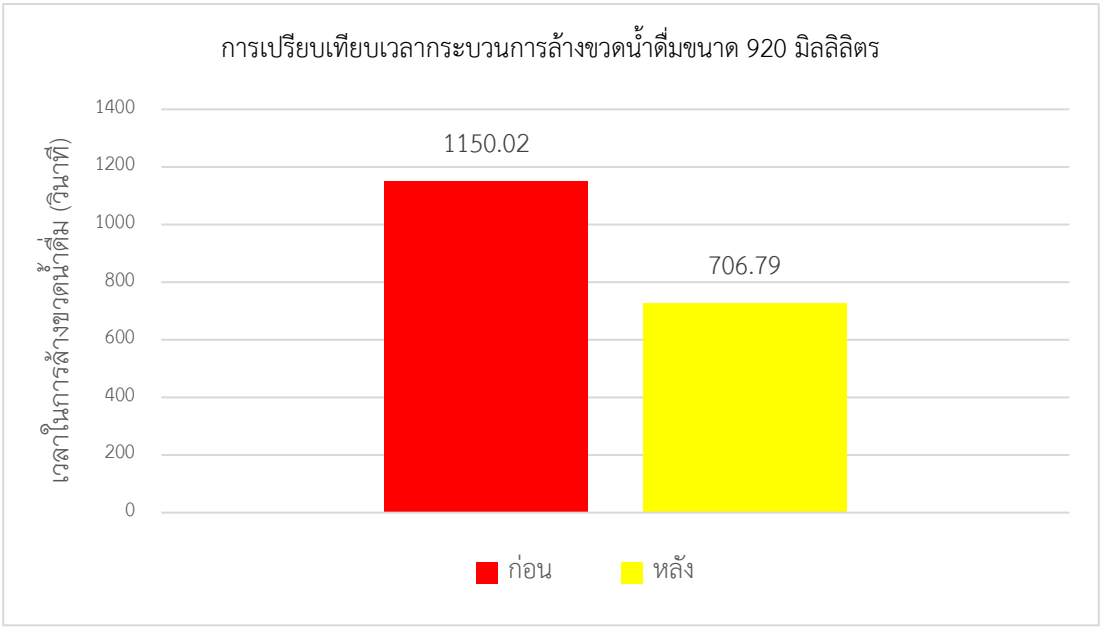
เวลามาตรฐานในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร ใช้เวลามาตรฐานอยู่ที่ 742.13 วินาที

การคำนวณหาครั้งในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร

$$n = \left[\frac{\frac{2}{0.05}\sqrt{20(393402.4) - (2805)^2}}{2805}\right]^2$$

$$= 0.00467716 \approx 1$$

จากการคำนวณจำนวนครั้งของการทดลอง พบว่าการทดลองกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตรมีผลการคำนวณเท่ากับ 0.00467716 หรือ 1 ครั้ง ทางผู้วิจัยทำการเก็บผลการทดลองจำนวน 20 ครั้ง ดังนั้นในการเก็บข้อมูลดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือที่มากกว่าร้อยละ 95 แสดงว่าสามารถนำข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์ผลต่อไปได้เปรียบเทียบเวลาในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร(แบบลัง) ก่อน – หลัง (ปรับปรุง)



รูปที่ 3 เปรียบเทียบเวลาในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มก่อนและหลังปรับปรุง

จากการเปรียบเทียบเวลาในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มพบว่า เวลาก่อนทำการปรับปรุงจะใช้เวลาในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มที่ 1150.02 วินาทีต่อลัง เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ช่วยในการล้างขวดน้ำดื่มพบว่าใช้เวลามาตรฐานในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มเพียง 706.79 วินาทีต่อลัง สามารถลดเวลาในการทำงาน 443.23 วินาทีต่อลัง คิดเป็นร้อยละ 19.59

การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน

ค่าใช้จ่ายในการทำเครื่องล้างขวดน้ำดื่ม = 5,981 บาท

กำไรเมื่อใช้เครื่องล้างขวดน้ำ ต่อปี = 359,100 บาทต่อปี

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนเฉลี่ยสุทธิต่อปี}}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{5,981}{359,100}$$

$$= 0.017$$

จากการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนเมื่อเริ่มใช้อุปกรณ์ช่วยในการล้างขวดน้ำดื่ม พบว่าต้องใช้เวลา 0.017 ปี จึงจะคืนทุนที่ได้ทำการลงทุนทำเครื่องล้างขวดน้ำดื่ม

สรุปผลการทดลอง

จากการลงพื้นที่สำรวจสถานประกอบการโรงงานผลิตน้ำดื่มทุ่งลอ พบปัญหาในขั้นตอนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) มีการทำงานล้าช้าจึงทำให้การผลิตน้ำดื่มแบบลังสูญเสียเวลาและสูญเสียโอกาสในการขาย ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มและเพื่อลดมูลค่าการเสียโอกาสในการขายน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง)ผู้ศึกษาได้ศึกษาทฤษฎีและหลักการศึกษางานในอุตสาหกรรม (Work Study) การวิเคราะห์ปัญหาโดยการประยุกต์ใช้เทคนิค 7 QC TOOLS และการออกแบบเครื่องจักรกล (Machine Design) ในการแก้ไขปัญหาการล้างขวดน้ำดื่มทำการศึกษาข้อมูลขั้นตอนของกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยสร้างแผนภูมิกระบวนการผลิต (Process chart) พบว่ามีขั้นตอนที่เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) ในขั้นตอนการล้างขวดน้ำดื่มด้วยน้ำยา เนื่องจากมีความล่าช้าในการล้างขวดน้ำดื่มมากเกินไป จึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาโดยใช้หลักการวิเคราะห์ปัญหาโดยแผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) ซึ่งปัญหาอยู่ในขั้นตอนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) คือการใช้กำลังคนล้างขวดน้ำดื่ม ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงกระบวนการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) โดยออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานซึ่งทำให้สามารถล้างขวดน้ำดื่มได้ทีละหลายขวดพร้อมกันโดยที่พนักงานไม่ต้องใช้แปรงล้างเองโดยใช้หลักการออกแบบเครื่องจักรกลและการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลตามหลักวิศวกรรม

จากการทดลองใช้อุปกรณ์ช่วยในการล้างขวดน้ำดื่มขนาด 920 มิลลิลิตร (แบบลัง) ทดลองล้างครั้งละ 1 ลัง จำนวน 20 ครั้ง เพื่อความน่าเชื่อถือของจำนวนการทดลองร้อยละ 95 พบว่า สามารถลดเวลาในขั้นตอนการล้างขวดด้วยน้ำยาได้ จากเดิมใช้เวลา 1150.02 วินาทีต่อลัง หลังจากทำการปรับปรุงสามารถลดเวลาเหลือเพียง 706.79 วินาทีต่อลัง คิดเป็นร้อยละ 19.59 ทำให้สามารถผลิตน้ำดื่มชนิดลังได้ 1,907 ลังต่อเดือน ลดมูลค่าการเสียโอกาสในการขายได้ 8,228 บาทต่อเดือน

ปัญหาและอุปสรรค์

คนงานไม่ชินกับอุปกรณ์ อาจมีความล้าช้าในช่วงแรก เนื่องจากพนักงานต้องมีการปรับตัวกับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ใหม่

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากอุปกรณ์ช่วยในการล้างขวดน้ำดื่มยังใช้คนงานในการทำงานและควบคุมทำให้เกิดความเมื่อยล้าจึงควรมีการศึกษาต่อในเรื่องการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยในการล้างขวดน้ำดื่ม

2. ก่อนใช้งานอุปกรณ์ควรตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ช่วยล้างขวดน้ำดื่ม

3. ก่อนและหลังการทำงานควรทำความสะอาดอุปกรณ์ช่วยล้างขวดน้ำดื่มทุกครั้ง เพื่อรักษาความสะอาดของอุปกรณ์และอายุการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและขอขอบคุณทางสถานประกอบการให้ทุนทรัพย์ในการทำอุปกรณ์ช่วยในการล้างขวดน้ำดื่ม

เอกสารอ้างอิง

วรพจน์ ศิริรักษ์ และคณะ (2565). ได้ทำการวิจัยเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการบรรจุน้ำผึ้งใส่ขวด เพื่อการตอบสนองความต้องการด้วยเทคนิค ECRS และเวลามาตรฐานในการบรรจุขวดของลูกค้า.

นันทพันธ์ กนกศิริรุจิษยา และคณะ (2565). ได้ทำการวิจัยเพื่อลดความสูญเปล่าในสายการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD).

สมชาย เปรียงพรม และคณะ (2564). ได้ศึกษาและทำวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานในกระบวนการจ่ายสินค้าสำเร็จรูป.

นิภาพร โตสุพรรณ์ (2564). ได้ศึกษาและทำวิจัยเพื่อการปรับปรุงงานในกระบวนการผลิตยาสมุนไพร.

เชิดชัย ธุระแพง และคณะ (2565). ได้นำเสนอการศึกษางานและเวลามาตรฐานการผลิตโอ่งมังกร.

พรศิริ คำหล้า และคณะ (2564). ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษากระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จและเพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จที่เป็นกรณีศึกษาอยู่ในจังหวัดกาฬสินธุ์.

อภิชิต เสมศรี และคณะ (2564). ได้ทำการวิจัยเพื่อนำวิธีโพคา-โยเกะช่วยป้องกันความผิดพลาดและลดการสูญเสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนบังโคลนหน้าแก้มข้างรถยนต์โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง (7QC Tools).

มารุต มูเก็ม (2562). ได้ทำการวิจัยเพื่อลดจำนวนกระป๋องบุบในคลังสินค้าของ บริษัท สยาม อินเตอร์เนชั่นแนลฟู้ด จำกัด.

อัฏฐพล สาผิว และคณะ (2564). ได้ทำการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสายการประกอบโรเตอร์.

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(Oral Presentation)

“การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ:
การท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ครั้งที่ 1” ประจำปี 2567
คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

การกักเก็บคาร์บอนของพืชสมุนไพรในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ เพื่อการรองรับการท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

Carbon stock of Herbal Plant in Doi Inthanon National Park for Carbon Neutral Tourism

เพ็ญพิชชา ซูสง่า[1*]

Penpitcha Chusanga[1*]

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของพืชสมุนไพรในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ เพื่อการรองรับการท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ โดยการวางแปลงตัวอย่างชั่วคราว 40x40 ม. จำนวน 9 แปลง ในพื้นที่ป่าเต็งรัง อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ และทำการวัดความสูง และเส้นรอบวงของพืชสมุนไพร และใช้เครื่องมือกลไกลดก๊าซเรือนกระจก โดยผลการศึกษาพบว่า บริเวณป่าเต็งรังพบพืชสมุนไพรทั้งหมดจำนวน 43 ชนิด จำนวนต้น 1,224 ต้น มีปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก 208,345 $KgCO_2eq$/ปี หรือคิดเป็น 208.345 tCO_2eq/ปี โดยสามารถกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวที่มาท่องเที่ยวในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ร้อยละ 0.7 โดยคิดจากนักท่องเที่ยวปี 2564 จำนวน 381,889 คน ซึ่งมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากนักท่องเที่ยวทั้งหมด 29,023.56 tCO_2eq/ปี (ม.พะเยา, 2564)

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน, อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์, การท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

Abstract

The objective of this study was to investigate the carbon storage of medicinal plants in Doi Inthanon National Park, supporting net-zero carbon tourism. We established nine temporary sample plots measuring 40x40 m in the deciduous dipterocarp forest area of Doi Inthanon National Park. The height and circumference of medicinal plants were measured, and mechanisms to reduce greenhouse gases were employed. It can store 0.7 percent of greenhouse gases from the tourism activities of tourists visiting Doi Inthanon National Park. This calculation is based on the data for 381,889 tourists in 2021, resulting in a total amount of greenhouse gas emissions from tourists of 29,023.56 tCO_2eq per year (University of Phayao, 2021).

Keywords: Carbon sequestration, Doi Inthanon National Park, Carbon Neutral Tourism

[1] อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ 119 ตำบล บ้านหลวง อำเภอจอมทอง เชียงใหม่ 50160

[1] Doi Inthanon National Park, 119 Bann luang Subdistrict Chomthong District Chiangmai Province 50160

* Corresponding author: inthanon98dnp@hotmail.com

บทนำ

อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ เป็นพื้นที่อนุรักษ์ที่มีทรัพยากรธรรมชาติที่สมบูรณ์แห่งหนึ่งในประเทศไทย และเป็นป่าต้นน้ำที่สำคัญระดับประเทศ มีเนื้อที่รวม 301,184.050 ไร่ หรือ 481,890 ตารางกิโลเมตร จัดเป็นอุทยานแห่งชาติที่ก่อตั้งเป็นลำดับที่ 6 ของประเทศ อีกทั้งยังเป็นอุทยานแห่งชาติที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูงและมีระบบนิเวศที่หลากหลาย ตั้งแต่ระดับความสูงประมาณ 800.00 – 2,565.65 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และมีความแตกต่างทางภูมิประเทศ ชนิดพันธุ์สัตว์ป่า และพันธุ์พืช โดยสามารถแบ่งประเภทป่าเป็น 2 ประเภท คือ ป่าผลัดใบ ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าเต็งรังผสมสน และป่าไม่ผลัดใบ ได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าทุ่งหญ้า ป่าพรุดิบเขา และป่าดิบเขา

อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์มีเอกลักษณ์ทางด้านความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่สมบูรณ์ ระบบนิเวศที่หลากหลาย สวยงาม สิ่งนี้เองจึงเป็นที่ดึงดูดใจให้กับนักท่องเที่ยวเข้ามาท่องเที่ยว เป็นพื้นที่มีศักยภาพในการรองรับการท่องเที่ยว ด้วยเหตุนี้โครงการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนพืชสมุนไพรในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของพืชสมุนไพรในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ โดยใช้เครื่องมือกลไกลดก๊าซเรือนกระจก เพื่อเป็นฐานข้อมูลด้านการกักเก็บคาร์บอนของพืชสมุนไพรในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ที่รองรับการท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

วิธีการศึกษา

การวางแปลงตัวอย่าง

1. วางแปลงสำรวจชั่วคราวแบบ Stratified random sampling ภายในพื้นที่ป่าอุทยานแห่งชาติดอยอิน โดยทำการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) ซึ่งแปลงสำรวจชั่วคราวมีขนาด 40 x 40 เมตร จำนวน 9 แปลง

2. แต่ละแปลงสำรวจจะทำการวางแปลงย่อยสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 x 10 เมตร อยู่ภายในแปลงขนาด 40 x 40 ทั้งหมดจำนวน 16 แปลง (ภาพที่ 3) เพื่อเก็บตัวอย่างไม้ต้น (Tree) หรือไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (Diameter at Breast Height, DBH) มากกว่า 4.50 เซนติเมตร ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกและความสูงของต้นไม้ และเก็บตัวอย่างไม้เลื้อยหรือเถาวัลย์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 เซนติเมตร

3. ทำการวางแปลงขนาด 4 X 4 เมตร ซ้อนอยู่ภายในแปลงขนาด 10 x 10 เมตร ทั้งหมดจำนวน 8 แปลง เพื่อเก็บตัวอย่างไม้หนุม (Sapling) และไม้พุม (Shrub) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกน้อยกว่า 4.50 เซนติเมตร แต่ความสูงของต้นไม้มากกว่า 1.30 เมตร โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก

4. ทำการวางแปลงขนาด 1 x 1 เมตร ซ้อนอยู่ภายในแปลงขนาด 4 x 4 เมตร ทั้งหมดจำนวน 8 แปลง เพื่อเก็บตัวอย่างลูกไม้ (Seeding) หรือพืชที่กำลังเติบโตจากเมล็ด โดยนับจำนวนต้นที่อยู่ในพื้นที่แปลง (ภาพที่ 4)

5. วัดความลาดชันของพื้นที่โดยใช้เครื่อง GPS รวมถึงเก็บตัวอย่างดินในแต่ละแปลง ภาพประเภทป่า ตัวอย่างพืชสมุนไพรเพื่อนำมาตรวจสอบชนิดตามรูปวิธานหนังสือคู่มือจำแนกพรรณไม้ และค้นหาสรรพคุณและการใช้ประโยชน์ทางด้านยาจากหนังสือพืชสมุนไพรและสารานุกรมพืชสมุนไพร

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้เครื่องมือกลไกลดก๊าซเรือนกระจก โดยการเตรียมข้อมูล ชนิดพรรณไม้ ความสูง และเส้นรอบรอบวงของต้นไม้ ซึ่งจะได้ค่าปริมาณก๊าซเรือนที่กักเก็บได้ ($kgCO_2eq$)

ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าบริเวณป่าเต็งรังที่ทำการสำรวจทั้ง 9 แปลง พบต้นไม้ทั้งหมด 43 ชนิด จำนวน 1224 ต้น เป็นไม้ต้นจำนวน 1,222 ต้น เถาวัลย์ 2 ต้น เมื่อนำมาใช้เครื่องมือกลไกก๊าซเรือนกระจก พบว่ามีปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก 208,345 $KgCO_2eq$ โดยจำแนกเป็นพรรณไม้ทั่วไป มีปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก 208,055.66 $KgCO_2eq$ และวัลย์ ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก 290.20 $KgCO_2eq$ เมื่อพิจารณาข้อมูลจากสถิติการท่องเที่ยวที่มาเยือนอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ปี 2564 จำนวน 381,889 คน มีกิจกรรมได้แก่ การเดินทางภายในกิจกรรมการท่องเที่ยว การบริโภค การพักค้าง การปลดปล่อยน้ำเสีย และขยะ พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากนักท่องเที่ยวทั้งหมด 29,023.56 tCO_2eq/ปี และมีความต้องการพื้นที่ป่าไม้ที่ใช้ในการดูดซับก๊าซเรือนกระจก 6,037.19 gha (ม.พะเยา, 2564)

อภิปรายและสรุปผล

บริเวณป่าเต็งรังมีพืชสมุนไพรทั้งหมดจำนวน 43 ชนิด จำนวนต้น 1,224 ต้น มีปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก 208,345 $KgCO_2eq$/ปี หรือคิดเป็น 208.345 tCO_2eq/ปี โดยสามารถกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวที่มาท่องเที่ยวในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ร้อยละ 0.8 โดยคิดจากนักท่องเที่ยวปี 2564 จำนวน 381,889 คนซึ่งมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากนักท่องเที่ยวทั้งหมด 29,023.56 tCO_2eq/ปี

เอกสารอ้างอิง

เพ็ญนภา ทิพย์สุราฎร์. (2559). **การศึกษาพืชสมุนไพรท้องถิ่นและภูมิปัญญาด้านการใช้พืชสมุนไพร กรณีศึกษา: อุทยานแห่งชาติแก่งกรุง จังหวัดสุราษฎร์ธานี**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. (2533). **เล่มที่ 14 เรื่องที่ 10 สมุนไพร.** แหล่งที่มา: http://saranukromthai.or.th/sub/other_sub.php?file=encyclopedia/book14.html, 29 พฤษภาคม 2563.

การลดก๊าซเรือนกระจกจากการคัดแยกขยะในพื้นที่อุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน

Greenhouse Gas Reduction through Waste Separation at Chae Son National Park

โชติรส พงษ์ปราโมทย์[1*]

Chowtirose Pongpramote[1*]

บทคัดย่อ

ตามเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศไทย ที่มีเป้าหมายปฏิบัติการอย่างเร่งด่วนเพื่อต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่เกิดขึ้น ตามนโยบายของประเทศไทยและเพื่อมีส่วนร่วมในการลดก๊าซเรือนกระจกทางอุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อนจึงได้ทำกิจกรรมการคัดแยกขยะรีไซเคิล เพื่อประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกอันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนระยะเวลา 1 ปี

คำสำคัญ: โครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก (LESS), การคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล, อุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน

Abstract

Aligned with Thailand's Sustainable Development Goals, which seek to take urgent action against climate change and its impacts, and in adherence to Thailand's policy aimed at contributing to the reduction of greenhouse gases, Chae Son National Park has undertaken initiatives to segregate recycled waste. The objective is to evaluate the reduction of greenhouse gases, the primary contributors to global warming, over a one-year period

Keywords: Low Emission Support Scheme (LESS), Sorting waste for recycling, Chae Son National Park

[1] อุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน ตำบลแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง 52240

[1] Chae Son National Park, Chaeson Subdistrict, Mueang Pan District, Lampang, 52240

* Corresponding author e-mail: chaeson_np13@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันภาวะโลกร้อนมีความทวีคูณและรุนแรงขึ้นส่งผลต่อทั้งมนุษย์และสภาพแวดล้อมต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ที่เราเห็นได้คือ ธารน้ำแข็งที่กำลังละลาย น้ำแข็งขั้วโลกละลาย ปะการังที่กำลังตาย ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น และคลื่นความร้อนที่ทำให้ถึงแก่ความตายได้

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นประเทศไทยจึงได้มีเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน(Sustainable Development Goals: SDGs)เป้าหมายที่ 13: ปฏิบัติการอย่างเร่งด่วนเพื่อต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่เกิดขึ้น และเป้าหมายของBCG model มีเป้าหมายเดียวกัน คือ การปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environment) การลดปัญหาโลกร้อน (Global Warming) ที่กำลังเป็นตัวบั่นทอนทรัพยากรโลก เน้นพัฒนาเศรษฐกิจให้เติบโตอย่างทั่วถึงบนพื้นฐานการพัฒนาที่ยั่งยืน

อุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน มีพื้นที่786 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุม 4 อำเภอ คือ อำเภอเมืองปาน อำเภอเมืองฯ อำเภอแจ้ห่อม และอำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ประกาศเป็นอุทยานเมื่อวันที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2531 ฤดูที่เหมาะสำหรับการท่องเที่ยว คือ เดือนพฤศจิกายน–เดือนกุมภาพันธ์ กิจกรรมที่น่าสนใจ ได้แก่ น้ำร้อนแจ้ซ้อน เป็นแหล่งน้ำพุร้อนทางธรณีวิทยา น้ำพุร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 73 องศาเซลเซียส มีกลิ่นกำมะถันอ่อน ๆ เป็นที่นิยมนำไข่ไก่และไข่นกกระทามาแช่ไข่แดงจะแข็งมีรสชาติมันอร่อย ส่วนไข่ขาวจะเหลวคล้ายไข่เต่า อีกส่วนหนึ่งยังเป็นจุดแช่น้ำร้อนเพื่อผ่อนคลาย และน้ำตกแจ้ซ้อน มีแอ่งน้ำรองรับเป็นชั้น ๆ อยู่ 6 ชั้น มีทางเดินจากบ่อน้ำพุร้อนไปถึงน้ำตก ห่างจากที่ทำการอุทยานฯ 1 กิโลเมตร แจ้ซ้อนเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่ได้รับรางวัลอุทยานแห่งชาติสีเขียว และยังได้รับรางวัลกินรี ประเภทแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ สาขาแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ ตามนโยบายของประเทศไทยและเพื่อมีส่วนร่วมในการลดก๊าซเรือนกระจกทางอุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อนจึงได้ทำกิจกรรมการคัดแยกขยะรีไซเคิล เพื่อประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกอันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนระยะเวลา 1 ปี พบว่า มีขยะประเภทพลาสติก 4,354.35กิโลกรัม/ปี มีขยะประเภทกระดาษ 5,330.62 กิโลกรัม/ปี มีขยะประเภทอะลูมิเนียม 7,694.71 กิโลกรัม/ปี มีขยะประเภทโลหะผสม 49.25กิโลกรัม/ปี มีขยะประเภทเหล็ก 37.65 กิโลกรัม/ปี มีขยะประเภทแก้ว 8,683.54 กิโลกรัม/ปี สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 103,111.98 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/เทียบเท่า/ปี

วิธีการศึกษา

การดำเนินการโครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก (LESS) ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล มีขั้นตอนและการดำเนินงาน ดังนี้

1.การเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการดำเนินการการเก็บข้อมูลด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล ในอุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อนได้ดำเนินกิจกรรมส่งเสริมการคัดแยกขยะโดยการตั้งถังขยะที่มีถังแยกขยะไว้ตามจุดต่าง ๆ ในอุทยาน และติดป้ายสร้างจิตสำนึกให้นักท่องเที่ยว และเจ้าหน้าที่ในอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง ช่วยกันคัดแยกขยะ ในการดำเนินการกิจกรรมคัดแยกขยะมีขอบเขตระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2565 ถึง 30 กันยายน 2566 โดยจะทำการรวบรวม ชั่งน้ำหนักขยะทุก ๆ วันศุกร์ของแต่ละอาทิตย์

2.การวิเคราะห์ข้อมูล

คำนวนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก(LESS) ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล โดยคำนวนจากเอกสารLESS-WM-01-version 06 ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล

ผลการศึกษา

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลโครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก(LESS) ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล ขอบเขตระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2565 ถึง 30 กันยายน 2566 จากการเก็บรวบรวมพบว่า ขยะที่คัดแยกเพื่อรีไซเคิลได้มีขยะประเภทพลาสติก กระดาษ อะลูมิเนียม โลหะผสม เหล็ก และแก้ว ซึ่งในขอบเขตเวลาที่เก็บข้อมูล มีขวดพลาสติกทั้งหมด 26,150.12 กิโลกรัม/ปี ซึ่งมาจากนักท่องเที่ยวและเจ้าหน้าที่ในอุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลประกอบการอธิบาย

เดือน	พลาสติก (กิโลกรัม)	กระดาษ (กิโลกรัม)	อะลูมิเนียม (กิโลกรัม)	โลหะผสม (กิโลกรัม)	เหล็ก (กิโลกรัม)	แก้ว (กิโลกรัม)
ต.ค.	370.15	440.36	620.20			612.11
พ.ย.	834.10	965.20	1,304.40			1,465.20
ธ.ค.	886.10	995.20	1,156.50			1,255.20
ม.ค.	688.12	865.04	879.00	14.10	10.00	794.11
ก.พ.	184.20	228.14	436.17			578.13
มี.ค.	153.20	215.26	498.17			609.13
เม.ย.	668.00	837.00	1,273.20	20.15	13.05	1,468.00
พ.ค.	176.00	226.00	434.30			575.31
มิ.ย.	65.22	125.00	289.00	9.00	7.60	316.00
ก.ค.	179.13	218.00	426.30			564.20
ส.ค.	71.00	118.30	179.13	6.00	7.00	289.00
ก.ย.	79.13	97.12	198.34			157.15
รวม	4,354.35	5,330.62	7,694.71	49.25	37.65	8,683.54

ในระยะเวลา 1 ปี พบว่า มีขยะประเภทพลาสติก 4,354.35กิโลกรัม/ปี มีขยะประเภทกระดาษ 5,330.62 กิโลกรัม/ปี มีขยะประเภทอะลูมิเนียม 7,694.71 กิโลกรัม/ปี มีขยะประเภทโลหะผสม 49.25กิโลกรัม/ปี มีขยะประเภทเหล็ก 37.65 กิโลกรัม/ปี มีขยะประเภทแก้ว 8,683.54 กิโลกรัม/ปี สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 103,111.98 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี

อภิปรายและสรุปผล

ในการดำเนินการกิจกรรมคัดแยกขยะมีขอบเขตระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2565 ถึง 30 กันยายน 2566 โดยจะทำการรวบรวม ชั่งน้ำหนักขยะทุก ๆ วันศุกร์ของแต่ละอาทิตย์ พบว่า มีขยะที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ทั้งหมด 26,150.12 กิโลกรัมต่อปี เมื่อนำมาคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจกจากเอกสาร LESS-WM-01-version 06 ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล จึงพบว่าสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 103,111.98 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

เอกสารอ้างอิง

1. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, “คู่มือการพัฒนากิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก LESS”,องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2562.

การประเมินกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจกโดยกิจกรรมการคัดแยกขยะพลาสติก ในอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง

Evaluation of Greenhouse Gas Reduction Activities through Plastic Waste Sorting in Thung Salaeng Luang National Park

อัศญากร คุ้มเกิด[1*]

Assayakon Khumkeid[1*]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันภาวะโลกร้อนมีความทวีคูณและรุนแรงขึ้นส่งผลต่อทั้งมนุษย์และสภาพแวดล้อมต่างๆ มหาวิทยาลัยซิดนีย์ ประมาณการณ์การเกิดภาวะเรือนกระจกจากการท่องเที่ยวใน 160 ประเทศพบว่า อุตสาหกรรมท่องเที่ยวนั้นปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ราว ๆ 4.5 กิกะตัน หรือราว ๆ 4,500 ล้านตันในแต่ละปี คิดเป็น 8% ของก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่บรรยากาศโลก อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวงเป็นหนึ่งในแหล่งท่องเที่ยวที่ร้านค้าสวัสดิการ และสิ่งอำนวยความสะดวกสบายให้นักท่องเที่ยวจึงได้เห็นถึงความสำคัญของการท่องเที่ยวอย่างรับผิดชอบเพื่อรองรับการท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ จึงได้ดำเนินการโครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก(LESS) ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล พบว่า อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวงมีขยะรีไซเคิลทั้งหมด 395.80 กิโลกรัมต่อปี เมื่อนำไปคำนวณกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก พบว่า สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ทั้งหมด 408 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

คำสำคัญ: โครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก (LESS), การคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล

[1] อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง ตำบลบ้านแยง อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก 65120

[1] Thung Salaeng Luang National Park, Baan yang Subdistrict, Nakhonthai District, Phitsanulok, 65120

* Corresponding author e-mail: banpak025795269@gmail.com

Abstract

At present, global warming is increasing and intensifying, impacting both humans and the environment. According to estimates from the University of Sydney on the greenhouse effect caused by tourism in 160 countries, the tourism industry emits approximately 4.5 gigatons of carbon dioxide, equivalent to about 4,500 million tons each year, contributing to 8% of greenhouse gases released into the world's atmosphere. Thung Salaeng Luang National Park, as one of the tourist attractions, is equipped with welfare shops and comfortable facilities to emphasize the importance of responsible tourism in supporting net-zero carbon tourism. Consequently, a project was implemented to support activities aimed at reducing greenhouse gases (LESS) through waste management practices, including waste separation for recycling. The findings revealed that Thung Salaeng Luang National Park produces a total of 395.80 kilograms of recycled waste per year. When calculating the impact on greenhouse gas reduction activities, it was determined that a total of 408 kilograms of carbon dioxide equivalent per year could be reduced.

Keywords: Low Emission Support Scheme (LESS), Sorting waste for recycling

บทนำ

ปัจจุบันภาวะโลกร้อนมีความทวีคูณและรุนแรงขึ้นส่งผลต่อทั้งมนุษย์และสภาพแวดล้อมต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ที่เราเห็นได้คือ ธารน้ำแข็งที่กำลังละลาย น้ำแข็งขั้วโลกละลาย ปะการังที่กำลังตาย ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น และคลื่นความร้อนที่ทำให้ถึงแก่ความตายได้

มหาวิทยาลัยซิดนีย์ ประมาณการณ์การเกิดภาวะเรือนกระจกจากการท่องเที่ยวใน 160 ประเทศพบว่า อุตสาหกรรมท่องเที่ยวนั้น ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ราว ๆ 4.5 กิกะตัน หรือราว ๆ 4,500 ล้านตันในแต่ละปี คิดเป็น 8% ของก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่บรรยากาศโลก และยังพบว่าการปล่อยรอยเท้าคาร์บอน หรือ Carbon Footprint ของอุตสาหกรรมท่องเที่ยวนั้นมีประมาณเพิ่มอย่างรวดเร็ว จาก 3.9 กิกะตันสู่ 4.5 กิกะตันในปี 2013 และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต โดยมาลิคคาดการณ์ว่าหากสถานการณ์ยังเป็นแบบนี้ รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการท่องเที่ยวในปี 2025 อาจมีค่าสูงถึง 6.5 กิกะตันเลยทีเดียว

อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวงเป็นหนึ่งในแหล่งท่องเที่ยวที่ร้านค้าสวัสดิการ และสิ่งอำนวยความสะดวกสบายให้นักท่องเที่ยวจึงได้เห็นถึงความสำคัญของการท่องเที่ยวอย่างรับผิดชอบเพื่อรองรับการท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์

วิธีการศึกษา

การดำเนินการโครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก (LESS) ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล มีขั้นตอนและการดำเนินงาน ดังนี้

1.การเก็บรวบรวมข้อมูล ขั้นตอนการดำเนินการการเก็บข้อมูลด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล โดยทางอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวงได้ดำเนินกิจกรรมส่งเสริมการคัดแยกขยะโดยการตั้งถังขยะที่มีถังแยกขยะไว้ตามจุดต่างๆ ในอุทยาน และติดป้ายสร้างจิตสำนึกให้นักท่องเที่ยว และเจ้าหน้าที่ในอุทยานแห่งชาติ

ทุ่งแสลงหลวง ช่วยกันคัดแยกขยะ ในการดำเนินการกิจกรรมคัดแยกขยะมีขอบเขตระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2565 ถึง 30 กันยายน 2566 โดยจะทำการรวบรวม ชั่งน้ำหนักขยะทุกๆ วันศุกร์ของแต่ละอาทิตย์

2.การวิเคราะห์ข้อมูล คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก (LESS) ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล โดยคำนวนจากเอกสาร LESS-WM-01-version 06 ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล

ผลการศึกษา

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลโครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก (LESS) ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล ขอบเขตระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2565 ถึง 30 กันยายน 2566 จากการเก็บรวบรวม พบว่า ขยะที่คัดแยกเพื่อรีไซเคิลได้มีเพียงขวดพลาสติก ซึ่งในขอบเขตเวลาที่เก็บข้อมูล มีขวดพลาสติกทั้งหมด 395.80 กิโลกรัม/ปี ซึ่งมาจากนักท่องเที่ยวและเจ้าหน้าที่ในอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง

ตารางที่ 1 ข้อมูลขยะ

เดือน	พลาสติก (กิโลกรัม)
ต.ค.	45.20
พ.ย.	22.00
ธ.ค.	49.50
ม.ค.	25.70
ก.พ.	102.80
มี.ค.	42.00
เม.ย.	62.80
พ.ค.	18.90
มิ.ย.	9.30
ก.ค.	13.30
ส.ค.	3.90
ก.ย.	0.40
รวม	**395.80**

จากขวดพลาสติก 395.8 กิโลกรัมต่อปี สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 408 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/เทียบเท่า/ปี

อภิปรายและสรุปผล

ในการดำเนินการกิจกรรมคัดแยกขยะมีขอบเขตระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2565 ถึง 30 กันยายน 2566 โดยจะทำการรวบรวม ชั่งน้ำหนักขยะทุกๆวันศุกร์ของแต่ละอาทิตย์ พบว่า มีขยะที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ทั้งหมด 395.80 กิโลกรัมต่อปี เมื่อนำมาคำนวนการลดก๊าซเรือนกระจกจากเอกสารLESS–WM–01–version 06 ด้านการจัดการของเสียด้วยการคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล จึงพบว่าสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 408 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

เอกสารอ้างอิง

1. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, “คู่มือการพัฒนากิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก LESS”,องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2562.

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน

Carbon Footprint for Organization and Sustainability: The Case Study of Thamlung khunnamnangnon nationalpark

ชลกนก เขื่อนเพชร[1*] และ สุชาภัสร์ คงทอง[1]

Chonkanok Khueanphet[1*] and Suchaphat kongthong[1]

บทคัดย่อ

การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน ตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยจำแนกเป็น 3 ขอบเขต ได้แก่ ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซ เรือนกระจกทางตรง ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้องค์กรใช้เป็นฐานข้อมูลในวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรและการปล่อยมลพิษสู่สภาวะแวดล้อม และสามารถนำผลไปใช้เพื่อการวางแผนจัดการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต โดยผลการศึกษาพบว่า การดำเนินงานของอุทยานแห่งชาติที่ก่อให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่าประเภท 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของทั้ง 2 อุทยานฯ มีปริมาณการมากที่สุดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด และกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่ 3 ประเภทที่ 1 ก่อให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรองลงมาตามลำดับ

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์, อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน

[1] อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง – ขุนน้ำนางนอน ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 57130

[1] Thamluang – khunnam nangnon National Park, Pongpha Subdistrict, Mae sai District, Chiang rai, 57130

* Corresponding author: Thamluang.nangnoncave@gmail.com

Abstract

Creating an organization's carbon footprint: Case study – Tham Luang – Khun Nam Nang Non National Park. According to the guidelines of the Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), the carbon footprint is classified into three scopes: Scope 1, which represents direct greenhouse gas emissions; Scope 2, encompassing indirect greenhouse gas emissions from the use of electrical energy; and Scope 3, covering other indirect greenhouse gas emissions. The purpose of this classification is to provide organizations with a comprehensive database for analyzing resource use and pollutant emissions into the environment. The results derived from this analysis can then be utilized for management planning to reduce greenhouse gas emissions in the future. The study revealed that the operations of the national parks contribute to the overall greenhouse gas emissions. Type 2 greenhouse gas emissions, stemming from energy use in both national parks, were found to be the highest among all greenhouse gas emissions. Additionally, Category 3 Greenhouse Gas Emission Activities and Category 1 were identified as the next highest contributors to greenhouse gas emissions, respectively.

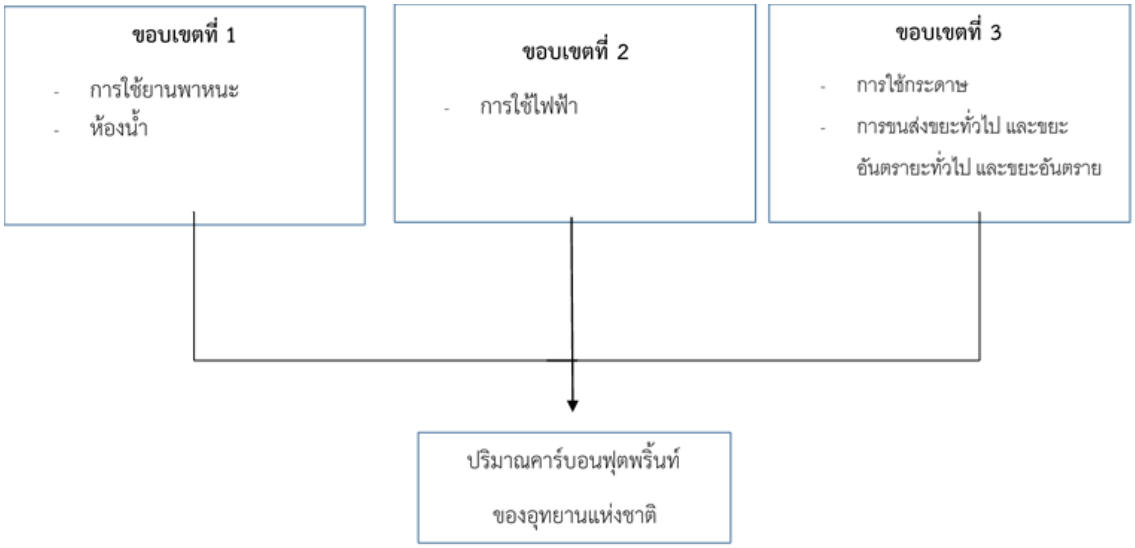
Keywords: Carbon footprint, Thamluang – khunnam nangnon National Park

บทนำ

ในปัจจุบันเริ่มมีการตระหนักถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้หลายประเทศ ได้ให้ความสำคัญกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) โดยเฉพาะพื้นที่อุทยานแห่งชาติ ซึ่งปริมาณรวมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ ที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยแหล่งกำเนิดของก๊าซดังกล่าวมาจากกิจกรรมต่างๆ การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization หรือ Corporate Carbon Footprint: CCF) เป็นวิธีการประเภทหนึ่งในการแสดงข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการดำเนินงานขององค์กร อันจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการอุทยานแห่งชาติ เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน โดยแนวคิดการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO หรือ Corporate Carbon Footprint: CCF) เป็นวิธีการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยหรือดูดกลับจาก กิจกรรมต่างๆ ขององค์กร เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การจัดการของเสีย และการขนส่ง และ คำนวณออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยการพิจารณาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร คำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission and removals) ที่เกิดจากกิจกรรมของอุทยานแห่งชาติ โดยแบ่งกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานขององค์กรไว้ 3 ขอบเขต คือการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงของอุทยานแห่งชาติ การปล่อยและดูดกลับก๊าซ เรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ซึ่งการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรทำให้อุทยานแห่งชาติทราบข้อมูลพื้นฐาน และทราบจุดที่จะลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกทีเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของอุทยานแห่งชาติซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายและช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วิธีการศึกษา

การศึกษาเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน ผู้ศึกษาได้วิเคราะห์ ข้อมูลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอุทยานแห่งชาติ ในปี2566 ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการศึกษา ดังนี้



3.2 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน ผู้ศึกษาวิเคราะห์ ศึกษาข้อมูลจากหลักฐานการจัดซื้อ การเบิกจ่าย ใบเสร็จค่าไฟ/ค่าน้ำ ของอุทยานแห่งชาติในปี 2566 ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ซึ่งจัดทำโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซ เรือนกระจก (องค์การมหาชน) ประกอบด้วย ขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การกำหนดขอบเขตของอุทยานแห่งชาติ (2) การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน และ (3) การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดขอบเขตอุทยานแห่งชาติ

– พื้นที่อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน

2. การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน

– ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงของอุทยานแห่งชาติ ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การใช้รถยนต์สำนักงาน (Desel) ห้องน้ำ (ระบบ Septic Tank) เป็นต้น

– ประเภทที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานของอุทยานแห่งชาติ ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยอ้อมจากการใช้พลังงานที่ถูกนำมาจากภายนอก เพื่อใช้งานภายในอุทยานฯ ประกอบด้วย การใช้ไฟฟ้า

– ประเภทที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ นอกเหนือจากที่ระบุในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ประกอบด้วย การใช้น้ำประปา การใช้กระดาษ และการขนส่งของเสียไปกำจัด

3. การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

ผู้ศึกษาใช้วิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยได้หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยวิธีการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในองค์กรคูณกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การใช้รถยนต์สำนักงาน (Diesel) แสดงผลให้อยู่ในรูปของมวล (ตันหรือกิโลกรัม) คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO2 Equivalent) ตามสูตรดังนี้

CO2 Emission = Activity data × Emission factor

Activity dataเป็นข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Emission factor เป็นค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยน (KgCO2e)

Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้ศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลจากข้อมูลทุติยภูมิมีรายละเอียดดังนี้

1) การเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร โดยการศึกษาค้นคว้าแนวคิดและทฤษฎีจากหนังสือ วารสาร วิทยานิพนธ์และรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งข้อมูลจากเครือข่ายอินเตอร์เน็ตที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ

2) เก็บรวบรวมข้อมูลจากหลักฐานขององค์กร คือ หลักฐานการจัดซื้อ เอกสารการเบิกจ่าย ใบเสร็จ หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

CO2 Emission = Activity data × Emission factor

Activity dataเป็นข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Emission factor เป็นค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยน (KgCO2e)

Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการศึกษา

จากการศึกษาเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และได้เสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างยั่งยืน โดยมีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

1.การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมประเภทที่ 1

<u>อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน</u>

พบว่า การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมจากกิจกรรมประเภทที่ 1 มีค่าเท่ากับ 35.81 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมาจากการใช้น้ำมันดีเซลในยานพาหนะขององค์กร (Diesel) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 68.65 ห้องน้ำ (ระบบ Septic Tank) คิดเป็นร้อยละ 31.44

2. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมประเภทที่ 2

อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน

พบว่า จากการใช้ไฟฟ้าของบริษัทมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 397 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

3. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมประเภทที่ **3**

อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน

พบว่า การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมจากกิจกรรมประเภทที่ 3 มีค่าเท่ากับ 62.24 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

อภิปรายและสรุปผล

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของ อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน พบว่า การดำเนินงานของอุทยานแห่งชาติ ก่อให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่า ประเภท 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของอุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน มีปริมาณการมากที่สุดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด เนื่องจากในพื้นที่อุทยานแห่งชาติทั้ง 2 แห่ง มีอัตราการใช้ไฟฟ้าที่มาก เช่น บ้านพักนักท่องเที่ยว บ้านพักเจ้าหน้าที่ สำนักงานที่ทำการอุทยานฯ แหล่งท่องเที่ยวภายในอุทยานฯ เป็นต้น และกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่ 3 ประเภทที่ 1 ก่อให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรองลงมาตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่ 2 ของอุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน เนื่องจากมีปริมาณมากที่สุดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนะแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก การใช้ไฟฟ้าของอุทยานฯ ดังนี้

1. การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีสัญลักษณ์ประหยัดไฟเบอร์5 การเลือกเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดไฟเบอร์5 เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะช่วยประหยัดพลังงาน

2. การรณรงค์การประหยัดไฟในองค์กร เช่น ติดสติ๊กเกอร์ประชาสัมพันธ์จัดบอร์ดนิทรรศการหรือให้ความรู้โดยการจัดอบรม เป็นต้น เพื่อให้พนักงานมีส่วนร่วม ในการช่วยกันประหยัดพลังงานขององค์กร

3. เปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานมานาน หรือเสื่อมสภาพแทนวิธีการซ่อมบำรุง

เอกสารอ้างอิง

บุญญิศา บัวเผื่อน (2563). **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา บริษัท บีเอ็มทีเอเชีย จำกัด.** สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

ฐิติกร หมายมั่น และคณะ (2561). **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย.**

จิตลดา หมายมั่น และคณะ (2560). **คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร.**

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ–ปุย

Carbon Footprint for Organization and Sustainability: The Case Study of Doisutheppui nationalpark

สุรเชษฐ์ พินิจงาม[1*]

Surachet Pinitngamt[1*]

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเริ่มมีการตระหนักถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้หลายประเทศ ได้ให้ความสำคัญกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) โดยเฉพาะพื้นที่อุทยานแห่งชาติ โดยอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ–ปุย การจัดทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ตามแนวทางของข้อกำหนดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน),2564) โดยมีทั้งหมด 3 ขอบเขต ขอบเขตที่ 1 คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง ขอบเขตที่ 2 คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง การใช้ไฟฟ้าทางตรง ขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ จากการศึกษา พบว่า กิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดที่ คือกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากไฟฟ้าสายส่ง ซึ่งอยู่ในในขอบเขตที่ 2 โดยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 653 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์, อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ–ปุย

Abstract

Nowadays, there is growing awareness of the impacts of climate change, prompting many countries to prioritize the assessment of Carbon Footprint, particularly in national park areas. Doi Suthep–Pui National Park has undertaken a study on the organization's carbon footprint in accordance with the guidelines outlined by the Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) in 2021. The carbon footprint assessment involves three scopes. Scope 1 encompasses direct greenhouse gas emissions, Scope 2 involves indirect greenhouse gas emissions from electricity use, and Scope 3 includes other indirect greenhouse gas emissions. The study revealed that the most significant contributor to greenhouse gas emissions is the activity involving the release of greenhouse gases from electricity transmission lines, falling under Scope 2. The total greenhouse gas emissions from this activity amount to 653 tons of carbon dioxide equivalent.

1 อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ–ปุย ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

[1] Doi Inthanon National Park, Suthep Subdistrict, Mueang District Chiangmai, 50200

* Corresponding author: Doisutheppui@gmail.com

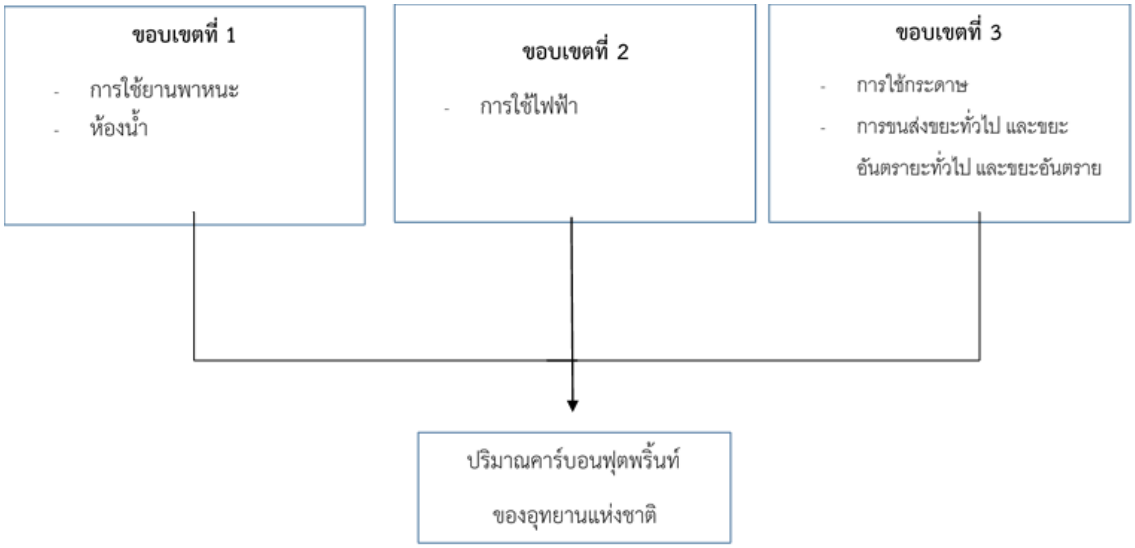
Keywords: Carbon footprint, Doisutheppui nationalpark

บทนำ

ในปัจจุบันเริ่มมีการตระหนักถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้หลายประเทศ ได้ให้ความสำคัญกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) โดยเฉพาะพื้นที่อุทยานแห่งชาติ ซึ่งปริมาณรวมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ ที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยแหล่งกำเนิดของก๊าซดังกล่าวมาจากกิจกรรมต่างๆ การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization หรือ Corporate Carbon Footprint: CCF) เป็นวิธีการประเภทหนึ่งในการแสดงข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการดำเนินงานขององค์กร อันจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการอุทยานแห่งชาติ เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน โดยแนวคิดการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO หรือ Corporate Carbon Footprint: CCF) เป็นวิธีการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยหรือดูดกลับจาก กิจกรรมต่างๆ ขององค์กร เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การจัดการของเสีย และการขนส่ง และ คำนวณออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยการพิจารณาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร คำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission and removals) ที่เกิดจากกิจกรรมของอุทยานแห่งชาติ โดยแบ่งกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานขององค์กรไว้ 3 ขอบเขต คือการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงของอุทยานแห่งชาติ การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ซึ่งการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรทำให้อุทยานแห่งชาติทราบข้อมูลพื้นฐานและทราบจุดที่จะลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของอุทยานแห่งชาติซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่าย และช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วิธีการศึกษา

การศึกษาเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน ผู้ศึกษาได้วิเคราะห์ ข้อมูลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอุทยานแห่งชาติ ในปี 2566 ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการศึกษา ดังนี้



1 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร อุทยานแห่งชาติถ้ำหลวง–ขุนน้ำนางนอน ผู้ศึกษาวิเคราะห์ ศึกษาข้อมูลจากหลักฐานการจัดซื้อ การเบิกจ่าย ใบเสร็จค่าไฟ/ค่าน้ำ ของอุทยานแห่งชาติในปี 2566 ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ซึ่งจัดทำโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซ เรือนกระจก (องค์การมหาชน) ประกอบด้วย ขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การกำหนดขอบเขตของอุทยานแห่งชาติ (2) การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน และ (3) การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

1) การกำหนดขอบเขตอุทยานแห่งชาติ

– พื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ–ปุย

2) การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน

– ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การใช้รถยนต์สำนักงาน (Desel) ห้องน้ำ (ระบบ Septic Tank) เป็นต้น

– ประเภทที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยอ้อมจากการใช้พลังงานที่ถูกนำมาจากภายนอก เพื่อใช้งานภายในอุทยานฯ ประกอบด้วย การใช้ไฟฟ้า

– ประเภทที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ

3) การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

ผู้ศึกษาใช้วิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยได้หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยวิธีการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในองค์กรคูณกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การใช้รถยนต์สำนักงาน (Diesel) แสดงผลให้อยู่ในรูปของมวล (ตันหรือกิโลกรัม) คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 Equivalent) ตามสูตรดังนี้

CO_2 Emission = Activity data × Emission factor

Activity dataเป็นข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Emission factor เป็นค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยน ($KgCO_2e$)

Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้ศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลจากข้อมูลทุติยภูมิมีรายละเอียดดังนี้

1) การเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร โดยการศึกษาค้นคว้าแนวคิดและทฤษฎีจากหนังสือ วารสาร วิทยานิพนธ์และรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งข้อมูลจากเครือข่ายอินเตอร์เน็ตที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ

2) เก็บรวบรวมข้อมูลจากหลักฐานขององค์กร คือ หลักฐานการจัดซื้อ เอกสารการเบิกจ่าย ใบเสร็จ หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

CO_2 Emission = Activity data × Emission factor

Activity dataเป็นข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Emission factor เป็นค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยน ($KgCO_2e$)

Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการศึกษา

จากการศึกษาเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ–ปุย ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และได้เสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างยั่งยืน โดยมีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

1.การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมประเภทที่ 1

<u>อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ –ปุย</u>

พบว่า การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมจากกิจกรรมประเภทที่ 1 มีค่าเท่ากับ 56.41 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมาจากการใช้น้ำมันดีเซลในยานพาหนะขององค์กร (Diesel) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 74.86 ห้องน้ำ (ระบบ Septic Tank) คิดเป็นร้อยละ 25.14

2. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมประเภทที่ 2

<u>อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ –ปุย</u>

พบว่า จากการใช้ไฟฟ้าของบริษัทมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 653 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

3. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมประเภทที่ 3

<u>อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ –ปุย</u>

พบว่า การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมจากกิจกรรมประเภทที่ 3 มีค่าเท่ากับ 84.24 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

อภิปรายและสรุปผล

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของ อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ –ปุย พบว่า การดำเนินงานของอุทยานแห่งชาติ ก่อให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่า ประเภท 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของทั้ง 2 อุทยานฯ มีปริมาณการมากที่สุดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด เนื่องจากในพื้นที่อุทยานแห่งชาติทั้ง 2 แห่ง มีอัตราการใช้ไฟฟ้าที่มาก เช่น บ้านพักนักท่องเที่ยว บ้านพักเจ้าหน้าที่ สำนักงานที่ทำการอุทยานฯ แหล่งท่องเที่ยวภายในอุทยานฯ เป็นต้น และกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่ 3 ประเภทที่ 1 ก่อให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรองลงมาตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่ 2 ของอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ –ปุย เนื่องจากมีปริมาณมากที่สุดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนะแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก การใช้ไฟฟ้าของอุทยานฯ ดังนี้

1. การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพราะเล็งเห็นแล้วว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะช่วยองค์กรประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากซึ่งคุ้มค่าแก่การลงทุน

2. การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นแบบ LED โดยมีข้อดีหลายด้าน เช่น ไม่มีความร้อน เพราะไม่มีการเผาไส้หลอด ใช้วัตน์น้อย ทำให้ประหยัดไฟได้สูง จึงควรหันมาใช้หลอดไฟ LED แทน หลอดไฟฟ้าทั่วไป

3. การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีสัญลักษณ์ประหยัดไฟเบอร์5 การเลือกเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดไฟเบอร์5

4. การรณรงค์การประหยัดไฟในองค์กร เช่น ติดสติ๊กเกอร์ประชาสัมพันธ์จัดบอร์ดนิทรรศการหรือให้ความรู้โดยการจัดอบรม เป็น

5. เปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานมานาน หรือเสื่อมสภาพแทนวิธีการซ่อมบำรุง

เอกสารอ้างอิง

บุญญิศา บัวเผื่อน (2563). **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา บริษัท บีเอ็มทีเอเชีย จำกัด.** สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

ฐิติกร หมายมั่น และคณะ (2561). **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย.**

จิตลดา หมายมั่น และคณะ (2560). **คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร.**

บุญญิศา บัวเผื่อน (2563). **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา บริษัท บีเอ็มทีเอเชีย จำกัด.** สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

ฐิติกร หมายมั่น และคณะ (2561). **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย.**

ขับเคลื่อนอุทยานแห่งชาติภูซางไปสู่องค์กรก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์

Driving Phu Sang National Park towards a net-zero greenhouse gas organization

สมชาย อินเป็ง [1*], บันทม สมสุวรรณ และสุธรรม อาดนนท์ลา[1]

Somchay Inpang[1*], Buntom Somsuwan[1] and Sutham Ardnonla[1]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันกิจกรรมในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สู่ชั้นบรรยากาศ ไม่ว่าจะเป็นการใช้พลังงาน ของเสีย การขาดจิตสำนึกในการใช้ทรัพยากร ไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบที่กำหนดไว้ ทำให้พื้นที่สีเขียวที่เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนลดน้อยลง โลกจึงเผชิญหน้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) อุทยานแห่งชาติภูซางเป็นอีกองค์กรหนึ่งที่เห็นความสำคัญในการลดก๊าซเรือนกระจก จึงได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบการดำเนินการนำกิจกรรมต่างๆ อันนำไปสู่การลดเกิดก๊าซเรือนกระจก ได้แก่มาตรการด้านลดการใช้พลังงาน ด้านการลดขยะน้ำเสีย ด้านการสร้างจิตสำนึกและผลักดันไปสู่การปฏิบัติของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้แก่นักท่องเที่ยว เจ้าหน้าที่ ประชาชนทั่วไป รวมถึงเยาวชนยุวชนในพื้นที่ รวมถึงการเพิ่มพื้นที่สีเขียวทั้งในพื้นที่รับผิดชอบและพื้นที่ชุมชนโดยรอบ เพื่อนำไปสู่องค์กรก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์

คำสำคัญ: Net Zero

Abstract

At present, daily human activities contribute to greenhouse gas emissions into the atmosphere. These emissions result from various factors such as energy use, improper waste disposal, and a lack of awareness in resource utilization. Non-compliance with established rules further exacerbates the issue, leading to a reduction in green spaces, which serve as vital carbon storage sources. Consequently, the world is grappling with climate change. Recognizing the importance of reducing greenhouse gases, Phu Sang National Park has reshaped its approach to various activities. This transformation aims to curtail greenhouse gas emissions by implementing measures to reduce energy consumption and minimize wastewater waste. Additionally, efforts are being made to raise awareness and prompt action among all stakeholders, including tourists, officials, the general public, and the youth in the area. This involves not only the creation of awareness but also practical steps, such as increasing green spaces within the park's responsibility and surrounding community areas. The ultimate goal is to transform into a net-zero greenhouse gas organization.

Keywords: Net Zero

[1] อุทยานแห่งชาติภูซาง 146 ตำบล ภูซาง อำเภอ ภูซาง พะเยา 56110

[1] Phu Sang National Park, 146 Phu Sang Subdistrict, Phu Sang District, Phayao, 56110

* Corresponding author: phusang.np@hotmail.co.th

บทนำ

ปัจจุบันโลกเผชิญหน้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวและไม่สามารถคาดการณ์ได้ ผลพวงที่ตามมามักเป็นรูปแบบของภัยธรรมชาติ โดยในปัจจุบันมีความรุนแรงและมีความถี่เพิ่มมากยิ่งขึ้น เช่น น้ำท่วมฉับพลัน พายุจากลมมรสุมต่าง ๆ ฝนกรดกัดกร่อนสถาปัตยกรรม ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้คน เป็นต้น อีกหนึ่งสาเหตุที่มีความสัมพันธ์กันกับ Climate Change นั่นก็คือ ภาวะโลกร้อน (Global Warming) เกิดจากกิจกรรมในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ ภายในอุทยานแห่งชาติภูซาง มีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอน หลายกิจกรรม ดังนั้นการที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว ภายในอุทยานฯ ต้องปรับปรุงกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนให้ลดลงให้มากที่สุด หรือเท่ากับศูนย์

วิธีการศึกษา

อุปกรณ์ และวิธีการ

1. ด้านการใช้พลังงาน

- ลดการใช้พลังงานโดยปิดหลอดไฟทุกครั้งที่หลังเลิกใช้งาน
- กำหนดช่วงเวลาเปิดปิด เครื่องปรับอากาศ และปรับอุณหภูมิ ไม่น้อยกว่า 26 องศาเซลเซียส และเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 และเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าให้มีกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม
- เปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอด LED และระบบโซล่าเซลล์
- ใช้ยานพาหนะให้เหมาะสมกับภารกิจ
- ตรวจเช็คสภาพเครื่องยนต์ให้อยู่ในสภาพปกติเป็นประจำ
- ใช้พลังงานทดแทน

2. ด้านการจัดการขยะและน้ำเสีย

- คัดแยกขยะ โดยจัดทำถังขยะแยกประเภท เช่น ขยะรีไซเคิล ขยะอินทรีย์ ขยะทั่วไป ขยะมีพิษ เป็นต้น
- กำจัดขยะอย่างถูกวิธี เช่น ขยะอินทรีย์ ใช้ทำปุ๋ยหมัก ขยะรีไซเคิล นำไปจำหน่าย หรือรีไซเคิล
- ใช้กระดาษในสำนักงานโดยการใช้กระดาษ 2 หน้า เพื่อลดการเกิดขยะ
- มีการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น บ่อดักไขมัน ติดตั้งถังไบโอเซฟภายในอาคาร
- ใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ ที่ได้รับเครื่องหมาย คาร์บอนฟุตปริ้นท์

3. ด้านการสร้างจิตสำนึก

- กำหนดนโยบาย ระเบียบ ข้อปฏิบัติแก่เจ้าหน้าที่ นักท่องเที่ยว ในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก ให้ความรู้แก่เจ้าหน้าที่ นักเรียน นักศึกษา นักท่องเที่ยว และประชาชนทั่วไป
- ส่งเสริมกิจกรรมการลดการเกิดขยะในอุทยานฯ แก่เจ้าหน้าที่อุทยานฯ ผู้ประกอบการ นักท่องเที่ยว เช่น โครงการขยะคืนถิ่น การใช้ภาชนะที่ทำมาจากธรรมชาติ

4. สร้างแหล่งกักเก็บคาร์บอน

- ส่งเสริมการปลูกพืชยืนต้นในพื้นที่ตามมาตรา 64 และในพื้นที่ชุมชน

- ส่งเสริมปลูกฟื้นฟูป่าของภาคเอกชน เพื่อสร้างคาร์บอนเครดิต
- ป้องกันแก้ไข ปัญหาไฟป่าในพื้นที่

ผลการศึกษา

ตามแนวทางการดำเนินงานตามมาตรการการขับเคลื่อนอุทยานแห่งชาติภูซาง ไปสู่ องค์กรก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ภายในระยะเวลา 5 ปี

1. ด้านการใช้พลังงาน ตามแผนการใช้พลังงานสามารถลดการใช้พลังงานฟ้าได้ประมาณร้อยละ 20

2. ด้านการจัดการขยะและน้ำเสีย ขยะที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ลดลง ไม่มีขยะตกค้างในแหล่งท่องเที่ยว นักท่องเที่ยวทิ้งขยะในถังขยะถูกประเภท

3. ด้านการสร้างจิตสำนึก เจ้าหน้าที่ นักท่องเที่ยว และประชาชน ทั่วไป เข้าร่วมกิจกรรมและมีความเข้าใจร่วมมือในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก

4. มีพื้นที่ป่าเพิ่มมากขึ้น เพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซเรือนกระจก

สรุปผลการวิจัย

การขับเคลื่อนอุทยานแห่งชาติภูซาง ไปสู่ องค์กรก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ โดยดำเนินการตาม วิธีการ ลดการใช้พลังงาน การจัดการขยะและน้ำเสีย การสร้างจิตสำนึก และการสร้างแหล่งกักเก็บคาร์บอนเครดิต สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้จากกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นในองค์กร โดยความร่วมมือของเจ้าหน้าที่ นักท่องเที่ยว และประชาชนทั่วไป และสามารถเป็นแบบอย่าง แก่องค์กรต่างๆ ในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์

เอกสารอ้างอิง

Internet; Techsauce Team 26 มกราคม 2023 เรื่อง **คาร์บอนฟุตปริ้นคืออะไร.**

Internet; กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม 13 พฤษภาคม 2022 เรื่อง **การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน.**

การคัดแยกขยะคืนถิ่น เพื่อสร้างจิตสำนึกอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในอุทยานแห่งชาติ

Sorting waste within the local area helps create awareness of environmental conservation in national parks

เพ็ญพร วรรณพรม [1*]

Penporn wanprom[1*]

บทคัดย่อ

ขยะคืนถิ่น เกิดจากสิ่งของ เครื่องใช้บรรจุภัณฑ์ต่างๆ รวมถึงอาหารที่นักท่องเที่ยวนำเข้ามาในอุทยานแห่งชาติ แล้วกลายเป็นขยะ เมื่อถึงเวลากลับนักท่องเที่ยวต้องนำขยะเหล่านั้นมาคืนยังจุดบริการที่ได้มัดจำไว้ โดยบัตรประชาชน จากนั้นจะมีการคำนวนปริมาณขยะจากการชั่งขยะทั้งหมดแล้วจัดเก็บข้อมูล เพื่อใช้ประโยชน์จากสถิติปริมาณขยะที่เกิดขึ้น ขยะที่มีการนำมาคืนจะมีการนำไปกำจัดโดยเตาเผาขยะในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ การประชาสัมพันธุ์ของเจ้าหน้าที่ มีส่วนสำคัญที่จะทำให้นักท่องเที่ยวเกิดจิตสำนึกในการช่วยคัดแยกขยะหรือจัดการขยะที่นำมา รวมถึงการขอความร่วมมือจากนักท่องเที่ยวงดประกอบอาหารในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ ซึ่งจะเป็นการลดการนำเข้าสิ่งของหรือบรรจุภัณฑ์ที่จะกลายเป็นขยะได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: จิตสำนึก

Abstract

Returned garbage is a result of various items, including packaging and appliances. This encompasses food brought by tourists into national parks, which eventually becomes waste. When it's time to leave, tourists are required to return the garbage to the designated service point where they initially made a deposit, identified by their ID card. The amount of waste is then calculated by weighing all garbage and recording the information to generate statistics on the waste generated. The waste returned will be disposed of at an incinerator within the national park. Public relations efforts by officials are crucial in informing tourists about how to effectively separate and manage the garbage they generate. This includes requesting cooperation from tourists to avoid cooking food in the national park area, significantly reducing the introduction of items or packaging that may become waste.

Keywords: Conscious mind

[1] อุทยานแห่งชาติดอยขุนตาล ตำบลทาปลาดุก อำเภอแม่ทา ลำพูน 51140

[1] Doi Khun Tan National Park, Thapladuk Subdistrict, Mae Tha District Lumphun, 56000

* Corresponding author: doikhuntan@gmail.com

บทนำ

อุทยานแห่งชาติ เป็นแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่มีนักท่องเที่ยวเข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก มีทั้งแบบไป – กลับ และพักค้างคืน โดยเฉพาะนักท่องเที่ยวที่พักค้างคืนโดยการกางเต้นท์ในลานพักแรม ที่ต้องมีการเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์การนอนและอาหาร หากอุทยานแห่งชาติไม่มีแผนการจัดการขยะที่จะเกิดขึ้น อาจทำให้เกิดปัญหาขยะตกค้าง ซึ่งการคัดแยกขยะตามประเภทต่าง ๆ เป็นเรื่องที่นักท่องเที่ยวสามารถทำได้ด้วยตัวเอง ขยะคืนถิ่นอาจเป็นไปได้ไม่ยากหากต้องให้นักท่องเที่ยวนำขยะกลับบ้านไปด้วย

วิธีการศึกษา

อุปกรณ์และวิธีการ

การประชาสัมพันธ์และการแนะนำข้อมูลของเจ้าหน้าที่มีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้นักท่องเที่ยวเข้าใจในนโยบายหรือการบริหารจัดการในเรื่องขยะ ซึ่งขั้นตอนของขยะคืนถิ่นเมื่อนักท่องเที่ยวเข้าสู่เส้นทางแหล่งท่องเที่ยวต้องมีการลงทะเบียนจำนวนสิ่งของ บรรจุภัณฑ์หรืออาหารที่นักท่องเที่ยวนำมาโดยวางมัดจำด้วยบัตรประชาชนและรับถุงขยะ เมื่อนักท่องเที่ยวนำขยะมาคืนจะมีการนำขยะไปชั่ง เพื่อเก็บข้อมูลสถิติการเกิดขยะกับจำนวนนักท่องเที่ยว จากการจัดเก็บข้อมูลปริมาณขยะตั้งแต่ 21 มิ.ย. 2511 – 31 ก.ค. 2566

ผลการศึกษา

ตารางที่ 1 ผลการศึกษา

เดือน	จำนวนนักท่องเที่ยว	ขยะทั้งหมด	ขยะอันตราย	ขยะรีไซเคิล	ขยะทั่วไป
มิถุนายน	385	543.9	367.5	29.4	147
กรกฎาคม	1942	2242.2	2525	121.2	606

อภิปรายและสรุปผล

จะเห็นได้ว่าปริมาณขยะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับจำนวนนักท่องเที่ยวที่เข้ามาใช้บริการ ถึงแม้ว่าจะมีการประชาสัมพันธ์รณรงค์ขอความร่วมมืองดการนำเข้าบรรจุภัณฑ์โฟมทุกชนิด หรืองดนำเข้าพลาสติกชนิดใช้ครั้งเดียวทิ้ง ปัญหาขยะยังเป็นเรื่องยากในการบริหารจัดการเพราะแม้แต่อุทยานแห่งชาติก็ยังมีการใช้หรือนำเข้าบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดใช้ครั้งเดียวทิ้ง

ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เส้นทางการท่องเที่ยวเชิงคาร์บอนต่ำ กรณีศึกษา:อุทยานธรณีโลกสตูล

Evaluate the carbon footprint of low-carbon tourism routes. Case study: Satun Global Geopark

วรินธร วิริยะไชยกุล[1*]

Varintorn Viriyachaikul[1*]

บทคัดย่อ

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เส้นทางการท่องเที่ยวเชิงคาร์บอนต่ำ กรณีศึกษา:อุทยานธรณีโลกสตูล เป็นสิ่งสำคัญและจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาแหล่งทรัพยากรการท่องเที่ยวให้มีความยั่งยืน สู่ทุกภาคส่วนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับอุทยานธรณี (Geopark) ในการวางแผนที่จะทำให้อุทยานธรณีโลกยูเนสโกเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันด้านการท่องเที่ยว จากการวิจัยได้พัฒนารูปแบบกิจกรรมของชุมชนในการจัดการการท่องเที่ยว ในพื้นที่อุทยานธรณีโลกสตูล 2 เส้นทางการท่องเที่ยว เส้นทางท่องเที่ยวที่1 คือ เส้นทางพิพิธภัณฑ์อุทยานธรณีโลกสตูล–ถ้ำเลสเตโกดอน –จุดชมวิวท่าอ้อย – น้ำตกธารปลิว –สวนควนข้องหม้อข้าวหม้อแกงลิง ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดเส้นทางทั้งหมด 64.76 kgC02e เส้นทางท่องเที่ยวที่ 2 คือเส้นทางบ้านบ่อ 7 ลูก – ปราสาทหินพันยอด –อ่าวฟอสซิล –เขตข้ามกาลเวลา –ปันหยาบาติกปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดเส้นทางทั้งหมด 64.76 $kgCO_2e$

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์, เส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนต่ำ, อุทยานธรณีโลกสตูล

[1] วิทยาลัยนานาชาติมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Naresuan University International College, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author: Tanggua11.27@gmail.com

Abstract

Carbon footprint assessment of low-carbon tourism routes Case study: Satun Global Geopark It is important and will be beneficial to the development of sustainable tourism resources. To all sectors involved in the Geopark in planning to make the UNESCO Global Geopark a means of managing natural resources and the environment to increase competitiveness in tourism. From the research, community activity models for tourism management were developed. In the area of Satun World Geopark 2, travel routes Tourist route number 1 is the Satun Global Geopark Museum – Les Stegodon Cave route. – Tha Oi Viewpoint – Than Pliu Waterfall – Suan Kuan Khong Nepenthes Carbon dioxide released along the entire route is 64.76 kgCO2e. The second tourist route is the route Ban Bo 7 Luk – Prasat Hin Pan Yot – Fossil Bay – Time Travel Zone. –Panyabatik emits 64.76 kgCO2e of carbon dioxide along the entire route.

Keywords: Carbon Footprint, Low carbon tourism routes, Satun Global Geopark

บทนำ

อุทยานธรณีโลกสตูล ได้รับประกาศให้เป็นสมาชิกอุทยานธรณีโลกของยูเนสโก้ เมื่อวันที่ 17 เมษายน 2561 ครอบคลุม 4 อำเภอของจังหวัดสตูล คือ ทุ่งหว้า มะนัง ละงู และอำเภอเมือง ในส่วนของพื้นที่อุทยานแห่งชาติหมู่เกาะตะรุเตา มีพื้นที่ครอบคลุม 2,579.2 ตารางกิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขาหินปูน ผืนดินแห่งนี้ เป็นบันทึกหลักฐานของโลกใต้ทะเลเมื่อ 500 ล้านปีก่อน ที่อุดมไปด้วยสิ่งมีชีวิตยุคเก่า เกิดเป็นแหล่งสร้างออกซิเจนให้กับโลกในเวลานั้น ต่อมีการยกตัวของเปลือก โลกก่อเกิดเป็นเทือกเขาและถ้ำ ซึ่งได้กลายเป็นบ้านหลังแรกของมนุษย์โบราณ ปัจจุบันอุทยานธรณีโลกสตูลเป็นทั้งแหล่งท่องเที่ยวและแหล่งเรียนรู้ด้านธรณีและแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ

ทั้งนี้หากต้องการให้การท่องเที่ยว อุทยานธรณี (Geopark) เกิดความความยั่งยืน ต้องมีการบริหารจัดการโดยอาศัยการจัดทำเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ซึ่ง SDGs จะมีเป้าหมายในการพัฒนาด้านสังคมความเป็นอยู่ของผู้คน ด้านเศรษฐกิจและความมั่นคง ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ SDGs จะเป็นการพัฒนาที่มีการคำนึงถึงองค์รวมของในทุก ๆ ด้านอย่างสมดุลบนพื้นฐานของทรัพยากรธรรมชาติ ภูมิปัญญาและวัฒนธรรม ด้วยการมีส่วนร่วมของประชาชนทุกกลุ่ม ด้วยความเอื้ออาธร เคารพซึ่งกันและกัน เพื่อความสามารถในการพึ่งพาตนเอง และคุณภาพชีวิตที่ดีอย่างเท่าเทียม (องค์การสหประชาชาติ (UNESCO), 2563)

ดังนั้นในการจัดทำการศึกษาในเรื่อง ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เส้นทางการท่องเที่ยวเชิงคาร์บอนต่ำ กรณีศึกษา: อุทยานธรณีโลกสตูล จึงเป็นสิ่งสำคัญและจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาแหล่งทรัพยากรการท่องเที่ยวให้มีความยั่งยืน สู่ทุกภาคส่วนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับอุทยานธรณี (Geopark) ในการวางแผนที่จะทำให้อุทยานธรณีโลกยูเนสโกเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันด้านการท่องเที่ยว การบริการและการผลิตจากชุมชนจากแหล่งธรณีวิทยา แหล่งธรรมชาติวิทยา แหล่งเรียนรู้ แหล่งวัฒนธรรมและประวัติศาตร์ และสามารถนำข้อมูลไปใช้เชื่อมโยงกับการพัฒนาเศรษฐกิจระดับภูมิภาคและการบริการในพื้นที่อุทยานธรณี เพื่อมุ่งสู่ Green-GDP SDGs และ National Guideline ต่อไป

วิธีการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาสถานการณ์และการดำเนินงานของชุมชนในการจัดการการท่องเที่ยว ในพื้นที่อุทยานธรณีโลกสตูล

ผู้วิจัยได้วางแผนและเลือกการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ 1) เอกสาร โดยข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ เส้นทางท่องเที่ยว และข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวเชิงคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ 2)การสำรวจพื้นที่ร่วมกับคนในชุมชนเพื่อหาเส้นทางท่องเที่ยว โดยการสัมภาษณ์ และการประชุมกลุ่มย่อยจากผู้ประกอบการ 3)สรุปผลการจัดกิจกรรมและเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในพื้นที่อุทยานธรณีโลกสตูล จ.สตูล

พื้นที่การวิจัย ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตพื้นที่คือ แหล่งท่องเที่ยวทางธรณี ในอุทยานธรณีโลกสตูล

ขั้นตอนที่ 2 พัฒนารูปแบบกิจกรรมของชุมชนในการจัดการการท่องเที่ยว ในพื้นที่อุทยานธรณีโลกสตูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้ 1)กำหนดเกณฑ์การเลือกกิจกรรมและสถานที่ท่องเที่ยวในพื้นที่อุทยานธรณีโลกสตูล ที่ครอบคลุมอำเภอละงู อำเภอทุ่งหว้า และอำเภอมะนัง ให้เหมาะกับนักท่องเที่ยว โดยให้นักท่องเที่ยวสามารถเข้าร่วมกิจกรรมให้เหมาะสมกับบริบทของชุมชน 3)การสัมภาษณ์กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมและเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในพื้นที่อุทยานธรณีโลกสตูล จ.สตูล

กลุ่มเป้าหมาย ประกอบด้วย ผู้นำ ปราชญ์ ผู้นำมัคคุเทศก์ท้องถิ่น สมาชิกในเครือข่ายชุมชนการท่องเที่ยวอุทยานธรณีโลกสตูล ทั้งหมด 20 ท่าน

เกณฑ์การเลือกกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ 1) กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวในพื้นที่อุทยานธรณีโลกสตูล 2) เป็นผู้มีความรู้ด้านการท่องเที่ยวและข้อมูลชุมชน อำเภอละงู อำเภอทุ่งหว้า และอำเภอมะนัง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ผู้วิจัยใช้เอกสาร และแนวทางการสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการวิจัยโดยใชแนวคำถามแบบปลายเปิดในการสัมภาษณ์ทำให้ผู้ให้ข้อมูลมีอิสระในการตอบคำถามและหลีกเลี่ยงคำถามปลายปิด

การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลมาแยกประเด็น และเรียบเรียงเนื้อหาสาระอย่างเป็นระบบ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน 1)ข้อมูลกิจกรรมการเดินทาง 2)ข้อมูลกิจกรรมการบริโภค 3)แหล่งซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก และนำข้อมูลมาจัดทำรูปแบบกิจกรรมของชุมชนในการจัดการการท่องเที่ยว ในพื้นที่อุทยานธรณีโลกสตูล

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการท่องเที่ยวเส้นทางอุทยานธรณีโลกสตูล

นำข้อมูลจากขั้นตอนที่2 มาประเมินประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการท่องเที่ยวเส้นทางอุทยานธรณีโลกสตูล โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน 1)ข้อมูลกิจกรรมการเดินทาง 2)ข้อมูลกิจกรรมการบริโภค 3)แหล่งซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก โดยใช้สูตร

$$CO_2\ Emission = activity\ Data \times Emission\ factor$$

โดยที่

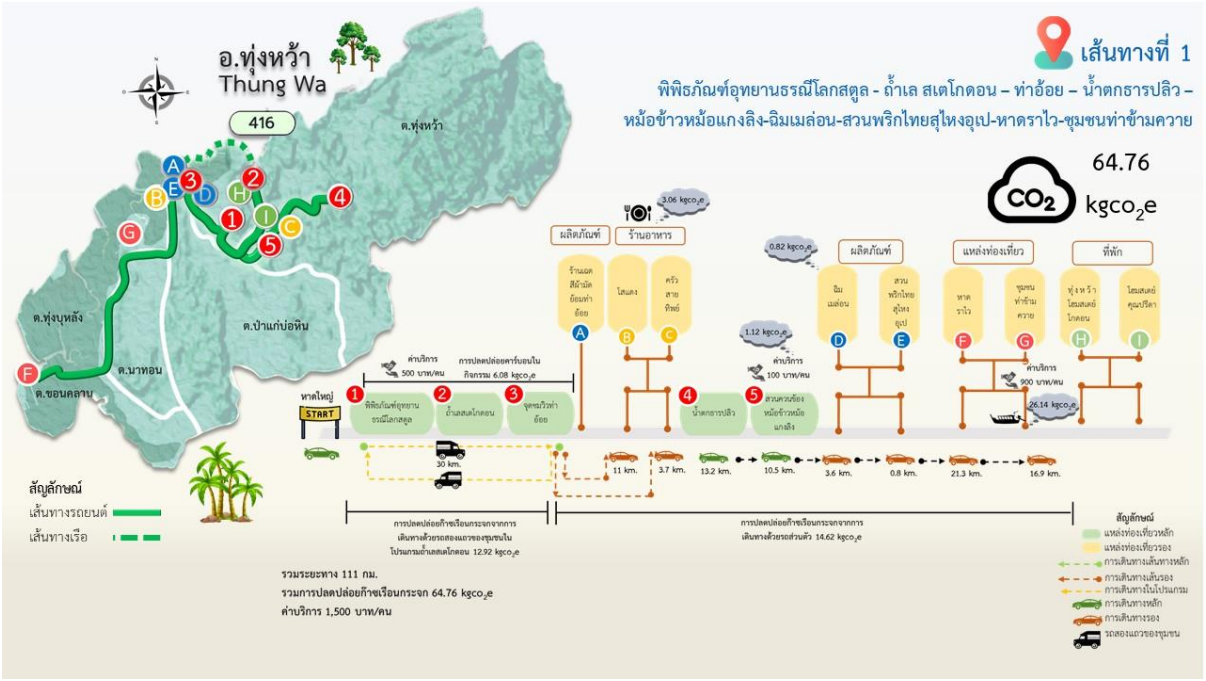
Activity Data = ข้อมูลของกิจกรรม

Emission factor = ข้อมูลสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

ผลการศึกษา

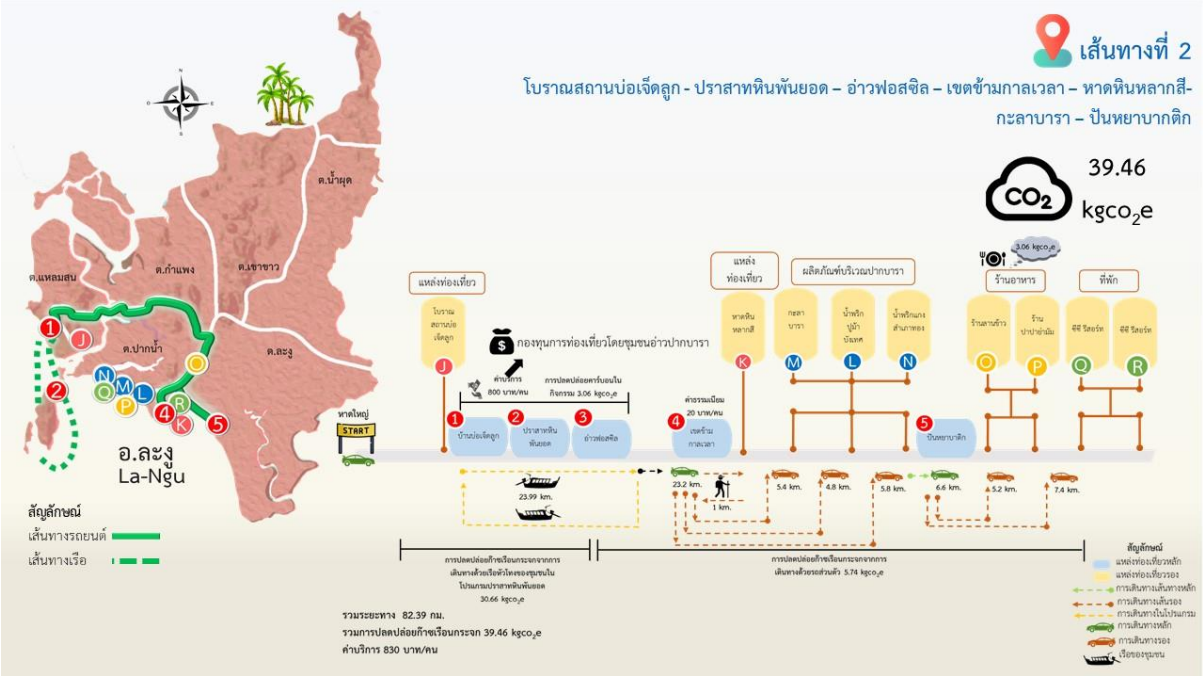
แหล่งท่องเที่ยวในอุทยานธรณีโลกสตูลประกอบด้วยแหล่งที่มีคุณค่าทางธรณีวิทยามากกว่า 70 แห่ง จากการสำรวจและสัมภาษณ์จากผู้นำ ปราชญ์ ผู้นำมัคคุเทศก์ท้องถิ่น สมาชิกในเครือข่ายชุมชนการท่องเที่ยวอุทยานธรณีโลกสตูล พบว่า

เส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนอุทยานธรณีโลกสตูลมีเส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนทั้งหมด 2 เส้นทางโดยแบ่งตามอำเภอทั้ง 3 อำเภอได้แก่ อำเภอทุ่งหว้า อำเภอละงู อำเภอมะนัง โดยเส้นทางทั้งหมดมีแหล่งท่องเที่ยวทั้งหมด 40 จุด แบ่งเป็น แหล่งท่องเที่ยวหลัก 14 แหล่ง แหล่งท่องเที่ยวรอง 6 จุด ร้านอาหาร 4 จุด ที่พัก 7 จุด ผลิตภัณฑ์ชุมชน 9 จุด



ภาพที่ 1 แผนที่เส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนอุทยานธรณีโลกสตูลมีเส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนเส้นทางที่ 1

จากภาพแผนที่เส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนอุทยานธรณีโลกสตูลมีเส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนในเส้นทางที่ 1 มีแหล่งท่องเที่ยวทั้งหมด 14 จุด โดยแบ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวหลัก 5 จุด ได้แก่ 1) พิพิธภัณฑ์อุทยานธรณีโลกสตูล 2) ถ้ำเลสเตโกดอน 3)จุดชมวิวท่าอ้อย 4)น้ำตกธารปลิว 5)สวนควนข้องหม้อข้าวหม้อแกงลิง แหล่งท่องเที่ยวรอง 9 จุด แบ่งเป็น แหล่งผลิตภัณฑ์ชุมชน 3 จุด ร้านอาหาร 2 จุด แหล่งท่องเที่ยว 2 จุด ที่พัก 2 จุด มีการเดินทาง 2รูปแบบ คือ เดินทางโดยรถยนต์ เดินทางโดยเรือ รวมระยะทางทั้งหมด 111 กิโลเมตร คิดเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 64.76 $kgCO_2e$



ภาพที่ 2 แผนที่เส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนอุทยานธรณีโลกสตูลมีเส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนเส้นทางที่ 2

จากภาพแผนที่เส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนอุทยานธรณีโลกสตูลมีเส้นทางท่องเที่ยวคาร์บอนในเส้นทางที่ 2 มีแหล่งท่องเที่ยวทั้งหมด 14 จุด โดยแบ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวหลัก 5 จุด คือ 1) บ้านบ่อ 7 ลูก 2) ปราสาทหินพันยอด 3) อ่าวฟอสซิล 4) เขตข้ามกาลเวลา 5) ปันหยาบาติก แหล่งท่องเที่ยวรอง 9 จุด แบ่งเป็น แหล่งผลิตภัณฑ์ชุมชน 3 จุด ร้านอาหาร 2 จุด แหล่งท่องเที่ยว 2 จุด ที่พัก 2 จุด มีการเดินทาง 2รูปแบบ คือ เดินทางโดยรถยนต์ เดินทางโดยเรือ รวมระยะทางทั้งหมด 82.39 กิโลเมตร คิดเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 39.46 $kgCO_2e$

อภิปรายและสรุปผล

จากการดำเนินงานวิจัย ได้พัฒนารูปแบบกิจกรรมของชุมชนในการจัดการการท่องเที่ยว ในพื้นที่อุทยานธรณีโลกสตูล 2 เส้นทางการท่องเที่ยว เส้นทางท่องเที่ยวที่1 คือ เส้นทางพิพิธภัณฑ์อุทยานธรณีโลกสตูล –ถ้ำเลสเตโกดอน –จุดชมวิวท่าอ้อย – น้ำตกธารปลิว –สวนควนข้องหม้อข้าวหม้อแกงลิง ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดเส้นทางทั้งหมด 64.76 $kgCO_2e$ เส้นทางท่องเที่ยวที่ 2 คือเส้นทางบ้านบ่อ 7 ลูก –ปราสาทหินพันยอด –อ่าวฟอสซิล –เขตข้ามกาลเวลา –ปันหยาบาติกปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดเส้นทางทั้งหมด 64.76 $kgCO_2e$

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เส้นทางการท่องเที่ยวเชิงคาร์บอนต่ำ กรณีศึกษา:อุทยานธรณีโลกสตูล สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีต้องขอขอบพระคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.)เป็นผู้สนับสนุนทุนในการวิจัย และขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์จากผู้นำปราชญ์ ผู้นำมัคคุเทศก์ท้องถิ่น สมาชิกในเครือข่ายชุมชนการท่องเที่ยวอุทยานธรณีโลกสตูล ที่กนุณาให้คำปรึกษาความรู้ เกี่ยวกับข้อมูลการท่องเที่ยวอุทยานธรณีโลกสตูล จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการส่งเสริมการอนุรักษ์แหล่งธรณีวิทยาและจัดตั้งอุทยานธรณี. อุทยานธรณีโลก. (2564). **อุทยานธรณี**.

สถาบันเทคโนโลยีและสารสนเทศเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (สทสย.) หรือ TIIS. (2563). **การใช้เครื่องมือทางด้านสถิติมาตรฐานในการติดตามสภาพเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมของการท่องเที่ยวที่ยั่งยืน**.

การวิเคราะห์ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ของการจัดทำแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดพะเยา

Analysis of the internal and external factors involved in the preparation of a plan for the natural resources and environment of Phayao Province

ปริญญา โศภิตภิญโญ[1*] สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ[2]

Parinya Sopitinyo[1*] Sukthai Pongpattanasiri[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เพื่อศึกษาปัจจัยภายใน ปัจจัยภานนอก ในการพัฒนาแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดต่อการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดพะเยา โดยปัจจัยภายใน ได้แก่ จุดแงและจุดอ่อน ปัจจัยภายนอก ได้แก่ โอกาสและอุปสรรค จากหน่วยงานที่จัดทำแผนพัฒนาแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดต่อการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดพะเยา พบว่า จุดแข็งของหน่วยงาน มีนโยบาย มาตรการส่งเสริมในหน่วยงาน ความพร้อมและแนวทางในการพัฒนาแผนงาน หน่วยงานให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การปฏิบัติงานของบุคลากร มีความสามารถในการปฏิบัติงานของหน่วยงาน และบุคลากรในหน่วยงานมีความรู้ ความสามารถและพร้อมปฏิบัติงาน จุดอ่อน พบว่า บุคลากรไม่เพียงพอต่อภาระการทำงานที่หลากหลาย ขาดความรู้เรื่องก๊าซเรือนกระจก และขาดการส่งเสริมจากภาครัฐและการสนับสนุนงบประมาณ โอกาส พบว่า หน่วยงานเป็นที่รู้จักและสามารถประสานงานกับแหล่งที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ได้ง่าย มีนโยบายของรัฐบาลและกระทรวงที่มุ่งเน้นด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดต่อการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดพะเยา คือ งบประมาณไม่เพียงพอ ซึ่งงบประมาณในการศึกษาวิจัยด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

คำสำคัญ: SWOT, การพัฒนาแผนงาน, เป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจก

[1] ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] หลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Environmental Science, School of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Environmental Science, School of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: wangpatta42@gmail.com

Abstract

This research aims to examine both internal and external factors influencing the development of natural resource and environmental plans to address climate change in Phayao Province. Internal factors encompass strengths and weaknesses, while external factors comprise opportunities and obstacles. The investigation focused on the agency responsible for formulating plans for the province's natural resources and environmental adaptation to climate change. The findings revealed that the agency possesses strengths such as well-defined policies, promotional measures, and guidelines for plan development, indicating a commitment to environmental priorities. Additionally, the agency emphasizes environmental conservation and exhibits competence in managing greenhouse gas emissions. Personnel demonstrate proficiency and readiness to execute their tasks effectively. However, identified weaknesses include a shortage of personnel to manage various workloads, insufficient knowledge about greenhouse gases, and a lack of government promotion and budgetary support. Despite these challenges, opportunities exist, as the agency is well-known and can easily collaborate with local sources emitting greenhouse gases. Furthermore, government and ministry policies prioritize environmental conservation. Nevertheless, challenges in developing natural resource and environmental plans in Phayao Province include insufficient budgetary allocations, particularly for researching greenhouse gas emissions

Keywords: SWOT, development of plans, Greenhouse gas reduction goals

บทนำ

ประเทศไทยกำหนดเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 20 ในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี ค.ศ. 2000 (พ.ศ. 2543) มาตรการและพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564) ของประเทศไทยภายใต้การดำเนินงานตามยุทธศาสตร์การเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจกโดยการสนับสนุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเพิ่มขีดความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอีกทั้งรัฐบาลยังมีการกำหนดนโยบายการบริหารงานจังหวัดและกลุ่มจังหวัดแบบบูรณาการ ประสานเชื่อมโยงการทำงานระหว่างภาคส่วนต่าง ๆ เพื่อให้จังหวัดและกลุ่มจังหวัดสามารถบริหารงาน แก้ไขปัญหา พัฒนาพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับศักยภาพของจังหวัด โครงการการพัฒนาศักยภาพสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเพื่อพัฒนาแผนงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระดับจังหวัด เป็นการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศให้จังหวัดมีความสามารถในการรับมือ และสร้างภูมิคุ้มกันต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง นำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนและสร้างโอกาสการเป็นเมืองคาร์บอนต่ำภายในจังหวัดพะเยา โดยความร่วมมือของภาคธุรกิจ ภาครัฐ ชุมชน ภูมิรัฐศาสตร์ ความพร้อมและความร่วมในมิติต่างๆ สร้างกลไกและการขับเคลื่อน Carbon offset และ สร้าง Base line Emissions สู่การมีกลยุทธ์เศรษฐกิจสีเขียว ตลาดคาร์บอนเครดิต การท่องเที่ยวและคุณภาพชีวิต (1) โดยมีองค์กรร่วมมือในการดำเนินกิจกรรม ประกอบกับในแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 13 มุ่งสร้างการเติบโตอย่างยั่งยืนบนสังคมเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) และรักษาและเพิ่มพื้นที่ สีเขียวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมเศรษฐกิจและ สร้างกลยุทธ์ Green supply chain สร้างกลยุทธ์เศรษฐกิจสีเขียว องค์กร และสิทธิประโยชน์การลงทุน เพื่อการส่งเสริมกิจกรรมลดการปลดปล่อยคาร์บอนและเชื่อมโยงพื้นที่กักเก็บคาร์บอน

และการชดเชยคาร์บอน อย่างมีส่วนร่วมและCarbon Co-benefit ภายในจังหวัดพะเยา ชุมชนที่ และภาคเอกชนที่ มีความพร้อมที่จะสามารถดำเนินการและลงทุนทำ CFO, CF-EVENT, CFP กิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก (LESS) การประหยัดพลังงานและพลังงานทดแทนเป็นต้น เพื่อสร้างนิเวศเศรษฐกิจใหม่ของจังหวัด ลดค่าใช้จ่ายและลดการใช้ต้นทุนทรัพยากรของเมือง และคุณภาพชีวิต โดยใช้แรงจูงใจของ BPP (หลักการผู้รับประโยชน์เป็นผู้จ่าย) และ PES (การจ่ายค่าตอบแทนสำหรับการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม) และ Green Marketing ในการมูลค่าสูง-เพิ่ม (High Value added) จากผลิตภัณฑ์ ในการขับเคลื่อนBCG Model เศรษฐกิจสร้างคุณค่า สังคมเดินหน้าอย่างยั่งยืน (Hi-Value and Sustainable Thailand) เป็นจังหวัดคาร์บอนต่ำที่น่าอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทยและรองรับการพัฒนาแผนงานด้านการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศระดับจังหวัดของจังหวัดพะเยาและการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ (Carbon neutrality) จาก COP26 และ COP28 ของประเทศไทยต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยภายใน ปัจจัยภานนอก ในการพัฒนาแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดต่อการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดพะเยา

วิธีการศึกษา

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการประกอบการทำวิจัย ทั้งที่เป็นหนังสือและสื่อสิ่งพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ผลงานวิจัย วารสาร วิทยานิพนธ์ ปริญญานิพนธ์ สารนิพนธ์ บทความวิชาการ ข้อมูลทางอินเตอร์เน็ต และเอกสารวิจัยต่างๆ เช่น เช่น นโยบาย แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 และฉบับที่ 13 ระเบียบ COP26 และ COP28 เพื่อใช้เป็นแนวทางของการทำการศึกษา จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของจังหวัด ตามแนวทางของแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติและแผนปฏิบัติการในระดับพื้นที่ของจังหวัดพะเยา

2. สำรวจองค์ประกอบ

สำรวจองค์ประกอบของปัจจัยภายใน และปัจจัยภายนอกในการพัฒนาแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดต่อการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดพะเยา

3.เครื่องมือที่ใช้ดำเนินงานวิจัย

ศึกษาข้อมูลสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งที่เป็นหนังสือและสื่อสิ่งพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ผลงานวิจัย วิทยานิพนธ์ งานเขียนทางวิชาการ บทความทางวิชาการ ตลอดจนหนังสือพิมพ์ วารสาร นิตยาสารสื่อสิ่งพิมพ์ประเภทต่างๆ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเป็นเครื่องมือที่ใช้ดำเนินงานวิจัยเป็นแบบสัมภาษณ์เชิงลึก ซึ่งการสัมภาษณ์จะถามคำถามลักษณะแบบเปิด

ดำเนินการสัมภาษณ์ ฝ่ายบริหารองค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต นายกอบจ. รองนายกอบจ. ปลัด อบจ. ประธานสภา รองประธานสภา สมาชิกอบจ. ประเด็นข้อสัมภาษณ์และเนื้อหาเป็นชุดเดียวกัน โดยผู้วิจัยทำแบบสัมภาษณ์เชิงลึก

4. การวิเคราะห์

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) คือ การกระทำกับข้อมูลที่ได้จากเอกสาร โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์จำแนกอย่างเป็นระบบ แล้วนำมาตีความหมายเพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์และสรุปจากข้อมูลต่าง ๆ

ผลการศึกษา

จากผลการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) นำมาสรุปและเขียนปัจจัยภายใน ได้แก่ จุดแข็งและจุดอ่อน ปัจจัยภายนอก ได้แก่ โอกาสและอุปสรรค ผลการสัมภาษณ์ พบว่า

จุดแข็ง หน่วยงานมีนโยบาย มาตรการส่งเสริมในหน่วยงาน ความพร้อมและแนวทางที่ชัดเจน ในการพัฒนาแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดต่อการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดพะเยา มีการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและกรอนุรักษ์ลังงานทดแทนโดยผู้บริหารแต่ละหน่วยงานให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การปฏิบัติงานของบุคลากร มีความเป็นผู้นำและมีความสามารถในการปฏิบัติงานของหน่วยงาน และบุคลากรในหน่วยงานมีความรู้ ความสามารถและพร้อมปฏิบัติงาน มีการมอบหมายงานตามาระกิจของแต่ละฝายอย่างชัดเจน มีการอบรมพัฒนาให้ความรู้เกี่ยวกับการปฏิบัติงานของบุคลากรในหน่วยงานเป็นประจำ รวมถึงการประชุมแก้ไขปัญหาระดมสมองเพื่อแก้ไขปัญหาในการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ และมีกลุ่มการติดตามประเมินผลงานที่ได้รับมอบหมายมีการติดตามผลการดำเนินงานตลอดเวลาและปฏิบัติงานอย่างเป็นระบบ

จุดอ่อน บุคลากรไม่เพียงพอต่อภาระการทำงานที่หลากหลาย ขาดความรู้เรื่องก๊าซเรือนกระจก ขาดความต่อเนื่องในการดำเนินการ และขาดการส่งเสริมจากภาครัฐและการสนับสนุนงบประมาณ ภาระงานของแต่ละหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีน้อยและไม่ บุคลากรส่วนใหญ่ยังขาดองค์ความรู้ด้านการศึกษาปริมาณ

โอกาส หน่วยงานเป็นที่รู้จักและสามารถประสานงานกับสถานประกอบการโรงงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ได้ง่าย องค์กรเป็นที่รู้จักและได้รับความไว้วางใจจากคนในพื้นที่ที่จะทำงานขับเคลื่อนภารกิจต่างๆไปได้อย่างดี เป็นที่รู้จักและเป็นตัวอย่างในพื้นที่ได้ มีนโยบายของรัฐบาลและกระทรวงที่มุ่งเน้นด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม หน่วยงานมีการส่งเสริมนวัตกรรมเกษตรจากภาครัฐ การส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดและพลังงานทดแทนจากภาครัฐ เป็นองค์กรที่เกี่ยวข้องกับผลประโยชน์ของประชาชน มีบุคลากรและเครือข่ายในการทำการลงทุนอุตสาหกรรม จ.พะเยา เพิ่มขึ้น และภาคการปศุสัตว์ในอนาคตอันใกล้อาจได้รับการสนับสนุนจากกรมปศุสัตว์ในการเก็บข้อมูลและศึกษาเกี่ยวกับปริมาณปล่อยก๊าซเรือนกระจกไปจนถึงวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสภาพภูมิอากาศการลงทุนจากภาคเอกชน

อุปสรรค ทางบทบาทอำนาจหน้าที่ของหน่วยงานและหน่วยงานไม่มีอำนาจหน้าที่โดยตรงบวกกับขาดการบูรณาการอย่างมีระบบ และมีข้อจำกัด/กฎระเบียบของระบบราชการ ระเบียบในการจัดซื้อของจัดจ้าง และการใช้จ่ายงบประมาณมีข้อจำกัดในการดำเนินงาน และงบประมาณไม่มีเนื่องจากไม่ใช่ภารกิจโดยตรง รวมถึงการสื่อสารและประชาสัมพันธ์ถึงหน่วยงานภายนอก/เอกชน ประชาชนไม่ทั่วถึง และงบประมาณในการศึกษาวิจัยด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จะต้องใช้งบประมาณสูงมากทั้งในด้านการจ้างที่ปรึกษาผู้ทวนสอบการจ่ายค่าขึ้นทะเบียนต่อ อบก. ต้องใช้เวลาสักระยะหนึ่งจนกว่าองค์กรความรู้ด้านการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเป็นที่แพร่หลายในบุคลากร ซึ่งยังมองไม่เห็นความสำคัญในการดำเนินการ

สรุปผล

จากการดำเนินการวิจัยการวิเคราะห์ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ของการจัดทำแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดพะเยา เพื่อศึกษาปัจจัยภายใน ปัจจัยภานนอก ในการพัฒนาแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดต่อการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดพะเยา โดยจุดแข็ง คือ หน่วยงานมีนโยบาย มาตรการส่งเสริมในหน่วยงาน ความพร้อมและแนวทางที่ชัดเจนในการพัฒนาแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดต่อการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดพะเยา มีการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและกรอนุรักษ์ลังงานทดแทนโดยผู้บริหารแต่ละหน่วยงานให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การปฏิบัติงานของบุคลากร มีความเป็นผู้นำและมีความสามารถในการปฏิบัติงานของหน่วยงาน และบุคลากรในหน่วยงานมีความรู้ ความสามารถและพร้อมปฏิบัติงาน มีการมอบหมายงานตามาระกิจของแต่ละฝายอย่างชัดเจน มีการอบรมพัฒนาให้ความรู้เกี่ยวกับการปฏิบัติงานของบุคลากรในหน่วยงานเป็นประจำ รวมถึงการประชุมแก้ไขปัญหาระดมสมองเพื่อแก้ไขปัญหาในการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ และมีกลุ่มการติดตามประเมินผลงานที่ได้รับมอบหมายมีการติดตามผลการดำเนินงานตลอดเวลาและปฏิบัติงานอย่างเป็นระบบ จุดอ่อน คือ บุคลากรไม่เพียงพอต่อภาระการทำงานที่หลากหลาย ขาดความรู้เรื่องก๊าซเรือนกระจก และขาดการส่งเสริมจากภาครัฐและการสนับสนุนงบประมาณ โอกาส คือ หน่วยงานเป็นที่รู้จักและสามารถประสานงานกับสถานประกอบการที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ได้ง่าย มีนโยบายของรัฐบาลและกระทรวงที่มุ่งเน้นด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และในอนาคตอาจได้รับทุนสนับสนุนในการเก็บข้อมูลและศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไปจนถึงวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสภาพภูมิอากาศ การลงทุนจากภาคเอกชน ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาแผนงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของจังหวัดต่อการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดพะเยา ได้แก่ งบประมาณไม่เพียงพอ ซึ่งงบประมาณในการศึกษาวิจัยด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จะต้องใช้งบประมาณสูงมากทั้งในด้านการจ้างที่ปรึกษาผู้ทวนสอบการจ่ายค่าขึ้นทะเบียนต่อ อบก. ต้องใช้เวลาสักระยะหนึ่งจนกว่าองค์กรความรู้ด้านการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเป็นที่แพร่หลายในบุคลากร ซึ่งยังมองไม่เห็นความสำคัญในการดำเนินการ

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักส่งเสริมเมืองและสังคมคาร์บอนต่ำ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2566). โครงการการพัฒนาศักยภาพส านักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเพื่อพัฒนาแผนงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระดับจังหวัด.
2. วีรภัทร อารีรอบ และวีระ วีระโสภณ. (2566). การวิเคราะห์ SWOT การให้บริการขององค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต, การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 5. 640-645.

การประเมินคาร์บอนฟรุตพริ้นองค์กรของสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

The Carbon Footprint for Organization (CFO) conducted an assessment of Doi Inthanon National Park Office in Chiang Mai Province

วิมลรัตน์ ศีติสาร[1], ทรงกรด มูลเทพ[1], ชลดา กำใจ[1] และ สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ[1*]
Wimonrat Sitisara[1], Thongkrod Moonthep Chonlada Kajai and Sukthai Pongpattasiri[1*]

บทคัดย่อ

การประเมินคาร์บอนฟรุตพริ้นองค์กรของสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานการณ์การใช้ทรัพยากร และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ทั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ และประเมินข้อมูล การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่สัมพันธ์กับการดำเนินงานของอุทยานแห่งชาติ ใน 3 ประเภท ตามข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก.2565)

ผลการสำรวจข้อมูลการใช้ทรัพยากรปีงบประมาณ 2565 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า 389,322 kwh/ปี ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 59,945 ลิตรต่อปี ปริมาณการใช้น้ำ 16,906 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ปริมาณขยะทั่วไป 97,594 กิโลกรัมต่อปี มีความสัมพันธ์และส่งผลให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก 1,056 tCO_2e ต่อปี โดยเกิดจากการใช้ไฟฟ้า 790.31 tCO_2e การใช้เชื้อเพลิง 161.18 tCO_2e การใช้น้ำ 2.34 tCO_2e และปริมาณขยะ 228 tCO_2e ดังนั้นสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ควรมีการวางแผน จัดทำแนวทางในการลดปริมาณการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าเป็นอันดับแรก

คำสำคัญ: คาร์บอนฟรุตพริ้น,คาร์บอนฟรุตพริ้นองค์กร, อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์,จังหวัดเชียงใหม่

[1] คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
[1] School of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao, 56000
* Corresponding author: sukthai_p@hotmail.com

Abstract

The Carbon Footprint for Organization Assessment of the Doi Inthanon National Park Office in Chiang Mai Province aims to evaluate resource use and greenhouse gas emissions. This method involves analyzing and assessing information on greenhouse gas emissions and absorption related to the operations of national parks. The assessment is conducted in three categories according to the carbon footprint calculation and reporting requirements set by Thailand Greenhouse Gas Management Organization (2022).

The results of the survey for fiscal year 2022 indicate the following resource use data: Electricity consumption: 389,322 kWh/year Fuel consumption: 59,945 liters/year Water consumption: 16,906 cubic meters/year and General waste 97,594 kilograms/year.

These data reveal a total greenhouse gas emission of 1,056 tCO_2e per year. The major contributors are electricity use (790.31 tCO_2e), fuel consumption (161.18 tCO_2e), water use (2.34 tCO_2e), and waste volume (228 tCO_2e). As a result, it is recommended that the Doi Inthanon National Park Office prioritize planning and creating guidelines to reduce greenhouse gas emissions, with a particular emphasis on electricity use.

Keywords: Carbon footprint, Carbon Footprint for Organization, Doi Inthanon National Park and Chiang Mai Province

บทนำ

อุตสาหกรรมการท่องเที่ยว ถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญในการสร้างรายได้ให้กับประเทศ และมีความสำคัญโดยตรงต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ (องค์การบริหารการพัฒนาพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน, 2561) ในปี 2565 มีนักท่องเที่ยวต่างชาติเดินทางเข้าประเทศรวม 11,818,727 คน สร้างรายได้ 1.5 ล้านล้านบาท ประกอบการประเทศไทยมีแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะอุทยานแห่งชาติที่กระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยมีกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช เป็นหน่วยงานหลักในการกำกับ ดูแล และบำรุงรักษา อุทยานแห่งชาติที่มีกระจายอยู่ในทุกภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย มีจำนวนทั้งสิ้น 148 แห่ง ทั่วประเทศ ข้อมูลจำนวนนักท่องเที่ยวในอุทยานแห่งชาติ พ.ศ. 2566 มีจำนวนทั้งสิ้น 14,460,521 คน เนื่องจากปริมาณนักท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้นทุกปีอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะ ปริมาณน้ำเสีย และการใช้พลังงานเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในกิจกรรมการท่องเที่ยว นั้น

อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ เป็นอุทยานแห่งชาติที่มีพื้นที่ 482.4 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ในเขตอำเภอจอมทอง อำเภอแม่แจ่มอำเภอแม่วาง และกิ่งอำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่เป็นอุทยานที่ได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวทั้งในและต่างประเทศจำนวนมากทุกปี โดยปี 2565 มีจำนวนนักท่องเที่ยว 439,165 คน ดังนั้น เพื่อการรองรับและจัดทำแนวทางในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระบบองค์กร การพัฒนาระบบการบริหารกิจกรรม การใช้ทรัพยากร บุคลกรของอุทยานแห่งชาติเพื่อลดผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและประเมินคาร์บอนฟรุตพริ้นองค์กรของสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

วิธีการศึกษา

1.กำหนดขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร โดยการกำหนดแหล่งปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก แบบควบคุม (Control Approach) ของอุทยานแห่งชาติ จัดทำ บัญชีการปล่อย และ/หรือ ดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากระบบที่มีการควบคุมการดำเนินงาน (Operational Control) หรือ ควบคุมทางด้านการเงิน (Financial Control)

2. วิเคราะห์ และประเมินข้อมูล การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่สัมพันธ์กับการดำเนินงานของอุทยานแห่งชาติ ใน 3 ประเภท (ข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก.2565) คือ

- scope I การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง
- scop II การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน
- scop III การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมด้านอื่น ๆ

โดยรวบรวมข้อมูลการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร ดังนี้

1) พลังงาน ไฟฟ้า ทำการสำรวจเก็บข้อมูลโดยใช้สถิติการใช้ไฟฟ้า บิลค่าไฟฟ้าของหน่วยงาน ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าขององค์กร ให้ใช้ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงจากองค์กรโดยสามารถใช้ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ระบุในใบเสร็จค่าไฟฟ้าขององค์กร

2) เชื้อเพลิง ทำการสำรวจรวบรวมข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิง บิลค่าเชื้อเพลิงที่หน่วยงาน ใช้ เช่น บิลน้ำมัน บิลค่าก๊าซหุงต้ม ในส่วนของการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งทางรถ

3) น้ำ (น้ำอุปโภค, น้ำบริโภค) เก็บรวบรวมข้อมูลจากใบเสร็จและมิเตอร์น้ำอุปโภคที่ได้จากการผลิตน้ำอุปโภคของหน่วยงาน ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปริมาณน้ำอุปโภคน้ำบริโภคผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องด้วยการติดตั้งระบบอัตโนมัติ

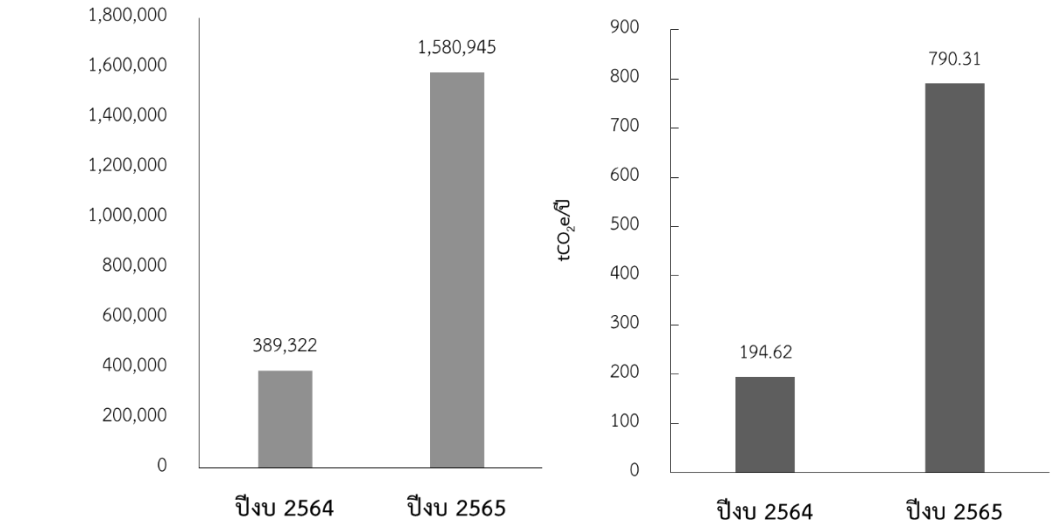
4) ขยะ เก็บรวบรวมข้อมูลจากปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในหน่วยงานค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการกำจัดขยะมูลฝอย กรณีที่ไม่มีข้อมูลผู้วิจัยจะทำการสุ่มโดยใช้วิธีการสำรวจองค์ประกอบขยะของกรมควบคุมมลพิษ

ผลการศึกษา

ผลการประเมินคาร์บอนฟรุตพริ้นองค์กรของสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ สามารถรายงานในรูปแบบมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สัมพันธ์กับการดำเนินงานของอุทยานแห่งชาติ ใน 3 ประเภท คือ scope I การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง scop II การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน scop III การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมด้านอื่นๆ รายละเอียดดังนี้

1) การสำรวจเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า

จากข้อมูลการสำรวจปริมาณการใช้ไฟฟ้าของสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ในปีงบประมาณ 2564 และปีงบประมาณ 2565 พบว่า มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 389,322 kwh/ปี และ 1,580,945 kwh/ปี ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า จึงมีค่าเท่ากับ 194.62 tCO_2e/ปี และ 790.31 tCO_2e/ปี ตามลำดับ



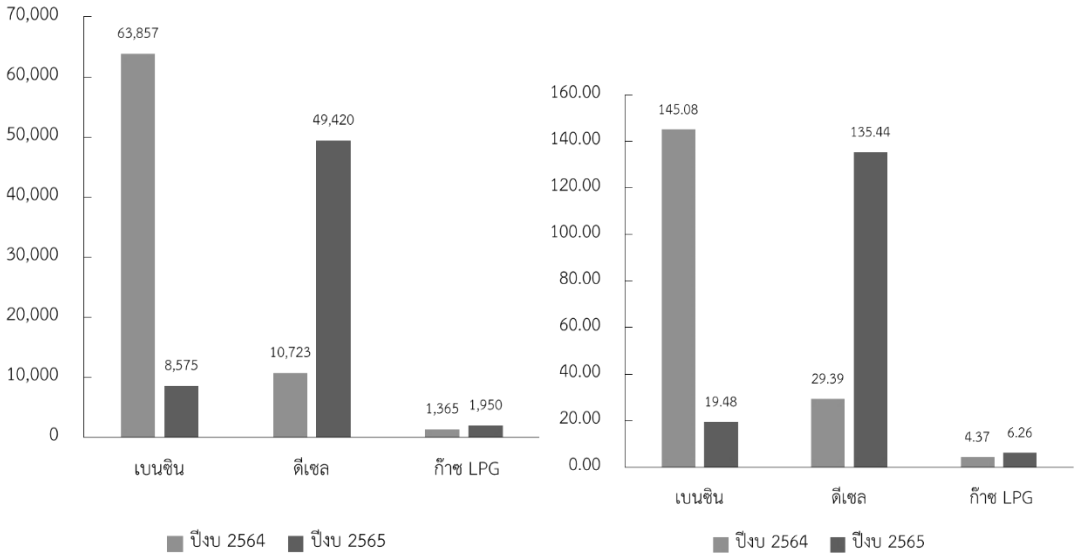
A: ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า B: ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า

ภาพที่ 1 ปริมาณ GHG จากการใช้ไฟฟ้าอุทยานแห่งชาติอินทนนท์

2) การสำรวจเก็บข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

จากข้อมูลการสำรวจปริมาณเชื้อเพลิงของสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์มีการใช้เชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ การใช้น้ำมันเบนซิน การใช้น้ำมันดีเซล และการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) โดยในปีงบประมาณ 2564 พบว่ามีการใช้น้ำมันเบนซิน 63,857 ลิตรต่อปี ซึ่งมากกว่าการใช้น้ำมันดีเซล (10,723 ลิตรต่อปี) 53,134 ลิตรต่อปี และก๊าซหุงต้ม(1,365 ลิตรต่อปี) 62,492 ลิตรต่อปี และปีงบประมาณ 2565 พบว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น 4 เท่า 49,420 ลิตรต่อปี ซึ่งมากกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน(8,575 ลิตรต่อปี) 40,845 ลิตรต่อปี และก๊าซหุงต้ม (1,950 ลิตรต่อปี) 47,470 ลิตรต่อปี

ดังนั้นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงในปีงบประมาณ 2564 เท่ากับ 178.84 tCO_2e/ปี เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันเบนซิน 145.08 tCO_2e/ปี น้ำมันดีเซล 29.39 tCO_2e/ปี และการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) 4.37 tCO_2e/ปี ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงในปีงบประมาณ 2565 เท่ากับ 161.18 tCO_2e/ปี เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันเบนซิน 19.48 tCO_2e/ปี น้ำมันดีเซล 135.44 tCO_2e/ปี และการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) 6.26 tCO_2e/ปี

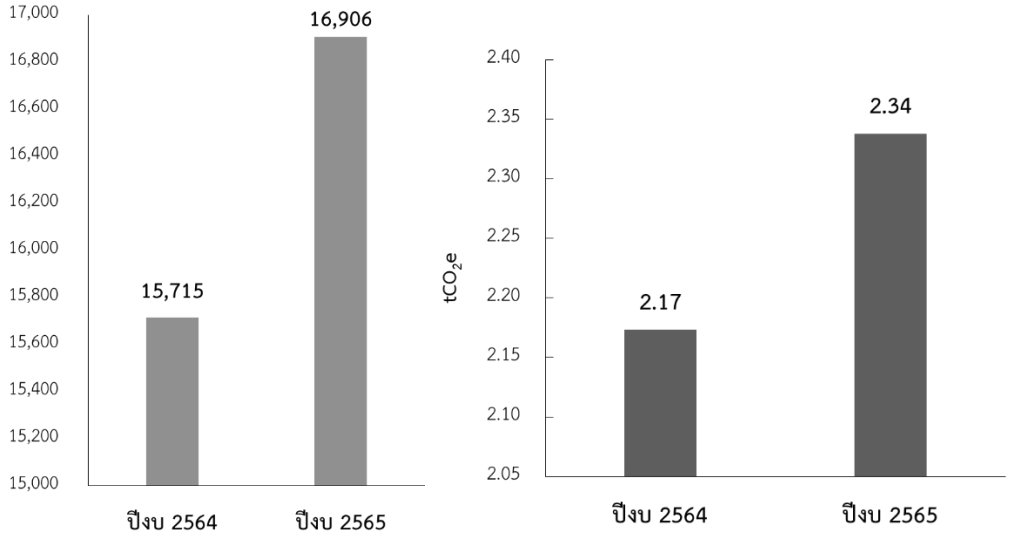


A: การสำรวจเก็บข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง B: ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิง

ภาพที่ 2 ปริมาณ GHG จากการใช้เชื้อเพลิงอุทยานแห่งชาติอินทนนท์

3) การสำรวจเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ

จากข้อมูลการสำรวจปริมาณการใช้น้ำของสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์มีปริมาณการใช้น้ำในปีงบประมาณ 2564 และ 2565 เท่ากับ 15,715 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 16,906 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งมรการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 1,191 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ดังนั้นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำ จึงมีค่าเท่ากับ 2.17 tCO2e/ปี และ 2.34 tCO2e/ปี ตามลำดับ

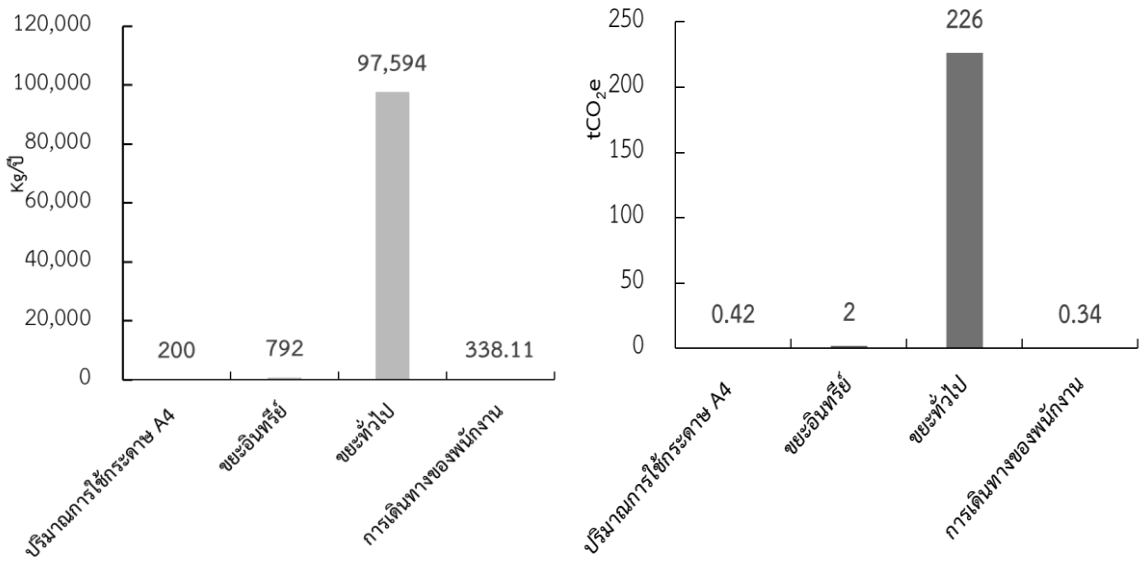


A: การสำรวจเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ B: ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำ

ภาพที่ 3 ปริมาณ GHG จากการใช้น้ำอุทยานแห่งชาติอินทนนท์

4) การสำรวจเก็บข้อมูลปริมาณขยะ วัสดุสิ้นเปลือง/การเดินทางของพนักงานอุทยานแห่งชาติอินทนนท์

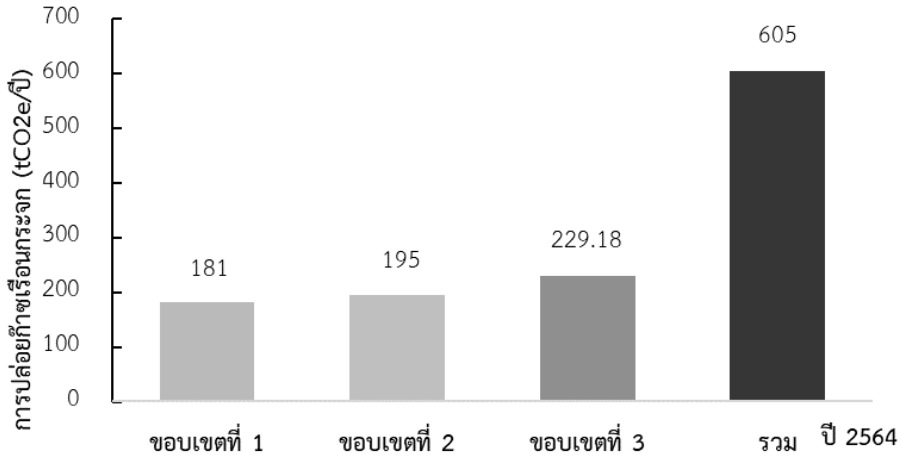
จากข้อมูลการสำรวจเก็บข้อมูลปริมาณขยะ วัสดุสิ้นเปลือง/การเดินทางของพนักงานอุทยานแห่งชาติอินทนนท์มีปริมาณขยะทั่วไป 97,594 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 226 tCO_2e ซึ่งปลดปล่อยมากกว่าขยะอินทรีย์ (2.00 tCO_2e) การใช้ระดาษ A4 (0.42 tCO_2e) และการเดินทางมาทำงานของพนักงาน (0.34 tCO_2e)



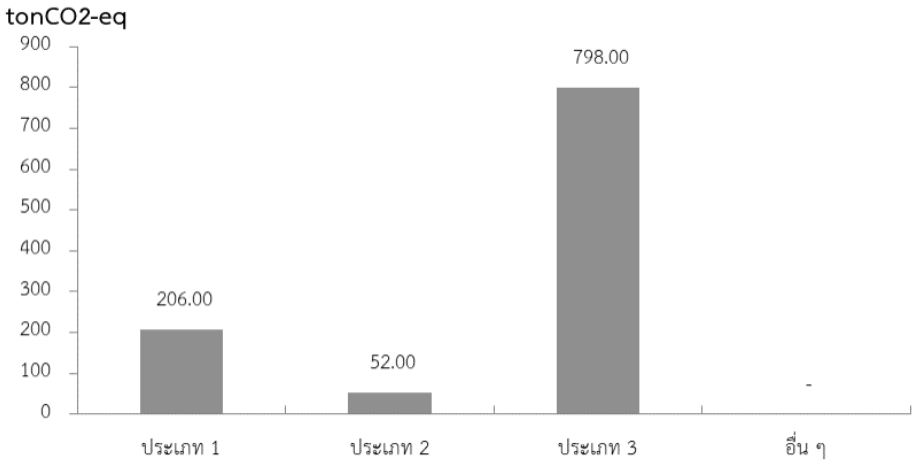
ภาพที่ 4 ปริมาณ GHG จากการใช้ขยะ/วัสดุสิ้นเปลือง/การเดินทางของพนักงานอุทยานแห่งชาติอินทนนท์

5) การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสำนักงานอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ในปีงบประมาณ 2564 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 605 tCO_2e ต่อปี โดยพบ ขอบเขตที่ 3 มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด 229.18 tCO_2e รองลงมาคือ ขอบเขตที่ 2 195.00 tCO_2e และ ขอบเขตที่ 1 181.00 tCO_2e ส่วนในปีงบประมาณ 2565 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1,056 tCO_2e ต่อปี โดยพบ ขอบเขตที่ 3 มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด 798.00 tCO_2e รองลงมาคือ ขอบเขตที่ 1 206.00 tCO_2e และขอบเขตที่ 2 52.00 tCO_2e



ภาพที่ 5 การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปีงบประมาณ 2564



ภาพที่ 6 การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปีงบประมาณ 2565

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากแผนงานวิจัยการยกระดับการบริหารจัดการการท่องเที่ยวและความร่วมมือการพัฒนาคุณภาพอุทยานแห่งชาติในพื้นที่ภาคเหนือมุ่งสู่การท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ โครงการย่อยที่ 1 การพัฒนาแนวทางการยกระดับคุณภาพการจัดการทรัพยากรการท่องเที่ยวและสิ่งแวดล้อมของอุทยานแห่งชาติในพื้นที่ภาคเหนือมุ่งสู่การท่องเที่ยวคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ปีงบประมาณ 2566 หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.)

เอกสารอ้างอิง

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2562). **แผนการจัดการอุทยานแห่งชาติอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์(2562-2566).** กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช

กัลป์ยาภัสร์ ภูริเดชเมธาวัชรีกุล. (2553). **การจัดการขยะมูลฝอยในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่**. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ขวัญนรี กล้าปราบโจร, ศิริรัตน์ เช็งเส็ง, ฐิติพร พระโพธิ์ และ บุตรศรินทร์ แสงสว่าง. (2554). การบัญชีสิ่งแวดล้อมเพื่อการบริหารจัดการอย่างยั่งยืนของธุรกิจโรงแรมในจังหวัดกาญจนบุรี. **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54.**

เบญจมาศ ขัตติยากุล. (2554). **การศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากยานพาหนะที่ใช้ในการท่องเที่ยวในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์.** (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ)

มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

(Oral Presentation)

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง รอยต่อโครงสร้างเหล็ก ด้วยสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ สำหรับนักศึกษาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

Enhancing learning performance in the field of structural steel connections through the use of 3D video instructional media for students in the industrial education program, civil engineering

เจษฎาพร ศรีภักดี[1*], วรรณวิษา คุณธนะ[1], อัจฉรา กิติสัก[1] และ ศิริชัย หมูนิล[1]
Jedsadaporn Sreepakdee[1*], Wanwisa Khunthana[1], Auchara Kitisak[1] and Sirichai Moonin[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ เรื่องรอยต่อโครงสร้างเหล็ก โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 2) เพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อประกอบการสอน 3)เพื่อความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อการสอน โดยกลุ่มประชากรคือนักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จำนวน 20 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มทดลองที่เรียนโดยใช้ทั้งเอกสารประกอบการสอน และสื่อประกอบการสอนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมเรียนโดยใช้เฉพาะเอกสารประกอบการสอนเพียงอย่างเดียว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.35 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 17.38 ประสิทธิภาพของสื่อการสอน ที่สร้างขึ้นมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 1.08 ซึ่งสูงกว่า 1.00 แสดงว่าสื่อประกอบการสอน ที่สร้างขึ้นมามีค่าประสิทธิภาพสูง และสื่อในภาพรวมนักศึกษามีความพึงพอใจต่อสื่อประกอบการสอน อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70

คำสำคัญ: รอยต่อโครงสร้างเหล็ก, วิดีทัศน์ 3 มิติ, สื่อการสอน

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ 50300
[1] Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300
* Corresponding author: jedsadaporn@rmutl.ac.th

Abstract

The objective of this research is to develop 3D video instructional media on the topic of steel structure connections. The specific objectives include: 1) To enhance learning performance, 2) To assess the effectiveness of teaching materials, and 3) To measure student satisfaction with the instructional media. The study involved a population of 20 students in the Industrial Engineering program, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna. The participants were divided into an experimental group and a control group. The research findings indicate that the experimental group, which utilized both teaching materials and instructional media, showed higher learning performance compared to the control group, which relied solely on teaching materials. The average score was 4.35, representing an efficiency of 17.38%. The effectiveness of the instructional media created was measured at 1.08, which is higher than 1.00, indicating a high level of effectiveness. Overall, students expressed a high level of satisfaction with the instructional media, with an average score of 4.70.

Keywords: Steel structure joints, 3D Visual, Teaching media

บทนำ

การเข้าสู่ยุคของดิจิทัลไม่เพียงแต่มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาขับเคลื่อนการใช้ชีวิตของผู้คนเท่านั้น แต่ยังมีการนำไปใช้ประยุกต์ใช้กับการศึกษา โดยพลิกโฉมจากการสอนแบบเดิมให้กลายเป็นรูปแบบที่น่าสนใจมากขึ้น และผู้เรียนเองก็ยังสามารถเข้าถึงการเรียนรู้เหล่านี้ได้อย่างง่ายดาย ผ่านอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต การเรียนรู้นี้คือระบบ E-learning สื่อการเรียนรู้ที่ได้ทำลายกรอบการเรียนรู้แบบเดิม ๆ และทำให้กลายเป็นการเรียนรู้เป็นสิ่งที่ไร้พรมแดน ระบบ E-learning นั้นมีความแตกต่างจากการเรียนในห้องเรียนแบบเดิมอย่างชัดเจน ที่จากเดิมต้องเรียนในช่วงเวลาตามตารางเรียน และบางครั้งเกิดการรบกวนจากสภาพแวดล้อม เมื่อสื่อการเรียนรู้ถูกนำเข้าสู่โลกออนไลน์ ผู้เรียนจึงสามารถเข้าถึงได้ตลอดเวลาและจากที่ไหนก็ได้ ทำให้การเลือกเรียนผ่านออนไลน์นั้น ผู้เรียนสามารถเลือกจัดเวลาเรียนด้วยตนเองตามความสะดวกในการเรียนได้เลย โดยเทคโนโลยีปัจจุบันได้พัฒนาขึ้นมากมายทั้งด้านฮาร์ดแวร์ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาให้มีความสามารถให้มีความเร็วในการประมวลผลมากขึ้นทำให้สามารถพัฒนาซอฟแวร์ได้มากขึ้น รวมทั้งหน่วยความจำที่มีความจุเพิ่มขึ้น อุปกรณ์ต่อพวง การพัฒนาคอมพิวเตอร์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในเชิงประสิทธิภาพ และปริมาณความจุอย่างต่อเนื่องทุกปี ขีดความสามารถเหล่านี้ทำให้การทำงานของคอมพิวเตอร์ตอบสนองความต้องการผู้ใช้ได้ดีขึ้น ทำให้นักออกแบบสื่อวีดิทัศน์ สามารถประยุกต์สื่อต่าง ๆ เหล่านี้ให้มาใช้ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพในระบบ E-learning ทำให้สื่อวีดิทัศน์เข้ามามีบทบาทในการเรียนรู้ของคนในยุคปัจจุบันมากขึ้น การเรียนรู้มีจำกัดอยู่เพียงในห้องเรียนอีกแล้ว แต่การเรียนรู้สามารถเกิดขึ้นได้ทุกที่ด้วยตัวของตนเอง ตามความสนใจของตนเอง (ธิดารัตน์ สุโขยะชัย , 2555) ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะสร้างสื่อความรู้โครงสร้าง โดยใช้สื่อวีดิทัศน์ 3 มิติ ซึ่งสื่อที่ผู้วิจัยจะสร้างนั้นประกอบด้วย การทำรอยต่อสำหรับงานโครงสร้างเหล็ก จุดเด่นจุดด้อย ขั้นตอนการประกอบ ข้อควรระวัง องค์ประกอบของรอยต่อโครงสร้างเหล็ก ลักษณะของรอยต่อโครงสร้างเหล็ก เพื่อที่จะนำไปเผยแพร่ให้กับนักศึกษาให้มีความรู้เพิ่มมากขึ้น และได้ศึกษาเกี่ยวกับรอยต่อโครงสร้างเหล็กในแต่ละส่วนของโครงสร้างที่มีความละเอียด และเข้าใจง่าย สามารถจดจำง่าย เพิ่มประสิทธิผลในการเรียนรู้ เพิ่มขีดความสามารถในการเรียนรู้ และสื่อวีดิทัศน์ 3 มิติ ยังมีส่วนช่วยให้การออกแบบบทเรียน ตอบสนองต่อแนวคิด และทฤษฎีการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น รวมทั้งส่งผลโดยตรงต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานในอนาคตได้ โดยจิตราภรณ์ ชั่งกริส (2559) ได้ทำวิจัยพัฒนาสื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้ตามแนวคิด Fipped Classtoom เรื่อง การตรวจร่างกาย รายวิชาการประเมินภาวะสุขภาพ พบว่า สื่อวีดิทัศน์ มีคุณภาพระดับดีมาก และมีทักษะปฏิบัติหลัง

เรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อวีดิทัศน์ ในระดับพึงพอใจมากที่สุด อดิศักดิ์ โคตรชุม(2562) ได้ทำวิจัยการพัฒนา สื่อวีดิทัศน์ เพื่อประกอบการเรียนรู้รายวิชาการงานอาชีพและเทคโนโลยี เรื่อง การจัดและตกแต่งสวน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้สื่อวิดีทัศน์แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยหลังใช้สื่อ มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนเรียน และ นักเรียนมี ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนโดยใช้สื่อวีดิทัศน์เพื่อประกอบการเรียนรู้รายวิชาการงานอาชีพและเทคโนโลยี โดยรวมอยู่ในระดับมาก พงศ์พิสุทธิ์ นุวัตดีวงศ์(2560) ได้ศึกษาเรื่อง การสร้างสื่อวีดิทัศน์ประกอบการเรียนการสอนเรื่อง การประดิษฐ์บายศรีปากชาม ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ พบว่า สื่อวีดิทัศน์ประกอบการเรียนการสอน ช่วยให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นและผู้เรียนมีความพึงพอใจในการใช้สื่อวีดิทัศน์ประกอบการเรียนการสอน อยู่ในระดับมากที่สุด

วิธีการศึกษา

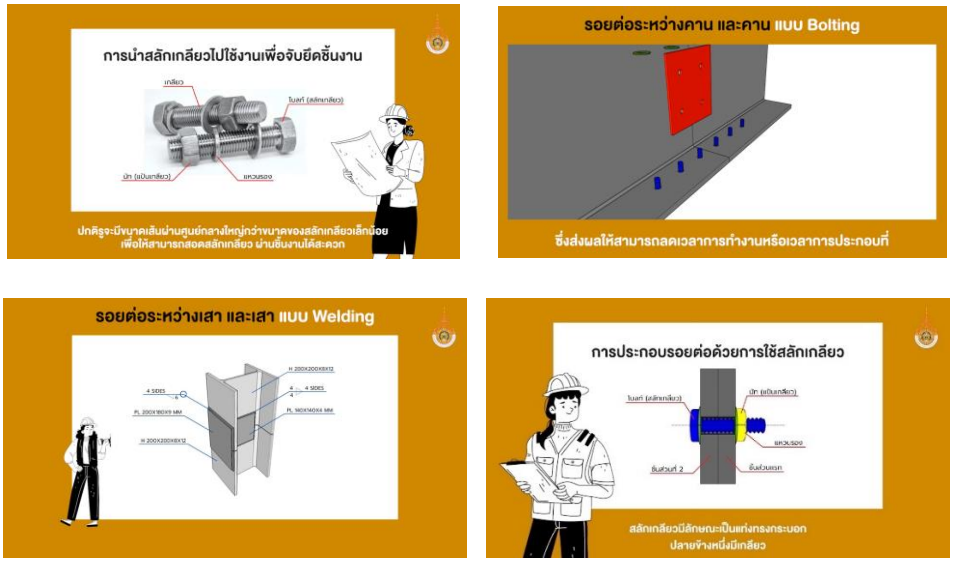
การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง รอยต่อโครงสร้างเหล็ก ด้วยสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ มีวัตถุประสงค์คือ การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางกรเรียน การหาประสิทธิภาพสื่อ ศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียน โดยมีการดำเนินงานวิจัย 2 ส่วนคือ การสร้างสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ และการวัดผลสื่อวิดีทัศน์ 3 มิติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การสร้างสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนของการจัดทำเอกสารประกอบการสอนและนำเนื้อหาไปสร้างสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ

1.1 การจัดทำเอกสารประกอบการสอน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารายวิชาเทคนิคก่อสร้าง ในเรื่องของรอยต่อโครงสร้างเหล็ก โดยได้รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจาก มาตรฐานคุณลักษณะเฉพาะของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร (สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร ,2561) และคู่มือการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร ,ม.ป.ป.) จากนั้นนำเอกสารประกอบการสอนดังกล่าว ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาจำนวน 3 ท่าน โดยมีการเสนอแนะให้เพิ่มเนื้อหาและรูปภาพเพื่อให้เนื้อหามีความสมบูรณ์และครอบคลุมวัตถุประสงค์ และทำการปรับแก้เนื้อหาตามข้อเสนอแนะ ทำให้ได้เอกสารประกอบการสอนทั้งหมด 11 หน้ากำหนดเวลาสอน 60 นาที โดยสามารถดาวน์โหลดเอกสารได้ตาม QR Code ดังรูปที่ 1 หรือตามลิงค์ https://shorturl.asia/ci31V

รูปที่ 1 QR Code เอกสารประกอบการสอนเรื่องรอยต่อโครงสร้างเหล็ก

1.2 การสร้างสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ โดยสื่อจะแสดงลักษณะของรอยต่อโครงสร้างเหล็กรูปแบบต่าง ๆ ตามเอกสารประกอบการสอนและแสดงสื่อออกมาในรูปแบบ 3 มิติ โดยผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อจำนวน 3 ท่าน โดยมีข้อเสนอแนะปรับแก้เรื่องเวลา การใช้เสียงและคำบรรยายของสื่อ จากนั้นจึงทำการปรับแก้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อทำให้ได้ตัวอย่างสื่อการสอนและ QR Code สำหรับดูสื่อการสอน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างสื่อการสอนและ QR Code สำหรับดูสื่อการสอน

2. การการวัดผลสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ โดยกลุ่มประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (5 ปี) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จากนั้นทำการแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มควบคุมที่เรียนโดยใช้เอกสารประกอบการสอนเพียงอย่างเดียว และกลุ่มทดลองที่เรียนโดยใช้เอกสารประกอบการสอนและสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ โดยทั้ง 2 กลุ่ม ต้องทำการสอบก่อนเรียน หลังเรียน และประเมินความพึงพอใจ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยข้อสอบก่อนเรียน ข้อสอบหลังเรียน เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์และแบบสอบถามเพื่อหาค่าความพึงพอใจ โดยเครื่องมือต่าง ๆ มีการวัดค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) ต้องมากกว่า 0.50

ผลการศึกษา

1. ผลการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ การทดสอบผลสัมฤทธิ์ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ได้ผลทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและผลต่างจากคะแนนรวมทั้งหมด 25 คะแนน

รายการ	ประชากร		
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	ผลต่าง
ผลการทดสอบก่อนเรียน			
ค่าเฉลี่ย (μ)	8.80	9.22	0.42
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ)	2.64	1.99	
ร้อยละ (%)	35.20	36.89	1.69
ผลการทดสอบหลังเรียน			
ค่าเฉลี่ย (μ)	14.90	19.67	4.77
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ)	2.02	1.89	
ร้อยละ (%)	59.60	78.67	19.07
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน			
ค่าเฉลี่ย (μ)	6.10	10.45	4.35
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ)	0.62	0.10	
ร้อยละ (%)	24.40	41.78	17.38

จากตารางที่ 1 พบว่า จากคะแนนเต็ม 25 คะแนน การทดสอบก่อนเรียน กลุ่มควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 8.80 คิดเป็นร้อยละ 35.20 และ กลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 9.22 คิดเป็นร้อยละ 36.89 แสดงว่าทั้งสองกลุ่มมีพื้นฐานความรู้ที่ใกล้เคียงกัน มีคะแนนผลต่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.42 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 1.69 ผลการทดสอบหลังเรียน กลุ่มควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 14.90 คิดเป็นร้อยละ 59.60 และ กลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 19.67 คิดเป็นร้อยละ 78.67 แสดงว่ากลุ่มทดลองมีผลการทดสอบหลังเรียนมากกว่าประชากรกลุ่มควบคุม มีผลต่างค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.77 คะแนน คิดเป็นร้อยล่ะ 19.07 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกลุ่มควบคุมมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 6.10 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 24.40 และ กลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 10.45 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 41.78 แสดงว่า กลุ่มทดลอง ที่เรียนโดยใช้ทั้งเอกสารประกอบการสอนและสื่อการสอนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม มีผลต่างค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.35 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 17.38

2. ประสิทธิภาพของสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ เป็นการวัดความสามารถในการใช้ปัจจัยการผลิต ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้เทียบกับปัจจัยที่ในการผลิตจริง โดยใช้สูตรการคำนวณตามแนวคิดของเมกุยแกนส์ โดยได้ผลการวิจัยประสิทธิภาพของสื่อดังตารางที่ 2 พบว่า ประสิทธิภาพของสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ ที่สร้างขึ้นมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 1.08 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ 1.00 แสดงว่าสื่อประกอบการสอนมีค่าประสิทธิภาพสูง (มนต์ชัย เทียนทอง, 2554)

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพของสื่อตามแนวคิดของเมกุยแกนส์

แบบทดสอบ	คะแนนเต็ม	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ประสิทธิภาพของบทเรียน
ก่อนเรียน	25	9.22	1.99	1.08
หลังเรียน	25	19.67	1.87	

3. ผลทดสอบความพึงพอใจต่อสื่อการสอนวิดีทัศน์ 3 มิติ พบว่าโดยรวมระดับความพึงพอใจภายหลังการนำเอกสารประกอบการสอนร่วมกับสื่อการสอนวีดิทัศน์ 3 มิติ มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 4.56 เกณฑ์ความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก อยู่ในด้านการจัดการเรียนการสอนและสื่อการสอน คะแนนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 4.78 เกณฑ์ความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก อยู่ในด้านเนื้อหารายวิชา การจัดการเรียนการสอน และสื่อการสอน ส่วนด้านเนื้อหารายวิชา ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.71 เกณฑ์ความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ด้านการจัดการเรียนการสอน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 เกณฑ์ความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ด้านสื่อการสอน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 เกณฑ์ความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ผลการประเมินโดยรวมค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 เกณฑ์ความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมากดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คะแนนประเมินความพึงพอใจของกลุ่มทดลอง

ข้อที่	หัวข้อความพึงพอใจ	ค่าเฉลี่ย	เกณฑ์ความพึงพอใจ
1. เนื้อหารายวิชา			
1.1	ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนมีความน่าสนใจ กระตุ้นให้คิด	4.67	ดีมาก
1.2	เวลามีความเหมาะสมกับเนื้อหา	4.67	ดีมาก
1.3	เนื้อหามีการลำดับต่อเนื่องและถูกต้องตามหลักวิชา	4.67	ดีมาก
1.4	เนื้อหาชัดเจน เข้าใจง่าย	4.67	ดีมาก
1.5	เนื้อหาวิชามีความสำคัญ น่าสนใจ และสามารถประยุกต์ใช้ในการประกอบอาชีพได้	4.78	ดีมาก
1.6	เอกสารประกอบการจัดการเรียนการสอนมีความเหมาะสม	4.78	ดีมาก
	ผลการประเมินด้านรายวิชา	4.71	ดีมาก
2. การจัดการเรียนการสอน			
2.1	ผู้เรียนมีความสุขในการเรียน	4.78	ดีมาก
2.2	ผู้สอนแจ้งรายละเอียดการสอน หัวข้อการสอนและการประเมินผลอย่างชัดเจน	4.67	ดีมาก
2.3	การวัดและประเมินผลรายวิชามีหลักเกณฑ์ที่ชัดเจน	4.78	ดีมาก
2.4	การวัดและประเมินผลการศึกษา มีความเหมาะสมและเที่ยงตรง	4.56	ดีมาก
	ผลการประเมินด้านการจัดการเรียนการสอน	4.70	ดีมาก

ข้อที่	หัวข้อความพึงพอใจ	ค่าเฉลี่ย	เกณฑ์ความพึงพอใจ
3. สื่อการสอน			
3.1	สื่อการสอนมีความน่าสนใจ	4.67	ดีมาก
3.2	ภาพในสื่อมีความชัดเจน	4.67	ดีมาก
3.3	ตัวหนังสืออ่านง่าย เห็นชัดเจน	4.78	ดีมาก
3.4	เสียงดัง ฟังชัด	4.56	ดีมาก
3.5	การออกเสียงชัดถ้อยชัดคำ	4.76	ดีมาก
3.6	ความยาวของสื่อมีความเหมาะสมกับเนื้อหา	4.76	ดีมาก
	ผลการประเมินด้านสื่อการสอน	4.70	ดีมาก
	ผลการประเมินโดยรวม	4.70	ดีมาก

อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายและสรุปผล

จากการดำเนินการโครงการสร้างสื่อการสอนวีดิทัศน์ 3 มิติ สามารถสรุปอภิปรายผลได้ดังนี้

1. จากการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่าผลสัมฤทธิ์จากการทดสอบ การสร้างสื่อการสอนวีดิทัศน์ 3 มิติ เรื่องรอยต่อโครงสร้างเหล็ก กลุ่มควบคุมเท่ากับ 6.10 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 24.40 และทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการทดสอบ เท่ากับ 10.45 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 41.78 โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการทดสอบสูงกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งมีผลต่างของคะแนน 2 กลุ่ม คือ 4.35 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 17.38 สอดคล้องกับงานวิจัยของ อดิศักดิ์ โคตรชุม (2562) การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ เพื่อประกอบการเรียนรู้รายวิชาการงานอาชีพ และเทคโนโลยี เรื่อง การจัดและตกแต่งสวนและเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้สื่อวีดิทัศน์ พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน เท่ากับ 8.67 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 16.68 คะแนน แสดงให้เห็นว่าการใช้สื่อวิดิทัศน์ สามารถทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

2. จากการหาประสิทธิภาพของสื่อการสอนวีดิทัศน์ 3 มิติ เรื่องรอยต่อโครงสร้างเหล็ก พบว่าสื่อการสอนวีดิทัศน์ 3 มิติ ที่สร้างขึ้นพบว่ามีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ของเมกุยแกนส์ (Meguigans Ratio) โดยมีค่าเท่ากับ 1.08 สรุปได้ว่า การใช้สื่อการสอนวีดิทัศน์ 3 มิติ เรื่องรอยต่อโครงสร้างเหล็ก มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ของเมกุยแกนส์ที่มีค่ามากกว่า 1.00 แสดงว่าสื่อประกอบการสอนวีดิทัศน์ 3 มิติ ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ จิราภรณ์ ชั่งกริส (2559) การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้ตามแนวคิด Flipped Classroom ผลการวิจัยพบว่าวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้มีคุณภาพดีมาก ทักษะปฏิบัติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

3. จากการทดสอบระดับความพึงพอใจของประชากรกลุ่มทดลองมี เกณฑ์ความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก เนื่องจากการเรียนโดยใช้สื่อประกอบการสอนวีดิทัศน์ 3 มิติเป็นเทคโนโลยีทางการศึกษาจะมีแรงจูงใจที่สำคัญที่ใช้ในกิจกรรมการเรียนการสอน เพราะเป็นสิ่งที่สามารถผลักดัน ส่งเสริมและเพิ่มพูนกระบวนการจูงใจที่มีอิทธิพลความสนใจ ความต้องการและความคาดหวังของผู้เรียนที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีทางการศึกษาในแง่ของการเรียนรู้ ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ เฉลิมเกียรติ หรรษาจรูญโรจน์ และคณะ (2558) ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อสื่อการเรียนรู้การใช้งานโปรแกรมวางแผนงานก่อสร้าง ผลการวิจัยพบว่านักศึกษามีความ พึงพอใจในต้นแบบสื่อการเรียนรู้

และสามารถเรียนรู้การใช้งานเพิ่มเติมได้ด้วยตนเองผ่านทางต้นแบบสื่อการเรียนรู้ อีกทั้งยังสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการประกอบอาชีพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2552). **หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**.กรุงเทพฯ: คุรุสภาลาดพร้าว.

จิตราภรณ์ ชั่งกริส. (2559). **การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์เพื่อการเรียนรู้ตามแนวคิด Flipped Classroom เรื่อง การตรวจร่างกาย รายวิชาการประเมินภาวะสุขภาพ**. (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เฉลิมเกียรติ หรรษาจรูญโรจน์ และคณะ. (2558). ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อสื่อการเรียนรู้การใช้งานโปรแกรม Primavera 5.0. **วารสารการจัดการสมัยใหม่**, ปีที่ 8 ฉบับที่ 2, หน้า 81-94.

ธิดารัตน์ สุโขยะชัย [อินเทอร์เน็ต]. (2555). มัลติมีเดียกับการเรียนรู้ด้วยตนเอง ได้จาก https://www.gotoknow.org/posts/494766.

บุญชม ศรีสะอาด. (2559). **การวิจัยสำหรับครู**. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: บริษัท สุวีริยาสาส์น จำกัด.

ปรเมศวร์ สิริสุรภักดีธเรศวร์ เตชะไตรภพ และบริบูรณ์ ชอบทำดี. (2561). การพัฒนาสื่อมัลติมีเดียคอมพิวเตอร์ เรื่อง หลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1โรงเรียนวัดพุทไธศวรรย์. **วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์**. ปีที่ 4 ฉบับที่ 1, หน้า 49-62.

พงศ์พิสุทธิ์ นุวัตดีวงศ์. (2560). **การสร้างสื่อวีดิทัศน์ประกอบการเรียนการสอนเรื่อง การประดิษฐ์บายศรีปากชาม ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์**. (วิทยานิพนธ์ คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

มาเรียม นิลพันธุ์. (2555). **วิธีวิจัยทางการศึกษา**. (พิมพ์ครั้งที่ 6). นครปฐม : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

มนต์ชัย เทียนทอง. (2554). **การออกแบบและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์**.(พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศิริพล แสนบุญส่ง,นิป เอมรัฐ,และศักดา จันทราศรี.(2561). การพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อการเรียนรู้ เรื่อง โปรแกรมค้นหา สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่1 โรงเรียนวัดพระขาว (ประชานุเคราะห์) จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. **วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้**. ปีที่ 4 ฉบับที่ 2. หน้า 1-15.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. (2545). **พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 แก้ไขเพิ่มเติม(ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี.

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร. (2561). **มาตรฐานคุณลักษณะเฉพาะของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร**. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร. (ม.ป.ป.). **คู่มือการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ**. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.

อดิศักดิ์ โคตรชุม. (2562). การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ เพื่อประกอบการเรียนรู้รายวิชาการงานอาชีพและเทคโนโลยี เรื่อง การจัดและตกแต่งสวน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. **วารสารโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ**, ปีที่ 5 ฉบับที่ 2, หน้า 67-76.

การพัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยโดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญาของนักศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต

The development in learning material design skills for early childhood children based on Constructionism approach of Undergraduate Students

อาทิตยา อินยง[1*]

Atitaya Inyong[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัยและการศึกษาพิเศษ โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา ประชากร คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาการศึกษาปฐมวัย เก็บข้อมูลจากแบบประเมินทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย ร่วมกับการสังเกตแบบมีส่วนร่วมในชั้นเรียน และบันทึกเหตุการณ์หรือคำพูดลงในแบบบันทึกย่อของผู้วิจัย เก็บข้อมูลจากบันทึกสะท้อนการเรียนรู้ของนักศึกษา เป็นระยะตลอดภาคการศึกษา สัมภาษณ์นักศึกษาเป็นกลุ่มย่อย (focus group) เมื่อสิ้นภาคการศึกษา

ผลการวิจัยมีดังนี้

1. การพัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย ของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัยและการศึกษาพิเศษ โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา มีขั้นตอนการดำเนินการตามกระบวนการฯ 6 ขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการที่ผู้เรียนได้วิเคราะห์เนื้อหา องค์ความรู้จากการเชื่อมโยง บูรณาการเนื้อหา สาระของกระบวนวิชา จากนั้นขั้นที่ 2 ผู้เรียนคิด วางแผนการเรียนรู้ในแต่ละวัน แต่ละสัปดาห์ ตลอดจนภาคการศึกษาร่วมกัน ขั้นที่ 3 ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อแสวงหาคำตอบด้วยตนเอง ขั้นที่ 4 สรุปความรู้และสะท้อนการเรียนรู้ ขั้นที่ 5 แลกเปลี่ยนเรียนรู้ ขั้นที่ 6 ต่อยอดองค์ความรู้

2.คะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัยและการศึกษาพิเศษ โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา ในด้านการออกแบบการเรียนรู้ ลักษณะเฉพาะของสื่อ การจัดหาสื่อการเรียนรู้ และการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้ สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

3. ประสบการณ์การเรียนรู้ที่เกิดขึ้นสามารถสรุปเป็นประเด็น ดังนี้

1) บรรยากาศการเรียนรู้ในรายวิชา ได้แก่ สนุก ผ่อนคลาย เป็นกันเอง เปิดกว้างให้นักศึกษาได้ลงมือทำเรียนรู้ร่วมกัน แสดงความคิดเห็น และ ได้รู้จักกับเพื่อนร่วมชั้นมากขึ้น

2) ประสบการณ์การเรียนรู้ที่พัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้ ได้แก่ การส่งเสริมให้นักศึกษาได้มีโอกาสพัฒนาความสามารถด้วยการเรียนรู้ด้านเนื้อหา ควบคู่กับการปฏิบัติจริง เน้นการทำงานร่วมกัน เรียนรู้ร่วมกันเป็นกลุ่ม และมีประสบการณ์ลงมือสร้างชิ้นงานด้วยตนเอง ได้คิด วางแผน และแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ทั้งด้าน

[1] คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

[1] Faculty of Education, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

* Corresponding author: atitaya.i@cmu.ac.th

การออกแบบการเรียนรู้ ลักษณะเฉพาะของสื่อ การจัดหาสื่อการเรียนรู้ และการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้ รวมถึงการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่เน้นความแตกต่างระหว่างบุคคล

คำสำคัญ: ทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้, เด็กปฐมวัย , แนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา

Abstract

The objective of this research was to study the results of the learning material design skills for early childhood of the Early Childhood and Special Education students using the learning process according to the intelligence creation learning approach. There were third-year undergraduate students from the Early Childhood Education program. The data collection is from learning materials design skill assessment for early childhood forms, and the in-classroom participatory observation forms. The report of events or words of the researcher's notes were recorded. The information from the students' learning reflection was collected periodically throughout the semester. The focus group was performed with students at the end of the semester.

The research findings were as folows:

1. The development in learning material design skills for early childhood children of early childhood education and graduate students based on Constructionism approach consisted of 6 phases which are 1) learners analyze content and knowledge from the subject matter 2) learners work on their daily and weekly learning plans throughout a semester together 3) learners have practiced constructing their own knowledge 4) learners summarize and reflect their learning process 5) learners share their experiences and 6) learners apply the knowledge and skills into practice

2. the Early Childhood Learning Material Design Skills Score of Early Childhood and Special Education Students using the learning process according to the intelligence creation learning approach in the field of learning design, characteristics of learning material, the provision of learning materials, and the quality assessment of learning materials were significantly higher than before studying at the .05 level.

3. the gained experiences based on learning materials design could be summarized as follows: 1) learning environment was fun, relaxed, and friendly. It allowed learners to work collaboratively, share opinions, and get to know each other 2) learning experiences regarding learning material design skills were learners had opportunities to enhance their knowledge and skills by working collaboratively, developing the materials on their own, planning and solving problems in terms of learning design, materials characteristics, materials selection, and materials evaluation along with personalized learning materials design.

Keywords: Material design skills, Early childhood children, Constructionism approach

บทนำ

การเรียนการสอนด้วยวิธีการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา(Constructionism) ซึ่งแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญาคิดค้นโดย Professor Seymour Papert แห่ง Media Lab Massachusetts Institute of Technology (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยพฤติกรรมการเรียนรู้ของเด็กกว่า 20 ปีและได้สรุปเป็นทฤษฎีการเรียนรู้ว่า “การเรียนรู้ที่ดีกว่า ไม่ได้เกิดมาจากการที่ครูค้นพบวิธีการสอนที่ดีกว่า แต่เกิดมาจากการที่ครูได้ให้โอกาสที่ดีกว่าแก่เด็ก ให้สามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตัวเอง” (มิรา ชัยมหาวงศ์, 2551)

แนวความคิดของทฤษฎีนี้ คือ การเรียนรู้ที่ดีเกิดจากการสร้างพลังความรู้ในตนเองและด้วยตนเองของเด็ก หากเด็กมีโอกาสได้สร้างความคิดและนำความคิดของตนเอง ไปสร้างสรรค์ชิ้นงานโดยอาศัยสื่อและเทคโนโลยีที่เหมาะสม จะทำให้เห็นความคิดนั้นเป็นรูปธรรมที่ชัดเจน และเมื่อเด็กสร้างสิ่งใดสิ่งหนึ่งขึ้นมาในโลก ก็หมายถึงการสร้างความรู้ขึ้นในตนเองนั่นเอง ความรู้ที่เด็กสร้างขึ้นในตนเองนี้ จะมีความหมายต่อเด็ก จะคงทน เด็กจะไม่ลืมง่าย และจะสามารถถ่ายทอดให้ผู้อื่นเข้าใจความคิดของตนเองได้ดี นอกจากนี้ความรู้ที่สร้างขึ้นเองนี้ ยังจะเป็นฐานให้เด็กสามารถสร้างความรู้ใหม่ต่อไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุด (ทิศนา แขมมณี, 2553)

การเรียนการสอนตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา คือ จัดสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้เป็นสำคัญ ให้เด็กได้เลือกเรียนในสิ่งที่ตนเองสนใจ และจัดห้องเรียนแบบคละชั้นเรียน ซึ่งให้เด็กต่างระดับอายุเรียนรู้แลกเปลี่ยนความรู้ วิสัยทัศน์ และมุมมองต่าง ๆ อย่างเป็นกันเอง และทำโครงงานที่สนใจร่วมกันในชั้นเรียนเดียวกันตลอดจนให้เด็กได้เรียนรู้และเข้าใจในเรื่องต่าง ๆ ด้วยตนเองผ่านการออกแบบ การลงมือ ทดลอง ลงมือสร้าง และการปฏิบัติงานในกิจกรรมของโครงงานต่าง ๆ ที่เด็กเลือกเรียนตามความสนใจของเด็กเอง ตลอดจนเรียนรู้จากการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะทำงานและสร้างผลงานต่าง ๆ การจัดการเรียนการสอนดังกล่าวสนองเจตนารมณ์ของการปฏิรูปการศึกษาตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2542 ซึ่งมุ่งเน้นการเรียนรู้ของเด็กที่เกิดจากการสร้างองค์ความรู้ของตัวเด็กเอง และการจัดสภาพแวดล้อม สังคม การเรียนรู้ และปัจจัยเกื้อหนุนให้บุคคลเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต (กมลวรรณ ตังธนกานนท์, 2547)

คณะศึกษาศาสตร์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างบัณฑิตที่มีคุณธรรม จริยธรรม มีจรรยาบรรณวิชาชีพครู มีความรู้ความสามารถในการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีความสามารถในการสื่อสาร มีสุขภาพดี เป็นความรับผิดชอบต่อสังคม สามารถเป็นผู้นำในการจัดการศึกษาเพื่อตอบความต้องการของสังคม และเพื่อรองรับการก้าวสู่ประชาคมอาเซียน นอกจากนี้ มีความมุ่งมั่นในการสร้างบัณฑิตทางการศึกษาทุกระดับให้เป็นครูและบุคลากรทางการศึกษาที่มีคุณธรรมและมีความเป็นเลิศทั้งทางศาสตร์และศิลป์ โดยได้กำหนดวิสัยทัศน์ไว้ว่า “คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นสถาบันชั้นนำในการผลิตและพัฒนาครูและบุคลากรทางการศึกษาให้มีความเชี่ยวชาญทางศาสตร์การสอนแนวใหม่” กระบวนวิชา สื่อการเรียนการสอนสำหรับเด็กปฐมวัย มีความสอดคล้องกับการพัฒนาคุณลักษณะและทักษะของบัณฑิตที่พึงประสงค์ของหลักสูตรการศึกษาปฐมวัยและการศึกษาพิเศษ กล่าวคือ บัณฑิตครูทางการศึกษาปฐมวัยที่มีคุณภาพ จำเป็นจะต้องมีความรู้ความเข้าใจทั้งด้านศาสตร์การเรียนการสอนและศิลปะความเป็นมนุษย์ในการสร้างสรรค์กระบวนการทำงานกับเด็ก เป็นผู้ที่หมั่นพัฒนาองค์ความรู้ เป็นนักเรียนรู้ตลอดชีวิต รู้เท่าทันความเปลี่ยนแปลงและปรับเปลี่ยนการเรียนการสอน เลือกใช้สื่อการสอนที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงเนื้อหาสาระ วัยของเด็ก ความสนใจและใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เพื่อเติมเต็ม สื่อการสอนที่ดีและเหมาะสมสำหรับเด็ก จะช่วยเสริมสร้างความพร้อมและพัฒนาการอย่างองค์รวม ส่งเสริมการเรียนรู้ และประสบการณ์ด้านต่าง ๆ ให้แก่เด็กปฐมวัย ครูที่เก่งจะสามารถออกแบบการเรียนรู้ได้เหมาะสมกับผู้เรียน ผลิตและใช้สื่อการสอนเพื่อการสนับสนุนการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับเนื้อหาสาระ ส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างภาพในใจ ให้เข้าใจเรื่องที่ยากได้ง่ายขึ้น และข้อความรู้ที่มีข้อจำกัดในการอธิบายด้วยคำพูด สื่อการสอนจะเป็นตัวกลางในการถ่ายทอดความรู้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการส่งเสริมการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยและเด็กที่มีความต้องการจำเป็นพิเศษ สื่อการสอนมีความสำคัญ

อย่างมากในการขยายความรู้ ทักษะและประสบการณ์ ด้วยธรรมชาติการเรียนรู้ของเด็กปฐมวัยธรรมชาติเป็นวัยที่อยากรู้อยากเห็น ช่างสงสัย ช่างซักถาม ชอบค้นคว้า สำรวจ อยู่ไม่นิ่ง ชอบอิสระ เป็นตัวของตัวเอง เป็นวัยที่กำลังพัฒนาคุณภาพชีวิตทางร่างกาย อารมณ์ สังคมและสติปัญญาอย่างเต็มที่ ซึ่งมีพัฒนาการอย่างรวดเร็วในทุก ๆ ด้าน อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะของบัณฑิตที่พึงประสงค์ของหลักสูตร ยังจะต้องมีความรักในอาชีพ มีความรู้ความเชี่ยวชาญและทักษะในการปฏิบัติงานด้านการจัดการเรียนรู้แก่เด็กปฐมวัย สามารถออกแบบกระบวนการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับผู้เรียนที่มีความแตกต่างระหว่างบุคคลได้อย่างเหมาะสมกับบริบททางสังคม วัฒนธรรม ตลอดจนความต้องการเฉพาะบุคคล มีทักษะการทำงานรวมมือกับฝ่ายต่าง ๆ ได้ มีทักษะในการแสวงหาและศึกษาความรู้ และนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้ได้อย่างสอดคล้องกับบริบทที่เกี่ยวข้องกับการจัดการศึกษาปฐมวัย ได้อย่างมีวิจารณญาณและสร้างสรรค์ ออกแบบสื่อการเรียนการสอนที่มีการบูรณาการความรู้และศาสตร์การสอนเด็กปฐมวัยอันจะนำพาให้บัณฑิตเป็นผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ มีความสามารถในการคิด ริเริ่มสร้างสรรค์ เป็นผู้นำในการสอนด้วยวิธีการใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของสังคมเป็นไปตามคุณลักษณะ/ทักษะของบัณฑิตที่พึงประสงค์ของหลักสูตรและคณะดังที่กล่าวข้างต้น

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัยและการศึกษาพิเศษ โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา

วิธีดำเนินการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัย

1) งานวิจัยนี้ประเด็นที่ศึกษา คือ กระบวนการนำแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา มาใช้ในการการพัฒนาสมรรถนะทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัยและการศึกษาพิเศษ

2) บริบทคือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาการศึกษาปฐมวัย ลงทะเบียนเรียนในกระบวนวิชาการเรียนการสอนสำหรับเด็กปฐมวัย

ระเบียบวิธีวิจัย

ผู้วิจัยนำเสนอรายละเอียดของการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1) การทบทวนองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผู้เรียนในระดับอุดมศึกษา แนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา

2) ประชากร คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาการศึกษาปฐมวัย จำนวน 16 คน ที่ลงทะเบียนเรียนในกระบวนวิชาสื่อการเรียนการสอนสำหรับเด็กปฐมวัย ซึ่งเป็นรายวิชาที่นำแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญามาใช้ในการจัดการเรียนการสอน

3) การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยในฐานะอาจารย์ผู้สอนรายวิชา เก็บข้อมูลจากแบบประเมินทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย ร่วมกับการสังเกตแบบมีส่วนร่วมในชั้นเรียนรายวิชาการเรียนการสอนสำหรับเด็กปฐมวัย และบันทึกเหตุการณ์หรือคำพูดลงในแบบบันทึกย่อของผู้วิจัย เก็บข้อมูลจากบันทึกสะท้อนการเรียนรู้ของนักศึกษา เป็นระยะตลอดภาคการศึกษา สัมภาษณ์นักศึกษาเป็นกลุ่มย่อย (focus group) เมื่อสิ้นภาคการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล

1) แบบประเมินทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย

2) แบบบันทึกย่อ เป็นบันทึกที่ผู้วิจัยบันทึกข้อมูลขณะสัมภาษณ์ โดยบันทึกเฉพาะข้อความสำคัญเพื่อช่วยเตือนความจำเกี่ยวกับเหตุการณ์หรือการสนทนาสั้น ๆ

3) แบบบันทึกการสัมภาษณ์ เป็นการจดรายละเอียดที่ได้จากการถอดความจากเทปบันทึกเสียงขณะสัมภาษณ์กลุ่มย่อย ในการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยมีแนวคำถาม เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับประสบการณ์การเรียนรู้ในรายวิชา

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ มี 2 ส่วน ได้แก่

4.1 ข้อมูลเชิงปริมาณ ผู้วิจัยดำเนินการตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดขึ้น และนำคะแนนที่ได้จากแบบประเมินทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย มาดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติ ได้แก่ $\overline{x}$, S.D. โดยผู้วิจัยนำเสนอข้อมูลในรูปตารางประกอบความเรียง

4.2 ข้อมูลเชิงคุณภาพ นำข้อมูลจากการสัมภาษณ์นักศึกษาเป็นกลุ่มย่อยที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล (Content Analysis) โดยการจัดกลุ่มข้อมูล (Categories) เนื้อหาที่ได้รับจากการสัมภาษณ์ ทำการเชื่อมโยงเนื้อหาแต่ละส่วนเข้าด้วยกันเพื่อหาข้อสรุป (proposition) ตามวิธีการแบบอุปนัย โดยผู้วิจัยทำการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลเป็นระยะตลอดการดำเนินการวิจัย และนำเสนอข้อมูลในลักษณะเชิงพรรณนา

ผลการศึกษา

1. การพัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย ของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัยและการศึกษาพิเศษ โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา มีขั้นตอนการดำเนินการตามกระบวนการฯ 6 ขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการที่ผู้เรียนได้วิเคราะห์เนื้อหา องค์ความรู้จากการเชื่อมโยงบูรณาการเนื้อหา สาระของกระบวนวิชา จากนั้นขั้นที่ 2 ผู้เรียนคิด วางแผนการเรียนรู้ในแต่ละวัน แต่ละสัปดาห์ตลอดจนภาคการศึกษาร่วมกัน ขั้นที่ 3 ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อแสวงหาคำตอบด้วยตนเอง ขั้นที่ 4 สรุปความรู้และสะท้อนการเรียนรู้ ขั้นที่ 5 แลกเปลี่ยนเรียนรู้ ขั้นที่ 6 ต่อยอดองค์ความรู้ รายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 วิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) ผู้เรียนวิเคราะห์เนื้อหา สาระ คำอธิบายรายวิชาของแต่ละกระบวนวิชา จากนั้นเชื่อมโยงและบูรณาการความเกี่ยวเนื่องกันต้องเนื้อหาสาระนั้น โดยการจัดทำ mind-map ร่วมกันกำหนดประเด็นเนื้อหาย่อย จากความสนใจของผู้เรียน และอาจารย์ผู้สอนช่วยเสนอแนะเพื่อเติมเต็ม

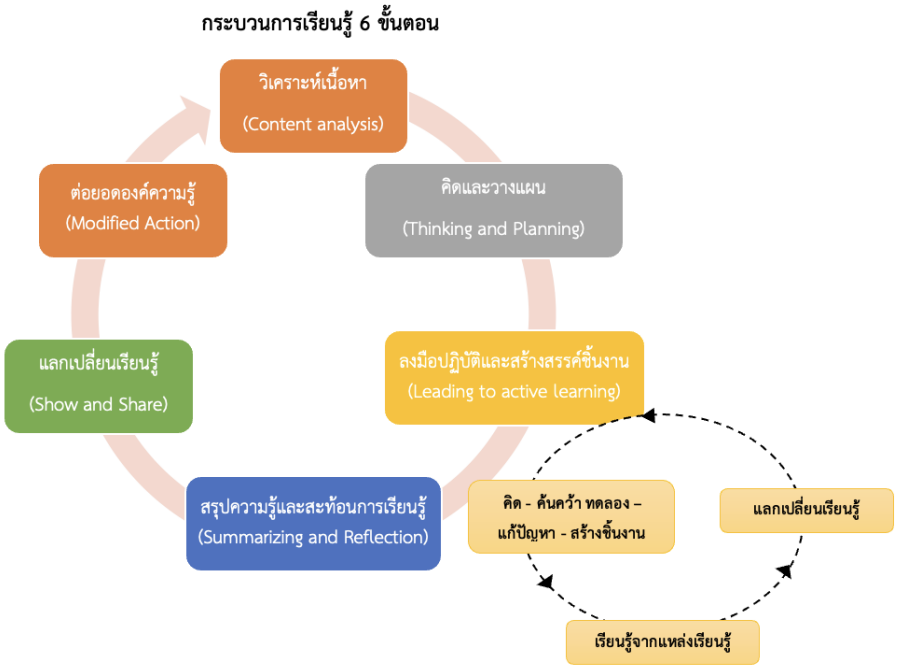
ขั้นที่ 2 คิดและวางแผน (Thinking and Planning) ผู้เรียนร่วมกันกำหนดกิจกรรมการเรียนรู้ ในแต่ละวัน แต่ละสัปดาห์ ตลอดจนภาคการศึกษาร่วมกันเพื่อบรรลุตามวัตถุประสงค์ของกระบวนวิชา

ขั้นที่ 3 เรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติและสร้างสรรค์ชิ้นงาน (Leading to active learning) ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อแสวงหาคำตอบด้วยตนเอง โดยเริ่มจากประเด็นที่ตนเองสนใจมาทำการวางแผนการเรียนรู้ แล้วลงมือทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งการเรียนรู้ต่าง ๆ โดยมีอาจารย์เป็นผู้ชี้แนะและอำนวยความสะดวกด้านแหล่งเรียนรู้และแนวทางการสืบค้น และสร้างเป็นชิ้นงานประเภทต่าง ๆ ตามแผนงาน โครงการหรือขั้นตอนที่วางแผนไว้

ขั้นที่ 4 สรุปความรู้และสะท้อนการเรียนรู้ (Summarizing and Reflection) ผู้เรียนสรุปองค์ความรู้ ความคิดและความรู้สึกที่มีต่อการเรียนรู้ของตนเองในรูปแบบของบทความ สมุด แฟ้มสะสมงาน (portfolio) และแผนภาพความคิด (mind map) ลงในโปรแกรม Google document

ขั้นที่ 5 แลกเปลี่ยนเรียนรู้ (Show and Share) การนำเสนอชิ้นงาน เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ร่วมกัน สะท้อนความคิดหลังการทำกิจกรรมร่วมกันอภิปราย วิเคราะห์ วิพากษ์ และให้ข้อเสนอแนะต่อกันอย่างเป็นกัลยาณมิตร การประเมินผลการเรียนรู้ ที่ทั้งผู้เรียนและผู้สอนร่วมกันตัดสินคุณภาพของงานนำไปสู่การพัฒนาผลงานและพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง

ขั้นที่ 6 ต่อยอดองค์ความรู้ (Modified Action) การที่ผู้เรียนได้เกิดความรู้ความเข้าใจในองค์ความรู้แล้วนำความรู้ที่ได้พัฒนาตนเอง นำไปสู่การเรียนรู้สิ่งใหม่ที่เกิดประโยชน์ทั้งตนเองและชุมชน



ภาพที่ 1 กระบวนการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน

2. ผลของการประเมินทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย

ผลของการการประเมินทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย ของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัย โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา มีรายละเอียดดังนำเสนอในตารางที่ 1 – 5

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย จากการประเมินครั้งที่ 1 (ก่อนการทดลองใช้กระบวนการฯ)

(N=16)

	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
1.	โครงสร้างเนื้อหาชัดเจนมีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง	1.50	0.53	ปานกลาง
2.	เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	1.38	0.52	ต่ำ
3.	เนื้อหานำเสนอตรงและครอบคลุมตามจุดประสงค์	2.00	0.00	ปานกลาง
4.	ในกระบวนการใช้สื่อ มีการแสดงออกถึงการปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนอย่างเหมาะสม	1.63	0.52	ปานกลาง
5.	ใช้ภาษาถูกต้องเหมาะสม	2.00	0.00	ปานกลาง
6.	การจัดวางองค์ประกอบได้สัดส่วน สวยงาม ง่ายต่อการใช้	1.38	0.52	ต่ำ
7.	การสื่อความหมายสอดคล้องกับเนื้อหา	1.63	0.52	ปานกลาง
8.	สื่อมีขนาด สี ที่ชัดเจนอ่านง่าย และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	2.13	0.35	ปานกลาง
9.	สื่อส่งเสริมประสบการณ์สำคัญและส่งเสริมพัฒนาการเรียนรู้ด้านต่าง ๆ ของผู้เรียน	1.75	0.46	ปานกลาง
10.	การออกแบบตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล	2.00	0.00	ปานกลาง
11.	สื่อมีความแปลกใหม่ ดึงดูดความสนใจ	1.38	0.52	ต่ำ
12.	ใช้วัสดุเหมาะสม ใช้ประกอบการสอนได้ง่าย และสะดวก	1.75	0.46	ปานกลาง
13.	มีความแปลกใหม่ น่าสนใจ	1.75	0.46	ปานกลาง
14.	มีความคงทน ประหยัด ปลอดภัย	1.88	0.35	ปานกลาง
15.	สื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนได้ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่คาดหวัง	2.50	0.53	สูง
16.	มีการประเมินการใช้สื่อ และการรายงานผลการใช้สื่อ	2.00	0.46	ปานกลาง
	รวม	1.79	0.20	ปานกลาง

จากตารางที่ 1 พบว่า คะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย จากการประเมินครั้งที่ 1 (ก่อนการทดลองใช้กระบวนการฯ) โดยรวมมีระดับของทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.79 เมื่อพิจารณาในแต่ละรายการประเมินซึ่งมีทั้งหมด 16 รายการ มี 1 รายการอยู่ในระดับสูง มี 12 รายการ อยู่ในระดับปานกลาง และมี 3 รายการ อยู่ในระดับต่ำ ค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 2.50 ซึ่งอยู่ในระดับสูง ได้แก่ สื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนได้ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่คาดหวัง ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 1.38 อยู่ในระดับต่ำ มี 3 รายการ ได้แก่ เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน การจัดวางองค์ประกอบได้สัดส่วน สวยงาม ง่ายต่อการใช้และสื่อมีความแปลกใหม่ ดึงดูดความสนใจ

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย จากการประเมินครั้งที่ 2 (ระหว่างการทดลองใช้กระบวนการฯ)

(N=16)

	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
1.	โครงสร้างเนื้อหาชัดเจนมีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง	2.00	0.00	ปานกลาง
2.	เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	1.88	0.35	ปานกลาง
3.	เนื้อหานำเสนอตรงและครอบคลุมตามจุดประสงค์	2.00	0.00	ปานกลาง
4.	ในกระบวนการใช้สื่อ มีการแสดงออกถึงการปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนอย่างเหมาะสม	2.00	0.53	ปานกลาง
5.	ใช้ภาษาถูกต้องเหมาะสม	2.38	0.52	ปานกลาง
6.	การจัดวางองค์ประกอบได้สัดส่วน สวยงาม ง่ายต่อการใช้	1.75	0.46	ปานกลาง
7.	การสื่อความหมายสอดคล้องกับเนื้อหา	2.25	0.46	ปานกลาง
8.	สื่อมีขนาด สี ที่ชัดเจนอ่านง่าย และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	2.13	0.35	ปานกลาง
9.	สื่อส่งเสริมประสบการณ์สำคัญและส่งเสริมพัฒนาการเรียนรู้ด้านต่าง ๆ ของผู้เรียน	2.38	0.52	ปานกลาง
10.	การออกแบบตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล	2.00	0.00	ปานกลาง
11.	สื่อมีความแปลกใหม่ ดึงดูดความสนใจ	1.88	0.35	ปานกลาง
12.	ใช้วัสดุเหมาะสม ใช้ประกอบการสอนได้ง่าย และสะดวก	1.75	0.46	ปานกลาง
13.	มีความแปลกใหม่ น่าสนใจ	2.13	0.35	ปานกลาง
14.	มีความคงทน ประหยัด ปลอดภัย	2.13	0.35	ปานกลาง
15.	สื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนได้ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่คาดหวัง	2.50	0.53	สูง
16.	มีการประเมินการใช้สื่อ และการรายงานผลการใช้สื่อ	2.13	0.34	ปานกลาง
	รวม	2.08	0.15	ปานกลาง

จากตารางที่ 2 พบว่า คะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย จากการประเมินครั้งที่ 2 (ระหว่างการทดลองใช้กระบวนการฯ) โดยรวมมีระดับของทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.08 เมื่อพิจารณาในแต่ละรายการประเมินซึ่งมีทั้งหมด 16 รายการ มี 1 รายการอยู่ในระดับสูง และ มี 15 รายการ อยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 2.50 ซึ่งอยู่ในระดับสูง ได้แก่ สื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนได้ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่คาดหวัง ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 1.75 อยู่ในระดับปานกลาง ได้แก่ การจัดวางองค์ประกอบได้สัดส่วน สวยงาม ง่ายต่อการใช้

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย จากการประเมินครั้งที่ 3 (ระหว่างการทดลองใช้กระบวนการฯ)

(N=16)

	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
1.	โครงสร้างเนื้อหาชัดเจนมีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง	2.50	0.53	สูง
2.	เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	2.25	0.46	สูง
3.	เนื้อหานำเสนอตรงและครอบคลุมตามจุดประสงค์	2.63	0.52	สูง
4.	ในกระบวนการใช้สื่อ มีการแสดงออกถึงการปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนอย่างเหมาะสม	2.50	0.53	สูง
5.	ใช้ภาษาถูกต้องเหมาะสม	2.75	0.46	สูง
6.	การจัดวางองค์ประกอบได้สัดส่วน สวยงาม ง่ายต่อการใช้	2.38	0.52	ปานกลาง
7.	การสื่อความหมายสอดคล้องกับเนื้อหา	2.50	0.53	สูง
8.	สื่อมีขนาด สี ที่ชัดเจนอ่านง่าย และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	2.25	0.46	ปานกลาง
9.	สื่อส่งเสริมประสบการณ์สำคัญและส่งเสริมพัฒนาการเรียนรู้ด้านต่าง ๆ ของผู้เรียน	2.75	0.46	สูง
10.	การออกแบบตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล	2.00	0.00	ปานกลาง
11.	สื่อมีความแปลกใหม่ ดึงดูดความสนใจ	2.13	0.35	ปานกลาง
12.	ใช้วัสดุเหมาะสม ใช้ประกอบการสอนได้ง่าย และสะดวก	2.14	0.35	ปานกลาง
13.	มีความแปลกใหม่ น่าสนใจ	2.25	0.46	ปานกลาง
14.	มีความคงทน ประหยัด ปลอดภัย	2.63	0.52	สูง
15.	สื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนได้ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่คาดหวัง	2.88	0.35	สูง
16.	มีการประเมินการใช้สื่อ และการรายงานผลการใช้สื่อ	2.62	0.52	สูง
	รวม	2.45	0.23	ปานกลาง

จากตารางที่ 3 พบว่า คะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย จากการประเมินครั้งที่ 3 (ระหว่างการทดลองใช้กระบวนการฯ) โดยรวมมีระดับของทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.45 เมื่อพิจารณาในแต่ละรายการประเมินซึ่งมีทั้งหมด 16 รายการ มี 9 รายการอยู่ในระดับสูง และ มี 7 รายการ อยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 2.88 ซึ่งอยู่ในระดับสูง ได้แก่ สื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนได้ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่คาดหวัง ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 2.00 อยู่ในระดับปานกลาง ได้แก่ การออกแบบตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย จากการประเมินครั้งที่ 4 (ระหว่างการทดลองใช้กระบวนการฯ)

(N=16)

	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
1.	โครงสร้างเนื้อหาชัดเจนมีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง	2.50	0.53	สูง
2.	เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	3.00	0.00	สูง
3.	เนื้อหานำเสนอตรงและครอบคลุมตามจุดประสงค์	2.88	0.35	สูง
4.	ในกระบวนการใช้สื่อ มีการแสดงออกถึงการปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนอย่างเหมาะสม	2.88	0.35	สูง
5.	ใช้ภาษาถูกต้องเหมาะสม	2.63	0.52	สูง
6.	การจัดวางองค์ประกอบได้สัดส่วน สวยงาม ง่ายต่อการใช้	2.50	0.53	สูง
7.	การสื่อความหมายสอดคล้องกับเนื้อหา	2.75	0.46	สูง
8.	สื่อมีขนาด สี ที่ชัดเจนอ่านง่าย และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	2.88	0.35	สูง
9.	สื่อส่งเสริมประสบการณ์สำคัญและส่งเสริมพัฒนาการเรียนรู้ด้านต่าง ๆ ของผู้เรียน	2.50	0.53	สูง
10.	การออกแบบตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล	2.75	0.46	สูง
11.	สื่อมีความแปลกใหม่ ดึงดูดความสนใจ	2.38	0.51	ปานกลาง
12.	ใช้วัสดุเหมาะสม ใช้ประกอบการสอนได้ง่าย และสะดวก	2.50	0.53	สูง
13.	มีความแปลกใหม่ น่าสนใจ	2.88	0.35	สูง
14.	มีความคงทน ประหยัด ปลอดภัย	2.75	0.46	สูง
15.	สื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนได้ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่คาดหวัง	2.85	0.35	สูง
16.	มีการประเมินการใช้สื่อ และการรายงานผลการใช้สื่อ	2.88	0.35	สูง
	รวม	2.72	0.28	สูง

จากตารางที่ 4 พบว่า คะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย จากการประเมินครั้งที่ 4 (ระหว่างการทดลองใช้กระบวนการฯ) โดยรวมมีระดับของทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.45 เมื่อพิจารณาในแต่ละรายการประเมินซึ่งมีทั้งหมด 16 รายการ มี 9 รายการอยู่ในระดับสูง และ มี 7 รายการ อยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 2.88 ซึ่งอยู่ในระดับสูง ได้แก่ สื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนได้ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่คาดหวัง ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 2.00 อยู่ในระดับปานกลาง ได้แก่ การออกแบบตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย จากการประเมินครั้งที่ 5 (หลังการทดลองใช้กระบวนการฯ)

	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
1.	โครงสร้างเนื้อหาชัดเจนมีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง	3.00	0.00	สูง
2.	เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	2.87	0.35	สูง
3.	เนื้อหานำเสนอตรงและครอบคลุมตามจุดประสงค์	3.00	0.00	สูง
4.	ในกระบวนการใช้สื่อ มีการแสดงออกถึงการปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนอย่างเหมาะสม	2.87	0.35	สูง
5.	ใช้ภาษาถูกต้องเหมาะสม	3.00	0.00	สูง
6.	การจัดวางองค์ประกอบได้สัดส่วน สวยงาม ง่ายต่อการใช้	2.63	0.52	สูง
7.	การสื่อความหมายสอดคล้องกับเนื้อหา	3.00	0.00	สูง
8.	สื่อมีขนาด สี ที่ชัดเจนอ่านง่าย และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	3.00	0.00	สูง
9.	สื่อส่งเสริมประสบการณ์สำคัญและส่งเสริมพัฒนาการเรียนรู้ด้านต่าง ๆ ของผู้เรียน	2.63	0.52	สูง
10.	การออกแบบตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล	3.00	0.00	สูง
11.	สื่อมีความแปลกใหม่ ดึงดูดความสนใจ	2.88	0.35	สูง
12.	ใช้วัสดุเหมาะสม ใช้ประกอบการสอนได้ง่าย และสะดวก	3.00	0.00	สูง
13.	มีความแปลกใหม่ น่าสนใจ	3.00	0.00	สูง
14.	มีความคงทน ประหยัด ปลอดภัย	3.00	0.00	สูง
15.	สื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนได้ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่คาดหวัง	3.00	0.00	สูง
16.	มีการประเมินการใช้สื่อ และการรายงานผลการใช้สื่อ	2.75	0.46	สูง
	รวม	2.91	0.12	สูง

จากตารางที่ 5 พบว่า คะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย จากการประเมินครั้งที่ 5 (หลังการทดลองใช้กระบวนการฯ) โดยรวมมีระดับของทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยในระดับสูง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.91 เมื่อพิจารณาในแต่ละรายการประเมินซึ่งมีทั้งหมด 16 รายการทุกรายการอยู่ในระดับสูง ค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 3.00 ซึ่งอยู่ในระดับสูง มี 9 รายการ ได้แก่ โครงสร้างเนื้อหาชัดเจนมีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง เนื้อหานำเสนอตรงและครอบคลุมตามจุดประสงค์ใช้ภาษาถูกต้องเหมาะสม การสื่อความหมายสอดคล้องกับเนื้อหา สื่อมีขนาด สี ที่ชัดเจนอ่านง่าย และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน การออกแบบตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล ใช้วัสดุเหมาะสม ใช้ประกอบการสอนได้ง่าย และสะดวก มีความแปลกใหม่ น่าสนใจ มีความคงทน ประหยัด ปลอดภัย และสื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนได้ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่คาดหวัง ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 2.63

ได้แก่ การจัดวางองค์ประกอบได้สัดส่วน สวยงาม ง่ายต่อการใช้ และสื่อส่งเสริมประสบการณ์สำคัญและส่งเสริมพัฒนาการเรียนรู้ด้านต่าง ๆ ของผู้เรียน

3. ประสบการณ์การเรียนรู้ของนักศึกษาในการเรียนรายวิชาสื่อการเรียนการสอนสำหรับเด็กปฐมวัย ในการเรียนรายวิชาสื่อการเรียนการสอนสำหรับเด็กปฐมวัย ผู้เรียนมีประสบการณ์การเรียนรู้ในการพัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยอย่างไร ผู้วิจัยขอนำเสนอผลจากการสัมภาษณ์ ดังนี้

3.1 บรรยากาศการเรียนรู้ในรายวิชา

นักศึกษาสะท้อนเกี่ยวกับบรรยากาศของการเรียนรู้ในรายวิชานี้ว่า สนุก ผ่อนคลาย เป็นกันเอง เปิดกว้างให้นักศึกษาได้ลงมือทำ เรียนรู้ร่วมกัน แสดงความคิดเห็น และ ได้รู้จักกับเพื่อนร่วมชั้นมากขึ้น โดยใช้ประประสบการณ์หลากหลายในการจัดการเรียนการสอน เพื่อขจัดสิ่งที่เป็นปัญหาต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน จึงทำให้ผู้เรียนมีผลการเรียนรู้ที่สูงขึ้น

3.2 ประสบการณ์การเรียนรู้จากกิจกรรมที่พัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย

นักศึกษาสะท้อนประสบการณ์เรียนรู้ที่ที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้ไว้ว่า การส่งเสริมให้นักศึกษาได้มีโอกาสพัฒนาความสามารถด้วยการเรียนรู้ด้านเนื้อหา ควบคู่กับการปฏิบัติจริง เน้นการทำงานร่วมกัน เรียนรู้ร่วมกันเป็นกลุ่ม และมีประสบการณ์ลงมือสร้างชิ้นงานด้วยตนเอง ได้คิด วางแผน และแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ทั้งด้านการออกแบบการเรียนรู้ ลักษณะเฉพาะของสื่อ การจัดหาสื่อการเรียนรู้ และการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้ รวมถึงการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่เน้นความแตกต่างระหว่างบุคคล

อภิปรายและสรุปผล

สรุปผลการวิจัย

1. การพัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย ของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัย โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา มีขั้นตอนการดำเนินการตามกระบวนการฯ 6 ขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการที่ผู้เรียนได้วิเคราะห์เนื้อหา องค์ความรู้จากการเชื่อมโยง บูรณาการเนื้อหา สาระของกระบวนวิชา จากนั้นขั้นที่ 2 ผู้เรียนคิด วางแผนการเรียนรู้ในแต่ละวัน แต่ละสัปดาห์ ตลอดจนภาคการศึกษาร่วมกัน ขั้นที่ 3 ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อแสวงหาคำตอบด้วยตนเอง ขั้นที่ 4 สรุปความรู้และสะท้อนการเรียนรู้ ขั้นที่ 5 แลกเปลี่ยนเรียนรู้ ขั้นที่ 6 ต่อยอดองค์ความรู้

2. คะแนนทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัย โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา ในด้านการออกแบบการเรียนรู้ ลักษณะเฉพาะของสื่อ การจัดหาสื่อการเรียนรู้ และการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้ สูงกว่าก่อนการใช้กระบวนการฯ

3. ประสบการณ์การเรียนรู้ที่เกิดขึ้นสามารถสรุปเป็นประเด็น ดังนี้

1) บรรยากาศการเรียนรู้ในรายวิชา ได้แก่ สนุก ผ่อนคลาย เป็นกันเอง เปิดกว้างให้นักศึกษาได้ลงมือทำ เรียนรู้ร่วมกัน แสดงความคิดเห็น และ ได้รู้จักกับเพื่อนร่วมชั้นมากขึ้น

2) ประสบการณ์การเรียนรู้ที่พัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้ ได้แก่ การส่งเสริมให้นักศึกษาได้มีโอกาสพัฒนาความสามารถด้วยการเรียนรู้ด้านเนื้อหา ควบคู่กับการปฏิบัติจริง เน้นการทำงานร่วมกัน เรียนรู้ร่วมกันเป็นกลุ่ม และมีประสบการณ์ลงมือสร้างชิ้นงานด้วยตนเอง ได้คิด วางแผน และแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ทั้งด้านการออกแบบการเรียนรู้ ลักษณะเฉพาะของสื่อ การจัดหาสื่อการเรียนรู้ และการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้ รวมถึงการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่เน้นความแตกต่างระหว่างบุคคล

อภิปรายผล

ผลการวิจัยสามารถนำมาอภิปรายได้ ดังนี้

1. การอภิปรายผลด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา

จากการดำเนินงานตามกระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญาตั้งแต่เริ่มการจัดการเรียนการสอนตามกระบวนการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น จนถึงขั้นตอนที่นักศึกษานำความรู้ไปใช้ในการออกแบบสื่อการเรียนรู้เพื่อพัฒนาเด็กปฐมวัย พบว่า การดำเนินงานตามกระบวนการเรียนรู้ที่พัฒนา ซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมความสามารถในการพัฒนาทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้ของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัยและการศึกษาพิเศษได้เป็นอย่างดี เพราะการดำเนินงานตามกระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา จุดเด่นคือ การส่งเสริมให้นักศึกษาได้มีโอกาสพัฒนาความสามารถด้วยการเรียนรู้ด้านเนื้อหาควบคู่กับการปฏิบัติจริง เน้นการทำงานร่วมกัน เรียนรู้ร่วมกันเป็นกลุ่ม และมีประสบการณ์ลงมือสร้างชิ้นงานด้วยตนเอง ได้คิด วางแผน และแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ทั้งด้านการออกแบบการเรียนรู้ ลักษณะเฉพาะของสื่อ การจัดหาสื่อการเรียนรู้ และการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้ รวมถึงการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่เน้นความแตกต่างระหว่างบุคคล

การจัดการเรียนการสอนด้วยกระบวนการเรียนรู้แนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา นับเป็นการจัดการเรียนการสอนตามหลักการเรียนรู้จากการปฏิบัติจริง เพราะนักศึกษาได้เรียนรู้ดำเนินงานตามกระบวนการศึกษาผ่านการเรียนรู้จากการลงมือทำด้วยตนเอง ซึ่ง Dixon (1998) กล่าวว่า การเรียนรู้ที่มีคุณค่ามากที่สุดเกิดขึ้นเมื่อผู้มีส่วนในการเรียนร่วมสะท้อนกลับบนการปฏิบัติของตนเอง การสะท้อนกลับถือเป็นหัวใจของการเรียนรู้จากการปฏิบัติ เพราะการสะท้อนกลับจะสร้างการสนับสนุนซึ่งกันและกันของสมาชิก การเรียนรู้จากการปฏิบัติจริง สมาชิกควรจะเปิดใจในการลองแนวทางใหม่ ๆ การทำสิ่งต่าง ๆ การทดลอง เป็นต้น แล้วปฏิบัติเป็นซ้ำ ๆ วงจรเดิมโดยการทดลองใช้ความรู้ที่ได้รับใหม่ในสถานการณ์ที่แตกต่างกันออกไป

อย่างไรก็ดี การจัดการเรียนการสอนด้วยกระบวนการเรียนรู้แนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญานี้จะประสบความสำเร็จได้หากผู้สอนและผู้เรียนตระหนักถึงบทบาทสำคัญของตนเอง โดยผู้สอนควรจะต้องพัฒนาตนเองจนเกิดความเข้าใจกระบวนการเรียนรู้เป็นอย่างดี รู้และว่องไวต่อความคิดและความต้องการของเด็กแต่ละคน และให้คำแนะนำได้อย่างเหมาะสม ไม่มากเกินไปจนทำให้เด็กคิดพึ่งพาครูไปเสียหมดทุกเรื่อง และไม่น้อยเกินไปจนเด็กหมดกำลังใจที่จะทำงานต่อ ยอมรับในความแปลกใหม่ของผู้เรียนและร่วมสำรวจ ทดลองกับผู้เรียนได้อย่างจริงใจ ช่วยทำให้เกิดบรรยากาศการเรียนรู้ร่วมกันอย่างเป็นมิตร เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทำสิ่งที่ตนเองสนใจและในระยะเวลาที่ต้องการ ส่งเสริมให้มีการนำเสนอผลงานและแลกเปลี่ยนความคิดกันภายในห้องเรียนอย่างจริงจังและต่อเนื่อง เป็นตัวอย่างที่จะช่วยบ่มเพาะวัฒนธรรมการใฝ่เรียน ใฝ่รู้ให้เกิดขึ้นในห้องเรียนได้

นอกจากผู้สอนจะตระหนักถึงบทบาทของตนเองแล้ว ผู้เรียนก็ควรจะต้องเป็นฝ่ายริเริ่มลงมือทำโครงการซึ่งจนเองสนใจ พร้อมกับคิดและพูดอธิบายเกี่ยวกับสิ่งที่ได้กระทำไปแล้วให้คนอื่น ๆ รับรู้และนำไปสู่การแลกเปลี่ยนความคิดซึ่งกันและกันอย่างฉันท์มิตร เมื่อปฏิบัติเช่นนี้อย่างต่อเนื่องก็จะทำให้เด็กเกิดความเข้าใจกระบวนการเรียนรู้ของตนเองได้มากขึ้นตามลำดับ โดยมีสิ่งสนับสนุนคือ เครื่องมือที่เหมาะสม สำหรับใช้แสดงความคิด

2. การอภิปรายผลทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัยและการศึกษาพิเศษ โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา

การจัดการเรียนการสอนตามขั้นตอนของกระบวนการเรียนจัดการเรียนการสอนด้วยกระบวนการเรียนรู้แนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญาเพื่อส่งเสริมทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัยของนักศึกษาสาขาวิชาการศึกษาปฐมวัยและการศึกษาพิเศษ การอภิปรายผลขอนำเสนอในประเด็นหลัก ๆ ดังนี้

2.1 ภาพรวมของทักษะการออกแบบสื่อการเรียนรู้สำหรับเด็กปฐมวัย ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษามีความสามารถสูงกว่าก่อนเรียนด้วยกระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากปัจจัยส่งเสริมหลายประการ เช่น นักศึกษามีโอกาสได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ไม่ได้สร้างจากครูผู้สอน และการสร้างความรู้นั้น ผู้เรียนลงมือสร้างสิ่งใดสิ่งหนึ่งขึ้นมา โดยอาศัยสื่อเทคโนโลยีสร้างสิ่งที่จับต้องได้ ให้สามารถมองเห็นได้จะมีผลทำให้ผู้เรียนใช้ความคิด กระตือรือร้น มีความรับผิดชอบต่อการเรียนรู้ของตนเองอย่างจริงจัง การเรียนลักษณะนี้เน้นกระบวนการเรียน โดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีความอิสระ แต่ละคนมีวิธีคิด วิธีเรียนแตกต่างกัน ความรู้ที่ได้เป็นความรู้ของบุคคล และสามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ขึ้นมาได้เมื่อมีการเปลี่ยนข้อมูลมากกว่าที่จะมีความรู้แต่เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ต้องเป็นการสอนเพื่อหาวิธีการเรียนรู้ (Learn how to learn) (Anderson, and Krathwohl, 2001) แนวคิดการสร้างความรู้ใหม่โดยผู้เรียนเอง มีลักษณะการเรียนการสอน ที่เน้นผู้เรียนเอง

นอกจากนี้ การจัดการเรียนการสอนด้วยกระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา เป็นการส่งเสริมให้นักศึกษาสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองจากการเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติจริง สอดคล้องกับที่ ทิศนา แขมมณี (2543) ได้กล่าวไว้ว่า กิจกรรมที่ดีควรช่วยให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมทางสติปัญญา คือเป็นกิจกรรมที่ช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเคลื่อนไหวทางสติปัญญา เป็นกิจกรรมที่ท้าทายความคิดของผู้เรียน สามารถกระตุ้นสมองของผู้เรียนให้เกิดการเคลื่อนไหว ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความจดจ่อในการคิด สนุกที่จะคิด ดังนั้น ผู้สอนจึงต้องหาประเด็นการคิดที่เหมาะสมกับวัยและความสามารถของผู้เรียน เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนใช้ความคิดหรือลงมือทำสิ่งใดสิ่งหนึ่ง

2.2 การจัดการเรียนการสอนด้วยกระบวนการเรียนรู้ตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา นักศึกษาได้รับการส่งเสริมความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ โดยเริ่มจากการคิดวิเคราะห์ วางแผน แล้วลงมือปฏิบัติตามแผนโดยใช้กระบวนการกลุ่ม จากนั้นร่วมกันสะท้อนคิด และนำเอาความรู้ ประสบการณ์ต่าง ๆ ที่ได้มาบูรณาการเชื่อมโยงความสัมพันธ์กับเนื้อหา สรุปความรู้ นำมาสร้างสรรค์เป็นชิ้นงาน แล้วนำเสนอ ร่วมแลกเปลี่ยนเรียนรู้กัน ประเมินร่วมกัน เพื่อร่วมแลกเปลี่ยนมุมมอง

ผลจากการที่นักศึกษาได้รับจากกิจกรรมดังกล่าว ช่วยให้นักศึกษามีความสามารถในการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ส่งผลให้บทบาทของผู้สอนในการช่วยเหลือนักศึกษาลดลง เหลือเพียงการใช้คำถามกระตุ้น ให้คำชี้แนะ ใช้คำพูดที่ท้าทายให้นักศึกษาได้คิด ไตร่ตรอง สอดคล้องกับแนวคิดของ Palincsar and Brown (1984) ที่กล่าวว่า การช่วยเหลือการเรียนรู้ของผู้เรียนว่า การช่วยเหลือผู้เรียนจะค่อย ๆ ลดลง ขณะที่ผู้เรียนค่อย ๆ เพิ่มความสามารถปฏิบัติงานด้วยตนเองขึ้นไปเรื่อย ๆ และเมื่อผู้เรียนสามารถปฏิบัติงานได้ด้วยตนเองอย่างอิสระ การช่วยเหลือในกิจกรรมนั้นจะยุติลง และในขณะเดียวกันผู้สอนควรสนับสนุนให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนประสบการณ์ต่อกันในกลุ่ม โดยการให้ผู้เรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนทั้งลักษณะการทำงานกลุ่มใหญ่ กลุ่มย่อย หรือเป็นคู่ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเกี่ยวกับการสอนแบบช่วยเสริมศักยภาพที่ Vygotsky (1978) และ Bruner (1996) กล่าวไว้ว่า ผู้สอนจะช่วยเหลือการเรียนรู้ของผู้เรียนได้โดยการสนับสนุนให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม ทั้งลักษณะปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้สอนกับผู้เรียน หรือผู้เรียนกับผู้เรียนด้วยกัน ซึ่งปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นช่วยให้ผู้เรียนได้ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ได้สนทนาแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน โดยผู้เรียนจะเป็นผู้ซักถามข้อสงสัย และอภิปรายแลกเปลี่ยนความเข้าใจของตนเองกับกลุ่มเพื่อน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัย คณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัย – เชียงใหม่ ด้วยการสนับสนุนนี้ทำให้ผู้วิจัยได้รับโอกาสที่ดีในการพัฒนาทางวิชาชีพในส่วนของการสอน งานวิจัยนี้เป็นการนำแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญามาใช้ในการจัดการเรียนการสอน วิชาสื่อการเรียนการสอนสำหรับเด็กปฐมวัย

สุดท้ายขอขอบคุณผู้เข้าร่วมวิจัยที่เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้อย่างเต็มที่ และขอขอบคุณผู้ให้การช่วยเหลือทุกท่านซึ่งไม่อาจกล่าวนามได้หมดในที่นี้

เอกสารอ้างอิง

กมลวรรณ ตังธนกานนท์. **การพัฒนากระบวนการจัดทำแฟ้มสะสมงานเพื่อประเมินผลการเรียนรู้ของเด็กที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนตามแนวการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญาแบบเต็มรูปในโรงเรียนดรุณสิกขาลัย.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชา วิจัยและจิตวิทยาการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

ทิศนา แขมมณี. ***ศาสตร์การสอน***. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพมหานคร: บริษัทด่านสุทธาการพิมพ์, 2553.

มิรา ชัยมหาวงศ์. **หลอมรวมการเรียนรู้เพื่อความเป็นไท เล่ม 1 : เครือข่ายโรงเรียนไทยไท**. กรุงเทพมหานคร : แปลน พริ้นติ้ง, 2551.

Anderson, L. W. and Krathwohl, D. R., et al (Eds..) (2001) ***A Taxonomy for Learning, Teaching,and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives***. Allyn & Bacon. Boston, MA (Pearson Education Group)

Bruner, J. (1996). **The Culture of Education**. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Dixon, N. (1998). The responsibilities of members in an organization that is learning. ***The Learning Organization***, 5(4), 161–167.

Palincsar, A. S., & Brown, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension–fostering and comprehension–monitoring activities. **Cognition and Instruction**, 1(2), 117–175. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0102_1

Vygotsky, L.S. (1978). **Mind in Society: The Development of Higher PsychologicalProcesses**. Edited by Michael Cole, Vera John–Steiner, Sylvia Scribner, and Ellen Souberman. Cambridge: Massachusetts, London, Harvard University Press.

Reading the brotherhood of Kaeng Khoi through the lenses of the posthuman gothic and posthumanist feminism

Isaraporn Pissa-ard[1*]

Abstract

This paper focuses on the reconstruction of the concept of the human and the retelling of ghost stories in the novel *The Brotherhood of Kaeng Khoi* by 2009 S.E.A. Write Award-winning Thai author Uthis Haemamool. The key argument is that in its implication that the ghosts in Thai culture are the metaphorical entities that reside within the human, this novel can be approached from the literary perspective of the posthuman Gothic that examines the notion of the human in relation to the monstrous other. Central to this novel is the attempt to reinvent the concept of the human that embraces rather than demonizes the monstrous other while simultaneously capturing the painful struggle of the oppressed who seek to empower themselves against the shackles of patriarchy. The protagonist-narrator of this novel, in particular, is able to find creative power and attain self-respect through his acceptance that the monstrous other that he fears resides within himself. Also crucial to the transformation and empowerment of the main characters in this novel is the emphasis on the entanglements and the interconnections of humans and nonhumans that can be illuminated through the lens of posthumanist feminism.

Keywords: The posthuman gothic, Posthumanist feminism, Counter-narrative

Introduction

Despite the influence of feminist thoughts and movements, contemporary Thailand is still a society where the patriarchal order prevails and attributes of a model citizen or an ideal human are significantly influenced by patriarchal values. Thai men are expected to assume the leadership position within their families and the roles of men in the public sphere are generally more prominent than those of women. While Thai women have always been a vital part of Thailand's workforce and many can earn as much as men, they are still expected to perform the nurturing and supportive roles of mother and wife within the domestic sphere. Thai women are also expected to be gentle, sensible, and sexually passive. Women who deviate from or defy stereotypical gender roles or expectations are often viewed with disapproval or even derision. Not surprisingly, as a society that is still steeped in superstitious and patriarchal values, contemporary Thailand is rampant with ghost stories that reflect and reaffirm patriarchal gender roles. As noted by Rachel Harrison (2017), those ghost stories often revolve around the havoc and horror caused by ferocious and vindictive female ghosts, who

[1] Assistant Professor at the Department of English, Faculty of Humanities, Chiang Mai University, Chiang Mai, 52000

* Corresponding author: eng102course@gmail.com

represent 'bad' women, and resolve with the defeat those ghosts by powerful religious male figures such as monks or men with magical power, who represent patriarchal power (20–23.)

While ghost tales that mirror and reaffirm patriarchal values are common in Thai culture, those tales can also be retold and may function as counter–narratives that undermine or subvert dominant values. According to Molly Andrews (2004), often existing in tension with dominant cultural stories are counter–narratives created by those who feel excluded or marginalized by dominant cultural narratives that do not reflect their lived experiences. Commenting on counter–narratives, Andrews observes that in order to create stories that they can identify with and become their stories, the storytellers may utilize mainstream cultural stories as the starting point of their counter stories but ultimately subvert them so as to offer alternatives or even opposing accounts that ultimately challenge dominant cultural narratives (pp.1–2). In this paper, I draw on key ideas offered by feminist posthumanism and studies in posthuman Gothic narratives and argue that acclaimed Thai author Uthis Haemamool's novel *The Brotherhood of Kaeng Khoi* can be seen as a counter–narrative that initially relies on dominant cultural scripts that stress the superiority of the patriarchal figure only to dramatically subvert and challenge them later through the retelling of well–known Thai ghost tales that allows for the reinvention of the concept of the human that is no longer determined by the patriarchal order. This new concept of the human challenges both patriarchy and anthropocentrism and draws attention to the otherized in Thai culture who are often imagined as the monstrous/ghosts. Also foregrounded in the novel is the destructive impacts of anthropocentrism and androcentrism on both humans and the natural environment.

Objectives

1. To show how *The Brotherhood of Kaeng Khoi* can be seen as a counter–narrative that draws attention to the posthumanist reinvention of the human
2. To show how the novel exhibits characteristics of the posthuman Gothic while simultaneously foregrounding the destructive impacts of anthropocentrism and androcentrism

Literature Review

Set in Thailand in the 1990s, Uthis Haemamool's *The Brotherhood of Kaeng Khoi* won the Southeast Asian Writers Award (S.E.A. Write Award) in 2009.The novel has been praised for its vivid portrayal of Thai local cultures and innovative narrative strategies. Soranat Tailanga, one of the prominent members of the S.E.A. Write Award committee describes the novel as "fun, gripping, the sudden turn of events makes my jaw drop to the ground." The novel is also applauded by the S.E.A. Write Award committee for its ability to capture "a complex dimension of human existence, one that cannot be separated from origin, ethnic, community, belief and narrative...with subtle storytelling strategy employing simple yet powerful language to portray clear and beautiful imagery." [2]

[2] This praise is from the blurb for the English translation of *The Brotherhood of Kaeng Khoi* (2012).

Academic discussion of this novel is also vigorous and intriguing. To give examples, Soranat Tailanga (2009) offers an insightful reading of the novel through her exploration of the relationships between narrative forms, voices, and identity construction. She also examines the contestations of master narratives and selfhood narratives as discernable in the novel, and interestingly argues that the narrative strategies utilized in the novel allow for the destruction and reconstruction of the identities of the protagonist–narrator who seek to liberate himself from oppressive patriarchal expectations and norms. In another academic discussion of this novel, Isaraporn Pissa-ard in an article entitled "*The Brotherhood of Kaeng Khoi*: A Gramscian Reading" examines this novel through the Gramscian perspective. The central argument of the article is that the novel displays a 'national–popular' vision by bringing to the fore to the lives of the Thai working–classes and drawing attention to the transformation of the protagonist–narrator, whose role resembles that of an 'organic intellectual'. The article concludes by emphasizing that this novel succeeds in creating a dialogue between literary creation and the historical realities of the subaltern classes in Thailand.

In this paper, I employ a different approach in my reading of this novel. This approach draws on posthumanist feminism and the literary perspective offered by the posthuman Gothic. Such an approach encourages focused attention on the entanglements and interconnections of human and nonhumans and foregrounds the posthumanist reinvention of the human that embraces monstrosity as its constitutive element. This approach aims to illuminate one important aspect of the novel that has not been fully investigated in other previous studies. This key aspect is the attempt to underscore the interconnections of humans and nonhumans and to foreground the resistance strategies adopted by the oppressed whose agency and subjectivities are intertwined with those of nonhumans.

Theoretical Framework and Methodology

As a novel that challenges the notion of ideal humans defined by male–dominated values in Thai culture and draws a parallel between patriarchal oppression and the exploitation and destruction of the natural environment, posthumanist feminism offers valuable insights in the critical interpretation of this novel. The literary perspective offered by the posthuman Gothic is also useful in the discussion of this novel that, as argued earlier, is a counter–narrative that incorporates and retells stories about ghosts and superstitious beliefs. At the outset, however, it is important to provide some background about posthumanist ideas and posthumanist feminism.

The rise of posthumanism coincides with the end of the mainstream humanist conception of the human as autonomous and distinct from other beings. Crucial to posthumanist thoughts is the rejection of "the view of the human as exceptional, separate from other life forms and usually dominant/dominating these other forms" (Nayar, 2014, pp.3–4). As observed by Julian Pepperell (2003), while posthumanist ideas can be traced to ancient Greece, the beginning of the twentieth century witnessed the dramatic impacts of posthumanist thoughts on dominant humanist perceptions of the human (p. 55) and the humanist tendency to adhere to binary thinking that results in divisions, such as the separation of nature from culture, human from animal, the animate from inanimate (Niccolini & Jessica Ringrose, 2019, p.3). Crucially, posthumanism "calls for a radical rethink of species uniqueness and

boundedness of the human" and launches an attack on the anthropocentrism of humanist beliefs (Nayar, 2014, pp. 2–4). Rosi Braidotti (2019) also emphasizes the need to replace anthropocentrism with post–anthropocentrism and the transformative effects of the convergence of post–anthropocentrism and posthumanism (p.8).

Posthumanism has profoundly influenced and enriched contemporary feminist thoughts by encouraging the continued feminist exploration of how the dominant notion of the human that privileges male over female has contributed to various forms of inequalities. More importantly, according to Jasmine Ulmer (2017), posthumanism has given momentum to "renewed attention to materiality, vitalism, ecologies, flora, fauna, climate, elements, things, and interconnections…" (p. 1). Owing to the influence of the posthumanist turn, posthumanist feminism has broadened its interest beyond human beings to include devastating environmental destruction, climate change, rapid technological development and progress, as well as past and present forms of violence. These concerns reflect posthumanist feminist thinkers' recognition of the vital importance of human and nonhuman entanglements in the age of the Anthropocene, which, according to Braidotti (2018), is "a multi–layered posthuman predicament that includes the environmental, socio–economic, and affective and psychic dimensions of our ecologies of belonging" (p. 2). In sum, posthumanist thinkers no longer subscribe to the view that human bodies are independent and self–contained. Instead, the human bodies are seen as seen as "multiply entangled and ethically enfolded with(in) other bodies, forces, and materialities" (Niccolini & Ringrose, 2019, p.4).

Posthumanist feminist ideas as summed up above are particularly relevant to *The Brotherhood of Kaeng Khoi*, as one of the key aspects of this novel is the attempt to challenge the notion of ideal humans defined by male–dominated values in Thai culture. The novel also draws a parallel between the suffering of oppressed humans and the devastation of the natural environment. Furthermore, as a literary work that underscores the posthumanist reinvention of the human that takes place in a liminal space and draws attention to the relationship between the human and the monstrous other, this novel can also be approached through the lens of the posthuman Gothic. According to Heise–von der Lippe (2017), in posthuman Gothic narratives, monsters can also be seen as representing marginalized identities, and such narratives confront hegemonic power structures and highlight dominant groups' fear about maintaining their hegemonic positions (p. 2). Heise–von der Lippe (2017) also observes that the posthuman Gothic postulates that monsters are not humans' polar opposites, but are a crucial part of human identity construction (p.6). This positioning of monsters as an intrinsic part of human identity construction is discernable in *The Brotherhood of Kaeng Khoi*, as will be illustrated in the later section of this paper.

Results and discussion

The Brotherhood of Kaeng khoi as a counter-narrative that draws attention to the posthumanist reinvention of the human

The Brotherhood of Kaeng Khoi can be read as a novel about a storyteller's attempt to create a story that can best reflect his lived experiences. The framing story that concludes the novel is told from the perspective of the storyteller who has become an adult and has made writing his life career. Most of the key events in the life of the storyteller, however, are recounted in the framed story that spans almost the entire length of the novel. This framed story is a first-person narrative told from the point of view of a teenage boy named Lap Lae, who is the storyteller's younger self. The young Lap Lae describes himself as someone who is fascinated with the art of storytelling, and the story he is recounting appears to be another of his experimentation with storytelling that revolves around the history of his family.

Crucial to Lap Lae's story is his problematic relationship with Pi Mai, his oppressive and violent father who recently passed away. As a son who rebelled against his father by refusing to follow a career path his father had planned for him, engaging in a homosexual relationship, running away from home, and refusing to visit his father who later fell severely ill, Lap Lae is traumatized and tormented by guilt after the death of his father. Presumably as a way to deal with his haunting guilt, Lap Lae begins to tell a story that initially appears as if it is a tribute to a beloved father from a grieving son who admires his father and has strived to me his expectations. The father is characterized as possessing all the necessary 'manly' attributes sanctioned by patriarchal gender roles, namely physical strength, stoicism, ambition, and charisma. His role within the family is that of a domineering patriarch who imposes his will on his family members. He also adheres to the belief in the power of sciences and technologies and embraces an aggressive form of development modernization. To him, the natural environment is there for humans to control, utilize and derive benefits from. It can be said that his worldview is dominated by anthropocentrism or the belief that humans are the most important living beings and are entitled to make use of and exploit natural resources and other beings. The characterization of Pi Mai can thus be seen as the embodiment of both patriarchal and anthropocentric values and practices. He assumes a twofold role of the domineering patriarch and the one who advocates the exploitation of nature, and such a role can also be seen as a metaphor for the prevailing hegemonies in Thai society that are deeply rooted in androcentrism and anthropocentrism.

As a protagonist-narrator of his own story, Lap Lae portrays himself as an obedient son who is totally devoted to his father, and creates a fictional elder brother named Kaeng Khoi, whose behavior and character traits are the opposite of what his father expects of a good son. In other words, the real identity of the rebellious Lap Lae is replaced by the fictional Kaeng Khoi and the story of the relationship between Lap Lae and his father seems to adhere to the mainstream cultural scripts that preach the importance and virtue of filial piety and patriarchal values.

Nonetheless, Lap Lae's account begins to diverge from the dominant script about the ideal father-son relationship when he relates his strange experience during his temporary stay at a meditation centre, an isolated

and lonely place in the middle of the mountains. There he feels removed from the everyday world and it is as if he has entered a mysterious realm where the boundaries between the worlds of humans and nonhumans no longer exist. He notices many strange things and every evening when darkness arrives, he hears a terrifying nonhuman scream that shakes him to his core. Surrounding the meditation centre are tall trees that shed their leaves regularly and when monks sweep the fallen leaves, it looks to Lap Lae as if the monks can vanish and blend with the trees around them. Also, at dusk when there is hardly any daylight left, Lap Lae can feel that some spirits who neither belong to the human world nor the world of the death are wandering around in the jungle not far from a small hut where he stays with another monk, whom he refers to as Venerable Brother Jan. Indeed, Jan himself seems to be human only during the daytime but when darkness arrives, he starts to meditate and becomes totally absorbed in it until he is no different from a block of stone. Lap Lae, who is terrified of the nonhuman scream that rings throughout the surrounding jungle at the same time every night, finds no comfort in having Jan as his company because the latter appears as if he has turned into a nonhuman that can no longer feel or hear anything. It is possible to argue that this meditation centre with the surrounding wilderness resembles a liminal space which evokes uncertainty, fear, anxiety while simultaneously allows for opportunities for transformation and reinvention, as this space is not under the rigid control of social rules and norms. In other words, it is a space where the patriarchal order and filial obligations seem to lose their firm grip.

It is suggested that while occupying this liminal space, Lap Lae's repressed selfhood seeks to emerge and undergo the process of reinvention. In my reading, the repressed selfhood seeks to manifest itself through the terrifying scream that Lap Lae hears every night and in vain tries to escape from. One night the one who utters the screams that evokes horror in Lap Lae eventually reveals himself in the form of the Ghost Pred. Invoking the traditional story about Pred, the ghost who suffers terribly owing to the sins committed against its parents in its previous life as a human, Lap Lae describes the Pred he initially cannot see but can only hear as a demon whose scream captures all the pain it suffers as a punishment from shunning filial piety. Nonetheless, his eventual encounter with Pred at the meditation centre does not lead to revulsion, and his fear of it seems to evaporate, even though at that point he is unable to find words to describe the thing he sees.

Years into the future, the older Lap Lae articulates what he saw when he/his younger self looked straight at the screaming Pred as "an unfinished work of art that the artist plans to polish and transform into something of great beauty." Intriguingly, Pred in this story is not simply a repulsive demon condemned to perpetual suffering because of its sins against its parents. This ghost is recast as a suffering figure whose life and ordeal has a potential to become a marvelous source of creativity and inspiration for creating a masterpiece. The Pred appears to be the monster that has already resided within Lap Lae—the internal monster who cannot be separated from the artist/writer who has the creative power to bring a masterpiece into existence. The older Laplae realizes that, when looking straight at the screaming Pred, what his younger self saw was the image of himself as a person who is about to embark on his career as a writer, and his experiences and suffering can be transformed into great works of fiction.

Arguably, this recasting of the ghost Pred as Lap Lae's repressed self/younger version of someone who has a potential to become a great storyteller/novelist transforms Lap Lae' story into a counter–narrative that no

longer adheres to dominant cultural scripts but instead seeks to subvert them so as to make possible identity reinvention for the protagonist–narrator or Lap Lae himself. In order to free himself from the shackles of patriarchy and filial obligations, Lap Lae needs to accept the monstrous other or Pred as part of himself and recognize that in doing so, he succeeds in empowering himself through the discovery of his talent as a writer. He no longer passively accepts the label of an ungrateful son who deserves to be severely punished both in life and after death. On the contrary, he challenges such a label and strives to make the best of who he really is or the type of human he really is. He rejects the patriarchal assumption that the only type of good human is the one that upholds the patriarchal order and the law of filial piety. Unlike the original tale about Pred, the tale about the ghost Pred as retold by Lap Lae no longer functions to give warnings about the sins suffered in the life after death of those who have failed to fulfill filial duties. Instead, it becomes a story that celebrates a new concept of the human that emerges from the alliance with the monstrous other.

The Brotherhood of Kaeng Khoi as the posthuman Gothic that foregrounds the destructive impacts of anthropocentrism and androcentrism

Of note is that this reformulated concept of the human that embraces monstrosity resonates with the positioning of the monsters as a vital part of the human in posthuman Gothic narratives that strive to expose the othering of the marginalized that relegates them to the realm of the monsters in hegemonic discursive practices. As Heise–von der Lippe (2017) puts it, monsters in the posthuman Gothic represent marginalized identities and one key trait of the Posthuman Gothic is the manifestation of dominant groups' fear about their hegemonic positions being threatened (p.2). It is also possible to argue further that the liminal space where Lap Lae's repressed selfhood emerges and is ultimately reinvented can be seen as a metaphor for the posthumanist identity transformation that does not solely focus on human subjectivity and agency but also on the agency of nonhumans and humans' interconnections with nonhuman entities. Such an identity reconstruction corresponds with the claim made by Niccolini& Ringrose (2019) that humans are "multiply entangled and ethically enfolded with(in) other bodies, forces, and materialities" (Niccolini &Ringrose, 2019, p. 4).

In addition to the tale about the ghost Pred, Lap Lae also recounts how his mother, Tip, is susceptible to spirit possession and during the moments when she is 'possessed', she seems to be temporarily empowered and liberated from patriarchal gender expectations and her husband's domination. In my reading, central to the story about Tip's experience of spirit possession is the attempt to show how the oppressed seek to achieve empowerment and liberation, even if temporarily, through the union with the ghost/monstrous other—or to be more specific, through the union with the internal monster that the self does not recognize as part of it due to the internalization

of patriarchal gender expectations. To illustrate, Lap Lae describes that throughout her marriage Tip (his mother) has to submit to his father (Pi Mai)'s power and is not allowed to make any important decisions. Pi Mai also derides Tip's superstitious beliefs, as he knows that she believes in ghosts and spirits and claims that more than once when she was a young woman, she was possessed by a spirit. Bounded by patriarchal gender roles, Tip hardly defies her husband openly even though she harbors resentment against his control and domination. Pi Mai often preaches about how a good wife should behave and imposes rigid rules that control everyone in his household.

After years of oppression, however, she reaches a point where she decides to tell her husband directly that she wants to leave him. Upon hearing what she says, Pi Mai cruelly mocks her but will not let her leave their house. She reacts by grabbing a knife and threatening him with it. Taking advantage of his superior physical strength, he manages to force her to drop the knife and slaps her in the face. Pi Mai's physical violence against Tip combined with her painful realization that she cannot leave this marriage has a drastic emotional impact on her. Since that day on, she becomes withdrawn and exhibits strange behavior such as spending the whole day sleeping and getting up to do chores only when darkness arrives. It can be argued that she is going through an emotional liminal space, caught in between a strong desire to be free from an oppressive marriage and the dreadful sense of despair that such a desire is unlikely to be fulfilled. Not long afterwards, Lap Lae describes that his mother is possessed by a spirit in the middle of the night and while being possessed, she is transformed into a furious and aggressive creature and the voice she utters is no longer hers but that of a much older woman. The spirit claims that it resides in a gigantic tree in the neighborhood and it has been treated disrespectfully by Pi Mai, whom it is directing its anger at and demanding apologies from. Its ferocious yelling also wakes the neighbors up and they all come rushing to see what is going on. The spirit continues lashing out at and publicly shaming Pi Mai until in the end, pressured by his superstitious neighbors, he gives a promise that he will do whatever pleases the spirit. The spirit seems satisfied with Pi Mai's promise and the next moment Tip regains her consciousness and becomes her former self.

Considering the unequal power relations between Tip and her husband and how Tip is humiliated and badly treated by Pi Mai, the 'possessed' Tip can be seen as representing an oppressed woman who is momentarily empowered through her union with the internal monstrous other. As someone who believes in ghosts and spirits and their power in bestowing help and good luck on humans, it is possible to assume that Tip, whether consciously or not, might have wished that ghosts or spirits can empower her against and even help set her free from, even if temporarily,

the domineering husband and oppressive marriage. Spirit possession or union with the monstrous other appears to take place when she needs it the most and it allows her to assume superior power over her husband and even denounces him in front of others. While being 'possessed', she no longer has to abide by what the patriarchal order expects a good wife to behave and can press her husband to yield to her demands. Being 'possessed by a spirit', therefore, allows her to enjoy liberation, but only temporarily. Unlike Lap Lae, however, Tip is not portrayed as recognizing that the ghost/monstrous other is something already residing within her—that 'being possessed' probably reflects her desire for freedom from an oppressive marriage and to be more fully 'human', rather than being just a good wife as dictated by patriarchal expectations. Tip's possession does not lead to a long-term liberation and identity reinvention as in the case of Lap Lae; thus the novel seems to imply that only when one recognizes that the monstrous is internal and is part of the human that a more genuine empowerment and radical identity transformation can take place.

Significantly, the novel also draws attention to the fact that the spirit that possesses Tip resides in the gigantic neighborhood tree that P Mai dismisses as having no value and as something that should be destroyed to make way for a new highway. His attitude towards the tree reflects his anthropocentric outlook and lack of respect for the natural environment. His wife, on the other hand, has great respect for the tree and her psychological connection with it is emphasized throughout the novel. The moment when her body seems to become a medium for the tree spirit can thus be seen as a metaphor for her alliance with the tree and their shared experience of oppression inflicted on them by the same human patriarch, who represents both the oppressive force of patriarchy and the exploitative, destructive, and anthropocentric kind of development.

As Lap Lae's account of his mother's experience of spirit possession ends with the victory of both the tree spirit and his mother against Pi Mai, this account appears to serve a twofold function: to articulate female resentment against and fierce desire to challenge the patriarchal order, and to draw a close link between the suffering of woman and the natural environment under the hands of hegemonic forces like patriarchy and an anthropocentric form of development and modernization that has little regard for other living beings.

Another feminist message of this account is also conveyed through the characterization of Tip, Lap Lae's mother, and the development of her relationship with her son. She is a resilient woman who has fought against oppression and other adversities, and has emerged as someone whose love and enthusiasm for life and for her children has not diminished. She is also a woman who genuinely cares for her children without expecting anything in return, unlike her husband who

relies on the norm of filial piety to pressure his children to love and respect him. Her great respect for the natural environment is also a striking contrast with her husband's lack of respect for other beings and the natural world.

Conclusion

The retelling of ghost tales in *The Brotherhood of Kaeng Khoi* crucially functions to establish a counter-narrative that exposes the oppressive and restrictive aspects of the notions of an ideal son and wife defined by patriarchal culture. In its foregrounding of the interconnections between humans and nonhumans and the posthumanist reinvention of the human that defies the patriarchal order and embraces the monstrous other, the novel encourages the recognition of the vital importance of nonhuman entities, their agency and subjectivities, and their roles in human identity construction.

Acknowledgements

This article is part of a research project funded by the Faculty of Humanities, Chiang Mai University, and I'm grateful for this support.

References

Andrews, M. (2004). Counter-narratives and the power to oppose. In Michael B. & Molly A. (Eds.), **Considering counter-narratives: Narrating, resisting, making sense.** (pp.1-6). Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.

Braidotti, R. (2018). A theoretical framework for the critical posthumanities [pre-print online version]. **Theory, Culture, Society**. Retrieved from https://doi.org/10.1177/0263276418771486 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-11020-7_13.

Braidotti, R. (2019). **Posthuman knowledge**. Polity Press.

Haemamool, Uthis. (2009). **Lap Lae, Kaeng Khoi**. (In Thai) [**The brotherhood of Kaeng Khoi**]. Bangkok: Praew Samnagpim.

Haemamool, Uthis. (2012). **The brotherhood of Kaeng Khoi.** (Peter Montalbano, Trans.). Bangkok: Amarin Publishing.

Harrison, Rachel (2017). Dystopia as liberation: Disturbing femininities in contemporary Thailand. **Feminist Review**, 116 (1). Retrieved from https://eprints.soas.ac.uk/24349/1/Harrison-FR-2017-disturbing-utopias-of-thainess.pdf

Heise-von der Lippe, A. (2017). **Posthuman Gothic**. University of Wales Press.

Nayar, K. Pramod. (2014). **Posthumanism**. Polity Press.

Niccolini, A. D. & Ringrose, J. (2019). Feminist posthumanism. SAGE Publications. Retrieved from http://dx.doi.org/10.4135/9781526421036.

Pepperell, J. (2003). **The posthuman condition: Consciousness beyond the brain**. Intellect Books.

Pissa-ard, I. (2016). Uthis Haemamool's *The Brotherhood of Kaeng Khoi*: A Gramscian reading. **Journal of Mekong Societies**, 12(1), 1-24

Tailanga, S. (2009). Lap Lae, Kaeng Khoi: Amnart khong rueng lao kap karn thamlai/ sang tua ton. (In Thai) The power of narratives in the destruction and reconstruction of identities. **Warasarn pasa lae nueng sue**, Retrieved from http://kukr.lib.ku.ac.th/db/BKN_HUMAN/search_detail/result/197126

ต้นทุนและผลตอบแทนของผ้าทอกะเหรี่ยง หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก

Costs and return of Karen weaving cloth, Ya Pho Village, Phop Phra District, Tak Province

น้ำฝน สืบอ่อน[1*], อโนทัย พลภาณุมาศ[1], กชกร คีรีเกริกก้อง[1] และ ดาราทิพย์ แซ่ลิ้ว[1]

Namfon Suebon[1*], Anothai Ponpanumas[1], Kodchakorn Kereekorckkong[1] and Daratip Saliw[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก 2) เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก เก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มแม่บ้าน หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก จำนวน 20 ราย โดยแบ่งเป็นกลุ่มแม่บ้านที่ทอเสื้อกะเหรี่ยง จำนวน 10 ราย และกลุ่มแม่บ้านที่ทอย่ามกะเหรี่ยง จำนวน 10 ราย ใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าร้อยละ

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มแม่บ้าน หมู่บ้านยะพอที่ทอผ้ากะเหรี่ยง ทั้งหมดเป็นเพศหญิง ส่วนใหญ่มีอายุ 41–50 ปี ประกอบอาชีพเกษตรกรรม โดยมีประสบการณ์ในการทอผ้ากะเหรี่ยงมานานจากการสืบทอดจากรุ่นสู่รุ่น ด้านต้นทุนการผลิตของการทอเสื้อกะเหรี่ยงจากผู้ผลิต 10 ราย (รายที่ 1–10) พบว่าสามารถทอเสื้อกะเหรี่ยงได้ทั้งหมด 19 ตัวต่อเดือน ต้นทุนการผลิตเฉลี่ยรวมเท่ากับ 1,856 บาทต่อเดือน และมีรายได้จากการทอเสื้อกะเหรี่ยง คิดเป็นรายได้เฉลี่ยเท่ากับ 2,615 บาทต่อเดือน มีกำไรสุทธิจากการทอเสื้อกะเหรี่ยงเฉลี่ย 711.50 บาท ต่อเดือน จุดคุ้มทุนของหน่วยขายเสื้อกะเหรี่ยงประมาณ 14.24 ตัวต่อเดือน ต้องขายในราคาประมาณ 1,687.37 บาทต่อตัวขึ้นไป มีอัตรากำไรขั้นต้นร้อยละ 29.02 อัตรากำไรสุทธิร้อยละ 27.21 และอัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์ร้อยละ 199.86 ต้นทุนการผลิตการทอย่ามกะเหรี่ยงจากผู้ผลิต 10 ราย (รายที่ 11–20) พบว่าสามารถทอย่ามกะเหรี่ยงทั้งหมด 30 ใบต่อเดือน ต้นทุนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 916 รายได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,020 บาท กำไรสุทธิจากการทอย่ามกะเหรี่ยงเฉลี่ย 29 บาท ต่อเดือน จุดคุ้มทุนของหน่วยขายย่ามกะเหรี่ยง 16.14 ใบต่อเดือน ต้องขายในราคาประมาณ 683 บาท ต่อใบขึ้นไป อัตรากำไรขั้นต้นร้อยละ 10.20 อัตรากำไรสุทธิร้อยละ 2.84 และอัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์ร้อยละ 8.30

คำสำคัญ: ต้นทุน, ผลตอบแทน, ผ้าทอกะเหรี่ยง หมู่บ้านยะพอ

[1] สาขาการบัญชี คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ สังกัดมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จังหวัดตาก 63000

[1] Accounting, Faculty of business Adminisatration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Tak, 63000

*Corresponding author: phonfirst@gmail.com

Abstract

The objectives of this research are 1) to study the cost and return of Karen weaving cloth, Ya Pho Village, Phop Phra District, Tak Province, 2) to analyze the costs and returns of Karen weaving Ya Pho Village, Phop Phra District, Tak Province. Data were collected from a group of 20 housewives from Ya Pho Village, Phop Phra District, Tak Province, divided into 10 from a group of housewives who weave Kare shirts and a group of housewives from the Karen region. An interview form used as a tool. The statistics used to analyze the data were descriptive statistics, including means and percentages.

The results of the research found that the group of housewives if Ya pho Village weave Karen cloth. All are female. Most are 41–50 years old and work in agriculture. They have long experience in weaving Karen fabric from generation to generation. Production costs of weaving Karen shirts from 10 manufactures (case 1–10) were found to be able to weave a total of 19 Karen shirts per month. The total average production cost was 1,856 bath per month and there was income from weaving Karen shirts. Calculated as an average income of 2,615 bath per month. There is an average net profit from weaving Karen shirts of 711.50 bath peer month. The break–even point of the unit selling Karen shirts is approximately 14.24 pieces per month, which must be sold at a price of approximately 1,687.37 bath per piece or more. It has a gross profit margin of 29.02 percent, a net profit margin of 27.21 percent and a return on assets of 199.86 percent. Production of Karen yarns from 10 manufacturers (cases 11–20) found that they can make a total of 30 Karen yarns per month. Total average cost is 916, average income is 1,020 bath. The average net profit from making Karen bags is 29 bath per month. The break–even point of the unit selling 16.14 Karen bag per month must be sold at a price of approximately 683 bath per bag or more. Gross profit margin is 10.20 percent, net profit rate is 2.84 percent, and Return on assets 8.30 percent.

Keywords: Cost, Return, Karen woven Fabric Ya pho village

บทนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยนั้นจะประกอบไปด้วยกลุ่มชนชาติพันธุ์หลายชาติพันธุ์ซึ่งแต่ละกลุ่มชนชาติพันธุ์มีความสืบเนื่องกับสังคมไทยมาตั้งแต่อดีตและมีวัฒนธรรมประเพณีเป็นของตนเองโดยในแต่ละกลุ่มชนชาติพันธุ์จะกระจายอยู่ตามภูมิภาคใน 67 จังหวัดและมีทั้งหมด 56 กลุ่มประชากรโดยรวมประมาณ 6,100,000 คนหรือคิดเป็นร้อยละ 9.68 ของประชากรซึ่งแต่ละกลุ่มจะตั้งถิ่นฐานบนพื้นที่สูงพื้นที่ราบและอาศัยอยู่ในป่า (กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์, 2560) ชาวกะเหรี่ยงในประเทศไทยนั้นมี 1,993 หมู่บ้าน และ 69,353 หลังคาเรือน ประชากรประมาณ 352,295 คน โดยประชากรจะอาศัยอยู่ใน 15 จังหวัดของภาคเหนือและภาคตะวันตกชาวกะเหรี่ยงส่วนใหญ่นับถือศาสนาพุทธชาวกะเหรี่ยงมีด้วยกันหลายกลุ่มย่อยและมีชื่อเรียกแตกต่างกันและยังมีประเพณีความเชื่อความเป็นอยู่ที่แตกต่างกัน (วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี, 2563)

ชาวปกาเกอะญอ หรือกะเหรี่ยง นิยมการใส่เสื้อผ้าฝ้ายที่ทอด้วยมือมาตั้งแต่สมัยโบราณแต่เดิมจะปลูกฝ้ายเองและนำฝ้ายมาปั่นเป็นเส้นด้ายซึ่งในแต่ละเส้นด้ายจะมีการย้อมด้วยสีธรรมชาติเพื่อให้มีสีสันหลากหลายโดยชาวกะเหรี่ยงจะถ่ายทอดกระบวนการผลิตผ้าทอให้แก่บุตรสาวตั้งแต่อายุ12–15 ปีโดยเริ่มจากแบบง่าย ๆ จนมีความชำนาญและ

สามารถออกแบบลวดลายด้วยตนเองได้ชาวกะเหรี่ยงสร้างสรรค์ลวดลายสีสันของผ้าทอจากสีธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมใกล้ตัวจึงมีความสวยงามซึ่งเป็นเอกลักษณ์ที่โดดเด่นและเป็นที่สะดุดตาแก่บุคคลภายนอก (สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดแม่ฮ่องสอน, 2560)

การศึกษาในหมู่บ้านยะพอ หมู่ที่ 5 ตำบลวาเล่ย์ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก มีจำนวนครัวเรือนทั้งหมด 500 หลังคาเรือนประชาชนส่วนใหญ่ในหมู่บ้านยะพอ ประกอบอาชีพการทำการเกษตร โดยปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และปลูกถั่วเขียวเป็นอาชีพหลัก รายได้เฉลี่ยต่อครัวเรือนประมาณ 100,000 – 250,000 บาทต่อปี ทั้งนี้พื้นที่ในการเพาะปลูกข้าวโพด และถั่วเขียวนั้น มีทั้งทำในพื้นที่บ้านยะพอ และข้ามฝั่งไปทำที่ประเทศเมียนมาร์มาอีกด้วย แต่การข้ามไปทำไร่สวนที่ฝั่งเมียนมาร์นั้น เกษตรกรจะต้องเสียค่าใช้จ่ายต่างๆ โดยจะต้องจ่ายค่าธรรมเนียมพื้นที่เพาะปลูกค่าธรรมเนียมกระท่อม ค่าธรรมเนียมรถไถนา ค่าธรรมเนียมในการนำข้าวโพดออกไปยังฝั่งประเทศไทย โดยมีการเสียให้แก่รัฐบาลเมียนมาร์ รัฐกะเหรี่ยง และต้องเสียค่าผ่านด่านศุลกากรประเทศไทยอีกด้วย ทั้งนี้ประชาชนที่ข้ามไปทำเกษตรฝั่งประเทศเมียนมาร์นั้น มีประมาณร้อยละ 60 ของเกษตรกรอีกทั้งประชากรในหมู่บ้านยะพอยังประกอบอาชีพ รับข้าราชการ ค้าขาย รับจ้างทั่วไป และพ่อค้าคนกลางในการขายพืชผลทางการเกษตร ทั้งนี้ประชาชนทุกหลังคาเรือนจะมีการทอผ้าพื้นเมือง (ชุดปกาเกอะญอ) ทุกหลังคาเรือนอยู่เดิมแล้ว มีบางครอบครัวที่ทอผ้าขายให้แก่พ่อค้าแม่ค้าเพื่อที่จะนำไปขายต่อไป คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก โดยคณะผู้วิจัยได้ศึกษาเทคนิคการทอและสร้างลวดลายของผ้ากะเหรี่ยงด้วยกัน 3 ประเภท ได้แก่ การทอธรรมดาหรือทอพื้น การทอลายสลับสี และการทอลายจกหรือลายแกะดอกจากเสื้อและย่ามกะเหรี่ยง เนื่องจากประชาชนทุกหลังคาเรือนมีการทอผ้ากะเหรี่ยงและนำไปจำหน่าย โดยคณะผู้วิจัยเลือกสุ่มจากกลุ่มแม่บ้าน 20 ราย เนื่องมาจากเป็นครัวเรือนที่ผู้วิจัยศึกษาแล้วว่า มีการเตรียมวัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์รวมไปถึงกระบวนการทอผ้าด้วยตนเอง และมีการนำผ้าทอกะเหรี่ยงไปจำหน่ายจริง และปัญหาที่พบคือชาวบ้านขาดความรู้ในเรื่องต้นทุนซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญ จึงส่งผลให้การวางแผนและการตัดสินใจผิดพลาด เพราะกลุ่มแม่บ้านไม่ได้มีการคำนวณต้นทุนต่างๆที่ใช้ในการทอผ้า มีเพียงต้นทุนในการซื้อด้ายเท่านั้นที่กลุ่มแม่บ้านคิดว่าเป็นค่าใช้จ่าย ทั้งที่ยังมีค่าอุปกรณ์และค่าแรงงานที่ยังไม่ได้คิดคำนวณจึงส่งผลให้กลุ่มแม่บ้านจำหน่ายสินค้าจากผ้าทอกะเหรี่ยงออกไปในราคาที่ถูก จึงทำให้ขาดทุน (องค์การบริหารส่วนตำบลวาเล่ย์, 2563)

จากเหตุผลข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก ผลลัพธ์ที่ได้เพื่อให้ชาวบ้านได้ทราบข้อมูลต้นทุนและผลตอบแทนที่แท้จริง สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนจากการทอผ้า และเป็นแนวทางในการกำหนดราคาขาย เพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

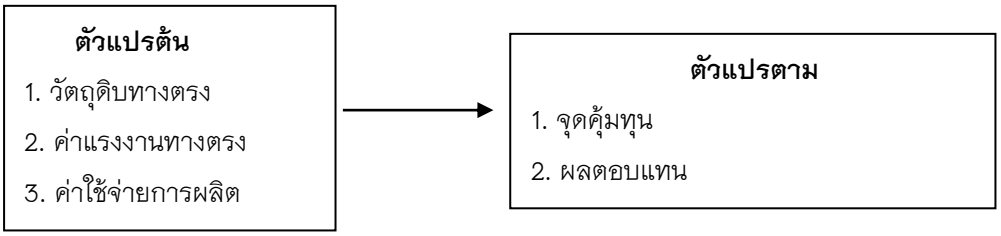
1) เพื่อศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก

2) เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก

กรอบแนวคิดและสมมุติฐาน

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้มีกรอบแนวคิดจากข้อมูลด้านต้นทุนและผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุนผลิตผ้าทอกะเหรี่ยง ดังนี้



แนวคิดเกี่ยวกับต้นทุนและผลตอบแทน

ต้นทุนจำแนกตามปัจจัยการผลิต

(อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์,2562) ได้ให้ความหมายของ ต้นทุน (Cost) คือ เป็นมูลค่าของทรัพยากรที่สูญเสียไปเพื่อให้ได้สินค้าหรือบริการ โดยจะต้องสามารถวัดได้เป็นหน่วยเงินตรา จะมีลักษณะของการลดลงในสินทรัพย์หรือเพิ่มขึ้นในหนี้สิน ต้นทุนที่เกิดขึ้นอาจจะให้ประโยชน์ในปัจจุบันหรือในอนาคตก็เป็นไปได้ ต้นทุนที่ได้ให้ประโยชน์และกิจการได้ใช้ประโยชน์ทั้งหมดไปแล้วในขณะนั้นและสำหรับต้นทุนที่กิจการสูญเสียไป แต่จะให้ประโยชน์แก่กิจการในอนาคตที่เรียกว่า "สินทรัพย์ (Assets)

1. วัตถุดิบทางตรง (Direct Materials) คือ เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต ซึ่งจะสามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่ามีวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสินค้าชนิดหนึ่งในปริมาณและต้นทุนเท่าใด วัตถุดิบที่หลักที่ใช้ในการทอผ้าทอกะเหรี่ยง เช่น ฝ้าย

2. ค่าแรงงานทางตรง (Direct Labor) คือ เป็นค่าแรงงานต่าง ๆ ที่จ่ายให้แก่คนงานหรือลูกจ้างที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการผลิตสินค้าสำเร็จรูปโดยตรง

3. ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Manufacturing Costs) คือ แหล่งรวบรวมค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าซึ่งนอกเหนือจากวัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง เช่น วัตถุดิบทางอ้อมค่าแรงงานทางอ้อม ค่าใช้จ่ายในการผลิตทางอ้อมอื่นแต่อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายเหล่านี้ก็จะต้องเป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการดำเนินการผลิตผ้าทอกะเหรี่ยง

(ชาญศักดิ์ ตั้งสันติกุลานนท์ 2560) กล่าวว่า ต้นทุน (Cost) หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่องค์กรใช้ประโยชน์เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ได้กำหนดไว้ เช่น ต้นทุนของวัตถุดิบและแรงงานที่เกิดขึ้นเพื่อผลิตสินค้าหรือบริการ และเมื่อต้นทุนได้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อธุรกิจแล้ว ต้นทุนส่วนนั้นจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นค่าใช้จ่าย (Expense) ซึ่งจะนำไปหักจากรายได้ในแต่ละงวดบัญชี

ต้นทุนการผลิต คือ ต้นทุนที่ทำให้ได้สินค้าสำเร็จรูปใดๆ ประกอบด้วย วัตถุดิบทางตรงที่เบิกใช้ในการผลิต แรงงานทางตรงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการผลิตเมื่อทั้ง 3 ส่วนประกอบ ได้เข้าสู่ขั้นตอนต่างๆ ของการผลิตก็จะถูกแปรสภาพเป็นสินค้าสำเร็จรูปต่อไป

การวิเคราะห์และผลตอบแทนจากการผลิต

1. อัตรากำไรขั้นต้น

(อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์,2562) เป็นการวัดอัตราส่วนเปรียบเทียบผลกำไรขั้นต้นกับยอดขาย ทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพในการดำเนินงานของกิจการเปรียบเทียบผลกำไรจากการขายเทียบเป็นร้อยละของยอดขาย (รายได้จากการขายและการให้บริการ) เพื่อใช้วัดความสามารถของบริษัทในการควบคุมต้นทุนสินค้า แต่ความสามารถในการปรับราคาขายสินค้าหากบริษัทมีความสามารถในการควบคุมต้นทุนเมื่อเทียบกับรายได้จากการขายจะทำให้มีความสามารถในการทำกำไรดีขึ้นถือว่าเป็นตัวตั้งต้นของการทำกำไรได้ หากอัตราส่วนนี้ดี กำไรสุทธิมีแวว่าที่จะดีตามมาและยังทำให้ทราบถึงความสามารถการจัดการผลิต การควบคุมต้นทุนการผลิต การตั้งราคา การแข่งขันในอุตสาหกรรมหากการแข่งขันสูง จะทำให้กำไรขั้นต้นมีความผันผวน

2. อัตรากำไรสุทธิ

(อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์,2562) ได้ให้ความหมายว่า อัตรากำไรสุทธิ แสดงถึงความสามารถในการทำกำไรสุทธิเปรียบเทียบกับยอดขายทำให้ทราบถึงความสามารถในการทำกำไรสุทธิของกิจการภายหลังจากการหักค่าใช้จ่ายทุกรายการแล้วใช้วัดความสามารถของบริษัทในการควบคุมต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ

3. อัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์

อัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์ หรือ ROA เป็นอัตราส่วนทางการเงินระหว่างกำไรสุทธิกับสินทรัพย์รวม เป็นอัตราส่วนที่บ่งบอกถึงความสามารถของกิจการที่จะนำสินทรัพย์ที่มีไปใช้ประโยชน์ในดำเนินการของกิจการได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่

4. จุดคุ้มทุน

จำนวนของสินค้าที่ธุรกิจต้องสร้างและขายให้ได้เพื่อให้มีรายได้เท่าทุน หรืออีกนัยหนึ่งจุดคุ้มทุนคือ ยอดขายต่อเดือนที่จะทำให้ธุรกิจมีรายได้ที่เพียงพอกับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในแต่ละเดือน ดังนั้น รายได้ที่สูงกว่าจุดคุ้มทุนจึงหมายถึงกำไรและในทางตรงข้าม รายได้ที่ต่ำกว่าจุดคุ้มทุนคือ ขาดทุน

สามารถเขียนเป็นสมการเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจุดคุ้มทุน ต้นทุน และราคาขายการหาจุดคุ้มทุนแบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 จุดคุ้มทุนของหน่วยขาย คำนวณเมื่อต้องการทราบปริมาณที่ต้องเท่าไร จึงจะคุ้มทุน

กรณีที่ 2 จุดคุ้มทุนของยอดขาย คำนวณเมื่อต้องการทราบว่าต้องขายให้ได้กี่บาทจึงจะคุ้มทุน

กรณีที่ 3 จุดคุ้มทุนของราคาขาย คำนวณเมื่อต้องการทราบต้องขายราคาเท่าไหร่ต่อหน่วยจึงจะคุ้มทุน

แนวคิดเกี่ยวกับการผลิตผ้าทอกะเหรี่ยง

ผ้าทอกะเหรี่ยงมีความสำคัญและมีคุณค่าต่อชนเผ่าชาวกะเหรี่ยง ซึ่งเป็นการแต่งกายที่จะบ่งบอกถึงสถานภาพทางสังคมแสดงให้เห็นคุณวุฒิทางจริยธรรมและการควบคุมความประพฤติของผู้สวมใส่ควบคู่กับความสวยงามของลวดลายผ้าทอกะเหรี่ยง ทั้งนี้ ได้มีการส่งเสริมให้นำผ้ามาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การนำมาใช้ในการสืบสานประเพณีกินข้าวห่อ การส่งเสริมให้พัฒนาเป็นอาชีพเพื่อสร้างรายได้ และการส่งเสริมให้เกิดการสืบทอดความรู้ให้กับชุมชน การเปลี่ยนแปลงทางสังคมและวัฒนธรรมในปัจจุบันทำให้อัตลักษณ์ของชนเผ่าถูกปรับเปลี่ยนไปตามกาลเวลา การที่ชนเผ่าได้รับวัฒนธรรมใหม่เข้ามาทำให้สมาชิกในชนเผ่าระดับต่างๆ ต้องปรับตัว และมีการเปลี่ยนแปลงความเป็นอยู่วัฒนธรรมประเพณีไปอย่างมาก แต่สิ่งที่ยังคงแสดงให้เห็นถึงความเป็นอัตลักษณ์ได้อย่างชัดเจน คือ การแต่งกาย ซึ่งเป็นเรื่องของวิถีสังคม เรื่องราวความเชื่อและวัฒนธรรมที่สืบทอดจากบรรพบุรุษ มานาน

นับร้อยปี ถึงแม้ว่ารายละเอียดอาจจะเลือนหายไปบ้างแต่ก็ได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นอัตลักษณ์ของชนเผ่ากะเหรี่ยง (ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 2, 2560)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทศพร ไชยประคอง และ ปฐมชัย กรเลิศ, (2561) ศึกษาเรื่องการศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนปริมาณ และกำไรของผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายทอมือ กรณีศึกษาหมู่บ้านหนองอาบช้าง ตำบลสบเตี๊ยะอำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และวิเคราะห์ ต้นทุน ปริมาณ และกำไรในผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้ผลิตผ้าฝ้ายทอมือบ้านหนองอาบช้าง ตำบลสบเตี๊ยะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้รับการสัมภาษณ์จำนวน 10 คน ได้แก่ ประธานกลุ่มผ้าฝ้ายจำนวน 1 คน รองประธานกลุ่มผ้าฝ้ายจำนวน 1 คน เหรัญญิกกลุ่มผ้าฝ่าย จำนวน 2 คน และสมาชิกกลุ่มผ้าฝ้ายจำนวน 6 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ การลงพื้นที่ การสนทนากลุ่มและสัมภาษณ์แบบเจาะลึกรายบุคคล ผลการวิจัยพบว่าการวิเคราะห์ ต้นทุน ปริมาณ และกำไรในผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายทอมือ

บุษบา หินเธาว์ และรัตนา สิทธิอ่วม, (2562) ศึกษาเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์และศึกษาต้นทุนผ้าทอมือประเภทผ้าพันคอเพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ วัตถุประสงค์ประการแรกเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าทอประเภท ผ้าพันคอ ประการที่ 2 เพื่อศึกษาความคิดเห็นของกลุ่มลูกค้าผู้หญิงที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือที่พัฒนาขึ้น และประการสุดท้ายเพื่อศึกษาต้นทุนของผลิตภัณฑ์ผ้าทอประเภทผ้าพันคอที่พัฒนาขึ้น ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลจาก กลุ่มผู้ผลิตผ้าทอบ้านม่วงหอมมีจำนวนสมาชิกทั้งหมด 30 คน และกลุ่มลูกค้าที่เป็นนักท่องเที่ยวหญิง อายุ 35 ปีขึ้นไป ในวัดพระศรีรัตนมหาธาตุวรวิหารจำนวน 400 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสัมภาษณ์เชิงลึกแบบมีโครงสร้างข้อมูลต้นทุนผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยพบว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจรูปแบบผลิตภัณฑ์ผ้าพันคอแบบที่ 3 มากที่สุด โดยให้ความพึงพอใจด้านประโยชน์ใช้สอยอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย คือ4.06 รองลงมาเป็นรูปแบบที่ 1 มี ค่าเฉลี่ย 4.04 และรูปแบบที่ 2 ค่าเฉลี่ย 4.02

วิธีวิทยาการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร ประกอบด้วย

จำนวนครัวเรือนของหมู่บ้านพะยอ หมู่ที่ 5 ตำบลวาเล่ย์ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก จำนวน 500 ครัวเรือน

1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มแม่บ้านจำนวน 20 ราย ของหมู่บ้านยะพอ หมู่ที่ 5 ตำบลวาเล่ย์ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก กำหนดตัวอย่างโดยการเลือกแบบเจาะจง เนื่องมาจากเป็นครัวเรือนที่คณะผู้วิจัยศึกษาแล้วว่ามีการเตรียมวัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์รวมไปถึงกระบวนการทอผ้าด้วยตนเอง และมีการนำผ้าทอกะเหรี่ยงไปจำหน่ายอย่างต่อเนื่องและมีประสบการณ์ในการทอผ้ากะเหรี่ยงตั้งแต่อายุยังน้อย

1.3 ด้านเนื้อหาที่ศึกษา

เป็นครัวเรือนที่ทำการผลิตเองทุกกระบวนการตั้งแต่ขั้นตอนแรกก็คือการปั่นด้ายจนถึงการจำหน่ายผ้าทอกะเหรี่ยง

1.4 ด้านระยะเวลา

ระยะเวลาในการทำวิจัยคือ กุมภาพันธ์ 2566 ถึง พฤษภาคม 2566

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูลครั้งนี้คือแบบสัมภาษณ์ (questionnaire) โดยแบบสัมภาษณ์จะประกอบไปด้วย คำถาม 4 ส่วนดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสัมภาษณ์

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการทอผ้ากะเหรี่ยง

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับรายได้จากการทอผ้ากะเหรี่ยง

ส่วนที่ 4 ปัญหาและอุปสรรคและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีข้อมูล 2 ประเภท คือ ข้อมูลปฐมภูมิ(Primary Data) และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data)

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับต้นทุนและผลตอบแทนจากการทอผ้าทอกะเหรี่ยง โดยการนำความรู้ที่ได้จากการศึกษามาสร้างแบบสัมภาษณ์เพื่อนำแบบสัมภาษณ์ไปเก็บข้อมูลของกลุ่มแม่บ้าน เช่น ข้อมูลวัตถุดิบ อุปกรณ์ ขั้นตอนในการผลิตผ้าทอกะเหรี่ยง รวมถึงรายได้ และค่าใช้จ่าย หมู่บ้านยะพอ ที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง ในการการทอผ้าทอกะเหรี่ยงของกลุ่มแม่บ้าน อำเภอพบพระ จังหวัดตาก

2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) รวบรวมข้อมูลที่ได้รับจากเอกสาร ตำรา วารสาร บทความ หนังสือ และวิทยานิพนธ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับผ้าทอกะเหรี่ยง ทั้งภาครัฐและเอกชน รวมทั้งบทความเว็บไซต์ต่างๆ เป็นต้น

การวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล

ตัวแปรต้น

วัตถุดิบทางตรง เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต ซึ่งจะสามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่ามีวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสินค้าชนิดหนึ่งในปริมาณและต้นทุนเท่าใด วัตถุดิบที่หลักที่ใช้ในการทอผ้าทอกะเหรี่ยง เช่น ฝ้าย

ค่าแรงงานทางตรง เป็นค่าแรงงานต่างๆ ที่จ่ายให้แก่คนงานหรือลูกจ้างที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการผลิตผ้าทอกะเหรี่ยงโดยตรง

ค่าใช้จ่ายในการผลิต แหล่งรวบรวมค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผ้าทอกะเหรี่ยงซึ่งนอกเหนือจากวัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง เช่น วัตถุดิบทางอ้อม ค่าแรงงานทางอ้อม ค่าใช้จ่ายในการผลิตทางอ้อมอื่น แต่อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายเหล่านี้ก็จะต้องเป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการดำเนินการผลิตผ้าทอกะเหรี่ยง

ตัวแปรตาม

–วิเคราะห์จุดคุ้มทุน การหาจุดคุ้มทุนแบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 จุดคุ้มทุนของหน่วยขาย คำนวณเมื่อต้องการทราบปริมาณที่ต้องเท่าไร จึงจะคุ้มทุน

$$\text{จุดคุ้มทุน (หน่วย)} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ราคาขายต่อหน่วย} - \text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย}}$$

กรณีที่ 2 จุดคุ้มทุนของยอดขาย คำนวณเมื่อต้องการทราบว่าต้องขายให้ได้กี่บาทจึงจะคุ้มทุน

จุดคุ้มทุน (บาท) = จุดคุ้มทุน (หน่วย) x ราคาขาย

กรณีที่ 3 จุดคุ้มทุนของราคาขาย คำนวณเมื่อต้องการทราบต้องขายราคาเท่าไหร่ต่อหน่วยจึงจะคุ้มทุน

$$\text{จุดคุ้มทุน (บาทต่อหน่วย)} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่} + (\text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย} \times \text{จำนวนสินค้า})}{\text{จำนวนสินค้าที่ขาย}}$$

–วิเคราะห์ผลตอบแทน 3 ด้าน

อัตราส่วน	สูตร
อัตรากำไรขั้นต้น	กำไรขั้นต้น/ขายสุทธิ
อัตรากำไรสุทธิ	กำไรสุทธิ/ขายสุทธิ
อัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์	กำไรสุทธิ/สินทรัพย์รวม

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือสถิติพรรณนาได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าร้อยละการหาต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก

การวิจัยครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (descriptive method) ซึ่งจะใช้ตารางเพื่ออธิบายสภาพทั่วไปในการดำเนินงาน ปริมาณการผลิต จำนวนเงินลงทุนที่ต้องใช้ รายได้ รายจ่าย และปัจจัยที่ใช้ในการผลิตโดยใช้ข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์ มาประกอบเข้ากับเอกสารและบทความต่างๆ ที่ได้ศึกษาค้นคว้าในขั้นต้นมาช่วยในการวิเคราะห์

ผลการศึกษา

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสัมภาษณ์

กลุ่มแม่บ้านหมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก จากจำนวน 20 ราย เป็นเพศหญิงทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 100 ส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 41–50 ปี คิดเป็นร้อยละ 45 รองลงมาคือ อายุในช่วง 20–30 ปี คิดเป็นร้อยละ 25 รองลงมาคือ อายุในช่วง 31–40 ปี คิดเป็นร้อยละ 20 และช่วงอายุ 51 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 10 ตามลำดับ ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม คิดเป็นร้อยละ 55 รองลงมาคือ อาชีพรับจ้างทั่วไป คิดเป็นร้อยละ 25 รองลงมาคืออาชีพค้าขายคิดเป็นร้อยละ 20 และสุดท้ายคือ อาชีพพนักงานประจำและอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 0 ตามลำดับการแบ่งประเภทต้นทุนที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย ต้นทุนค่าวัตถุดิบ ได้แก่ ด้าย ต้นทุนค่าแรงงานได้แก่ ค่าแรงงานตนเองและค่าจ้างเย็บผ้า และต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตได้แก่ อุปกรณ์ทอผ้า เข็ม กรรไกร และค่าน้ำมันรถ

ตอนที่ 2 การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทน

ต้นทุนการผลิตจะจำแนกการคำนวณตามลักษณะของการผลิตแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 การผลิตเสื้อกะเหรี่ยงและกลุ่มที่ 2 การผลิตย่ามกะเหรี่ยง

1. ต้นทุนการผลิต (ต่อเดือน) กลุ่มที่ 1 การทอเสื้อกะเหรี่ยง มีแม่บ้านที่ทอเสื้อกะเหรี่ยงรวมทั้งหมด 10 ราย (รายที่ 1 –10) ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลต้นทุนการผลิตการทอเสื้อกะเหรี่ยงเฉลี่ยต่อเดือน (หน่วย : บาท)

แม่บ้าน	วัตถุดิบหลัก (ด้าย)	ค่าแรงงาน (ค่าแรงงานตนเอง+ค่าจ้างเย็บผ้า)	สินทรัพย์ (อุปกรณ์การทอผ้า+เข็มเย็บผ้า+กรรไกร)	ค่าใช้จ่ายการผลิต (ค่าน้ำมันรถ)	ต้นทุนการผลิตรวม	จำนวนการทอเสื้อกะเหรี่ยง	รายได้จากการทอเสื้อ	ค่าขนส่ง
รายที่ 1	450	1,215	390	50	2,105	3	2,850	75
รายที่ 2	180	1,150	355	60	1,745	1	2,700	25
รายที่ 3	150	1,160	355	40	1,705	1	2,500	25
รายที่ 4	160	1,160	335	50	1,705	1	2,700	25
รายที่ 5	256	1,150	355	60	1,821	1	2,500	25
รายที่ 6	150	1,660	355	40	2,205	1	2,400	25
รายที่ 7	240	980	350	45	1,615	2	1,500	50
รายที่ 8	420	1,665	355	50	2,490	3	3,600	75
รายที่ 9	450	1,020	380	60	1,910	3	2,550	75
รายที่ 10	420	459	330	50	1,259	3	2,850	75
รวม	2,876	11,619	3,560	505	18,560	19	26,150	475
ต้นทุนเฉลี่ย	287.60	1,161.90	356	50.50	1,856	1.90	2,615	47.50

จากตารางที่ 1 แสดงถึงข้อมูลต้นทุนการผลิตการทอเสื้อกะเหรี่ยงจากผู้ผลิต 10 ราย(รายที่ 1–10) พบว่าต้นทุนการผลิตรวมเท่ากับ 18,560 บาทต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 1,856 บาท และมีรายได้จากการทอเสื้อกะเหรี่ยงรวม 26,150 บาทต่อเดือน คิดเป็นรายได้เฉลี่ยเท่ากับ 2,615 บาท จากการทอเสื้อกะเหรี่ยงทั้งหมด 19 ตัวต่อเดือน จากแม่บ้านผู้ผลิต 10 ราย

ตารางที่ 2 แสดงค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ การทอเสื้อกะเหรี่ยง (หน่วย : บาท)

กลุ่ม	รายการ	ค่าเสื่อมราคาต่อปี(บาท/ปี)	ค่าเสื่อมราคาต่อเดือน(บาท/เดือน)	ปริมาณการผลิตต่อเดือน	ค่าเสื่อมราคาต่อตัว
1. เสื้อกะเหรี่ยง	ค่าเสื่อมราคา–อุปกรณ์	841.50	70.13	19 ตัว	3.69

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ การทอเสื้อกะเหรี่ยงเท่ากับ 841.50 บาทต่อปีคิดเป็น 3.69 บาทต่อตัว จากปริมาณการผลิตเสื้อทอกะเหรี่ยง 19 ตัวต่อเดือน

2. ต้นทุนการผลิต (ต่อเดือน) กลุ่มที่ 2 การทอย่ามกะเหรี่ยง มีแม่บ้านที่ทอย่ามกะเหรี่ยงรวมทั้งหมด 10 ราย (รายที่ 11–20) ดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลต้นทุนการผลิตการทอย่ามกะเหรี่ยงเฉลี่ยต่อเดือน (หน่วย : บาท)

แม่บ้าน	วัตถุดิบหลัก (ด้าย)	ค่าแรงงาน (ค่าแรงงานตนเอง+ค่าจ้างเย็บผ้า)	สินทรัพย์ (อุปกรณ์การทอผ้า+เข็มเย็บผ้า+กรรไกร)	ค่าใช้จ่ายการผลิต (ค่าน้ำมันรถ)	ต้นทุนการผลิตรวม	จำนวนการทอเสื้อกะเหรี่ยง	รายได้จากการทอเสื้อ	ค่าขนส่ง
รายที่ 11	180	480	350	40	1,050	4	1,400	100
รายที่ 12	135	360	350	40	885	3	990	75
รายที่ 13	135	360	350	40	885	3	900	75
รายที่ 14	135	360	350	40	885	2	700	50
รายที่ 15	135	360	345	40	880	3	1,020	75
รายที่ 16	135	360	350	40	885	3	1,050	75
รายที่ 17	135	360	350	40	885	3	1,020	75
รายที่ 18	135	360	350	40	885	3	1,020	75
รายที่ 19	135	360	350	40	885	3	1,050	75
รายที่ 20	135	510	350	40	1,035	3	1,050	75
รวม	1,395	3,870	3,495	400	9,160	30	10,200	750
ต้นทุนเฉลี่ย	139.50	387	349.50	40	916	3	1,020	75

จากตารางที่ 3 แสดงถึงข้อมูลต้นทุนการผลิตการทอย่ามกะเหรี่ยงจากผู้ผลิต 10 ราย (รายที่ 11–20) พบว่าต้นทุนการผลิตรวมเท่ากับ 9,160 บาทต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 916 บาท และมีรายได้จากการทอย่ามกะเหรี่ยงรวม 10,200 บาทต่อเดือน คิดเป็นรายได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,020 บาท จากการทอย่ามกะเหรี่ยงทั้งหมด 30 ใบต่อเดือน จากแม่บ้านผู้ผลิต 10 ราย

ตารางที่ 4 แสดงค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ การทอย่ามกะเหรี่ยง (หน่วย : บาท)

กลุ่ม	รายการ	ค่าเสื่อมราคาต่อปี(บาท/ปี)	ค่าเสื่อมราคาต่อเดือน(บาท/เดือน)	ปริมาณการผลิตต่อเดือน	ค่าเสื่อมราคาต่อตัว/ต่อใบ
2.ย่ามกะเหรี่ยง	ค่าเสื่อมราคา–อุปกรณ์	820	68.33	30 ใบ	2.28

จากตารางที่ 4 พบว่าค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ การทอย่ามกะเหรี่ยงเท่ากับ 820 บาทต่อปีคิดเป็น 2.28 บาทต่อใบ จากปริมาณการผลิตย่ามทอกะเหรี่ยง 30 ใบต่อเดือน

ตารางที่ 5 แสดงต้นทุนผันแปรและต้นทุนคงที่ กำไรสุทธิ จุดคุ้มทุนเฉลี่ยจากการทอเสื้อกะเหรี่ยงและการทอย่ามกะเหรี่ยง (หน่วย : บาท)

รายการ	การทอเสื้อกะเหรี่ยง	การทอย่ามกะเหรี่ยง
ต้นทุนผันแปร	1,500	566.50
ต้นทุนคงที่	356	349.50
ต้นทุนรวม (ต้นทุนผันแปร+ต้นทุนคงที่)	1,856	916
กำไรสุทธิ	711.50	29
การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนทั้ง 3 กรณี		
จุดคุ้มทุนของหน่วยขาย ตัว/ใบ ต่อเดือน	14.24	16.14
จุดคุ้มทุนของยอดขาย บาทต่อเดือน	24,920	5,649
จุดคุ้มทุนของราคาขาย บาทต่อตัว/ใบ	1,687.37	683

จากตารางที่ 5 พบว่า การทอเสื้อกะเหรี่ยงมีต้นทุนรวมเฉลี่ย 1,856 บาท ประกอบด้วยต้นทุนผันแปร 1,500 บาทและต้นทุนคงที่ 356 บาท มีกำไรสุทธิต่อเดือนเฉลี่ย 711.50 บาท ในการวิเคราะห์จุดคุมทุนทั้ง 3 กรณีพบว่า จุดคุ้มทุนของหน่วยขายเท่ากับ 14.24 บาท ต่อตัวต่อเดือน จุดคุ้มทุนของยอดขายเท่ากับ 24,500 บาท ต่อเดือน และมีจุดคุ้มทุนของราคาขายเท่ากับ 1,687.37 บาท ต่อตัว และพบว่าการทอย่ามกะเหรี่ยงมีต้นทุนรวมเฉลี่ย 916 บาท ประกอบด้วยต้นทุนผันแปร 566.50 บาทและต้นทุนคงที่ 349.50 บาท มีกำไรสุทธิต่อเดือนเฉลี่ย 29 บาท ในการวิเคราะห์จุดคุมทุนทั้ง 3 กรณีพบว่า จุดคุ้มทุนของหน่วยขายเท่ากับ 16.14 บาท ใบต่อเดือน จุดคุ้มทุนของยอดขายเท่ากับ 5,649 บาท ต่อเดือน และมีจุดคุ้มทุนของราคาขายเท่ากับ 683 บาท ต่อใบ

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง ของหมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก

ตารางที่ 6 วิเคราะห์ผลตอบแทนของการทอเสื้อกะเหรี่ยงและการทอย่ามกะเหรี่ยง

อัตราส่วน	สูตร	ผลการคำนวณ	
		การทอเสื้อกะเหรี่ยง	การทอย่ามกะเหรี่ยง
อัตรากำไรขั้นต้น	กำไรขั้นต้น/ขายสุทธิ	29.02 %	10.20 %
อัตรากำไรสุทธิ	กำไรสุทธิ/ขายสุทธิ	27.21 %	2.84 %
อัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์	กำไรสุทธิ/สินทรัพย์รวม	199.86 %	8.30 %

จากตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนของการทอเสื้อกะเหรี่ยงและการทอย่ามกะเหรี่ยงเฉลี่ยต่อเดือน พบว่ามีอัตรากำไรขั้นต้นร้อยละ 29.02 และ 10.20 อัตรากำไรสุทธิร้อยละ 27.21 และ 2.84 อัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์ร้อยละ 199.86 และ 8.30 ตามลำดับ

สรุปผลและอธิปรายผล

สรุปผล

การศึกษาในครั้งนี้มีจุดประสงค์คือ เพื่อศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง หมู่บ้านพะยอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก และเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง หมู่บ้านพะยอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก ทำการเก็บข้อมูลระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2566 ถึง พฤษภาคม 2566 โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มแม่บ้านของหมู่บ้านยะพอ ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงมีอายุอยู่ในช่วง 20-51 ปีขึ้นไป ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม และใช้เวลาในการทอผ้ากะเหรี่ยงประมาณ 1 เดือน ต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง แยกตามลักษณะสินค้าออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. การทอเสื้อกะเหรี่ยง

ต้นทุนการผลิตการทอเสื้อกะเหรี่ยงจากผู้ผลิต 10 ราย(รายที่ 1-10) พบว่าต้นทุนการผลิตรวมเท่ากับ 18,560 บาทต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 1,856 บาท และมีรายได้จากการทอเสื้อกะเหรี่ยงรวม 26,150 บาทต่อเดือน คิดเป็นรายได้เฉลี่ยเท่ากับ 2,615 บาท ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ การทอเสื้อกะเหรี่ยงเท่ากับ 841.50 บาทต่อปีคิดเป็น 3.69 บาทต่อตัว มีกำไรสุทธิจากการทอเสื้อกะเหรี่ยงเฉลี่ย 711.50 บาท ต่อเดือน ต้นทุนผันแปร 1,500 บาท ต่อเดือน ต้นทุนคงที่ 356 บาท ต่อเดือน จุดคุ้มทุนของหน่วยขายเสื้อกะเหรี่ยงประมาณ 14.24 ตัวต่อเดือน ต้องขายในราคาประมาณ 1,687.37 บาทต่อตัวขึ้นไปจึงจะคุ้มทุน และต้องขายเสื้อกะเหรี่ยงให้ได้ประมาณ 24,500 บาทต่อเดือน อัตราผลตอบแทนจากจากการทอเสื้อกะเหรี่ยงทั้งหมด 19 ตัวต่อเดือน จากแม่บ้านผู้ผลิต 10 ราย พบว่า มีอัตรากำไรขั้นต้นร้อยละ 29.02 อัตรากำไรสุทธิร้อยละ 27.21 และอัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์ร้อยละ 199.86

2. การทอย่ามกะเหรี่ยง

ต้นทุนการผลิตการทอย่ามกะเหรี่ยงจากผู้ผลิต 10 ราย (รายที่ 11-20) พบว่าต้นทุนการผลิตรวมเท่ากับ 9,160 บาทต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 916 บาท และมีรายได้จากการทอย่ามกะเหรี่ยงรวม 10,200 บาทต่อเดือน คิดเป็นรายได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,020 บาท ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ การทอย่ามกะเหรี่ยงเท่ากับ 820 บาทต่อปีคิดเป็น 2.28 บาทต่อใบ กำไรสุทธิจากการทอย่ามกะเหรี่ยงเฉลี่ย 29 บาท ต่อเดือน โดยมีต้นทุนผันแปร 566.50 บาท ต่อเดือน ต้นทุนคงที่ 349.50 บาท ต่อเดือน จุดคุ้มทุนของหน่วยขายย่ามกะเหรี่ยง 16.14 ใบต่อเดือน ต้องขายในราคาประมาณ 683 บาท ต่อใบขึ้นไปจึงจะคุ้มทุน และต้องขายย่ามกะเหรี่ยงให้ได้ประมาณ 5,649 บาท ต่อเดือน อัตราผลตอบแทนจากจากการทอย่ามกะเหรี่ยงทั้งหมด 30 ใบต่อเดือน จากแม่บ้านผู้ผลิต 10 ราย พบว่า มีอัตรากำไรขั้นต้นร้อยละ 10.20 อัตรากำไรสุทธิร้อยละ 2.84 และอัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์ร้อยละ 8.30

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของการทอผ้ากะเหรี่ยง พบว่าให้ผลตอบแทนที่ดี น่าลงทุน เนื่องจากใช้ต้นทุนในการลงทุนไม่สูงมาก แต่จะใช้แรงงานตนเองเป็นหลักเนื่องจากเป็นงานหัตถกรรมที่เป็นงานฝีมือ ทำให้จำหน่ายได้ในราคาค่อนข้างสูงพอสมควร จุดคุ้มทุนของหน่วยขายเสื้อทอกะเหรี่ยง 14.24 ตัวต่อเดือน มีอัตรากำไรขั้นต้นร้อยละ 29.02 อัตรากำไรสุทธิร้อยละ 27.21 และอัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์ร้อยละ 199.86 จุดคุ้มทุนของหน่วยขายย่ามทอกะเหรี่ยง 16.14 ใบต่อเดือน มีอัตรากำไรขั้นต้นร้อยละ 10.20 อัตรากำไรสุทธิร้อยละ 2.84 และอัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์ร้อยละ 8.30 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทศพร ไชยประคอง (2561) ที่ทำการศึกษาเรื่อง การศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนปริมาณและกำไรของผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายทอมือ หมู่บ้านหนองอาบช้าง ต.สบเตี๊ยะ อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ และสอดคล้องงานวิจัยของ แก้วมณี อุทิรัมย์ (2560) เรื่อง การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการทอผ้าไหมมัดหมี่

ตีนแดง ต.นาโพธิ์ อ.นาโพธิ์ จ.บุรีรัมย์ เนื่องจากใช้เงินลงทุนไม่สูงมากแต่ให้ผลตอบแทนค่อนข้างดีและระยะคืนทุนค่อนข้างสั้น อีกทั้งการผลิตผ้าทอกะเหรี่ยง ไม่มีค่าใช้จ่ายในด้านการประชาสัมพันธ์และค่าใช้จ่ายในการเดินทางค่อนข้างต่ำ จึงทำให้กำไรสุทธิอยู่ในระดับปานกลาง อัตรากำไรขั้นต้นมีค่าเป็นบวก จึงทำให้กลุ่มแม่บ้านมีความสามารถในการตั้งราคาสินค้า ซึ่งบ่งบอกว่าในระยะยาวกลุ่มแม่บ้านสามารถขึ้นราคาสินค้าได้ตามต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น อัตราผลตอบแทนจากสินทรัพย์มีค่ามากแสดงว่ากลุ่มแม่บ้านได้นำสินทรัพย์ที่มีอยู่ไปใช้ในการดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้รับผลตอบแทนค่อนข้างดีและจุดคุ้มทุนต่ำ ส่งผลให้กลุ่มแม่บ้านสามารถคืนทุนและสร้างกำไรได้เร็วขึ้น

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ปัญหาของกลุ่มแม่บ้านที่ทอผ้ากะเหรี่ยงในหมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก

1. ด้านกรรมวิธีการผลิต เนื่องจากการทอผ้ากะเหรี่ยงเป็นงานฝีมือ ผ้าทอแต่ละผืนมีลวดลายต่างกัน จึงต้องใช้เวลาในการออกแบบลายค่อนข้างนาน และในการผลิตกลุ่มแม่บ้านประสบปัญหาในเรื่องเส้นด้ายขาดในระหว่างทอผ้า และมีเศษผ้าเหลือจากทอผ้าจำนวนมาก

2. ด้านการตลาด ยังไม่มีการวางแผนทางการตลาดที่ชัดเจน และช่องทางในการจัดจำหน่ายยังมีน้อย

3. ด้านสุขภาพ เนื่องจากนั่งทอผ้านานๆ จะมีอาการปวดเมื่อย ปวดช่วงเอว

ข้อเสนอแนะ

1. กลุ่มแม่บ้านสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนในการกำหนดราคาขาย เพื่อเพิ่มผลตอบแทนจากการจำหน่ายผ้าทอกะเหรี่ยง

2. ควรมีการวางแผนการทอผ้าตามขนาดตัวของลูกค้า เพื่อลดปัญหาเศษผ้าเหลือ

3. ควรแปะแผ่นพลาสเตอร์เพื่อลดอาการปวดเมื่อยหรือไม่นั่งท่าเดิมเป็นเวลานานๆควรมีการขยับร่างกายเพื่อผ่อนคลาย

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1. ควรศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนจากการทอผ้ากะเหรี่ยงในหลายๆพื้นที่ เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งนี้

2. ควรศึกษาการวางแผนการทอผ้ากะเหรี่ยงให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ซื้อ

3. ควรส่งเสริมและสนับสนุนให้ก่อตั้งกลุ่มทอผ้าของชุมชน หมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก เพื่อพัฒนาศักยภาพและเพิ่มอาชีพให้คนในชุมชนอีกทั้งยังเป็นการสืบทอดความรู้ ศิลปะหัตกรรมให้แก่คนรุ่นหลัง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ว่าที่ร้อยตรีสุพจน์ อริยะรุ่งโรจน์ ผู้ใหญ่บ้านหมู่ที่ 5 หมู่บ้าน ยะพอ ตำบลวาเล่ย์ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก และแม่บ้านผู้ทอเสื้อกะเหรี่ยงและย่ามกะเหรี่ยงทั้ง 20 ท่าน ที่สละเวลาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่การทำงานวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณทุกท่านอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนเอื้อเฟื้อและให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจนกระทั่งสามารถทำการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของผ้าทอกะเหรี่ยงหมู่บ้านยะพอ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ประโยชน์ที่พึงได้รับจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้ทุกท่านที่มีส่วนสำคัญต่อความสำเร็จของการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2560). ยุทธศาสตร์กระทรวง พ.ศ. 2560 –2564 และยุทธศาสตร์สำนักงานปลัดกระทรวง พ.ศ. 2560–2564. สืบค้น 25 มกราคม 2566, จาก http://www.oic.go.th.

แก้วมณี อุทิรัมย์. (2560). **การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการทอผ้าไหมมัดหมี่ตีนแดง ต.นาโพธิ์ อ.นาโพธิ์ จ.บุรีรัมย์.** สืบค้นเมื่อ มกราคม 2566, จาก https://so03.tci-thaijo.org.

คลังเอกสารสาธารณะ. (2562). **วิธีการทอผ้ากะเหรี่ยง.** สืบค้นเมื่อ 27 มกราคม 2566, จา http://www.openbase.in.th.

ชาญศักดิ์ ตั้งสันติกุลานนท์ (2560). **การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตปลาร้าแปรรูป**. คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

ณัฐพงษ์ บุญวิเศษ. (2560). **ประวัติบ้านยะพอ.** สืบค้น 28 มกราคม 2566,จาก http://nangbueng.blogspot.com.

ทศพร ไชยประคอง และปฐมชัย กรเลิศ. (2561). **การศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุน ปริมาณ และกำไรของผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายทอมือ: กรณีศึกษา หมู่บ้านหนองอาบช้าง ตำบลสบเตี๊ยะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่.** มหาวิทยาลัยพายัพ, 71–83.

บุษบา หินเธาว์ และรัตนา สิทธิอ่วม, (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์และศึกษาต้นทุนผ้าทอมือประเภทผ้าพันคอเพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์.คณะมนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์, 57–68.

วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. (2563). **ชาวกะเหรี่ยง** สืบค้น 28 มกราคม 2566,จาก https://th.wikipedia.org

ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 2. (2560). **แนวคิดเกี่ยวกับการทอผ้าทอกะเหรี่ยง.** สืบค้น 12 มกราคม 2566, จาก https://ipc2.dip.go.th/th.

สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดแม่ฮ่องสอน. (2560). **ผ้าทอ ปวาเก่อญอ.** สืบค้น 15 มกราคม 2566, จาก http://www.maehongsonto day.com.

อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์. (2562) **การบัญชีต้นทุน** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.

องค์การบริหารส่วนตำบลวาเล่ย์. (2563). **ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับตำบลวาเล่ย์ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก.** สืบค้น 16 มกราคม 2566, จาก https://www.wale.go.th.

รูปแบบการปรับตัวของเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดศรีราชาต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จังหวัดชลบุรี

Exploring adaptation patterns of Sriracha pineapple parmers to climate change in Chonburi Province

อภินันท์ พัชโรภาสวัฒนกุล[1] และ ชุมพล โมฆรัตน์[1*]

Apinan Phatchropaswatanakul[1] and Chumpol Mokarat[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการปลูกสับปะรดในจังหวัดชลบุรี และค้นหารูปแบบการปรับตัวของเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดศรีราชาต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจังหวัดชลบุรี ประยุกต์ใช้รูปแบบฟังก์ชันการผลิตแบบคอบบ์ – ดักลาส และวิธีการประมาณค่าแบบ Weight Least Squares : WLS ใช้ข้อมูลทุติยภูมิปี พ.ศ.2500 – 2562 ผลจากการประมาณค่าสมการการผลิตแบบคอบบ์ – ดักลาส พบว่า ตัวแปรอิสระทุกตัวส่งผลกระทบต่อผลผลิตสับปะรดอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 เมื่อพิจารณาค่าความยืดหยุ่นของอุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย พบว่า มีทิศทางตรงกันข้ามกับผลผลิตสับปะรดเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นจะทำให้สับปะรดนั้นเจริญเติบโตได้ช้า ส่วนพื้นที่เพาะปลูก ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย มีทิศทางเดียวกันกับผลผลิตสับปะรด ในส่วนของแนวทางการปรับตัวพบว่า เกษตรกรมีการปรับตัวใน 3 แนวทาง ได้แก่หนึ่งเกษตรกรมีการเปลี่ยนมาใช้พันธุ์สับปะรดที่ทนต่อความแห้งแล้ง สองเกษตรกรหาอาชีพเสริมนอกภาคการเกษตรกรรมเพื่อเพิ่มรายได้ และสามเกษตรกรมีการติดตามข่าวสารเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ

คำสำคัญ: การปรับตัวของเกษตรกร, สับปะรด, การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

[1] คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก กรุงเทพมหานคร 10400

[1] Business, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bankkok, 10400

*Corresponding author: Apinanart@gmail.com

Abstract

The purpose of this research was to analyze the effects of climate change on pineapple cultivation in Chonburi Province and to find adaptation patterns of Sriracha pineapple farmers to climate change in Chonburi Province. Applying Cobb-Douglas production function model and Weight Least Squares: WLS estimation method using secondary data from 1957 – 2019, results from Cobb-Douglas production equation estimation. Douglas found that all independent variables affected pineapple yield with statistical significance at 99% confidence level. Considering the mean temperature elasticity and mean temperature variance, it was found that there was an opposite direction to pineapple yield. When the average temperature rises, the pineapple grows more slowly. Cultivated area average rainfall Mean rainfall variability have the same direction as pineapple production as for the adaptation guidelines, it was found that farmers adapted in 3 ways: first, farmers switched to using drought-tolerant pineapple varieties; two people looking for a part-time job outside of agriculture to increase their income. and three farmers are following up on climate news.

Keywords: Farmer adaptation, pineapples, climate change

บทนำ

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตยังจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยจากการรายงานการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC, 2007) ได้ยืนยันการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนถึงอุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้น และระบุว่าในช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2572 พื้นที่ส่วนใหญ่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีความเสี่ยงต่อภัยน้ำท่วมและภัยแล้งเพิ่มมากขึ้น

จังหวัดชลบุรี ถือเป็นพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดศรีราชาที่สำคัญ อีกทั้งยังพบว่าเป็นแหล่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของผลผลิตและเป็นพื้นที่เหมาะสมในการปลูกสับปะรด และทำให้สับปะรดมีรสชาติและคุณภาพดีเป็นที่รู้จักของผู้บริโภค (ปิยะ โกสินทรจิตต์, 2549) โดยในส่วนของคุณภาพและกระบวนการผลิตนั้นถือเป็นประเด็นสำคัญทางการตลาดทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งเกษตรกรต้องมีการปรับตัวเพื่อให้ทันกับสถานการณ์ เพื่อให้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตซึ่งสามารถสร้างภาพลักษณ์ เอกลักษณ์หรือชื่อของสินค้าให้มีความโดดเด่นและแตกต่างจากคู่แข่งและปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องตั้งแต่เกษตรกรไปจนถึงผู้บริโภค โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการเกษตรทั้งทางตรงและทางอ้อมคือการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งส่งผลต่อปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ คุณภาพของผลผลิต การบำรุงรักษาพืช การป้องกันศัตรูพืช และการปรับปรุงคุณภาพของดินที่ใช้เพาะปลูกนั้น ย่อมส่งผลต่อราคาของผลผลิตทางการเกษตรซึ่งเป็นไปตามกลไกทางเศรษฐกิจหรืออุปสงค์อุปทานในตลาด กล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่ผลักดันราคาอาหารของมนุษย์ให้สูงขึ้น ปัจจุบันประเทศไทยติดอันดับกลุ่มประเทศที่มีความเปราะบางสูงสุดต่อผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (Climate Change) จากการจัดอันดับ ดัชนีความเปราะบางจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Climate Change Vulnerability Index: CCVI) (United Nations Development Programme, 2023) สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่มีผลผลิตเก็บเกี่ยวเป็นอันดับต้น ๆ ของจังหวัดชลบุรี (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดชลบุรี และ สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2563) โดยมีผลิตภัณฑ์ส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สับปะรดกระป๋อง และ น้ำสับปะรด คิดเป็น ร้อยละ 45 ของมูลค่าการส่งออก

ผลิตภัณฑ์ผลไม้แปรรูป โดยไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกสับปะรด กระป๋องเป็นอันดับ 1 ของโลก มีส่วนแบ่งการตลาดประมาณร้อยละ 50 ดังนั้นอุตสาหกรรมสับปะรดนั้นมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจทั้งในระดับมหภาคและระดับไร่นา โดยจังหวัดชลบุรีเป็นจังหวัดที่เป็นแหล่งเพาะปลูกสับปะรดที่สำคัญของไทยมีพื้นที่ปลูกรวม 110,000 ไร่ กระจายอยู่ในพื้นที่ 10 อำเภอ ได้แก่ อำเภอบ้านบึง อำเภอบางละมุง อำเภอเมืองชลบุรี อำเภอสัตหีบ อำเภอพนัสนิคม อำเภอเกาะจันทร์ อำเภอศรีราชา อำเภอเกาะสีชัง อำเภอบ่อทอง และ อำเภอพานทอง จำนวน 16,881 ไร่ อย่างไรก็ตามนับตั้งแต่ปลายปีพ.ศ. 2554 เป็นต้นมา เกษตรกรผู้ผลิตสับปะรดในจังหวัดชลบุรีได้รับผลกระทบจากการลดลงของผลผลิตสับปะรดซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยหลายด้าน เช่น สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนไป การเพาะปลูก เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญในการค้นหารูปแบบการปรับตัวของเกษตรกรจากกลุ่มตัวอย่างด้วยแบบสอบถาม เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพเศรษฐกิจและสังคมของครัวเรือนเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดลักษณะการรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตสับปะรดตลอดจนแนวทางการปรับตัวของเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรด ตลอดจนเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500 – 2562 ได้แก่ ข้อมูลสถิติอุณหภูมิ และปริมาณฝนที่กรมอุตุนิยมวิทยา (2564)รวบรวม รวมถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการปลูกสับปะรด เพื่อวิเคราะห์และค้นหารูปแบบการปรับตัวของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างดังกล่าว พบว่า มีการศึกษาการรับรู้และการปรับตัวของเกษตรกรในการจัดการระบบการผลิตต่อความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันบนพื้นที่สูง โดยสำรวจพื้นที่และสอบถามเกษตรกร ใช้แบบสอบถามประเภทคำถามแบบปลายปิดร่วมกับคำถามแบบปลายเปิด ทั้งทำการสัมภาษณ์เกษตรกร ซึ่งพบว่าเกษตรกรมีการรับรู้ต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศโดยรับรู้จากข่าวสารและสังเกตความเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม เมื่อเริ่มได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ เกษตรกรมีการปรับตัวเพื่อแก้ไขปัญหาไปตามสถานการณ์เท่านั้น ดังนั้น ควรมีงานวิจัยที่ช่วยในการสนับสนุน ตัดสินใจในการปรับตัวและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น (ฤทธิ์เดช สุตา และคณะ, 2557) ต่อมามีการศึกษาการรับรู้ของเกษตรกรต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รูปแบบการปรับตัวและทางเลือกในการปรับตัวของเกษตรกร ตลอดจนวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับตัวของเกษตรกรในแต่ละภูมิภาค โดยใช้แบบสอบถามทั้งแบบปลายปิดและปลายเปิด ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ในพื้นที่ 4 จังหวัดของแต่ละภูมิภาค และ Binary logistic regression ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับตัวของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรจังหวัดลพบุรีและจังหวัดมหาสารคาม รับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และ เกษตรกรจังหวัดพิษณุโลก รับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา สำหรับรูปแบบการปรับตัวของเกษตรกรทั้ง 4 จังหวัด พบว่า ส่วนใหญ่เลือกปรับตัวโดยการใช้พันธุ์พืชที่มีความต้านทานต่อความแห้งแล้ง หาอาชีพอื่นนอกเหนือจากการเกษตร นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการปรับตัวของเกษตรกร เช่น แหล่งน้ำสำรอง จำนวนหนี้สิน เป็นต้น (ปุณยาพร ปรางบาง และ คณะ, 2562) และการศึกษาการปรับตัวของการทำเกษตรกรรมจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกด้วยการคำนวณค่าดัชนีความเปราะบาง ของการทำเกษตรกรรม (Agricultural Vulnerability Index: AVI) ตลอดจนศึกษารูปแบบการปรับตัวของการทำเกษตรกรรม และกำหนดมาตรการเพื่อลดผลกระทบของการทำเกษตรกรรมจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ พื้นที่ศึกษา ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรีและตราด โดยทำการวิเคราะห์ในโปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ผลลัพธ์ที่ได้เป็นแผนที่ค่า AVI รายตำบล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525–2554 จากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ 4 ตำบลที่มีค่า AVI สูงที่สุด (ต.นาจอมเทียน อ.สัตหีบ, ต.บ้านค่าย อ.บ้านค่าย, ต.เขาวงกต อ.แก่งหางแมว และ ต.ห้วยแร้ง อ.เมืองตราด) พบว่ามีรูปแบบการปลูกพืชคล้ายคลึงกัน พืชที่ปลูก ได้แก่ ข้าว มันสำปะหลัง สับปะรด ส่วนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศหรือภัยพิบัติที่ได้รับ ได้แก่ อุณหภูมิสูงขึ้น และปริมาณน้ำฝน

ลดลงภัยพิบัติที่พบ ได้แก่ น้ำท่วม และภัยแล้ง โดยเฉพาะภัยแล้งส่งผลกระทบต่อการปลูกพืชของเกษตรกรมาก เกษตรกรจึงแก้ปัญหาโดยขุดบ่อน้ำเพื่อใช้ในฤดูร้อน โดยผู้วิจัยมีมาตรการที่เสนอเพื่อลดผลกระทบของการทำเกษตรกรรมจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมี 3 มาตรการ ดังนี้ การกำหนดปฏิทินการปลูกพืชตามปริมาณน้ำในดิน การเปลี่ยนชนิดพืช และ การเสนอให้มีการจัดการและพัฒนาการท่องเที่ยวชุมชน เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกร (ณรงค์ พลีรักษ์, 2556) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับ การปรับตัวของเกษตรกรต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: กรณีศึกษาเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้ง อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและวิจัยได้เป็นอย่างดี

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงคำนึงถึงปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อภาคการเกษตรของประเทศไทย อย่างไรก็ตามผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังขาดข้อมูลเชิงประจักษ์ เพื่อยืนยัน ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญในการหาผลกระทบและแนวทางการปรับตัวของเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรด เพื่อนำไปสู่การสร้างแนวทางและข้อเสนอแนะเชิงนโยบายต่อการวางแผนการผลิตสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศด้านการเกษตรให้แก่เกษตรกรไทยอย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการปลูกสับปะรดในจังหวัดชลบุรี
2. ค้นหารูปแบบการปรับตัวของเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดศรีราชาต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจังหวัดชลบุรี

ขอบเขตการวิจัย

1. ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดในพื้นที่จังหวัดชลบุรี จำนวน 400 ตัวอย่าง
2. ขอบเขตด้านเนื้อหา ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย รวมถึงผลผลิตสับปะรด โดยแหล่งที่มาของข้อมูล ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เป็นต้น
3. ขอบเขตด้านพื้นที่ จังหวัดชลบุรี
4. ขอบเขตด้านระยะเวลา ใช้ข้อมูลทุติยภูมิ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500 – 2562

วิธีดำเนินการ

เริ่มจากทดสอบความนิ่งของข้อมูล (Stationary)ที่นำมาวิเคราะห์ โดยการทดสอบ Unit Root ของตัวแปรที่ทำการศึกษาโดยวิธี Augmented Dickey-Fuller (ADF-test) Battese (1997) ทดสอบภาวะร่วมเส้นตรงหลายตัวแปร (Multicollinearity) กำหนดให้ตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องเป็นอิสระต่อกัน โดยการตรวจสอบเงื่อนไขนี้จะตรวจสอบโดยใช้ค่าสถิติ คือ ค่า Variance Inflation Factor (VIF) โดยหากมีค่าใกล้ 10 มากแสดงว่าระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในสมการการวิเคราะห์ความถดถอยพหุเชิงเส้นมีมาก นั้นคือ เกิดปัญหา Multicollinearity ทดสอบปัญหา Heteroskedasticity เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับตัวคลาดเคลื่อนโดยใช้วิธีการ White Heteroscedasticity (Gujarati, D. N, 2003) ตรวจสอบปัญหาตัวคลาดเคลื่อนมีการกระจายที่เป็นอิสระต่อกัน Autocorrelation จะใช้วิธี Durbin-Watson Test ซึ่งวิธีการตรวจสอบผู้วิจัยจะพิจารณาจากค่าสถิติ Durbin-Watson โดยถ้าค่า Durbin-Watson มีค่าเข้าใกล้ 2

จากการประยุกต์แนวคิดของ Zhai, F., and J. Zhuang (2009) ได้กำหนดรูปแบบฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic Production Function (SPF) ตามแบบจำลองเชิงทฤษฎีดังสมการที่ 1

$$y_t = f(x_t, \beta_t) + u_t \quad \text{...1}$$

กำหนดให้ y_t คือผลผลิตสับปะรด ณ ช่วงเวลา t, x_t คือเวกเตอร์ของตัวแปรอธิบาย ณ ช่วงเวลา t ตัวแปร $f_1(x_t, \beta_t)$ คือ ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยของผลผลิต และ u_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของผลผลิต

การศึกษานี้ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองที่ใช้ในรูป log- linear โดยจะเปลี่ยนสมการยกกำลังให้เป็นสมการเส้นตรง

ซึ่งตัวเลขที่ได้จะเป็นค่าความยืดหยุ่นของตัวแปร การวิเคราะห์ผลการประมาณการสมการการผลิตด้วยวิธี Weight Least Square (WLS) ตามแนวคิดที่ได้ทบทวนวรรณกรรม ดังสมการที่ 2

$$\ln Y_t = \alpha_1 + \beta_1 \ln A_t + \beta_2 \ln TEM_t + \beta_3 \ln VTEM_t + \beta_4 RA_t + \beta_5 \ln VRA_t + u_t \quad \text{...2}$$

กำหนดให้ Y_t คือ ผลผลิตสับปะรด (ตันต่อไร่), A_t คือพื้นที่เพาะปลูกสับปะรด(ไร่), TEM_t คือ อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส), $VTEM_t$ คือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย(องศาเซลเซียส)^2 , RA_t คือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย(มิลลิเมตร), VRA_t คือ ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย(มิลลิเมตร)^2 และ u_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

ผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ได้ดำเนินการทดสอบ Unit Root ด้วยวิธี ADF – Fisher Test พบว่า สามารถยอมรับได้ว่าข้อมูลทั้งหมดมีลักษณะนิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 หรือที่ระดับ Level I(0) ของตัวแปรทุกตัว ผลการตรวจสอบปัญหา Multicollinearity ทดสอบตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์กันเอง (Multicollinearity) โดยใช้สถิติ Collinearity พบว่า ค่า Variance Inflation Factor (VIF) สูงสุดเท่ากับ 1.678 แสดงว่าตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์กันเอง คือ ไม่เกิด Multicollinearity ผลการตรวจสอบปัญหา Autocorrelation หรือ Serial correlation จากการตรวจสอบค่า Durbin–Watson ซึ่งจากการเปิดตาราง Durbin–Watson d statistic พบว่า ค่าที่ได้จะตกอยู่ในช่วงปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายความว่าไม่มีปัญหา Autocorrelation ผลการทดสอบปัญหา Heteroskedasticity พบว่าค่าสถิติ Chi–Square ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤต ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 99 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าแบบจำลองมีปัญหา Heteroskedasticity และทำการประมาณค่าสมการด้วยวิธี Weight Least Square: WLS เพื่อเป็นการแก้ปัญหา Heteroskedasticity ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันการผลิตแบบคอบบ์ – ดักลาส

ตัวแปร	ฟังก์ชันการผลิตแบบคอบบ์ – ดักลาส
lnA_t	0.1532 (0.0321)**
$lnTEM_t$	-0.1853 (0.0665)**
$lnVTEM_t$	-0.1219 (0.0213)**
$lnRA_t$	0.2122 (0.0218)**
$lnVRA_t$	-0.3211 (0.0176)**
Constant	-0.2356 (0.2326)**
Durbin-Watson	1.9573
Adjust R-squared	0.8634
Prob (F-statistic)	0.0000
R-squared	0.8712
AIC	4.2231

ที่มา : จากการคำนวณ

หมายเหตุ : ตัวเลขใน () หมายถึง Standard error

** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

จากตารางที่ 1 ผลการประมาณค่าสมการการผลิต สามารถนำมาเขียนเป็นสมการ ดังนี้

$$lnY_t = -0.2356 + 0.1532\ lnA_t - 0.1853\ lnTEM_t - 0.1219\ lnVTEM_t + 0.2122\ lnRA_t - 0.3211\ lnVRA_t$$

(2.8459)** (0.0321)** (0.0665)** (0.0213)** (0.0218)** (0.0176)**

R-squared = 0.8712 Adjust R-squared = 0.8634

AIC = 4.2231 Durbin-Watson = 1.9573

จากผลการประมาณค่าสมการการผลิตแบบคอบบ์ – ดักลาส เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjust R-squared) มีค่าเท่ากับร้อยละ 87.12 แสดงว่าผลผลิตสับปะรด สามารถอธิบายได้ด้วยปัจจัยพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย และความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ประมาณร้อยละ 87.12 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 12.88 เป็นผลกระทบมาจากปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่ได้นำมาเข้าร่วมในสมการนี้ พื้นที่เพาะปลูกสับปะรดมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.1532 นั่นคือ พื้นที่เพาะปลูกสับปะรดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 กำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตสับปะรดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1532 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับผลผลิตสอดคล้องกับงานของ McCarl (2008) อุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ –0.1853 และ –0.1219 ตามลำดับ นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยในการปลูกสับปะรดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 กำหนดให้ปัจจัยอื่นๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตสับปะรดลดลงร้อยละ 0.1853 และ 0.1219 ตามลำดับ เนื่องมาจากอุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงขึ้นจะเป็นผลเสียต่อผลผลิตสับปะรดสอดคล้องกับงานของ ฤทธิ์เดช สุตาและคณะ (2557) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตสับปะรดในทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงจะทำให้สับปะรดขาดน้ำ และหากมีความแปรปรวนของอุณหภูมิจะส่งผลลบต่อผลผลิตสับปะรดจะทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงัก ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.2122 นั่นคือ เมื่อปริมาณน้ำฝนรวมในการปลูกสับปะรดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 กำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตสับปะรดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.2122 แสดงให้เห็นว่าน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเพาะปลูกสับปะรด สอดคล้องกับงานของสำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดชลบุรี และ สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2563) พบว่า พืชเกษตรส่วนใหญ่ใช้น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพาะปลูกในปริมาณที่แตกต่างกัน ส่วนความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ – 0.3211 นั่นคือ เมื่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมในการปลูกสับปะรดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 กำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตสับปะรดลดลงร้อยละ 0.3211 เนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ถ้ามีสูงหรือต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนมากจะส่งผลทำให้สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืช สอดคล้องกับงานของ อภินันท์ พัชโรภาสวัฒนกุล (2560) พบว่า ความแปรปรวนนำมาซึ่งความเสี่ยงต่อความเสียหายของผลผลิตเกษตร เมื่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมเปลี่ยนแปลงมากจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของผลผลิตเกษตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 พบว่าแนวทางการปรับตัวของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างผู้ปลูกสับปะรดในจังหวัดชลบุรีโดยเปลี่ยนมาใช้พันธุ์สับปะรดที่ทนต่อความแห้งแล้ง คิดเป็นร้อยละ 95 สอดคล้องกับการประมาณค่าสมการค่าเฉลี่ยผลผลิตสับปะรดพบว่า แนวโน้มอุณหภูมิเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบต่อสับปะรดมากกว่าปริมาณน้ำฝนซึ่งจะมีผลต่อน้ำหนักของผลผลิตสับปะรดนั้นลดลง

แนวทางที่สอง พบว่า เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการหาอาชีพเสริมนอกภาคการเกษตรกรรมเพื่อเพิ่มรายได้ คิดเป็นร้อยละ 94 โดยการออกไปรับจ้างก่อสร้าง ใช้แรงงาน รองลงมา คือ ทำการเกษตรกรรมโดยการปลูกพืชที่หลากหลายชนิด คิดเป็นร้อยละ 90 เพื่อเป็นการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่จะส่งผลต่อรายได้ของเกษตรกร

แนวทางที่สามการจัดการปัจจัยเสี่ยง พบว่า เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการติดตามข่าวสารเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ คิดเป็นร้อยละ 73 โดยติดตามประกาศจากทางการผ่านช่องทางวิทยุชุมชน รองลงมา คือ เข้าร่วมอบรมให้ความรู้จากหน่วยงานของรัฐ เช่น สหกรณ์การเกษตร คิดเป็นร้อยละ 42 ในประเด็นการเพาะปลูกสับปะรดอย่างไรให้ได้ผลผลิตในระดับสูง

อภิปรายและสรุปผล

การปลูกสับปะรดจะให้ผลผลิตสูง มาจากปัจจัยด้านสภาพอากาศในเรื่องของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนเอื้ออำนวย โดยตัวแปรอิสระทุกตัวส่งผลกระทบต่อผลผลิตสับปะรดอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 เมื่อพิจารณาค่าความยืดหยุ่นของอุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย พบว่า มีทิศทางตรงกันข้ามกับผลผลิตสับปะรด เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นจะทำให้สับปะรดนั้นเจริญเติบโตได้ช้า ส่วนพื้นที่เพาะปลูก ปริมาณน้ำฝนรวม ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมมีทิศทางเดียวกันกับผลผลิตสับปะรด พบว่า ความยืดหยุ่นของอุณหภูมิเฉลี่ยจะมีค่ามากกว่าความยืดหยุ่นของปริมาณน้ำฝนรวม แสดงให้เห็นถึงขนาดของผลกระทบของปัจจัยทั้งสองว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตอบสนองต่อผลผลิตสับปะรดมากกว่าปริมาณน้ำฝนรวม เนื่องจากถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นจะกระทบต่อความชื้นของดินซึ่งเป็นองค์ประกอบในการเจริญเติบโตของสับปะรด และแนวทางการปรับตัวของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีแนวทางการปรับตัว โดยเปลี่ยนมาใช้พันธุ์สับปะรดที่ทนต่อความแห้งแล้ง แนวทางที่สอง พบว่า เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างมีการหาอาชีพเสริมนอกภาคการเกษตรกรรมเพื่อเพิ่มรายได้ แนวทางที่สามการจัดการปัจจัยเสี่ยง พบว่า เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการติดตามข่าวสารเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ อย่างไรก็ตามเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพาฝนจากธรรมชาติ และมีการใช้ระบบน้ำหยดคิดเป็นร้อยละ 8 เท่านั้น ซึ่งทางกรมวิชาการเกษตรได้ให้ความรู้เรื่องการใช้ประโยชน์จากระบบน้ำหยดช่วยให้สามารถปลูกสับปะรดได้ตลอดทั้งปี เพราะระบบน้ำหยดสร้างความชุ่มชื้นในแปลงปลูกทำให้สับปะรดที่ปลูกใหม่แตกรากดี ตั้งตัวได้เร็ว ต้นแข็งแรง ทำให้สับปะรดมีความสมบูรณ์แข็งแรงทนต่อโรคและแมลงได้ดีส่งผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นขายได้ราคาสูง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

จากผลการวิจัยเกษตรกรควรวางแผนจัดการน้ำเพื่อใช้ในการเพาะปลูกสับปะรด ซึ่งจะทำให้ผลผลิตนั้นเพิ่มขึ้นโดยนำเทคโนโลยีระบบน้ำหยดเข้ามาปรับใช้เพื่อควบคุมปริมาณน้ำในฤดูการเพาะปลูกได้อย่างแม่นยำ

ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป

ในการวิจัยยังมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศที่ไม่ได้นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เช่น ตัวแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จำนวนวันฝนตก อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตลอดจนการเพิ่มตัวแปรควบคุมอื่น ๆ รวมถึงแบบจำลองต่างๆ ที่สามารถอธิบายผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก คุณปิยะ โกสินทรจิตต์ (ไร่ถิ่นเมืองทอง) วิสาหกิจชุมชนกลุ่มสับปะรดสุรศักดิ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทดลองและอำนวยความสะดวกในทุกด้าน ตลอดจนความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2564). **ข้อมูลภูมิอากาศ.** กลุ่มภูมิอากาศ. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2559). **แผนพัฒนาการเกษตรในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 – 2564).** กรุงเทพมหานคร : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (in Thai)

ปิยะ โกสินทรจิตต์. (2549). **การขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ สับปะรดศรีราชา** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.ipthailand.go.th/th/gi-011/item/08-สช-49100008-สับปะรดศรีราชา-2.html

ปุณยาพร ปรางบาง และ คณะ. (2562). การรับรู้และการปรับตัวของเกษตรกรต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย. **วารสารเกษตรพระวรุณ** 105, 16(1), 105 – 119 .

ณรงค์ พลีรักษ์. (2556). **การปรับตัวของการทำเกษตรกรรมจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก: จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด.** มหาวิทยาลัยบูรพา:ชลบุรี.

ฤทธิ์เดช สุตา, สายบัว เข็มเพ็ชร และ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. (2557). การรับรู้และการปรับตัวของเกษตรกรบนพื้นที่สูงต่อความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ. **วารสารแก่นเกษตร**, 42(2), 190-197.

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดชลบุรี และ สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2563). **แผนพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์ของจังหวัดชลบุรี (พ.ศ.2561 – 2565) ฉบับทบทวน ปีงบประมาณ พ.ศ. 2563.**

อภินันท์ พัชโรภาสวัฒนกุล. (2560). **ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. จาก heo2.tciTchaikovsky.org/index.php/veridian-E-Journal/article/view/11675

Battese, G. E., Rambaldi, A. N. and Wan, G. H. (1997). A Stochastic FrontierProduction Function with Flexible Risk Properties. **Journal of Productivity Analysis** 3(12): 269–280.

Cabas, J., Weersink, A., and Olale, E. (2010). Crop Yield Response to Economic,Site and Climatic Variables. **Climatic Change 101**: 559-616.

Gujarati, D. N. (2003). **Basic econometrics** (4 ed.). Singapore: McGraw-Hill

IPCC. (2007). **Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contributionof Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, M.L. Parry et al. Eds. Cambridge University Press. Cambridge UK: 111-120.

McCarl, B. A., Villavicencio, X., and Wu, X. (2008). Climate Change and Future Analysis: Is Stationarity Dying?. **American Journal of Agricultural Economics** 90(5):1,241-1,247.

United Nations Development Programme. (2023). **Thailand Climate Promise**. Retrieved March 1, 2023, from https://climatepromise.undp.org/what-we-do/where-we-work/thailand

Zhai, F., and J. Zhuang. (2009). Agricultural Impact of Climate Change: A General Equilibrium Analysis with Special Reference to Southeast Asia. Asian Development Bank Institute, Tokyo. **ADBI Working Paper No. 131** (12): 111-114.

มาตรการส่งเสริมความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมของอาเซียน: ศึกษากรณีปัญหาด้านมลพิษทางเสียงข้ามแดน

Legal measures to promote the ASEAN environmental cooperation: Case study of the transboundary noise pollution problem

ทฤษฎีกานต์ ภู่เจริญ[1] และ ชูเกียรติ น้อยฉิม
Tidsadeekan Phucharoen[1*] and Chukeat NOichim[1]

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อที่จะศึกษาหามาตรการระหว่างประเทศในการส่งเสริมความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียน เนื่องมาจากในปัจจุบันพบว่าอาเซียนออกมาตรการส่งเสริมให้มีการจัดตั้งเขตเศรษฐกิจพิเศษหรือเขตการค้าในบริเวณพื้นที่ชายแดนของประเทศสมาชิกในชื่อว่า “ASEAN Guidelines for Special Economic Zones (SEZs) Development and Collaboration 2016” ทั้งนี้พื้นที่ชายแดนดังกล่าวในปัจจุบันได้ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนขึ้น ซึ่งผลจากการศึกษา พบว่า อาเซียนก็ยังไม่มีมาตรการในการแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนขึ้นมาปรับใช้แต่อย่างใด

ดังนั้น จึงเห็นควรที่จะทำการศึกษาแนวคิดทฤษฎีและมาตรการทางระหว่างประเทศ เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนของอาเซียน โดยอยู่บนพื้นฐานของ (ก) หลักการป้องกันไว้ก่อน และ (ข) หลักการความรับผิดชอบของผู้ก่อมลพิษ ทั้งนี้ อาเซียนควรมีการจัดทำ “**กรอบความตกลงของอาเซียนว่าด้วยการส่งเสริมความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมในการแก้ไขปัญหาด้านมลพิษทางเสียงข้ามแดน**” ที่กำหนดให้ประเทศสมาชิกต้องดำเนินการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลในอนาคต**คำสำคัญ**: สิ่งแวดล้อม, มลพิษทางเสียง, มลพิษข้ามแดน, ภูมิภาคอาเซียน

Abstract

The purpose of this article is to study about the Legal measures to promote the ASEAN environmental cooperation to solve and prevent the problem of transboundary noise pollution in the ASEAN region because of the reason that the sound is louder than the specified threshold, emitted continuously for a long time and very high frequency) can be considered as noise pollution that humans do not want to listen because it affects human health both physically and mentally. Additionally, ASEAN has currently issued legal measures to supporting the establishment of special economic or the economic border zones of ASEAN member countries, namely “ASEAN Guidelines for Special Economic Zones (SEZs) Development and Collaboration 2016”. Currently this border area

[1] นักศึกษาปริญญาโท สำนักวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย 57100
[1] อาจารย์ประจำ สำนักวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย 57100
[1] Master's degree student School of Law Mae Fah Luang University, Chiang Rai,57100
[2] Full-time Lecturer School of Law Mae Fah Luang University, Chiang Rai, 57100
* Corresponding author: 6451601261@lamduan.mfu.ac.th

has a problem of noise pollution in ASEAN region. From the results of this research, it was found that ASEAN in the present does not have any guidelines or legal measures for solving the transboundary noise pollution.

Therefore, the researcher deems to appropriate study about the international theories and measures to be used as a guideline for solving the problem of transboundary noise pollution in ASEAN. It is based on (a) the precautionary principle and (b) the principle of responsibility for polluters that ASEAN should establish "ASEAN Framework Agreement on Promoting Environmental Cooperation in Solving Transboundary Noise Pollution Problems" requires member countries to effectively prevent and solve transboundary noise pollution problems in the ASEAN region in the future.

Keywords: Environment, Noise pollution, Transboundary pollution, ASEAN region

1.บทนำ

สิ่งแวดล้อม หมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่เป็นทั้งทางด้านกายภาพ ชีวภาพ เคมีภาพ และสิ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า หรืออาจเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ หรือสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น อีกทั้งยังเป็นสิ่งที่มีชีวิต หรือไม่มีชีวิตก็ได้[2] สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการเกิดขึ้นของสิ่งแวดล้อมได้เป็น 2 ประเภท คือ สิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น[3] ทั้งนี้ จากการเพิ่มจำนวนขึ้นของประชากร การขยายตัวของเมืองอย่างไม่เป็นระบบ และการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยีที่ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่ผิดแปลกไปจากเดิม ทำให้เกิดการเปลี่ยนทางด้านกายภาพ ชีวภาพ ความสมบูรณ์ของธรรมชาติและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการกระทำของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม และเป็นสาเหตุของการเกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งคำว่า"มลพิษ" หมายถึง ของเสีย วัตถุอันตรายและสารอื่น ๆ รวมทั้งกากตะกอนหรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้นที่ปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษหรือที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม ซึ่งก่อให้เกิดหรืออาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม หรือภาวะที่เป็นภัยอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนได้ และให้หมายความรวมถึง รังสี ความร้อน แสง คลื่น ความสั่นสะเทือนหรือเหตุรำคาญอื่น ๆ ที่เกิดหรือถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดมลพิษด้วย สำหรับ คำว่า"มลพิษสิ่งแวดล้อม" หมายถึง สภาวะสิ่งแวดล้อม ซึ่งถูกปนเปื้อนด้วยสารมลพิษหรือพลังงานแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี หรือ ชีวภาพ อันส่งผลทำให้สุขภาพร่างกาย จิตใจ และสังคมเสื่อมลง ไม่ว่าจะเกิดผลกระทบโดยทางตรงหรือทางอ้อม[4] ซึ่งปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมนี้จะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบดังต่อไปนี้ (1) ด้านคุณภาพทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่เสื่อมโทรม เนื่องจากมีสิ่งปนเปื้อน ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ตามศักยภาพ (2) ด้านคุณภาพชีวิตของประชากรลดลงจากสภาพแวดล้อมที่เสื่อมโทรม เช่น น้ำเสีย อากาศเสีย มีผลทั้งสุขภาพกาย และจิตของมนุษย์ (3) ด้านระบบนิเวศธรรมชาติเสียสมดุล ระบบนิเวศธรรมชาติเป็นระบบที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างลึกซึ้ง องค์ประกอบใดถูกรบกวนย่อมมีผลต่อองค์ประกอบอื่นด้วย (4) ด้านการสูญเสียทางเศรษฐกิจ เมื่อสิ่งแวดล้อมถูกทำลายต้นทุนการผลิตย่อมสูงขึ้น (5) ด้านปัญหาสังคม สภาพแวดล้อมที่

[2] เกษม จันทร์แก้ว. (2544). วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3] ชมพูนุท สงกลาง. (2556). ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี. หน้า 4.

[4] ปิยะดา วชิระวงศกร (2555). ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. หน้า 150.

เสื่อมโทรมเป็นสาเหตุของปัญหาความยากจน[5] สำหรับประเภทของมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ จากการศึกษาพบว่ามีอยู่หลายประเภทได้แก่ มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง และมลพิษที่เกิดจากขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล ฯลฯ แต่ประเภทของมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่ได้กล่าวมานี้บางประเภทอาจเป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อมข้ามแดนด้วยก็ได้

ซึ่งวิจัยฉบับนี้จะทำการศึกษาเฉพาะ “ปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน” โดยมลพิษทางเสียงถือว่าเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างหนึ่ง แต่มีความแตกต่างจากมลพิษประเภทอื่น เนื่องจากมลพิษทางเสียงเป็นปัญหามลพิษที่นอกจากมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยทางกายภาพโดยตรงแล้ว ยังมีผลกระทบต่อจิตใจของมนุษย์ด้วย เนื่องจากมนุษย์สามารถได้ยินเสียงต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวโดยอาศัยหูเป็นอวัยวะในการรับฟังเสียงซึ่งเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง และพลังงานจากการสั่นนั้นเคลื่อนที่ผ่านอากาศมาถึงหู โดยที่หูนั้นจะทำหน้าที่เปรียบเสมือนตัวเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียงเข้ามาแล้วส่งต่อไปยังสมอง เพื่อพิจารณาเสียงที่ได้ยินว่าเป็นเสียงอะไร มีความดังมากหรือน้อยอย่างไร ดังนั้น การได้ยินเสียงจึงเป็นการรับรู้สภาพแวดล้อมที่สำคัญของมนุษย์ ซึ่งเสียงที่ดังตามธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ แต่สำหรับเสียงที่ดังและก่อให้เกิดอันตรายเกินกว่าที่มนุษย์จะสามารถรับได้นั้นจะเป็นเสียงที่เกิดกว่ามาตราฐานที่องค์การอนามัยโลกกำหนด โดยมาตรฐานระดับเสียงที่ไม่ทำลายการได้ยินหรือเสียงในสิ่งแวดล้อมทั่วไปนั้น กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยได้กำหนดค่าระดับเสียงในสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 70 เดซิเบลเอ[6] โดยหากได้รับฟังอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานอาจทำให้ให้สูญเสียการได้ยินก่อนวัยอันควรได้ แต่สำหรับเสียงในสถานประกอบการ เสียงที่บุคคลจำเป็นต้องรับฟัง หรือได้รับเสียงจากที่พักอาศัยอยู่ใกล้และไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้จากแหล่งกำเนิดเสียง พบว่า องค์การอนามัยโลกกำหนดว่าระดับเสียงต้องไม่เกิน 85 เดซิเบล[7] นอกจากเสียงดังที่เกินค่ามาตรฐานแล้วพบว่ายังมีปัจจัยที่มีผลต่อความรุนแรงของมลพิษทางเสียงอีก ซึ่งก็คือ (1) การที่บุคคลต่าง ๆ ได้ยินเสียงเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน และ (2) การที่ได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงมากเกินไปนั้น ก็จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้น โดยสรุปแล้ว (ก) เสียงที่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ข) เสียงที่ถูกปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่องยาวนาน และ (ค) เสียงที่มีความถี่สูงมาก ถือได้ว่าเป็นมลพิษทางเสียงที่มนุษย์ไม่ต้องการที่จะรับฟัง เพราะจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งเสียงดังที่กระทบกับประสาทหูอยู่เสมอเหล่านี้ทำให้ประสาทหูทำงานหนักตลอดเวลา ทำให้ประสาทส่วนอื่นก็ได้รับผลกระทบตามไปด้วย เช่น เกิดความเครียด จิตใจขาดสมาธิ รับกวนการพักผ่อน ดังนั้น หากมนุษย์ได้อยู่อาศัยในพื้นที่ใดที่มีเสียงรบกวนชีวิตประจำวันเป็นอย่างมากจนทำให้

---

[5] วิทยาลัยการชีพบางสะพาน. ปัญหามลพิษ. ศูนย์หนังสือ เมืองไทย สืบค้นจาก http://www.bspc.ac.th/files/21061621214412 65_22080915150857.pdf.

[6] เดซิเบลเอ หมายถึง สเกลของเครื่องวัดเสียงที่สร้างเลียนแบบลักษณะการทำงานของหูมนุษย์ โดยจะกรองเอาความถี่ต่ำ และความถี่สูงของเสียงที่เกินกว่ามนุษย์จะได้ยินออกไป

[7] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (10 มกราคา 2558).อันตรายที่เกิดจากเสียง. สืบค้นจาก http://datacenter.deqp.go.th/knowledge/%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%AA-%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%97-%E0%B8%AD%E0%B8%99/%E0%B8%AD-%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%97-%E0%B9%80%E0%B8%81-%E0%B8%94%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B9%80%E0%B8%AA-%E0%B8%A2%E0%B8%87/.

เป็นอันตรายต่อสุขภาพ นอกจากนี้ ปัญหามลพิษทางเสียงไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น หากแต่ยังส่งผลกระทบต่อสัตว์และระบบนิเวศอื่น ๆ ในบริเวณพื้นที่ได้รับมลพิษทางเสียงนั้นด้วย

ทั้งนี้ สำหรับปัญหามลพิษทางเสียงข้ามพรมแดนระหว่างประเทศตั้งแต่สองรัฐขึ้นไป ที่เกิดขึ้นในบริบทที่มีประชาชนของรัฐใดรัฐหนึ่งได้รับผลกระทบและโดยประชาชนหรือหน่วยงานของอีกรัฐหนึ่งเป็นผู้ก่อให้เกิดความเสียหาย ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัญหาระหว่างประเทศ ที่ซึ่งกฎหมายภายในของรัฐใดรัฐหนึ่งไม่สามารถนำมาบังคับใช้กับอีกรัฐได้ อันเนื่องมาจากหลักอำนาจอธิปไตยตามที่กฎหมายระหว่างประเทศกำหนดไว้ ดังนั้น การแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนจึงมีความซับซ้อนที่ต้องใช้แนวทางและมาตราการพิเศษในทางระหว่างประเทศมาแก้ไขปัญหานี้ นอกจากนี้ จากการศึกษาพบว่า ในปัจจุบันยังไม่มีนโยบายหรือมาตรการในการแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนระหว่างประเทศที่เป็นรูปธรรม แม้แต่ในภูมิภาคอาเซียนเองก็ยังไม่ได้มีการออกกรอบความตกลงระหว่างประเทศที่จะนำมาปรับใช้เพื่อแก้ปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนนี้แต่อย่างใด ยิ่งไปกว่านั้นจากการศึกษาพบว่า ปัจจุบันอาเซียนได้มีการออก ASEAN Guidelines for Special Economic Zones (SEZs) Development and Collaboration 2016 ซึ่งเป็นเอกสารแนวทางที่ให้การส่งเสริมความร่วมมือของอาเซียนในการจัดตั้งเขตเศรษฐกิจพิเศษร่วม *(โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ชายแดน)* แม้ว่า ASEAN Guidelines นี้จะไม่มีสภาพบังคับในทางกฎหมายระหว่างประเทศ แต่ก็มีผลผูกพันรัฐสมาชิกในเชิงนโยบายให้ปฏิบัติตาม โดยปัจจุบันมีเขตเศรษฐกิจพิเศษที่ถูกจัดตั้งขึ้นและหรือมีแผนที่จะจัดตั้งขึ้นในบริเวณรอบประเทศไทยและดินแดนอาณาเขตของประเทศเพื่อนบ้านที่อยู่ติดกับประเทศไทย เช่น ของ สปป. ลาว *(ประกอบด้วย เขตสะหวัน–เซโนที่สะหวันนะเขต, เขตเศรษฐกิจจำเพาะท่าแขก, เขตสามเหลี่ยมทองคำที่บ่อแก้ว และเขตภูเขียวในแขวง คำม่วน)*, ประเทศเมียนมา *(ประกอบด้วย เขตเศรษฐกิจพิเศษเมียวดี และเขตการค้าท่าขี้เหล็ก)*, ประเทศกัมพูชา *(ประกอบด้วย เขตเศษฐกิจพิเศษปอยเปต–โอเนียง , ซันโค–ปอยเปต และเกาะกง)*, ประเทศมาเลเซีย *(ประกอบด้วย เขตเศรษฐกิจพิเศษอิสกันดาร์)* และประเทศไทย *(ประกอบด้วย เขตเศรษฐกิจพิเศษแม่สอด เขตเศรษฐกิจพิเศษสระแก้ว และเขตการค้าแม่สาย)*[8] ซึ่งการจัดตั้งเขตเศรษฐกิจพิเศษร่วมหรือเขตการค้านี้ถือได้ว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่าง ๆ ข้ามแดนขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน ตัวอย่างเช่น ปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษสามเหลี่ยมทองคำของ สปป.ลาว กับ อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย ประเทศไทย ที่เกิดเสียงดังรบกวนประชาชนริมฝั่งแม่น้ำโขงและยังไม่มีมาตรการแก้ไขและป้องกันปัญหาดังกล่าวของทั้งสองประเทศแต่อย่างใด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาขึ้นกับเขตพรมแดนอื่น ๆ อีกในอนาคต ดังนั้น ในกรณีนี้เห็นควรที่จะทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางและมาตรการระหว่างประเทศในการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลมาปรับใช้ในอนาคต

2.วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้ใช้วิธีการศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพ โดยทำการค้นคว้าจากเอกสาร หนังสือ บทบัญญัติทางกฎหมาย บทความวิชาการ งานวิจัย วิทยานิพนธ์ ข่าวสารข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับมลพิษทางเสียงเพื่อนำมาปรับใช้กับการแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียน

[8] นายชาญวิทย์ อมตะมาทุชาติ (10 สิงหาคม 2558). เขตเศรษฐกิจพิเศษไทย : โอกาสการค้า การลงทุน และการท่องเที่ยว. คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาต,กรุงเทพฯ.

3.ผลการศึกษา

จากการศึกษาวิจัยเพื่อหาแนวทางและมาตรการในการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนนั้น ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1. แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

ปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนมีลักษณะเป็นมลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อมรูปแบบหนึ่ง แต่มลพิษทางเสียงจะมีความแตกต่างจากมลพิษทางสิ่งแวดล้อมประเภทอื่น ๆ กล่าวคือ เสียงเป็นสิ่งที่สามารถให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางอารมณ์ และส่งผลโดยตรงต่อร่างกาย[9] ดังนั้น การหาแนวทางและมาตรการในการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเข้าใจถึงลักษณะและผลกระทบของมลพิษ และควรที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในแนวคิดและทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อสามารถเลือกเครื่องมือทางกฎหมายในการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.1.1 แนวความคิดที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

ก. แนวคิดเรื่องการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development)

ในปี ค.ศ.1987 คณะกรรมาธิการโลกว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา (World Commission on Environment and Development) ขององค์การสหประชาชาติ ได้จัดทำรายงานชื่อ “อนาคตร่วมของเรา” หรือที่เรียกกันว่า รายงานบรันดท์แลนด์ เพื่ออธิบายเรื่องการพัฒนาที่ยั่งยืนว่า *“มนุษย์มีความสามารถที่จะพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยทำให้มั่นใจว่าการพัฒนาสามารถตอบสนองความต้องการของคนรุ่นปัจจุบันโดยไม่ลิดรอนความสามารถในการตอบสนองความต้องการของคนรุ่นหลัง”* เป้าหมายของแนวคิดนี้อยู่ที่การพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากรโลก โดยต้องรักษาสมดุลระหว่างระบบนิเวศ เศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากรโดยสามารถอธิบายลักษณะของแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน ดังนี้ (1) เชื่อมโยงระหว่างเป้าหมายเรื่องการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมกับการปกป้องสิ่งแวดล้อม (2) มีหลักเกณฑ์เรื่องการปกป้องสิ่งแวดล้อมเป็นหนึ่งในหลักเกณฑ์ที่ใช้วัดระดับความพัฒนาในทุกเรื่อง (3) สิ่งแวดล้อมต้องสามารถฟื้นฟูหรือเกิดขึ้นมาใหม่ได้ในระยะยาว (4) ต้องมีความสมดุลกันระหว่างคุณค่าทางสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม และ (5) เชื่อมโยงระหว่างปัญหาระดับท้องถิ่นสู่ปัญหาระดับโลก[10] กล่าวโดยสรุปได้ว่าแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นกระบวนการสำคัญที่เกี่ยวโยงกับสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ในพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากรโลก โดยต้องรักษาสมดุลระหว่าง เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาพบว่าแนวคิดพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นกระบวนการสำคัญในด้านเศรษฐกิจและสังคมในการที่เกี่ยวโยงกับมลพิษทางเสียง เนื่องจากปัจจุบันเสียงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และในอีกมุมหนึ่งเสียงก็สร้างปัญหามลพิษทางเสียง ซึ่งเป็นผลมาจากการประกอบกิจการต่าง ๆ เช่น สถานบันเทิง และอุตสาหกรรม ซึ่งเสียงที่เกิดขึ้นเกินกว่ามาตราฐานหรือได้รับเสียงรบกวนเป็นเวลานานส่งผลกระทบต่อสังคมบริเวณโดยรอบในด้าน สุขภาพร่างกายและจิตใจ ดังนั้น มนุษย์ต้องประสานด้านเศรษฐกิจและสังคมให้สอดคล้องควบคู่ไปกับการคุ้มครองและรักษาสิ่งแวดล้อมทางสังคม โดยสร้างแนวทางแก่สังคมให้อยู่ร่วมกันได้ทุกฝ่ายเพื่อให้เกิดความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมที่ดีต่อไปในอนาคต

---

[9] คัดคณัฐ ชื่นวงศ์อรุณ และณภัทรดนัย (6 ธันวาคม 2563). มลภาวะทางเสียงหนึ่งในปัญหาของประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตเมือง.สืบค้นจาก https://ngthai.com/science/32155/noise-pollution/

[10] นันทพล กาญจนวัฒน์ (2542). แนวความคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในกฎหมายสิ่งแวดล้อมระหว่าง 43 ประเทศ:ศึกษากรณีตัวอย่างอนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ ค.ศ.1992. วิทยานิพนธ์ (ปริญญามหาบัณฑิต สาขานิติศาสตร์ คณะนิติศาสตร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ข. แนวคิดว่าด้วยหลักการเป็นเพื่อนบ้านที่ดี (Good Neighborliness principle)

หลักการนี้มีพัฒนาการมาอย่างยาวนานซึ่งอยู่บนรากฐานของหลักเกณฑ์ของโรมันที่ว่า *"sic utero tuo et alienum non laedas"* ซึ่งมีความหมายว่า ไม่ประพฤติตัวไปในทางที่จะทำอันตรายต่อเพื่อนบ้าน *(ซึ่งไม่ได้จำกัดอยู่แต่รัฐที่ใกล้กันเท่านั้นหากแต่หมายรวมถึงแต่รัฐใด ๆ ที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการกระทำของรัฐนั้นด้วย)* โดยหลักการนี้ได้รับการยอมรับและนำไปปฏิบัติจากรัฐต่าง ๆ ในบริบทของการคุ้มครองทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยเริ่มต้นจากปฏิญญากรุงสตอกโฮล์มว่าด้วยสิ่งแวดล้อมของมนุษย์ ค.ศ. 1972 ที่ให้การยอมรับสิทธิขั้นพื้นฐานของมนุษย์ที่จะได้อาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ดี และมีความรับผิดชอบต่อการป้องกันและคุ้มครองสิ่งแวดล้อมนั้นเพื่อประโยชน์สุขของคนรุ่นนี้และรุ่นต่อไป โดยรัฐต้องมีหน้าที่รับผิดชอบต่อกิจกรรมใด ๆ ภายใต้เขตอำนาจและการควบคุมของรัฐตนที่จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งแวดล้อมของรัฐอื่นหรือพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของเขตอำนาจของรัฐ[11] จากการศึกษาพบว่าแนวคิดว่าด้วยหลักการเป็นเพื่อนบ้านที่ดีนั้นเป็นแนวคิดที่สำคัญที่กำหนดให้รัฐควบคุมดูแลกิจกรรมภายในรัฐของตนนั้นไม่ส่งผลต่อรัฐใกล้เคียง

ค. แนวคิดการควบคุมทางผ่านของเสียง (Noise Control at Path)

โดยปกติเมื่อพลังงานเสียงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดเสียงและแพร่กระจายออกสู่สภาพแวดล้อม เสียงต้องมีการเดินทางก่อนไปถึงเป้าหมายเสมอและการเดินทางผ่านของเสียงสามารถก่อให้เกิดเสียงดังที่น่ารำคาญขึ้นได้[12] แหล่งกำเนิดเสียงทุกประเภทย่อมจำเป็นจะต้องอาศัยช่องทางเดินของเสียงเพื่อเป็นสื่อกลางในการเคลื่อนตัวของพลังงานสื่อกลางที่สำคัญที่สุดและถูกใช้เป็นทางเดินผ่านของเสียงไปยังตัวผู้รับเสียง ดังนั้น แนวความคิดที่เกี่ยวกับการควบคุมเสียงที่ทางผ่านของเสียงสามารถกระทำได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) การเพิ่มระยะทางระหว่างแหล่งของเสียงกับผู้รับเสียง และ (2) การใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเก็บดูดซับหรือกั้นเสียง เพื่อกั้นหรือดูดกลืนเสียงหรือเบี่ยงเบนทิศทางของเสียงกับตัวผู้รับเสียง โดยผู้วิจัยพบว่าแนวคิดในการควบคุมทางผ่านของเสียงเป็นแนวคิดในการป้องกันและสามารถแก้ไปปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนได้ โดยการกำหนดระยะทางของแหล่งกำเนิดเสียงให้อยู่ห่างจากแหล่งชุมชน เพื่อไม่ให้มลพิษทางเสียงที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลกระทบต่อประชาชน เพื่อความเป็นอยู่ที่ดีของประชาชน

ง. แนวคิดว่าด้วยการมีส่วนร่วมของประชาชน (Public Participation)

หลักการดังกล่าวนี้ปรากฏในปฏิญญาริโอว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา ค.ศ.1992 หรือปฏิญญาริโอ (Rio Declaration on Environment and Development) ซึ่งเกิดจากการรับรองของรัฐต่าง ๆ ซึ่ง เป็นสมาชิกของสหประชาชาติ ในการประชุมสุดยอดของโลกว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา (United Nations Conference on Environment and Development: UNCED) ถือเป็นหลักการที่มีความสำคัญในการอนุรักษ์และคุ้มครองสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศ โดยการกำหนดให้ทุกฝ่ายต้องดำเนินการร่วมกันทั้งในระดับระหว่างรัฐกับรัฐ และระหว่างรัฐกับประชาชน โดยเปิดโอกาสให้ประชาชนร่วมกับรัฐในการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม และจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งอาจส่งผลกระทบกับประชาชน[13] จากการศึกษาพบว่าแนวคิดว่าด้วยการมีส่วนร่วมของประชาชนมีความสำคัญต่อการพัฒนาและจัดการปัญหาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งปัจจุบันได้รับความสนใจมากกว่าอดีตที่ผ่าน

---

[11] กฤติกา เลิศสวัสดิ์ (2552), การป้องกันและควบคุมมลพิษทางเสียงจากอากาศยานภายใต้อนุสัญญาว่าด้วยการบินผลเรือนระหว่างประเทศ ค.ศ. 1944. วิทยานิพนธ์ (ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์) มหาวิทยาลัยธรรมสาสตร์.

[12] นายพีรพล เจตโรจนานนท์ (2553). การควบคุมมลพิษทางเสียงจากการจราจรทางบก. วิทยานิพนธ์ (ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์) มหาวิทยาลัยธรรมสาสตร์.

[13] เอื้อการย์ ภู่ขจร (2563). มาตราการทางกฎหมายในการลดเสียงใต้น้ำที่เกิดจากเรือขนส่งสินค้า. การค้นคว้าอิสระ (ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์) มหาวิทยาลัยธรรมสาสตร์.

มา ซึ่งทรัพยากรธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งที่หมู่มวลมนุษย์ร่วมกันเป็นเจ้าของ โดยเปิดโอกาสให้ประชาชนในพื้นที่เข้ามามีส่วนรวมในการวางแผนการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงดังกล่าว ทั้งนี้การจัดการในด้านปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนเช่นกันที่ต้องต้องได้รับความร่วมมือจากทุกฝ่ายในการปฏิบัติตามกฎเกณฑ์ต่างๆที่จะช่วยป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนได้อย่างยั่งยืน

3.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

ทฤษฎีทางกฎหมายในการป้องกันและควบคุมมลพิษนั้นส่วนใหญ่จะเป็นหลักการที่พัฒนามาจากการแก้ไขปัญหาความเสื่อมโทรมและความต้องการที่จะคุ้มครองทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในแนวการพัฒนาที่ยั่งยืน ทฤษฎีทางกฎหมาย หรือหลักการพื้นฐานของกฎหมายสิ่งแวดล้อมในยุคแรก ที่มีการนำมาใช้ในกฎหมายระหว่างประเทศหรือกฎหมายภายในของประเทศต่าง ๆ เพื่อปกป้องคุ้มครองสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วย 3 ทฤษฎีที่สำคัญ[14] ดังต่อไปนี้

ก. ทฤษฎีการป้องกันไว้ก่อน (Prevention Principle)

เริ่มต้นมาจากประเทศเยอรมันตะวันตกในหลักที่เรียกว่า การคาดการณ์ล่วงหน้า (Vorsorgeprinzip) ใจความเริ่มแรก *“เชื่อว่าสังคมควรมองหาบางสิ่งเพื่อที่จะได้หลีกเลี่ยงความเสียหายที่เกิดกับสิ่งแวดล้อม โดยการวางแผนล่วงหน้าด้วยความระมัดระวัง การสกัดการไหลเวียนของกิจกรรมที่เป็นอันตราย”* การนำทฤษฎีนี้มาใช้เนื่องจากนักอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมชาวเยอรมันตะวันตกมีความพยายามที่จะหาหนทางยับยั้งป่าไม้ของประเทศที่กำลังเสื่อมโทรมลง เพื่อให้รัฐบาลจัดการกับปัญหานี้ให้ได้ จึงเกิดนโยบายที่เน้นการดำเนินการทางด้านเศรษฐกิจและสังคมสวัสดิการสำหรับประชาชน และตระหนักมากขึ้นในความสัมพันธ์ระหว่างรัฐบาลกับภาคผู้ประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนาด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม รัฐบาลของประเทศเยอรมันตะวันตกจึงเริ่มมีการปรึกษาหารือเพื่อกำหนดนโยบายสิ่งแวดล้อมโดยอิงหลักการที่สำคัญ 4 ข้อ ประกอบด้วย (1) ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (2)ภาระที่จะต้องพิสูจน์ความเสียหายในที่ซึ่งไม่สามารถระบุความเสียหายได้อย่างกรณีปกติธรรมดา (3) สร้างความร่วมมือระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ และ (4) สร้างความร่วมมือระหว่างประเทศสำหรับปัญหาสิ่งแวดล้อมข้ามพรมแดน

หลักการสำคัญของการนำทฤษฎีนี้มาใช้ในการป้องกันและคุ้มครองทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยห้ามมิให้บุคคลกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรืองดเว้นการกระทำอันส่งผลกระทบและสร้างความเสียหายแก่ผู้อื่นหรือระบบนิเวศ หากเกิดความเสียหายขึ้นผู้ที่ก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นต้องมีแนวทางที่จะเยียวยาหรือทดแทนความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้น และทฤษฎีนี้ได้รับความนิยมในการบัญญัติกฎหมายส่งเสริมและรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทั่วโลก เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงานที่สอดคล้องกับข้อเท็จจริง[15] ผู้วิจัยเห็นว่าทฤษฎีนี้สามารถนำมาเป็นแนวทางการจัดทำมาตรการส่งเสริมความร่วมมือด้านผลพิษทางเสียงข้ามแดนได้อย่างมีประสิทธิผล

ข. ทฤษฎีการเฝ้าระวัง (Precautionary Principle)

ทฤษฎีการเฝ้าระวังเป็นทฤษฎีทางกฎหมายที่พัฒนาขึ้นมาจากประเทศเยอรมันนี โดยนักทฤษฎีนี้เห็นว่าแนวความคิดพื้นฐานที่ว่าธรรมชาติสามารถเยียวยาตนเองได้ หากเพียงแต่มนุษย์ไม่หยุดการกระทำที่ทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ทฤษฎีนี้จึงมีบทบาทที่สำคัญในการมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน โดยรัฐมี

[14] Nicolas de Sadeleer (2002). Environmental Principles: from Political Slogans to Legal Rules. New York: Oxford University

[15] กฤติกา เลิศสวัสดิ์ (2552), การป้องกันและควบคุมมลพิษทางเสียงจากอากาศยานภายใต้อนุสัญญาว่าด้วยการบินผลเรือนระหว่างประเทศ ค.ศ. 1944. วิทยานิพนธ์ (ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

บทบาทเป็นผู้นำในการตรวจสอบการดำเนินการต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ รัฐได้มีการเริ่มปฏิบัติอย่างจริงจังหลังจากทฤษฎีดังกล่าวปรากฏในปฏิญญาริโอว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา ค.ศ.1992 โดยทฤษฎีนี้ได้รับความนิยมทดแทนทฤษฎีความรับผิดชอบของผู้ก่อมลพิษและทฤษฎีป้องกันไว้ก่อน แต่ไม่ได้เป็นการเข้ามาแทนที่โดยการยกเลิกทั้งสองทฤษฎีดังกล่าวที่ได้ค้นพบและนำมาใช้ก่อนหน้านี้แต่เป็นการส่งเสริมให้นำมาใช้ร่วมกันเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในระบบนิเวศ

ค. ทฤษฎีความรับผิดชอบของผู้ก่อมลพิษ (Polluter Pays Principle)

ทฤษฎีนี้เป็นทฤษฎีทางกฎหมายที่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมและเยียวยาความเสียหายที่เป็นผลมาจากมลพิษในสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดที่ว่า *“หากผู้ก่อมลพิษมีสิทธิในการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมก็เป็นสิทธิของผู้ที่อาจได้รับผลกระทบจากการที่ผู้ก่อมลพิษได้กระทำลงนั้นที่จะขอให้ปล่อยมลพิษน้อยลงหรือลดกิจกรรมนั้นลง และผู้ก่อมลพิษต้องจ่ายค่าสินไหมแก่ผู้ได้รับผลกระทบที่เกิดจากสิทธิที่ยอมให้ปล่อยมลพิษนั้นด้วย”* ทฤษฎีความรับผิดชอบของผู้ก่อมลพิษนี้เป็นหลักการที่นำเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มาใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยให้ผู้ก่อมลพิษหรือผู้ก่อความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญของความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมและผลกระทบทางด้านร่างกายและจิตใจของประชาชนที่ได้รับความเสียหายต่อมลพิษทางเสียง โดยเห็นควรที่จะนำทฤษฎีความรับผิดชอบของผู้ก่อมลพิษนำมาใช้เป็นแนวทางการจัดทำมาตรการในส่วนของการเยียวยาความเสียหายที่เกิดขึ้น และเพื่อเป็นการทำให้ผู้ที่จะก่อมลพิษทางเสียงข้ามแดนนั้นมีความตระหนักมากขึ้น

3.2 นโยบายและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

ในปัจจุบัน ปัจเจกชนได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญต่อการพัฒนาหลักเกณฑ์ในทางระหว่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขอบเขตของกฎหมายระหว่างประเทศแผนกคดีบุคคล ซึ่งมีพื้นฐานที่สำคัญมาจากการรับรองชีวิตของปัจเจกชนในทางระหว่างประเทศและกฎหมายพาณิชย์ระหว่างประเทศ เนื่องจากในปัจจุบันโลกได้เริ่มเข้าสู่ยุคแห่งความไร้พรมแดน อันเป็นผลมาจากความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี การสื่อสาร และการคมนาคมขนส่ง ซึ่งนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการขยายตัวของนิติสัมพันธ์ ทั้งในระดับรัฐกับรัฐ รัฐกับปัจเจกชนหรือแม้แต่ในระหว่างปัจเจกชนด้วยกันเอง อันมีลักษณะเป็น “นิติสัมพันธ์ข้ามชาติ” ซึ่งจากสภาพการณ์ดังกล่าวนับเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การพัฒนากฎเกณฑ์ในทางกฎหมายระหว่างประเทศเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ เพื่อให้กฎหมายระหว่างประเทศสามารถเป็นเครื่องมือในการควบคุมและตอบสนองกับพัฒนาการทางสังคมระหว่างประเทศที่เปลี่ยนแปลงไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2.1 นโยบายและหลักเกณฑ์ระดับสากลเกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

ก. นโยบายเกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในระดับสากล

สหประชาชาติ (United Nations : UN) ได้ถูกก่อตั้งขึ้นเพื่อธำรงไว้ซึ่งสันติภาพและความมั่นคงระหว่างประเทศเพื่อพัฒนาความสัมพันธ์ฉันมิตรระหว่างประชาชาติทั้งหลาย โดยเคารพหลักการแห่งสิทธิเท่าเทียมกันและการกำหนดเจตจำนงของตนเองเพื่อให้บรรลุถึงความร่วมมือระหว่างประเทศในอันที่จะแก้ปัญหาระหว่างประเทศทางเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรมหรือมนุษยธรรม และการส่งเสริมสนับสนุนการเคารพสิทธิมนุษยชนและอิสรภาพสำหรับทุกคน โดยไม่เลือกปฏิบัติในเรื่องเชื้อชาติ เพศ ภาษาหรือศาสนา เพื่อเป็นศูนย์กลางสำหรับประสานการ

ดำเนินงานของประชาชาติทั้งหลายให้กลมกลืนกัน[16] โดยปัจจุบัน สหประชาชาติได้กำหนดให้มีเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เพื่อใช้เป็นแนวทางให้แต่ละประเทศดำเนินการร่วมกัน

ซึ่งเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) คือ เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน จากองค์การสหประชาชาติ มีวัตถุประสงค์เพื่อยุติความยากจน ปกป้องพิทักษ์โลก ทำให้ทุกคนมีความสงบสุขและความมั่งคั่งอย่างยั่งยืน โดยการพัฒนาที่สมดุลกันใน 3 เสาหลักของมิติความยั่งยืนในด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม เป้าหมายที่องค์การสหประชาชาติกำหนดให้มีเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) 17 เป้าหมาย[17] และประกอบไปด้วย 169 เป้าหมายย่อย (SDG Targets) ที่มีความเป็นสากล เชื่อมโยงและเกื้อหนุนกัน และกำหนดให้มี 247 ตัวชี้วัด เพื่อใช้ติดตามและประเมินความก้าวหน้าของการพัฒนา ทั้งนี้ สามารถจัดกลุ่ม SDGs ตามปัจจัยที่เชื่อมโยงกันใน 5 มิติ (5P) ได้แก่ (1) การพัฒนาคน (People) ให้ความสำคัญกับการขจัดปัญหาความยากจนและความหิวโหย และลดความเหลื่อมล้ำในสังคม (2) สิ่งแวดล้อม (Planet) ให้ความสำคัญกับการปกป้องและรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสภาพภูมิอากาศเพื่อพลเมืองโลกรุ่นต่อไป (3) เศรษฐกิจและความมั่งคั่ง (Prosperity) ส่งเสริมให้ประชาชนมีความเป็นอยู่ที่ดีและสอดคล้องกับธรรมชาติ (4) สันติภาพและความยุติธรรม (Peace) ยึดหลักการอยู่ร่วมกันอย่างสันติ มีสังคมที่สงบสุข และไม่แบ่งแยก (5) ความเป็นหุ้นส่วนการพัฒนา (Partnership) ความร่วมมือของทุกภาคส่วนในการขับเคลื่อนวาระการพัฒนาที่ยั่งยืน[18]

สำหรับประเด็นที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนนั้นสามารถที่จะนำเอาเป้าหมายที่ (3) สร้างหลักประกันการมีสุขภาวะที่ดี และส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีสำหรับทุกคนในทุกช่วงวัย ในเป้าหมายย่อย 3.d เสริมขีดความสามารถของทุกประเทศในด้านการแจ้งเตือนล่วงหน้า การลดความเสี่ยง และการบริหารจัดการความเสี่ยงด้านสุขภาพทั้งในระดับประเทศและระดับโลก (11) ทำให้เมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ มีความครอบคลุม ปลอดภัย ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง และยั่งยืน (13) ฏิบัติการอย่างเร่งด่วนเพื่อต่อสู้กับการ

---

[16] กรมองค์การระหว่างประเทศ กระทรวงการต่างประเทศ. ประวัติองค์การสหประชาชาติ. สืบค้นจาก https://thai-inter-org.mfa.go.th/th/page/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B9%8C%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B8%AB%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B4?menu=5d6bb81015e39c3c8c005d48

[17] เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติเพื่อโลกอนาคต ได้แก่ (1) การขจัด ความยากจนทุกรูปแบบ (2) การขจัดความหิวโหย การบรรลุถึงความมั่นคงทางอาหารและเกษตรกรรมที่ยั่งยืน (3) การมีสุขภาพ และความเป็นอยู่ที่ดี (4) การได้รับการศึกษาที่มีคุณภาพเท่าเทียม ทั่วถึงและมีการเรียนรู้ตลอดชีวิต (5) การบรรลุความเท่าเทียมกับ ระหว่างเพศ การเพิ่มพลังสตรีและเด็กหญิง (6) การเข้าถึงการใช้น้ำสะอาดและสุขาภิบาลที่ดี (7) การเข้าถึงพลังงานที่มั่นคงและ สะอาด (8) การมีงานที่มีคุณค่าเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (9) การส่งเสริมอุตสาหกรรม นวัตกรรมและโครงสร้าง พื้นฐานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (10) การลดความเหลื่อมล้ำทั้งภายในและระหว่างประเทศ (11) การตั้งถิ่นฐานและชุมชน อย่างยั่งยืน (12) การส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (13) การเตรียมพร้อมรับการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศ (14) การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน (15) การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรบนบกและ รักษาระบบนิเวศ (16) การสร้างสังคมสันติสุข ยุติธรรมและมีสถาบันทางสังคมที่มีความเข้มแข็ง (17) การส่งเสริมการมีส่วนร่วม ในทุกระดับในการบรรลุถึงเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืนของโลก: โปรดดู, สยาม อรุณศรีมรกต และยงยุทธ วัชรดุลย์. เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน 17 ประการ. มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นจาก https://repository.li.mahidol.ac.th/server/api/core/bitstreams/15d4831d-a00c-499e-9b52-87944f601b69/content

[18] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. เกี่ยวกับSDGs. สืบค้นจาก https://sdgs.nesdc.go.th/%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%A7%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A-sdgs/

เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่เกิดขึ้น (15) ปกป้อง ฟื้นฟู และสนับสนุนการใช้ระบบนิเวศบนบกอย่างยั่งยืน จัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน ต่อสู้การกลายสภาพเป็นทะเลทราย หยุดการเสื่อมโทรมของที่ดินและฟื้นสภาพกลับมาใหม่ และหยุดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพและในส่วนของ(16) ส่งเสริมสังคมที่สงบสุขและครอบคลุม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ให้ทุกคนเข้าถึงความยุติธรรม และสร้างสถาบันที่มีประสิทธิผล รับผิดชอบ และครอบคลุมในทุกระดับ (17) เสริมความเข้มแข็งให้แก่กลไกการดำเนินงานและฟื้นฟูสภาพหุ้นส่วนความร่วมมือระดับโลกสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืน เป็นการส่งเสริมให้สังคมสงบสุขและเสริมสร้างความร่วมมือในทุกระดับ โดยกล่าวได้ว่าเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนเป็นการส่งเสริมให้ประชาชนมีความเป็นอยู่ที่ดีในสิ่งแวดล้อมและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ที่กระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนและสุขภาพร่างกาย ดังนั้น อาเซียนสามารถส่งเสริมความร่วมมือในการแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน โดยนำเอาหลักการดังกล่าวเข้ามาปรับใช้ในกรอบความร่วมมือในภูมิภาคอาเซียนที่เกี่ยวกับมลพิษทางเสียงข้ามแดนเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ข. หลักเกณฑ์เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในระดับสากล

1. กฎเกณฑ์ระดับสากลที่มีสภาพบังคับในทางกฎหมาย (Hard Law)

1.1 อนุสัญญาว่าด้วยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในบริบทข้ามพรมแดน ค.ศ.1991

จากการประชุมเกี่ยวกับอนุสัญญาว่าด้วยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในบริบทข้ามพรมแดน ค.ศ.1991 (Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context) หรือเรียกว่าอนุสัญญาเอสปู ที่เมืองเอสปู ประเทศฟินแลนด์ โดยอนุสัญญานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างกลไกในการเฝ้าระวังและควบคุมมลพิษข้ามพรมแดนและอนุสัญญานี้ได้กำหนดวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้ประเทศภาคีมีหน้าที่ต้องแจ้งให้ทราบ แจ้งให้ครบถ้วนและให้สิทธิในการมีส่วนร่วมแก่ประเทศภาคีในการวางแผนและการดำเนินการพัฒนาที่อาจมีผลกระทบข้ามพรมแดน ยิ่งไปกว่านั้น อนุสัญญาฉบับนี้ก่อให้เกิดกระบวนการระงับข้อพิพาทและการวิเคราะห์โครงการที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมข้ามพรมแดน อนุสัญญานี้ถือได้ว่าเป็นกฎหมายระหว่างประเทศที่เป็นกฎเกณฑ์ที่เกิดจากความตกลงหรือการแสดงเจตนาเข้าผูกพันของรัฐในการดำเนินการปฏิสัมพันธ์กับรัฐอื่นหรือกับองค์การระหว่างประเทศ ซึ่งถือเป็นบุคคลตามกฎหมายระหว่างประเทศ นอกจากนี้ นักกฎหมายระหว่างประเทศยังให้การยอมรับอนุสัญญาฉบับนี้มีฐานะเป็นกฎหมายจารีตประเพณีระหว่างประเทศที่ผูกพันกับรัฐอื่น ๆ แม้รัฐนั้นที่มิได้เป็นภาคีอนุสัญญาเอสปูก็ตาม[19] ซึ่งปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนนั้น สามารถที่จะนำเอาหลักการของอนุสัญญาฉบับนี้มาปรับใช้ได้ทั้งในระดับประเทศและระดับภูมิภาคอาเซียน

2. กฎเกณฑ์ระดับสากลที่ยังไม่มีสภาพบังคับทางกฎหมาย (Soft Law)

2.1 ปฏิญญาการประชุมสหประชาชาติเรื่องสิ่งแวดล้อมของมนุษย์ ค.ศ.1972

ในระดับกติกาสากลระหว่างประเทศนั้น พัฒนาการของการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมเริ่มต้นจากกฎหมายระหว่างประเทศประเภทที่เป็นตราสาร Soft Law หรือตราสารประเภทที่ไม่มีผลผูกพันรัฐใด ในการประชุมที่สต็อกโฮล์มนั้น มีตัวแทนจากรัฐสมาชิกขององค์กรสหประชาชาติทั้งหมด 113 ประเทศเข้าร่วม ผลสำเร็จของ

[19] สิทธิ หลีกภัย. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมข้ามพรมแดนตามอนุสัญญาว่าด้วยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในบริบทข้ามพรมแดน ค.ศ.1996. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ สืบค้นจาก http://libdcms.nida.ac.th/thesis6/2559/b197573.pdf

เวทีการเจรจาพูดคุยนานกว่าสิบวันได้ให้กำเนิดปฏิญญาการประชุมสหประชาชาติเรื่องสิ่งแวดล้อมของมนุษย์ ค.ศ.1972 (Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment) ที่กล่าวถึงหลักการอนุรักษ์และส่งเสริมสิ่งแวดล้อม และแผนปฏิบัติการ (action plan) ที่มีข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมในระดับระหว่างประเทศ[20] ซึ่งได้กล่าวถึงความสำคัญของสิ่งแวดล้อมและสิทธิของมนุษย์ในสิ่งแวดล้อมเป็นครั้งแรก มีแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม และเป็นปฏิญญาตั้งต้นที่นำมาซึ่งพัฒนาการในการคุ้มครองหรือจัดการสิ่งแวดล้อมทางกฎหมายระหว่างประเทศในเวลาต่อมา

2.2 ปฏิญญาริโอว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา ค.ศ.1992

ปฏิญญาริโอว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา ค.ศ.1992 หรือปฏิญญาริโอ (Rio Declaration on Environment and Development) เป็นปฏิญญาสากลที่พัฒนาสืบเนื่องต่อมาจากการประชุมที่กรุงสต๊อกโฮล์มในปี ค.ศ. 1972 ทำให้ประเทศที่พัฒนาแล้วมีความสนใจเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นโดยเฉพาะเรื่องของการแก้ไขและควบคุมปัญหามลพิษที่เกิดจากการพัฒนาทางอุตสาหกรรมและที่สามารถสร้างปัญหาข้ามพรมแดน โดยประเด็นหลักของปฏิญญาริโอ คือ เรื่องแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) นั้นมีการพูดถึงอย่างกว้างขวางและ ใช้อ้างอิงอย่างแพร่หลายในทุกวงการ ซึ่งความเป็นมาของการพัฒนาที่ยั่งยืนนั้นมียาวนานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1972 จนกลายมาเป็นเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustianable Development Goal)[21]

3.2.2 นโยบายและหลักเกณฑ์ระดับภูมิภาคที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

นโยบายและหลักเกณฑ์ระดับภูมิภาคในการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน ผู้วิจัยจะทำการศึกษาใน 2 ระดับ คือ ในระดับอาเซียนและสหภาพยุโรป เนื่องจากสมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นองค์กรระหว่างประเทศระดับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อสร้างสันติภาพในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อันนำมาซึ่งเสถียรภาพทางการเมือง และความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม ในขณะเดียวกันสหภาพยุโรปก็เป็นการรวมกลุ่มของประเทศในภูมิภาคยุโรป ทั้งด้านการเมือง เศรษฐกิจ และสังคม เพื่อเสริมสร้างสันติภาพเป็นการถาวรระหว่างประเทศในภูมิภาคยุโรป ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเห็นควรทำการศึกษานโยบายและหลักเกณฑ์ของสหภาพยุโรปเพื่อใช้เป็นแนวทางการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนให้มีประสิทธิภาพ

ก. นโยบายและกฎเกณฑ์ของสมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หรือ อาเซียน

ด้วยสถานการณ์ของโลกในปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและมีความเชื่อมโยงกันของประเทศต่าง ๆ แต่ละประเทศ ในขณะเดียวกันก็มีความซับซ้อนของปัญหามลพิษและปัญหาสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น รัฐบาลของประเทศในสมาชิกอาเซียนรวมทั้งรัฐบาลไทยมีนโยบายอย่างต่อเนื่องที่ให้ความสำคัญกับการส่งเสริมความร่วมมือระหว่างประเทศที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศ เพื่อเสริมสร้างความเข้มแข็งในการจัดการกับปัญหามลพิษ โดยการส่งเสริมให้เกิดการเชื่อมโยง การดำเนินงานด้านการจัดการมลพิษกับต่างประเทศ เพื่อพัฒนาศักยภาพของหน่วยงานในประเทศ และประเทศเพื่อนบ้านให้พร้อมรับมือกับปัญหาด้านมลพิษใหม่ๆ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่มั่นคง

---

[20] Natetida Bunnag. (2022). SDG MOVE การประชุม Stockholm+50 ครบรอบ 50 ปี จุดกำเนิดความร่วมมือพหุภาคีเพื่อสิ่งแวดล้อมโลก. ศูนย์วิจัยและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน.สืบค้นจาก https://www.sdgmove.com/2022/05/19/sdg-updates-introduction-of-stockholmplus50/.

[21] คะนึงนิจ ศรีบัวเอี่ยว, ธีรวุฒิ เต็มสิริวัฒนกุล และฐิตินันท์ เต็งอำนวย. ความสัมพันธ์ระหว่างมนุษยชนและสิ่งแวดล้อมเพื่อการคุ้มครองสิทธิมนุษยชนที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และยั่งยืน เป็นการต่อยอดความสำเร็จด้านสิ่งแวดล้อมของอาเซียนตามแผนงานประชาคมอาเซียน โดยคำนึงถึงสาระสำคัญของวิสัยทัศน์ประชาคมอาเซียน คือ ความมุ่งมั่นที่จะยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนผ่านกิจกรรมความร่วมมือที่ให้ความสำคัญกับประชาชนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การดำเนินงานด้านความตกลงระหว่างประเทศด้านความตกลงอาเซียนว่าด้วยมลพิษจากหมอกควัน เป็นต้น เพื่อส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนของสังคมและวัฒนธรรมและเป็นการลดช่องว่างด้านการพัฒนา โดยอาเซียนได้ตั้งเป้าหมายว่าภายใน พ.ศ. 2568 ประชาคมสังคมและวัฒนธรรมอาเซียนจะเป็นประชาคมที่มีปฏิสัมพันธ์กับประชาชน และประชาชนได้รับผลประโยชน์รวมกัน ซึ่งสนับสนุนการพัฒนาทางสังคมและปกป้องสิ่งแวดล้อมผ่านกลไกที่มีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการในปัจจุบันและอนาคตของประชาชนตามวิสัยทัศน์ประชาคมอาเซียน พ.ศ. 2568 ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของสหประชาชาติ ที่ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกทั้ง 193 ประเทศ มุ่งมั่นร่วมกันพัฒนาอย่างยั่งยืน[22]

1.นโยบายของอาเซียนที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

1.1 แผนงานประชาคมอาเซียน ค.ศ. 2025 กับสิ่งแวดล้อม

ภูมิภาคอาเซียนถือเป็นภูมิภาคหนึ่งที่มีทรัพยากรธรรมชาติที่มีความหลากหลายที่สุดแห่งหนึ่ง ของโลก ภูมิภาคนี้มีการรวมกันที่เกิดจากบริบททางการเมือง เศรษฐกิจ และสังคม รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ ที่ประกอบด้วย 3 เสาหลัก ดังต่อไปนี้

การเมืองและความมั่นคงอาเซียน พ.ศ. 2559 – 2568 กับสิ่งแวดล้อม

การดำเนินการเพื่อยกระดับความร่วมมือด้านการเมืองและความมั่นคงของอาเซียนให้สูงขึ้น ซึ่งเป็นการต่อยอดความสำเร็จที่เกิดขึ้น จะทำให้ประชาชนในประชาคมอาเซียนได้อาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ปลอดภัยและมั่นคง ด้วยการรักษาสิ่งแวดล้อมทางทะเลเป็นสำคัญ

เศรษฐกิจอาเซียน พ.ศ. พ.ศ. 2559 – 2568 กับสิ่งแวดล้อม

แผนงานประชาคมอาเซียนในด้านเศรษฐกิจ (**พ.ศ. 2559 – 2568**) ได้ให้ความสำคัญ ต่อการลดการกีดกันทางการค้าและลดต้นทุนอันเกิดจากการปฏิบัติตามมาตรการที่มิใช่ภาษี (Non-Tariff Measures : NTMs) ในส่วนที่มุ่งตอบสนองวัตถุประสงค์ด้านกฎระเบียบต่าง ๆ อาทิ ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม สุขภาพ ความปลอดภัย และความมั่นคง

สังคมและวัฒนธรรมอาเซียน พ.ศ. 2559 – 2568 กับสิ่งแวดล้อม

เนื่องด้วยหัวใจสำคัญของประชาคมสังคมและวัฒนธรรมอาเซียน คือ ความมุ่งมั่นที่จะยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนผ่านกิจกรรมความร่วมมือที่ให้ความสำคัญกับประชาชน ยึดประชาชนเป็นศูนย์กลาง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมุ่งไปสู่การส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืน ประชาคมสังคมและวัฒนธรรมอาเซียน (ASCC) จึงได้ตั้งเป้าหมายว่าภายใน พ.ศ.2568 ประชาคมสังคมและวัฒนธรรมอาเซียนจะเป็นประชาคมที่มีปฏิสัมพันธ์กับประชาชน และประชาชนได้รับผลประโยชน์ รวมทั้งทุกคนมีส่วนร่วมมีความยั่งยืน แข็งแกร่ง และมีพลวัต ทุกฝ่ายจะดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งประชาคมที่ทุกคนมีส่วนร่วม ซึ่งสนับสนุนการพัฒนาทางสังคมและปกป้องสิ่งแวดล้อมผ่าน

[22] นางสาวอรพรรณ แซ่เอี๊ยว. (2560) ความร่วมมืออาเซียนด้านสิ่งแวดล้อมภายใต้แผนงานประชาคมอาเซียน พ.ศ.2559-2568. Law for ASEAN. สืบค้นจาก https://lawforasean.krisdika.go.th/Content/View?Id=328&Type=1.

กลไกที่มีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการในปัจจุบันและอนาคตของประชาชนตามวิสัยทัศน์ประชาคมอาเซียน พ.ศ.2568[23]

1.2 ความร่วมมืออาเซียนด้านสิ่งแวดล้อมภายใต้แผนงานประชาคมอาเซียน

อาเซียนได้ให้ความสำคัญต่อการปกป้องทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมมานานแล้ว โดยไม่เพียงแต่ส่งเสริมความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศสมาชิกอาเซียนเท่านั้น หากแต่ยังมีความพยายามขยายขอบเขตความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมออกไปยังประเทศต่าง ๆ นอกอาเซียนและนอกภูมิภาคเอเชียอีกด้วย โดยในปี พ.ศ. 2520 ประเทศสมาชิกอาเซียนได้ร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมขึ้น โดยได้รับความช่วยเหลือจากโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (the United Nations Environment Programme: UNEP) ในการจัดทำโครงการอนุภูมิภาคด้านสิ่งแวดล้อม ต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2535 ได้มีเจ้าหน้าที่อาวุโสอาเซียนด้านสิ่งแวดล้อม (the ASEAN Senior Officials on the Environment: ASOEN) มีหน้าที่กำกับดูแลงานด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการเสนอแนะนโยบายและประสานการจัดการสิ่งแวดล้อมของภูมิภาคของอาเซียน รวมทั้งส่งเสริมความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมระหว่างอาเซียนกับภูมิภาคอื่น ๆ รวมทั้งระหว่างอาเซียนกับองค์การระหว่างประเทศ ทั้งนี้ได้มีการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อ “*สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนของอาเซียน*” ตามแผนงานประชาคมอาเซียนหรือแผนพิมพ์เขียว

2. กฎเกณฑ์ของอาเซียนที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

2.1 กฎบัตรอาเซียน

กฎบัตรอาเซียน คือ ธรรมนูญหรือกฎหมายสูงสุดของอาเซียน เป็นความตกลงระหว่างประเทศสมาชิกที่เห็นชอบในการกำหนดกรอบโครงสร้างองค์กร เป้าหมาย หลักการและกลไกที่สำคัญต่างๆในอาเซียน โดยมุ่งให้อาเซียนเป็นองค์กรที่มีประสิทธิภาพ มีประชาชนเป็นศูนย์กลาง

มีวัตถุประสงค์ “เพื่อสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืน เพื่อทำให้แน่ใจว่ามีการคุ้มครองสภาพแวดล้อมในภูมิภาค ความยั่งยืนของ ทรัพยากรธรรมชาติในภูมิภาค การอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรมในภูมิภาค และคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชน ในภูมิภาค” “เพื่อส่งเสริมอาเซียนที่มีประชาชนเป็นศูนย์กลาง ซึ่งทุกภาคส่วนของสังคมได้รับการส่งเสริมให้มีส่วนร่วม และ ได้รับผลประโยชน์จากกระบวนการรวมตัวและการสร้างประชาคมของอาเซียน”

หลักการในการดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ อาเซียนและรัฐสมาชิกอาเซียนยืนยันและยึดมั่นใน หลักการพื้นฐานที่ปรากฏในปฏิญญา ความตกลง อนุสัญญา ข้อตกลง สนธิสัญญา และตราสารอื่นๆของอาเซียน อาเซียนและรัฐสมาชิกอาเซียนจะปฏิบัติตามหลักการดังต่อไปนี้

(ก) การเคารพเอกราช อธิปไตย ความเสมอภาค บูรณภาพแห่งดินแดน และอัตลักษณ์แห่งชาติของรัฐสมาชิก อาเซียนทั้งปวง

[23] นางสาวอรพรรณ แซ่เอี๊ยว.ความร่วมมืออาเซียนด้านสิ่งแวดล้อมภายใต้แผนงานประชาคมอาเซียน พ.ศ.2559 – 2568. สืบค้นจาก https://lawforasean.krisdika.go.th/Content/View?Id=328&Type=1

(ข) ความผูกพันและความรับผิดชอบร่วมกันในการเพิ่มพูนสันติภาพ ความมั่นคงและความมั่งคั่งของภูมิภาค

(ช) การปรึกษาหารือที่เพิ่มพูนขึ้นในเรื่องที่มีผลกระทบอย่างร้ายแรงต่อผลประโยชน์ร่วมกันของอาเซียน

(ฌ) การเคารพเสรีภาพพื้นฐาน การส่งเสริมและคุ้มครองสิทธิมนุษยชน และการส่งเสริมความยุติธรรมทาง สังคม[24]

2.2 กรอบความตกลงของอาเซียนด้านสิ่งแวดล้อม

ความตกลงอาเซียนว่าด้วยมลพิษจากหมอกควันข้ามแดน ค.ศ. 2002

ความตกลงอาเซียนว่าด้วยมลพิษจากหมอกควันข้ามแดน ค.ศ. 2002 (ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution) ความตกลงฉบับนี้ได้กำหนดเจตนารมณ์สำคัญว่าด้วยเหตุที่ปัญหาหมอกควันข้ามแดนเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบในวงกว้างต่อกลุ่มประเทศสมาชิกในอาเซียน ประเทศสมาชิกอาเซียนจึงมีความตกลงและร่วมมือกันเพื่อกำหนดกระบวนการ ขั้นตอน และวิธีการในการป้องกันและแก้ไขปัญหาหมอกควันข้ามแดน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมอกควันที่มีสาเหตุมาจากการแผ้วถางและเผาทำลายป่า ซึ่งเป็นไปตามความร่วมมือที่ได้ตกลงไว้ร่วมกันในแผนปฏิบัติการแก้ไขหมอกควันในภูมิภาค ค.ศ. 1997 (Regional Haze Action Plan)เพื่อป้องกันและติดตามตรวจสอบมลพิษจากหมอกควันข้ามแดนซึ่ง เป็นผลเนื่องมาจากไฟบนพื้นดินและ/หรือไฟป่าที่ต้องดำเนินการให้ลดลง โดยอาศัยความพยายามร่วมกันในประเทศ รวมถึงความร่วมมืออย่างแข็งขันในระดับภูมิภาคและระดับนานาชาติ โดยยึดเจตนารมณ์และวัตถุประสงค์ของความตกลงฉบับนี้เพื่อดำเนินการให้บรรลุเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืนแห่งสหประชาชาติ (SDGs) [25]

ข. นโยบายและกฎเกณฑ์ของสหภาพยุโรปที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

1. นโยบายของสหภาพยุโรปที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

เสียงรบกวนจากสิ่งแวดล้อมหรือเรียกว่ามลพิษทางเสียงเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในยุโรป โดยมีสาเหตุมาจากหลายแหล่ง ได้แก่ การจราจร รถไปและสนามบิน โดยเสียงรบกวนจากสิ่งแวดล้อมเป็นสาเหตุหลักของปัญหาสุขภาพ สหภาพยุโรปมีเป้าหมายที่จะลดเสียงรบกวนจากสิ่งแวดล้อมเพื่อปกป้องสุขภาพของมนุษย์ คณะกรรมาธิการยุโรปเสนอเป้าหมายนโยบายในการลดการรบกวนจากเสียงในแผนปฏิบัติการมลพิษเป็นศูนย์

1.1 แผนปฏิบัติการมลพิษเป็นศูนย์ ค.ศ.2050

แผนปฏิบัติการมลพิษเป็นศูนย์ (Zero pollution action plan for 2050) ถูกจัดทำขึ้นในปี ค.ศ.2021 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดมลพิษทางอากาศ น้ำ และดินให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและระบบนิเวศทางธรรมชาติอีกต่อไป โดยเคารพขอบเขตที่โลกของเราจะรับมือได้ จึงเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมที่ปราศจากสารพิษ โดยคณะกรรมาธิการยุโรปได้รับรองแผนปฏิบัติการมลพิษเป็นศูนย์นี้ในฐานะที่เป็นส่วนที่สำคัญของ European Green Deal โดยสหภาพยุโรปต้องการให้แผนปฏิบัติการมลพิษเป็นศูนย์นี้บรรลุเป้าหมาย โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพนโยบายสิ่งแวดล้อมของสหภาพยุโรปว่าควรอยู่บนพื้นฐานของหลักการป้องกันไว้ก่อนและบนหลักการที่

[24] Asean-info.com. กฎบัตรอาเซียน. สืบค้นจาก https://www.asean-info.com/asean_charter_content/asean_charter_preamble.html

[25] ดร.สุรพล ศรีวิทยา. (2560). การบังคับใช้กฎหมายไทยตามพันธกรณีภายใต้ความตกลงอาเซียนทางด้านสิ่งแวดล้อม. รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. สืบค้นจาก https://tnrr.nriis.go.th/pdf_file/198bb4b30.pdf

ควรดำเนินการป้องกันความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม ควรได้รับการแก้ไขที่แหล่งกำเนิดเป็นสำคัญ และผู้ก่อมลพิษควรชดใช้ กล่าวคือ ควรป้องกันมลพิษที่แหล่งกำเนิด ในกรณีที่ไม่สามารถป้องกันมลพิษตั้งแต่เริ่มแรกได้อย่างสมบูรณ์ก็ควรลดมลพิษให้เหลือน้อยที่สุด หากเมื่อเกิดมลพิษก็ควรได้รับการแก้ไข และชดเชยความเสียหายที่เกี่ยวข้อง เป็นการสร้างสภาพแวดล้อมที่ปราศจากมลพิษ โดยเป้าหมายให้ภายในปี ค.ศ.2030 เร่งให้มีการลดมลพิษจากแหล่งกำเนิด โดยแผนปฏิบัติการมีเป้าหมายเพื่อเสริมสร้างความเป็นผู้นำด้านสิ่งแวดล้อมดิจิตอล และเศรษฐกิจของสหภาพยุโรป ในขณะเดียวกันก็สร้างยุโรปและโลกที่มีสุขภาพดีขึ้น[26]

2. กฎเกณฑ์ของสหภาพยุโรปที่เกี่ยวกับการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน

Directive 2002/49/EC

คำสั่ง 2002/49/EC เป็นการประเมินและการจัดการเสียงของสิ่งแวดล้อม (relating to the assessment and management of environmental noise)ของรัฐสภายุโรปและสภา เป็นการกำหนดแนวทางทั่วไปของสหภาพยุโรปเพื่อหลีกเลี่ยง ป้องกัน หรือลดผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการสัมผัสกับเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดหลัก โดยเฉพาะยานพาหนะบนถนนและทางรถไฟและอุตสาหกรรมต่าง ๆ[27] โดยเน้นที่การกระทำ 4 ด้าน ดังนี้ (1) พิจารณาการสัมผัสกับเสียงสิ่งแวดล้อมและประเมินผลกระทบต่อสุขภาพในระดับที่อยู่อาศัยเดียว (2) ตรวจสอบให้แน่ใจว่าข้อมูลเกี่ยวกับเสียงรบกวนในสิ่งแวดล้อมและผลกระทบนั้นเปิดเผยต่อสาธารณะ (3) การป้องกันและลดเสียงรบกวนจากสิ่งแวดล้อม (4) รักษาคุณภาพเสียงสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ดี[28] โดยกำหนดให้ประเทศในสหภาพยุโรปจัดเตรียมและเผยแพร่แผนที่เสียงและแผนปฏิบัติการการจัดการเสียงทุกๆ 5 ปี นอกจานั้นสหภาพยุโรปยังมีการควบคุมการปล่อยเสียงรบกวนที่แหล่งกำเนิด ซึ่งออกเป็นกฎขอบังคับว่าด้วยข้อจำกัดทางเสียงสำหรับในด้านต่าง ๆ เสียงรบกวนจากการจราจรบนถนน เครื่องบิน รถไฟและเสียงรบกวนจากอุปกรณ์สำหรับใช้งานกลางแจ้ง

4.อภิปรายและสรุปผล

4.1. สรุป

ในการศึกษาวิจัยเพื่อหาแนวทางและมาตรการระหว่างประเทศในการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลนั้นสามารถวิเคราะห์ ได้ดังนี้

1. แนวความคิดต่าง ๆ ที่จะนำมาปรับใช้เพื่อแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนนั้น พบว่า (ก) แนวคิดเรื่องการพัฒนาอย่างยั่งยืนถือได้ว่าเป็นแนวคิดหลักที่ควรจะนำมาใช้การแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียน เพราะว่าแนวคิดนี้สามารถปรับใช้เชื่อมโยงระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ควบคู่ไปกับการป้องกันและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมทางเสียงข้ามแดนอย่างยั่งยืนได้ (ข) แนวคิดเรื่องของหลักการเป็นเพื่อนบ้านที่ดี ถือได้ว่าเป็นแนวคิดหลักที่ควรจะนำมาใช้การแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียน เพราะว่า แนวคิดนี้ยึดหลักการที่รัฐต่าง ๆ จะไม่ประพฤติตัวไปในทางที่จะทำให้ก่ออันตรายต่อเพื่อบบ้าน โดยเฉพาะในกรณีที่เกี่ยวกับปัญหาด้านมลพิษทางเสียงข้ามแดนนั้น (ค) แนวคิดในเรื่องการควบคุมทางเดินของ

---

[26] European Commission (2023), Zero pollution action plan. สืบค้นจาก. https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en.

[27] European Union (2022). คำสั่ง 2002/49/EC ที่เกี่ยวกับการประเมินและการจัดการเสียงรบกวนของสิ่งแวดล้อม. วารสารทางการ L 189. หน้า 12-26. สืบค้นจาก https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC038002/.

[28]European Commission (2022), Environmental Noise Directive. สืบค้นจาก https://environment.ec.europa.eu/topics/noise/environmental-noise-directive_en.

เสียง เพราะว่า การกำหนดระยะทางของแหล่งกำเนิดเสียงกับชุมชนนั้นมีความสำคัญ ต่อการควบคุมและป้องกันที่จะไม่ก่อให้เกิดเป็นมลพิษทางเสียงที่ก่อให้เกิดความรำคาญและส่งผลกระทบต่อประชาชน และ (ง) แนวคิดการมีส่วนร่วมของประชาชน มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการกำหนดให้ทุกฝ่าย *(ทั้งในระหว่างรัฐกับรัฐและรัฐกับประชาชน)* ต้องดำเนินการร่วมกันโดยเฉพาะกรณีแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน โดยเปิดโอกาสให้ภาคประชาชนในพื้นที่ร่วมกับรัฐดำเนินการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลกระทบกับประชาชนทั้งหลาย

2. ทฤษฎีแนวความคิดต่าง ๆ ที่จะนำมาปรับใช้เพื่อแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนนั้น พบว่า (ก) ทฤษฎีการป้องกันไว้ก่อน เป็นการดำเนินการทางด้านเศรษฐกิจและสังคมให้ตระหนักในการพัฒนาด้านต่าง ๆ ที่ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับมลพิษทางเสียง โดยให้มีการป้องกันไว้ก่อนก็เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม (ข) ทฤษฎีการเฝ้าระวัง มีบทบาทที่สำคัญในการมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน โดยที่รัฐนั้นมีบทบาทในการเป็นผู้นำในการตรวจสอบการดำเนินการต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อให้ธรรมชาติสามารถฟื้นฟูตนเองตามแนวคิดพื้นฐานที่ว่าธรรมชาติสามารถเยียวยาตนเองได้ (ค) ทฤษฎีความรับผิดชอบของผู้ก่อมลพิษ เป็นทฤษฎีทางกฎหมายที่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมและเยียวยาความเสียหายที่เป็นผลมาจากมลพิษทางเสียง และ

3. นโยบายและกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ที่จะนำมาปรับใช้เพื่อแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนนั้น พบว่า (ก) อนุสัญญาว่าด้วยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในบริบทข้ามพรมแดน ค.ศ.1991 สามารถนำมาปรับใช้เกี่ยวกับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) เพื่อสร้างกลไกในการเฝ้าระวังความเสียหายและควบคุมมลพิษทางเสียงไม่ให้เกิดเป็นปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน (ข) ปฏิญญาการประชุมสหประชาชาติเรื่องสิ่งแวดล้อมของมนุษย์ ค.ศ.1972 ที่ได้ให้ความสำคัญของสิทธิของมนุษย์ในสิ่งแวดล้อมที่สามารถนำมาพัฒนาปรับใช้การในการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมหรือจัดการปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนได้โดยอย่างมีประสิทธิภาพ (ค) ปฏิญญาริโอว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา ค.ศ.1992 ซึ่งปฏิญญานี้ต้องการให้ประเทศต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่พัฒนาแล้วมาให้ความสนใจเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องของการแก้ไขและควบคุมปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนที่เกิดจากการพัฒนาทางอุตสาหกรรม และ (ง) แผนปฏิบัติการมลพิษเป็นศูนย์ (Zero pollution action plan for 2050) ของสหภาพยุโรปที่ออกในปี ค.ศ. 2021 ที่เกี่ยวกับเรื่องมลพิษทางเสียงด้วยซึ่งมลพิษทางเสียงเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในยุโรป โดยรัฐสภายุโรปได้ออกคำสั่ง 2002/49/EC ที่เป็นการกำหนดแนวทางทั่วไปของสหภาพยุโรปเพื่อหลีกเลี่ยง ป้องกัน หรือลดผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการสัมผัสกับเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดหลัก ซึ่งเป็นกฎขอบังคับว่าด้วยข้อจำกัดทางเสียงสำหรับในด้านต่าง ๆ เช่น เสียงรบกวนจากการจราจร เครื่องบิน รถไฟและเสียงรบกวนจากอุปกรณ์สำหรับใช้งานกลางแจ้งและในกรณีที่ไม่สามารถป้องกันมลพิษตั้งแต่เริ่มแรกได้อย่างสมบูรณ์ก็ควรที่จะลดมลพิษทางเสียงให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้หากเมื่อเกิดมลพิษทางเสียงขึ้นแล้วก็ควรได้รับการแก้ไขและชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมที่ปราศจากมลพิษ สำหรับอาเซียน จากการศึกษาพบว่าในปัจจุบันยังไม่มีกฎเกณฑ์หรือความตกลงของอาเซียนที่เกี่ยวกับในการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดน เพื่อรองรับการสนับสนุนการจัดตั้งเขตเศรษฐกิจพิเศษพื้นที่ชายแดนที่ติดกับประเทศเพื่อนบ้านของสมาชิกอาเซียน ซึ่งเป็นแนวคิดในการกระจายการพัฒนาไปสู่ พื้นที่ต่าง ๆ เพื่อไม่ให้การพัฒนากระจุกตัวเฉพาะในเมืองใหญ่ โดยใช้กิจกรรมทางเศรษฐกิจที่หลากหลาย เป็นตัวนำการพัฒนาและยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ จากการศึกษานโยบายและกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ของอาเซียนที่เกี่ยวกับการจัดการและการป้องกันปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อมข้ามแดน พบว่า หลักเกณฑ์ที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่สามารถที่จะ

นำมาปรับใช้ในการแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนได้โดยตรงและอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อรองรับกับปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

4.2. ข้อเสนอแนะ

สำหรับปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนและสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศเป็นอย่างยิ่ง หากอาเซียนยังไม่เร่งดำเนินการป้องกันและแก้ไขปัญหาอาจส่งผลกระทบอย่างร้ายแรงต่อชีวิตความเป็นอยู่ ด้านสุขภาพร่างกายของพลเมืองอาเซียนและสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศได้ ซึ่งเป็นการขัดต่อวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้ในกฎบัตรอาเซียน ด้วยเหตุนี้ เห็นควรที่อาเซียนจะดำเนินการจัดทำมาตรการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียนที่มีประสิทธิภาพขึ้น โดยนำเอาแนวคิดทฤษฎีและหลักเกณฑ์ระหว่างประเทศทั้งหลายที่เกี่ยวข้องมาปรับใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมาตรการของสหภาพยุโรป เพื่อให้อาเซียนใช้เป็นแนวทางในการจัดทำมาตรการและข้อตกลงอาเซียนว่าด้วยการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียน ดังนั้น จึงเห็นควรที่จะทำการศึกษาแผนปฏิบัติการมลพิษเป็นศูนย์ของสหภาพยุโรป เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนของอาเซียน โดยการกำหนดแนวทางการแก้ไขและป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงข้ามแดนในภูมิภาคอาเซียน ดังนี้

1.ให้อาเซียนจัดทำกรอบความตกลงของอาเซียนว่าด้วยการส่งเสริมความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมในการแก้ไขปัญหาด้านมลพิษทางเสียงข้ามแดน ภายใต้แผนงานประชาคมอาเซียน ค.ศ. 2025 กับสิ่งแวดล้อมและกฎบัตรอาเซียน (ซึ่งอาเซียนสามารถพัฒนาความร่วมมือโดยอาศัยฐานในทางกฎหมายระหว่างประเทศมากขึ้นในรูปของสนธิสัญญา) และ

2.กำหนดให้ประเทศสมาชิกอาเซียนจัดเตรียมแผนปฏิบัติการในการจัดการเสียง เพื่อป้องกันปัญหามลพิษทางเสียงที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงมอบทุนสนับสนุนการนำเสนอหรือเผยแพร่ผลงานวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ น้อยฉิม ที่ให้คำปรึกษาและอบรมสั่งสอนให้มีวินัยในการทำบทความวิจัย และขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุก ๆ ท่านที่ช่วยให้บทความวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (10 มกราคา 2558).อันตรายที่เกิดจากเสียง. สืบค้นจาก http://datacenter.deqp.go.th/knowledge/%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%AA-%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%97-%E0%B8%AD%E0%B8%99/%E0%B8%AD-%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%97-%E0%B9%80%E0%B8%81-%E0%B8%94%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B9%80%E0%B8%AA-%E0%B8%A2%E0%B8%87/

กฤติกา เลิศสวัสดิ์ (2552), การป้องกันและควบคุมมลพิษทางเสียงจากอากาศยานภายใต้อนุสัญญาว่าด้วยการบินผลเรือนระหว่างประเทศ ค.ศ. 1944. วิทยานิพนธ์ (ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์) มหาวิทยาลัยธรรมสาสตร์.

เกษม จันทร์แก้ว. (2544). วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คัดคณัฐ ชื่นวงศ์อรุณ และณภัทรดนัย (6 ธันวาคม 2563). มลภาวะทางเสียงหนึ่งในปัญหาของประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตเมือง.สืบค้นจาก https://ngthai.com/science/32155/noise-pollution/

คัดคณัฐ ชื่นวงศ์อรุณ และณภัทรดนัย (6 ธันวาคม 2563). มลภาวะทางเสียงหนึ่งในปัญหาของประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตเมือง.สืบค้นจาก https://ngthai.com/science/32155/noise-pollution/

คะนึงนิจ ศรีบัวเอี่ยว, ธีรวุฒิ เต็มสิริวัฒนกุล และฐิตินันท์ เต็งอำนวย. ความสัมพันธ์ระหว่างมนุษยชนและสิ่งแวดล้อมเพื่อการคุ้มครองสิทธิมนุษยชนที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชมพูนุท สงกลาง. (2556). ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี. หน้า 4.

นันทพล กาญจนวัฒน์ (2542). แนวความคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในกฎหมายสิ่งแวดล้อมระหว่าง 43 ประเทศ:ศึกษากรณีตัวอย่างอนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ ค.ศ.1992. วิทยานิพนธ์ (ปริญญามหาบัณฑิต สาขานิติศาสตร์ คณะนิติศาสตร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรพรรณ แซ่เอี้ยว. (2560) ความร่วมมืออาเซียนด้านสิ่งแวดล้อมภายใต้แผนงานประชาคมอาเซียน พ.ศ.2559-2568. Law for ASEAN. สืบค้นจาก https://lawforasean.krisdika.go.th/Content/View?Id=328&Type=1.

ชาญวิทย์ อมตะมาทุชาติ (10 สิงหาคม 2558). เขตเศรษฐกิจพิเศษไทย : โอกาสการค้า การลงทุน และการท่องเที่ยว. คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาต, กรุงเทพฯ.

พีรพล เจตโรจนานนท์ (2553). การควบคุมมลพิษทางเสียงจากการจราจรทางบก. วิทยานิพนธ์ (ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์) มหาวิทยาลัยธรรมสาสตร์.

ปิยะดา วชิระวงศกร (2555). ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. หน้า 150. วิทยาลัยการชีพบางสะพาน. ปัญหามลพิษ. ศูนย์หนังสือ เมืองไทย สืบค้นจาก http://www.bspc.ac.th/files/2106162121441265_22080915150857.pdf.

สยาม อรุณศรีมรกต และยงยุทธ วัชรดุลย์. เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน. มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นจาก https://repository.li.mahidol.ac.th/server/api/core/bitstreams/15d4831d-a00c-499e-9b52-87944f601b69/content

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. เกี่ยวกับSDGs. สืบค้นจาก https://sdgs.nesdc.go.th/%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%A7%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A-sdgs/

สุรพล ศรีวิทยา. (2560). การบังคับใช้กฎหมายไทยตามพันธกรณีภายใต้ความตกลงอาเซียนทางด้านสิ่งแวดล้อม. รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. สืบค้นจาก https://tnrr.nriis.go.th/pdf_file/198bb4b30.pdf

สิทธิ หลีกภัย. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมข้ามพรมแดนตามอนุสัญญาว่าด้วยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในบริบทข้ามพรมแดน ค.ศ.1996. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ สืบค้นจาก http://libdcms.nida.ac.th/thesis6/2559/b197573.pdf

เอื้อการย์ ภู่ขจร (2563). มาตราการทางกฎหมายในการลดเสียงใต้น้ำที่เกิดจากเรือขนส่งสินค้า. การค้นคว้าอิสระ (ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์) มหาวิทยาลัยธรรมสาสตร์.

Asean-info.com. กฎบัตรอาเซียน. สืบค้นจาก https://www.asean-info.com/asean_charter_content/asean_charter_preamble.html

European Commission **(2022)**, Environmental Noise Directive. สืบค้นจาก https://environment.ec.europa.eu/topics/noise/environmental-noise-directive_en.

European Commission (2023), Zero pollution action plan. สืบค้นจาก. https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en.

European Union (2022). คำสั่ง 2002/49/EC ที่เกี่ยวกับการประเมินและการจัดการเสียงรบกวนของสิ่งแวดล้อม. วารสารทางการ L 189. หน้า 12-26. สืบค้นจาก https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC038002/.

Natetida Bunnag. (2022). SDG MOVE การประชุม Stockholm+50 ครบรอบ 50 ปี จุดกำเนิดความร่วมมือพหุภาคีเพื่อสิ่งแวดล้อมโลก. ศูนย์วิจัยและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน.สืบค้นจาก https://www.sdgmove.com/2022/05/19/sdg-updates-introduction-of-stockholmplus50/.

Nicolas de Sadeleer (2002). Environmental Principles: from Political Slogans to Legal Rules. New York: Oxford University

การออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา

Concept art design for a platform game tradition theme of Phayao Province

ธนภร ทองเสงี่ยม[1*] และ จิรวัฒน์ สุขแก้ว[2*]

Thanapon Thongsangiam[1*] and Jirawat Sookkaew[2*]

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเรื่องการออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา เนื่องมาจากความเจริญทางด้านสังคมที่เกิดขึ้นทำให้ประเพณีบางประเพณีได้จางหายไปตามกาลเวลา เพื่อเป็นการอนุรักษ์ประเพณีอันดีงาม จึงมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจนำไปพัฒนาเป็นเกมที่สามารถเล่นได้ เพื่อนำเสนอและถ่ายทอดเรื่องราวความเชื่อของประเพณีในจังหวัดพะเยาในรูปแบบของคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแพลตฟอร์ม เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ที่ได้รับชมผลงาน ใช้เนื้อหาเป็นความรู้ประวัติความเป็นมาและพื้นที่จริงที่แสดงเอกลักษณ์ของประเพณีในจังหวัดพะเยา นำมาลดทอนและเผยแพร่ในรูปแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมและวิดีโอตัวอย่าง โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นนิสิตและบุคคลที่มีอายุ 18–25 ปี อาศัยอยู่บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยพะเยาและบริเวณกว๊านพะเยาที่เล่นเกมเป็นประจำ จากแบบประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่า การนำเอกลักษณ์ของประเพณีมาใช้ในการออกแบบใหม่อยู่ในระดับมากที่สุด และภาพรวมของผลงานอยู่ในระดับมาก ผลจากการเก็บค่าความพึงพอใจต่อกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อการออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา มีความพึงพอใจต่อภาพกราฟิกที่สามารถสื่อถึงเอกลักษณ์ของประเพณีในจังหวัดพะเยาอยู่ในระดับมาก และภาพรวมของผลงานอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: คอนเซปต์อาร์ต, เกมแพลตฟอร์ม,มูลค่าทางวัฒนธรรม,การออกแบบเกม,ตัวละครในเกม

---

[1] หลักสูตรศิลปกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] สาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Bachelor of Fine and Applied Arts (Computer Graphics and Multimedia), School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Computer Graphics and Multimedia, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: Thanapon.Thongsangiam@gmail.com

Abstract

A research study on concept art design for platform games. Traditional themes of Phayao province Due to the social boom that has occurred, some traditions have faded over time. In order to preserve good traditions, the objective is to guide those who are interested in developing a game that can be played. To present and convey the story of the beliefs of traditions in Phayao province in the form of concept art for platform games. To assess the satisfaction of those who have viewed the work. Use the content as knowledge of the history and real space that shows the uniqueness of traditions in Phayao. The target group is traveler ages 18 – 25 years old who traveling around Kwan Phayao area. According to the quality assessment form from experts, it was found that the use of tradition in the new design was at the highest level and the overall performance was at a high level. The result of collecting satisfaction with the sample on Concept art design for platform games. Traditional themes of Phayao province Satisfaction with the graphics that convey the uniqueness of tradition in Phayao province is very high, and the overall picture of the work is very high.

Keywords: Concept art, Platform game, Culture design, Game design, Game character design

บทนำ

ประเทศไทยมีความหลากหลายทางประเพณีแตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาค ทั้งภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคอีสาน และภาคใต้ ก็มีความแตกต่างกันทั้งความเป็นอยู่ ความเชื่อ สิ่งแวดล้อม และ ความหลากหลายทางด้านวัตนธรรม ภาคเหนือเป็นพื้นที่หนึ่งของประเทศไทยที่มีมรดกทางประเพณี และวัตนธรรมที่หลากหลาย มีคุณค่าและมีเอกลักษณ์ที่โดดเด่น เป็นสถานที่ท่องเที่ยวด้าน วัฒนธรรมที่มีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติมาเที่ยวชมซึ่งมีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติที่มาเที่ยวชมวัฒนธรรมของภาคเหนือในจังหวัดพะเยา จากสถิติในปี 2562 มีจำนวน ทั้งหมด 7,145 คน (สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัด พะเยา, 2562, สื่อออนไลน์) ประเพณีของจังหวัดพะเยาเกิดจากการผสมผสานการดำเนินชีวิตและความเชื่อ ของศาสนาพุทธ ส่งผลให้มีประเพณีแตกต่างกันไปตามฤดูกาล เช่น ประเพณีบวงสรวงพ่อขุนงำเมือง ประเพณีตานข้าวสังฆ์ดิบ ประเพณีตานตุงไทลื้อ ประเพณีเวียนเทียนกลางน้ำกว๊านพะเยา ประเพณี สืบชะตาร่องแม่น้ำช้าง เป็นต้น ซึ่งประเพณีเหล่านี้เป็นประเพณีที่มีความสำคัญต่อจังหวัดพะเยาทั้งใน ด้านความเชื่อ เป็นที่ยึดเหนี่ยวจิตใจและเป็นประเพณีที่มีเอกลักษณ์เฉพาะแค่ในจังหวัดพะเยา จึงควร มีการอนุรักษ์ประเพณีอย่างเป็นรูปธรรมเพื่อสืบต่อไป

เนื่องมาจากความเจริญทางด้านสังคมที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเทคโนโลยี ทางด้านวัตถุ ทำให้ประเพณีบางประเพณีได้จางหายไปตามกาลเวลา คนในสังคมภาคเหนือมีความ เป็นสังคมเมืองที่มากขึ้น มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นทั้งทางกายและจิตใจ ดังนั้น เพื่อที่จะรักษาประเพณี ของจังหวัดพะเยาต่างๆให้คงอยู่ จึงต้องอนุรักษ์ไม่ให้จางหาย ต้องเริ่มปลูกฝังความสำคัญของ ประเพณีให้แก่เยาวชน จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญในการอนุรักษ์ประเพณีจังหวัดพะเยาที่กำลังจะสูญหาย โดยหารูปแบบการอนุรักษ์ประเพณีที่เหมาะแก่เยาวชนและคนวัย ทำงาน ผลจากคิดรูปแบบที่เหมาะแก่การให้ความรู้แก่เยาวชนและคนทุกเพศทุกวัยก็คือ รูปแบบของเกม

ในปัจจุบันมีหลากหลายเกมที่ออกมาให้ผู้คนได้เล่น ไม่ว่าจะเป็นเกมแนวผจญภัย เกมปริศนา เป็นต้น และจะมีเกมประเภทหนึ่งที่เป็นเกมแพลตฟอร์ม วิธีการเล่นของเกมประเภทนี้คือเป็นการวิ่ง ไปข้างหน้าอย่างเดียว มีการกระโดดเพื่อหลบหลีกสิ่งกรีดขวางหรือการเก็บไอเท็มต่าง ๆ มีด่านที่ หลากหลายให้ได้เล่นและค้นหา เป็นเกมที่คนทุกเพศทุกวัยสามารถเล่นได้ เพราะเกมแพลตฟอร์มมี รูปแบบเกมที่เล่นง่าย ทั้งภาพและเสียงที่ออกแบบมาอย่างเหมาะสม สามารถเข้าถึงผู้เล่นได้อย่างน่าสนใจ รวมทั้งสามารถสอดแทรกเนื้อหาที่มีสาระให้กับผู้เล่นทั้งเยาวชนและวัยทำงานได้อีกด้วย จากที่กล่าวมา ทางผู้วิจัยจึงคิดที่จะใช้เกมแพลตฟอร์มเป็นรูปแบบในการอนุรักษ์ประเพณีของจังหวัด พะเยา เพื่อแก้ปัญหาการสูญหายของประเพณีโดยการออกแบบเป็นคอนเซปต์อาร์ต

คอนเซปต์อาร์ตนั้นเป็นภาพศิลปะที่ใช้ถ่ายทอดแนวความคิดก้าวแรกของการออกแบบภาพ และเนื้อเรื่องสำหรับการใช้งานในหนังสือการ์ตูน ภาพยนตร์ วิดีโอเกม เป็นต้น คอนเซปต์อาร์ตอยู่ใน รูปแบบของการวาดเส้น ภาพวาดสี ทั้งในรูปแบบดั้งเดิมและแบบดิจิทัล ทำให้มีวิธีการทำงานที่มี ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ก่อนจะนำไปผลิตเป็นสื่อออกมาให้ผู้คนได้รับชม คอนเซปต์อาร์ตมีหลาย ประเภท คือ 1) การออกแบบสภาพแวดล้อม จะเป็นตัวกำหนดรูปลักษณ์ของโลก ไม่ว่าจะเป็นโลกจริงหรือโลกในจินตนาการ 2) การออกแบบตัวละครและเครื่องแต่งกาย ต้องเชื่อมโยงลักษณะเครื่อง แต่งกายของตัวละครให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมและเนื้อเรื่อง 3) การออกแบบอุปกรณ์ประกอบ ฉาก ของทุกสิ่งทุกชิ้นมีเรื่องราวในตัวเอง อุปกรณ์ประกอบฉากที่ออกแบบมาอย่างดีนั้นมี ความสำคัญต่อการทำให้รูปลักษณ์ของเกมดูมีความสอดคล้องกัน

จากข้อมูลเบื้องต้นนี้ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการสร้างสรรค์งานวิจัยเพื่อออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม โดยใช้แนวคิดและข้อมูลจากประเพณีของจังหวัดพะเยา โดยสอดแทรกเนื้อหาเกี่ยวกับประเพณีต่าง ๆ เพื่อให้สาระความรู้ เนื้อเรื่องของประเพณีที่จะสอดแทรกเข้าไปจะเป็นรูปแบบของคัดซีนในเกม และฉากของเกมจะออกแบบเป็นบรรยากาศของประเพณีในจังหวัดพะเยา 5 ประเพณี เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจนำไปพัฒนาเกมที่นำเสนอถ่ายทอดเรื่องราวความเชื่อของประเพณีในจังหวัดพะเยาในรูปแบบของคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแพลตฟอร์ม โดยเป็นการนำเอาวัฒนธรรมประเพณีในจังหวัดพะเยาให้สามารถใช้เพื่อการสร้างสรรค์และถ่ายทอดในรูปแบบสื่อที่หลากหลายมากขึ้นช่วยให้เกิดการส่งต่อเนื้อหาและการสร้างสรรค์โดยใช้ศิลปวัฒนธรรมในรูปแบบสื่อมัลติมีเดียที่มีความหลายหลายแก่บุคคลและสังคมมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวัฒนธรรม ความเชื่อของประเพณีในจังหวัดพะเยาที่โดดเด่นของจังหวัดพะเยา
2. เพื่อออกแบบถ่ายทอดวัฒนธรรมความเชื่อของประเพณีในจังหวัดพะเยาในรูปแบบของ คอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของของคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา

วิธีการศึกษา

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยการออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา มีแนวความคิดดังนี้



ภาพที่ 1 ภาพกรอบแนวความคิดในการดำเนินวิจัย

1. ศึกษาประเพณีของจังหวัดพะเยาและนำมาวิเคราะห์เอกลักษณ์เพื่อนำไปสู่กระบวนการออกแบบ

2. กำหนดแนวความคิดในการพัฒนาและออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา

3. ดำเนินการออกแบบตามกระบวนการออกแบบ การออกแบบตัวละคร ฉากและองค์ประกอบอื่นๆ และการวิเคราะห์สีที่นำมาใช้ในงาน เพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์ของการออกแบบ

4. สำรวจความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อ การออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

1.ผู้เชี่ยวชาญด้านออกแบบกราฟิกและมัลติมีเดีย และ ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประเพณีวัฒนธรรมของเมืองพะเยา

2.นักท่องเที่ยวที่ท่องเที่ยวในสถานที่ท่องเที่ยวของจังหวัดพะเยา

กลุ่มตัวอย่าง

1.ผู้เชี่ยวชาญด้านออกแบบกราฟิกและมัลติมีเดีย 2 ท่าน และ ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประเพณีวัฒนธรรมของเมืองพะเยา 1 ท่าน

2.กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักท่องเที่ยวที่ท่องบริเวณกว๊านพะเยา และเป็นผู้ที่เล่นเกมแนวแพลตฟอร์มเป็นประจำ จำนวน 30 คน ได้มาจากการสุ่มแบบง่าย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

ผลงานคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา มีขั้นตอนดังนี้

1) ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับประเพณีในจังหวัดพะเยา

2) ออกแบบฉาก ตัวละครและไอเทมต่างๆให้มีความน่าสนใจและน่าดึงดูดสายตา

3) นำภาพบางส่วนที่ได้มาทำโมชั่นกราฟิกในโปรแกรม Adobe After Effects 2020

4) ตัดต่อและใส่เสียงเอฟเฟค

แบบสอบถาม

แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัยเพื่อประเมินความพึงพอใจของรูปแบบการนำเสนอการอนุรักษ์ประเพณีของจังหวัดพะเยาในรูปแบบของคอนเซปต์อาร์ตเกมแพลตฟอร์ม ว่ามีการออกแบบที่เหมาะสมแก่คนทุกวัยหรือไม่ เป็นแบบสอบถามแบบปลายเปิด โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 แบบประเมินคุณภาพของชิ้นงาน โดยผู้เชียวชาญ 2 ด้านซึ่งประกอบไปด้วยแบบประเมินความพึงพอใจด้านออกแบบกราฟิกและมัลติมีเดีย จำนวน 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประเพณีวัฒนธรรมของเมืองพะเยาจำนวน 1 ท่าน

ตอนที่ 2 แบบสอบถามความคิดเห็นแก่ชิ้นงานคอนเซปต์อาร์ตเกมแพลตฟอร์มที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับประเพณีของจังหวัดพะเยาจากนักท่องเที่ยวบริเวณกว๊านพะเยา เป็นผู้ที่สนใจในการเล่นเกมหรือผู้ที่เคยเล่นเกมแนวแพลตฟอร์ม เป็นคำถามแบบปลายเปิด

แบบประเมินความพึงพอใจ

เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่ท่องบริเวณกว๊านพะเยา และเป็นผู้ที่เล่นเกมแนวแพลตฟอร์มเป็นประจำ แบบมีโครงสร้าง (Rating scale) 5 ระดับ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) 5 ระดับ ได้กำหนดเกณฑ์ โดยใช้คะแนนเฉลี่ยของจุดตัด ดังนี้

4.51 – 5.00 หมายถึง มากที่สุด

3.51 – 4.00 หมายถึง มาก

2.51 – 3.00 หมายถึง ปานกลาง

1.51 – 2.00 หมายถึง น้อย

1.00 – 1.50 หมานถึง น้อยที่สุด

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ได้มีการเก็บข้อมูลในการวิจัยจาก 2 กลุ่มคือผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบกราฟิกและมัลติมีเดีย และด้านศิลปะและวัฒนธรรมของจังหวัดพะเยา และการเก็บข้อมูลการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม (Sample) จากผู้ที่เดินทางท่องเที่ยวในพื้นที่บริเวณกว๊านพะเยา

ผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิ

เก็บข้อมูลจากแบบประเมิน โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ดังต่อไปนี้

1) ภควัฒน์ บุตรศรี ตำแหน่งอาจารย์ สาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

2) ราเชนทร์ สุขม่วง ตำแหน่งอาจารย์ สาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

3) พระครูสมุห์สุวิทย์ กลฺยาณธมฺโม ตำแหน่งผู้ดูแลและและวิทยากรบรรยายด้านวัฒนธรรมประเพณี หอวัฒนธรรมจังหวัดพะเยา

เก็บข้อมูลจากบุคคลทั่วไปที่มีอายุ 18–25 ปี ที่ท่องเที่ยวอยู่บริเวณบริเวณกว๊านพะเยา จำนวน 30 คน เพื่อประเมินความพึงพอใจจากรูปแบบคอนเซ็ปต์เกม

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลของการออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา ผู้วิจัยได้ทำเป็นขั้นตอน ดังนี้

1.การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับอัตลักษณ์ของประเพณีในจังหวัดพะเยา เพื่อนำไปสู่กระบวนการออกแบบที่ถูกลดทอนรายละเอียดจากสถานที่จริง มีความทันสมัย เข้าถึงง่าย

2. การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสำรวจครั้งที่ 1 โดยกลุ่มตัวอย่างผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ จำนวน 2 คนและผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประเพณีของพะเยา จำนวน 1 คน เพื่อหาจุดอ่อนของการออกแบบ โดยมีภาพคอนเซปต์อาร์ต 14 ภาพ และวิดีโอ 7 วิดีโอ และสรุปผลนำไปรับปรุงแก้ไข

3. การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสำรวจครั้งที่ 2 โดยสำรวจจากกลุ่มตัวอย่างจากนักท่องเที่ยวบริเวณกว๊านพะเยา ช่วงอายุ 18–25 ปี จำนวน 30 คน ได้มาจากการสุ่มแบบง่าย ในแบบสอบถามประกอบไปด้วยการประเมินความพึงพอใจ 4 ส่วนในการออกแบบคอนเซ็ปต์เกมโดยประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของงานวิจัย ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 3 ผลงานการออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา โดยมีภาพคอนเซปต์อาร์ต 14 ภาพและ 7 วิดีโอ ส่วนที่ 4 ความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อการออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา

4. สรุปผลการออกแบบและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการศึกษา

ผลจากการวิจัยเรื่องการออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา โดยผู้วิจัยได้แบ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละขั้นตอนดังนี้

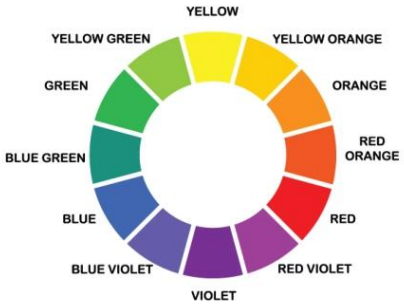
1. การวิเคราะห์แนวความคิดในการออกแบบ

เพื่อการนำไปสู่กระบวนการออกแบบโดยนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาความเป็นมาและเอกลักษณ์ของแต่ละประเพณี มาวิเคราะห์และออกแบบใหม่ให้มีความทันสมัย เข้าถึงได้ง่าย เป็นแนวทางในการอนุรักษณ์วัฒนธรรมประเพณีรูปแบบหนึ่ง การอนุรักษ์หรือรำรงมรดกทางวัฒนธรรมคือการที่คนรุ่นหลัง ควรตระหนักและเห็นถึงความสำคัญของสิ่งที่

บรรพบุรุษได้สร้างขึ้น โดยการอนุรักษ์นั้นจะทำในเชิงปฏิบัติ คือการดูแลรักษาและการสืบสวนวัฒนธรรมนั้น ๆ ไม่ให้หายไป ซึ่งการอนุรักษ์หรือการรำรงวัฒนธรรม เป็นเหมือนเครื่องช่วยยึดเหนี่ยวจิตใจ ทำให้เกิดการหวงแหนในมรดกทางวัฒนธรรมของตน ก่อให้เกิด เป็นความรักและความผูกพัน รวมทั้งยังส่งเสริมให้เกิดความสามัคคีอีกด้วย (บุญสม ยอดมาลี, การสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์ ปรับปรนและเห็นคุณค่ามรดกทางวัฒนธรรม, (มหาสารคาม: สถาบันวิจัยศิลปะและวัฒนธรรมอีสาน, 2558), หน้า 68)

โดยจะมีการใช้ตัวละครสไตล์ Chibi หรือตัวละครสไตล์ SD (Super Deform) ตัวละคร Chibi เป็นตัวละครที่มีลักษณะเกินจริง มีสัดส่วนที่เป็นเอกลักษณ์ไม่ว่าจะ หัวโต ตาโต ตัวเล็กและอื่นๆ สัดส่วนมาตรฐานของคนที่ปกติจะมีสัดส่วนอยู่ที่ 6–7 ช่วงศีรษะเป็นพื้นฐาน แต่ตัวละคร Chibi จะเหลือสัดส่วน 2–4 ช่วงศีรษะ ตัวละครที่มีลักษณะเกินจริงเหล่านี้มักจะถูกย่อส่วนให้มีขนาดเท่ากับเด็กตัวเล็กและมักจะมีอารมณ์ของใบหน้าที่ชัดเจน ซึ่งจุดประสงค์หลักในการใช้สัดส่วนเหล่านี้คือการสร้างความน่ารักที่เกินจริงให้กับตัวละคร

สี (color) หมายถึงลักษณะแสงสว่างปรากฏแก่สายตาให้เห็นเป็นสีขาว ดำ แดง เขียว เป็นต้น นอกจากนี้สีแต่ละสียังเป็นสื่อเร้าให้เกิดความรู้สึกทางด้านอารมณ์ให้แตกต่างกันอีกด้วย (ราชบัณฑิตสถาน, 2546) การใช้สีกับงานออกแบบนั้น อยู่ที่นักออกแบบมีจุดมุ่งหมายใด ที่จะสร้างความสนใจ ความเร้าใจต่อผู้ดูเพื่อให้เข้าถึงจุดหมายที่ตนต้องการ หลักของการใช้มีดังนี้ **วงล้อของสี** วงล้อสีเป็นแผนภาพแสดงภาพประกอบของทั้ง 12 สีรอบๆวงกลมเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ของสีแต่ละสี สีที่จัดเรียงไว้ตรงข้ามกัน สีที่อยู่ใกล้กับสีอื่นๆมีลักษณะร่วมกันและมักจับคู่กันดังภาพ



ภาพที่ 2 ภาพโดย aekikuis, 2018, สื่อออนไลน์

2. กระบวนการดำเนินงาน

ผลงานออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา มีภาพคอนเซปต์อาร์ตทั้งหมด 14 ภาพและ 7 วิดีโอ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3 ตัวละครชุดประเพณีเวียนเทียนกลางน้ำในกริยาวิ่ง กระโดดและสไลด์



ภาพที่ 4 ตัวละครชุดประเพณีตานตุงไทลื้อในกริยาต่างๆวิ่ง กระโดดและสไลด์



ภาพที่ 5 ตัวละครชุดไปรเวทในกริยาวิ่ง กระโดดและสไลด์



ภาพที่ 6 หน้าปกของเกม



ภาพที่ 7 ภาพขณะวิ่งของตัวละครในประเพณีตานตุงไทลื้อ



ภาพที่ 8 ภาพภาพขณะวิ่งของตัวละครในของประเพณีตานข้าวทิพย์



ภาพที่ 9 ภาพขณะวิ่งของตัวละครในประเพณีไหว้ผีปู่ย่า



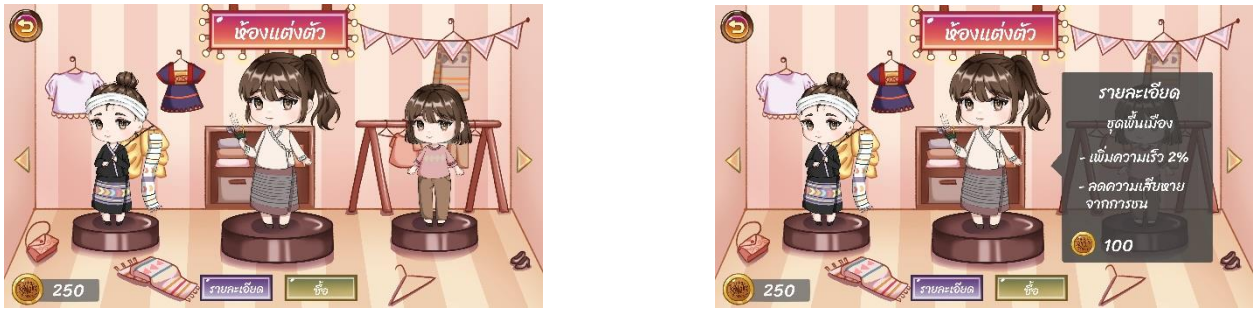
ภาพที่ 10 ภาพขณะกระโดดของตัวละครในประเพณีบวงสรวงพ่อขุนงำเมือง



ภาพที่ 11 ภาพขณะสไลด์ของตัวละครในประเพณีเวียนเทียนกลางน้ำ



ภาพที่ 12 ไอเทมที่ใช้ภายในเกม



ภาพที่ 13 ภาพห้องแต่งตัวของตัวละคร



ภาพที่ 14 ภาพกาอธิบายไอเทอมของเกม



ภาพที่ 14 ภาพวิดีโอประเพณีตานข้าวทิพย์



ภาพที่ 15 ภาพวิดีโอประเพณีตานตุงไทลื้อ



ภาพที่ 16 ภาพวิดีโอประเพณีบวงสรวงพ่อขุนงำเมือง



ภาพที่ 17 ภาพวิดีโอประเพณีไหว้ผีปู่ย่า



ภาพที่ 18 ภาพวิดีโอประเพณีเวียนเทียนกลางน้ำ



ภาพที่ 19 ภาพวิดีโอฉากตัวละครวิ่งประเพณีบวงสรวงพ่อขุนงำเมือง



ภาพที่ 20 ภาพวิดีโอหน้าปกเกม

3. สำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อการออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์มธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา มีดังนี้

ตารางที่ 1 แบบประเมินคุณภาพของ คอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยาจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับประเมินผล
ด้านกราฟิก			
1. สไตล์งานออกแบบและลายเส้นที่ใช้ในงานมีความน่าสนใจ	4.33	0.58	มาก
2. การออกแบบไอเทม	4.33	0.58	มาก
3. การออกแบบฉาก	4.67	0.58	มากที่สุด
4. การนำสีมาใช้ในงานคอนเซปต์อาร์ต	4.67	0.58	มากที่สุด
5. การนำเอกลักษณ์ของประเพณีจังหวัดพะเยามาประยุกต์ใช้ในงาน	5.00	0.00	มากที่สุด
ด้านโมชั่นกราฟิก			
1. สื่อ Animation มีความน่าสนใจ	4.00	1.00	มาก
2. การจัดวางองค์ประกอบของ Animation	3.67	0.58	มาก
3. การเคลื่อนไหวของตัวละครและสิ่งของประกอบฉาก	3.00	1.00	ปานกลาง
4. เสียง เพลงและดนตรีประกอบ	3.67	0.58	มาก
5. ตัวอักษรที่ใช้ในสื่อ Animation มีความเหมาะสม	3.33	0.58	ปานกลาง
ด้านเนื้อหา			
1. สื่อ Animation ได้ถ่ายทอดข้อมูลของประเพณีให้เข้าใจง่ายขึ้น	3.33	1.15	ปานกลาง
2. เนื้อเรื่องและการวางโครงเรื่อง (story)	3.33	0.58	ปานกลาง
3. เทคนิคที่ใช้ในการสร้างผลงาน	3.67	0.58	มาก
4. ความคิดสร้างสรรค์	4.33	0.58	มาก
5. ภาพโดยรวมของผลงาน	4.00	0.58	มาก
รวมทั้งหมด	3.96	0.82	มาก

จากตารางที่ 1 พบว่าความพึงพอใจในคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยาดังนี้

1. ด้านกราฟิก สไตล์งานออกแบบและลายเส้นที่ใช้ในงานมีความน่าสนใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.33, S.D. = 0.58) การออกแบบไอเทมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.33, S.D. = 0.58) การออกแบบฉากอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.58) การนำสีมาใช้ในงานคอนเซปต์อาร์ตอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.58) และการนำเอกลักษณ์ของประเพณีจังหวัดพะเยามาประยุกต์ใช้ในงานอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 5.00, S.D. = 0.00)

2. ด้านโมชั่นกราฟิก สื่อ Animation มีความน่าสนใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.00, S.D. = 1.00) การจัดวางองค์ประกอบของ Animation อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.67, S.D. = 0.58) การเคลื่อนไหวของตัวละครและสิ่งของประกอบฉากอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$ = 3.00, S.D. = 1.00) เสียง เพลงและดนตรีประกอบอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.67, S.D. = 0.58) และตัวอักษรที่ใช้ในสื่อ Animation มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$ = 3.33, S.D. = 0.58)

3. ด้านเนื้อหา สื่อ Animation ได้ถ่ายทอดข้อมูลของประเพณีให้เข้าใจง่ายขึ้นอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$ = 3.33, S.D. = 1.15) เนื้อเรื่องและการวางโครงเรื่อง (story) อยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$ = 3.33, S.D. = 0.58) เทคนิคที่ใช้ในการสร้างผลงานอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.67, S.D. = 0.58) ความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.33, S.D. = 0.58) และภาพโดยรวมของผลงานอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.00, S.D. = 0.58)

ตารางที่ 2 แบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยาของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน

รายการ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับประเมินผล
1. สไตล์งานออกแบบและลายเส้นที่ใช้ในงานมีความน่าสนใจ	4.53	0.57	มากที่สุด
2. การออกแบบไอเทม	4.27	0.69	มาก
3. การออกแบบฉาก	4.67	0.48	มากที่สุด
4. การนำสีมาใช้ในผลงาน	4.40	0.72	มาก
5. สื่อ Animation มีความน่าสนใจ	4.23	0.77	มาก
6. สื่อ Animation ได้ถ่ายทอดข้อมูลของประเพณีให้เข้าใจง่ายขึ้น	4.50	0.57	มาก
7. การเคลื่อนไหวของตัวละครและสิ่งของประกอบฉาก	4.07	0.64	มาก
8. ภาพโดยรวมของผลงาน	4.63	0.56	มากที่สุด
รวม	4.41	0.65	มาก

จากตารางที่ 2 พบว่าความพึงพอใจในคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา ดังนี้

สไตล์งานออกแบบและลายเส้นที่ใช้ในงานมีความน่าสนใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.53, S.D. = 0.57) การออกแบบไอเทมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.27, S.D. = 0.69) การออกแบบฉากอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.48) การนำสีมาใช้ในผลงานอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.40, S.D. = 0.72) สื่อ Animation มีความน่าสนใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.23, S.D. = 0.77) สื่อ Animation ได้ถ่ายทอดข้อมูลของประเพณีให้เข้าใจง่ายขึ้นอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.50, S.D. = 0.57) การเคลื่อนไหวของตัวละครและสิ่งของประกอบฉากอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.07, S.D. = 0.56) และภาพโดยรวมของผลงานอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.63, S.D. = 0.56)

สรุปอภิปรายผล

การศึกษาข้อมูลในการออกแบบ ออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา มีการเก็บข้อมูลโดยการศึกษาประวัติความเป็นมาของประเพณีต่าง ๆ ในจังหวัดพะเยา ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้นำเอาข้อมูลของประเพณีต่าง ๆ มาออกแบบใหม่ให้อยู่ในรูปแบบของคอนเซปต์อาร์ต การออกแบบคอนเซปต์อาร์ตเป็นหัวใจสำคัญของเกม ทำงานโดยการอาศัยบท เค้าโครง หรือคำพูด โดยมีเป้าหมายเพื่อแสดงให้ผู้ชมได้เห็นเรื่องราวต่าง ๆ จากการศึกษาแนวคิดนี้ ทำให้ผู้วิจัยได้ทำการลดทอนรายละเอียดจากสถานที่จริงและดัดแปลงให้อยู่ในรูปแบบคอนเซปต์อาร์ตเกมเป็นภาพการ์ตูนและได้ทำวิดีโอตัวอย่างของเกม เป็นการเลือกเอาจุดเด่นและเอกลักษณ์ของประเพณีต่างๆในจังหวัดพะเยามาออกแบบใหม่ให้เป็นที่น่าจดจำและเข้าใจง่าย และสอดคล้องกับพฤติกรรมการเล่นเกมของคนไทย

ผู้วิจัยได้ออกแบบ คอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา ทั้งนี้เพื่อเป็นการเผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ และเป็นการอนุรักษ์ประเพณีดั้งเดิมอันดีงาม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐกมล ถุงสุวรรณ (2564, หน้า 13) ที่ได้ศึกษาเรื่องการออกแบบกราฟิกสำหรับเกมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมเมืองน่าน พบว่า ความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายที่มีต่องานกราฟิกต้นแบบมีความพึงพอใจในเรื่องของการสื่อสารถึงพื้นที่และสถานที่ ท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมด้วยภาพกราฟิกในเกมในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด จากการศึกษาวิจัยนี้ ทำให้ผู้วิจัยเลือกใช้การเผยแพร่ประเพณีในจังหวัดพะเยาในรูปแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ที่มีเนื้อหาเป็นพื้นที่จริงที่แสดงเอกลักษณ์ของพื้นที่ได้อย่างชัดเจน การสร้างภาพรวมถึงเรื่องราวที่เสริมอารมณ์ของผู้รับชม สามารถถูกลดทอนให้น้อยลงเมื่อเผยแพร่ทางเกม รวมถึงการออกแบบให้มีความร่วมสมัย สามารถดึงดูดใจและกระตุ้นให้เกิดความอยากรู้เกี่ยวกับประเพณีในจังหวัดพะเยา ส่งเสริมให้ผู้ที่ได้รับชมเกิดแรงบันดาลใจจนมาท่องเที่ยวในพื้นที่จริงได้ จึงส่งผลให้ความพึงพอใจมีคุณภาพที่ได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญด้านการนำเอกลักษณ์ของประเพณีต่างๆมาใช้อยู่ในระดับมาก และความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายที่มีต่อภาพคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยาอยู่ในระดับมาก

จากการศึกษาครั้งนี้ช่วยให้พบถึงการสำรวจและศึกษาประวัติความเป็นมาของประเพณีต่าง ๆ ในจังหวัดพะเยาเป็นฐานข้อมูลหลักที่นำมาใช้ในการออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมโดยข้อมูลที่ได้รับมาจากงานวิจัยนี้มีความหลากหลายและเป็นประวัติที่มีความสัมพันธ์กับวัฒนธรรมและประเพณีของพื้นที่ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลประเพณีที่ได้มาแล้วแปลงเป็นคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม การลดทอนรายละเอียดในการออกแบบกราฟิกจากสถานที่จริงและการดัดแปลงให้อยู่ในรูปแบบของคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมได้ช่วยให้ผู้เล่นสามารถเข้าใจได้ง่ายและน่าจดจำ การนำเสนอประเพณีในรูปแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมทำให้ผู้เล่นสามารถเข้าใจและติดตามง่ายขึ้น แนวคิดในการการเผยแพร่นี้สามารถส่งเสริมให้ผู้เล่นมีความสนใจและกระตุ้นให้ต้องการท่องเที่ยวในจังหวัดได้มากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเรื่อง การออกแบบคอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ในการวิจัย คอนเซปต์อาร์ตสำหรับเกมแนวแพลตฟอร์ม ธีมประเพณีของจังหวัดพะเยา ควรพิจารณาถึงการสร้างความสนใจและดึงดูดความสนใจ โดยพิจารณาจาก ความยาวของวิดีโอ การเคลื่อนไหวของตัวละคร ภาพสอดแทรกประกอบวิดีโอ และพัฒนาจนเป็นเกมที่สามารถเล่นได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในครั้งต่อไป

1) ควรคำนึงถึงความหลากหลายของกลุ่มตัวอย่าง เช่น คนจากภูมิภาคอื่นหรือเชื้อชาติและภาษา ให้สามารถเผยแพร่แก่ชาวต่างชาติที่มาท่องเที่ยวในจังหวัดพะเยา ได้รับชมและเข้าใจในประเพณีของจังหวัดพะเยา

2) คำนึงถึงความเหมาะสมของเสียงพากย์ ให้น้ำเสียงมีความนุ่มนวล กระตือรือร้น และเข้ากันกับตัวละคร

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

เอกสารอ้างอิง

Dayin. (2561). รู้จัก “เกม PLATFORM”. สืบค้นเมื่อ 29 มกราคม 2566, จาก https://swsk.ac.th/dayin/archives/65.

Digitiv. (2561). **คู่มือฉบับสมบูรณ์สำหรับสีในการออกแบบ: ความหมายของสี ทฤษฎีสีและอื่น ๆ**. สืบค้นเมื่อ 31 มกราคม 2566, จาก https://www.shutterstock.com/th/blog/complete-guide-color-in-design/.

Karla Ortiz. **ทำให้ไอเดียเป็นจริงด้วยคอนเซปต์อาร์ต**. สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2566, จาก https://www.adobe.com/th_th/creativecloud/illustration/discover/concept-art.html

Shiela Larson. **พื้นฐานของสไตล์จิบิ**. สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2566, จาก https://www.adobe.com/th_th/creativecloud/illustration/discover/chibi-characters.html.

นางสาวจารุณี ทองอร่ามและคณะ. (2563). **การพัฒนาเกมเพื่อส่งเสริมการรับรู้อัตลักษณ์จังหวัดชัยนาทบนสมาร์ทโฟน.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.

ชลาทิพย์. (2566). **ตลาดเกมออนไลน์บูมต่อเนื่อง โอกาสแบรนด์ทำการตลาดผ่านธุรกิจเกม**. สืบค้นเมื่อ 12 ตุลาคม 2566, จาก https://workpointtoday.com/game-online-survey-grow-in-thailand/.

ณัฐกมล ถุงสุวรรณ. (2564). **การออกแบบกราฟิกสำหรับเกมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมเมืองน่าน.** วิทยานิพนธ์ศป.ด., มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพมหานคร. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2566, จาก http://dspace.spu.ac.th/handle/123456789/7836.

ณปภัช วรรณตรงและคณะ. (2561). **การพัฒนาต้นแบบสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์ เกมคอมพิวเตอร์เพื่อส่งเสริมประเพณีและวัฒนธรรมไทย.** สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2566, ปร.ด., มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, บุรีรัมย์.

รัตนพงษ์ ธำรงทอง. (2564). **มหาวิทยาลัยพะเยาร่วมงานบวงสรวงพ่อขุนงำเมือง**. สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2566, จาก https://www.up.ac.th/TH/NewsRead.aspx?itemID=23515.

สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดพะเยา. **ประเพณีตานตุงไทลื้อ**. สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2566, จาก https://phayao.m-culture.go.th/th/db_23_phayao_32.

การออกแบบและสร้างสรรค์แบบจำลอง 3 มิติจากพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา

Creative design 3 models from the Chom Thong Pagoda in Phayao Province

จุฑานาถ ธรรมสาร[1*] และ จิรวัฒน์ สุขแก้ว

Juthanart Thammasarn[1*] and Jirawat Sookkaew[2*]

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างสรรค์แบบจำลอง 3 มิติจากพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา มีแนวคิดศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ ประวัติ ความเชื่อ เรื่องเล่าเกี่ยวกับวัดพระธาตุจอมทองและองค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษานั้นนำมาใช้ในการออกแบบสร้างสรรค์และนำเสนอแบบจำลองจากพระธาตุจอมทอง โดยใช้แนวคิดการนำแนวภาพแบบ Stylized มาใช้ในการออกแบบที่เกินจากความเป็นจริงเพิ่มเติมจินตนาการเข้าไปในตัวแบบจำลองโดยลดทอนรายละเอียดเลือกจุดเด่นของสถานที่มาใช้ในการออกแบบและสร้างสรรค์มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างสรรค์แบบจำลอง 3 มิติสำหรับส่งเสริมการท่องเที่ยววัดพระธาตุจอมทอง และสร้างสรรค์สื่อในรูปแบบสื่อดิจิทัล ในการวิจัยนี้มีผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านที่มีความเชี่ยวชาญด้านการสร้างสรรค์สื่อมัลติมีเดียและข้อมูลด้านประวัติศาสตร์ของพระธาตุจอมทอง และประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาเที่ยวที่พระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาจำนวน 40 คนที่ได้มาจากเลือกการสุ่ม ผลการวิจัยพบว่าผลการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่านที่มีต่อแบบจำลองพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา ในภาพรวมทั้งหมดอยู่ในระดับมาก ผลจากการประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างอยู่ในระดับมากที่สุด โดยการสร้างสรรค์สื่อในรูปแบบ 3 มิติของพระธาตุจอมทองนี้เป็นแนวทางการสร้างสรรค์โดยการนำเอามูลค่าทางวัฒนธรรมของชุมชนมาสร้างสรรค์ให้เกิดสื่อด้วยเทคโนโลยีมัลติมีเดียที่มีความนิยมและเข้าถึงกลุ่มบุคคลมากขึ้นในปัจจุบัน

คำสำคัญ: พระธาตุจอมทอง, แบบจำลอง 3 มิติ,การสร้างสรรค์, การออกแบบงาน 3 มิติ

---

[1] หลักสูตรศิลปกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] สาขาวิชาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Bachelor of Fine and Applied Arts (Computer Graphics and Multimedia), School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Computer Graphics and Multimedia, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: juthanart.tms@gmail.com

Abstract

The research on the design and creation of a 3D model from Chom Thong Pagoda in Phayao Province, The various components of Chom Thong temple, were studied to utilize the gathered information in the creative design and presentation of a 3D model. The design incorporated the concept of Stylized art to go beyond reality, adding imaginative elements to the model by reducing details and selecting key features of the location.The objective was to design and create a 3D model to promote cultural tourism. The model was designed using the Stylized approach, aiming to exceed reality and enhance the viewer's imagination. The purpose was to design and create a 3D model to promote tourism at Chom Thong Pagoda.The research involved three experts specializing in multimedia creation and historians familiar with the history of Chom Thong Pagoda. The satisfaction of the model was evaluated through a sample group of 40 randomly selected tourists who visited. The overall quality assessment from the experts was found to be high. The satisfaction level from the sample group, which consisted of general tourists visiting Chom Thong temple, was also at the highest level. The research demonstrated that the use of cultural values in multimedia creation and the 3D model creation process was beneficial in connecting people and creating diverse and memorable experiences. The creation of media in a 3D format for Chom Thong Pagoda serves as a creative guideline by incorporating cultural values to create media through popular multimedia technology, making it more accessible to a wider audience in the present era.

Keywords: Chom Thong Pagoda,3D model, Creative, 3D creation

บทนำ

ในปัจจุบันพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาหนึ่งในแหล่งมรดกทางวัฒนธรรมของจังหวัดพะเยามีการพัฒนาสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ภายในพระธาตุเพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยวเพื่อเยี่ยมชมพระธาตุมากขึ้นเพื่อเสริมสร้างรายได้ให้ผู้คนภายในชุมชน ถึงแม้ปัจจุบันนักท่องเที่ยวจะเพิ่มขึ้นแต่พระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยายังคงไม่เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวาง ซึ่งพิพิธภัณฑ์และแหล่งมรดกทางวัฒนธรรมหลายแห่งก็ประสบปัญหานักท่องเที่ยวที่ลดลงเป็นจำนวนมาก พิพิธภัณฑ์และแหล่งมรดกทางวัฒนธรรมหลายแห่งทั่วโลกจึงปรับตัวด้วยการหันเข้าหารูปแบบดิจิทัลและออนไลน์เพื่อให้ผู้ชมและผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้อย่างต่อเนื่องจากวัตถุและสถานที่อันเป็นมรดกทางวัฒนธรรมอีกทั้งยังเพิ่มรูปแบบการนำเสนอออนไลน์ผ่านการเข้าชมแบบเสมือนจริง (หัทยา, 2566)

เทคโนโลยีการสร้างภาพเสมือนในปัจจุบันมีความก้าวหน้าขึ้นอย่างมากเราสามารถจำลองสิ่งต่าง ๆ เข้ามาอยู่ในจอภาพได้ ด้วยประสิทธิภาพของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และโปรแกรม 3 มิติ ที่มีมากมายทำให้ปัจจุบันการสร้างแบบจำลอง 3 มิติมีความนิยมอย่างแพร่หลายในทุก ๆ อุตสาหกรรม การสร้างแบบจำลอง 3 มิติมีความสำคัญมากในปัจจุบันเนื่องจากงาน 3 มิติมีส่วนเกี่ยวข้องกับแทบทุกวงการ ไม่ว่าจะเป็นภาพยนตร์ การ์ตูน เกม โฆษณา สถาปัตยกรรม การศึกษา หรือกระทั่งการแพทย์ เพราะการรับรู้ของมนุษย์นั้นเป็นแบบ 3 มิติ ทั้งความกว้าง ความยาว ความลึก ดังนั้นการนำเสนอสื่อต่าง ๆ แบบ 3 มิติจะช่วยให้มีความน่าสนใจมีความสมจริงทำให้ผู้ชมเห็น ภาพรวมได้ง่ายสามารถเข้าใจคล้อยตามได้ดีมากขึ้นเมื่อเทียบกับงาน 2 มิติ

พระธาตุจอมทองเป็นอีกหนึ่งโบราณสถานที่สำคัญสวยงามและศักดิ์สิทธิ์ของจังหวัดพะเยาวัดสำคัญที่ประดิษฐานพระธาตุจอมทองปูชนียสถานที่อยู่คู่เมืองพะเยามาแต่โบราณกาลเป็นที่เคารพสักการะของชาวเมืองพะเยามาแต่โบราณ พระธาตุจอมทองเป็นเจดีย์ทรงล้านนาสูง 30 เมตรตั้งอยู่บนฐานสี่เหลี่ยม จัตุรัสกว้าง 9 เมตร ซ้อนกันสามชั้น รองรับองค์ระฆัง ส่วนยอดสุดเป็นฉัตรสีทองฐานโดยรอบข้างล่างบุด้วยแผ่นโลหะ ดุนลายเป็นรูป 12 นักษัตรและลายไทยอันงดงาม พระธาตุองค์นี้ไม่มีหลักฐานปรากฏชัดเจนว่าสร้างตั้งแต่สมัยใด

ดังนั้นจึงมีแนวคิดศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ ประวัติ ความเชื่อ เรื่องเล่าเกี่ยวกับวัดพระธาตุจอมทองและองค์ประกอบต่าง ๆ ในวัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษานั้นนำมาใช้ในการออกแบบสร้างสรรค์และนำเสนอแบบจำลองจากพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาซึ่งออกแบบโดยใช้แนวคิดการเพิ่มเติมจินตนาการการเข้าไปในแบบจำลองซึ่งเป็นงานรูปแบบ Stylized (ทันสมัย เกินจริง) ซึ่งรูปแบบของงานจะมีความเกินจริงทำให้ส่งเสริมการจินตนาการผู้ออกแบบมากขึ้น โดยผู้วิจัยได้ออกแบบตัวงานให้มีความน่ารัก บรรยากาศภายในงานมีความสดใส เน้นสีโทนเย็นทำให้รู้สึกสบายตา ในการออกแบบได้ลดทอนรายละเอียดของสถานที่จริงเลือกจุดเด่นและสำคัญของสถานที่มาใช้ในการออกแบบและสร้างสรรค์ ซึ่งการออกแบบงานในรูปแบบ Stylized (ทันสมัย เกินจริง) นั้นทำให้แบบจำลองเป็นที่จดจำได้ง่ายมีความดึงดูด มีเอกลักษณ์ และมีความน่าสนใจ ผู้ชมสามารถจินตนาการต่อเนื่องไปจากตัวภาพได้เพื่อส่งเสริมการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวจังหวัดพะเยาผ่านระบบออนไลน์เพื่อเข้าถึงผู้ชมได้มากขึ้น ข้อมูลที่นำเสนอมีทั้งในรูปแบบภาพนิ่ง ข้อความ และสื่อมัลติมีเดียที่สามารถแสดงผลได้กับอุปกรณ์ทุกประเภท เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ แท็บแลต โดยทำการถ่ายทอดประวัติโดยย่อ และองค์ประกอบภายในพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา นอกจากนี้ยังสามารถนำแบบจำลองพระธาตุจอมทองนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานประเภทอื่น ๆ ได้อีกมากมายทั้งการทำโปสเตอร์ วิดีโอ เกม อนิเมชั่นและอื่น ๆ อีกมากมายซึ่งสื่อเหล่านี้สามารถช่วยประชาสัมพันธ์พระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาให้เป็นที่รู้จักมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างสรรค์แบบจำลอง 3 มิติสำหรับส่งเสริมการท่องเที่ยววัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ชมที่มีต่อแบบจำลอง 3 มิติพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา

วิธีการศึกษา

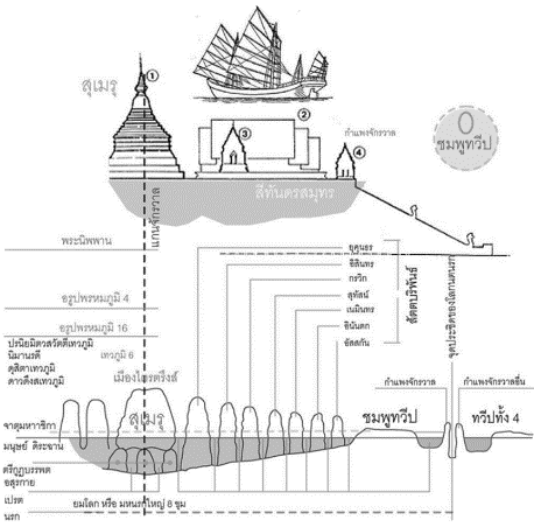
ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยออกแบบและสร้างสรรค์แบบจำลอง 3 มิติสำหรับส่งเสริมการท่องเที่ยววัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยามีแนวความคิดดังนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

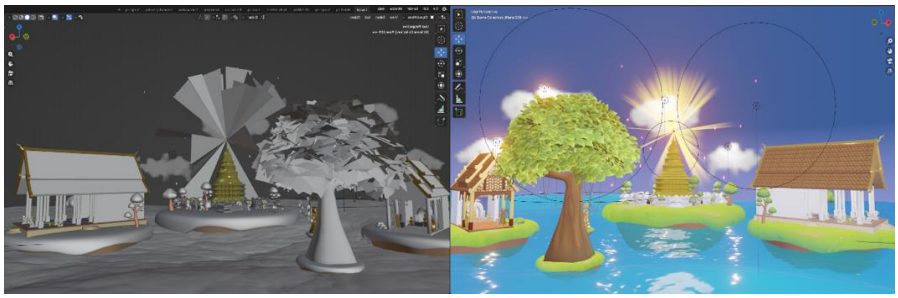
1. ศึกษาประวัติความเป็นมาของพระธาตุจอมทองจังหวัดพะเยา และองค์ประกอบภายในวัดพระธาตุจอมทอง โดยศึกษาจากข้อมูลภายในวัดและสังเกตรูปลักษณ์ภายนอกของพระธาตุและนำข้อมูลที่ศึกและการสังเกตมา พบว่าพระธาตุสูง 30 เมตรตั้งอยู่บนฐานสี่เหลี่ยม จัตุรัสกว้าง 9 เมตร ซ้อนกันสามชั้น รองรับองค์ระฆัง ส่วนยอดสุดเป็นฉัตรสีทองฐานโดยรอบข้างล่าง ภายในวัดยังประกอบด้วย พระธาตุ พระวิหาร วิหารพระเจ้าทันใจ ต้นศรีหรือต้นโพธิ์ และต้นจุมปาลาว

2. ศึกษาการออกแบบผังวัดพระธาตุของศิลปินชาวล้านนาซึ่งใช้แนวคิดและความเชื่อทางพุทธศาสนาเรื่องของคติจักรวาลในงานพุทธสถาปัตยกรรมล้านนาซึ่งมีแนวคิดที่ว่าการสร้างเจดีย์แทนความหมายของเขาพระสุเมรุซึ่งเป็นศูนย์กลางจักรวาลล้อมรอบด้วยมหาสมุทรสีทันดร จึงนำข้อมูลนี้มาใช้ในการออกแบบแบบจำลองพระธาตุจอมทอง โดยจัดวางองค์ประกอบทั้งหมดของพระธาตุจอมทองจังหวัดพะเยารวมกันไว้ตรงกลางและล้อมรอบด้วยมหาสมุทรสีทันดร



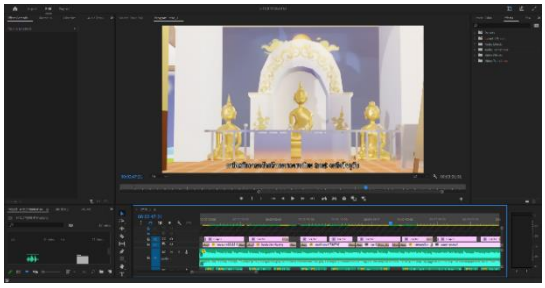
ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงแนวคิด การก่อรูปของ “วิหารบีบ” อันสมมุติได้ดัง “สำเภาปราสาท” ที่ลอยอยู่บนสีทันดรสมุทรมุ่งสู่เขา พระสุเมรุในแผนภาพจักรวาล (เจษฎา สุภาศรี, 2558)

3. เมื่อนำข้อมูลที่ศึกษามาทั้งหมดมาออกแบบจึงเริ่มสร้างเป็นแบบจำลองพระธาตุจอมทอง โดยใช้โปรแกรม Blender ในการทำงาน เริ่มจากการออกแบบการจัดวางองค์ประกอบทั้งหมดซึ่งอ้างอิงจากสถานที่จริง จากนั้นจึงสร้างแบบจำลองแต่ละองค์ประกอบและนำทั้งหมดมาจัดวางรวมกันตามที่ได้ออกแบบไว้



ภาพที่ 3 รูปแสดงแบบจำลองพระธาตุจอมทองจังหวัดพะเยาภายในโปรแกรม Blender

4. จัดทำสื่อดิจิทัลเพื่อนำเสนอแบบจำลองและข้อมูลประวัติพระธาตุจอมทอง ออกเผยแพร่และทำการหาค่าความพึงพอใจต่อสื่อดิจิทัล โดยการนำวิดีโอและภาพนิ่งของแบบจำลองพระธาตุจอมทองจากโปรแกรม Blender มาใช้ในการตัดต่อนำเสนอเนื้อหาประวัติพระธาตุจอมทองแบบย่อ และองค์ประกอบต่างๆภายในพระธาตุจอมทอง พร้อมทั้งเพิ่มเสียงบทและคำบรรยาย ดนตรีประกอบ



ภาพที่ 4 แสดงกระบวนการตัดต่อวิดีโอของชิ้นงาน

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรประกอบด้วย 2 กลุ่มคือ ประกอบด้วย 1)ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบกราฟิกมัลติมีเดีย , ผู้เชี่ยวชาญและให้ความรู้เกี่ยวข้องกับพระธาตุจอมทองจังหวัดพะเยา 2) นักท่องเที่ยวที่เดินทางมาเที่ยววัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา

2. กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย 1)ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบกราฟิกมัลติมีเดียจำนวน 2 ท่าน , ผู้เชี่ยวชาญและให้ความรู้เกี่ยวข้องกับพระธาตุจอมทองจังหวัดพะเยาจำนวน 1 ท่าน 2) นักท่องเที่ยวที่เดินทางมาเที่ยววัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา จำนวน 40 คน ได้มาจากการสุ่มแบบง่าย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. แบบประเมินคุณภาพ เป็นคำถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) คือ เหมาะสมมากที่สุด เหมาะสมมาก เหมาะสมปาน กลาง เหมาะสมน้อย และเหมาะสมน้อยที่สุดแบ่งเป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 แบบประเมินคุณภาพชิ้นงานโดยมีผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบงานกราฟิกและผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบงานโมเดล 3 มิติ จำนวน 2 ท่าน และ ผู้เชี่ยวชาญและให้ความรู้เกี่ยวข้องกับพระธาตุจอมทองจังหวัดพะเยาจำนวน 1 ท่าน

ตอนที่ 2 แบบสอบถามปลายเปิดเกี่ยวกับข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อแบบจำลองพระธาตุจอมทองจังหวัดพะเยาในรูปแบบแฟนตาซี

2. แบบประเมินความพึงพอใจ การประเมินความพึงพอใจเป็นคำถามมาตราส่วนประมาณ ค่า 5 ระดับ (Rating Scale) คือ ความพึงพอใจมากที่สุด ความพึงพอใจมาก ความพึงพอใจปานกลาง ความพึงพอใจน้อย และความพึงพอใจน้อยที่สุด

ตอนที่ 1 แบบประเมินความพึงพอใจชิ้นงานโดยกลุ่มตัวอย่างนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาเที่ยววัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา จำนวน 40 คนเป็นผู้ประเมิน

ตอนที่ 2 แบบสอบถามปลายเปิดเกี่ยวกับข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อแบบจำลองพระธาตุจอมทองจังหวัดพะเยาในรูปแบบแฟนตาซี

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้วิธีการเก็บข้อมูลจากจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านได้แก่

1. พระครูสมุห์สุวิทย์ กลฺยาณธมฺโม ตำแหน่ง ผู้ดูแล ผู้บรรยาย หอวัฒนธรรมนิทัศน์ วัดศรีโคมคำ
2. เกวลิน ไชยชนะ ตำแหน่ง Production Manager ProGaming Co.,Ltd.
3. ไอลดา ชยางศุ ตำแหน่ง Creative Designer ProGaming Co.,Ltd

กลุ่มตัวอย่างจากนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาเที่ยววัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา จำนวน 40 คนผู้วิจัยนำแบบสอบถามเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ตอนได้แก่ (1) การวิเคราะห์คุณภาพชิ้นงานด้านเนื้อหา ด้านมัลติมีเดีย ด้านการออกแบบแบบจำลอง 3 มิติโดยผู้เชี่ยวชาญ (2) วิเคราะห์ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างหลังรับชมแบบจำลอง 3 มิติโดยผู้วิจัยได้วางกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. การวิเคราะห์คุณภาพชิ้นงานด้านเนื้อหา ด้านมัลติมีเดีย ด้านการออกแบบแบบจำลอง 3 มิติจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านโดยมีผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา ด้านมัลติมีเดีย ด้านการออกแบบแบบจำลอง 3 มิติด้านละ 1 ท่าน ด้วยการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากนั้นนำค่าเฉลี่ยมาแปลความหมายเป็นคุณภาพจากเกณฑ์ ดังนี้

1.00 –1.50 ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด
1.51 –2.0 ระดับความพึงพอใจน้อย
2.51 –3.50 ระดับความพึงพอใจปานกลาง
3.51–4.50 ระดับความพึงพอใจมาก
4.51–5.00 ระดับความพึงพอใจมากที่สุด

2. วิเคราะห์ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างหลังรับชมแบบจำลอง 3 มิติ

2.1 ตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้องของแบบสอบถามทุกฉบับ

2.2 วิเคราะห์สถานภาพของผู้ตอบแบบสอบโดยแยกข้อมูลตามเพศและอายุ

2.3 วิเคราะห์ความพึงพอใจด้วยการหาค่าคะแนนร้อยละ จากนั้นคิดหาค่าเฉลี่ยและนำแปลความหมายเป็นระดับความพึงพอใจจากเกณฑ์ ดังนี้

1.00 –1.50 ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด
1.51 –2.0 ระดับความพึงพอใจน้อย
2.51 –3.50 ระดับความพึงพอใจปานกลาง
3.51–4.50 ระดับความพึงพอใจมาก
4.51–5.00 ระดับความพึงพอใจมากที่สุด

2.4 วิเคราะห์ความพึงพอใจต่อแบบจำลองพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาในรูปแบบแฟนตาซีของกลุ่มตัวอย่างนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาเที่ยววัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา จากข้อเสนอและข้อคิดเห็นโดยวิเคราะห์ข้อความแล้วนำเรียงลำดับความถี่

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการประมวลผล และ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ โดยใช้สถิติ ดังต่อไปนี้

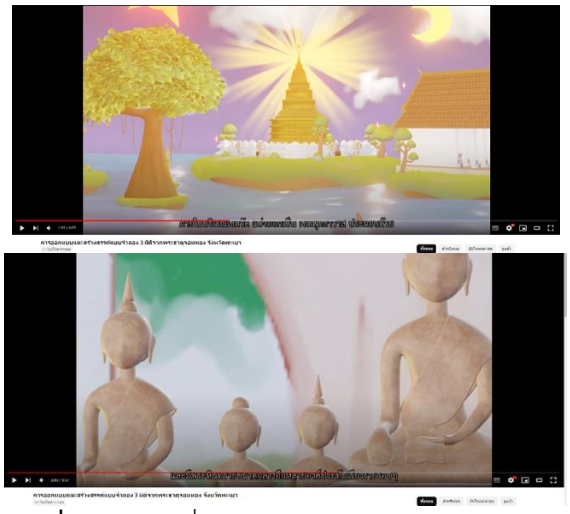
1 ค่าคะแนนร้อยละ

2 ค่าคะแนนเฉลี่ย(Mean)

3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation)

ผลการศึกษา

1. ผลการออกแบบและสร้างสรรค์แบบจำลองจากพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาจากพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาที่มีลักษณะในการนำเสนอในรูปแบบสื่อดิจิทัลมีเนื้อหาเกี่ยวกับองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในวัดและประวัติโดยย่อของวัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาทำให้ผู้ชมสามารถเข้าถึงได้มากขึ้น สามารถรับชมผ่านทางสามารถเข้าไปดูได้ตาม รหัสคิวอาร์ ตามตัวอย่างดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างสื่อดิจิทัลแบบจำลองพระธาตุจอมทอง

2. ผลการประเมินคุณภาพของสื่อดิจิทัลแบบจำลอง 3 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา ด้านมัลติมีเดีย และด้านการออกแบบแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งได้แบ่งระดับการประเมินออกเป็น 5 ระดับทั้งหมด 3 ด้านรวม 16 ข้อ ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพของสื่อดิจิทัลแบบจำลอง 3 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านที่ประเมินแบบจำลอง 3 มิติพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D	ระดับผลการประเมิน
1. ด้านเนื้อหา			
1.1 เนื้อหาการนำเสนอน่าสนใจ	4.33	0.58	มาก
1.2 เนื้อหามีความถูกต้อง	4.33	0.58	มาก
1.3 ลำดับขั้นตอนการนำเสนอเนื้อหาเหมาะสม	4.33	0.58	มาก
1.4 ใช้ภาษาที่สื่อความหมายได้ชัดเจน	4.33	0.58	มาก
1.5 ความน่าสนใจของเนื้อหา	3.67	1.15	มาก
รวม	4.2	0.69	มาก
2. ด้านมัลติมีเดีย			
2.1 ความเหมาะสมของมุมกล้อง	3.67	0.58	มาก
2.2 ความต่อเนื่องในการนำเสนอ	4.33	0.58	มาก
2.3 การสื่อสารด้วยภาพสอดคล้องกับเนื้อหา	4	0	มาก
2.4 เสียงบรรยายและดนตรีประกอบ	4	1	มาก
2.5 ระยะเวลาในการนำเสนอ	4.33	0.58	มาก
2.6 ภาพโดยรวมของผลงาน	4.33	0.58	มาก
รวม	4.11	0.55	มาก
3. ด้านแบบจำลอง			
3.1 ความสวยงามและน่าสนใจ	4.33	0.58	มาก
3.2 ความคิดสร้างสรรค์	4.67	0.58	มากที่สุด
3.3 ความมีเอกลักษณ์เฉพาะตนของผลงาน	4.33	0.58	มาก
3.4 เทคนิคที่ใช้ในการสร้างผลงาน	4.33	0.58	มาก
3.5 สามารถถ่ายทอดถึงพระธาตุจอมทองได้	4.67	0.58	มากที่สุด
รวม	4.46	0	มาก
รวมทั้งหมด	4.32	0.6	มาก

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพแบบจำลองพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา ด้านเนื้อหาในภาพรวมระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.2) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า รายการประเมินทั้งหมด 5 ข้ออยู่ในระดับมาก ได้แก่ เนื้อหาการนำเสนอน่าสนใจ ($\bar{x}$ = 4.33) เนื้อหามีความถูกต้อง ($\bar{x}$ = 4.33) ลำดับขั้นตอนการนำเสนอเนื้อหาเหมาะสม ($\bar{x}$ = 4.33) ใช้ภาษาที่สื่อความหมายได้ชัดเจน ($\bar{x}$ = 4.33) ความน่าสนใจของเนื้อหา ($\bar{x}$ = 3.67)

ส่วนการประเมินคุณภาพแบบจำลองพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาด้านมัลติมีเดียในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.11) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า รายการประเมินทั้งหมด 6 ข้ออยู่ในระดับมาก ได้แก่ ความเหมาะสมของมุมกล้อง ($\bar{x}$ = 3.67) ความต่อเนื่องในการนำเสนอ ($\bar{x}$ = 4.33) การสื่อสารด้วยภาพสอดคล้องกับเนื้อหา ($\bar{x}$ = 4) เสียงบรรยายและดนตรีประกอบ($\bar{x}$ = 4) ระยะเวลาในการนำเสนอ ($\bar{x}$ = 4.33) ภาพโดยรวมของผลงาน ($\bar{x}$ = 4.33)

สำหรับการประเมินคุณภาพแบบจำลองพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาด้านแบบจำลองในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.46) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า รายการประเมิน 2 ข้ออยู่ในระดับมากที่สุด ได้แก่ ความคิดสร้างสรรค์ ($\bar{x}$ = 4.67) สามารถถ่ายทอดถึงพระธาตุจอมทองได้ ($\bar{x}$ = 4.67) ส่วนระดับมาก ได้แก่ ความสวยงามและน่าสนใจ ($\bar{x}$ = 4.33) ความมีเอกลักษณ์เฉพาะตนของผลงาน ($\bar{x}$ = 4.33) เทคนิคที่ใช้ในการสร้างผลงาน ($\bar{x}$ = 4.33)

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาเที่ยววัดพระธาตุจอมทองที่มีต่อแบบจำลอง 3 มิติ พระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาซึ่งได้แบ่งระดับการประเมินออกเป็น 5 ระดับทั้งหมด 10 ข้อได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาเที่ยววัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา

รายการประเมิน	ร้อยละ					$\bar{x}$	ระดับความพึงพอใจ
	มากที่สุด 5	มาก 4	ปานกลาง 3	น้อย 2	น้อยที่สุด 1		
1. ความคิดสร้างสรรค์	24 (60)	15 (37.5)	1 (2.5)	0	0	4.58	มากที่สุด
2. การสื่อสารด้วยภาพสอดคล้องกับเนื้อหา	24 (60)	15 (37.5)	1 (2.5)	0	0	4.58	มากที่สุด
3. ลำดับขั้นตอนการนำเสนอเนื้อหา	20 (50)	18 (45)	2 (5)	0	0	4.45	มาก
4. ใช้ภาษาที่สื่อความหมายได้จัดเจน	20 (50)	18 (45)	2 (5)	0	0	4.45	มาก
5. ความน่าสนใจของเนื้อหา	24 (60)	13 (32.5)	3 (7.5)	0	0	4.53	มากที่สุด
6. ความมีเอกลักษณ์เฉพาะตนของผลงาน	25 (62.5)	12 (30)	3 (7.5)	0	0	4.55	มากที่สุด
7. เสียงบรรยายและดนตรีประกอบ	18 (45)	21 (52.5)	1 (2.5)	0	0	4.43	มาก
8. ระยะเวลาในการนำเสนอ	14 (35)	23 (57.5)	3 (7.5)	0	0	4.28	มาก
9. แบบจำลองมีความสวยงามน่าสนใจ	26 (65)	11 (27.5)	3 (7.5)	0	0	4.58	มากที่สุด

รายการประเมิน	ร้อยละ					$\bar{x}$	ระดับความพึงพอใจ
	มากที่สุด 5	มาก 4	ปานกลาง 3	น้อย 2	น้อยที่สุด 1		
10. สามารถถ่ายทอดถึงพระธาตุจอมทองจังหวัดพะเยา	28 (70)	11 (27.5)	1 (2.5)	0	0	4.68	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยโดยรวม						4.51	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่าความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างต่อแบบจำลองพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า รายการประเมิน 6 ประเด็นอยู่ในระดับมากที่สุด ได้แก่ ความคิดสร้างสรรค์ ($\bar{x}$ = 4.58) การสื่อสารด้วยภาพสอดคล้องกับเนื้อหา ($\bar{x}$ = 4.58) ความน่าสนใจของเนื้อหา ($\bar{x}$ = 4.53) ความมีเอกลักษณ์เฉพาะตนของผลงาน ($\bar{x}$ = 4.55) แบบจำลองมีความสวยงามน่าสนใจ ($\bar{x}$ = 4.58) สามารถถ่ายทอดถึงพระธาตุ ($\bar{x}$ = 4.68) ส่วนระดับมาก ได้แก่ ลำดับขั้นตอนการนำเสนอเนื้อหา ($\bar{x}$ = 4.45) ใช้ภาษาที่สื่อความหมายได้จัดเจน ($\bar{x}$ = 4.45) เสียงบรรยายและดนตรีประกอบ ($\bar{x}$ = 4.43) ระยะเวลาในการนำเสนอ ($\bar{x}$ = 4.28)

อภิปรายและสรุปผล

ในการทำงานวิจัยเรื่อง“การออกแบบและสร้างสรรค์พระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา” ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้มีการศึกษาการออกแบบในรูปแบบต่างๆซึ่งการออกแบบแบบจำลองพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาได้ใช้แนวภาพแบบ Stylized (ทันสมัย เกินจริง) เพื่อการออกแบบพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐกมล ถุงสุวรรณ (2564) ที่กล่าวถึงการออกแบบกราฟิกสำหรับเกมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมเมืองน่าน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่เรื่องราวและวัฒนธรรมต่อคนรุ่นใหม่และจากการศึกษางานวิจัยนี้ค้นพบว่ากลุ่มเป้าหมายมีความพึงพอใจต่อแนวภาพแบบ Stylized (ทันสมัย เกินจริง) อย่างมาก ซึ่งการใช้ภาพรูปแบบนี้จะสามารถส่งเสริมให้ได้ผลงานตามจินตนาการของผู้ออกแบบมากขึ้นรวมทั้งทำให้ผู้ชมเกิดจินตนาการต่อเนื่องไปจากตัวภาพได้ และในประเด็นเรื่องการพัฒนาแบบจำลอง 3 มิติได้ลดทอนลายละเอียดของแบบจำลองลงและเลือกจุดเด่นของวัดพระธาตุมาใช้การออกแบบเท่านั้นเพื่อให้ง่ายต่อผู้ชมในการรับชมแบบจำลองพระธาตุจอมทองจังหวัดพะเยา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปุญญรัตน์ รังสูงเนินและสิริกานต์ ชัยสิทธิ์ (2563) ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนารูปทรง 3 มิติแนวจินตนิมิตสำหรับศึกษาองค์ประกอบเมืองเก่านครราชสีมา โดยในการออกแบบเน้นจินตนาการของผู้ชม เพื่อลดทอนรายละเอียดจากของจริงเป็นการเลือกเอาจุดเด่นมาออกแบบให้เป็นที่น่าจดจำและเข้าใจง่าย จากการศึกษางานวิจัยนี้พบว่ากลุ่มเป้าหมายมีความพึงพอใจมากที่สุดต่อแบบจำลองเมืองเก่านครราชสีมา ซึ่งในการทดสอบประสิทธิภาพสื่อนั้นผลการับรู้ของกลุ่มเป้าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ส่งผลให้ความพึงพอใจต่อการออกแบบและสร้างสรรค์พระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยาได้เป็นอย่างมาก การใช้แบบจำลอง 3 มิติ ในการสร้างพระธาตุจอมทองเป็นการนำเอาเทคโนโลยีมาผสมผสานกับมูลค่าทางวัฒนธรรมที่มีอยู่ในพื้นที่มาร่วมกันเพื่อให้เกิดเป็นสื่อที่ช่วยให้ผู้คนได้ซึมซับและรับรู้ความงามของวัฒนธรรมและศิลปะอันทรงคุณค่าได้มากยิ่งขึ้นจากการบวนการวิจัยและแนวคิดดังกล่าว

ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาแบบจำลอง 3 มิติ สำหรับศึกษาพระธาตุจอมทอง ใช้ข้อมูลอ้างอิงจากลักษณะเด่นของสถาปัตยกรรม ตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวัดพระธาตุจอมทอง โดยผู้วิจัยได้ยึดหลักการออกแบบและพัฒนาในรูปแบบของศิลปะ 3 มิติโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นเครื่องมือหลักในกระบวนการสร้างสรรค์และนำเสนอผลงานผ่านโซเชียลมีเดียเพื่อให้กลุ่มเป้ามีความรู้และเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบของวัดพระธาตุจอมทอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัชฎา ชวรางกูรและสรชัย ชวรางกูร (2565) ได้ศึกษาการพัฒนาสื่อดิจิทัลมรดกทางวัฒนธรรมไทยด้วยแบบจำลอง 3 มิติเชิงสถาปัตยกรรมพระนารายณ์ราชนิเวศน์ในสมัยกรุงศรีอยุธยาและกรุงรัตนโกสินทร์ โดยใช้สื่อดิจิทัลแบบจำลอง 3 มิติเชิงสถาปัตยกรรมพระนารายณ์ราชนิเวศน์ในสมัยกรุงศรีอยุธยาและกรุงรัตนโกสินทร์ ใช้เทคโนโลยี 3 มิติที่ทันสมัยในการนำเสนอเนื้อหาผ่านสื่อมัลติมีเดีย

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การนำมูลค่าทางวัฒนธรรมมาสร้างสรรค์เป็นแนวทางหนึ่งในการเผยแพร่วัฒนธรรมให้เป็นที่รู้จักและเข้าใจได้ง่ายมากขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลสามารถช่วยให้งานสร้างสรรค์มีความน่าสนใจและเข้าถึงผู้คนเพิ่มขึ้นได้ แนวทางนี้สามารถนำไปใช้ในการนำเสนอคุณค่าทางวัฒนธรรมในรูปแบบที่เข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้หลากหลาย โดยเฉพาะกลุ่มคนรุ่นใหม่ที่คุ้นชินกับเทคโนโลยีดิจิทัลและสื่อสมัยใหม่ การผสมผสานระหว่างมูลค่าทางวัฒนธรรมเข้ากับจินตนาการของผู้สร้างสรรค์จะช่วยให้เนื้อหามีความน่าสนใจและน่าติดตามมากขึ้น สามารถเสริมสร้างความรู้สึกร่วมและกระตุ้นให้ผู้รับชมเกิดความเข้าใจและตระหนักถึงคุณค่าทางวัฒนธรรมมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้างสรรค์พระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

ข้อเสนอแนะการนำผลวิจัยไปใช้

ในการวิจัยการออกแบบและสร้างสรรค์พระธาตุจอมทอง ในการนำผลที่ได้ไปใช้ควรพิจารณาถึงลักษณะการออกแบบแบบจำลองว่าแนวภาพแบบ Stylized (ทันสมัย เกินจริง)นั้นเหมาะกับใคร สร้างความน่าสนใจอย่างไรบ้าง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากภายในวิดีโอ ทั้งข้อมูลองค์ประกอบของวัดพระธาตุจอมทอง และประวัติโดยย่อของพระธาตุ รายละเอียดของแบบ จำลองในแต่ละมุมเพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อกับงานประเภทใดได้บ้าง

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในครั้งต่อไป

สำหรับงานวิจัยครั้งต่อไปการออกแบบแบบจำลองควรเพิ่มรายละเอียดการจินตนาการเข้าไปมากขึ้นเพื่อให้แบบจำลองดูมีเรื่องชวนน่าติดตาม และพิจารณาในเรื่องของมุมกล้องและการเปลี่ยนลำดับของภาพและเนื้อหา ว่ามีความเร็วที่เหมาะสมหรือไม่เพื่อให้ผู้ชมได้ทำความเข้าใจในเนื้อหาและภาพประกอบที่กำลังนำเสนอในขณะนั้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาคอมพิวเตอร์กราฟิกและมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา และการสนับสนุนข้อมูลด้านการศึกษาวิจัยจาก วัดพระธาตุจอมทอง จังหวัดพะเยา

เอกสารอ้างอิง

bimspaces. (2565). **ทฤษฎีสี**. สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2566. จาก https://bimspaces.com/blog/color-theory-with-architecture/.

Jalearn. (2563). **การใช้สีในการออกแบบ**. สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2566. จาก https://www.jalearnmedia.com/blog/color-theory/.

FASTWORK. (2566). **ประโยชน์ของ 3D Model**. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2566. จาก https://fastwork.co/blog/the-impact-of-3d-models-in-various-fields/.

กนกกาญจน์ ฟั่นอิ่นแก้ว. (2546). **การรับรู้ทางทัศนศิลป์**. สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2566. จาก https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/create-web/10000/arts/10000-10349.

กุลนิดา เหลือบจำเริญ. **องค์ประกอบศิลป์ (COMPOSITION ART)**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ สกายบุ๊กส์.

ชัชฎา ชวรางกูรและสรชัย ชวรางกูร. (2565). **การพัฒนาสื่อดิจิทัลมรดกทางวัฒนธรรมไทยด้วยแบบจำลอง 3 มิติเชิงสถาปัตยกรรมพระนารายณ์ราชนิเวศน์ในสมัยกรุงศรีอยุธยาและกรุงรัตนโกสินทร์**. วิทยานิพนธ์ ทล.บ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, นนทบุรี.

ณัฐกมล ถุงสุวรรณ. (2564). **การออกแบบกราฟิกสำหรับเกมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมเมืองน่าน**. วิทยานิพนธ์ ศป.ด, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพมหานคร. สืบค้นเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2566. จาก https://so02.tcihaijo.org/index.php/fineartsJournal/article/view/244876/172334.

ปุญญรัตน์ รังสูงเนินและสิริกานต์ ชัยสิทธิ์. (2563). **การออกแบบและพัฒนารูปทรง 3 มิติแนวจินตนิมิตสำหรับศึกษาองค์ประกอบเมืองเก่านครราชสีมา**. วิทยานิพนธ์ ทล.บ,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, นครราชสีมา. สืบค้นเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2566. จาก http://dspace.spu.ac.th/handle/123456789/7836.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2537). **ลักษณะพื้นผิว (Texture)**. สืบค้นเมื่อ 18 มกราคม 2566. จากhttp://www.ideazign.com/port/graphic/content0302_07.

อรวรรณ สิทธิสาร. (2556). **หลักการจัดองค์ประกอบศิลป์**. สืบค้นเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2566. จาก https://www.kroobannok.com/news_file/p43448580831.

อรุษ คุณเขต. (2551). **องค์ประกอบของ Primitives ที่สามารถทำการแก้ไขได้**. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2566. จาก https://arus.camt.cmu.ac.th.

ภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่: กรณีศึกษาชุมชนบ้านตลิ่งแดง ตำบลหนองบัว อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี

Local food wisdom and spatial relationships: A case study of Ban Taling Daeng community, Nong Bua Subdistrict, Mueang Kanchanaburi District Kanchanaburi Province

นพรัตน์ ไชยชนะ[1*], มะรอแซะ เล๊าะ[1], จักษุมาลย์ วงษ์ท้าว[1], สุทิน อ้อนอุบล[1] และ วีระวัฒน์ อุดมทรัพย์[1]
Nobparat Chaichana[1*], Marosaeh Lohlaeh[1], Jaksuman Wongtaw[1], Suthin On-Ubon[1] and Weerawat Udomsap[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพื้นที่เพื่อศึกษาภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ชุมชนบ้านตลิ่งแดง ตำบลหนองบัว อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ ประยุกต์วิธีวิจัยทางมานุษยวิทยา ด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลในชุมชนบ้านตลิ่งแดง ตำบลหนองบัว อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี จากผู้ให้ข้อมูลสำคัญที่ได้มาจากการเลือกกลุ่มตัวอย่างตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้จำนวน 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มผู้นำชุมชน 2) ตัวแทนสมาชิกในชุมชน และ 3) หน่วยงานราชการในชุมชน รวมทั้งสิ้น 15 คน จากนั้นนำข้อมูลมาศึกษาตามวัตถุประสงค์การวิจัย แล้วนำเสนอผลการศึกษาแบบพรรณนาวิเคราะห์

ผลการวิจัยพบว่า ชุมชนบ้านตลิ่งแดงเป็นชุมชนค้าขายตั้งแต่อดีต ที่ตั้งชุมชนบางส่วนติดแม่น้ำแควใหญ่หรือแม่น้ำศรีสวัสดิ์ สภาพดินริมตลิ่งส่วนใหญ่เป็นลูกรังสีแดง ซึ่งกลายเป็นชื่อชุมชนบ้านตลิ่งแดงมาจนถึงปัจจุบัน ปัจจุบันมีวัดศรีอุปลารามเป็นศูนย์กลางในชุมชน ชุมชนแห่งนี้มีขุมทรัพย์ที่แสดงถึงเอกลักษณ์ของตนเอง โดยเฉพาะภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นที่นำเอาทรัพยากรในชุมชนโดยเฉพาะวัสดุดิบที่มีจำนวนมากมาสร้างสรรค์เป็นภูมิปัญญาอาหารเฉพาะถิ่นกลายเป็นภูมิปัญญาอาหารเฉพาะตน เช่น แกงบวน แยมหยวก น้ำพริกกะปิมอญ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของทรัพยากรที่มีในชุมชนและคุณค่าทางสังคมที่มีในวิถีชีวิตของคนในชุมชน ที่สามารถถ่ายทอดมาตั้งแต่บรรพบุรุษถึงปัจจุบัน การปรับใช้ความรู้พื้นฐานทรัพยากรของชุมชน ตกทอดเป็นมรดกของกลุ่มชนแห่งภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นที่ทำให้ชุมชนแห่งนี้สามารถดำรงอยู่ได้ท่ามกลางความเปลี่ยนแปลงของสังคมในปัจจุบัน

คำสำคัญ: อาหารท้องถิ่น, ภูมิปัญญาอาหาร, ความสัมพันธ์ระหว่างอาหารท้องถิ่นกับชุมชน

[1] สาขาวิชานวัตกรรมสังคมเพื่อการพัฒนาชุมชน คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี 71190
[1] Social Innovation for Community Development Program, Faculty of Humanities and Social Sciences, Kanchanaburi Rajabhat University, Kanchanaburi, 71190
* Corresponding author: Chimmanee@kru.ac.th

Abstract

This research is a spatial study to study local food wisdom and spatial relationships of the Ban Taling Daeng community, Nong Bua Subdistrict, Mueang Kanchanaburi District. Kanchanaburi Province Use qualitative research methods. Apply anthropological research methods By collecting data in the Ban Taling Daeng community, Nong Bua Subdistrict, Mueang District, Kanchanaburi Province. From key informants obtained from selecting a sample group according to the specified qualifications, there were 3 groups: 1) community leaders, 2) representatives of community members, and 3) government agencies in the community, totaling 15 people. Then the information was taken. Study according to research objectives Then the results of the study will be presented in a descriptive and analytical manner.

The research results found that Ban Taling Daeng community has been a trading community since the past. Some of the community locations are next to the Kwai Yai River or the Sri Sawat River. The condition of the soil along the river bank is mostly red rays. It became the name of the Ban Taling Daeng community until now. Currently, there is Wat Sri Upalaram as the center of the community. This community has its own unique treasures. Especially local food wisdom, which uses resources in the community, especially raw materials that are in large quantities, to create local food wisdom that becomes their own unique food wisdom, such as Buan curry, Yuak jam, Mon shrimp paste chili paste, etc. These things show the The importance of resources available in the community and the social values that exist in the way of life of people in the community. that can be passed on from our ancestors to the present Deployment of knowledge relies on the resource base of the community. Passed down as a legacy of the people's wisdom of local food that allows this community to survive in the midst of current social changes.

Keywords: Local food, Food wisdom, The relationship between local food and the community

บทนำ

ปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์ที่จะขาดไม่ได้ คือ อาหารและน้ำ ทั้งนี้เพราะมนุษย์ต้องการอาหารและน้ำเพื่อสร้างเสริมร่างกายและเป็นพลังงานสำหรับทำกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งยังเป็นการสร้างความคิดเพื่อทำให้เกิดสิ่งที่มนุษย์ต้องการเพิ่มขึ้น อีกทั้งร่างกายของมนุษย์เองก็กระตุ้นเตือนและบังคับให้มนุษย์หาอาหารและน้ำมาด้วยความหิวและความกระหาย (Berkes, 1999: 2) ซึ่งเกิดขึ้นแก่ตัวมนุษย์เอง ความหิวและกระหายจะหมดไปได้ด้วยอาหารและน้ำเท่านั้น ไม่มีสิ่งอื่น ๆ มาทดแทนได้ ดั้งนั้นกิจกรรมแรกที่มนุษย์ทำ คือ การหาอาหารและน้ำซึ่งได้จากธรรมชาติ ธรรมชาติมีแหล่งอาหารและแหล่งน้ำให้กับมนุษย์อยู่แล้ว แต่ธรรมชาติก็มีการเปลี่ยนแปลง อันส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในแหล่งอาหารของมนุษย์ (นฤดม บุญหลง และกล้าณรงค์ ศรีรอต, 2545: 1) การหาอาหารจึงเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรกสำหรับความอยู่รอดของมนุษย์ การเจริญพันธุ์ การจัดระเบียบสังคม การสะสมความรู้และถ่ายทอดไปสู่คนรุ่นต่อ ๆ ไป ล้วนแล้วแต่เป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญรองลงไปจากการหาอาหาร ระบบการผลิตอาหาร หรือวิธีการที่สังคมแห่งหนึ่งใช้ในการเก็บหาและผลิตอาหารเพื่อการบริโภคจึงมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อพัฒนาการทางวัฒนธรรม (ยศ สันตสมบัติ, 2556: 61 – 62)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีวัฒนธรรมทางด้านอาหารมาช้านานจนถือได้ว่าเป็นภูมิปัญญาที่ได้พัฒนาและสั่งสมมาตั้งแต่บรรพบุรุษจนถึงปัจจุบันวัฒนธรรมอาหารไทยเป็นวัฒนธรรมที่สะท้อนถึงอัตตะเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่ถ่ายทอดมาจากบรรพบุรุษการกินอาหารร่วมสำรับเป็นการสะท้อนลักษณะของสังคมที่มีน้ำใจช่วยเหลือเกื้อกูลแบ่งปันกันการปรุงอาหารที่ใช้เวลาควบคู่กับความประณีตก็สะท้อนอุปนิสัยใจเย็นละเอียดอ่อนของคนไทยก่อนหน้าที่แนวคิดเรื่องอาหารจะได้รับความนิยม (Chaichana, 2018: 26) การคำนึงถึงอาหารเป็นประเด็นที่ถูกมองข้ามมาสักระยะหนึ่งอันเป็นผลมาจากการตัดทอนขั้นตอนและกระบวนการผลิตอาหารลงจนทำให้วิธีการสร้างสรรค์อาหารดูง่ายดาย ประกอบกับพลวัตการใช้ชีวิตที่รวดเร็วไม่เอื้อให้มนุษย์สังเกตหรือเรียนรู้เรื่องรอบตัวให้ฉับไวได้เหมือนเดิม มนุษย์ได้เริ่มสร้างวิถีการดำเนินชีวิตรูปแบบใหม่ขึ้นมาซึ่งสนใจกระบวนการน้อยลง และให้ความสำคัญกับผลลัพธ์ก่อนเสมอ จนวันนี้วิถีการบริโภคอาหารของมนุษย์จึงเน้นรูป รสชาติ รสนิยมและความสะดวกรวดเร็ว เป็น “วัฒนธรรมอาหารสำเร็จรูป” วิกฤตทางความคิดเช่นนี้ถือเป็นภัยคุกคามต่อความมั่นคงทางอาหารโลกและจะคอยกัดกร่อนคุณค่าทุกมิติของอาหารทีละน้อยโดยเฉพาะมิติทางวัฒนธรรม (นพรัตน์ ไชยชนะ, 2562: 125)

สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ได้วิเคราะห์สภาพปัญหาในการนำข้อมูลภูมิปัญญาไทยและภูมิปัญญาท้องถิ่นมาใช้ในทางปฏิบัติ พบว่า ประสบปัญหาหลายประการ ได้แก่ 1) ปัญหาเรื่องการบันทึกลงสื่อ ภูมิปัญญาท้องถิ่นส่วนใหญ่อยู่ในรูปปากต่อปาก ไม่ได้มีการบันทึกลงสื่อชนิดใดจึงอาจสูญหายได้ 2) ปัญหาเรื่องการตรวจพิสูจน์ 3) ปัญหาเรื่องการแพร่กระจาย เนื่องจากทั้งสองปัญหาข้างต้นและเงื่อนไขอื่น ๆ ทำให้ภูมิปัญญาท้องถิ่นอาจใช้ได้ในสถานที่หนึ่ง แต่ไม่อาจนำไปใช้ในวงกว้างหรือในท้องถิ่นอื่น ๆ ได้ และ 4) ปัญหาเรื่องการยกระดับเมื่อนำมาใช้มีปัญหาด้านประสิทธิภาพและมีความไม่แน่นอน เนื่องจากนำเอาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ในการยกระดับภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นค่อนข้างน้อย ดังนั้นการแก้ปัญหาข้างต้นจึงต้องมีการศึกษาเพื่อไปสู่การแก้ไขอย่างจริงจังโดยความร่วมมือของหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะหน่วยงานทางการศึกษาเพื่อให้การนำภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นไปใช้มีความเป็นไปได้ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (สุกัญญา ไหมเครือแก้ว และคณะ, 2560: 276)

ชุมชนบ้านตลิ่งแดง ตำบลหนองบัว อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี เป็นชุมชนที่มีประวัติความเป็นมาหลายร้อยปี หากพิจารณาจากประวัติศาสตร์บอกเล่าของสมาชิกในชุมชนนั้น พบว่า ชุมชนแห่งนี้เป็นพื้นที่รอยต่อระหว่างชนบทกับเมือง การขยายตัวของเมืองกาญจนบุรีก็ขยายมาสู่พื้นที่ดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของบุษบา ทองอุปการ (2561: 108) ที่กล่าวถึงชุมชนบ้านตลิ่งแดงว่า ชุมชนแห่งนี้มีแม่น้ำแควใหญ่ไหลผ่าน ในอดีตชุมชนแห่งนี้เป็นท่าเรือสำคัญซึ่งมีการแลกเปลี่ยนสินค้าอุปโภคและบริโภคต่าง ๆ ที่นำมาจากจังหวัดราชบุรี และจังหวัดใกล้เคียง พร้อมนำสิ่งของเครื่องใช้มาจำหน่าย และแลกเปลี่ยนกับชุมชนอื่น ๆ ตามเส้นทางที่เรือล่องผ่าน พื้นที่รอบ ๆ ชุมชนอดีตเป็นป่ารกทึบ สภาพชุมชนเป็นสังคมเครือญาติ การดำรงชีวิตพึ่งพาธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก วิถีชุมชนจึงมีระบบอาหารและระบบการผลิตอาหารที่สัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม อันเกิดจากการประยุกต์ใช้วัตถุดิบที่มีในชุมชน ความสามารถในการเข้าถึงทรัพยากรอาหารต่างถิ่น ตลอดจนดัดแปลงอาหารต่างวัฒนธรรมด้วยกันอย่างสอดคล้องกับการกินอยู่ เกิดเป็นอัตลักษณ์เฉพาะถิ่นที่แตกต่างจากชุมชนอื่น

จากที่กล่าวมาเบื้องต้น คณะผู้วิจัยมีความประสงค์ศึกษาประเด็นภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ชุมชนบ้านตลิ่งแดง ตำบลหนองบัว อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี ในบริบทปัจจุบัน ซึ่งหากไม่มีการอนุรักษ์ ส่งเสริม หรือพัฒนาต่อยอดภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่น มรดกทางวัฒนธรรมที่บรรพบุรุษสร้างขึ้นจากภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นก็จะสูญหายไปได้ในอนาคต จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่คณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาประเด็นดังกล่าวเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการส่งเสริม และพัฒนาต่อยอดต่อไป รวมทั้งรวบรวมและจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลชุมชนงสามารถต่อยอดให้กับผู้ที่สนใจ เยาวชน อันนำไปสู่การเข้าใจวิถีชีวิตของชุมชน และรากฐานการพัฒนาชุมชนต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ชุมชนบ้านตลิ่งแดง ตำบลหนองบัว อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี

ทบทวนวรรณกรรม

ข้อค้นพบจากการศึกษาประเด็นด้านด้านภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นในปัจจุบันยังเป็นที่นิยมของนักวิชาการหลากหลายสาขาโดยเฉพาะในสาขาทางด้านสังคมวิทยาและมานุษยวิทยาที่นำแนวคิดดังกล่าวมาใช้ในการคลี่คลายประเด็นข้อถกเถียงทางวิชาการในบริบทของชุมชนต่าง ๆ เช่น การศึกษานพรัตน์ ไชยชนะ (2565) ทำการศึกษาความมั่นคงทางอาหารของชุมชนบ้องตี้ อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี เป็นที่น่าสนใจว่าฐานทรัพยากรอาหารในชุมชนหากมีความหลากหลายทางชีวภาพจะส่งผลต่อความมั่นคงทางอาหาร เช่นเดียวกับการศึกษาความมั่นคงทางอาหารในจังหวัดกาญจนบุรีในพื้นที่อื่น ของ นพรัตน์ ไชยชนะ (2566) ที่เสนอแนวทางด้านการสร้างความมั่นคงทางอาหารของชุมชนชาติพันธุ์ขมุบ้านบนเขาแก่งเรียง ตำบลท่ากระดานว่า ทรัพยากรในชุมชนมีผลสำคัญต่อการจัดการทำให้เกิดความมั่นคงทางอาหาร เช่นเดียวกับการศึกษาของ สุกัญญา ไหมเครือแก้ว และคณะ (2560) มองว่าอาหารท้องถิ่นมาจากการบริโภคตามวิถีชีวิตดั้งเดิมในชุมชนที่สืบทอดมาจากบรรพบุรุษที่มีอายุนับร้อยปีขึ้นไป ในขณะที่ศจินทร์ ประชาสันติ์ (2555) และศยามล เจริญรัตน์ (2559) นำเสนอว่า ความมั่นคงทางอาหาร คือ 1) การได้รับอาหารที่เพียงพอ ไม่ว่าจะเป็นการผลิตในประเทศหรือการนำเข้ามาจากต่างประเทศ ต้องเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคในประเทศของตนเอง 2) การเข้าถึงอาหาร ประชาชนทุกคนมีโอกาสในการเข้าถึงอาหารที่เหมาะสมกับตนเอง แต่ต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของโภชนาการที่ดี มีการควบคุมอาหารให้เป็นไปตามกฎหมาย การเมือง เศรษฐกิจ และสังคม 3) การใช้ประโยชน์จากอาหาร นอกจากการมีอาหารเพียงพอแล้ว ทุกคนยังต้องใช้ประโยชน์จากอาหารที่รับประทานเข้าไปได้ตามหลักทางด้านความปลอดภัยและสุขอนามัย และ 4) การมีเสถียรภาพด้านอาหาร การบริหารจัดการมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้ประชาชนทุกคนเข้าถึงอาหารได้อย่างเหมาะสม ไม่อดอยาก แนวคิดความมั่นคงทางอาหารและแนวคิดฐานทรัพยากรอาหารมีส่วนช่วยคลี่คลายประเด็นภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ชุมชนบ้านตลิ่งแดง ตำบลหนองบัว อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี ในบริบทปัจจุบันได้อย่างดียิ่ง

วิธีการศึกษา

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ประยุกต์วิธีวิจัยทางมานุษยวิทยา (Research in Anthropology) การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับบริบทชุมชนและภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นชุมชนบ้านตลิ่งแดง ผู้วิจัยมีการวางแผนโดยใช้เทคนิคเพื่อให้ได้ข้อมูลลึก และมีรายละเอียดที่มีความน่าเชื่อถือ ดังนี้

1. การเลือกสนามวิจัยและสถานการณ์ทางสังคม: การศึกษาสำรวจ (เป็นกระบวนการเริ่มต้นของวิธีวิทยาการวิจัยทางมานุษยวิทยา ไม่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือและทักษะใด ๆ) ด้วยเหตุผลของความสะดวกในการเดินทางเข้าถึงชุมชน โดยเข้าไปติดต่อกับผู้นำชุมชน (ผู้ใหญ่บ้าน) อย่างไม่เป็นทางการ พูดคุยประเด็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาพทั่วไปของชุมชน เพื่อทำความเข้าใจด้านบริบทชุมชนในภาพรวม และสร้างความคุ้นเคยกับผู้นำชุมชน

2. การเข้าสนาม: การเข้าชุมชนอย่างไม่เป็นทางการ การเข้าศึกษาวิจัยชุมชนบ้านตลิ่งแดงอย่างไม่เป็นทางการ โดยการประสานติดต่อผู้ใหญ่บ้าน และผู้ช่วยผู้ใหญ่บ้าน เป็นครั้งที่ 2 เพื่อเป็นการสร้างปฏิสัมพันธ์กับชุมชนโดยวิธีการเข้าร่วมกิจกรรมต่าง ๆ ที่จัดขึ้นในชุมชน โดยใช้เวลา 3 เดือน ในการเข้าไปสังเกตและเข้าร่วมกิจกรรมที่จัดขึ้นในชุมชนบ้านตลิ่งแดง

3. การเยือนชุมชนที่ศึกษา: ผู้วิจัยหาแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับบริบทชุมชน และศักยภาพชุมชน ทั้งแหล่งข้อมูลจากปราชญ์ชุมชนด้านวัฒนธรรม โดยอาศัยกระบวนการสำรวจชุมชน และการพูดคุยแบบไม่เป็นทางการกับปราชญ์ชุมชน ซึ่งกำหนดระยะเวลาไม่เกิน 15 นาที เป็นการเล่าบริบทภาพรวมของชุมชนโดยคร่าว ๆ ทั้งนี้นักวิจัยคำนึงถึงเกณฑ์การคัดเข้าโดยมีคุณสมบัติของผู้ที่จะถูกรับการคัดเลือก คือ สามารถตอบวัตถุประสงค์การวิจัยและยินดีที่จะเข้าร่วมโครงการวิจัย และเกณฑ์การคัดออกมีเงื่อนไขที่ผู้ที่ถูกเลือกเข้ามาร่วมโครงการวิจัยแล้วต้องการถอนตัวออกจากโครงการวิจัยหรือไม่สามารถตอบวัตถุประสงค์การวิจัยได้ การสำรวจสภาพแวดล้อมของชุมชนอย่างคร่าว ๆ โดยใช้ระยะเวลา 2 เดือน ทำให้นักวิจัยเห็นโครงสร้าง ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ลักษณะทางเศรษฐกิจ และสังคมของชุมชนบ้านตลิ่งแดง

4. การสังเกตอย่างมีส่วนร่วมและไม่มีส่วนร่วม: เป็นการสังเกตแบบมีส่วนร่วมและไม่มีส่วนร่วมในประเพณีวัฒนธรรมของชุมชน โดยผู้วิจัยจะเข้าไปมีส่วนร่วมในกิจกรรมต่าง ๆ ที่ถูกจัดขึ้นในชุมชนโดยผู้วิจัยจะไม่ได้มีการสัมภาษณ์และพูดคุยกับสมาชิกในชุมชน ในวิธีวิทยานี้เป็นกระบวนการของนักมานุษยวิทยาเท่านั้น เพื่อเก็บข้อมูลปฐมภูมิด้านต่าง ๆ ของวิถีชีวิตของในชุมชน ทำให้ค้นพบสถานการณ์ทางวัฒนธรรมในชุมชน เข้าใจเกี่ยวกับประเพณีและพิธีกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิถีชีวิต นำข้อมูลมาสังเคราะห์ ตรวจสอบความถูกต้องของการศึกษาในลักษณะแผนผังความคิด

5. การสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ และกลุ่มผู้ให้ข้อมูลรอง โดยการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (In-depth interview) โดยกลุ่มผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informant) คัดเลือกแบบเจาะจง ตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้จำนวน 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มผู้นำชุมชน เป็นผู้ที่มีคุณสมบัติและปฏิบัติงานในขอบเขต ดังนี้ อาศัยอยู่ในชุมชนไม่น้อยกว่า 20 ปี และเป็นผู้นำแบบเป็นทางการ จำนวน 4 คน 2) ตัวแทนสมาชิกในชุมชน เป็นผู้ที่มีคุณสมบัติและปฏิบัติงานในขอบเขต ดังนี้ อาศัยอยู่ในชุมชนไม่น้อยกว่า 30 ปี มีความรู้ด้านภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่น และเป็นที่ยอมรับในฐานะครูภูมิปัญญาท้องถิ่น จำนวน 7 คน และ 3) หน่วยงานราชการในชุมชน เป็นผู้ที่มีคุณสมบัติและปฏิบัติงานในขอบเขต ดังนี้ ปฏิบัติงานในองค์กรและหน่วยงานในเขตตำบลหนองบัว ไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 4 คน รวมทั้งสิ้น 15 คน จากนั้นนำข้อมูลมาศึกษาตามวัตถุประสงค์การวิจัย แล้วนำเสนอผลการศึกษาแบบพรรณนาวิเคราะห์

7. การวิเคราะห์ข้อมูล: ในกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเริ่มขึ้นในขณะการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกจะเริ่มขึ้นเมื่อข้อมูลสนามอิ่มตัว การวิเคราะห์เชิงลึกนั้นใช้การตรวจสอบข้อมูลสามเส้าทั้งด้านตัวผู้วิจัย ด้านเวลาและด้านวิธีการ นอกจากนี้ยังให้ความสำคัญกับการจำแนกข้อมูลด้วยฐานความเหมือนความต่างด้วยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สังเคราะห์ข้อมูลเสร็จสิ้นจนได้องค์ความรู้ที่ทุกฝ่ายเข้าใจตรงกัน กระบวนการเขียนรายงานการวิจัยจะเริ่มต้นขึ้น

8. การตรวจสอบความน่าเชื่อถือ: การตรวจสอบข้อมูลเป็นการดำเนินการหลังการเก็บรวบรวมข้อมูล และก่อนการวิเคราะห์ข้อมูล โดยในการวิจัยครั้งนี้มีการตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า ได้แก่

– การตรวจสอบสามเส้าด้านข้อมูล (data triangulation) ซึ่งจะเป็นการพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้มาน่าเชื่อถือเพียงใด โดยจะตรวจสอบจากแหล่งบุคคลผู้ให้ข้อมูลที่ต่างแหล่งกัน ได้แก่ เกษตรกร ปราชญ์/ผู้รู้ ผู้นำชุมชน และครูนักพัฒนาองค์กรเอกชนในพื้นที่

– การตรวจสอบสามเส้าด้านวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล (methodological triangulation) ซึ่งจะพิจารณาจากวิธีการในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ กัน เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลในประเด็นเดียวกัน โดยวิธีการที่ใช้ ได้แก่ การสังเกตแบบมีส่วนร่วม การสัมภาษณ์แบบเจาะจง

– การตรวจสอบสามเส้าด้านทฤษฎี (theoretical triangulation) มีกรอบการวิจัยซึ่งมาจากทฤษฎีมากกว่าหนึ่งทฤษฎีมีจุดเด่นที่นำมาใช้ประโยชน์ร่วมกัน เพื่อเป็นแนวทางการวิจัย

9. การสรุปผลการวิจัยและจัดทำเล่มรายงานการวิจัย

ผลการศึกษา

บ้านตลิ่งแดงเป็นชุมชนเก่าแก่ริมฝั่งแม่น้ำแควใหญ่ กอปรด้วยวัฒนธรรม ประเพณีที่หลากหลายทุนสำคัญในชุมชน ได้แก่ ทุนความรู้และภูมิปัญญา ทุนวัฒนธรรม ทุนธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดแบบแผนการผลิตและกิจกรรมชุมชนอันหลากหลาย กอปรกับภูมิสังคมเป็นชุมชนเครือญาติคนในชุมชนมีความสัมพันธ์แนวราบและต่างศรัทธาในพระพุทธศาสนา (บุษบา ทองอุปการ, 2560: 5)



ภาพที่ 1 แผนที่เดินดินบ้านตลิ่งแดง (ซ้าย) ปฏิทินชุมชนบ้านตลิ่งแดง (ขวา)
ที่มา: ดวงอำพร คามรักษ์ (15 มกราคม 2556)

หากพิจารณาจากภาพที่ 1 พบว่า ชุมชนบ้านตลิ่งแดงเป็นชุมชนหนึ่งในเขตตำบลหนองบัว อยู่ในการปกครองของเทศบาลตำบลหนองบัว สมาชิกในชุมชนประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ชุมชนปลูกบ้านเรือนกระจายไปตามหัวไร่ปลายนาของตนเอง มีรูปแบบการดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยทรัพยากรท้องถิ่นเป็นหลัก โดยการนำภูมิปัญญาท้องถิ่นจากบรรพบุรุษมาปรับใช้ให้เข้ากับยุคสมัยทำให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่าย ฐานะทางเศรษฐกิจของสมาชิกในครัวเรือนในชุมชนส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับพอมีพอกินยึดหลักการดำรงชีวิตตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง จากสภาพพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ ดังนั้นสมาชิกในชุมชนเรียนรู้และปรับตัวนำนำทรัพยากรที่มีอยู่ในชุมชนใช้เป็นวัสดุดิบหลักในการประกอบอาหารของท้องถิ่น ทั้งนี้อาหารที่เป็นอัตลักษณ์ของชุมชน ได้แก่

1. แกงบวน แกงบวน มาจากเครื่องปรุงที่วางเรียงรายเป็นกระบวน ทำให้เรียกเป็นชื่อแกงบวน โดยมีวัตถุดิบหลัก ๆ มาจาก 2 แหล่งที่มา ได้แก่ ภายในชุมชน และภายนอกชุมชน ตามรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 วัตถุดิบแกงบวน

วัตถุดิบจากภายในชุมชน	วัตถุดิบจากภายนอกชุมชน
กระเพาะหมู, ตับ, ปอด, สันในหมู่, ไส้หมูสด เซี่ยงจี๊ (ไตหมู), กะปิมอญ, ใบมะตูม, ใบหญ้านาง,ใบขี้เหล็ก, ข่าอ่อนซอย, ตะไคร้หั่นฝอย (หั่นคั่ว), มะขามเปียก, น้ำ , ใบมะกรูด	เม็ดผักชี, ลูกจันทน์เทศ, ดอกจันทน์เทศ, ลูกกระวาน, โป๊ยกั๊ก, ปลาอินทรี, กระเทียมไทย, หัวหอม, กะปิไทย, ใบฝรั่ง, น้ำตาลปี๊บ, ซีอิ๊วขาว, น้ำปลา, ชูรส, ปูนแดง, เกลือ



ภาพที่ 2 เครื่องปรุงของแกงบวนที่วางเรียงราย (ซ้าย) แกงบวน (ขวา)

ที่มา: นพรัตน์ ไชยชนะ (15 เมษายน 2558)

ข้อค้นพบดังกล่าวนี้ได้พิจารณาร่วมกับข้อสังเกตในงานวิจัยของนพรัตน์ ไชยชนะ (2562: 140) ว่า ภูมิปัญญาอาหารดังกล่าวสะท้อนการใช้แรงงานที่มีอยู่ในชุมชนการลงแรงสร้างความสามัคคีกันของคนในชุมชน หากไม่ลงแรงกันทำก็ไม่สามารถทำให้แกงบวนเสร็จได้ในเวลาที่ต้องการ ทั้งนี้วัตดุดิบต่าง ๆ ที่นำมาจากภายในหรือภายนอกในชุมชนเองก็สะท้อนถึงบริบทของชุมชนซึ่งชุมชนดังกล่าวนี้ติดแม่น้ำแควใหญ่ ในอดีตที่ผ่านมาชุมชนตลิ่งแดงนี้มีการค้าขายหรือเป็นเมืองท่าโบราณของชุมชน ทำให้มีการค้าขายทางเรือโดยการรับเอาวัตถุดิบต่าง ๆ เข้ามา ซึ่งวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ได้รับเข้ามานั้นจะมาจากจังหวัดราชบุรี

2. แยมหยวก จัดเป็นอาหารท้องถิ่นของชุมชนบ้านตลิ่งแดงและชุมชนใกล้เคียงในเขตตำบลหนองบัวอีกชนิดที่นิยมทำกินตั้งแต่สมัยบรรพบุรุษ ส่วนใหญ่นิยมทำเป็นกลุ่ม ในช่วงที่มีงานบุญประเพณี งานมงคลต่าง ๆ แยมหยวกเป็นอาหารประเภทเรียกน้ำย่อยก่อนเสิร์ฟอาหารคาวอื่น ๆ ลักษณะเด่น คือ ใช้ผักสมุนไพรปลอดสารพิษ ออกรสเปรี้ยวจากมะนาวและมะขามเปียก ตามด้วยรสเค็ม ทั้งนี้หากพิจารณาจากส่วนประกอบในเมนูแยมหยวกนั้น พบว่าส่วนประกอบมากกว่า 80% จะสามารถหาได้จากทรัพยากรที่มีในชุมชน ได้แก่ หยวกกล้วยอ่อน, ถั่วงอกต้นอ่อน, ถั่วลิสงคั่ว, เนื้อหมูสามชั้น, กุ้งแห้งป่น, หอมแดงซอย, พริกขี้หนู, ใบสะระแหน่เด็ดใบ, น้ำตาลปี๊บ, นำปลา, น้ำมะนาว, มะขามเปียก เป็นต้น



ภาพที่ 3 แยมหยวกชุมชนบ้านตลิ่งแดง

ที่มา: นพรัตน์ ไชยชนะ (15 เมษายน 2558)

เมื่อพิจารณาถึงวัตถุดิบที่นำมาทำแยมหยวกแล้ว พบว่า ภูมิปัญญาการนำวัตถุดิบมาประกอบอาหารของชุมชนบ้านตลิ่งแดงนั้น นำวัตถุดิบที่มีในชุมชนมาสร้างสรรค์เป็นอาหารเฉพาะถิ่น เนื่องจากชุมชนมีทรัพยากรที่มีความหลากหลายชนิด โดยเฉพาะกล้วยน้ำว้าซึ่งเป็นทรัพยากรในชุมชนที่มีจำนวนมาก สะท้อนถึงความพยายามผสมผสานวัสดุของท้องถิ่นเข้ากับอาหารของตนเองอย่างชาญฉลาด รู้จักประยุกต์วัสดุเท่าที่หาได้ในท้องถิ่นมาเป็นอาหารของตนเอง บางประเภทก็เปลี่ยนแปลงรสชาติ กลายเป็นอาหารโอชะชนิดใหม่ขึ้นมา

3. น้ำพริกกะปิมอญ นับเป็นอาหารขึ้นชื่อประจำท้องถิ่นของชุมชนบ้านตลิ่งแดง ที่ใครมาเยือนแล้วจะต้องติดใจ และพูดกันปากต่อปาก จนโด่งดัง และเป็นที่รู้จักกันไปทั่ว ในส่วนความเป็นมายังไม่แน่ชัดว่าเริ่มมีการคิดค้นเมนูนี้ขึ้นมาตั้งแต่เมื่อใด ก่อนหน้านี้มีการนำกะปิเข้ามาจากจังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งเป็นกะปิที่ทำมาจากกุ้ง ภายหลังชาวไทยเชื้อสายรามัญก็ได้คิดค้นให้เข้ากับวิถีชีวิต จึงได้มีการประยุกต์โดยการนำปลา มาทำกะปิแทน ทั้งนี้กะปิมอญนั้นได้รับการถ่ายทอดสูตรลับจากปู่ย่าตายายมาสู่รุ่นลูกหลาน รุ่นต่อรุ่น สมาชิกส่วนใหญ่มักจะทำเมนูนี้เป็นเกือบทุกบ้าน และในท้องถิ่นเองก็ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นงานมงคล และงานเทศกาลต่าง ๆ งานไหนไม่มีน้ำพริกกะปิมอญ เรียกได้ว่างานนั้นยังจัดได้ไม่สมบูรณ์



ภาพที่ 4 กะปิมอญและการปรุงน้ำพริกกะปิมอญ
ที่มา: นพรัตน์ ไชยชนะ (15 เมษายน 2558)

จุดกำเนิดของภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นในชุมชนบ้านตลิ่งแดง มาจากการบริโภคตามวิถีชีวิตดั้งเดิมในชุมชนที่สืบทอดมาจากบรรพบุรุษมีอายุนับร้อยปีขึ้นไปถ่ายทอดจากรุ่นสู่รุ่นของครัวเรือน โดยอาศัยทรัพยากรที่มีอยู่ในพื้นถิ่นเป็นหลัก มีจุดเด่นในด้านรสชาติที่จัดจ้านของอาหารที่มีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ ใช้วัตถุดิบที่สดและปลอดภัยจากแหล่งธรรมชาติ ซึ่งอาหารบางชนิดยังคงได้รับการสืบทอดและบริโภคในชุมชนแต่อาหารบางชนิดกำลังจะสูญหายไปเนื่องจากวัตถุดิบกำลังจะหมดไปและกรรมวิธีในการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก ภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นที่หลากหลายในชุมชนบ้านตลิ่งแดงเกิดจากสภาพภูมิประเทศที่หลากหลาย การประกอบอาชีพเกษตรกรรม การสร้างความสัมพันธ์กับสมาชิกในครอบครัวหรือแม้กระทั่งในชุมชนท้องถิ่นด้วยกัน ทำให้คนที่เกิดมารุ่นหลังได้เรียนรู้วิธีการประกอบอาหาร เป็นภูมิปัญญาที่ถูกถ่ายทอดมานับแต่อดีตถึงปัจจุบัน ถึงแม้ว่าปัจจุบันชุมชนบ้านตลิ่งแดงจะมีอาหารที่เป็นแกงถุงอยู่ในตลาดชุมชนก็ตาม แต่อย่างไรก็ดี สมาชิกในชุมชนหลายคน ยังชอบกินอาหารที่ปรุงเอง เพราะเนื่องจากสามารถทานได้หลายคน

อภิปรายและสรุปผล

ชุมชนบ้านบ้านตลิ่งแดง ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ราบเชิงเขาและพื้นที่ราบริมฝั่งแม่น้ำโดยมีแม่แควใหญ่ไหลผ่าน สมาชิกในชุมชนบ้านตลิ่งแดง ดำรงชีวิตเรียบง่าย ลักษณะเด่นของพื้นที่ คือ ชุมชนยังคงยึดอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ดำรงชีวิตจากการพึ่งพาอาศัยฐานทรัพยากรท้องถิ่นด้วยภูมิปัญญาแบบดั้งเดิม ยึดกฎเกณฑ์ความสัมพันธ์ระบบเครือญาติ ปัจจุบันโครงสร้างของสถาบันครอบครัวเป็นครอบครัวขยาย มีวิธีการถ่ายทอดความรู้ สืบทอดกันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นวิธีการนำพืชมาเป็นอาหาร เป็นยารักษาโรค รู้จักวิธีการปลูกพืชให้ผสมผสานกับการดำเนินชีวิต สภาพเศรษฐกิจของชุมชนบ้านตลิ่งแดงยึดระบบการผลิตแบบทำไร่ และทำนา รวมทั้งการปลูกพืชเชิงเดี่ยว ทรัพยากรอาหารของชุมชนบ้านตลิ่งแดงมาจากหลากหลายแหล่งที่มา สอดคล้องกับงานวิจัยของจรัสสินี สุวีรานนท์, ทรงคุณ จันทจร และรังสรรค์ สิงหเลิศ (2565) กล่าวว่า ภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นดั้งเดิมของชุมชนอยุธยา มีความหลากหลายเนื่องจากชุมชนในพื้นที่อยุธยาเป็นเมืองโบราณมีเมืองท่าสำคัญ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนวัตถุดิบต่าง ๆ และนำมาปรุงแต่งอาหารทำให้เกิดเป็นอัตลักษณ์ทางอาหารท้องถิ่น ทั้งนี้ทรัพยากรอาหารต่าง ๆ มักจะถูกนำมาจากทรัพยากรในชุมชนเป็นหลัก มีการจัดเป็นสำรับอย่างพิถีพิถัน การถนอมอาหารเพื่อรักษาวัตถุดิบ และมีเอกลักษณ์ของอาหารโดดเด่นที่ สี กลิ่น และรสชาติอาหาร ในการพัฒนานวัตกรรมภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นสำหรับผู้สูงวัยเชิงพาณิชย์ มีการทำอาหารในสูตรโบราณดั้งเดิม ประกอบไปด้วยกลุ่มร้านค้าสมัยใหม่ที่มีการปรับปรุงสูตรให้เข้า กับทั้งวัตถุดิบและกระแสนิยมของยุคสมัย ทำให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอยู่เสมอ อาหารถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มอนุรักษ์กรรมวิธีแบบดั้งเดิม โดยมีการสืบทอดการทำในครัวเรือนและกลุ่มที่ปรับตัวโดยการเอาวัตถุดิบสมัยใหม่แต่มีรสสัมผัสใกล้เคียงของรสชาติมากยิ่งขึ้น และเพื่อสร้างความแปลกใหม่ และยังสอดคล้องกับข้อค้นพบของ นพรัตน์ ไชยชนะ (2563) และ Chaichana (2018) กล่าวว่า การมีอยู่ของอาหารชาวกะเหรี่ยงบ้านทิพุเยมีพื้นฐานจากการประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ทำมาหากินบนฐานทรัพยากรท้องถิ่น ดิน น้ำ ป่าไม้ ด้วยระบบภูมิปัญญาการทำไร่หมุนเวียน นอกจากนี้ยังมีวิธีการเข้าถึงแหล่งอาหาร โดยนำพันธุ์จากธรรมชาติมาปลูกไว้บริเวณละแวกที่อยู่อาศัย

ทั้งนี้ภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นชุมชนบ้านตลิ่งแดงมีปรากฏในหลากหลายมิติ ทั้งมิติเชิงดูแลสุขภาพ มิติเชิงสังคม และมิติเชิงวัฒนธรรมตามลักษณะภูมินิเวศ อันสะท้อนถึงวิถีชีวิตของชุมชนในแต่ละภูมินิเวศที่ล้วนอาศัยพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ตั้งแต่อดีตและลดน้อยลงในปัจจุบันรสชาติของอาหารเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังคงเป็นรสชาติดั้งเดิมและสูตรดั้งเดิมที่ไม่ได้ดัดแปลงส่วนผสม อาจจะมีบางชนิดที่มีการประยุกต์ตามข้อจำกัดของวัตถุดิบบางอย่างที่มีน้อยลงหรือหมดไป ต้องใช้วัตถุดิบชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงมาทดแทน หรืออาจมีการดัดแปลงบ้างเล็กน้อยเพื่อให้รสชาติกลมกล่อมเป็นที่ถูกใจของผู้บริโภคยิ่งขึ้น เช่น แกงบวน แยมหยวก น้ำพริกกะปิมอญ เป็นต้น อาหารภูมิปัญญาท้องถิ่นจะใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติของแต่ละท้องถิ่น จนเกิดเป็นเอกลักษณ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ ภานุมาศ สุนทรวิจิตร (2559) และข้อค้นพบของ พรทิพย์ ติลกานันท์ (2557) ที่กล่าวถึงประเด็นความอุดมสมบูรณ์ของท้องถิ่นส่งผลต่อการสร้างภูมิปัญญาอาหารในชุมชน โดยที่มนุษย์อาศัยกระบวนการเรียนรู้ต่อธรรมชาติเนื่องจากวัฒนธรรมแต่ละแห่งจะก่อเป็นรูปร่างได้ต้องขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม มนุษย์จะจัดระบบธรรมชาติด้วยการตั้งชื่อ จัดประเภท สร้างสัญลักษณ์ที่เกี่ยวกับพืช สัตว์ และอากาศที่สอดคล้องกับวิถีการดำเนินชีวิต สมาชิกในวัฒนธรรมหนึ่ง ๆ จะแสดงออกโดยสอดคล้องกับสภาพแวดล้อม แต่การศึกษามานุษยวิทยาเชิงนิเวศน์ไม่อาจลุล่วงไปได้ถ้ามองข้ามปัจจัยเกี่ยวกับภูมิปัญญาท้องถิ่น นอกจากนี้ภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นยังให้ประโยชน์ด้านสุขภาพเนื่องจากในชุมชนเองมีพืชสมุนไพรต่าง ๆ ที่นำมาประกอบอาหารจัดเป็นยารักษาโรค หรือนำมาทำเป็นของใช้สอยในครัวเรือน ดังนั้นอาหารท้องถิ่นต่าง ๆ ที่มีส่วนประกอบของผักพื้นบ้านนอกจากจะมีคุณค่าทางโภชนาการแล้ว ส่วนใหญ่ยังมีสรรพคุณเป็นยาสมุนไพรอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยเรื่อง ภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่: กรณีศึกษาชุมชนบ้านตลิ่งแดง ตำบลหนองบัว อำเภอเมืองกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้เพื่อสอดคล้องกับความต้องการของชุมชน ดังนี้

1.ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาชุมชน

1.1 หน่วยงานในชุมชน ได้แก่ เทศบาลตำบลหนองบัว โรงเรียนวัดศรีอุปลาราม โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ควรนำองค์ความรู้ดังกล่าวไปปรับใช้กับเยาวชนในตำบล ได้แก่ การนำเอาฐานความรู้ภูมิปัญญาชุมชนด้านอาหาร ไปปรับใช้กับหลักสูตรท้องถิ่น บูรณาการเรียนการสอนนอกชั้นเรียน โดยการนำเยาวชนในชุมชนเรียนรู้วิถีชีวิตชุมชนการทำอาหารท้องถิ่น ร่วมกันอนุรักษ์และสืบทอดการปรุงอาหารท้องถิ่นในชุมชนบ้านตลิ่งแดง และหาแนวทางการดูแลสุขภาพของชุมชนต่อไป

1.2 องค์ความรู้การพิทักษ์วัฒนธรรมที่เกี่ยวข้องกับอาหารในมิติวัฒนธรรมของชุมชนบ้านตลิ่งแดงบนฐานความหลากหลายของทรัพยากรท้องถิ่นควรนำสู่การถอดบทเรียนให้เห็นถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความมั่นคงหรือไม่มั่นคงทางอาหารของชุมชนท้องถิ่น นอกจากนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุมชนและท้องถิ่นที่เข้ามาพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในท้องถิ่น ด้วยการพาไปศึกษาดูงานนอกสถานที่ ซึ่งสถานที่ดังกล่าวควรเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาเดียวกัน แต่สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการกลับมาใช้ภูมิปัญญาชุมชน ซึ่งเป็นทุนชุมชนเดิม ตามสภาพเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม ในท้องถิ่น

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป

2.1 ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับปฏิบัติการทางวัฒนธรรมในการพิทักษ์ภูมิปัญญาอาหารของชุมชนที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันในพื้นที่อื่น ๆ เพราะจะได้องค์ความรู้ รูปแบบ วิถีชีวิต กระบวนการบริโภคอาหารเพื่อนำความรู้ไปเผยแพร่ให้กับสาธารณชน หรือเป็นบทเรียนท้องถิ่นในการใช้พัฒนาชุมชนท้องถิ่นของตนต่อไป

2.2 ควรมีการศึกษาในประเด็นเปรียบเทียบเรื่อง ภูมิปัญญาอาหารชุมชนกับวิถีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไปของชุมชนในพื้นที่เดียวกัน เพื่อจะได้เห็นถึงสถานการณ์ของชุมชนในเรื่องความมั่นคงทางอาหาร เพราะหากโครงการวิจัยนั้นเกิดประสิทธิผลและประสิทธิภาพ สามารถนำกรณีศึกษานี้ไปพัฒนาต่อยอดให้เกิดเป็น Best Practice หรือแบบแผนการขับเคลื่อนงานส่งเสริมการพิทักษ์รักษาอาหารโดยมีชุมชนเป็นฐานการดำเนินงานและร่วมคิดร่วมทำด้วยตนเองได้ต่อ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ดร.สุทิน อ้อนอุบล ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิมพา สุวรรณฤทธิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ ใจอารีย์ และ ดร.รวี สัจจโสภณ ที่ให้การช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งในความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือรวมไปถึงกำลังใจในการทำวิจัยนี้จนสำเร็จเรียบร้อย ขอขอบคุณผู้นำชุมชนทุกท่านทั้งผู้นำที่เป็นทางการไม่ผู้นำที่ไม่เป็นทางการ ตลอดจนภาคประชาชนในท้องถิ่นที่ให้ความร่วมมือในการอำนวยสิ่งต่าง ๆ ให้กับผู้วิจัย รวมทั้งให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ รวมไปถึงการให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลภาคสนามเป็นอย่างดี ทุก ๆ ท่าน จะเป็นความทรงจำแก่ผู้วิจัยตลอดไป

เอกสารอ้างอิง

จรัสสินี สุวีรานนท์, ทรงคุณ จันทจร และรังสรรค์ สิงหเลิศ. (2565). ภูมิปัญญาอาหารท้องถิ่นจังหวัดพระนครศรีอยุธยา: การพัฒนา นวัตกรรมอาหารสำหรับผู้สูงวัยเชิงพาณิชย์. **วารสารวิชาการคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์**. 9(1): 1 – 15.

นพรัตน์ ไชยชนะ. (2562). แกงบวนบ้านตลิ่งแดงและความมั่นคงทางอาหารในท้องถิ่น. **วารสารอินทนิลทักษิณสาร.** 14(1): 212 – 151.

_____. (2563). แนวทางเสริมสร้างศักยภาพชุมชนด้านความมั่นคงทางอาหาร: กรณีศึกษาบ้านทิพุเย ตำบลชะแล อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี. **วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต.** 8(1): 158–171.

_____. (2565). ความมั่นคงทางอาหารชุมชนบ้านบ้องตี้ล่าง ตำบลบ้องตี้ อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี. **วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา.** 10(2): 205 – 224.

_____. (2566). แนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหารชุมชนชาติพันธุ์ขมุบ้านบนเขาแก่งเรียง ตำบลท่ากระดาน อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี โดยยุทธศาสตร์ BCG. **วารสารอินทนิลทักษิณสาร (INTHANINTHAKSIN JOURNAL)**. 18(1): 111 – 144.

นฤดม บุญหลง และกล้าณรงค์ ศรีรอต. (2545). **อาหารเพื่อมนุษยชาติ.** นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุษบา ทองอุปการ. (2560). **แนวทางเสริมสร้างความเข้มแข็งทุนชุมชนบ้านตลิ่งแดง จังหวัดกาญจนบุรี**. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์และชุมชน. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. (2561). อาหารท้องถิ่น: ความมั่นคงทางอาหารในมิติวัฒนธรรม กรณีศึกษาชุมชนบ้านตลิ่งแดง จังหวัดกาญจนบุรี. **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์.** 5(ฉบับพิเศษ): 107 – 119.

พรทิพย์ ติลกานันท์. (2557). **การนำเสนอรูปแบบการเรียนรู้ของชุมชนเพื่อสร้างเสริมความมั่นคงทางอาหาร.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาตลอดชีวิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภานุมาศ สุนทรวิจิตร. (2559). **ความมั่นคงทางอาหารของชุมชนคลองแดน กรณีศึกษาตำบลคลองแดน อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ยศ สันตสมบัติ. (2556). **มนุษย์กับวัฒนธรรม.** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศจินทร์ ประชาสันติ์. (2555). **ความมั่นคงทางอาหาร:แนวคิดและตัวชี้วัด.** กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส).

ศยามล เจริญรัตน์. (2559). **การศึกษาเพื่อการสร้างความมั่นคงทางอาหารและวิถีชีวิตของกลุ่มชาติพันธุ์ในพื้นที่อนุรักษ์ : กรณีชุมชนกะเหรี่ยงในผืนป่าตะวันตก ปีที่ 2.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุกัญญา ไหมเครือแก้ว และคณะ. (2560). ภูมิปัญญาวัฒนธรรมอาหารท้องถิ่นและความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. **วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่.** 9(4): 274 – 293.

Berkes, F. (1999). **Sacred ecology: traditional ecological knowledge and resource management.** Taylor and Francis.

Chaichana, N. (2018). Modes of Production and Food Security in Cultural Dimensions Ban Thiphuye, Thailand. **Asian Political Science Review**. 2(2): 24–35.

การสำรวจแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

Surveying of gastronomy tourism in Pathong beach, Phuket Province

ธีรวัฒน์ สุทธิประภา[1*], ภาติยะ พัฒนาศักดิ์[1] และ ณัฐกานต์ ภูมิโคกรักษ์[1]

Teerawat Sutthiprapha[1*], Patiya Pattanasak and Nutthakarn Phumkokrux[1]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อสำรวจเชิงพื้นที่และจัดทำแผนที่ของแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหารในหาดป่าตอง 2) เพื่อประเมินเบื้องต้นด้านมาตรฐานทางกายภาพของแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหารในหาดป่าตอง ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งได้จากการลงพื้นที่ภาคสนามเพื่อเก็บพิกัดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์คือ โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยวิเคราะห์กระจายตัวของตำแหน่งประเภทร้านอาหาร การวิเคราะห์จุดศูนย์กลาง ระยะทางมาตรฐาน การแสดงตำแหน่งร้านอาหารกับถนนสายหลัก และแนวโน้มทิศทางของร้านอาหาร โดยจำแนกร้านอาหารออกเป็น 7 ประเภทได้แก่ ร้านอาหารฮาลาล ร้านอาหารอิตาเลียน ร้านอาหารอินเดีย ร้านอาหารฟาสต์ฟูด ร้านอาหารขนมหวาน ร้านอาหารซีฟูดและร้านอาหารไทย ทำการสุ่มร้านอาหารแต่ละประเภทเพื่อประเมินมาตราฐานทางกายเบื้องต้นและสรุปผลการตรวจสอบ

ผลวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ของการท่องเที่ยวเชิงอาหาร พบว่า รูปแบบการกระจายตัวของประเภทร้านอาหารมีการกระจายตัวแบบเกาะกลุ่ม ร้านอาหารมีความหนาแน่นค่อนข้างสูงบริเวณแหล่งท่องเที่ยวของหาดป่าตอง โดยจุดศูนย์กลางจะอยู่บริเวณแหล่งท่องเที่ยวของหาดป่าตอง และระยะทางมาตรฐานของร้านอาหารจะอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางที่ 1500 เมตรโดยรอบ ร้านอาหารส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ใกล้กับถนนสายหลักในระยะระหว่าง 0 – 750 เมตร และมีแนวโน้มไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่หาดป่าตอง วิเคราะห์จากการตรวจสอบมาตราฐานทางกายภาพ พบว่า ร้านอาหารฮาลาล ร้านอาหารอิตาเลียน ร้านอาหารอินเดีย ร้านอาหารฟาสต์ฟูด ร้านอาหารขนมหวาน ร้านอาหารซีฟูดและร้านอาหารไทย มีความถูกต้องครบถ้วนตามมาตรฐานร้อยละ 42, 42, 40, 54, 54, 58 และ 59 ตามลำดับ ต้องปรับปรุงร้อยละ 15, 17, 24, 14, 24, 20 และ 18 ตามลำดับ

คำสำคัญ: รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, มาตรฐานทางกายภาพ, การท่องเที่ยวเชิงอาหาร

[1] สาขาภูมิศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

[1] Department of Geography, Faculty of Education, Ramkhamhaeng University, Bangkok, 10240

* Corresponding author: 6404000421@rumail.ru.ac.th

Abstract

This study has the objectives 1) to conduct a spatial survey and mapping food tourism attractions in Patong Beach 2) to make a preliminary assessment of physical standards of food tourism attractions in Patong Beach. The data consists of spatial data from field surveys to collect geographic coordinates. The tool is the Geographic Information System Program by analyzing the distribution of restaurant locations, mean center, standard distance, analysis of position between restaurant and main street and restaurant trend. Classification the restaurants into 7 categories namely halal, Italian, Indian, fast food, dessert, seafood and Thai restaurants. Then randomly select restaurants to assess preliminary physical standards and summarize inspection results.

The results of the spatial analysis found that the distribution of restaurant is systematically clustered. The density of restaurants is relatively high in the tourist areas of Patong Beach. The center of the restaurant is in the tourist area of Patong beach. The standard distance of restaurant is 1500 meters. Most restaurants are located between 0 – 750 meters from main street. The restaurant's trend towards the northeast to Patong Beach. The results of physical standards inspection found that Halal, Italian, Indian, Fast food, Dessert, Thai and Seafood restaurants had accuracy of 42%, 42%, 40%, 54%, 54%, 58% and 59% respectively. Moreover the restaurants need to improve of 15%, 17%, 24%, 14%, 24%, 20%, and 18%, respectively.

Keywords: Spatial distribution, Geographic information system, Physical standards, Gastronomy Tourism

บทนำ

อาหารบ่งบอกถึงความเป็นมาทางด้านสังคมและวัฒนธรรมท้องถิ่นของประเทศนั้น ๆ ดังนั้นการท่องเที่ยวเชิงอาหาร จึงเป็นสิ่งหนึ่งที่ช่วยดึงดูดนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและต่างชาติให้เกิดการเดินทางท่องเที่ยวสู่ท้องถิ่นต่าง ๆ โดยประเทศไทยมีที่เที่ยวมากมายหนึ่งในนั้นคือจังหวัดภูเก็ต จังหวัดภูเก็ตเป็นจังหวัดเดียวที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นเกาะ และเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงระดับโลก ซึ่งเป็นที่รู้จักในเรื่องของหาดทรายที่สวยงาม น้ำทะเลใส ท้องทะเลที่งดงามเหมาะสำหรับการดำน้ำ รวมทั้งมีสิ่งอำนวยความสะดวกรองรับนักท่องเที่ยวอย่างครบครันและมีการเชื่อมการท่องเที่ยวกับเกาะโดยรอบ (สำนักงานจังหวัดภูเก็ต, 2566) หาดป่าตองเป็นหนึ่งในสถานที่ท่องเที่ยวยอดนิยมของจังหวัดภูเก็ต เนื่องจากหาดสวย ทอดยาวเป็นแนวโค้งกว้าง หาดป่าตองที่ได้ชื่อว่าเป็นหาดทรายสวยที่สุดของภูเก็ต มีชื่อเสียงรู้จักกันดีในหมู่นักท่องเที่ยวในระดับโลก หาดป่าตองอยู่ด้านตะวันตกทางตอนกลางของเกาะ ชายฝั่งเว้าลึกเป็นรูปโค้งเหมือนเสี้ยวพระจันทร์ยาวเกือบ 3 กิโลเมตร หาดทรายสีขาวสะอาดทอดตัวยาวสุดสายตาตัดกับน้ำทะเลสีฟ้า หาดป่าตองที่สร้างความประทับใจให้นักท่องเที่ยวที่มาเยือน คลื่นลมที่ป่าตองไม่แรงมาก น้ำตื้นค่อยๆลาดลดระดับลงทะเล เล่นน้ำได้เป็นอย่างดี หน้าหาดป่าตองจึงเป็นที่เล่นน้ำทะเลยอดนิยม มีนักท่องเที่ยวนิยมมานอนอาบแดด มีกิจกรรมและกีฬาทางน้ำหลายชนิดให้เลือก เป็นศูนย์รวมของธุรกิจและความบันเทิงหลากหลายรูปแบบ บริการนำเที่ยว นั่งช้าง เดินป่า พายเรือ เที่ยวเกาะ มีร้านตกปลาและดำน้ำนับสิบร้าน ตลอดจนห้างสรรพสินค้า ร้านขายของที่ระลึกมากมาย โดยตลอดปี พ.ศ. 2565 นักท่องเที่ยวทั้งไทยและต่างชาติเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวจังหวัดภูเก็ต 9.2 ล้านคน สร้างรายได้กว่า 2 แสนล้านบาท ได้ถึง 50% ของรายได้ก่อนเกิดโควิด (ผู้จัดการออนไลน์, 2566) ทั้งนี้จังหวัดภูเก็ตมีการผูกขาดกับอุตสาหกรรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวและทั้งภาคธุรกิจด้านการท่องเที่ยว เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วทางด้านเศรษฐกิจ ด้านการท่องเที่ยว และด้านการบริการโดยเฉพาะอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวและด้านอสังหาริมทรัพย์

เพื่อรองรับนักท่องเที่ยวที่มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้การท่องเที่ยวขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ผลของการท่องเที่ยวเชิงอาหารจึงเกิดประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อเศรษฐกิจการท่องเที่ยว โดยการท่องเที่ยวเชิงอาหารก่อให้เกิดการการกระจายรายได้สู่ชุมชนท้องถิ่นที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวในทุกกลุ่มคน การท่องเที่ยวเชิงอาหารในปัจจุบันได้รับการขับเคลื่อนจากการเติบโตของเทคโนโลยี สื่อออนไลน์เป็นส่วนสำคัญในการช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอาหาร โดยเทคโนโลยีสมัยใหม่สร้างความสะดวกสบายให้กับนักท่องเที่ยวในการค้นหาข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว เส้นทางท่องเที่ยวชิมอาหาร แหล่งผลิตอาหารที่เป็นต้นฉบับ ร้านอาหารแนะนำ เมนูแนะนำท้องถิ่น เป็นต้น

ในปัจจุบันได้มีการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) มาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายโดยระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบปฏิบัติการรวบรวม จัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นขั้นตอน สามารถค้นคืนข้อมูลที่ต้องการได้ในเวลาอันรวดเร็ว และสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ประกอบการตัดสินใจได้ ดังนั้น ในครั้งนี้มุ่งศึกษารูปแบบการกระจายตัวของร้านอาหารแต่ละประเภทในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต และสำรวจมาตรฐานทางกายภาพแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต เพื่อให้ทราบถึงสถานที่ตั้ง ประเภทร้านอาหาร และทราบถึงมาตรฐานทางกายภาพของร้านอาหารในหาดป่าตอง รวมถึงเพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกร้านอาหารเพื่อบริโภคของนักท่องเที่ยว

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.เพื่อสำรวจเชิงพื้นที่และจัดทำแผนที่ของแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหารในหาดป่าตอง

2.เพื่อประเมินเบื้องต้นด้านมาตรฐานด้านทางกายภาพของแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหารในหาดป่าตอง

วิธีการดำเนินงาน

1. วิธีการจัดเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์การสำรวจเชิงพื้นที่และจัดทำแผนที่

ข้อมูลภูมิสารสนเทศที่จะใช้ในการสำรวจ คือ ข้อมูลขอบเขตหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต, ข้อมูลถนนเพื่อนำมาทำเป็นแผนที่ที่จะใช้ในการสำรวจตำแหน่งค่าพิกัด ประเภทของร้านอาหาร โดยมีวิธีดังต่อไปนี้

1.1 นำข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการสำรวจนำมากรอกข้อมูลลงใน Excel

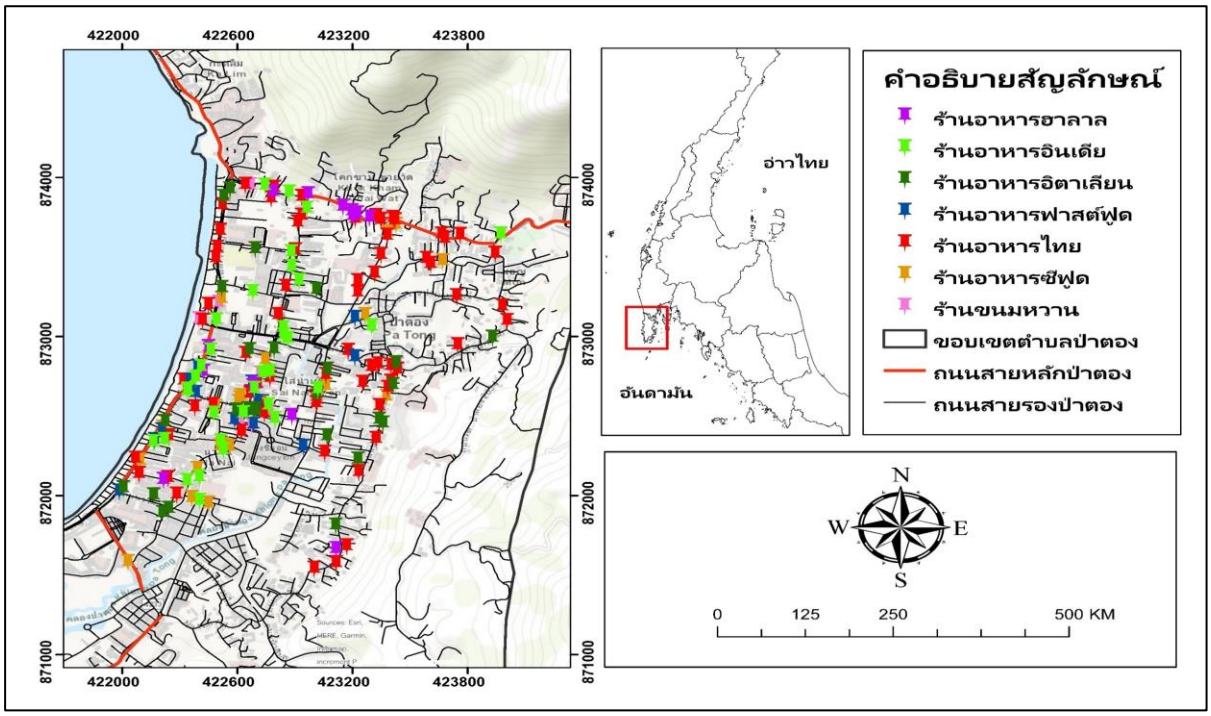
การจัดการข้อมูลเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามมากรอกข้อมูลลงในตาราง Excel โดยมีข้อมูลตำแหน่งค่าพิกัด ประเภทของร้านอาหาร ตำบล อำเภอและจังหวัดของร้านอาหาร จากนั้นนำข้อมูลที่กรอกในตาราง Excel ลงในโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ จัดการข้อมูลและแก้ไขหรือปรับแก้ข้อมูล ชั้นข้อมูลทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้ดังนี้คือ ตารางฐานข้อมูลของประเภทร้านอาหาร โดยจะประกอบได้ด้วย ตำแหน่งค่าพิกัด X Y, ประเภทของร้าน, ตำบล, อำเภอและจังหวัดของร้านอาหาร โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภทจุด (point) ที่แสดงระบบพิกัดแบบ Universal Transverse Mercator ระบบเส้นโครงแผนที่แบบ World Geodetic System (WGS) โซน 47 และทำการวิเคราะห์ข้อมูล

2. วิธีการจัดเตรียมข้อมูลที่ใช้ในประเมินเบื้องต้นด้านมาตรฐานด้านทางกายภาพ

2.1 จัดเตรียมแบบตรวจสอบมาตรฐานด้านทางกายภาพ

โดยจัดเตรียมแบบตรวจสอบมาตรฐานด้านทางกายภาพตามกระทรวงสาธารณสุข ตามพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 “สถานที่จำหน่ายอาหาร” แบบตรวจมาตรฐานสุขาภิบาลอาหาร “สถานที่จำหน่ายอาหาร” ใช้สำหรับตรวจประเมินร้านจำหน่ายอาหาร ภัตตาคาร สวนอาหาร สถานที่ประกอบอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาล ร้านจำหน่ายอาหารและเครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ โรงเรียน/โรงแรม เป็นต้น รวมถึงร้านอาหารในลักษณะอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกัน และในกรณีของการประกอบกิจการจำหน่ายอาหารเฉพาะกิจ (Event) งานเกษตรแฟร์ ของหน่วยงานภาครัฐหรือเอกชน (ยกเว้นแผงลอยจำหน่ายอาหารในที่หรือทางสาธารณะ) โดยครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้นำมาทั้งหมด 35 ข้อโดยแบ่งเป็น 4 หลักเกณฑ์ในการตรวจสอบได้แก่ บริเวณที่จำหน่ายอาหารและบริโภคอาหาร (จำนวน 10 ข้อ) บริเวณที่เตรียมปรุง ประกอบอาหาร (จำนวน 15 ข้อ) บริเวณห้องส้วม (จำนวน 4 ข้อ)และค่าความเข้มของแสงสว่างในบริเวณต่าง ๆ (จำนวน 6 ข้อ) ตามแบบตรวจมาตรฐานสุขาภิบาลอาหาร “สถานที่จำหน่ายอาหาร” (กฎกระทรวงสุขลักษณะของสถานที่จำหน่ายอาหาร, 2561)

2.2 กำหนดวิธีการสุ่มตัวอย่าง การสำรวจแบบการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified random sampling) โดยสุ่มร้านอาหารทั้งหมด 191 ร้าน แบ่งได้ 7 ชั้นภูมิตามประเภทร้านอาหาร และทำการเลือกสุ่มร้อยละ 20 ของจำนวนร้านอาหารแต่ละประเภท ดังตารางที่ 1 และ รูปภาพที่ 1 ต่อไปนี้



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงประเภทร้านอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

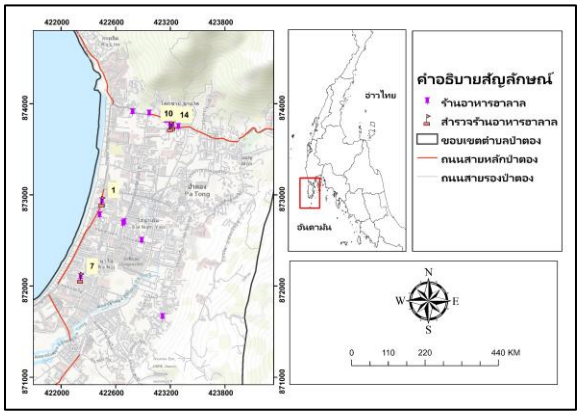
ตารางที่ 1 การสุ่มตัวอย่างร้านอาหารในการสำรวจมาตรฐานด้านกายภาพตามแบบตรวจมาตรฐานสุขาภิบาลอาหาร “สถานที่จำหน่ายอาหาร”

ลำดับ	ประเภทร้านอาหาร	จำนวนร้านอาหาร	จำนวนร้านอาหารที่เลือกสุ่ม
1	ร้านอาหารฮาลาล	14	4
2	ร้านอาหารอินเดีย	35	7
3	ร้านอาหารอิตาเลียน	27	6
4	ร้านอาหารฟาสต์ฟูด	13	4
5	ร้านอาหารไทย	72	15
6	ร้านอาหารซีฟูด	21	5
7	ร้านอาหารขนมหวาน	9	2
		191	43

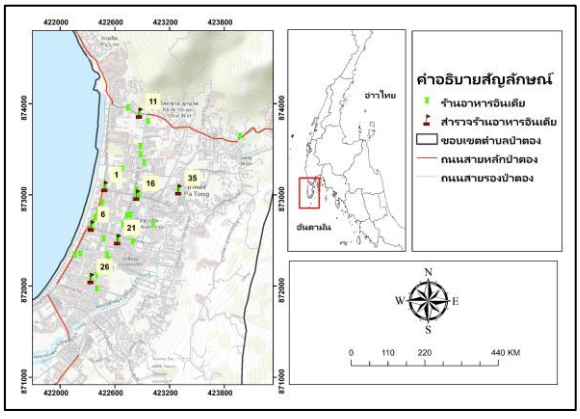
2.3 การสุ่มอย่างมีระบบ (Systematic Random Sampling)

สุ่มตัวอย่างร้านอาหารในรูปแบบการสุ่มอย่างมีระบบ(Systematic Random Sampling) ได้ดังข้อมูลและรูปภาพที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ต่อไปนี้

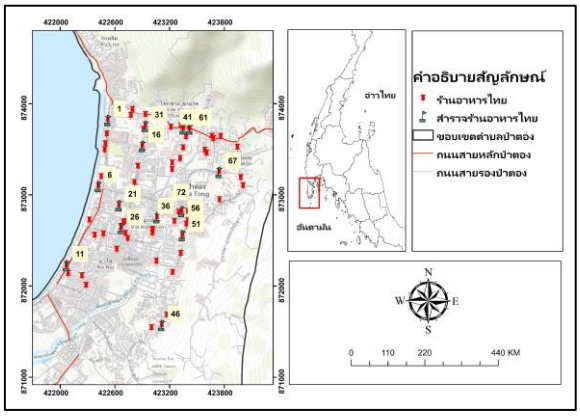
1. ร้านอาหารฮาลาล ทั้ง 14 ร้าน สุ่มเลือกจำนวน 4 ร้าน ได้แก่ ร้านที่ 1, 7,10 และ 14
2. ร้านอาหารอินเดีย ทั้งหมด 35 ร้าน สุ่มเลือกจำนวน 7 ร้าน ได้แก่ ร้านที่ 1, 6, 11, 16, 21, 26 และ 35
3. ร้านอาหารอิตาเลียน ทั้งหมด 27 ร้าน สุ่มเลือกจำนวน 6 ร้าน ได้แก่ ร้านที่ 1, 7, 12, 17, 22 และ 27
4. ร้านอาหารฟาสต์ฟูด ทั้งหมด 13 ร้าน สุ่มเลือกจำนวน 4 ร้าน ได้แก่ ร้านที่ 1, 6, 10 และ 13
5. ร้านอาหารไทย ทั้งหมด 72 ร้าน สุ่มเลือกจำนวน 15 ร้าน ได้แก่ ร้านที่ 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46, 51, 56, 61, 67 และ 72
6. ร้านอาหารซีฟูด ทั้งหมด 21 ร้าน สุ่มเลือกจำนวน 5 ร้าน ได้แก่ ร้านที่ 1, 6, 11, 16 และ 21
7. ร้านอาหารขนมหวาน ทั้งหมด 9 ร้าน สุ่มเลือกจำนวน 2 ร้าน ได้แก่ ร้านที่ 1 และ 7



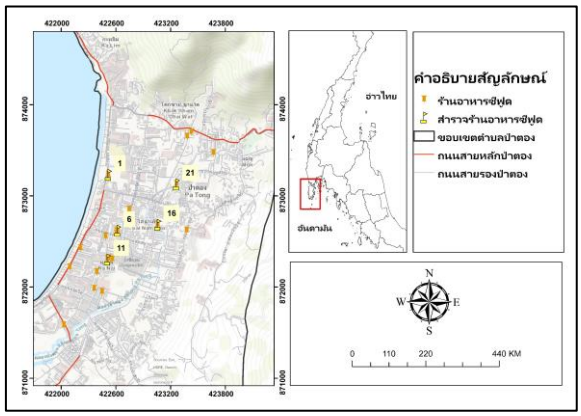
ภาพที่ 2 แผนที่แสดงการสำรวจร้านอาหารฮาลาล



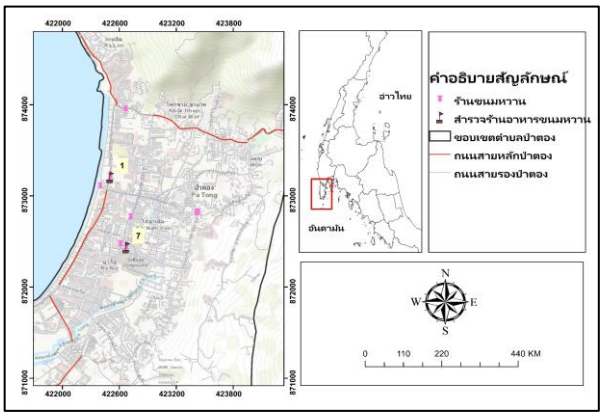
ภาพที่ 3 แผนที่แสดงการสำรวจร้านอาหารอินเดีย



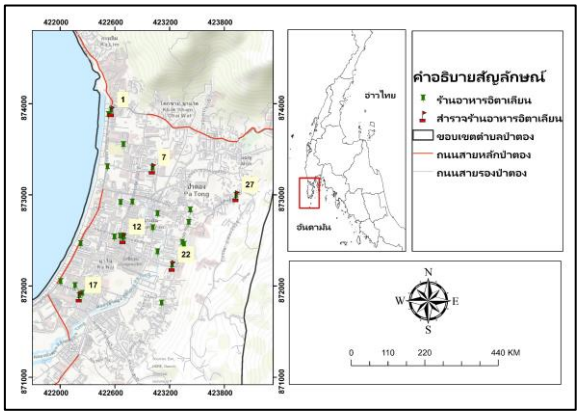
ภาพที่ 4 แผนที่แสดงการสำรวจ
ร้านอาหารไทย



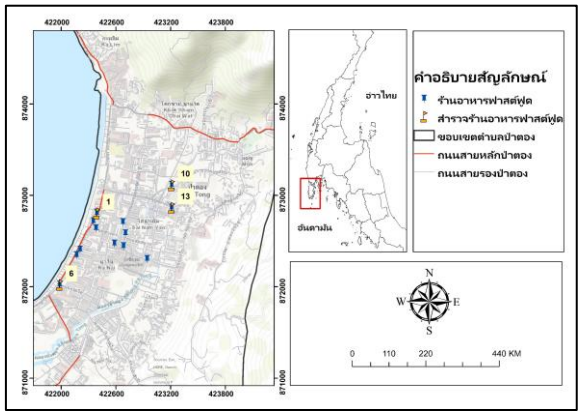
ภาพที่ 5 แผนที่แสดงการสำรวจ
ร้านอาหารซีฟูด



ภาพที่ 6 แผนที่แสดงการสำรวจ
ร้านขนมหวาน

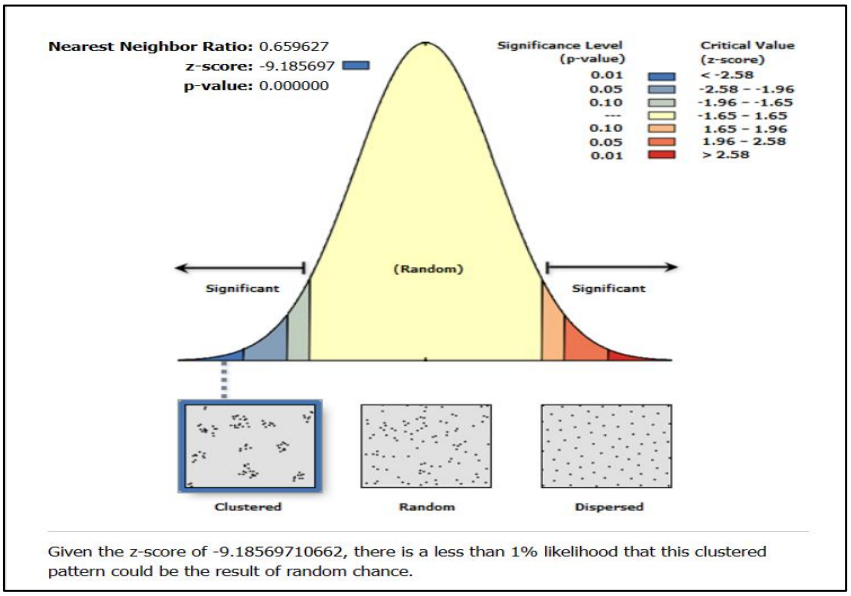


ภาพที่ 7 แผนที่แสดงการสำรวจ
ร้านอาหารอิตาเลียน



ภาพที่ 8 แผนที่แสดงการสำรวจ
ร้านอาหารฟาสต์ฟูด

ผลการศึกษา



ภาพที่ 9 กราฟแสดงรูปแบบการกระจายตัวของประเภทร้านอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

ที่มา: จากการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ (Spatial Distribution) ของร้านอาหารในหาดป่าตอง โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลร่วมกับประเภทร้านอาหาร 7 ประเภท ได้แก่ รายละเอียดมีดังนี้

1. การวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของร้านอาหาร

การวัดการกระจายของข้อมูลที่มีลักษณะเป็นจุด ค่าการกระจายออกมาในรูปของดัชนีเรียกว่า ดัชนีของจุดอื่นข้างเคียงใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Index) โดยค่าดัชนีจะเริ่มตั้งแต่ 0 – 2.15 โดยค่า 0 จะบอกถึงลักษณะการกระจายเป็นกลุ่มก้อน ถ้าค่าดัชนีเข้าใกล้ 1 จะบอกถึงการกระจายตัวแบบทั่วไป ถ้าค่าดัชนีเข้าใกล้ 2.15 จะบอกถึงการกระจายที่เป็นระบบและระเบียบ (ศิราภรณ์ สายวันและนาถนเรศ อาคาสุวรรณ, 2562)

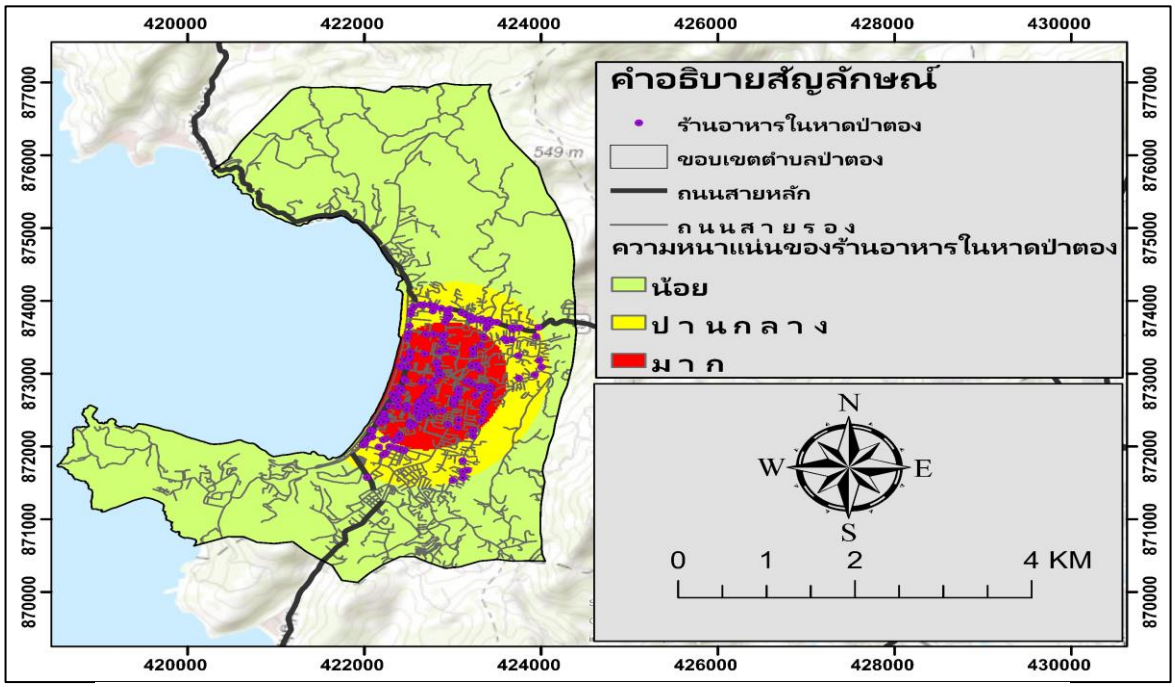
ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 9

1.1 การวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหาร

การกระจายของสิ่งต่าง ๆ ในพื้นที่ลักษณะการกระจายของสิ่งต่าง ๆ บนพื้นโลกพิจารณาจากการกระจาย 2 ลักษณะ คือ ความหนาแน่น (Dense) และการกระจาย (Spread) โดยนำวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้อธิบายลักษณะการกระจายตัวหรือการรวมตัวของสิ่งต่าง ๆ ทำให้มีความถูกต้องมากขึ้น ลักษณะการกระจายพื้นฐานมี 3 ประการ

1. รูปแบบเกาะกลุ่ม (Clustered pattern) อย่างสมบูรณ์ ค่าดัชนีย่านใกล้เคียง = 0
2. รูปแบบสุ่ม (Random pattern) อย่างสมบูรณ์ ค่าดัชนีย่านใกล้เคียง = 1
3. รูปแบบสม่ำเสมอ (Dispersed pattern) อย่างสมบูรณ์ ค่าดัชนีย่านใกล้เคียง = 2.149

ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แผนที่การกระจายตัวของตำแหน่งประเภทร้านอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

การศึกษารูปแบบการกระจายตัวของประเภทร้านอาหาร โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดัชนีของจุดอื่นข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด (Average Nearest Neighbor Summary) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ปรากฏว่า ค่าดัชนีความใกล้เคียง (Nearest Neighbor Index) มีค่าเท่ากับ 0.66 ใกล้เคียงค่า 0 ทำให้สรุปได้ว่าประเภทร้านอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต มีรูปแบบการกระจายตัวแบบเกาะกลุ่ม (Clustered pattern) และมีค่า Z-Score เท่ากับ -9.18 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตใต้โค้งที่ -2.58 ส่วนใหญ่ประเภทร้านอาหารจะกระจายตัวอยู่บริเวณหาดป่าตองที่เป็นสถานที่ท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยว

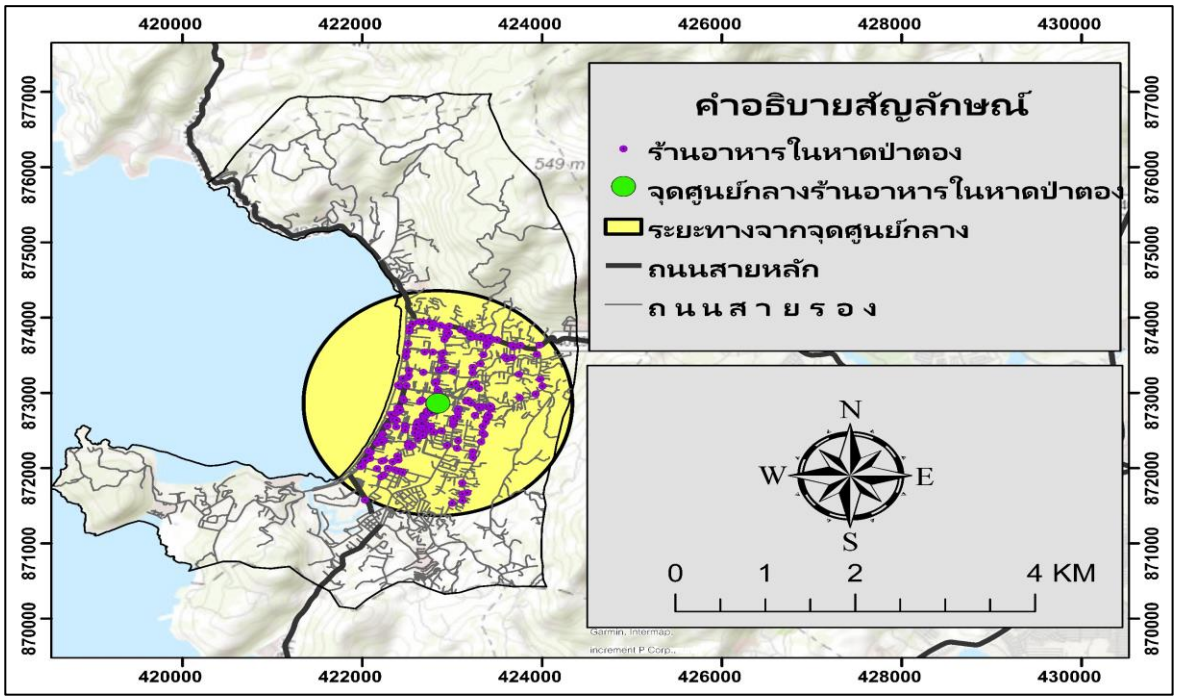
1.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของร้านอาหารด้วยวิธี Kernel Density

การวิเคราะห์ความหนาแน่นของร้านอาหาร โดยใช้วิธี Kernel Density ด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถใช้ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นของร้านอาหาร ซึ่งเป็นเทคนิคในการประมาณค่าความหนาแน่นเชิงพื้นที่ ในการวิเคราะห์ความหนานแน่นที่ตั้งของร้านอาหารแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นทางด้านปัจจัยทางกายภาพ โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะแสดงออกมาดังนี้

จากภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์พบว่าตำแหน่งร้านอาหารส่วนใหญ่กระจุกตัวในบริเวณพื้นที่กลาหาดป่าตองซึ่งแหล่งท่องเที่ยงของหาดป่าตอง ซึ่งมีความหนาแน่นค่อนข้างสูงและบริเวณรอบข้าง บางส่วนมีความหนาแน่นของร้านอาหารในระดับปานกลาง ซึ่งห่างออกไปแทบจะไม่มีร้านอาหารในตำบลป่าตอง

2. การวิเคราะห์หาจุดศูนย์กลางของประเภทร้านอาหารและการวิเคราะห์หาระยะมาตรฐานจากจุดศูนย์กลาง (Standard distance)

จุดศูนย์กลางเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา คือจุดตัดของค่าเฉลี่ยแกน x และ y (ปริญญา จันทร์งาม, 2558) การวิเคราะห์โดยวิธีศูนย์กลางเฉลี่ย (Mean Center) โดยมีสมการดังนี้ (Levine, 2010)



ภาพที่ 11 แผนที่แสดงจุดการศูนย์ร้านอาหารและระยะทางมาตรฐานที่ห่างจากจุดศูนย์การร้านอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{N} \qquad \bar{Y} = \sum_{i=1}^{N} \frac{y_i}{N}$$

เมื่อ x_i และ y_i คือพิกัดของจุดที่มีหน่วยพิกัดระบบ UTM

N คือ จำนวนที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด

เป็นการคำนวณระยะทางจากจุดร้านอาหารแต่ละจุดถึงจุดศูนย์กลางเฉลี่ยแล้วแสดงผลในรูปวงกลมจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ปริญญา จันทร์งาม, 2558) โดยมีสมการดังนี้ (Levine, 2010)

$$S_D = \sqrt{\left(\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}_c^{\,2}\right) + \left(\frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}_c^{\,2}\right)}$$

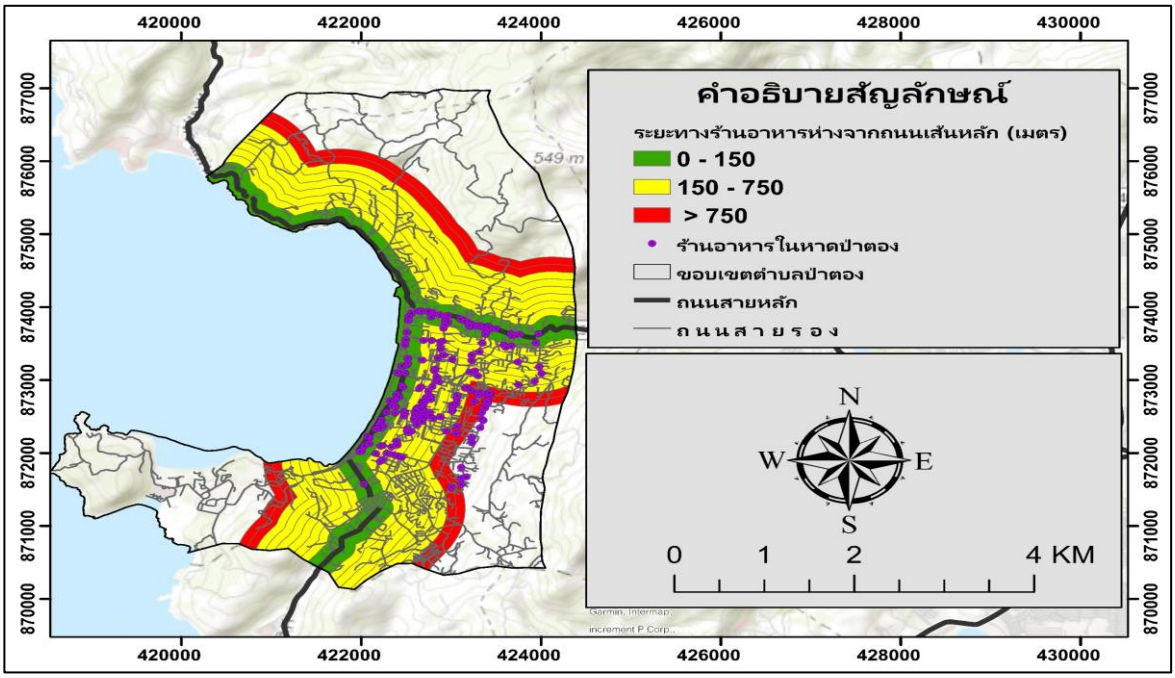
เมื่อ N คือ จานวนจุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ รายละเอียดดังนี้

จากภาพที่ 11 ผลการคำนวณหาจุดศูนย์กลางร้านอาหารพบว่าจุดศูนย์กลางของร้านอาหารพิกัดทางเหนือ 422841 เมตร พิกัดทางตะวันออก 872863 เมตรร้านอาหารส่วนใหญ่โดยเฉลี่ยในหาดป่าตองมีระยะที่ใกล้กับจุดศูนย์กลางในระยะห่างจากจุดศูนย์กลางประมาณ 300 – 600 เมตรโดยรอบและระยะทางมาตรฐาน (Standard distance) เพื่อดูรูปแบบการกระจายตัวของจุดที่อยู่บริเวณโดยรอบค่าเฉลี่ย ในการตั้งร้านอาหารจะต้องไม่เกินในระยะทางที่ห่างออกไปที่มีระยะทาง 1500 เมตรจากจุดศูนย์กลาง

3. การวิเคราะห์ตำแหน่งร้านอาหารที่อยู่ใกล้กับถนนสายหลักในระยะ 0–150 เมตร, 150–750 เมตร และมากกว่า 750 เมตร

วิเคราะห์ด้วยวิธี Proximity Area Method ของตำแหน่งประเภทร้านอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ที่อยู่ใกล้กับเส้นถนนสายหลัก โดยการสร้างระยะกันชน (buffer) ออกเป็น 3 ช่วง ตามการกระจุกตัวของร้านอาหาร ได้แก่ 1.) ช่วงของร้านอาหารที่ติดกับถนนสายหลักในระยะทาง 0–150 เมตร 2.) ช่วงที่มีการกระจุกตัวของร้านอาหารมากและห่างจากถนนสายหลักในระยะทาง 150–750 เมตร และ 3.) ช่วงที่มีการกระจุกตัวของร้านอาหารน้อยและห่างออกจากถนนเส้นหลักในระยะทางมากกว่า 750 เมตร ผลการวิเคราะห์ รายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 12 แผนที่แสดงตำแหน่งร้านร้านอาหารที่อยู่ใกล้กับถนนสายหลักในระยะ 150 – 1050 เมตร ในพื้นที่หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

จากภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์พบว่า ร้านอาหารที่ติดกับถนนสายหลักในระยะทาง 0–150 เมตร มีจำนวน 73 ร้าน ร้านอาหารที่ห่างจากถนนสายหลักในระยะทาง 150–750 เมตร มีจำนวน 92 ร้าน และร้านอาหารที่ห่างจากถนนเส้นหลักในระยะทางมากกว่า 750 เมตร มีจำนวน 26 ร้าน

4. การวิเคราะห์หาแนวโน้มการกระจายตัวของร้านอาหาร

เป็นการพิจารณาวงรีจากแกนทั้ง 2 ของวงรีคือ แกนยาวที่บอกทิศทางการกระจายตัวของจุด และแกนสั้นที่ลากตั้งฉากกับแกนยาวเชื่อมขอบด้านที่สั้นที่สุด โดยทั้ง สองแกนลากผ่านจุดศูนย์กลางเฉลี่ย โดยมีสมการดังนี้ (วริศร์ เย็นยิ่ง, 2550)

$$\text{Bivariate Distribution} = \sqrt{\frac{[\sigma_x^2+\sigma_y^2]}{2}}$$

โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้ง 2 แกนจะมีทิศทางตั้งฉากกัน และกาหนดเป็นวงรีจากการหมุนแกน x และ y จนกระทั่งผลรวมกำลังสองของระยะทางระหว่างจุดและแกนลดลงเหลือน้อยที่สุดจนกลายเป็นวงรี แกน y หมุนไปตามเข็มนาฬิกาผ่านมุม θ โดย

$$\theta = \mathbf{ARCTAN}\left[\sum(x_i-\bar{x})^2 - \sum(y_i-\bar{y})^2\right] + \frac{\left[(\sum(x_i-\bar{x})^2 - \sum(y_i-\bar{y})^2)^2 + 4(\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y}))^2\right]^{\frac{1}{2}}}{[2\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})]}$$

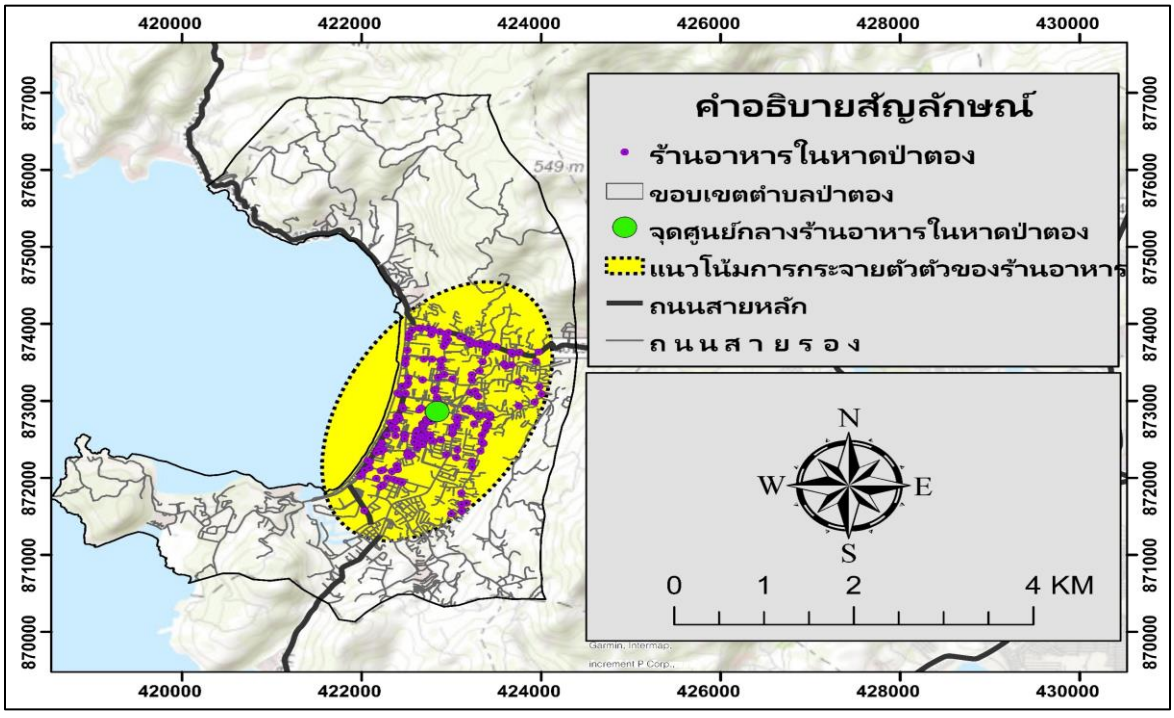
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้ง 2 ค่าถูกคำนวณขึ้น โดยค่าหนึ่งไปตามการสับเปลี่ยนของแกน x และอีกค่าหนึ่งไป ตามการสับเปลี่ยนของแกน y ดังสมการ

$$S_x = \sqrt{\left[2 \times \frac{\sum((x_i-x)\cos\theta - \sum(y_i-y)\sin\theta)^2}{N-2}\right]}$$

$$S_y = \sqrt{\left[2 \times \frac{\sum((x_i-x)\sin\theta - \sum(y_i-y)\cos\theta)^2}{N-2}\right]}$$

เมื่อ N คือ จานวนจุดทั้งหมด โดยในส่วนตัวหารของทั้งสองสมการค่า N จะถูกลบออก 2 เพื่อทาให้การ ประเมินค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานวงรีไม่เกิดการโน้มเอียง

ผลการวิเคราะห์ รายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 13 แผนที่แสดงแนวโน้มทิศทางของร้านอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

จากภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์แนวโน้มทิศทางของร้านอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต พบว่า ทิศทางการกระจายตัวของร้านอาหารมีแนวโน้มไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต มุ่งเข้าสู่ถนนสายหลักหาดป่าตองทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากมีถนนสายหลักเป็นตัวเชื่อมต่อ

5.การวิเคราะห์ทางกายภาพของประเภทร้านอาหาร

การวิเคราะห์ทางกายภาพของประเภทร้านอาหารวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ร้อยละ (Percentage) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลการสุ่มตรวจสอบด้านกายภาพภาพของร้านอาหารแต่ละประเภท เพื่อใช้ในการตัดสินใจของนักท่องเที่ยวสำหรับการบริโภคอาหารแต่ละประเภทให้เป็นไปตามเกณฑ์ทางกายภาพ โดยกำหนดเกณฑ์ในการวิเคราะห์ในการตรวจสอบด้านกายภาพของประเภทร้านอาหารดังนี้

ถูกต้องครบถ้วน : สถานที่จำหน่ายอาหารเป็นไปตามข้อกำหนดสุขลักษณะได้ถูกต้องครบถ้วนตามแบบประเมิน

ต้องปรับปรุง : สถานที่จำหน่ายอาหารไม่เป็นไปตามข้อกำหนดสุขลักษณะ ผู้ตรวจประเมินแนะนำควรให้คำแนะนำเพื่อให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนาตามข้อกำหนดตามแบบประเมิน

ไม่มีกิจกรรม : สถานที่จำหน่ายอาหารไม่มีกิจกรรมที่ระบุไว้ในข้อกาหนด และไม่เป็นปัญหาด้านสุขาภิบาลอาหาร ให้ถือว่าผ่านมาตรฐานข้อกาหนดสุขลักษณะในข้อนั้น ๆ

ผลการวิเคราะห์จากการสุ่มตรวจสอบด้านกายภาพภาพของร้านอาหารแต่ละประเภทสรุปได้ ดังตารางที่ 2ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ผลการสุ่มตรวจมาตรฐานด้านกายภาพของประเภทร้านอาหารในหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต

ลำดับที่	ประเภทร้านอาหาร	ผลการตรวจแนะนำ (ร้อยละ)		
		ถูกต้องครบถ้วน	ต้องปรับปรุง	ไม่มีกิจกรรม
1	ร้านอาหารฮาลาล	42	15	43
2	ร้านอาหารอินเดีย	40	24	36
3	ร้านอาหารอิตาเลียน	42	15	43
4	ร้านอาหารฟาสต์ฟูด	54	14	33
5	ร้านอาหารไทย	58	20	23
6	ร้านอาหารซีฟูด	59	18	23
7	ร้านขนมหวาน	54	24	21

ที่มา: จากการสำรวจ

จากผลการวิเคราะห์การสุ่มตรวจมาตรฐานด้านกายภาพของประเภทร้านอาหารในหาดป่าตอง จ.ภูเก็ต พบว่า ร้านอาหารฮาลาลและร้านอาหารอิตาเลียนมีถูกต้องครบถ้วนร้อยละ 42 ต้องปรับปรุงร้อยละ 15 ไม่มีกิจกรรมร้อยละ 43 ร้านอาหารอินเดียมีถูกต้องครบถ้วนร้อยละ 40 ต้องปรับปรุงร้อยละ 24 ไม่มีกิจกรรมร้อยละ 36 ร้านอาหารฟาสต์ฟูดถูกต้องครบถ้วนร้อยละ 54 ต้องปรับปรุงร้อยละ 14 ไม่มีกิจกรรมร้อยละ 33 ร้านอาหารไทยถูกต้องครบถ้วนร้อยละ 58 ต้องปรับปรุงร้อยละ 20 ไม่มีกิจกรรมร้อยละ 23 ร้านอาหารไทยถูกต้องครบถ้วนร้อยละ 59 ต้องปรับปรุงร้อยละ 18 ไม่มีกิจกรรมร้อยละ 23 ร้านขนมหวานถูกต้องครบถ้วนร้อยละ 54 ต้องปรับปรุงร้อยละ 24 ไม่มีกิจกรรมร้อยละ 21

สรุปผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของประเภทร้านอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต โดยนำข้อมูลร้านอาหารทำการวิเคราะห์โดยการใช้เครื่องมือทางสถิติคือ อัตราส่วนร้อยละและความถี่ ผลการวิเคราะห์โดยสรุปได้ ดังนี้ รูปแบบการกระจายตัวของร้านอาหารโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดัชนีของจุดอื่นข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด (Average Nearest Neighbor Summary) ผลจากการวิเคราะห์ปรากฏว่า ค่าดัชนีความใกล้เคียง (Nearest Neighbor Index) มีค่าเท่ากับ 0.66 ใกล้เคียงค่า 0 ทำให้สรุปได้ว่าประเภทร้านอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต มีการกระจายตัวเกาะกลุ่ม (Clustered pattern) และมีค่า Z-Score เท่ากับ -9.18

จากการวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่โดยใช้เทคนิคทางด้านระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ พบว่าร้านอาหารกระจุกตัวในบริเวณพื้นที่ใจกลางสถานที่ท่องเที่ยวชายหาดป่าตอง มีความหนาแน่นค่อนข้างสูงและบริเวณรอบข้างบางส่วนมีความหนาแน่นของร้านอาหารในระดับปานกลาง ถัดห่างออกไปแทบจะไม่มีร้านอาหารในหาดป่าตอง โดยจุดศูนย์กลางของร้านอาหารพิกัดอยู่ที่ทางเหนือ 422841 เมตร พิกัดทางตะวันออก 872863 เมตร (x: 422841 , Y: 872863) ร้านอาหารส่วนใหญ่โดยเฉลี่ยในหาดป่าตองมีระยะที่ใกล้กับจุดศูนย์กลางในระยะห่างจากจุดศูนย์กลางประมาณ 300 – 600 เมตรโดยรอบ และระยะทางมาตรฐานในการตั้งร้านอาหารจะต้องไม่เกินในระยะทางที่ห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางที่มีระยะทาง 1500 เมตรจากจุดศูนย์กลาง ส่วนใหญ่ร้านอาหารจะตั้งอยู่ใกล้กับถนนสายหลักในระยะระหว่าง 0 – 750 เมตร เนื่องจากเป็นสถานที่ท่องเที่ยวในหาดป่าตอง ส่วนระยะห่างมากกว่า 750 เมตร ร้านอาหารเริ่มมีจำนวนลดลง เพราะเริ่มห่างไกลจากสถานที่ท่องเที่ยวของหาดป่าตอง ผลการวิเคราะห์แนวโน้มทิศทางของร้านอาหารในหาดป่าตอง พิกัดอยู่ที่ทางเหนือ 422841 เมตร พิกัดทางตะวันออก 872863 เมตร พบว่าทิศทางการกระจายตัวของร้านอาหารมีแนวโน้มไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากมีถนนสายหลักเป็นตัวเชื่อมต่อ จากการวิเคราะห์พบว่ายิ่งร้านอาหารไกลจากสถานที่ท่องเที่ยวจากหาดป่าตองมากเท่าไหร่จะมีจำนวนร้านอาหารลดลง

การสำรวจแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ด้วยการศึกษาถึงรูปแบบการกระจายตัวของประเภทร้านอาหารตลอดจนลักษณะทางกายภาพของประเภทร้านอาหาร โดยทำการศึกษาประเภทร้านอาหารทั้งหมด 191 ร้าน ทำการวิเคราะห์โดยใช้การสำรวจเพื่อหาจำนวนของประเภทร้านอาหารต่อปัจจัยต่างๆ สามารถแบ่งร้านอาหารได้ทั้งหมด 7 ประเภท ได้แก่ ร้านอาหารฮาลาล ร้านอาหารอินเดีย ร้านอาหารอิตาเลียน ร้านอาหารฟาสต์ฟูด ร้านอาหารไทย ร้านอาหารซีฟูด และร้านอาหารของหวาน ในการศึกษาการสำรวจแหล่งท่องเที่ยวเชิงอาหารในหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ได้ทำแบบตรวจมาตรฐานด้านกายภาพจำนวน 35 ข้อ มีการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ ของประเภทร้านอาหารในหาดป่าตองจังหวัดภูเก็ต จากร้านอาหารทั้งหมด 191 ร้าน แบ่งได้ 7 ชั้นภูมิตามประเภทร้านอาหาร ทำการเลือกสุ่มร้อยละ 20 ของจำนวนร้านอาหารแต่ละประเภทและจากนั้นใช้วิธีการเลือกสุ่มอย่างมีระบบ หลังจากนั้นทำการสุ่มตรวจมาตรฐานด้านกายภาพของร้านอาหารนั้น ๆ โดยผลจาก

การสุ่มตรวจมาตรฐานด้านกายภาพของประเภทร้านอาหารได้ดังนี้ ร้านอาหารประเภทฮาลาลและอิตาเลียนมีความถูกตรงครบถ้วนตามมาตรฐานร้อยละ 42 ต้องปรับปรุงร้อยละ 15 โดยร้านอาหารส่วนใหญ่ต้องปรับปรุงในเรื่องการระบายอากาศไม่เพียงพอ เช่น การระบายอากาศของปล่องควันในการทำอาหารและมีคาบน้ำมันตามผนังในบริเวณห้องครัว ร้านอาหารประเภทอินเดียมีความถูกตรงครบถ้วนตามมาตรฐานร้อยละ 40 ต้องปรับปรุงร้อยละ 24 โดยร้านอาหารส่วนใหญ่ต้องปรับปรุงในเรื่องเขตปลอดบุหรี่และไม่มีอ่างล้างมือหรืออุปกรณ์ทำความสะอาดมือในพื้นที่บริโภคเนื่องจากในบางเมนูผู้บริโภคใช้มือในการรับประทาน ร้านอาหารประเภทฟาสต์ฟูดและขนมหวานมีความถูกตรงครบถ้วนตามมาตรฐานร้อยละ 54 ร้านอาหารประเภทฟาสต์ฟูดต้องปรับปรุงร้อยละ 14 และร้านอาหารประเภทขนมหวานต้องปรับปรุงร้อยละ 24 โดยในส่วนของร้านอาหารประเภทฟาสต์ฟูดและร้านขนมหวานที่ต้องปรับปรุงส่วนใหญ่เป็นในเรื่องของเครื่องมือสำหรับการป้องกันอัคคีภัยและในด้านการแยกเศษอาหารออกจากมูลฝอยประเภทอื่น ร้านอาหารไทยมีความถูกตรงครบถ้วนตามมาตรฐานร้อยละ 58 ต้องปรับปรุงร้อยละ 20 โดยร้านอาหารส่วนใหญ่ต้องปรับปรุงในเรื่องผนังหรือเพดานมีฝุ่น/หยากไย่ มีการใช้เอทานอล/เมทิลแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารและในบางร้านไม่มีเครื่องมือสำหรับป้องกันอัคคีภัย ร้านอาหารซีฟูดมีความถูกตรงครบถ้วนตามมาตรฐานร้อยละ 59 ต้องปรับปรุงร้อยละ 18 โดยร้านอาหารส่วนใหญ่ต้องปรับปรุงในเรื่องในเรื่องการระบายอากาศไม่เพียงพอ เช่น การระบายอากาศของปล่องควันในการทำอาหารทำให้มีคาบน้ำมันตามผนังในบริเวณห้องครัว มีการใช้เอทานอล/เมทิลแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารและไม่มีอ่างล้างมือหรืออุปกรณ์ทำความสะอาดมือในพื้นที่บริโภค และในส่วนของผลการตรวจที่ไม่มีกิจกรรม พบว่าเป็นในด้านการตรวจสอบริเวณห้องส้วมและห้องครัว เนื่องจากบางร้านไม่สามารถเข้าไปสำรวจด้านในร้านได้ ห้องน้ำโดยส่วนใหญ่ของร้านอาหารจะอยู่ด้านในร้านหรือแม้แต่ห้องครัวบางร้านอาหารได้ทำการประกอบอาหารอยู่ในห้องครัวที่มีรั้วรอบขอบชิด ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถเข้าไปสำรวจได้

ปัจจัยที่ให้ความสำคัญด้านการตรวจมาตรฐานด้านกายภาพมากที่สุด คือบริเวณที่จำหน่ายอาหารและบริโภคอาหาร เนื่องจากผู้วิจัยสามารถเข้าถึงในการสำรวจได้ทุกร้าน

อภิปรายผลการศึกษา

ร้านอาหารในหาดป่าตองแบ่งเป็น 7 ประเภท จำนวน 191 ร้าน มีการกระจายตัวเป็นแบบเกาะกลุ่ม พบว่าร้านอาหารมีความหนาแน่นบริเวณแหล่งท่องเที่ยวของหาดป่าตองและพื้นที่ใกล้เคียง ตลอดจนแนวพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวใกล้เคียงของหาดป่าตองและตามถนนเส้นหลักของหาดป่าตองคือ ถนนทวีวงศ์ วิธีการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภาณัฐ พัฒนวงศ์ (2561) เป็นการศึกษาการกระจายตัวของธุรกิจการค้าของชาวไทยเชื้อสายจีนบริเวณย่านเยาวราช โดยมีการแบ่งธุรกิจการค้าขายเชิงพาณิชย์ประเภทต่างๆ แบ่งออกเป็น 6 ประเภท 301 แห่ง มีการกระจายตัวแบบเป็นกลุ่มก้อนบริเวณถนนเยาวราชซอย 6 และซอย 8 ถนนแปลงนาม และถนนผดุงด้าว และปริญญา จันทร์งาม (2558) เป็นการศึกษารูปแบบทางพื้นที่ของการเกิดเหตุโจรกรรมรถยนต์โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง 2556 พบว่าทำการวิเคราะห์จากโปรแกรม Crimestat โดยวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของการเกิดเหตุ, วิเคราะห์จุดศูนย์กลางการเกิดเหตุเฉลี่ย, วิเคราะห์รัศมีการเกิดเหตุเฉลี่ย, วิเคราะห์แนวโน้มการกระจายตัวของการเกิดเหตุ และพิชญ์สินี บุญญานุพงศ์ และ ปิยะลักษณ์ พุทธวงศ์ (2564) ซึ่งเป็นการศึกษาพฤติกรรมการท่องเที่ยวเชิงอาหารและวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการเลือกการท่องเที่ยวเชิงอาหาร

นอกจากนี้ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Susiloningtyas, et al. (2020) ได้ศึกษาการกระจายตัวของความนิยมร้านอาหารในจาการ์ตา โดยร้านอาหารมีการกระตัวแบบเกาะกลุ่ม ร้านอาหารที่ได้รับความนิยมสูงส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตตอนกลางและตอนใต้ของจาการ์ตาและ Xi & Luo. (2016) ศึกษาลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของร้านอาหารในพื้นที่ก่อสร้างของเมืองชูสยง โดยมีการกระจายตัวแบบเกาะกลุ่ม โดยร้านอาหารจำนวนมากจะอยู่นอกระยะทางมาตรฐานซึ่งมีการกระจายพื้นที่ของร้านอาหารไม่ต่อเนื่องกันและทิศทางการกระจายตัวของร้านอาหารจะอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ มีแนวโน้มการขยายตัวไปทางตะวันตกเฉียงเหนือเนื่องจากเป็นเมืองโบราณและมีทิวทัศน์ที่สวยงามในบริเวณนั้นรวมทั้ง Tuzunkan & Albayrak (2016) ได้ศึกษาความสำคัญของร้านอาหาร สภาพแวดล้อมทางกายภาพสำหรับลูกค้าชาวตุรกี โดยมีการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างร้านอาหาร องค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อมทางกายภาพและคุณลักษณะของลูกค้า มีการเลือกร้านอาหาร 5 ประเภทที่แตกต่างกัน สำหรับการสำรวจจัดขึ้นที่เมืองอิสตันบูล ประเทศตุรกี แบบสอบถามที่นำมาใช้ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากลูกค้าร้านอาหาร 384 ราย การศึกษาปัจจัยในการตรวจสอบเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมทางกายภาพของร้านอาหารสำหรับลูกค้าชาวตุรกีในอิสตันบูล ได้แก่ พนักงานบริการ ความสวยงามของสิ่งอำนวยความสะดวก แผนผังบรรยากาศ การจัดโต๊ะ และแสงไฟ ซึ่งผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับธุรกิจร้านอาหาร ผู้ที่สนใจในการประกอบธุรกิจร้านอาหารและการตัดสินใจในการเลือกบริโภคร้านอาหาร ตลอดจนผู้ที่ต้องการนำข้อมูลไปใช้ในการศึกษาครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ปริญญา จันทร์งาม. (2558). **การศึกษารูปแบบทางพื้นที่ของการเกิดเหตุโจรกรรมรถยนต์โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**. (น.349–360). ใน ชาคริต ชุมวัฒนะ (บรรณาธิการ). การประชุมวิชาการระดับชาติSMARTS ครั้งที่ 5. ณ คณะสังคมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรจฒประสามิตร.

พิชญ์สินี บุญญานุพงศ์ และปิยะลักษณ์ พุทธวงศ์. (2564). พฤติกรรมการท่องเที่ยวเชิงอาหารและความคิดเห็นต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติในจังหวัดเชียงใหม่. **วารสารเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยแม่โจ้**. 1(1), 37–47.

ภาณัฐ พัฒนวงศ์. (2561). การกระจายตัวเชิงพื้นที่และเชิงชนชาติของกลุ่มธุรกิจการค้าของชาวไทยเชื้อสายจีนบริเวณย่านเยาวราช. **วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์**, 13(2), 193–202.

วริศร์ เย็นยิ่ง. (2550). **การกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโจรกรรมยานยนต์ในท้องที่สถานีตำรวจนครบาลพญไท**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

ศิราภรณ์ สายวัน และนาถนเรศ อาคาสุวรรณ. (2562). **การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายตัวของหอพักและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกพักอาศัยหอพักของนักศึกษา :กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา**. (น.441–452). การประชุมวิชาการด้านมนุษยศาสตร์ระดับชาติครั้งที่ 2. ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

สำนักงานจังหวัดภูเก็ต. (2566). **ข้อมูลการท่องเที่ยวจังหวัดภูเก็ต**.สืบค้น 24 กรกฎาคม 2566, จาก https://www.phuket.go.th/webpk/contents.php?str=travel.

ผู้จัดการออนไลน์. (2566). **ททท.ภูเก็ตเผยปี 65 นักท่องเที่ยวเข้าภูเก็ตกว่า 9 ล้านคน ปี 66 คาดไม่ต่ำกว่า 12 ล้านคน**. สืบค้น 25 กรกฎาคม 2566, จาก https://mgronline.com/south/detail/9660000009614.

กฎกระทรวงสุขลักษณะของสถานที่จำหน่ายอาหาร พ.ศ. 2561. (20 มิถุนายน 2561). **ราชกิจจานุเบกษา.** เล่ม 135 ตอนที่ 42 ก หน้า 19–25.

Levine, N. (2010). **CrimeStat Chapter 4 and 5.** Retrieved January, 12, 2015, form https://www.icpsr.umich.edu/CrimeStat/download.html.

Susiloningtyas, D., Tio, A., Shidiq, S., & Shidiq, I. (2020). SPATIAL DISTRIBUTION OF RESTAURANT POPULARITY INDEX BASED ON CONSUMER REVIEW. **International Journal of GEOMATE**, 18(68), 47 – 53. https://doi.org/10.21660/2020.68.5612.

Tuzunkan, D., & Albayrak, A. (2016). The Importance of Restaurant Physical Environment for Turkish Customers. **Journal of Tourism Research & Hospitality**, 5(1), 1 – 7. http://dx.doi.org/10.4172/2324–8807.1000154.

Xi, w., & Luo, R. (2016). Study on Characteristics of Spatial Distribution of Restaurants in Built–up Area of Chuxiong City. In K. Chong (Ed.), **The 2016 International Conference on Advances in Energy, Environment and Chemical Science AEECS 2016** (pp. 97–108). https://doi.org/10.2991/aeecs–16.2016.31.

การศึกษาภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

The study of image for Bungphra Phitsanulok commercial college under office of the vocational education commission

นฤเบศ เชาว์พานิช[1*] และ สถิรพร เชาวน์ชัย[1]

Narubet Chaopanich[1*] and Sathiraporn Chaowachai[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา 2) เพื่อเปรียบเทียบภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาจำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม กลุ่มผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ ผู้บริหารสถานศึกษาและครูผู้สอนในวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำนวน 59 คน จำแนกเป็น ผู้บริหารสถานศึกษา 3 คน ครูผู้สอน 56 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถามมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 47 ข้อ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) ผลการวิจัยพบว่า 1) ภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาในภาพรวม อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 และ 2) เมื่อเปรียบเทียบภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลกสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาจำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน

คำสำคัญ: ภาพลักษณ์, วิทยาลัย, อาชีวศึกษา

[1] สาขาวิชาการบริหารการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Educational Administration, Faculty of Education, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author: narubetc65@nu.ac.th

Abstract

The purposes of this research were to 1) The study of image for Bungphra Phitsanulok Commercial College under office of the vocational education commission. 2) compare image for Bungphra Phitsanulok Commercial College under office of the vocational education commission, classified by work experience. The samples of this research consisted of 59 administrators and teachers. The instrument in this research was a questionnaire with a 5-level estimation scale, 47 items. The data were analyzed by using mean, standard deviation, and one way ANOVA. The results showed 1) That the Overall results of image for Bungphra Phitsanulok Commercial College under office of the vocational education commission. were at high level with a mean of 4.39 and 2) when compared the image for Bungphra Phitsanulok Commercial College, classified by work experience. The overall and individual criteria were not difference.

Keywords: Image, College, Vocational education

บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น และการแข่งขันที่สูงระหว่างองค์กรต่าง ๆ ทั้งหน่วยงานของรัฐและเอกชนย่อมต้องมีการปรับตัวให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ทุกองค์กรต้องกำหนดแนวทางแผนการดำเนินงาน เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในองค์กรให้ทันกับกระแสการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบันทำให้การสร้างความเชื่อมั่นในองค์กรมีส่วนสำคัญต่อการดำเนินงานขององค์กรเป็นอย่างมาก และการสร้างความเชื่อมั่นในองค์กรโดยการพัฒนาภาพลักษณ์ขององค์กรให้มีความน่าเชื่อถือเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ซึ่งเป็นภารกิจหลักของผู้บริหาร และบุคลากรในองค์กร เพราะหากองค์กรมีภาพลักษณ์ที่ดีจะส่งผลต่อความสำเร็จขององค์กร

การจัดการศึกษาอาชีวศึกษาในปัจจุบันมีความสำคัญต่อการพัฒนานักเรียนนักศึกษา และกำลังคนในประเทศเป็นอย่างมาก เพราะนักเรียนนักศึกษาคืออนาคตของประเทศในการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม ครอบครัว ดังนั้น การจัดการ อาชีวศึกษาจึงเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างชาติ โดยการจัดการศึกษาทักษะวิชาชีพเพื่อสนองความต้องในการผลิตและพัฒนากำลังคนเข้าสู่ตลาดแรงงานทั้งในประเทศ และต่างประเทศให้มีคุณภาพ และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันสู่มาตรฐานสากล สอดคล้องกับ แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2560-2579 (2560 น. 100) ซึ่งเป็นแผนระยะยาว 20 ปี ที่สถานศึกษาอาชีวศึกษาทั่วประเทศใช้เป็นแนวทางในการจัดการศึกษา ตามยุทธศาสตร์ที่ 2 ซึ่งกล่าวถึงการผลิตและพัฒนากำลังคน การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสร้างขีดความ สามารถในการแข่งขันของประเทศในเป้าหมาย 2.1 กำหนดว่า กำลังคนมีทักษะที่สำคัญจำเป็น และมีสมรรถนะตรงตามความต้องการของตลาดงานและการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ การผลิตและพัฒนากำลังคนให้เพียงพอต่อความต้องการของสถานประกอบการตลาดแรงงาน และต่อยอดทักษะอาชีพ ในสาขาวิชาชีพขาดแคลน และเป็นความต้องการในการพัฒนาประเทศ พร้อมทั้งการปรับตัวให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงในโลกปัจจุบัน โดยเฉพาะการผลิตและพัฒนากำลังคนรองรับในความต้องการของตลาดอุตสาหกรรม ซึ่งที่ผ่านมหาวิทยาลัยพาณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา มีความมุ่งมั่นในการพัฒนาภาพลักษณ์ของวิทยาลัย และจัดการศึกษาด้านการสร้างทักษะวิชาชีพอาชีพให้กับผู้เรียน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของสถานประกอบการ และตลาดแรงงาน โดยมีองค์ประกอบในการพัฒนาซึ่งประกอบไปด้วย ด้านผู้บริหาร ด้านคุณภาพผู้เรียน ด้านครูผู้สอนและบุคลากรทางการศึกษา ด้านการทำกิจกรรมร่วมกับสังคมและบรรยากาศและวัฒนธรรมของสถานศึกษา ร่วมถึงการสร้างการยอมรับ และความเชื่อมั่นให้กับผู้ปกครองนักเรียน นักศึกษา และประชาชนทั่วไป เพื่อเพิ่มปริมาณผู้เรียนสายอาชีพให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตาม

แผนพัฒนาการอาชีวศึกษา (2560 น. 11) ยุทธศาสตร์ที่2 การผลิตและพัฒนากำลังคนด้านการอาชีวศึกษาเพื่อสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ ผลิตและพัฒนากำลังคนอาชีวให้มีสมรรถนะตรงตามความต้องการของตลาดแรงงาน และการพัฒนาประเทศ ในกลยุทธ์ที่1 ด้านแผนงาน การส่งเสริมภาพลักษณ์ และปรับค่านิยมของผู้เรียนด้านอาชีวศึกษา และการเพิ่มปริมาณผู้เรียนอาชีวศึกษาให้มีสัดส่วนที่สอดคล้องกับความตองการของตลาดแรงงานและการพัฒนาประเทศด้วยวิธีที่หลากหลาย แต่ผลที่ได้ยังไม่ตรงตามเป้าหมายของทางสถานศึกษาที่กำหนดไว้ โดยปัญหาเรื่องภาพลักษณ์ของสถานศึกษามีผลต่อการตัดสินใจเข้าเรียนของนักเรียน ศึกษา และยังไม่สามารถสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ปกครองได้ในการส่งนักเรียน นักศึกษา เข้าศึกษาต่อสายอาชีพ ส่งผลให้ผู้เรียนในวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลกลดลง ทั้งระดับ ปวช.(ประกาศนียบัตรวิชาชีพ) ปวส.(ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง)

การเพิ่มปริมาณผู้เรียนของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลกสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จึงจำเป็นต้องอาศัยการสื่อสาร ประชาสัมพันธ์ การสร้างภาพลักษณ์วิทยาลัยให้มีคุณภาพต้องพัฒนาองค์ประกอบทางด้านผู้บริหาร ด้านครูและบุคลากรทางการศึกษา ด้านคุณภาพผู้เรียน ด้านการทำกิจกรรมร่วมกับสังคม และด้านบรรยากาศและวัฒนธรรมของสถานศึกษา เพื่อปรับเปลี่ยนทัศนคติของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก เช่น นักเรียน นักศึกษา ผู้ปกครอง และสังคมชุมชน และอาชีวศึกษาต้องเผชิญ คือความไม่หยุดนิ่งของกระแสโลก ดังนั้นกระบวนการส่งเสริมให้เกิดภาพลักษณ์ที่ดีกับสถานศึกษานับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการขับเคลื่อนสถานศึกษา และการเปลี่ยนแปลงพัฒนาองค์กรได้นั้น ผู้บริหารต้องให้ความสำคัญกับการใช้การสื่อสารในองค์กรควบคู่ไปกับการบริหารจัดการด้านอื่น ๆ ดังนั้นผู้บริหารต้องสร้างความเป็นระบบ มีความสะดวก รวดเร็ว คล่องตัว สมชาติ กิจยรรยง (2561 น. 108) จะเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภาพลักษณ์องค์กรได้

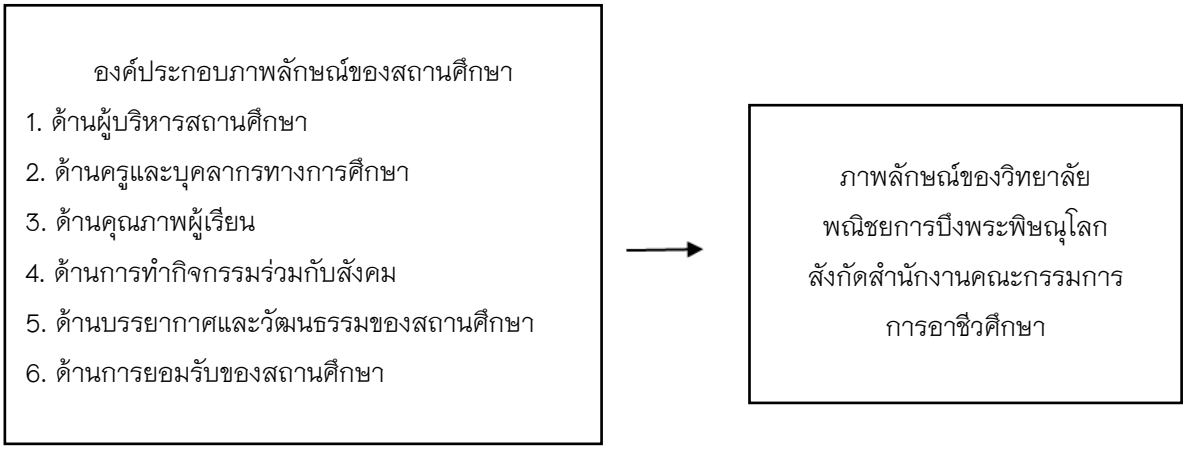
ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญและความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ว่าภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เป็นอย่างไรและอยู่ในระดับใด และเปรียบเทียบภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา โดยจำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม เพื่อนำผลวิจัยไปใช้ในการวางแผนปรับปรุง พัฒนาภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

2. เพื่อเปรียบเทียบภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

กรอบแนวคิด



วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) และเพื่อให้ผลการวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยมีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มผู้ให้ข้อมูล

กลุ่มผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ ผู้บริหารสถานศึกษาและครูผู้สอนในวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำนวน 59 คน จำแนกเป็น ผู้บริหาร 3 คน ครูผู้สอน 56 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถามภาพลักษณ์ของ วิทยาลัยพณิชย-การบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำนวน 1 ฉบับ แบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วย ประสบการณ์การทำงาน มีลักษณะเป็นแบบเติมคำตอบและแบบตรวจสอบรายการ (Check List)

ตอนที่ 2 ภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประกอบด้วย 6 ด้าน ข้อคำถาม จำนวน 47 ข้อ โดยมีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วน ประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามฉบับนี้ไปตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน และได้เลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC 0.5 ขึ้นไป ผลปรากฏว่า ได้ข้อคำถามตามเกณฑ์ จำนวน 47 ข้อ จากทั้งหมด 47 ข้อ ได้ค่า IOC ระหว่าง 0.67-1.00 ปรับปรุงแบบสอบถามตามคำแนะนำ และนำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้ (try-out) กับครูผู้สอนวิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำนวน 30 คน เพื่อหาความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสอบถามด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha-Coefficient) ของครอนบัค ผลปรากฏว่า ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ .95 และผู้วิจัยนำแบบสอบถามภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เก็บข้อมูลกับผู้บริหารและครูผู้สอน จำนวน 59 คน โดยจำแนกเป็น ผู้บริหาร 3 คน ครู้สอน 56 คน ได้แบบประเมินกลับคืนมาจำนวน 59 ฉบับ คิดเป็นร้อยละ 100 ของแบบสอบถามทั้งหมด โดยข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากตัวอย่างวิจัยจะถูกเก็บเป็นความลับและผู้วิจัยจะนำเสนอผลในภาพรวมเท่านั้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ความถี่และร้อยละ

2. วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับแบบสอบถามภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา โดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยแปลความหมายค่าเฉลี่ย (บุญชม ศรีสะอาด, 2560, น. 121) ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51–5.00 หมายถึง อยู่ในระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.51–4.50 หมายถึง อยู่ในระดับมาก
ค่าเฉลี่ย 2.51–3.50 หมายถึง อยู่ในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.51–2.50 หมายถึง อยู่ในระดับน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00–1.50 หมายถึง อยู่ในระดับน้อยที่สุด

3. วิเคราะห์เปรียบเทียบภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยใช้การทดสอบ (One way ANOVA)

ผลการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ผู้วิจัยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลการวิจัย โดยใช้ตารางประกอบคำบรรยาย ดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์ ภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ในภาพรวม

ที่	ภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก	กลุ่มผู้ให้ข้อมูล (n = 59)		ระดับการบริหารหลักสูตร	อันดับ
		ค่าเฉลี่ย	S.D.		
1	ด้านผู้บริหารสถานศึกษา	4.43	0.55	มาก	3
2	ด้านครูและบุคลากรทางการศึกษา	4.38	0.48	มาก	4
3	ด้านคุณภาพผู้เรียน	4.18	0.50	มาก	6
4	ด้านการทำกิจกรรมร่วมกับสังคม	4.66	0.50	มากที่สุด	1
5	ด้านบรรยากาศและวัฒนธรรมของสถานศึกษา	4.38	0.51	มาก	4
6	ด้านการยอมรับของสถานศึกษา	4.49	0.51	มาก	2
	รวม	4.39	0.46	**มาก**	

จากตารางที่ 1 ภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ในภาพรวม อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.39) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ด้านการทำกิจกรรมร่วมกับสังคม อยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 4.66) รองลงมา คือ ด้านการยอมรับของสถานศึกษา อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.49) และด้านที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ ด้านคุณภาพผู้เรียน อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.18) ตามลำดับ

2) ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

ที่	ภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก	ประสบการณ์การทำงาน						F	Sig.
		น้อยกว่า5 ปี (n = 10)		5–10 ปี (n = 27)		มากกว่า10 ปี (n = 22)			
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.		
1	ด้านผู้บริหารสถานศึกษา	4.34	0.77	4.56	0.39	4.31	0.58	1.40	0.25
2	ด้านครูและบุคลากรทางการศึกษา	4.36	0.41	4.47	0.34	4.28	0.63	0.89	0.42
3	ด้านคุณภาพผู้เรียน	4.01	0.53	4.28	0.40	4.13	0.58	1.22	0.30
4	ด้านการทำกิจกรรมร่วมกับสังคม	4.52	0.55	4.69	0.32	4.69	0.65	0.47	0.63
5	ด้านบรรยากาศและวัฒนธรรมของสถานศึกษา	4.17	0.62	4.48	0.35	4.35	0.60	1.38	0.26
6	ด้านการยอมรับของสถานศึกษา	4.39	0.66	4.58	0.35	4.43	0.59	0.82	0.45
	รวม	4.27	0.55	4.48	0.31	4.33	0.55	**1.12**	**0.33**

จากตารางที่ 2 พบว่า การเปรียบเทียบภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม ในภาพรวมและรายด้านทุกด้าน ไม่แตกต่างกัน

อภิปรายและสรุปผล

1. ผลการศึกษาภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา พบว่า ด้านการทำกิจกรรมร่วมกับสังคม มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ผู้บริหารสถานศึกษา ครูผู้สอน และบุคลากรทางการทางการศึกษา นักเรียน นักศึกษา สนับสนุนการดำเนินงานด้านการทำกิจกรรมร่วมกับสังคม โดยมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรม โครงการบำเพ็ญประโยชน์ ศูนย์ซ่อมสร้างเพื่อชุมชนอาชีวศึกษา มีจิตอาสาบริการชุมชนที่เป็นการสร้างประโยชน์ให้กับชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการมีส่วนร่วมของชุมชน ของโคเฮน

และอัฟฮอฟ (1981, อ้างถึงใน ชาญชัย ธรรมศิลป์, 2556, น. 16) ได้ให้ความหมาย การมีส่วนร่วมของชุมชน ว่าสมาชิกของชุมชนต้องเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง 4 มิติ ได้แก่ 1) การมีส่วนร่วมการตัดสินใจว่าควรทำอะไร และทำอย่างไร 2) การมีส่วนร่วมเสียสละในการพัฒนา รวมทั้งลงมือปฏิบัติตามที่ได้ตัดสินใจ 3) การมีส่วนร่วมในการแบ่งปันผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงาน 4) การมีส่วนร่วมในการประเมินผลโครงการ โดยสร้างโอกาสให้สมาชิกทุกคนของชุมชน ได้เข้ามามีส่วนร่วมช่วยเหลือ และเข้ามามีอิทธิพลต่อกระบวนการดำเนินกิจกรรมในการพัฒนา รวมถึงได้รับผลประโยชน์จากการพัฒนานั้นอย่างเสมอภาค และสอดคล้องกับแนวคิดของ นริศ สุคันธวรัตน์ (2560, น .61-63) ที่กล่าวว่า ภาพลักษณ์ด้านสังคมและชุมชนของสถานศึกษา คือ มีความใกล้ชิดกับชุมชน (Community Base) เน้นให้ผู้เรียนบำเพ็ญประโยชน์มีจิตอาสาต่อสังคมชุมชนผ่านโครงการต่าง ๆ อาทิ โครงการ (Fix it Center) เช่น การให้บริการตรวจเช็คสภาพรถยนต์ ซ่อมเครื่อง ใช้ไฟฟ้าฟรี สอนอาชีพให้กับชุมชน 108 อาชีพ เพื่อสร้างงานให้กับชุมชน สร้างนวัตกรรม หรือ สิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ ให้กับชุมชนและสังคม โครงการอาชีวะร่วมด้วยช่วยประชาชน เช่น ช่วยซ่อมแซมยานพาหนะในช่วงเทศกาลต่าง ๆ เช่น ทาสีห้องเรียน บริจาคอุปกรณ์ IT ให้กับโรงเรียนที่ขาดแคลน สร้างโรงเรียนสนามเด็กเล่น ทำอาหารเลี้ยงเด็กยากไร้และในกรณีภัยพิบัติต่าง ๆ เช่น น้ำท่วมจะไปสร้างห้องน้ำ สร้างบ้านลอยน้ำ โดดเด่นด้านการสร้างนวัตกรรมและเทคโนโลยีให้กับชุมชม มีส่วนร่วมบริการวิชาชีพให้กับชุมชนและอาชีวศึกษาระบบทวิภาคีโดยร่วมมือกับสถานประกอบเล็ก SMEs (Small and Medium Enterprise) และสอดคล้องกับแนวคิดของมงคล แก้วรอด (2564, น. 114-115) ที่กล่าวว่า ด้านการให้บริการ สังคมและชุมชนของสถานศึกษา คือ มีความใกล้ชิดกับชุมชน (Community Base) ได้ช่วยเหลือสังคมผ่านโครงการต่าง ๆ และสอดคล้องกับแนวคิดของ Kavin Lane Keller (2008, อ้างถึงใน มนสิช สิทธิสมบูรณ์, 2563, น. 155-156) ด้านความรับผิดชอบต่อสังคม เช่นการที่องค์การสะท้อนให้เห็นถึงความรับผิดชอบต่อสังคม การคืนกำไรให้กับสังคม และมีส่วนร่วมกับสังคมในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นการที่องค์การให้ความช่วยเหลือกับชุมชนใกล้เคียงและทำกิจกรรมที่สร้างสรรค์ต่อสังคม เป็นกิจกรรมที่สอดคล้องกับความต้องการในชุมชน และสอดคล้องกับงานวิจัย สายฝน บูชา (2564) เรื่อง ภาพลักษณ์ของนักศึกษาคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจรับนักศึกษาฝึกสหกิจศึกษาในสถานประกอบการ พบว่า เรื่องเกี่ยวกับนักศึกษามีจิตอาสาในการช่วยเหลือผู้อื่นอย่างสม่ำเสมอ อยู่ในระดับสูงสุด

2. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ในภาพรวมและรายด้านทุกด้านไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ผู้บริหาร และครูผู้สอน ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก ปฏิบัติหน้าที่ดำเนินการด้านการบริหาร ด้านการจัดการเรียนการสอน ด้านการพัฒนาผู้เรียน และด้านการสนับสนุน การพัฒนาวิทยาลัย โดยการดำเนินงานที่มีแนวทางการปฏิบัติหน้าที่อย่างชัดเจน มีจุดมุ่งหมายเดียวกันในการพัฒนาวิทยาลัย มีวัฒนธรรมของวิทยาลัยที่เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ทำให้ประสบการณ์การทำงานที่แตกต่างกันของผู้บริหาร และครูผู้สอน แต่มีแนวทางการดำเนินงาน แนวทางการพัฒนา จุดมุ่งหมาย และมีวัฒนธรรมวิทยาลัยเดียวกัน จึงทำให้ภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก ในภาพรวมและรายด้านทุกด้านไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของเกษศิรินทร์ มั่งมี (2556) ที่ได้ทำวิจัยเรื่อง การศึกษาภาพลักษณ์ของโรงเรียนภาษา และวัฒนธรรมญี่ปุ่นวาเซดะ พบว่า ภาพลักษณ์ของโรงเรียนภาษา และวัฒนธรรมญี่ปุ่นวาเซดะ จำแนกตามอายุ ระดับการศึกษา อาชีพและรายได้ โดยรวมและรายด้านทุกด้าน ไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. จากการศึกษาภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ด้านการทำกิจกรรมร่วมกับสังคม แสดงว่า ผู้บริหาร ครูผู้สอน และนักเรียน นักศึกษา มีส่วนร่วมส่งเสริม และเข้าร่วมสนับสนุนการดำเนินงานด้านการทำกิจกรรมร่วมกับสังคม มีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรม โครงการบำเพ็ญประโยชน์ โครงการปลูกป่า ศูนย์ซ่อมสร้างเพื่อชุมชนอาชีวศึกษา(FIX IT Center) มีจิตอาสาบริการชุมชนทำประโยชน์ให้กับชุมชน สังคม จึงควรมีการนำกระบวนการด้านการทำกิจกรรมร่วมกับสังคมไปปรับใช้กับกระบวนการดำเนินงานบริหาร และพัฒนาภาพลักษณ์ของสถานศึกษา เพื่อให้มีระดับภาพลักษณ์ที่สูงขึ้น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อภาพลักษณ์ของสถานศึกษาในด้านการตัดสินใจศึกษาต่อของผู้เรียน
2. ควรศึกษาแนวทางการพัฒนาภาพลักษณ์ด้านการประชาสัมพันธ์ของสถานศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง ภาพลักษณ์ของวิทยาลัยพณิชยการบึงพระพิษณุโลก สังกัดคณะกรรมการการอาชีวศึกษา สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ และสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์สถิรพร เชาวน์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิดข้อแนะนำ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี่

เอกสารอ้างอิง

เกษศิรินทร์ มั่งมี. (2556). **การศึกษาภาพลักษณ์ของโรงเรียนภาษา และวัฒนธรรมญี่ปุ่นวาเซดะ** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพฯ.

ชาญชัย ธรรมศิลป์. (2556). **ความเป็นผู้นำของกำนันและผู้ใหญ่บ้าน อำเภอภูกามยาว จังหวัดพะเยา ต่อการส่งเสริมเศรษฐกิจพอเพียง** (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

นริศ สุคันธวรัตน์. (2560). **กลยุทธ์การสื่อสารเพื่อสร้างภาพลักการ์สถานศึกษาอาชีวศึกษาตามกรอบแนวคิดความรับผิดชอบต่อสังคม** (วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

บุญชม ศรีสะอาด. (2560). **การวิจัยเบื้องต้น** (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

มงคล แก้วรอด. (2564). การศึกษาความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อภาพลักษณ์อาชีวศึกษา. ของวิทยาลัยในสังกัดสถาบันภาคตะวันออกเฉียงเหนือ1. **วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา**, 5(1), 114–115.

มนสิช สิทธิสมบูรณ์. (2563). มโนทัศน์การสร้างภาพลักษณ์องค์การ. **วารสารบัณฑิตวิทยาลัยพิชญทรรศน์**, 15(1), 150.

สมชาติ กิจยรรยง. (2561). **กลยุทธ์ทางการตลาดสำหรับผู้บริหาร** (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: สมาร์ทไลฟ์.

สายฝน บูชา. (2564) . ภาพลักษณ์ของนักศึกษาคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). **แผนพัฒนาการอาชีวศึกษา พ.ศ.2560 – 2579**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). **แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2560 – 2579**. กรุงเทพฯ: พริกหวานกราฟฟิค จำกัด.

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

A study of factors affecting the strategy implementation of the Faculty of Humanities, Naresuan University

รจเรข แก้วพฤกษ์[1*]

Rotcharek Kaewpruek[1*]

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ 2) ศึกษาเปรียบเทียบความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ และ 3) ศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติ กลุ่มตัวอย่างคือ บุคลากรสังกัดคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวน 112 คน เครื่องมือที่ใช้คือ แบบสอบถาม การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.85 และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาเท่ากับ 0.978 สถิติที่ใช้ประกอบด้วย ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติทดสอบที และสถิติทดสอบเอฟ ผลการวิจัยพบว่า ภาพรวมกลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ อยู่ในระดับมาก โดยด้านภาวะผู้นำมากที่สุด รองลงมาคือ การจัดการความเปลี่ยนแปลง โครงสร้างองค์การ ระบบการจูงใจ และการติดต่อสื่อสาร ตามลำดับ บุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุน มีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 บุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนที่สังกัดหน่วยงานต่างกัน มีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ผลการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรคในการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติพบว่า 1) บุคลากรไม่ทราบกลยุทธ์ของหน่วยงาน 2) กลยุทธ์มีความเป็นนามธรรม ไม่มีแผนปฏิบัติงานเชิงยุทธศาสตร์ที่เป็นรูปธรรม 3) การขาดความต่อเนื่องของการดำเนินงานตามกลยุทธ์และการกำกับติดตามที่จริงจัง 4) กลยุทธ์ส่วนใหญ่เป็นงานประจำไม่ค่อยมีงานเชิงยุทธศาสตร์ 5) ความร่วมมือร่วมใจของบุคลากรทุกส่วนงาน และการจัดการความขัดแย้ง 6) การจัดระบบการทำงานสนับสนุนงานยุทธศาสตร์ที่ไม่ชัดเจน และ 7) ภาระงานประจำของบุคลากร และระบบงานของหน่วยงานไม่เอื้อหรือไม่สนับสนุนต่อการทำงานเชิงยุทธศาสตร์

คำสำคัญ: กลยุทธ์, การถ่ายทอดกลยุทธ์, การนำแผนไปสู่การปฏิบัติ

[1] สำนักงานเลขานุการ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] The Secretariat Office, Faculty of Humanities, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author: rotchareks@nu.ac.th

Abstract

This research study aimed to 1) examine the factors affecting the strategic implementation and study the obstacles of the strategic implementation 2) examine and compare the opinions on the factors affecting the strategic implementation and 3) study the obstacles of the strategic implementation. Data were collected through questionnaires distributed to 112 staff members of the Faculty of Humanities, Naresuan University. The overall Item Objective Congruence Index (IOC) of this questionnaire was 0.85, and the reliability of the questionnaire in the form a Cronbach's alpha coefficient was 0.978. The statistics used in analyzing the data involved frequency, percentage, mean, standard deviation (S.D.), T-test, and F-test (One-way ANOVA). The result showed that the overall opinions of the sample group on the factors affecting the strategic implementation were at a high level. The leadership factor was at the highest level. It was followed by change management, organization structure, motivation system, and communication respectively. The opinions on the factors affecting the strategic implementation of academic and supporting staff were not statistically different at 0.05. Also, the opinions on the factors affecting the strategic implementation of academic and supporting staff from diverse departments were not statistically different at 0.05. The findings of the study of the obstacles of the strategic implementation of the Faculty of Humanities, Naresuan University showed that 1) the staff was not aware of the faculty's strategies, 2) the strategies were abstract, and there was no concrete strategic action plan, 3) there was inadequate continuity and a lack of effective follow-up on the strategies, 4) most of the strategies were more like daily tasks and lacked strategic planning, 5) there was a lack of cooperation among staff members in all departments and a lack of conflict management, 6) there was no clear management system to support strategic work, and 7). regular workload of the staff and the administrative system did not facilitate or support strategic work.

Keywords: Strategy, Strategy Implementation, Implementation

บทนำ

สถาบันอุดมศึกษาในปัจจุบันทั้งหมด 155 แห่ง (สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม, 2565) ซึ่งรวมถึงคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่มีหน้าที่จัดการเรียนการสอนทั้งระดับปริญญาตรี และระดับบัณฑิตศึกษา มีพันธกิจหลัก 4 ประการ คือ การผลิตบัณฑิต การวิจัย การให้บริการทางวิชาการแก่สังคม และการทำนุบำรุงศิลปะและวัฒนธรรม แต่ในทางกลับกันโครงสร้างของสังคมไทยกำลังเคลื่อนตัวเข้าสู่สังคมสูงวัยที่อัตราการเกิดของประชากรน้อยลง ซึ่งส่งผลให้จำนวนเด็กนักเรียนลดลงตามไปด้วย สถานการณ์เช่นนี้ทำให้สถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทยต้องปรับตัวอย่างหนัก เพราะจำนวนนิสิตที่ลดลงทำให้รายได้ลดลงตามไปด้วย หากสถาบันอุดมศึกษายังไม่ตระหนักต่อสิ่งที่เกิดขึ้นนี้อาจต้องปิดหลักสูตร รวมถึงผลกระทบเรื่องคุณภาพของหลักสูตรที่ไม่สามารถแข่งขันในระดับสากลได้ เมื่อเกิดสภาวการณ์การแข่งขันที่สูงขึ้นเช่นนี้ หลายสถาบันจึงได้จริงจังกับด้านการตลาด ผู้นำระดับสูงและการจัดการเชิงกลยุทธ์จึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างมากต่อการบริหารจัดการหน่วยงาน และนำพาหน่วยงานให้อยู่รอดได้ในสถานการณ์ปัจจุบัน

เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายและวิสัยทัศน์ที่ตั้งไว้ แผนยุทธศาสตร์เป็นเรื่องที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง การที่มีแผนยุทธศาสตร์ที่ดีไม่ได้หมายความว่าหน่วยงานจะประสบความสำเร็จเสมอไป แต่หากเมื่อไม่สำเร็จตามแผน หน่วยงานต้องกลับไปทบทวนสาเหตุว่าเกิดจากอะไร กลับไปพิจารณาทบทวนทุกขั้นตอนทุกกระบวนการ ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์สภาพแวดล้อม การกำหนดทิศทางและยุทธศาสตร์ของหน่วยงาน การนำแผนยุทธศาสตร์ไปสู่การปฏิบัติ การติดตามและประเมินผลแผน เพื่อทราบถึงสาเหตุและแก้ไขปัญหาได้ถูกต้องตรงประเด็น สาเหตุส่วนใหญ่ของความล้มเหลวของแผนยุทธศาสตร์ คือ หลายหน่วยงานไม่ได้ตระหนัก และไม่ได้ให้ความสำคัญกับการนำแผนไปปฏิบัติ นั่นหมายความว่าส่วนใหญ่แล้วแผนยุทธศาสตร์ได้มีการกำหนดไว้อย่างดี แต่ไม่ได้ถูกนำไปปฏิบัติอย่างเหมาะสมนั่นเอง (อุษณีย์ คำประกอบ, 2566) ประกอบกับผลการประเมินตนเองตามเกณฑ์คุณภาพการศึกษาเพื่อการดำเนินการที่เป็นเลิศ (Education Criteria for Performance Excellence: EdPEx) ปีการศึกษา 2564 ของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ในการนำกลยุทธ์ที่กำหนดไว้ไปสู่การปฏิบัติเพื่อให้บรรลุตัวชี้วัดความสำเร็จนั้น มีบางส่วนที่พบกับปัญหาและอุปสรรค ไม่สามารถดำเนินการได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ การนำกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติสามารถดำเนินการได้ในระดับหนึ่ง การนำกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์นั้นยังต้องมีการปรับปรุงพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงสนใจดำเนินการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาความคิดเห็นของบุคลากรว่า มีปัจจัยหรือองค์ประกอบใดบ้างที่ส่งผลต่อการนำกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติให้เกิดประสิทธิผล และจะทำให้คณะมีแนวทางหรือวิธีการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพ และสุดท้ายก็จะส่งผลให้แผนกลยุทธ์ของคณะบรรลุตามเป้าหมายและวิสัยทัศน์ที่ตั้งไว้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความคิดเห็นของบุคลากรเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
3. เพื่อศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการจัดทำแผนกลยุทธ์ในฐานะผู้ปฏิบัติงานด้านนโยบายและแผนของหน่วยงาน และศึกษาเอกสารเกี่ยวกับแผนและการจัดการเชิงกลยุทธ์ และรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. จัดทำกรอบแนวคิดการวิจัย
3. ออกแบบและจัดทำเครื่องมือการวิจัย โดยนำข้อมูลที่ศึกษาได้จากเอกสารตามขอบเขตเนื้อหา มาปรับปรุงให้สอดคล้องกับหัวข้อและวัตถุประสงค์ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบสอบถาม และนำไปตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญ
4. รวบรวมข้อมูลโดยการสอบถามกลุ่มตัวอย่าง
5. รวบรวม สรุปและวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติทดสอบที และสถิติทดสอบเอฟ
6. นำเสนอรายงานการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นบุคลากรชาวไทย สังกัดคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวนทั้งหมด 143 คน ไม่รวม ผู้บริหาร จำนวน 7 คน บุคลากรลาศึกษาต่อ จำนวน 5 คน บุคลากรลาฝึกอบรมระยะสั้น จำนวน 2 คน พนักงานขับรถ 1 คน คนสวน 3 คน และผู้วิจัย 1 คน (คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2566)

กลุ่มตัวอย่าง แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น กลุ่มสายวิชาการ จำนวน 103 คน และกลุ่มสายสนับสนุน จำนวน 40 คน กำหนดตัวแปรต้น คือ ประเภทบุคลากร หน่วยงานที่สังกัด และระยะเวลาการทำงาน มีตัวแปรตาม คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ ประกอบด้วย ภาวะผู้นำ (Leadership), การจัดการความเปลี่ยนแปลง (Change Management), การติดต่อสื่อสาร (Communication), ระบบการจูงใจ (Motivation System) และโครงสร้างองค์การ (Organization Structure)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การสร้างเครื่องมือ และการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ แบบสอบถาม ซึ่งได้ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาจากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 คน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 0.85 และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาเท่ากับ 0.978

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผู้วิจัยได้จัดทำหนังสือขออนุญาตเก็บข้อมูลการวิจัยจากบุคลากรผู้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการให้ข้อมูล จำนวน 143 คน และได้รับคืนจำนวน 112 ฉบับ คิดเป็นร้อยละ 78.33 แบ่งเป็นบุคลากรสายวิชาการ จำนวน 75 ฉบับ คิดเป็นร้อยละ 66.96 และบุคลากรสายสนับสนุน จำนวน 37 ฉบับ คิดเป็นร้อยละ 33.04 ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนของแบบสอบถาม และนำข้อมูลไปวิเคราะห์และประมวลผล โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติทดสอบที และสถิติทดสอบเอฟ

2. เกณฑ์ในการประเมินเป็นแบบมาตราประมาณค่า (Rating Scale) แบ่งระดับการวัด เป็น 5 ระดับ กำหนดช่วงคะแนนเฉลี่ยในแต่ละระดับ ดังนี้ ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.51 – 5.00 หมายถึงมากที่สุด ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.51 – 4.50 หมายถึงมาก ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.51 – 3.50 หมายถึงปานกลาง ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.51 – 2.50 หมายถึงน้อย และค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00 – 1.50 หมายถึงน้อยที่สุด

3. สมมติฐานการวิจัย

3.1 ความคิดเห็นของบุคลากรแต่ละประเภทที่มีต่อปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติมีความแตกต่างกัน

3.2 ความคิดเห็นของบุคลากรแต่ละหน่วยงานที่มีต่อปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติมีความแตกต่างกัน

ผลการศึกษา

ตอนที่ 1 ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 65.18 และเป็นเพศชาย ร้อยละ 32.14 ไม่ระบุเพศร้อยละ 2.68 มีอายุมากที่สุดอยู่ระหว่าง 26–43 ปี ร้อยละ 50.00 รองลงมา อายุ 44–58 ปี ร้อยละ 44.64 อายุ 59 ปีขึ้นไป ร้อยละ 4.47 และอายุต่ำกว่า 26 ปี ร้อยละ 0.89 มีวุฒิการศึกษาปริญญาโทมากที่สุด ร้อยละ 42.86 รองลงมาระดับปริญญาเอก ร้อยละ 41.07 ระดับปริญญาตรีร้อยละ 15.18 และต่ำกว่าปริญญาตรี ร้อยละ 0.89 กลุ่มตัวอย่างเป็นบุคลากรสายวิชาการมากที่สุด ร้อยละ 66.96 รองลงมาคือ บุคลากรสายสนับสนุน ร้อยละ 33.04 มีระยะเวลาการทำงานในคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร มากที่สุดระหว่าง 16–25 ปีมากที่สุด ร้อยละ 44.64 รองลงมาคือ ระหว่าง 6–15 ปี ร้อยละ 30.36 มากกว่า 25 ปี ร้อยละ 13.39 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ปี ร้อยละ 11.61

ตอนที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาพรวมกลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.26, S.D. = 0.67) โดยเมื่อพิจารณาจากค่าคะแนนเฉลี่ยทั้ง 5 ประเด็นพบว่า ทุกประเด็นมีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก คือ ภาวะผู้นำมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.38, S.D. = 0.72) รองลงมาคือ การจัดการความเปลี่ยนแปลง ($\bar{x}$ = 4.31, S.D. = 0.71) โครงสร้างองค์การ ($\bar{x}$ = 4.24, S.D. = 0.79) ระบบการจูงใจ ($\bar{x}$ = 4.18, S.D. = 0.72) และการติดต่อสื่อสาร ($\bar{x}$ = 4.17, S.D. = 0.74) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอด กลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ ภาพรวม

n = 112

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์	ค่าเฉลี่ย $\bar{x}$	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D.	ความหมาย
ภาวะผู้นำ	4.38	0.72	มาก
การจัดการความเปลี่ยนแปลง	4.31	0.71	มาก
การติดต่อสื่อสาร	4.17	0.74	มาก
ระบบการจูงใจ	4.18	0.74	มาก
โครงสร้างองค์การ	4.24	0.79	มาก
รวม	**4.26**	**0.67**	**มาก**

ความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ จำแนกตามประเภทของบุคลากร พบว่า บุคลากรสายวิชาการมีความคิดเห็นว่า ด้านภาวะผู้นำส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.41, S.D. = 0.79) รองลงมาคือ ด้านการจัดการความเปลี่ยนแปลง ($\bar{x}$ = 4.34, S.D. = 0.78) ด้านโครงสร้างองค์การ ($\bar{x}$ = 4.30, S.D. = 0.82) ตามลำดับ ส่วนด้านการติดต่อสื่อสารน้อยที่สุด ($\bar{x}$ = 4.21, S.D. = 0.81) บุคลากรสายสนับสนุนมีความคิดเห็นว่า ด้านภาวะผู้นำส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.32, S.D. = 0.54) รองลงมาคือ ด้านการจัดการความเปลี่ยนแปลง ($\bar{x}$ = 4.25, S.D. = 0.54) และด้านโครงสร้างองค์การ ($\bar{x}$ = 4.12, S.D. = 0.72) ตามลำดับ ส่วนด้านการติดต่อสื่อสารน้อยที่สุด ($\bar{x}$ = 4.08, S.D. = 0.56) เช่นเดียวกับบุคลากรสายวิชาการ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ จำแนกตามประเภทของบุคลากร

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์	ประเภทบุคลากร					
	บุคลากรสายวิชาการ (n=75)			บุคลากรสายสนับสนุน (n=37)		
	$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย	$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย
ภาวะผู้นำ	4.41	0.79	มาก	4.32	0.54	มาก
การจัดการความเปลี่ยนแปลง	4.34	0.78	มาก	4.25	0.54	มาก
การติดต่อสื่อสาร	4.21	0.81	มาก	4.08	0.56	มาก
ระบบการจูงใจ	4.22	0.74	มาก	4.10	0.68	มาก
โครงสร้างองค์การ	4.30	0.82	มาก	4.12	0.72	มาก
รวม	**4.30**	**0.73**	มาก	**4.17**	**0.53**	มาก

ความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ จำแนกตามระยะเวลาการทำงาน พบว่า บุคลากรที่มีอายุการทำงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ปี มีความคิดเห็นว่าการจัดการความเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติมากที่สุด ในขณะที่บุคลากรที่มีอายุการทำงานระหว่าง 6 ถึง 15 ปี อายุการทำงานระหว่าง 16 ถึง 25 ปี และอายุการทำงาน 25 ปีขึ้นไป มีความคิดเห็นว่า ภาวะผู้นำส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติมากที่สุดเท่ากัน ส่วนปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติน้อยที่สุดของบุคลากรที่มีอายุการทำงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ปี คือ ระบบการจูงใจ ในขณะที่บุคลากรที่มีอายุการทำงานระหว่าง 6 ถึง 15 ปี อายุการทำงานระหว่าง 16 ถึง 25 ปี และอายุการทำงาน 25 ปีขึ้นไป มีความคิดเห็นว่า การติดต่อสื่อสารส่งผลน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ จำแนกตามระยะเวลาการทำงาน

n = 112

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์	ระยะเวลาการทำงาน (ปี)											
	≤ 5			6–15			16–25			≥ 25		
	$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย	$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย	$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย	$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย
ภาวะผู้นำ	4.60	0.48	มากที่สุด	4.22	0.71	มาก	4.36	0.80	มาก	4.64	0.55	มากที่สุด
การจัดการความเปลี่ยนแปลง	4.61	0.77	มากที่สุด	4.11	0.72	มาก	4.31	0.77	มาก	4.47	0.57	มาก
การติดต่อสื่อสาร	4.49	0.63	มาก	3.98	0.59	มาก	4.16	0.89	มาก	4.32	0.47	มาก
ระบบการจูงใจ	4.34	0.63	มาก	4.08	0.63	มาก	4.16	0.81	มาก	4.35	0.66	มาก
โครงสร้างองค์การ	4.49	0.59	มาก	4.17	0.64	มาก	4.18	0.96	มาก	4.40	0.62	มาก
รวม	**4.51**	**0.51**	**มากที่สุด**	**4.11**	**0.55**	**มาก**	**4.23**	**0.80**	**มาก**	**4.43**	**0.51**	**มาก**

ตอนที่ 3 เปรียบเทียบความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามประเภทบุคลากรเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ กลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคลากรสายวิชาการและสายสนับสนุนมีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ จำแนกตามประเภทของบุคลากร

ประเภทบุคลากร	$\bar{x}$	S.D.	t	Sig (2-tailed)
บุคลากรสายวิชาการ	4.30	0.73	1.002	0.319*
บุคลากรสายสนับสนุน	4.17	0.53		

* ที่ระดับนัยทางสถิติ 0.05

ตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคลากรสายวิชาการจำแนกตามภาควิชาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่สังกัดภาควิชาต่างกัน มีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ จำแนกตามภาควิชา

ประเภทบุคลากร	SS	Df	MS	F.	Sig
ระหว่างกลุ่ม	3.524	6	0.587	1.101	0.371*
ภายในกลุ่ม	36.288	68	0.534		
รวม	**39.812**	**74**			

* ที่ระดับนัยทางสถิติ 0.05

ตารางที่ 6 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคลากรสายสนับสนุนจำแนกตามงานเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่สังกัดงานต่างกัน มีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ จำแนกตามงาน

ประเภทบุคลากร	SS	Df	MS	F.	Sig
ระหว่างกลุ่ม	2.572	5	0.514	2.126	0.089*
ภายในกลุ่ม	7.500	31	0.242		
รวม	**10.071**	**36**			

* ที่ระดับนัยทางสถิติ 0.05

ตอนที่ 4 ปัญหาและอุปสรรคในการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

จากผลการสอบถามความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรคในการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สรุปเป็นประเด็น ได้แก่ 1) บุคลากรไม่ทราบกลยุทธ์ของหน่วยงาน 2) กลยุทธ์มีความเป็นนามธรรม ไม่มีแผนปฏิบัติงานเชิงยุทธศาสตร์ที่เป็นรูปธรรม 3) การขาดความต่อเนื่องของการดำเนินงานตามกลยุทธ์และการกำกับติดตามที่จริงจัง 4) กลยุทธ์ส่วนใหญ่เป็นงานประจำไม่ค่อยมีงานเชิงยุทธศาสตร์ 5) ความร่วมมือร่วมใจของบุคลากรทุกส่วนงาน และการจัดการความขัดแย้ง 6) การจัดระบบการทำงานสนับสนุนงานยุทธศาสตร์ที่ไม่ชัดเจน และ 7) ภาระงานประจำของบุคลากร และระบบงานของหน่วยงานไม่เอื้อหรือไม่สนับสนุนต่อการทำงานเชิงยุทธศาสตร์

อภิปรายและสรุปผล

จากผลการวิจัยมีประเด็นสำคัญที่สามารถนำมาอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ข้อมูลจากผลการศึกษา ผู้วิจัยสามารถสังเคราะห์องค์ความรู้ได้ว่า ภาวะผู้นำเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง โดยกลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นว่า ภาวะผู้นำ มีบทบาทสำคัญในการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ ซึ่งมีค่าคะแนนเฉลี่ยสูง ภาวะผู้นำสามารถสร้างความเชื่อมั่น ความเข้าใจ และการร่วมแรงร่วมใจของทีมงานและหน่วยงาน เพื่อให้กลยุทธ์มีโอกาสประสบความสำเร็จ ผู้นำต้องตัดสินใจวางแผนและถ่ายทอดความเข้าใจให้แก่หน่วยงาน หน่วยงานที่รับผิดชอบจะต้องเข้าใจทิศทางและวิสัยทัศน์ มีความสามารถแปลงกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติให้ได้ตามเป้าหมาย และการมอบหมายกลยุทธ์ให้ผู้รับผิดชอบที่ชัดเจนก็เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ รวมถึงการสื่อสารที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพจะช่วยให้ทุกคนในหน่วยงานสามารถทำงานไปในทิศทางเดียวกันได้ และสิ่งสำคัญที่ขาดไม่ได้คือ การสร้างวัฒนธรรมองค์กร ซึ่งมีบทบาทในการสร้างบรรยากาศที่สนับสนุนการปฏิบัติตามกลยุทธ์ โดยการสนับสนุนการร่วมทำงานและการเปิดกว้างต่อความคิดสร้างสรรค์และการพัฒนากลยุทธ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธีรพจน์ และคณะ (2565) ที่ได้ดำเนินการวิจัยเรื่อง แนวทางการพัฒนาภาวะผู้นำเชิงกลยุทธ์ตามหลักทุติยปาปณิกสูตรของผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏ กลุ่มภาคเหนือตอนล่าง ได้ดำเนินการศึกษาสภาพและเสนอแนวทางการพัฒนาภาวะผู้นำเชิงกลยุทธ์ตามหลักทุติยปาปณิกสูตรของผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏ กลุ่มภาคเหนือตอนล่าง พบว่า สภาพภาวะผู้นำเชิงกลยุทธ์ของผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏ กลุ่มภาคเหนือตอนล่าง ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ด้านที่มีระดับสูงสุดคือ ด้านการคิดและวางแผนเชิงกลยุทธ์ รองลงมาคือ ด้านการกำหนดทิศทาง และด้านที่มีระดับต่ำสุดคือ ด้านการพัฒนาผู้นำในปัจจุบันและในอนาคต แต่แตกต่างจากงานวิจัยของอิทธิพร และคณะ (2563) ที่ได้ดำเนินการวิจัยเรื่องปัจจัยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแผนกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของมหาวิทยาลัยคริสเตียน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคิดเห็นและเปรียบเทียบความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแผนกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของมหาวิทยาลัยคริสเตียน ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีส่วนสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแผนกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของมหาวิทยาลัยคริสเตียน คือ การจัดทำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ การมอบหมายกลยุทธ์ให้ผู้รับผิดชอบ การสื่อสารภายในองค์กร การกำหนดวัตถุประสงค์ระยะสั้น/ระยะยาว และวัฒนธรรมองค์กร ตามลำดับ

2. ผลจากการเปรียบเทียบความคิดเห็นของบุคลากรสายวิชาการและบุคลากรสายสนับสนุนเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่า บุคลากรสายวิชาการและบุคลากรสายสนับสนุนมีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ บุคลากรสายวิชาการที่สังกัดภาควิชาต่างกัน และบุคลากรสายสนับสนุนที่สังกัดงานต่างกัน มีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรไม่แตกต่างกัน เป็นข้อมูลที่น่าสนใจเนื่องจากแสดงถึงความเห็นที่คล้ายกันของบุคลากรสายวิชาการและบุคลากรสายสนับสนุน แสดงให้เห็นว่าทั้งสองกลุ่มนี้มีความเห็นที่คล้ายกันเกี่ยวกับปัจจัยที่

ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ ซึ่งอาจแสดงถึงความเข้าใจและความมุ่งหวังที่คล้ายกันในเรื่องนี้ แต่ผลการศึกษาแตกต่างจากงานวิจัยของอิทธิพร และคณะ (2563) พบว่า บุคลากรมีความคิดเห็นต่อปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพในการนำแผนกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของมหาวิทยาลัยคริสเตียนแตกต่างกัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากความแตกต่างในบริบทหรือสถานการณ์ของแต่ละมหาวิทยาลัย ผู้วิจัยสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร บุคลากรมีความคิดเห็นที่คล้ายคลึงกันระหว่างภาควิชาและงานต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นบุคลากรสายวิชาการหรือบุคลากรสายสนับสนุน เป็นข้อมูลสำคัญที่ทำให้ทราบถึงความคิดเห็นของบุคลากรและสามารถเป็นข้อมูลนำมาสู่การปรับปรุงกระบวนการถ่ายทอดและนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติอย่างมีประสิทธิภาพตามความเห็นร่วมกันของทุกคนในองค์กรได้

3. จากผลการสอบถามความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรคในการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติของคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สรุปเป็นประเด็นได้ดังนี้

3.1 บุคลากรไม่ทราบกลยุทธ์ของหน่วยงาน ซึ่งอาจตีความได้ว่าการสื่อสารกลยุทธ์ของหน่วยงานยังไม่ครอบคลุมทั้งองค์กร และอาจยังไม่สามารถสร้างความเข้าใจให้แก่บุคลากรทุกคนอย่างชัดเจน การรับทราบและรับรู้กลยุทธ์ยังอยู่เฉพาะกลุ่มผู้ที่เกี่ยวข้อง การทำให้ทุกคนในองค์กรเข้าใจและมุ่งร่วมกันเพื่อปฏิบัติตามกลยุทธ์ขององค์กรเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง รวมถึงผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการสื่อสารและการสร้างความเข้าใจในกลยุทธ์ขององค์กร และการมีส่วนร่วมในกระบวนการจัดทำแผนกลยุทธ์ องค์กรควรสนับสนุนการสื่อสารและการสร้างความเข้าใจให้แก่บุคลากรทุกคน เพื่อให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับ กวิน (2560) ที่ได้ทำการวิจัยเรื่อง ผลของการมีส่วนร่วมในการจัดทำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ต่อการรับรู้และการนำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ไปปฏิบัติของพนักงานสายสนับสนุน วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล ผลการวิจัยพบว่าหน่วยงานไม่ได้ให้ความสำคัญกับการมีส่วนร่วมในการจัดทำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ของบุคลากรอย่างแท้จริง เห็นได้จากผลการศึกษาที่ระบุว่าพนักงานสายสนับสนุนร้อยละ 60 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดทำแผนเพียงระดับปานกลาง และสอดคล้องกับดำรงค์ (2563) ที่ระบุว่า ผลการสำรวจของนิตยสารฟอร์จูนในปี ค.ศ. 1999 หนึ่งในความล้มเหลวของยุทธศาสตร์คือ ร้อยละ 95 ของบุคลากรไม่เข้าใจยุทธศาสตร์ขององค์กร

3.2 กลยุทธ์มีความเป็นนามธรรม ไม่มีแผนปฏิบัติงานเชิงยุทธศาสตร์ที่เป็นรูปธรรม ซึ่งอาจตีความได้ว่า กลยุทธ์ของหน่วยงานยังไม่ค่อยชัดเจน และมีเพียงแผนปฏิบัติการประจำปีงบประมาณ ซึ่งเป็นแผนที่รวมทั้งโครงการ/กิจกรรมที่เป็นงานประจำและงานเชิงยุทธศาสตร์ ยังไม่มีแผนปฏิบัติการเชิงยุทธศาสตร์ที่ชัดเจน นอกจากนั้นผลการศึกษาข้างต้นชี้ให้เห็นถึงข้อสังเกตสำคัญว่า การมีแผนกลยุทธ์ที่ชัดเจนมีความสำคัญที่จะช่วยให้องค์กรมุ่งไปสู่ทิศทางตามวิสัยทัศน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับอิทธิพร และคณะ (2563) ที่ได้ดำเนินการวิจัยเรื่องปัจจัยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแผนกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของมหาวิทยาลัยคริสเตียน ผลการวิจัยพบว่า ด้านการจัดทำแผนปฏิบัติการมีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก โดยเฉพาะในเรื่องความมีประสิทธิภาพในการแปลงแผนกลยุทธ์ที่กำหนดไว้ไปสู่การปฏิบัติในรูปของแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ที่ประกอบด้วย โครงการและกิจกรรม วัตถุประสงค์ ตัวบ่งชี้ความสำเร็จที่สอดคล้องกับกลยุทธ์ การกำหนดผู้รับผิดชอบ รายละเอียด ขั้นตอน เงื่อนเวลาที่ชัดเจนในการดำเนินงาน และมีการระดมความคิดเห็นจากทุกส่วนและสอดคล้องกับดำรงค์ (2563) ที่ระบุว่า ผลการสำรวจของนิตยสารฟอร์จูนในปี ค.ศ. 1999 หนึ่งในความล้มเหลวของยุทธศาสตร์คือ ร้อยละ 60 ขององค์การไม่เชื่อมงบประมาณกับยุทธศาสตร์

3.3 การขาดความต่อเนื่องของการดำเนินงานตามกลยุทธ์และการกำกับติดตามที่จริงจัง ซึ่งอาจตีความได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของผู้บริหารส่งผลให้การดำเนินงานตามแผนกลยุทธ์ขาดความต่อเนื่อง สิ่งนี้ส่งผลต่อความสำเร็จของแผน และการติดตามประเมินผลแผนอาจมีปัญหา เช่น ข้อมูลมีหลายด้าน และมีความซ้ำซ้อน การเตรียม

ข้อมูลเป็นจำนวนมาก อาจทำให้เสียเวลาในการทำงาน ส่งผลให้การติดตามและประเมินผลล่าช้า หรือมีข้อผิดพลาด รวมถึงการปรับปรุงแผนกลยุทธ์ตามผลการติดตาม การนำผลการประเมินมาปรับปรุงแผนเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้การดำเนินงานตามเป้าหมายของแผนในรอบปีถัดไปมีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผล สามารถช่วยสนับสนุนการบริหารและควบคุมการดำเนินงานขององค์กรให้ไปสู่วิสัยทัศน์ที่กำหนดไว้ ซึ่งสอดคล้องกับ ดำรงค์ (2563) ที่ระบุว่า การประเมินแผน ประกอบด้วย การประเมินโครงสร้างที่รองรับ การดำเนินการ การประเมินขั้นตอนการดำเนินงาน และการประเมินผลของการดำเนินงานตามแผนที่ได้ตั้งไว้ และการนำผลการประเมินมาปรับปรุงพัฒนาแผน ประกอบด้วย การนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ว่ามีโครงสร้างหรือขั้นตอนการปฏิบัติงานใดที่ควรปรับปรุงหรือพัฒนาสิ่งที่ดีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้นไปอีก และสังเคราะห์รูปแบบการดำเนินงานใหม่ที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการในปีต่อไป แต่ผลการวิจัยแตกต่างกับกวิน (2560) ที่ได้ทำการวิจัยเรื่อง ผลของการมีส่วนร่วมในการจัดทำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ต่อการรับรู้และการนำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ไปปฏิบัติของพนักงานสายสนับสนุน วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล ผลการวิจัยพบว่า ด้านการติดตามประเมินผล ปัจจุบันมีการติดตามผลการดำเนินงานตามแผนปฏิบัติการฯ บ่อยครั้ง ต้องเตรียมข้อมูลเป็นจำนวนมาก และมีความซ้ำซ้อน ทำให้เสียเวลาทำงาน อีกทั้งข้อมูลหลายด้านจึงประสบปัญหาด้านการติดตามและประเมินผล

3.4 กลยุทธ์ส่วนใหญ่เป็นงานประจำไม่ค่อยมีงานเชิงยุทธศาสตร์ ซึ่งอาจตีความได้ว่าโครงการและกิจกรรมตามกลยุทธ์ที่กำหนดในแผนกลยุทธ์ของหน่วยงานส่วนใหญ่เป็นงานประจำที่จัดเป็นประจำทุกปี เป็นโครงการที่เคยปฏิบัติมา ไม่ค่อยมีโครงการหรือกิจกรรมใหม่ หรือโครงการเชิงกลยุทธ์ ผลการศึกษาข้างต้นสะท้อนให้เห็นถึงวัฒนธรรมในองค์กร กล่าวคือ การดำเนินงานตามกลยุทธ์หากกำหนดเฉพาะงานประจำ อาจทำให้องค์กรพลาดโอกาสในการนำเสนอโครงการหรือกิจกรรมใหม่ที่สนับสนุนกลยุทธ์อย่างมีประสิทธิภาพ หรือการพัฒนานวัตกรรมที่ส่งเสริมศักยภาพให้แก่องค์กร นอกจากนั้นแนวคิดและวัฒนธรรมในองค์กรเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการนำกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ ผู้นำมีหน้าที่สำคัญในการสร้างและส่งเสริมวัฒนธรรมองค์กรที่สนับสนุนการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติได้ ซึ่งสอดคล้องกับอิทธิพร และคณะ (2563) ที่ได้ดำเนินการวิจัยเรื่องปัจจัยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแผนกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของมหาวิทยาลัยคริสเตียน ผลการวิจัยพบว่า ด้านวัฒนธรรมองค์กร มีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก โดยเฉพาะการที่ผู้นำให้ความสำคัญคอยติดตามกำกับดูแล และสนับสนุนการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติ การมีทีมผู้บริหารที่มีความรู้ความสามารถในการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติ และมีการประชุมชี้แจงถึงความจำเป็นในการที่จะต้องปรับเปลี่ยนวัฒนธรรมการทำงานใหม่

3.5 ความร่วมมือร่วมใจของบุคลากรทุกส่วนงาน และการจัดการความขัดแย้ง ซึ่งอาจตีความได้ว่าบุคลากรไม่รู้ถึงความสำคัญและความจำเป็นของการดำเนินงานตามแผนกลยุทธ์ บุคลากรยังมีความรู้สึกถึงความไม่เท่าเทียมกันภายในหน่วยงาน จึงทำให้บุคลากรไม่รู้สึกถึงการเป็นส่วนร่วมหรือรู้สึกผูกพันกับหน่วยงาน ซึ่งความร่วมมือการปรับปรุงความเข้าใจ และการจัดการความขัดแย้งภายในองค์กรเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก การสร้างความเข้าใจและสนับสนุนแนวคิดที่เหมาะสมสำหรับการจัดการความขัดแย้ง เช่น การนำบุคลากรมาประชุมและแก้ไขข้อโต้แย้งอย่างเปิดเผย การตระหนักรู้ถึงความเป็นไปได้ของการแสดงความเห็นและความคิดที่แตกต่าง คือ ขั้นตอนที่สำคัญในการสร้างความเข้าใจและความร่วมมือในการดำเนินการตามกลยุทธ์ ความเป็นองค์กรที่รองรับและสนับสนุนการร่วมมือและการจัดการความขัดแย้งเป็นสิ่งสำคัญ ผู้นำต้องเป็นตัวอย่างในการสร้างองค์กรที่รองรับและสนับสนุนการร่วมมือและการแก้ไขข้อขัดแย้ง เพื่อเป็นแบบอย่างในการสร้างความรู้ความเข้าใจและความร่วมมือระหว่างบุคลากรทุกส่วนงานเพื่อให้กลยุทธ์ดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีการจัดการความขัดแย้งให้เหมาะสมเพื่อลดปัญหาในการดำเนินงานตามกลยุทธ์ในองค์กร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกวิน (2560) ที่ได้ดำเนินการวิจัยเรื่อง ผลของการมีส่วนร่วมในการจัดทำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ต่อการรับรู้และการนำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ไปปฏิบัติของพนักงานสายสนับสนุน วิทยาลัย

นานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล ผลการวิจัยด้านการจัดการความขัดแย้ง พบว่า มหาวิทยาลัยยังไม่ได้มีการสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการความขัดแย้งในการแก้ไขปัญหา จึงเป็นเหตุให้บุคลากรซึ่งมีภูมิหลัง ประสบการณ์ มุมมองความคิดที่แตกต่างกัน เกิดการตีความประเด็นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานตามมุมมองการรับรู้ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาในการปฏิบัติงานตามมา

3.6 การจัดระบบการทำงานสนับสนุนงานยุทธศาสตร์ที่ไม่ชัดเจน ซึ่งอาจตีความได้ว่า กลยุทธ์ของหน่วยงานไม่ค่อยชัดเจน และมีเพียงแผนปฏิบัติการประจำปีงบประมาณที่เป็นแผนที่รวมทั้งโครงการ/กิจกรรมที่เป็นงานประจำและงานเชิงยุทธศาสตร์ ยังไม่มีแผนปฏิบัติการเชิงยุทธศาสตร์ที่ชัดเจน การกำหนดบทบาทและหน้าที่และมอบหมายผู้รับผิดชอบแต่ละกลยุทธ์ที่ชัดเจน และการควบคุมกำกับดูแลการนำกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติมีความสำคัญอย่างยิ่ง จะช่วยให้เกิดความชัดเจนในการปฏิบัติการกลยุทธ์ และทำให้การนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติมีประสิทธิภาพมากขึ้น การทบทวนแผนกลยุทธ์อย่างสม่ำเสมอและการรายงานความคืบหน้าเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะทำให้รู้และเข้าใจถึงสถานะของผลดำเนินงานตามแผน และดำเนินการปรับปรุงแผนตามสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับอิทธิพร และคณะ (2563) ที่ได้ดำเนินการวิจัยเรื่องปัจจัยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแผนกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของมหาวิทยาลัยคริสเตียน ผลการวิจัยพบว่า บุคลากรมีความคิดเห็นต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการนำแผนกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของมหาวิทยาลัยคริสเตียนด้านการมอบหมายกลยุทธ์ให้ผู้รับผิดชอบ มีค่าคะแนนอยู่ในระดับมาก โดยเฉพาะเรื่องการทบทวนแผนกลยุทธ์ทุกปีการศึกษา การรายงานความคืบหน้าในการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติต่อที่ประชุม และการกำหนดบทบาทหน้าที่ของผู้รับผิดชอบนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติไว้เป็นลายลักษณ์อักษร และสอดคล้องกับดำรงค์ (2563) ที่ระบุว่า การมีแผนยุทธศาสตร์ไม่ได้ช่วยให้องค์การไปสู่ทิศทางตามวิสัยทัศน์ได้ องค์การที่มีระบบในการดำเนินยุทธศาสตร์จะประสบความสำเร็จตามยุทธศาสตร์แบบก้าวกระโดด หรือประสบความสำเร็จมากกว่าองค์การในระดับเดียวกันมากถึง 70% แต่องค์การที่ไม่มีระบบในการดำเนินยุทธศาสตร์ จะมีโอกาสที่ล้มเหลวในการดำเนินกลยุทธ์มากถึง 73%

3.7 ภาระงานประจำของบุคลากร และระบบงานของหน่วยงานไม่เอื้อหรือไม่สนับสนุนต่อการทำงานเชิงยุทธศาสตร์ ซึ่งอาจตีความได้ว่าโครงสร้างของหน่วยงานและระบบงานส่วนใหญ่ยังเป็นรูปแบบราชการ และหน่วยงานอาจจะยังไม่ได้มีการวิเคราะห์ปริมาณภาระงานที่หน่วยงานมอบหมายว่ามีความเหมาะสมและสอดคล้องกับอัตรากำลังที่มีอยู่จริงหรือไม่ การพิจารณาทบทวนปรับเปลี่ยนโครงสร้างและระบบงานให้ยืดหยุ่นและสอดคล้องกับแผนกลยุทธ์ โครงสร้างและระบบงานที่มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับปรุงให้เหมาะสมจะช่วยให้หน่วยงานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการจัดการองค์ความรู้ให้แก่คณะผู้บริหารและบุคลากรทุกส่วนงานให้เข้าใจความสำคัญของการทำงานตามแผนปฏิบัติการเชิงยุทธศาสตร์ และการสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับกวิน (2560) ที่ได้ทำการวิจัยเรื่อง ผลของการมีส่วนร่วมในการจัดทำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ต่อการรับรู้และการนำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ไปปฏิบัติของพนักงานสายสนับสนุน วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล ผลการวิจัยพบว่า ความคิดเห็นของบุคลากรที่ระบุสาเหตุของปัญหาการดำเนินงานตามแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ว่าเกิดจากปริมาณงานตามแผนฯ ที่เพิ่มขึ้นไม่สอดคล้องกับจำนวนบุคลากรและเวลาที่มี

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการใช้ประโยชน์จากงานวิจัย

1. ผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำมาเป็นข้อมูลทบทวนและปรับปรุงขั้นตอนและวิธีการถ่ายทอดกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติ คณะอาจพิจารณารูปแบบและวิธีการสื่อสารกลยุทธ์ไปสู่หน่วยงานระดับภาควิชาและหน่วยงานสนับสนุนที่เกี่ยวข้อง โดยการจัดทำแผนที่ยุทธศาสตร์ในรูปแบบของสื่อสิ่งพิมพ์ สื่อประชาสัมพันธ์ที่สามารถเข้าถึงกลุ่มบุคลากรแต่ละประเภท ตามช่องทางต่าง ๆ และอาจจัดพื้นที่หรือช่องทางสื่อสารเพื่อเป็นเวทีแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างบุคลากรทุกภาคส่วนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงการดำเนินงานเพื่อให้เกิดความรู้สึกเป็นส่วนหนึ่งกับคณะ

2. ผู้นำองค์กรและทีมผู้นำต้องมีภาวะผู้นำ รวมถึงร่วมวางแผนกลยุทธ์กับทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง และเป็นผู้นำในการดำเนินกลยุทธ์ให้เกิดผลอย่างเป็นรูปธรรม เพื่อให้บุคลากรในองค์กรรู้สึกผูกพัน มีส่วนร่วม และภาคภูมิใจกับกลยุทธ์ที่ประสบความสำเร็จนั้น

3. คณะอาจพิจารณาทบทวนโครงสร้างหน่วยงานและปริมาณภาระงานของบุคลากรทุกประเภทให้มีความชัดเจน มีความเหมาะสมกับสมรรถนะหลักในแต่ละตำแหน่ง ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลบุคลากรในเชิงลึก เพื่อจัดทำเป็นแผนพัฒนาบุคลากรรองรับการดำเนินงานตามกลยุทธ์ มีข้อมูลการดำเนินงานตามกลยุทธ์ที่เป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น มองเห็นถึงความเป็นไปได้ มีแนวทางในการพัฒนาบุคลากรที่ชัดเจน

4. คณะอาจพิจารณาทบทวนระเบียบและประกาศต่าง ๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติงานเชิงยุทธศาสตร์ เพื่อทำให้การปฏิบัติงานมีความคล่องตัวมากขึ้น

5. การพิจารณาปรับปรุงกระบวนการกำกับ ติดตามและประเมินผลแผนกลยุทธ์ของหน่วยงานให้เป็นระบบและมีความจริงจัง กำหนดผู้รับผิดชอบกลยุทธ์ในระดับต่างๆ ให้ชัดเจน และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

6. ควรมีการจัดทำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ ที่ประกอบด้วย โครงการ/กิจกรรมเชิงยุทธศาสตร์ที่มิใช่งานประจำ ประจำปีงบประมาณ เพื่อให้การปฏิบัติงานตามกลยุทธ์เป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาวิเคราะห์ประเด็นอื่นเพิ่มเติม อาทิ สมรรถนะของบุคลากรตามกลยุทธ์ การวิเคราะห์สภาพแวดล้อม การวิเคราะห์ศักยภาพของหน่วยงานเพื่อทราบตำแหน่งในการแข่งขัน และการเทียบเคียงสมรรถนะกับสถาบันคู่เทียบ เป็นต้น จะทำให้ได้ผลการศึกษาที่ครอบคลุมและนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมิติมากขึ้น

2. ควรเพิ่มเติมการวิเคราะห์แนวโน้มในการดำเนินงานตามแผนยุทธศาสตร์ การวิเคราะห์ข้อมูลสารสนเทศที่สำคัญเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานตามกลยุทธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากคณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดสรวง ยุทธนา ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการทำวิจัยและการใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูลอย่างดียิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธศักดิ์ ชื่นใจชน ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบภาษาอังกฤษ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชญ์ บุญรอด ที่ช่วยให้คำแนะนำการเขียนบทความ ตลอดจนครอบครัวที่เป็นแรงสนับสนุนและแรงผลักดันในการดำเนินงาน ซึ่งส่งผลให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กวิน ปลาอ่อน. (2560). ผลของการมีส่วนร่วมในการจัดทำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ต่อการรับรู้และการนำแผนปฏิบัติการเชิงกลยุทธ์ไปปฏิบัติของพนักงานสายสนับสนุน วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล. **วารสาร Mahidol R2R e-Journal**. ปีที่ 4 ฉบับที่ 1. หน้า 240-258.

คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2566). **รายงานผลการประเมินตนเองตามเกณฑ์คุณภาพการศึกษาเพื่อการดำเนินการที่เป็นเลิศ (Education Criteria for Performance Excellence: EdPEx)** ปีการศึกษา 2565. 103 หน้า.

ดำรงค์ วัฒนา. (2563). **การถ่ายทอดยุทธศาสตร์สู่การปฏิบัติ** (พิมพ์ครั้งที่ 24). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรพจน์ แนบเนียน และคณะ. (2565). แนวทางการพัฒนาภาวะผู้นำเชิงกลยุทธ์ตามหลักทุติยปาปณิกสูตรของผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏ กลุ่มภาคเหนือตอนล่าง. **วารสารวิจยวิชาการ.** ปีที่ 5 ฉบับที่ 2. หน้า 129-142.

บุญชม ศรีสะอาด. (2560). การวิจัยเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น. 219 หน้า.

สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. (2565). **รายชื่อสถาบันอุดมศึกษาของรัฐในสังกัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และสถาบันอุดมศึกษาเอกชน**. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 กันยายน 2566, จาก https://www.ops.go.th/th/media-driven/km-driven/item/6752-university-list-DDD

อิทธิพร ขำประเสริฐ และคณะ. (2563). ปัจจัยการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแผนกลยุทธ์ไปสู่การปฏิบัติของมหาวิทยาลัยคริสเตียน. **วารสารวิชาการ ปขมท.** ปีที่ 9 ฉบับที่ 2. หน้า 1-12.

อุษณีย์ คำประกอบ. (มิถุนายน 2566). **ระบบการวางแผนกลยุทธ์และระบบการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติ**. ในเอกสารการอบรมเชิงปฏิบัติการ “ระบบการวางแผนกลยุทธ์และระบบการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติ” มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน

Pardtour model innovation to improve the quality of education for elementary students in border patrol police schools and learning centers

ชไมมน ศรีสุรักษ์[1*], สิรินทร์นิชา ปัญจะอริยกุล[1] และ รัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ[1]
Chamimone Srisurak[1*], Sirinnicha Punchaariyakun and Rattanawat Penrattanahiran[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยแบบมีส่วนร่วมเรื่อง นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาสภาพปัญหาที่ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถอ่านออกเขียนได้ เลขคิดเป็นของนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน (2) พัฒนาและติดตามผลการใช้นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน รูปแบบการวิจัยแบบกระบวนการมีส่วนร่วม (Participation Action Research) กลุ่มตัวอย่างโรงเรียน 3 แห่ง สังกัดกองกำกับการฯ ที่ 33 ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้แก่ โรงเรียน A นักเรียนจำนวน 43 คน โรงเรียน B นักเรียนจำนวน 67 คน และโรงเรียน C นักเรียนจำนวน 49 คน จากการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster Random Sampling) โดยใช้โรงเรียนเป็นหน่วยสุ่ม เครื่องมือในการวิจัยประกอบด้วย (1) เครื่องมือที่เป็นนวัตกรรม ได้แก่ แบบฝึกทักษะ 3Rs1C กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ คณิตศาสตร์ และแบบฝึกทักษะ 3Rs1C ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 (2) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย (2.1) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม สำหรับครู ผู้ปกครอง และชุมชน ได้แก่ SWOT Analysis ในเวทีแบบมีส่วนร่วม กระบวนการสร้างชุมชนการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) และแนวสัมภาษณ์เชิงลึก (In dept interview) สำหรับครู และตัวแทนชุมชน (2.2) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงทดลอง ได้แก่ แบบประเมินก่อนและหลังเรียนรู้ (Pre-test, Post-test) กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ คณิตศาสตร์ และความคิดสร้างสรรค์ โดยดำเนินการหาประสิทธิภาพนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ (E_1/E_2) และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยร้อยละ

ผลการวิจัยสอดคล้องสมมุติฐานการวิจัยคือ (1) ผลการศึกษาสภาพปัญหาที่ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถอ่านออกเขียนได้ เลขคิดเป็นของนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่ามาจากอิทธิพลของภาษาถิ่นสูงที่สุด (2) ผลการพัฒนาและติดตามผลการใช้นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” (PARDTOUR Model) เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน ประกอบด้วยกระบวนการขั้นตอนที่ 1 : P การมีส่วนร่วม (PAR) และสร้างสรรค์องความรู้ร่วมกัน (Building) ขั้นตอนที่ 2 : A การวิเคราะห์ (Analysis) สภาพปัญหาและความต้องการพัฒนาอ่านออกเขียนได้คิดเลขเป็น ความคิดสร้างสรรค์ ขั้นตอนที่ 3 : R การเตรียมความพร้อม (Readiness) เพื่อปลุกพลังความเชื่อมั่นในตนเองให้แก่ครูในการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียน ขั้นตอนที่ 4 : D การออกแบบนวัตกรรม (Design) ขั้นตอนที่ 5 : T

[1] คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50180
[1] Faculty of Education, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50180
* Corresponding author: chamaimone_sri@g.cmru.ac.th

การฝึกอบรมครู (Training) เพื่อเพิ่มทักษะความสามารถ ยกระดับคุณภาพการเรียนการสอน ขั้นตอนที่ 6 : O การจัดการองค์ความรู้ (Organize) เพื่อให้ครูผู้สอนสามารถประยุกต์ใช้และบูรณาการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอนที่เหมาะสมกับนักเรียนได้ ขั้นตอนที่ 7 : U การใช้ประโยชน์ที่สามารถนำไปใช้จริงในสังคม (Utilization) เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาด้วยนวัตกรรม 3Rs1C สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน และขั้นตอนที่ 8 : R การแลกเปลี่ยนเรียนรู้สะท้อนคิด (Reflection) และประเมินผล (Evaluation) เพื่อเปิดโอกาสให้ครูได้โอกาสสะท้อนคิดความรู้สึก ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียน กระบวนการดังกล่าวส่งผลกระทบต่อความเข้าใจภาษาไทยที่เชื่อมโยงไปสู่การเรียนรู้ภาษาอังกฤษ การเข้าใจโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และการคิดสร้างสรรค์ ในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น สามารถใช้นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดนได้สูงขึ้น และสอดคล้องกับบริบทวัฒนธรรมชุมชนและสังคมที่นักเรียนอาศัยอยู่

คำสำคัญ: นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม”, นักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน, ระดับคุณภาพการศึกษา

Abstract

The Participation Action Research (PAR) project on the PARDTOUR Model innovation to improve the quality of education for elementary students in border patrol police schools and learning centers in Thailand had two objectives: (1) to study the problems and need that prevent elementary students in border patrol police schools in the province from reading, writing, and arithmetic, with the highest influence coming from local languages. (2) to develop and evaluate the use of the PARDTOUR Model innovation to improve the quality of education for elementary students in border patrol police schools and learning centers. The research was conducted using a participatory action research (PAR) approach. The sample consisted of three schools under the 33rd Border Patrol Police Detachment in Mae Hong Son Province: School A has 43 students, School B has 67 students, and School C has 49 students. The schools were randomly selected using cluster random sampling.

The research tools include (1) Innovative tools include 3Rs1C skill training exercises, Thai language, English, mathematics learning subjects, and 3Rs1C skill training to promote creativity. Grade 1–6 level (2) Tools used to collect data include (2.1) Tools used to collect field data for teachers, parents, and communities, including SWOT Analysis in a participatory forum. Process for creating a professional learning community (PLC) and in-depth interview guide for teachers and community representatives (2.2) Tools used to collect experimental data include pre- and post-learning assessments (Pre-test, Post-test) in the learning subjects of Thai language, English, mathematics and creativity. By searching for the efficiency of learning management innovations (E1/E2) and analyzing the data with the average percentage.

The research results were consistent with the research hypotheses, (1) Results of the study of problems that result in students being unable to read and write. The numbers are calculated by students at the Border Patrol Police School in Mae Hong Son Province. It was found to come from the highest influence of the local language, (2) results of development and monitoring of the use of innovations PARDTOUR Model to raise the quality of education for primary school students in schools and Border Patrol Police Learning Centers, consisting of the process of Step 1: Participation (PAR) and creating knowledge together (Building), Step 2: A Analysis of

problem conditions and needs for the development of literacy and numeracy Creative Thinking, Step 3: R Readiness to awaken teachers' self-confidence in managing learning for students, Step 4: D Design Innovation to raise the quality of education with innovation. "Learning together to create society" (PARDTOUR Model) for students at the Border Patrol Police School in Mae Hong Son Province in accordance with the cultural context, community and society in which the students live, Step 5: T Teacher training (Training) to increase skills. ability Raise the quality of teaching and learning, Step 6: O (Organize) Knowledge management so that teachers can apply and integrate the design of teaching and learning activities that are appropriate for students, Step 7: U Utilization that can be used Actually used in society (Utilization) to raise the quality of education with 3Rs1C innovation for students at the Border Patrol Police School in Mae Hong Son Province, and step 8: R Exchange of learning, (Reflection) and evaluation (Evaluation) to allow teachers the opportunity to reflect on their feelings. Opinions about organizing learning for students. This process affects the understanding of Thai language which is linked to learning English. Understanding mathematical problems and creative thinking at an increased level Can use PARDTOUR Model innovation to raise the quality of education for primary school students in schools and Border Patrol Police Learning Centers, and is consistent with the cultural context, community and society in which students live.

Keywords: PARDTOUR Model innovation, Improving the quality of education, Elementary Students in Border Patrol Police Schools and Learning Centers

บทนำ

ความต้องการ ให้มีทักษะชีวิตในศตวรรษที่ 21 (21st Century Skills) ประกอบด้วยการอ่านออกเขียนได้คิดเลขเป็น มีความคิดสร้างสรรค์ อันเป็นพื้นฐานของการต่อยอด ไปสู่องค์ความรู้ของการคิดด้านอื่น ๆ ต่อไป (จิตรา มีคำ กฤธยากาญจน์ โตพิทักษ์ และนิคม นาคอ้าย, 2556) สอดคล้องกับการทรงงานของสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา เจ้าฟ้ามหาจักรีสิรินธร มหาวชิราลงกรณวรราชภักดี สิริกิจการิณีพิรยพัฒน รัฐสีมา คุณากรปิยชาติ สยามบรมราชกุมารี ทรงเริ่มโครงการเพื่อเด็กและเยาวชนในโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 ทรงมุ่งเน้นการพัฒนาผ่านกระบวนการเรียนรู้ ควบคู่ไปกับการแก้ปัญหาพร้อมกับการอนุรักษ์วัฒนธรรมที่ดีงาม ในการพัฒนาคุณภาพทางการเรียนรู้ของเด็กและเยาวชนในถิ่นทุรกันดาร และครูผู้สอนสังกัดโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน ให้มีความสามารถในการอ่านออกเขียนได้ การพัฒนาเด็กและเยาวชนให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ที่สูงขึ้น มีทักษะอ่านออก เขียนได้ คิดเลขเป็น ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับสังคมที่เด็กอาศัยอยู่ เป็นการยกระดับคุณภาพการศึกษาทั้งระบบของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน

ยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ.2560-2579) มีเป้าหมายการพัฒนาประเทศ คือ "ประเทศชาติมั่นคง ประชาชนมีความสุข เศรษฐกิจพัฒนาอย่างต่อเนื่อง สังคมเป็นธรรม ฐานทรัพยากรธรรมชาติยั่งยืน" ด้วยเหตุผลและความจำเป็นดังกล่าว ควรพัฒนาครูโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนจังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นอันดับแรก สอดคล้องกับความต้องการของท้องถิ่น ภายใต้โครงการวิจัย นวัตกรรม แบบ "การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม" เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน

นวัตกรรมแบบ "การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม" (PARDTOUR Model) เป็นกระบวนการส่งเสริมทักษะการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 ของผู้เรียน โดยได้มาจากการจัดเวทีแบบมีส่วนร่วมที่สอดคล้องกับความต้องการของท้องถิ่น พบว่า โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความสามารถ ในการอ่านออกเขียนได้คิดเลขเป็นมีความคิดสร้างสรรค์ (3Rs1C) ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินระดับผลคุณภาพการศึกษา และการใช้ภาษาไทย

เป็นภาษาที่สองในชุมชน และมีลักษณะของชนเผ่าที่มีพหุวัฒนธรรมพื้นที่สูง ดังนั้นกระบวนการมีส่วนร่วม (P: PAR) สร้างเป้าหมายร่วมกันในการยกระดับการศึกษาตามความต้องการของสังคมและได้รับการสนับสนุนจากชุมชน นำผลจากเวทีมาสู่การวิเคราะห์ (A: Analysis) สภาพปัญหาและความต้องการพัฒนาอ่านออกเขียนได้ คิดเลขเป็น ความคิดสร้างสรรค์ และเตรียมความพร้อม (R: Readiness) ให้แก่ครูในการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียน จากนั้นมีการออกแบบนวัตกรรม (D: Design) และ กระบวนการฝึกอบรมครู (T: Training) เพื่อยกระดับคุณภาพการเรียนการสอน ใช้กระบวนการจัดการองค์ความรู้ (O: Organize) เพื่อให้ครูผู้สอนออกแบบกิจกรรมประยุกต์ใช้การเรียนการสอน ที่มีการใช้ประโยชน์ได้จริงในสังคม (U: Utilization) มีกระบวนการสะท้อนคิด (R: Reflection) และประเมินผล (Evaluation) เปิดโอกาสให้ครูได้พิจารณา สะท้อนคิดความรู้สึก ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียน (วรรณดี สุทธินรากร: 2557, พินิจ มีคำทอง: 2559, รัตนวัชร์ เพ็ญรัตรหิรัญ: 2564, มารุต พัฒผล: 2563, Queens University of Charlotte: 2022, ประวิต เอราวรรณ์: 2564, ภาคภูมิ ทิพคุณ: 2562, รัตติกร เหมือนนาดอน และคณะ, 2562) กระบวนการดังกล่าวผู้วิจัยสามารถเก็บรวบรวมข้อมูล และนำมาสังเคราะห์ออกแบบการยกระดับคุณภาพการศึกษาในประเด็นดังต่อไปนี้ (1) ด้านการพัฒนาครูในการแก้ปัญหาเรื่อง การสอนเด็กที่มีครูไม่ครบชั้น การสอนเด็กไม่ตรงกับกลุ่มสาระที่ตนเองเรียนจบมา ตลอดจนครูที่เป็นผู้ดูแลเด็กเป็นผู้ที่ยังไม่จบปริญญาตรี รวมถึงการแก้ปัญหาด้านการสอนเด็กที่ใช้ภาษาไทยเป็นภาษาที่สอง ให้เข้าใจง่าย ใฝ่เรียน ใฝ่รู้ ภายใต้บริบทสังคมวัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่น ที่นักเรียนอาศัยอยู่ ระหว่างดำเนินการใช้กระบวนการสร้างชุมชนการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) และการจัดอบรมสัมมนาให้ความรู้ตามความต้องการ และพัฒนาความสามารถในการใช้นวัตกรรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นด้วย (2) ด้านการพัฒนานักเรียนในการเรียนรู้สาระพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ในระดับสูง ด้วยเครื่องมือที่เป็นนวัตกรรมคือ แบบฝึกทักษะ 3Rs1C กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ คณิตศาสตร์ และแบบฝึกทักษะ 3Rs1C ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 เป็นนวัตกรรมแบบฝึกทักษะ 3Rs1C กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ คณิตศาสตร์ และแบบฝึกทักษะ 3Rs1C ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 จึงช่วยยกระดับคุณภาพการศึกษา

วิธีการศึกษา

การเก็บรวบรวมข้อมูล ดำเนินการ 2 ระยะ ตามวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

ระยะที่ 1 ศึกษาสภาพปัญหาที่ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถอ่านออกเขียนได้ เลขคิดเป็นของนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน

วิเคราะห์และสังเคราะห์ความต้องการสภาพปัญหาที่ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถอ่านออกเขียนได้ เลขคิดเป็นของนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยใช้กระบวนการ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” (PARDTOUR Model) เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน ประกอบด้วยกระบวนการขั้นตอนที่ 1 : P การมีส่วนร่วม (PAR) และสร้างสรรค์องความรู้ร่วมกัน (Building) ขั้นตอนที่ 2 : A การวิเคราะห์ (Analysis) สภาพปัญหาและความต้องการพัฒนาอ่านออกเขียนได้ คิดเลขเป็น ความคิดสร้างสรรค์ ขั้นตอนที่ 3 : R การเตรียมความพร้อม (Readiness) เพื่อปลุกพลังความเชื่อมั่นในตนเองให้แก่ครูในการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียน ขั้นตอนที่ 4 : D การออกแบบนวัตกรรม (Design) เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาด้วยนวัตกรรม 3Rs1C สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ให้สอดคล้องกับบริบทวัฒนธรรมชุมชนและสังคมที่นักเรียนอาศัยอยู่ ขั้นตอนที่ 5 : T การฝึกอบรมครู (Training) เพื่อเพิ่มทักษะความสามารถ ยกระดับคุณภาพการเรียนการสอน ขั้นตอนที่ 6 : O การจัดการองค์ความรู้ (Organize) เพื่อให้ครูผู้สอนสามารถประยุกต์ใช้และบูรณาการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอนที่เหมาะสมกับนักเรียนได้ ขั้นตอนที่ 7 : U การใช้ประโยชน์ที่สามารถนำไปใช้จริงในสังคม (Utilization) เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษา

ด้วยนวัตกรรมแบบ การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน และขั้นตอนที่ 8 : R การแลกเปลี่ยนเรียนรู้สะท้อนคิด (Reflection) และประเมินผล (Evaluation) เพื่อเปิดโอกาสให้ครูได้โอกาสสะท้อนคิดความรู้สึก ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียน

ตลอดกระบวนการรูปแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” (PARDTOUR Model) ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม จากการศึกษาบริบทชุมชน และการจัดเวทีแบบมีส่วนร่วมกับภาคีเครือข่าย ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ได้แก่ ครู ผู้ปกครอง คณะกรรมการสถานศึกษา ตัวแทนชุมชน โดยอาศัยเครื่องมือ SWOT Analysis ในเวทีแบบมีส่วนร่วมกระบวนการสร้างชุมชนการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) และแนวสัมภาษณ์เชิงลึก (In dept interview) สำหรับครู และตัวแทนชุมชน จากนั้นจึงเอข้อมูลภาคสนามมาสังเคราะห์ ออกแบบเป็นนวัตกรรมที่ส่งสริมการอ่านออก เขียนได้ คิดเลขเป็น และส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ โดยออกแบบเป็นคู่มือเครื่องมือที่เป็นนวัตกรรมคือ แบบฝึกทักษะ 3Rs1C กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ คณิตศาสตร์ และแบบฝึกทักษะ 3Rs1C ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1–6 โดยหาประสิทธิภาพเครื่องมือที่เป็นนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ (E_1/E_2) เป็นไปตามเกณฑ์ที่ระดับ 80/80

ระยะที่ 2 พัฒนาและติดตามผลการใช้นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน โดยดำเนินการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการสร้างเครื่องมือในการวิจัย ดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย นวัตกรรมแบบ **“การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม”** สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ประกอบด้วย ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบประเมินความสามารถด้าน 3Rs1C สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ก่อนและหลังการใช้นวัตกรรม (Pretest / Posttest)

1.2 เครื่องมือที่เป็นนวัตกรรม เป็นแบบเรียนรู้และแบบฝึกทักษะเสริมประสบการณ์ 3Rs1C สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ประกอบด้วย (1) แบบฝึกทักษะ 3Rs1C ส่งเสริมทักษะด้านภาษาไทย ระดับปฐมวัย และระดับ ประถมศึกษา ปีที่ 1 – 6 (2) แบบฝึกทักษะ 3Rs1C ส่งเสริมทักษะด้านภาษาอังกฤษระดับปฐมวัย และระดับ ประถมศึกษาปีที่ 1 – 6 (3) แบบฝึกทักษะ 3Rs1C ส่งเสริมทักษะด้านคณิตศาสตร์ระดับปฐมวัย และระดับ ประถมศึกษาปีที่ 1 – 6 (4) แบบฝึกทักษะ 3Rs1C ส่งเสริมทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ระดับปฐมวัย และระดับประถมศึกษาปีที่ 1 – 6

2. การสร้างเครื่องมือในการวิจัย ดำเนินการดังนี้

2.1 แบบประเมินความสามารถด้าน 3Rs1C สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอนฯ โดย (1) ศึกษาเอกสาร วิเคราะห์เนื้อหา วิธีการสร้างแบบประเมินความสามารถ โดยทำการทดสอบก่อนและหลัง (2) สร้างแบบประเมินความสามารถให้ครอบคุลมและตรงตามเนื้อหาความรู้เกี่ยวกับทักษะด้านภาษาไทย ด้านภาษาอังกฤษ ด้านคณิตศาสตร์ และด้านความคิดสร้างสรรค์ ในแต่ละระดับชั้น ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนข้อแบบประเมินแบบความสามารถ โดยทำการทดสอบก่อนและหลัง

การส่งเสริมทักษะ	ระดับประถมศึกษาปีที่					
	1	2	3	4	5	6
ด้านภาษาไทย	13	10	10	10	10	10
ด้านภาษาอังกฤษ	10	10	10	10	10	10
ด้านคณิตศาสตร์	12	14	10	10	10	10
ด้านความคิดสร้างสรรค์	5	5	5	5	5	5

การหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ดำเนินการ ดังนี้

1) นำแบบประเมินความสามารถฉบับร่างให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ซึ่งเป็นผู้มีความรู้ความสามารถด้านการศึกษาขั้นพื้นฐาน และเป็นผู้มีประสบการณ์ในด้านการจัดการเรียนการสอน เพื่อตรวจสอบความตรงตามเนื้อหา และนำไปหาดัชนีความสอดคล้องโดยการวิเคราะห์หาค่า IOC (Index of Item Objective Congruence) ของแบบประเมินความสามารถเป็นรายข้อ โดยใช้สูตรและหาดัชนีความสอดคล้อง 3 ระดับ ได้จาก (ไพศาล วรคำ, 2559: 269) แต่ระดับมีความหมายดังนี้

+1 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญแน่ใจว่าแบบประเมินความสามารถมีความตรงตามเนื้อหา

0 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญไม่แน่ใจว่าแบบประเมินความสามารถมีความตรงตามเนื้อหา

–1 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญแน่ใจว่าแบบประเมินความสามารถไม่มีความตรงตามเนื้อหา

แล้วพิจารณาเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป ซึ่งข้อคำถามมีค่า IOC ตั้งแต่ 0.60 ถึง 1.00 ซึ่งผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย (1) คุณครูศิรินทร์ ตันกุริมาน ข้าราชการบำนาญ เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาสื่อนวัตกรรมการเรียนการสอน (2) คุณครูมลชญา หินศรีสุวรรณ ข้าราชการบำนาญ เชี่ยวชาญด้านภาษาไทย (3) นางวิริน วันสมสกุล ศึกษานิเทศก์ชำนาญการพิเศษ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงใหม่เขต 1 เชี่ยวชาญด้านคณิตศาสตร์ (4) อาจารย์ปิยะณัฐ จันต๊ะคาด อาจารย์ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษ และ (5) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายทิตย์ ยะฟู คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา

2) หาค่าความยากง่าย (P) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบประเมินความสามารถ โดยนำไปทดลองใช้กับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านหนองแขม ตำบลเมืองนะ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนเจ้าพ่อหลวงอุปถัมภ์ 2 ตำบลน้ำแพร่ อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ดังตารางที่ 2

3) หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบประเมินความสามารถโดยนนำไปทดลองใช้ (Try Out) กับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านหนองแขม ตำบลเมืองนะ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนเจ้าพ่อหลวงอุปถัมภ์ 2 ตำบลน้ำแพร่ อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าความยากง่าย (P) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบประเมินความสามารถ

ระดับ	ด้านภาษาไทย			ด้านภาษาอังกฤษ			ด้านคณิตศาสตร์			ด้านความคิดสร้างสรรค์		
	p	r	r_{tt}	p	r	r_{tt}	p	r	r_{tt}	p	r	r_{tt}
ประถมศึกษาปีที่ 1	0.61	0.22	0.81	0.61	0.73	0.85	0.67	0.54	0.87	0.67	0.54	0.87
ประถมศึกษาปีที่ 2	0.50	0.75	0.89	0.67	0.54	0.87	0.50	0.75	0.89	0.50	0.75	0.89
ประถมศึกษาปีที่ 3	0.67	0.82	0.91	0.50	0.75	0.89	0.61	0.22	0.81	0.67	0.82	0.91
ประถมศึกษาปีที่ 4	0.61	0.73	0.85	0.61	0.22	0.81	0.67	0.82	0.91	0.61	0.73	0.85
ประถมศึกษาปีที่ 5	0.56	0.65	0.90	0.67	0.82	0.94	0.61	0.73	0.94	0.56	0.65	0.90
ประถมศึกษาปีที่ 6	0.67	0.54	0.87	0.61	0.73	0.85	0.67	0.82	0.91	0.67	0.54	0.87

2.2 แบบฝึกทักษะเสริมประสบการณ์ 3Rs1C สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ระดับประถมศึกษาปีที่ 1 – 6 โดย (1) ศึกษาเอกสาร วิเคราะห์เนื้อหา วิธีการแบบฝึกทักษะเสริมประสบการณ์3Rs1C สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) (2) สร้างแบบฝึกทักษะเสริมประสบการณ์ 3Rs1C ให้ครอบคลุมและตรงตามเนื้อหาความรู้เกี่ยวกับทักษะด้านภาษาไทย ด้านภาษาอังกฤษ ด้านคณิตศาสตร์ และด้านความคิดสร้างสรรค์ ในแต่ละระดับชั้น โดยในแต่ละระดับจะมีหน่วยการเรียนรู้ 3 หน่วย ดังนี้ (2.1) หน่วยที่ 1 ตัวเราประกอบด้วย เรื่องที่ 1 ร่างกายของฉัน เรื่องที่ 2 สุขนิสัยที่ดี เรื่องที่ 3 อาหารบ้านเรา และ เรื่องที่ 4 ความปลอดภัยในชีวิต (2.2) หน่วยที่ 2 ชุมชน ประกอบด้วยเรื่องที่ 1 ครอบครัวของฉัน เรื่องที่ 2 โรงเรียนของเราเรื่องที่ 3 หมู่บ้านของฉัน และเรื่องที่ 4 อาชีพในชุมชน (2.3) หน่วยที่ 3 สังคมน่าอยู่ ประกอบด้วย เรื่องที่ 1 วัฒนธรรมประเพณี เรื่องที่ 2 สืบสานภูมิปัญญา เรื่องที่ 3 ศาสนา เรื่องที่ 4 หน้าที่พลเมือง เรื่องที่ 5 จิตอาสา และเรื่องที่ 6 สิ่งแวดล้อม การหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ดำเนินการ ดังนี้

1) นำแบบฝึกทักษะเสริมประสบการณ์ 3Rs1C สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ระดับประถมศึกษาปีที่ 1 – 6 ฉบับร่างให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ซึ่งเป็นผู้มีความรู้ความสามารถด้านการศึกษาขั้นพื้นฐาน และเป็นผู้มีประสบการณ์ในด้านการจัดการเรียนการสอน เพื่อตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาและนำไปหาดัชนีความสอดคล้องโดยการวิเคราะห์หาค่า IOC (Index of Item Objective Congruence) ของแบบฝึกทักษะเสริมประสบการณ์ 3Rs1C เป็นรายข้อ โดยใช้สูตรและหาดัชนีความสอดคล้อง 3 ระดับ ได้จาก (ไพศาล วรคำ, 2559: 269) แต่ระดับมีความหมายดังนี้

+1 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญแน่ใจว่าแบบฝึกทักษะเสริมประสบการณ์ท3Rs1C มีความตรงตามเนื้อหา

0 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญไม่แน่ใจว่าแบบฝึกทักษะเสริมประสบการณ์ 3Rs1C มีความตรงตามเนื้อหา

–1 หมายถึง ผู้เชี่ยวชาญแน่ใจว่าแบบฝึกทักษะเสริมประสบการณ์ 3Rs1C ไม่มีความตรงตามเนื้อหา

แล้วพิจารณาเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป ซึ่งข้อคำถามมีค่า IOC ตั้งแต่ 0.60 ถึง 1.00 ซึ่งผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย (1) คุณครูศิรินทร์ ตันกุริมาน ข้าราชการบำนาญ เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาสื่อนวัตกรรมการเรียนการสอน (2) คุณครูมลชญา หินศรีสุวรรณ ข้าราชการบำนาญ เชี่ยวชาญด้านภาษาไทย (3) นางวิริน วันสมสกุล ศึกษานิเทศก์ชำนาญการพิเศษ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงใหม่เขต 1 เชี่ยวชาญด้านคณิตศาสตร์ (4) อาจารย์ ปิยะณัฐ จันต๊ะคาด อาจารย์ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษ (5) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายทิตย์ ยะฟู คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา

2) หาค่าประสิทธิภาพและประสิทธิผลของแบบฝึกทักษะเสริมประสบการณ์ 3Rs1C โดยนำไปทดลองใช้กับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านหนองแขม ตำบลเมืองนะ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนเจ้าพ่อหลวงอุปถัมภ์ 2 ตำบลน้ำแพร่ อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองใช้นวัตกรรม 3Rs1C ด้านภาษาไทย ด้านภาษาอังกฤษ ด้านคณิตศาสตร์ และด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับประถมศึกษา

ระดับ	ด้านภาษาไทย		ด้านภาษาอังกฤษ		ด้านคณิตศาสตร์		ด้านความคิดสร้างสรรค์	
	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2
ประถมศึกษาปีที่ 1	93.34	92.67	92.69	84.15	91.00	94.00	92.81	92.67
ประถมศึกษาปีที่ 2	88.96	86.81	92.46	91.17	93.77	93.00	94.00	95.50
ประถมศึกษาปีที่ 3	92.81	92.67	95.08	89.89	93.34	92.67	95.00	94.17
ประถมศึกษาปีที่ 4	94.00	95.50	91.00	94.00	88.96	86.81	92.69	84.15
ประถมศึกษาปีที่ 5	95.00	94.17	93.77	93.00	93.83	87.64	92.46	91.17
ประถมศึกษาปีที่ 6	92.69	84.15	93.34	92.67	89.03	89.92	95.08	89.89

การออกแบบและพัฒนานวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน นี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยยึดหลักของการออกแบบ ได้แก่ 1) การออกแบบเป็นกระบวนการที่มีเป้าหมายเพื่อสร้างสิ่งใหม่ 2) สิ่งใหม่เป็นผลงานการออกแบบต้องนำไปใช้ได้และมีประโยชน์ 3) งานพื้นฐานในการออกแบบคือการแปลงสารสนเทศจากความต้องการไปสู่สารสนเทศในการออกแบบผลงาน 4) การออกแบบต้องอาศัยปฏิสัมพันธ์ทางสังคม 5) การออกแบบเกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหา 6) ในการออกแบบนั้นกระบวนการแก้ปัญหาเป็นได้ทั้งกระบวนการที่มีขั้นตอนเป็นลำดับหรือเป็นไปเองโดยอัตโนมัติ 7) การออกแบบเป็นศาสตร์ หรือผสมผสานระหว่างศาสตร์และศิลป์ 8) การออกแบบต้องอาศัยทักษะทางเทคนิค ความคิดสร้างสรรค์ ความเป็นเหตุผลและใช้กระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ และ 9) กระบวนการออกแบบเป็นกระบวนการพัฒนา (สมจิต จันทร์ฉาย, 2557) ซึ่งการออกแบบนวัตกรรมดังกล่าวสอดคล้องกับการออกแบบการเรียนการสอนตามแนวคิด ADDIE Model ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ (Analysis) เป็นการวิเคราะห์สภาพปัญหาและความต้อง รวมถึงเป้าหมายและจุดมุ่งหมายในการเรียนของผู้เรียน ขั้นที่ 2 การออกแบบ (Design) เป็นการกำหนดเป้าหมาย การวางแผน การประเมินผล และพิจารณาเนื้อหาให้เหมาะสมกับผู้เรียน ขั้นที่ 3 การพัฒนา (Development) เป็นการสร้างสื่อนวัตกรรม ตรวจสอบคุณภาพของสื่อ และการปรับปรุงสื่อ ขั้นที่ 4 การนำไปใช้ (Implement) เป็นการนำสื่อที่ผ่านการปรับปรุงไปใช้กับกลุ่มเป้าหมาย เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสื่อนวัตกรรม และขั้นที่ 5 การประเมิน (Evaluation) เป็นขั้นที่ให้ครูและนักเรียน รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องประเมินผลของการใช้สื่อนวัตกรรม เพื่อเป็นการสะท้อนถึงคุณภาพสื่อและการปรับปรุงสื่อให้มีความเหมาะสมกับผู้เรียน (Richey, Klein and Tracey, 2011)

ผลการศึกษา

การวิจัยเรื่อง นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน โดยผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิจัย แบ่งเป็น 2 ตอน สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การวิจัย ได้แก่ 1) ผลศึกษาสภาพปัญหาที่ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถอ่านออกเขียนได้ เลขคิดเป็นของนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน 2) ผลพัฒนาและติดตามผลการใช้นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน รายละเอียด ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลศึกษาสภาพปัญหาที่ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถอ่านออกเขียนได้ เลขคิดเป็นของนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่า นักเรียนไม่สามารถอ่านออกเขียนได้ มีปัญหาความเข้าใจภาษาใน การตีโจทย์คณิตศาสตร์การคิดเลขเป็นของโจทย์ปัญหาทางคณิศาสตร์ มาจากอิทธิพลของภาษาถิ่นสูงที่สุด รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปัญหาที่ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถอ่านออกเขียนได้ คิดเลขเป็นของ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ร้อยละของประเด็นปัญหาและความต้องการยกระดับการจัดการเรียนรู้ของนักเรียน					
โรงเรียน	**ภาษาถิ่น**	**เทคนิคการสอนของครู**	**สาระหลักที่ต้องการพัฒนา : ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ คณิตศาสตร์**	**สาระทักษะศตวรรษที่ 21 ที่ต้องการเสริมให้กับนักเรียน : ความคิดสร้างสรรค์**	**รวม**
A	90	82	85	80	84.25
B	85	80	81	80	81.50
C	75	81	80	80	79.00
รวม	83.33	81.00	82.00	80.00	81.58

จากตารางที่ 4 สังเคราะห์จากการจัดเวทีแบบมีส่วนร่วมกับ ครู คณะกรรมการสถานศึกษา พบว่า (1) สังเคราะห์ปัญหาด้านนักเรียนร้อยละของ ประเด็นปัญหาที่ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถอ่านออกเขียนได้ คิดเลขเป็นของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน มาจากอิทธิพลของภาษาถิ่นสูงที่สุด โดยพบว่าโรงเรียน A อยู่ที่ร้อยละ 90 รวมค่าเฉลี่ยร้อยละ 83.33 (2) สังเคราะห์ปัญหาและความต้องการพัฒนาตนเองของครูพบว่า สาระหลักที่ครูต้องการพัฒนานักเรียน โดยควรอยากให้ออกแบบคู่มือพื้นฐานเพื่อการเรียนรู้เพื่อฝึกทักษะสำหรับนักเรียนที่ใช้ภาษาไทยเป็นภาษาที่สองในสาระดังนี้ ได้แก่ ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ คณิตศาสตร์ รวมค่าเฉลี่ยร้อยละ 82.00 และความต้องการพัฒนาเทคนิคการสอนของครู รวมค่าเฉลี่ยร้อยละ 83.33 ความต้องการพัฒนาเทคนิคการสอนสาระทักษะศตวรรษที่ 21 คือ ความคิดสร้างสรรค์ที่ต้องการเสริมให้กับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน รวมค่าเฉลี่ยร้อยละ 80.00

ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาและติดตามผลการใช้นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน

พบว่า นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” สามารถยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน ประกอบด้วย 1) ด้านการอ่านออก (1R: Reading) 2) เขียนได้ (2R: Writing) 3) คิดเลขเป็น (3R: Arithmetic) 4) ทักษะการคิดสร้างสรรค์ (1C: Creative) โดยใช้กระบวนการแบบมีส่วนร่วม (PAR) และชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC: Professional Learning Community) โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการพัฒนาและติดตามประเมินผลการใช้นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน

โรงเรียน	ร้อยละของผลการยกระดับการใช้นวัตกรรมการเรียนรู้ 3Rs1C สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน					รวม
	ด้านนักเรียน	ด้านครูผู้สอน	ด้านสถานศึกษา	ด้านนักวิจัย	ด้านนวัตกรรม	
A	80	85	85	85	80	83.0
B	85	82	81	90	85	84.6
C	78	80	80	85	80	80.6
รวม	81.00	82.33	82.00	86.67	81.67	82.73

จากตารางที่ 5 จากการติดตามกระบวนการแบบมีส่วนร่วม (PAR) และชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (Professional Learning Community : PLC) พบว่า ร้อยละของผลการยกระดับการจัดการเรียนรู้การใช้นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” ในทั้ง 3 โรงเรียน ภาพรวมอยู่ในระดับร้อยละ 82.73 เมื่อแยกเป็นรายด้าน พบว่า ร้อยละของด้านนักวิจัยมากที่สุด รองลงมา เป็นด้านครูผู้สอนมากที่สุด รองลงมาด้านครูผู้สอน ด้านสถานศึกษา ด้านนวัตกรรม และด้านผู้เรียน ตามลำดับ โดยอธิบายได้ว่า

ด้านที่ 1 นักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน สามารถคิดวิเคราะห์โจทย์ปัญหาและหาคำตอบอย่างเป็นขั้นตอนได้อย่างถูกต้อง เรียนรู้คำศัพท์ภาษาอังกฤษได้มากขึ้น สามารถเขียน สะกดคำศัพท์ และอ่านออกเสียงภาษาไทยได้เป็นอย่างดี มีความคิดสร้างสรรค์ในการเชื่อมโยงสิ่งต่าง ๆ จากประสบการณ์ที่อยู่รอบตัวของนักเรียน นอกจากนี้นักเรียนกล้าแสดงออกในการตอบคำถาม มีความมั่นใจกล้าที่จะพูดคุยสื่อสารภาษาไทย เรียนรู้อย่างมีความสุข และยิ้มแย้มแจ่มใส รู้สึกประสบผลสำเร็จมากขึ้น

ด้านที่ 2 ครูโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน ได้ข้อมูลพื้นฐานการพัฒนาให้นักเรียนสามารถอ่านออกเขียนได้ เลขคิดเลขเป็น จากการวิเคราะห์ สังเคราะห์สภาพปัญหาและความต้องการ ได้รู้ความต้องการพัฒนาตนเองของครูผู้สอน ด้านเทคนิคการจัดการเรียนการสอนระดับประถมศึกษา ชั้นปีที่ 1-6 โดยใช้ชุดความรู้ 3Rs1C จำนวน 2 ชุดองค์ความรู้

ด้านที่ 3 สังคมชุมชนในที่ตั้งของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน ได้ยกระดับการจัดการศึกษา โดยมีแบบฝึกทักษะที่มีการออกแบบสาระให้สอดคล้องกับวัฒนธรรมและสังคมที่นักเรียนอาศัยอยู่ เพื่อให้เรียนรู้ได้ง่ายจากเรื่องใกล้ตัวไปหาเรื่องไกลตัว สามารถนำไปเชื่อมโยงการเรียนรู้ในแบบเรียนหลักของสถานศึกษาได้ และส่งเสริมให้ครูใหญ่ ตลอดจนครูผู้สอนออกแบบกิจกรรมประยุกต์ใช้การเรียนการสอน ที่มีการใช้ประโยชน์ได้จริงในสังคม (U: Utilization) ส่งผลให้สถานศึกษา สามารถสามารถยกระดับคุณภาพการจัดการเรียนรู้ด้านการอ่านออกเขียนได้ คิดเลขเป็น ทักษะการคิดสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอนสูงขึ้น

ด้านที่ 4 นักวิจัย นักวิจัยเชิงปฏิบัติการ (พื้นฐาน, R&D) ที่เป็นอาจารย์ ได้พัฒนาตนเองในการวิจัยและบริการวิชาการแก่สังคมและการเรียนการสอน จนสามารถยกระดับการศึกษาในประเด็นการพัฒนาฐานการเรียนรู้ของนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอนให้สูงขึ้น สำเร็จตามวัตถุประสงค์

ด้านที่ 5 นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้พัฒนาขึ้นสอดคล้องกับความต้องการแก้ปัญหาด้านการอ่านออกเขียนได้คิดเลขเป็นและความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จากการสังเคราะห์สภาพปัญหานักเรียนใช้ภาษาถิ่น ส่งผลกระทบต่อความเข้าใจภาษากลางที่เชื่อมโยงไปสู่การคิดและการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้น การพัฒนาเด็กและเยาวชนในถิ่นทุรกันดารโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนให้มีความสามารถในการอ่านออกเขียนได้ คิดเลขเป็น และมีความสามารถทางวิชาการในสาระการเรียนรู้ต่าง ๆ มีทักษะและมีความพร้อมกับชีวิตในศตวรรษที่ 21 (21st Century Skills) ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญของกระแสการปรับเปลี่ยนทางสังคมที่เกิดขึ้น เป็นทักษะเพื่อการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย การอ่านออกเขียนได้ คิดเลขเป็น ซึ่งควรเป็นการเรียนรู้จากการค้นคว้าด้วยตนเองของผู้เรียนโดยครูผู้สอนคอยช่วยแนะนำ และช่วยออกแบบกิจกรรมที่ช่วยให้ผู้เรียนแต่ละคนสามารถประเมินความก้าวหน้าของการเรียนรู้ของตนเองได้ เพราะทักษะในศตวรรษที่ 21 ผู้เรียนทุกคนต้องเรียนรู้ตลอดชีวิตโดยเฉพาะด้าน การอ่านออก (1R: Reading) เขียนได้ (2R : (Writing) คิดเลขเป็น (3R: Arithmetic’s) และทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และทักษะการแก้ปัญหา (1C: Critical Thinking and Problem Solving) อันเป็นพื้นฐานของการต่อยอด ไปสู่องค์ความรู้ของการคิดด้านอื่น ๆ ต่อไป (วิจารณ์ พานิช, 2555)

อภิปรายและสรุปผล

1. **อภิปรายและสรุปผลการวิเคราะห์และสังเคราะห์สภาพปัญหาและความต้องการ** พบว่า นักเรียนมีปัญหาการเรียนรู้จากการใช้ภาษาถิ่นที่มีลักษณะไวยกรณ์การเรียงประโยคสลับกับภาษาไทย โดยนักเรียนใช้ภาษาถิ่นเป็นภาษาหลักและใช้ภาษาไทยเป็นภาษาที่สอง ทำให้การเรียนรู้ศัพท์ และการเรียงประโยคพัฒนาไปได้ค่อนข้างช้า ส่งผลกระทบต่อสภาพปัญหาด้านการคิดเลขเป็นของนักเรียน การไม่เข้าใจโจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ และไม่เข้าใจโจทย์คำถามส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ทั้งนี้เมื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐานของนักเรียนในโรงเรียนนำร่อง 3 โรงเรียน มีชนเผ่าอาศัยอยู่ในชุมชน 3 ชนเผ่า ดังนี้ 1) โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนชมรมอนุรักษ์พุทธศิลปไทยอนุสรณ์ 2 บ้านปุงยาม เป็นชนเผ่าไทใหญ่ ใช้ภาษาไตใหญ่ 2) ศูนย์การเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนเฉลิมพระเกียรติ (บ้านน้ำบ่อสะเป่) เป็นชนเผ่าลีซอ ใช้ภาษาลีซู และ 3) ศูนย์การเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนพลเอกอรชุน พิบูลนครินทร์ บ้านลุกข้าวหลาม อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นชนเผ่าลาหู่ ใช้ภาษาลาหู่

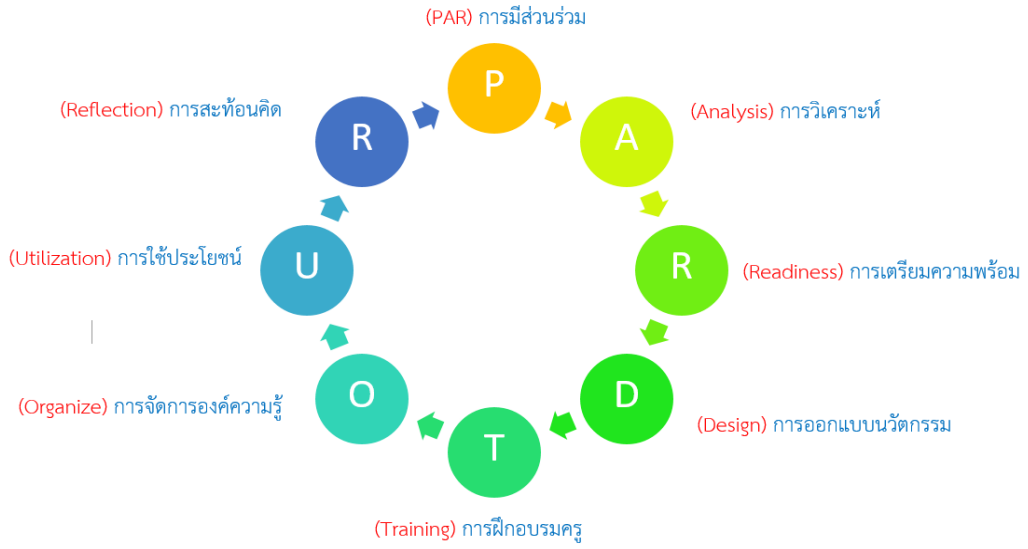
จากสภาพปัญหาดังกล่าวจึงส่งผลให้นักวิจัย หาแนวทางพัฒนาการอ่านออกเขียนได้คิดเลขเป็นและความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนให้เหมาะสมสอดคล้องตามความหลากหลายในแต่ละชุมชนและวัฒนธรรมของท้องถิ่น อันจะเป็นการต่อยอดไปสู่การเรียนรู้ที่ประสบผลสำเร็จในขั้นสูงต่อไป กิจกรรมที่มีการแลกเปลี่ยนทางวัฒนธรรม ภาษาถิ่นมีบทบาทในการแสดงเอกลักษณ์ทางวัฒนธรรมของแต่ละท้องถิ่นตลอดจนช่วยให้ทำความเข้าใจวรรณคดีและวรรณกรรมได้มากขึ้น (ทรูปลูกปัญญา, 2565) สอดคล้องกับทฤษฎีของเพียเจต์ (1930) ที่กล่าวว่าโดยธรรมชาติแล้วมนุษย์มีแนวโน้มพื้นฐานที่ติดตัวมาแต่กำเนิด 2 ลักษณะ คือ 1) การจัดระบบภายใน (organization) เป็นการจัดการภายในโดยวิธีรวมกระบวนการต่าง ๆ เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ อย่างต่อเนื่องกันเป็นเรื่องเป็นราว เช่น เด็กเล็กเห็นของแล้วคว้า ซึ่งกิจกรรมนี้ประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ เห็นและคว้า การที่เด็กสามารถทำกิจกรรม 2 อย่าง ได้ในเวลาเดียวกัน เรียกว่า เป็นการรวมกระบวนการเข้าเป็นระบบ และ 2) การปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม (adaptation) หมายถึง การปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมเป็นแนวโน้มที่มีแต่กำเนิดการที่มนุษย์มีการปรับตัว เนื่องจากการที่มีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งการปรับตัวนี้ประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ การดูดซับ (assimilation) และการปรับให้เหมาะ (accommodation) ผลจากการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงจะก่อให้เกิดพัฒนาการทางสติปัญญาจากขั้นหนึ่งไปสู่อีกขั้นหนึ่ง จนในที่สุดถึงขั้นที่เรียกว่า Operation ซึ่งหมายถึงความสามารถที่เด็กจะคิดย้อนกลับได้ ซึ่งถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของพัฒนาการทางสติปัญญา

สอดคล้องกับสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา เจ้าฟ้ามหาจักรีสิรินธร มหาวชิราลงกรณวรราชภักดี สิริกิจการิณีพิรยพัฒน รัฐสีมาคุณากรปิยชาติ สยามบรมราชกุมารี ทรงเริ่มงานโครงการเพื่อเด็กและเยาวชนในถิ่นทุรกันดารในโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 โดยทรงมุ่งเน้นการพัฒนาโดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ให้เหมาะสมสอดคล้องตามความหลากหลายในแต่ละชุมชนและวัฒนธรรมของท้องถิ่น เพื่อให้ผู้ที่อยู่ในถิ่นทุรกันดารห่างไกลและมีภาวะที่ยากลำบากต่าง ๆ มีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ทั้งในด้านสุขภาพ การศึกษา การอาชีพ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและวัฒนธรรมท้องถิ่น (จิตรา มีคำ, กฤธยากาญจน์ โตพิทักษ์ และ นิคม นาคอ้าย, 2556)

2. อภิปรายผลและสรุปผลการพัฒนาและติดตามประเมินผลการใช้นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดนได้สูงขึ้น พบว่า กระบวนการแบบมีส่วนร่วม (PAR) และชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (Professional Learning Community : PLC) ช่วยให้การเรียนรู้ของนักเรียนเกิดได้ดีขึ้นอย่างสร้างสรรค์ การร่วมมือรวมพลัง (Collaboration) เป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ชุมชนการเรียนรู้เกิดขึ้นได้อย่างเข้มแข็งและเข้มข้น บรรลุเป้าหมายที่วางไว้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ทองพรรณ ปัญญาอุดมกุล (2563) พบว่า แนวทางของกระบวนการ PLC เป็นการพัฒนาคุณภาพการจัดการเรียนรู้ของครูที่สำคัญประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การกำหนดเป้าหมายการพัฒนา 2) การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ 3) การร่วมกันสะท้อนคิดเพื่อการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ 4) ปฏิบัติการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สังเกตการณ์กระบวนการปฏิบัติจริง 5) การร่วมกันสะท้อนคิด การปฏิบัติการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และ 6) สรุปผลเรียนรู้จากการปฏิบัติการนำสู่การวางแผนการจัดการเรียนรู้รอบใหม่ต่อไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิรดี ไชยกาล วรวรรณ เหมชะญาติ และสร้อยสน สลกรักษ์ (2561) ที่ได้กล่าวไว้ว่า การจัดการเรียนการสอนให้เด็กภาษาอื่นนั้นต้องเริ่มจากให้ผู้เรียนมีความสามารถในการสื่อสารในด้านการฟังและการพูดไปพร้อม ๆ กัน ควรคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติและพัฒนาการทางภาษาไทยโดยเน้นกิจกรรมที่ใช้ภาษาในสภาพที่เป็นจริงให้มีความสัมพันธ์กับเหตุการณ์และชีวิตประจำวัน และการนำชุมชนวัฒนธรรม และท้องถิ่นเข้ามาร่วมในการจัดการเรียนการสอน ด้วยกระบวนการของรูปแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” PARDTURE Model ดังนี้

รูปแบบการเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม

PARDTOUR MODEL



อธิบายได้ว่ารูปแบบการยกระดับคุณภาพการศึกษาด้วยนวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” ด้านการอ่านออกเขียนได้คิดเลขเป็น ทักษะการคิดสร้างสรรค์ สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นกระบวนการเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม (PARDTOUR Model) 8 ขั้นตอน รายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : P การมีส่วนร่วม (PAR) และสร้างสรรค์องความรู้ร่วมกัน (Building) การสร้างสัมพันธภาพระหว่างนักวิจัยกับสังคม และการสร้างเป้าหมายร่วมกันในการยกระดับการศึกษาตามความต้องการของสังคมและได้รับการสนับสนุนจากชุมชน การมีส่วนร่วม เป็นกระบวนการสร้างสัมพันธภาพระหว่างทีมวิจัยกับโรงเรียนและชุมชน เพื่อเป็นสร้างความเข้าใจบริบทของโรงเรียนและชุมชน รวมทั้งการสร้างความเข้าใจเป้าหมายและจุดมุ่งหมายของทีมนักวิจัย โดยมุ่งเน้นความร่วมมือของโรงเรียนและชุมชนในการพัฒนายกระดับการเรียนรู้ของนักเรียนในโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน การมีส่วนร่วม (PAR) ในการสร้างสรรค์องค์ความรู้ร่วมกัน เป็นกระบวนการที่เน้นการมีส่วนร่วมอย่างแท้จริงในกลุ่มผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders) ในการแก้ไขหรือปรับปรุงสภาพปัญหา เป็นการเรียนรู้ที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่ถาวร (อุทัยทิพย์ เจี่ยวิวรรธน์กุล, 2553) PAR จึงถือว่าเป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม มีนัยอยู่ 3 ประการ คือ 1) การวิจัยเพื่อให้ได้ความรู้ 2) การปฏิบัติการ เพื่อใช้ความรู้และสะท้อนผลการปฏิบัติที่มีที่มาจากการใช้ความรู้ และ 3) การมีส่วนร่วมที่มีความหมายของการเป็นเจ้าของการเปลี่ยนแปลง การสร้างความรัก ความผูกพัน และความหวังในกระบวนการเปลี่ยนแปลง 3 อย่าง คือ 1) พัฒนาจิตสำนึกอย่างมีวิจารณญาณของนักวิจัยและผู้ร่วมวิจัย 2) พัฒนาชีวิตของผู้มีส่วนร่วมในกระบวนการวิจัย และ 3) เปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางสังคมและความสัมพันธ์ทางสังคม เป็นการวิจัยที่เริ่มต้นจากคนที่หนึ่ง มาสู่คนที่สอง และมาสู่คนที่สาม ตลอดจนสร้างการเปลี่ยนแปลงระดับมหาภาค สอดคล้องกับแนวคิดของ อมาวสี อัมพันศิริรัตน์ และพิมพิมล วงศ์ไชยา (2560) ที่ได้เสนอความคิดว่า กระบวนการของการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) เป็นเกลียวของวงจรการสะท้อนคิดและการปฏิบัติ เริ่มจากการสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้น สะท้อนคิดร่วมกัน แลกเปลี่ยนเรียนรู้ วางแผนเพื่อการเปลี่ยนแปลง และลงมือปฏิบัติตามแผน สังเกตผลจากการปฏิบัติ และวางแผนซ้ำ จนกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสิ่งที่ปฏิบัติอยู่ให้ดีขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่แต่ละขั้นตอนผู้ที่เกี่ยวข้องในสถานการณ์นั้น ๆ ต้องเข้ามามีส่วนร่วมตลอดกระบวนการ

มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ซึ่งกันและกัน เป็นการสเริมพลังอำนาจให้ความอิสระและสร้างจิตสำนึกให้เกิดขึ้นในปัจเจกบุคคล ฉะนั้นการมีส่วนร่วมของชุมชน โรงเรียน และผู้วิจัย ถือว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญและมีความหมายอย่างยิ่งต่อการสร้างสัมพันธภาพและการทำงานร่วมกันให้ไปสู่เป้าหมายและเกิดสัมฤทธิ์ผลกับผู้เรียนในโรงเรียนอย่างสูงสุด

ขั้นตอนที่ 2 : A การวิเคราะห์ (Analysis) สภาพปัญหาและความต้องการพัฒนาอ่านออกเขียนได้ คิดเลขเป็นความคิดสร้างสรรค์ เป็นกระบวนการวิเคราะห์สภาพปัญหา ความต้องการในการยกระดับการเรียนรู้ของนักเรียนและพื้นที่บริบทของโรงเรียนและชุมชนที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียน โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นการทำให้โรงเรียนและชุมชน สะท้อนสภาพปัญหาและทิศทางที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาและพัฒนาร่วมมือกัน โดยการวิเคราะห์สภาพปัญหาและความต้องการในการพัฒนานักเรียน ทีมวิจัยได้ใช้หลักการ SWOT Analysis เป็นการวิเคราะห์สภาพแวดล้อม ศักยภาพองค์กร ปัจจัยที่กระทบต่อการพัฒนานักเรียนทั้งปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในสถานศึกษา เพื่อเป็นการวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค รวมทั้งเป็นการสะท้อนข้อมูลที่เกิดขึ้นและแนวโน้มที่จะนำไปสู่การวางแผนในการพัฒนาคุณภาพนักเรียน การกำหนดวิสัยทัศน์ การกำหนดกลยุทธ์ และการดำเนินตามกลยุทธ์ของสถานศึกษาที่เหมาะสมต่อไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ ดารณี เอื้อชนะจิต (2561) ได้ระบุว่า การวิเคราะห์ผู้เรียนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการศึกษาเรียนรู้และเป็นการเตรียมความพร้อมผู้เรียน 5 ด้าน ได้แก่ 1) ความพร้อมด้านความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ 2) ความพร้อมด้านสติปัญญา 3) ความพร้อมด้านพฤติกรรม 4) ความพร้อมด้านร่างกายและจิตใจ และ 5) ความพร้อมด้านสังคม ซึ่งในการวิเคราะห์ผู้เรียนนี้จะทำให้การจัดการเรียนรู้ให้ประสบความสำเร็จมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับแนวคิดของ ศักดิ์เดช ประกอบผล (2563) ที่ได้กล่าวว่า การวิเคราะห์ผู้เรียนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการออกแบบการเรียนการสอน ในการออกแบบการเรียนการสอนอย่างเป็นระบบ ควรพิจารณาให้ครอบคลุมว่าผู้เรียนเป็นใคร มีคุณลักษณะพื้นฐานอย่างไร ต้องการให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อะไรบ้าง หรือมีวัตถุประสงค์การเรียนรู้อะไรบ้าง จะใช้วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนรู้อย่างไร และจะประเมินผลการเรียนรู้ด้วยวิธีการใดบ้าง ฉะนั้นในการออแบบการเรียนการสอนจำเป็นต้องวิเคราะห์ผู้เรียนก่อนเสมอ เพราะการวิเคราะห์ผู้เรียนจะทำให้รู้จักผู้เรียนได้ดีขึ้น จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การวิเคราะห์สภาพปัญหาและผู้เรียน เป็นหัวใจสำคัญของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับตัวผู้เรียนต่อการทำความเข้าใจและวางแผนต่อการพัฒนาผู้เรียนให้มีศักยภาพในการเรียนรู้ที่สูงขึ้น

ขั้นตอนที่ 3 : R การเตรียมความพร้อม (Readiness) เพื่อปลุกพลังความเชื่อมั่นในตนเองให้แก่ครูในการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียน เป็นกระบวนการเสริมสร้างความพร้อมทางด้านจิตใจให้กับครูในโรงเรียน เพื่อเป็นการปลุกพลังแห่งความเชื่อมั่นในตนเองต่อการจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียน โดยกระบวนการดังกล่าว เป็นการกระตุ้นให้ครูผู้สอนรู้จักจุดแข็งและจุดอ่อนของตนเอง แล้วนำจุดแข็งและจุดอ่อนมาพัฒนาให้ดีขึ้น สอดคล้องกับหลักการเรียนรู้ของ Thorndike ที่ได้สรุปกฎแห่งการเรียนรู้ของบุคคลว่า บุคคลจะเกิดการเรียนได้ดีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ 1) กฎแห่งความพร้อม (Law of readiness) 2) กฎแห่งการฝึกหัด (Law of exercise) 3) กฎแห่งการใช้และไม่ใช้ (Law of use and disuse) และ 4) กฎแห่งผล (Law of effect) และสิ่งสำคัญบุคคลจะเรียนรู้สิ่งใดได้ดีจะต้องเริ่มจากประการแรก คือการมีความพร้อมที่จะเรียนรู้ มีความพร้อมทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจ ตามที่งานวิจัยของ Rino and Armida (2016) ได้ระบุว่า ความพร้อมของครู เป็นสิ่งที่สำคัญและมีความจำเป็นอย่างมากในการจัดการเรียนการสอนประสบความสำเร็จและเกิดผลสัมฤทธิ์ที่ดีต่อผู้เรียน โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถและความพร้อมของครู ได้แก่ ประสบการณ์ แรงจูงใจ ความสามารถทางสติปัญญา ระดับการศึกษา การเปิดใจรับรู้นวัตกรรม วัฒนธรรม การประเมินผล การบริหารจัดการ และปัจจัยทางอารมณ์ ล้วนแล้วแต่เป็นทักษะที่ครูทุกคนจะต้องได้รับการเตรียมความพร้อม เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความพร้อมของครูในการสอนและการเรียนรู้ คือ แรงจูงใจของครู ความรู้ของเนื้อหาวิชา ความสามารถในการจัดการเรียนการสอน (Kariyev et al., 2018) ดังนั้นการเตรียมความ

พร้อมให้กับครู จะช่วยให้ครูนั้นเข้าใจตนเองมากขึ้น มีความมั่นใจและแรงจูงใจในการจัดการเรียนรู้ให้กับผู้เรียนได้อย่างเต็มที่ พร้อมช่วยให้ครูได้พัฒนาตนเองตามศักยภาพของตนเองได้อย่างเต็มที่เช่นกัน

ขั้นตอนที่ 4 : D การออกแบบนวัตกรรม (Design) เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาด้วยนวัตกรรม “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ให้สอดคล้องกับบริบทวัฒนธรรมชุมชนและสังคมที่นักเรียนอาศัยอยู่เป็นกระบวนการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่ในการวิเคราะห์สภาพปัญหาและความต้องการในการยกระดับการเรียนรู้ของนักเรียน โดยผ่านการมีส่วนร่วมของผู้บริหาร ครู ผู้ปกครอง และชุมชน ในการสะท้อนสภาพปัญหา ทั้งนี้นำสภาพปัญหาและประเด็นดังกล่าวประกอบกับแนวคิดจิตวิทยาพัฒนาการและกระบวนการเสริมสร้างทักษะทางปัญญา มาสู่การออกแบบนวัตกรรมอยู่ในรูปแบบฝึกหัด เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ทาง ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ คณิตศาสตร์และความคิดสร้างสรรค์ ให้กับนักเรียน โดยการออกแบบนวัตกรรมนี้ทีมวิจัยได้ให้ความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากนวัตกรรมที่เป็นตัวกลางช่วยสื่อสารระหว่างผู้สอนและผู้เรียนให้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาและจุดมุ่งหมายในการพัฒนาผู้เรียน การออกแบบนวัตกรรมนั้น ถือว่าเป็นการวิจัยผ่านกิจกรรมการออกแบบ มีเป้าหมายในการสร้างสรรค์บางสิ่งบางอย่างด้วยกระบวนการออกแบบ ซึ่งผลผลิตจะเป็นชิ้นผลงานที่สร้างสรรค์ ทั้งนี้การออกแบบนวัตกรรมยังเป็นกระบวนการที่มุ่งเน้นแสวงหาความรู้ผ่านการพัฒนาตัวต้นแบบโมเดล หุ่นจำลอง แบบร่าง เป็นต้น เพื่อให้เกิดเป็นตัวผลงานและองค์ความรู้ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำผ่านตัวแบบหรือตัวผลงาน ซึ่งผ่านการให้ความเห็นของผู้เกี่ยวข้องการประเมินผล การทดสอบตัวต้นแบบ (ทิพย์สุดา จันทร์แจ่มหล้า และพีรดร แก้วลาย, 2562) โดยการออกแบบนวัตกรรมได้ยึดหลักการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) เป็นกระบวนการในการพัฒนานวัตกรรมที่มีลักษณะต่อเนื่องกันไปจนได้นวัตกรรมที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบนวัตกรรม 2) การพัฒนานวัตรกรรมต้นแบบและตรวจสอบคุณภาพ 3) การทดลองใช้นวัตกรรมในสถานการณ์จริง และ 4) การประเมินประสิทธิผลของนวัตกรรม ฉะนั้นการออกแบบนวัตกรรม จึงต้องอาศัยรากฐานองค์ความรู้สนับสนุนอย่างแข็งแกร่ง ที่จะทำให้นวัตกรรมสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล (The Institute of Education Sciences, 2013; Bill and Melinda Gates Foundation, 2019) จากงานวิจัยพบว่า นวัตกรรมที่ผ่านกระบวนการออกแบบและประเมินประสิทธิผลแล้วนำไปใช้ส่งเสริมผู้เรียน แสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนที่ได้รับนวัตกรรมมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้น และมีพัฒนาการทักษะในศตวรรษที่ 21 มากกว่ากลุ่มควบคุม (Edeh, Ugwoke and Anaele, 2021) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yawman and Kubi (2018) ที่พบว่า ผู้เรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับวิธีการจัดการเรียนการสอนด้วยนวัตกรรมจะมีคะแนนและผลการเรียนสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการเรียนการสอนแบบวิธีการดั่งเดิม

ขั้นตอนที่ 5 : T การฝึกอบรมครู (Training) เพื่อเพิ่มทักษะความสามารถ ยกระดับคุณภาพการเรียนการสอน เป็นกระบวนการที่ทีมวิจัยนำเทคนิคและกระบวนการจัดการเรียนรู้มาส่งเสริมและพัฒนาครู เพื่อเพิ่มทักษะและความสามารถในการจัดการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพขึ้น โดยการฝึกอบรมครูได้อาศัยข้อมูลที่มาจากการสะท้อนจุดอ่อนและจุดแข็งของครูมาเป็นพื้นฐานในการออกแบบกิจกรรมการฝึกอบรมให้กับครู ซึ่งการฝึกอบรมครูนั้นนับว่า เป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับในการส่งเสริมและพัฒนาให้ครูเกิดความสามารถและความชำนาญในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้กับผู้เรียน โดยการฝึกอบรมนั้นมีจุดมุ่งหมายที่สำคัญในการเรียนรู้ร่วมกันและพัฒนาตัวครูอย่างยั่งยืน เรียนรู้ผ่านการปฏิบัติจริงในลักษณะของการสร้างเครือข่ายการเรียนรู้จากครูพี่เลี้ยงที่มีความรู้มีประสบการณ์คอยให้ความช่วยเหลือพัฒนาการปฏิบัติงานและผู้เข้าร่วมอบรมด้วยกัน ส่งเสริมศักยภาพครูเป็นรายบุคคลตามความต้องการจำเป็น เปิดโอกาสให้ครูได้นำเสนอและออกแบบวิธีการเรียนรู้ตามสภาพปัญหาและความต้องการ (สุวิมล ว่องวาณิช, 2547) สอดคล้องกับแนวคิดของ Mondy and Noe (2005) ที่ได้กล่าวว่า การฝึกอบรมเป็นแผนการและระบบการปรับปรุงพฤติกรรมซึ่งผ่านการเรียนรู้หรือโปรแกรมที่บุคคลสามารถพัฒนาไปในแต่ละระดับความรู้ ทักษะ และสมรรถนะ เพื่อพัฒนาการทำงานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นกิจกรรมการพัฒนาเพื่อให้

บุคคลได้รับรับความรู้ ทักษะที่จำเป็นในงานปัจจุบัน เป็นหัวใจสำคัญของความพยายามในการออกแบบอย่างต่อเนื่อง ปรับปรุงความสามารถและศักยภาพของบุคคล และผลการปฏิบัติงานขององค์การให้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับทฤษฎี การพัฒนาทางวิชาชีพสำหรับครูมีความความสำคัญอย่างมากที่ช่วยพัฒนาให้ครูมีความเชี่ยวชาญทางวิชาชีพมากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดผลลัพธ์ทางการเรียนรู้ของนักเรียนที่ดีขึ้น และทำให้ครูได้เรียนรู้วิธีการในการสอนที่หลากหลาย รู้จักการจัดการความรู้และทักษะการวางแผนที่ดีขึ้น ครูได้รับความรู้และพัฒนาตนเองทางการศึกษาอย่างต่อเนื่อง

ขั้นตอนที่ 6 : O การจัดการองค์ความรู้ (Organize) เพื่อให้ครูผู้สอนสามารถประยุกต์ใช้และบูรณาการออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอนที่เหมาะสมกับนักเรียนได้ เป็นกระบวนการที่ให้ครูผู้สอนจัดการสาระสำคัญหรือความคิดรวบยอดที่ได้จากการฝึกอบรม โดยให้ครูวางแผนและออกแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้แก่นักเรียน มีการประยุกต์เทคนิคและกระบวนการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบที่จะเกิดประโยชน์กับนักเรียนอย่างสูงสุด สอดคล้องกับแนวคิดการจัดการเรียนการสอน โดยใช้รูปแบบ EDPROT Model คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (2563) ที่ได้กล่าวว่า Organization คือ การจัดหมวดหมู่สาระสำคัญหรือความคิดรวบยอดที่ได้รจากการเรียนรู้ ทั้งส่วนที่เป็นความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะต่าง ๆ โดยให้จัดเป็นหมวดหมู่ขององค์ความรู้ที่ได้รับ แล้วนำความรู้เหล่านั้นไปสู่การนำเสนอความรู้ ผลงานชิ้นงาน กิจกรรมในเชิงสร้างสรรค์ เป็นต้น ถือว่าการจัดการองค์ความรู้เป็นกระบวนการที่มุ่งเน้นไปทางสติปัญญาตามแนวคิดหลักทฤษฎี Constructivism ของเพียเจต์ ที่ได้อธิบายว่าเป็นการสร้างความรู้ขึ้นในตนเอง โดยความรู้เหล่านั้นจะมีความหมาย อยู่คงทน ไม่ลืมง่าย และสามารถถ่ายทอดให้ผู้อื่นเข้าใจความคิดของตนเองได้ เป็นรากฐานของการสร้างความรู้ใหม่ไม่มีที่สิ้นสุด ทั้งนี้กระบวนการเรียนรู้เกิดขึ้นได้จากองค์ประกอบ 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ 1) ความจำข้อมูล 2) กระบวนการทางปัญญา และ 3) เมตาคอคนิชั่น นอกจากนี้แนวคิดการจัดการองค์ความรู้ (Organize) ดังกล่าวยังสอดคล้องกับกรอบแนวคิดสำคัญในการปฏิรูปวิชาชีพครู การปรับมาตรฐานตำแหน่ง และมาตรฐานวิทยฐานะฯ ใหม่ ประกอบด้วย 1) Back to school (กลับไปเริ่มต้นทุกอย่างที่โรงเรียน) 2) Focus on classroom (หัวใจสำคัญอยู่ในห้องเรียน) 3) Teacher = Key success (ครูคือกุญแจความสำเร็จ) 4) School as organization (ทำโรงเรียนให้เป็นองค์กรในการเรียนรู้) โดยกรอบแนวคิดนี้มุ่งหวังให้ครูมีเวลาในการจัดการเรียนการสอน สร้างกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เป็นระบบภายในโรงเรียน และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับผู้เรียน

ขั้นตอนที่ 7 : U การใช้ประโยชน์ที่สามารถนำไปใช้จริงในสังคม (Utilization) เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาด้วยนวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” (PARDTURE Model) สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นกระบวนการนำไปใช้ได้จริงกับสังคมสามารถประเมินได้หลากหลายวิธีการ โดยกระบวนการมีส่วนร่วม การตัดสินใจให้คำปรึกษาแก่ผู้ได้รับผลประโยชน์ ทั้งนี้การใช้ประโยชน์จากนวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” (PARDTURE Model) นั้นถือว่าเป็น การใช้ประโยชน์จากงานวิจัย (Research Utilization: RU) เป็นการนำเอาข้อมูลและข้อค้นพบจากงานวิจัยมาแก้ปัญหาบางอย่างหรือเอามาใช้ในการปรับปรุงการดำเนินงานให้ดีขึ้น นอกจากนี้การใช้ประโยชน์จากงานวิจัยมักจะถูกมองในลักษณะของความต่อเนื่องของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกัน และเป็นกระบวนการที่เป็นขั้นตอนตั้งแต่ของการส่ง/รับงานวิจัย (Transmission) จากผู้ผลิตไปสู่ผู้ใช้ การทำความเข้าใจงานวิจัย (Cognition) ไปจนถึงการประยุกต์ใช้ (Application) สอดคล้องกับงานวิจัยของศิวะพร ภู่พันธ์ (2554) ได้เสนอว่า แนวทางการใช้การวิจัยในการเรียนการสอนหรือการใช้ประโยชน์จากงานวิจัยในการเรียนการสอน นับว่าเป็นแนวทางที่สามารถเชื่อมโยงการวิจัยกับการสอนเข้าด้วยกัน และสามารถยกระดับคุณภาพของการศึกษา และการใช้ประโยชน์จากงานวิจัยเป็นกระบวนการใช้ความรู้หรือข้อค้นพบที่ได้จากการวิจัย ทั้งความรู้หรือข้อค้นพบจากผลการวิจัยและกระบวนการวิจัย เพื่อนำไปใช้ในการเปลี่ยนแปลงการเรียนการสอนให้เกิดการพัฒนาอย่างมีประสิทธิภาพ จากงานวิจัยจำนวนหลายเรื่องสะท้อนถึงการใช้ประโยชน์งานวิจัยและสามารถสรุปได้ 4 ประเภท ได้แก่ 1) การใช้ประโยชน์ทางตรง คือ การประยุกต์ใช้ผลการวิจัย โดยการนำผลการวิจัยไปใช้ในการทำงาน 2) การใช้ประโยชน์ทางอ้อม คือ การใช้ผลการวิจัยเพื่อเปลี่ยนความคิดหรือความเชื่อเกี่ยวกับวิธีการในการทำงาน

3) การใช้ประโยชน์เชิงชักชวน คือ การใช้ผลการวิจัยในการชักชวนผู้ที่มีตำแหน่งในการตัดสินใจ การเปลี่ยนแปลงนโยบาย หรือการปฏิบัติ และ 4) การใช้ประโยชน์โดยรวม คือ การใช้การวิจัยในลักษณะเฉพาะ (ศิวะพร ภู่พันธ์, 2554) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า นวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” (PARDTURE Model) สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ที่ได้จริงในสังคม ส่งผลลัพธ์ในเชิงบวกต่อการจัดการเรียนการสอนของครู การเปลี่ยนแปลงทางความคิดของครูและผู้บริหารในการบริหารงานและการปฏิบัติงานร่วมกัน รวมถึงการวางแผนงานต่อทิศทางในการส่งเสริมพัฒนาผู้เรียนให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น

ขั้นตอนที่ 8 : R การแลกเปลี่ยนเรียนรู้สะท้อนคิด (Reflection) และประเมินผล (Evaluation) เพื่อเปิดโอกาสให้ครูได้โอกาสสะท้อนคิดความรู้สึก ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียน เป็นกระบวนการเปิดโอกาสให้ครูได้พิจารณาและสะท้อนความรู้สึก ความคิดเห็นเกี่ยวกับผลของการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนถึงข้อจำกัด ข้อดี ข้อบกพร่อง หรือสิ่งที่ควรปรับปรุงแก้ไข และแนวทางในการปรับปรุงเพื่อให้การจัดการเรียนรู้นั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งการประเมินผล (Evaluation) การจัดการเรียนรู้ที่ผ่านมาว่า นักเรียนมีความพอใจกับการเรียนการสอนอยู่ในระดับใด และครูพอใจกับการจัดการเรียนรู้เป็นอย่างไร มีการประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใด สอดคล้องกับแนวคิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้สะท้อนคิด ที่ได้ให้ความหมายไว้ว่า เป็นการคิดพิจารณาและไตร่ตรองอย่างรอบครอบเกี่ยวกับความเชื่อ หรือความรู้บนพื้นฐานของสิ่งที่สนับสนุนการคิดนั้น การปรับมุมมองของตนเอง การคิดแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม ทั้งนี้การสะท้อนคิดเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ เป็นการประเมิน การวิเคราะห์เชิงบูรณาการระหว่างประสบการณ์ที่สัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น และความพึงพอใจในบทบาทของตนเอง ตลอดจนนำไปสู่การวางแผนและพัฒนาตนเองในอนาคต ซึ่งการแลกเปลี่ยนเรียนรู้สะท้อนคิด (Reflection) สอดคล้องกับแนวคิดของ Kolb (2005) ที่ได้นำเสนอกระบวนการเรียนรู้จากประสบการณ์ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นสร้างประสบการณ์ (Concrete Experience) เป็นขั้นที่คนได้รับประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม 2) ขั้นสังเกตปฏิกิริยาตอบสนอง (Reflective Observation) เป็นขั้นการเรียนรู้ที่ทำให้มองเห็นมุมมองที่หลากหลาย 3) ขั้นสร้างมโนทัศน์เชิงนามธรรม (Abstract Conceptualization) เป็นขั้นสรุปความรู้จากการสังเกตและการสะท้อนความคิด บูรณาการสิ่งต่าง ๆ ที่รับรู้เข้ากับทฤษฎีอย่างเป็นเหตุเป็นผล และ 4) ขั้นทดลอง (Active Experimentation) เป็นขั้นที่นำหลักการที่สรุปไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ใหม่ นอกจากนี้คุณค่าหรือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนเรียนรู้สะท้อนคิด ประกอบด้วย Head Heart และ Hand ได้แก่ 1) การสะท้อน “ประเด็นการเรียนรู้” จะช่วยให้จดจำเนื้อหาของกิจกรรมต่าง ๆ ได้ โดยได้ใช้สมองในส่วนของการคิด วิเคราะห์ ว่าได้เรียนรู้อะไรที่เป็นประโยชน์ต่อตนเอง 2) การสะท้อน “ความรู้สึก” จะช่วยให้รับรู้ปรากฏการณ์ต่าง ๆ และตอบสนองต่อปรากฏการณ์นั้น ๆ ได้ชัดเจนขึ้น ช่วยให้เข้าใจสถานการณ์นั้น ๆ ดีขึ้น ในขณะเดียวกันก็ได้ฝึกฝนการสัมผัสอารมณ์ ความรู้สึกของผู้อื่นที่อยู่ในสถานการณ์นั้น ๆ ด้วย 3) การสะท้อน “การนำไปใช้ในการเรียน การงาน ชีวิตส่วนตัว” จะช่วยให้ฝึกฝนการเชื่อมโยงสิ่งต่าง ๆ ที่ได้เรียนรู้สู่การปฏิบัติงานจริงหรือในชีวิตประจำวันส่วนตัวซึ่งกำหนดเป้าหมายในการนำความรู้ ความคิดที่ได้เรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ได้จริงทำให้การเรียนรู้มีคุณค่าไม่สูญเปล่า (นรินทร์ สังข์รักษา และสวรรยา ธรรมอภิพล, 2563) แม้ว่าสถานการณ์โรคระบาดโควิดโคโรน่า-19 ส่งผลกระทบให้โครงการวิจัยขยายเวลาดำเนินการ ออกไป แต่กระบวนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้การสะท้อนคิด ส่งผลให้จัดเวทีในการนำเสนอผลงาน (Open house and symposium) ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์สามารถรู้ผลยกระดับคุณภาพการศึกษาด้วยนวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” สำหรับนักเรียนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ประกอบกับขั้นตอนที่ 8 มีการจัดนิทรรศการเพื่อนำเสนอนวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” (PARDTURE Model) จำนวน 3 สถานศึกษา โดยมีการประกวดผลงานที่สร้างสรรค์และมีการมอบรางวัลแก่ผลงานที่เป็น Good practices และเชิญภาคีเครือข่าย เช่น หน่วยงานสถานศึกษา องค์ปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานที่พัฒนาเด็กและเยาวชนทั้งภาครัฐและเอกชน เข้าร่วมชมผลงานสร้างสรรค์ และเผยแพร่นวัตกรรมรูปแบบฯ ในลักษณะ ผลงานทางวิชาการ ดังนี้ (1) ชุดการเรียนรู้ PARDTURE Model

ประกอบด้วย ชุดสื่อการเรียนรู้ แผนจัดประสบการณ์ คู่มือการใช้ชุดสื่อ รูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) (2) แบบวัดผลสัมฤทธิ์ผลการเรียนรู้ และแบบวัดทักษะการคิดสร้างสรรค์ สำหรับระดับประถมศึกษา

กระบวนการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนเข้าถึงความรู้ ทักษะกระบวนการ และคุณลักษณะตามมาตรฐานการเรียนรู้ของหลักสูตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเลือกใช้สื่อควรเลือกเป็นสื่อธรรมชาติและสื่อที่มีในท้องถิ่น ให้มีความเหมาะสมกับระดับพัฒนาการและลีลาการเรียนรู้ที่หลากหลายของผู้เรียนสถาบันภาษาไทย (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2559) เพื่อให้ผู้เรียนได้เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างสูงสุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการ PLC สะท้อนให้เห็นถึงภาพการกิจกรรมการเรียนรู้จากนวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” PARDTURE Model เป็นนวัตกรรมที่ส่งเสริมพื้นฐานการเรียนรู้ การอ่านออก เขียนได้ คิดเลขเป็น และ ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ (3Rs1C) ได้แก่ การเรียนรู้ทางภาษา มีแบบฝึกทักษะที่ออกแบบมาใกล้เคียงกับพื้นฐานความรู้ สอดคล้องกับประสบการณ์ วิถีชีวิตและวัฒนธรรมสังคมที่นักเรียนอาศัยอยู่ ภายใต้ความรักและความเอื้ออาทรของสังคมในชุมชน ทำให้มีความสุขในการเรียนรู้ รู้สึกประสบผลสำเร็จในการเรียนรู้ และมีพฤติกรรมใฝ่เรียนใฝ่รู้ ดั้งนั้นนวัตกรรมแบบ “การเรียนรู้ร่วมกันสร้างสรรค์สังคม” สามารถยกระดับคุณภาพการศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาในโรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ตำรวจตระเวนชายแดน ประกอบด้วย 1) ด้านการอ่านออก (1R: Reading) 2) เขียนได้ (2R: Writing) 3) คิดเลขเป็น (3R: Arithmetic) และ 4) ทักษะการคิดสร้างสรรค์ (1C: Creative)

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยแบบมีส่วนร่วมฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี่ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน และ ผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน ในการวิพากษ์และตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย พร้อมให้ข้อเสนอแนะวิธีการศึกษาวิจัยที่ถูกต้องและให้คำปรึกษาในเรื่องที่ได้ทำการศึกษาวิจัย ตลอดจน ขอขอบคุณวิทยากรทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการเผยแพร่ความรู้ความสามารถแก่คณะครูโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน จังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อยกระดับความสามารถในการจัดกิจกรรมและคุณภาพการศึกษาให้กับนักเรียนในโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนทุกคน ขอขอบพระคุณผู้บริหารคณะครุศาสตร์และคณาจารย์ทุกท่าน ที่เป็นกัลป์ยานมิตรและสนับสนุนผู้วิจัย ขอขอบคุณ ผู้กำกับการตำรวจตระเวนชายแดนที่ 33 ผู้บริหารสถานศึกษา ชาวบ้าน คณะกรรมการสถานศึกษาในชุมชน และภาคีเครือข่ายในสังคม ตลอดจนคณะครูทุกคนที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลการวิจัย และมีส่วนร่วมในทุกเวทีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความกรุณาของทุกท่านที่ได้กล่าวถึงและผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ ได้มีส่วนช่วยเหลือในการสนับสนุนและให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านด้วยความจริงใจ และขอมอบคุณประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นกตเวทิตาคุณแด่บิดามารดา ครู อาจารย์ และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา ขอน้อมคารวะแด่ผู้เขียนตำราวิชาการที่ได้ศึกษาค้นคว้าและใช้อ้างอิงทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

จิตรา มีคำ, กฤธยากาญจน์ โตพิทักษ์, และ นิคม นาคอ้าย. (2556). ปัญหาและแนวทางการบริหารจัดการโครงการส่งเสริมคุณภาพการศึกษา ของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน สังกัดกอง กำกับการตำรวจตระเวนชายแดนที่ 31 ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก. **วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 7(1), 100–110.

ทรูปลูกปัญญา. (2565). **การแบ่งช่วงเวลาเป็นทศวรรษ ศตวรรษ และสหัสวรรษ.** สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2565, จาก https://www.trueplookpanya.com//learning/ detail/13650/025903

ประวิต เอราวรรณ์. (2564, 20 เมษายน). **กรอบแนวคิดสำคัญในการปฏิรูปวิชาชีพครู.** https://otepc.go.th/th/content_page/item/3378-pa-3.html

พินิจ มีคำทอง. (2559). **การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมสถานศึกษาด้วยเทคนิค SWOT Analysis**. ขอนแก่น : หจก.โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

ภาคภูมิ ทิพคุณ. (2562). ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์จากงานวิจัยโดยหน่วยงานภาครัฐของไทย. **วารสารศรีนครินทรวิโรฒวิจัยและพัฒนา (สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์)**, 11(21),102-122.

มารุต พัฒผล. (2563). การวิจัยและพัฒนานวัตกรรมหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้. **วารสารศิลปากรศึกษาศาสตร์วิจัย**, 12(1), 1-16

รัตติกร เหมือนนาดอน, ยุพาภรณ์ ติรไพรวงศ์, เจียมใจ ศรีชัยรัตนกูล, และสันติ ยุทธยง. (2562). การพัฒนาการเรียนรู้ผ่านการสะท้อนคิด, **วารสารวิจัยสุขภาพและการพยาบาล**. 35(2), 13-25.

รัตนวัชร์ เพ็ญรัตรหิรัญ. (2564). **จิตวิทยาทั่วไป (General Psychology).** พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ส.อินฟอร์มเมชั่น เทคโนโลยี จำกัด.

วรรณดี สุทธินรากร. (2557). **การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมและกระบวนการทางสำนึก.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สยาม.

ศิวะพร ภู่พันธ์. (2554). **การศึกษาและทดสอบปัจจัยเชิงสาเหตุของการใช้ประโยชน์งานวิจัยของ อาจารย์มหาวิทยาลัย: การวิจัยแบบผสมวิธี**. [วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันภาษาไทย สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2559). **สื่อและวิธีการสอนภาษาไทยที่ประสบผลสำเร็จ สำหรับผู้เรียนที่ใช้ภาษาท้องถิ่น**. กรุงเทพฯ: สำนักงานตำรวจแห่งชาติ.

สมจิต จันทร์ฉาย. (2557). **การออกแบบและพัฒนาการเรียนการสอน.** นครปฐม : เพชรเกษม พริ้นติ้ง.

สอนภาษาแบบธรรมชาติสำหรับเด็กอนุบาล. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิรดี ไชยกาล วรวรรณ เหมชะญาติ และสร้อยสน สกลรักษ์. (2561). การสอนภาษาไทยเป็นภาษาที่สองสำหรับเด็กชาติพันธุ์เขมรถิ่นไทย. **Journal of Mekong Societies**, 14(1), 109-132.

Kolb, D. A. (2005). **Experiential learning: Experience as the source of learning and development.** Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 38.

Queens University of Charlotte. (2022, May 23). **The importance of professional development for educators**. https://online.queens.edu/ resources /article/ professional-development-for-educators/

Richey, R. C., Klein, J. D., & Tracey, M. W. (2011). **The instructional design knowledge base**. New York: Taylor & Francis.

การศึกษาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1

The study of innovative thinking skills of school teachers in Pho Prathap Chang District in Phichit Primary Educational Service Area Office 1

จักรพันธ์ รอดฤทธิ์[1*]และ สถิรพร เชาวน์ชัย[2]

Jakaphan Rodrid[1*]and andSathiraporn Chaowachai[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียน อำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 และ 2) เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียน อำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ครูในโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 จำนวน 136 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถามมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 40 ข้อ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) ผลการวิจัยพบว่า 1) สภาพทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียน อำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 ในภาพรวม อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.88 และ2) เมื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียน อำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ในภาพรวม และจำแนกเป็นรายด้านพบว่า ทักษะการให้ความสนใจกับสิ่งใหม่ ทักษะการลงมือปฏิบัติ และ ทักษะการเชื่อมโยงความคิดใหม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ: ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครู, โรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง

[1] สาขาวิชาการบริหารการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Educational Administration, Faculty of Education, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author: jakaphanr65@nu.ac.th

Abstract

The objectives of this research are 1) to study innovative thinking skills of school teachers; Pho Prathap Chang District in the Phichit Primary Educational Service Area Office Area 1 and 2) to compare the innovative thinking skills of school teachers in Pho Prathap Chang District in the Phichit Primary Educational Service Area Office, Area 1 by classified according to the work experience of the respondents. The sample group included teachers in schools in Pho Prathap Chang District, under the Phichit Primary Educational Service Area Office, Area 1, there were 136 people. The instrument in this research was a questionnaire with a 5-levels rating scale with 40 items. Data were analyzed by using percentages, means, standard deviations, and one-way analysis of variance. The results of the research found that 1) the condition of innovative thinking skills of school teachers in Pho Prathap Chang District Under the jurisdiction of the Phichit Primary Educational Service Area Office, Area 1. The overall level is at a high level that has an average of 3.88 and 2) when comparing innovative thinking skills of school teachers Pho Prathap Chang District Under the jurisdiction of the Phichit Primary Educational Service Area Office 1 by classified from the work experience of the respondents, it was found to be statistic significantly different at .05 level. Overall to be classified by area, it was found that The skill of paying attention to new things, Hands-on skills, and skills in connecting new ideas are different statistic significantly at the .05 level.

Keywords: Teachers' innovative thinking skills, Pho Prathap Chang District School

บทนำ

สภาวการณ์ของโลกในยุคปัจจุบัน มีความแตกต่างจากอดีตอย่างชิ้นเชิง และมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วทั้งการเคลื่อนย้ายของผู้คน การเข้ามาของเทคโนโลยีที่ทันสมัย ในสังคมปัจจุบันได้มีการติดต่อสื่อสารผ่านกันอย่างรวดเร็วและสะดวกมาขึ้น อีกทั้งในด้านปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสังคม เศรษฐกิจ วัฒนธรรม การเมืองการปกครองที่มีความซับซ้อน ในอดีตของช่วงอายุคนหนึ่งคนการเข้าหา พูดคุย แลกเปลี่ยน เริ่มพบเห็นได้น้อยลง เนื่องด้วยสื่อเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทและเชื่อมโลกให้คนได้ใกล้ชิดกันมากขึ้น ในปัจจุบันนี้ห้วงชีวิตของคนอีกหลายคนที่มีเหตุการณ์มากมายที่ผ่านเข้ามามนชีวิตจนบางครั้งหลายเรื่องราวมีผู้คนจำนวนมากที่ยังไม่สามารถตามโลกของสื่อเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปอยู่ตลอดเวลา สังคมโลกในปัจจุบันจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นมากมาย ไม่ว่าจะเป็นวิถีชีวิตในการทำงาน ซึ่งมีความแตกต่างไปจากอดีตอย่างสิ้นเชิง มีความเปิดโลกที่เชื่อมโยงเข้าหาสื่อเทคโนโลยีและการสื่อสารกันเป็นหนึ่งเดียว จึงทำให้เกิดการยอมรับและให้ความสำคัญกับสื่อเทคโนโลยี และการสื่อสาร เพื่อให้ได้เข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่ทันสมัย และทันต่อสภาวการณ์ในปัจจุบันอยู่ตอลดเวลา ดังนั้นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ผู้คนในศตวรรษนี้จึงไม่สามารถใช้ความรู้และทักษะบางอย่างในอดีตมาแก้ปัญหาในปัจจุบันได้ดี การจัดการศึกษาและการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 จึงไม่ใช่กระบวนการถ่ายทอดความรู้ แต่คือการส่งเสริมทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิตให้กับผู้คนที่จะได้นำเอาทักษะไปปรับใช้ในการพัฒนาตนเองและดำรงชีวิตในยุคปัจจุบัน (ยงยุทธ ยะบุญธง, 2564)

การดำรงชีวิตของมนุษย์ในยุคศตวรรษที่ 21 นับว่ามีความซับซ้อนค่อนข้างมาก เพราะองค์ความรู้ ได้ถูกคิดค้นขึ้นอย่างมากมาย ข้อมูลข่าวสารเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สภาวการณ์โลกเปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลข่าวสารและความรู้อยู่ตลอดเวลา จึงส่งผลให้เกิดนวัตกรรม หรือ innovative ที่นำมาพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจของโลก แต่นวัตกรรมที่ถูกสร้างและพัฒนาขึ้นมานั้นจะอยู่ได้ไม่นาน หากถูกแทนที่ด้วยนวัตกรรมใหม่ ๆ ในทันที ถ้าหากไม่เกิดการพัฒนาที่ต่อเนื่องให้เหมาะสมกับยุคสมัยที่เปลี่ยนแปลงไป ด้วยเหตุนี้หากมนุษย์ขาดทักษะในการสร้างนวัตกรรม หรือ innovative Skills เมื่อนวัตกรรมเป็นสิ่งที่สำคัญและเป็นตัวชี้วัดแห่งความสำเร็จในยุคศตวรรษที่ 21 (Lee and Benza, 2015) ในโลกยุคนี้จะปฏิเสธไม่ได้ว่าทุก ๆ พื้นที่เกิดการแข่งขันที่สูงขึ้น คนที่สามารถครองความได้เปรียบมากที่สุดคือ คนที่ให้ความสนใจกับสิ่งใหม่ ๆ สิ่งที่แปลกใหม่อยู่ตลอดเวลาถึงจะสามารถมีโอกาสที่จะประสบผลสำเร็จในชีวิตได้มากกว่า ฉะนั้นทักษะการคิดสำคัญที่ควรพัฒนาให้เกิดขึ้นกับมนุษย์ในยุคศตวรรษที่ 21 นั่นคือ ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม (Innovative Thinking Skill) ในปัจจุบันเป็นทักษะที่สำคัญเป็นอย่างมาก ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม หรือทักษะด้านนวัตกรรมได้รับการยอมรับมากขึ้นในฐานะทักษะที่แยกนักเรียนที่เตรียมความพร้อม เพื่อพบกับความท้าทายของสภาพแวดล้อมของการทำงานในศตวรรษที่ 21 บางคนก็เกิดมาพร้อมกับทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมเองตามธรรมชาติและบางคนไม่ได้เกิดมาพร้อมกับทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม แต่ผู้เชี่ยวชาญหลายคนเชื่อว่าคนส่วนใหญ่คนที่สามารถมีทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมนั้น ได้รับการหลอมรวมจากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (Ekanem, 2016) หากมนุษย์มีทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมก็จะสามารถแก้ปัญหาออกแบบ และสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ ได้ชีวิตก็จะประสบผลสำเร็จ ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมจึงเป็นทักษะที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตมนุษย์มาก เพราะจะนำไปสู่การเกิดนวัตกรรมใหม่ (อรชร ปราจันทร์, 2560) ซึ่งนำไปสู่การสร้างความสามารถในการแข่งขันในโลกปัจจุบันที่กำลังก้าวไปจากยุคข้อมูลข่าวสารเป็นยุคความรู้ และเป็นยุคแห่งปัญญาในที่สุด

ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในสภาพสังคมปัจจุบัน ส่งผลกระทบให้ระบบการศึกษาที่เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาเยาวชนให้ก้าวเข้าสู่การเป็นพลเมืองที่ดีและมีคุณภาพ ระบบการศึกษาจำเป็นต้องมีการปรับตัวโดยไม่ใช่แค่การปฏิรูปแค่เพียงครั้งคราว แต่ต้องเป็นการปรังปรุงวิธีการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ประกอบกับสภาวการณ์ในปัจจุบันมีการนำสื่อและนวัตกรรมทางด้านการจัดการข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเปิดกว้าง ซึ่งคุณลักษณะสำคัญของยุคปัจจุบันมีความสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560–2564 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2560) ได้ชี้ให้เห็นถึงแนวคิดที่จะพัฒนาอย่างต่อเนื่องบนพื้นฐานของกรอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี พ.ศ.2560–2580 (สำนักนายกรัฐมนตรี, 2561) ซึ่งเป็นแผนหลักของการพัฒนาประเทศการปรับเปลี่ยนโครงสร้างโดยรวมของประเทศทั้งในเรื่องของการเสริมสร้างและพัฒนาศักยภาพทุนมนุษย์ การลดความเหลื่อมล้ำในสังคมโดย การปรับใช้เทคโนโลยีในการสร้างเครื่องมือที่อำนวยความสะดวก การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และทางด้านการศึกษาที่มุ่งเน้นการสร้างนวัตกร และแนวคิดยุคใหม่ ปลูกฝัง การแก้ปัญหา การคิดวิเคราะห์ สนับสนุนยุทธศาสตร์การพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี วิจัยและนวัตกรรม ดังจะเห็นได้จากการพัฒนาพื้นที่นวัตกรรมทางการศึกษาเพื่อคิดค้นและพัฒนานวัตกรรมการศึกษา และการเรียนรู้รวมทั้งดำเนินการให้มีการขยายผลไปใช้ในสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน และพัฒนากลไกในการจัดการศึกษาร่วมกันระหว่างภาครัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ภาคเอกชน และภาคประชาสังคมในพื้นที่ให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งมีเป้าหมายให้เยาวชนมีทักษะและกระบวนการในการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา มีความใฝ่รู้และการประยุกต์ใช้ความรู้ได้อย่างถูกต้องเหมาะสม สามารถพัฒนาตัวเองได้อย่างต่อเนื่องและเต็มศักยภาพ เพื่อให้มีคุณภาพและได้มาตรฐานระดับสากลบนพื้นฐานของความเป็นไทย ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของ

โรงเรียนขนาดเล็กนั้น ทางกระทรวงศึกษาธิการได้มีนโยบายให้จัดการศึกษาเพื่อความมั่นคง สร้างโอกาสในการเข้าถึงบริการทางการศึกษาที่มีคุณภาพ และเพิ่มการบริหารจัดการแบบมีส่วนร่วม (กระทรวงศึกษาธิการ, 2563)

จากความสำคัญและความจำเป็นดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษพิจิตร เขต 1 ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญในการพัฒนาคุณภาพการศึกษาในยุคศตวรรษที่ 21 ที่มีการเปลี่ยนแปลงในทุกด้านอย่างรวดเร็ว ผู้ที่มีความคิดริเริ่มใส่ใจสิ่งต่าง ๆ รอบตัว จนนำไปสู่การคิดเชิงนวัตกรรมได้นั้น จะประสบความสำเร็จได้ย่อมได้รับโอกาสมากกว่า ความสามารถในการสร้างและพัฒนาสิ่งใหม่ด้วยตนเอง คิดค้นแสวงหาแนวทาง เพื่อนำมาปรับประยุกต์ใช้ในวิธีการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะสร้างผลลัพธ์ได้มากขึ้น เพื่อนำไปสู่การพัฒนาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียน อำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1

2. เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียน อำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

วิธีการศึกษา

การวิจัยเรื่อง การศึกษาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 ในครั้งนี้ผู้วิจัยมีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. การศึกษาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 ใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ครูในโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 จำนวน 207 คน โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างด้วยการเปิดตาราง เครจซี่และมอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970 อ้างถึงในเอกสารประกอบการสอน, สถิรพร เชาวน์ชัย, 2561) และเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธี คือ การเลือกโดยวิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) ตามสัดส่วนของข้าราชการครูในแต่ละโรงเรียน เป็นจำนวน 136 คน

2. ศึกษารวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากหนังสือ ตำรา งานวิจัย แนวคิด วารสาร เอกสารบทความวิชาการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม และดำเนินการสังเคราะห์องค์ประกอบทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครู ได้ 6 ทักษะ ได้แก่ การให้ความสนใจกับสิ่งใหม่ การถ่ายทอดจินตนาการ การลงมือปฏิบัติ การสร้างความร่วมมือกันระดมความคิด การตั้งคำถามกระตุ้นความคิด การเชื่อมโยงความคิดใหม่ นำผลจากการสังเคราะห์มากำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย และกำหนดนิยามศัพท์เฉพาะ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างข้อคำถามของแบบสอบถาม

3. สร้างแบบสอบถาม และนำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อพิจารณาความถูกต้องเหมาะสม ความครอบคลุมของเนื้อหา และข้อเสนอเพิ่มเติม จากนั้นนำแบบสอบถามมาปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

4. นำแบบสอบถามที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ โดยพิจารณาความสอดคล้องระหว่างนิยามศัพท์เฉพาะกับข้อคำถาม

และปรับปรุงแก้ไขให้แบบสอบถามมีคุณภาพสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยนำแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ได้ตรวจสอบ และนำแบบสอบถามฉบับนี้ไปตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน และได้เลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC 0.5 ขึ้นไป ผลปรากฏว่า ได้ข้อคำถามตามเกณฑ์ จำนวน 40 ข้อ จากทั้งหมด 40 ข้อ ได้ค่า IOC 1.00 ทุกข้อ และนำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้ (try-out) กับครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน เพื่อหาความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสอบถามด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha-Coefficient) ผลปรากฏว่า ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ .98

5. ผู้วิจัยส่งหนังสือขอความอนุเคราะห์และแบบสอบถาม ซึ่งมีการระบุวันรับแบบสอบถามคืนทั้งหมดจำนวน 136 ฉบับ ถึงครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาประถมศึกษา เขต 1 โดยดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง ผู้วิจัยตรวจสอบจำนวนและความถูกต้องของแบบสอบถามที่ได้รับกลับคืน ซึ่งผู้วิจัยได้ส่งแบบสอบถามให้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด จำนวน 136 ฉบับ ได้รับฉบับที่สมบูรณ์กลับคืน จำนวน 136 ฉบับ คิดเป็นร้อยละ 100

6. การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

6.1 วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ความถี่และร้อยละ

6.2 วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับแบบสอบถามทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 โดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยแปลความหมายค่าเฉลี่ย (บุญชม ศรีสะอาด, 2560, น. 121) ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง อยู่ในระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50 หมายถึง อยู่ในระดับมาก
ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง อยู่ในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง อยู่ในระดับน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00-1.50 หมายถึง อยู่ในระดับน้อยที่สุด

6.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 จำแนกตามตำแหน่งในการปฏิบัติงานของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA)

7. อภิปรายผลและขั้นสรุปผลการวิจัยด้วยการพรรณนาวิเคราะห์

ผลการศึกษา

การศึกษาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 ผู้วิจัยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลการวิจัย โดยใช้ตารางประกอบคำบรรยาย ดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 ในภาพรวม

ที่	ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครู	กลุ่มตัวอย่าง (n =136)		ระดับทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม	อันดับ
		$\bar{x}$	S.D.		
1	ทักษะการให้ความสนใจกับสิ่งใหม่	3.98	0.30	มาก	2
2	ทักษะการถ่ายทอดจากจินตนาการ	3.76	0.31	มาก	5
3	ทักษะการลงมือปฏิบัติ	3.95	0.29	มาก	3
4	ทักษะการระดมความคิดร่วมกัน	4.06	0.29	มาก	1
5	ทักษะการตั้งคำถามกระตุ้นความคิด	3.63	0.27	มาก	6
6	ทักษะการเชื่อมโยงความคิดใหม่	3.93	0.32	มาก	4
	รวม	3.88	0.19	มาก	

จากตาราง 1 ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูในโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 ในภาพรวม อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ =3.88) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ทักษะการระดมความคิดร่วมกัน อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ =4.06) รองลงมา คือ ทักษะการให้ความสนใจกับสิ่งใหม่ อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ =3.98) และด้านที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ทักษะการตั้งคำถามกระตุ้นความคิด อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ =3.63) ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

ที่	ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครู	ประสบการณ์การทำงาน						F	Sig.
		1–5 ปี (n = 36)		5–10 ปี (n = 46)		10 ปีขึ้นไป (n = 52)			
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.		
1	ทักษะการให้ความสนใจกับสิ่งใหม่	3.84	0.39	4.08	0.25	3.99	0.23	6.730*	0.002
2	ทักษะการถ่ายทอดจากจินตนาการ	3.75	0.38	3.77	0.31	3.75	0.26	0.050	0.951
3	ทักษะการลงมือปฏิบัติ	3.89	0.33	3.96	0.24	3.98	0.29	1.172*	0.013
4	ทักษะการระดมความคิดร่วมกัน	3.95	0.36	4.12	0.23	4.10	0.26	4.443	0.355
5	ทักษะการตั้งคำถามกระตุ้นความคิด	3.64	0.35	3.63	0.26	3.64	0.21	0.028	0.973
6	ทักษะการเชื่อมโยงความคิดใหม่	3.80	0.42	4.06	0.30	3.91	0.20	7.310*	0.001
	รวม	3.81	0.26	3.93	0.17	3.89	0.14	4.098*	0.019

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 2 พบว่า ครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 ที่มีประสบการณ์การทำงานแตกต่างกันมีทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมโดยภาพรวมแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อจำแนกเป็นรายด้านพบว่า ทักษะการให้ความสนใจกับสิ่งใหม่ ทักษะการลงมือปฏิบัติ และทักษะการเชื่อมโยงความคิดใหม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายและสรุปผล

1. ผลการศึกษาสภาพทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 พบว่า ทักษะการระดมความคิดร่วมกัน มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การระดมความคิดร่วมกันร่วมกันคิดค้นสร้างสิ่งใหม่ ๆ และช่วยเหลือกันในการทำงานหรือการนำแนวคิดมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาและได้แนวทางในการปฏิบัติที่ดีที่สุด สอดคล้องกับแนวคิดของ David Horth And Dan Buchner (2014) ที่กล่าวว่า นวัตกรรมส่วนมากไม่ได้สร้างโดยอัจฉริยะเพียงผู้เดียว หากเข้าใจได้มาจากการแบ่งปันทางความคิดที่กว้างขวางอย่างไม่อคติ ใช้ความร่วมมือในการสืบค้นที่ใช้กระบวนการที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน สอดคล้องกับแนวคิดของ อรชร ปราจันทร์ (2560) ที่กล่าวว่า การสร้างเครือข่ายผู้รู้ ผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาที่ต่างออกไป เพื่อเพิ่มการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์จากสาขาวิชาที่แตกต่างและข้อมูลข่าวสารร่วมกัน สามารถสร้างนวัตกรรม คิดค้นสร้างสรรค์สิ่งแปลกใหม่ รวมถึงการนำกระบวนการ PLC มาใช้ในการแลกเปลี่ยนความรู้และคำแนะนำขากเพื่อนครูในแต่ละศาสตร์วิชา มาปรับประยุกต์ใช้กับงานของตนเอง สอดคล้องกับ ชาญณรงค์ วิเศษสัตย์ (2562) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของนักศึกษาวิชาชีพครู จากผลการวิจัยพบว่า พบว่า นักศึกษาวิชาชีพครูมีพัฒนาการของทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม ทั้งโดยรวมและรายด้านสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยความสามารถในการร่วมมือกับผู้อื่น มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และสอดคล้องกับ Lee and Benza (2015) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ ให้เกิดทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา สาขาวิชาการตลาด ในงานวิจัยพบว่าในการพัฒนานวัตกรรมของนักศึกษามีปัจจัยสำคัญที่ทำให้นวัตกรรมสำเร็จ คือ ประสบการณ์และความร่วมมือกับผู้อื่นถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมากที่จะช่วยให้นักศึกษาสามารถพัฒนานวัตกรรมได้ นอกจากนี้ยังมีความสอดคล้องกับ Shajahan S. (2023) กล่าวถึงการทำงานร่วมกันกับผู้อื่น ซึ่งเป็นวิธีที่ดีในการสร้างแนวคิดใหม่ ๆ และได้รับมุมมองใหม่ ๆ การทำงานกับผู้คนที่สามารถรู้จักความแตกต่างของแต่ละบุคคลที่ทำงานร่วมกัน การทำงานร่วมกับผู้อื่นสามารถระบุจุดดีและจุดด้อยในแนวคิด มุมมอง เพื่อให้ได้เกิดการพัฒนาตนเองและเกิดแรงบันดาลใจในการทำงานให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้างสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 จำแนกตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่าในภาพรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูนี้เป็นเพราะทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม ที่มีกระบวนการในแต่ละทักษะแตกต่างกัน หลักสำคัญ คือ การผสานแต่ละทักษะทั้ง 6 ทักษะนี้ ให้นำไปสู่เป้าหมายของการจัดการศึกษาที่จะต้องให้บรรลุเป้าหมายที่วางไว้ และส่งผลการยกระดับสถานศึกษาในสังกัดทุกระดับและทุกประเภท ให้มีคุณภาพและมาตรฐานตามบริบทของพื้นที่ ส่งผลให้การบริหารจัดการเรียนการสอนบรรลุเป้าหมายที่กำหนด ที่ครูสามารถทำหน้าที่กระตุ้นหรือสร้างแรงบันดาลใจ รวมถึงการแนะนำวิธีเรียนรู้และวิธีจัดระเบียบการสร้างองค์ความรู้ การออกแบบกิจกรรมและสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ให้ผู้เรียน สามารถทำให้ผู้เรียนเรียนรู้และมีทักษะ ที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ในแต่ละทักษะสะท้อนให้เห็นถึงความคิดและประสบการณ์ของครูแต่ละคนมีความแตกต่างกันออกไป ในส่วนทักษะที่ไม่แตกต่างกันเพราะครูแต่ละคนใช้ความรู้ ความคิด ประสบการณ์ที่เคย

ปฏิบัติมาทำให้ทักษะบางตัวไม่แตกต่างกัน เช่น ทักษะการถ่ายทอดจากจินตนาการ เนื่องมาจากการพัฒนาครูต้องส่งเสริมให้คิดให้สร้างนวัตกรรมหรือผลงานของเป็นของตนเอง ในการสร้างนวัตกรรมสิ่งใหม่ต้องอาศัยการคิดนอกกรอบโดยอาศัยการสร้างจากจินตนาการที่แตกต่างจากผู้อื่น และทักษะการระดมความคิดร่วมกัน ครูทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ เน้นการทำงานเป็นทีม แลกเปลี่ยนความรู้ประสบการณ์ของเพื่อนร่วมงาน นำมาปรับใช้งานกับงานของตนเองให้เป็นประโยชน์ ซึ่งสอดคล้องกับ จุฑาทิพย์ ชนะเคน (2559) การเปรียบเทียบคุณลักษณะภาวะผู้นำเชิงนวัตกรรมของผู้บริหารสถานศึกษา องค์ประกอบที่ 2 บุคลิกภาพภายนอก (extemal personality) จำแนกตามประสบการณ์ทำงานในภาพรวมและร้ายด้าน พบว่า ประสบการณ์ทำงานที่แตกต่างกันจะมีคุณลักษณะภาวะผู้นำเชิงนวัตกรรมของผู้บริหารสถานศึกษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับ ประจวบ แจ้โพธิ์ (2557) ความคิดเห็นของครูต่อบทบาทผู้บริหารในการพัฒนาการทำงานเป็นทีมของครูในโรงเรียน สำนักงานเขตบึงกุ่ม สังกัดกรุงเทพมหานคร ครูที่มีวุฒิการศึกษา และประสบการณ์ทำงานที่แตกต่างกัน มีความเห็นต่อบทบาทผู้บริหารในการพัฒนาการทำงานเป็นทีม ภาพรวมและในด้านการปรึกษาหารือกันไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. จากการศึกษาสภาพทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ทักษะการระดมความคิดร่วมกัน แสดงว่า ครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 มีการใช้ทักษะการร่วมมือกันในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ รับฟังแนวความคิดจากบุคคลอื่น ร่วมกันค้นหาแนวคิดที่มีมุมมองใหม่ ๆ สามารถทำงานร่วมกับเพื่อนร่วมงานและผู้อื่นด้วยวิธีการ กระบวนการ อย่างเป็นระบบ สามารถแลกเปลี่ยนความคิดกันอย่างกว้างขวางโดยไม่อคติ สามารถระดมร่วมกันคิดสืบค้นหาแนวคิดที่สามารถรับรู้หรือให้เหตุผลที่ถูกต้อง และสามารถช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการนำแนวคิดมาประยุกต์ใช้ในการทำงาน เพื่อนำมาปรับใช้และพัฒนาในการทำงานอย่างประสิทธิภาพ ให้มีระดับการระดมความคิดร่วมกันที่สูงขึ้น

2. จากการศึกษาเปรียบเทียบทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้างสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 จำแนกตามตามประสบการณ์การทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีตามประสบการณ์การทำงานต่างกัน มีทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูโรงเรียนอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 ในภาพรวมแตกต่างกัน แต่หากให้เกิดการพัฒนาตนเองอยู่เสมอในระดับประสบการณ์ การทำงานที่เพิ่มสูงขึ้น ครูต้องคิดพัฒนาตนเองในทุกด้าน เพื่อให้มีทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมที่สูงขึ้น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาเกี่ยวกับการศึกษารูปแบบการพัฒนาทักษะการทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครู

2. ควรศึกษาบทบาททักษะการระดมความคิดร่วมกับหน่วยงานภายนอกที่ส่งผลต่อการพัฒนาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูในโรงเรียนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการค้นคว้าอิสระเสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งสำเร็จสมบูรณได้ด้วยการให้คำปรึกษาและชี้แนะจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถิรพร เชาวน์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจนผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง และท้ายสุดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรสถานศึกษาอันเป็นที่ศึกษาและค้นคว้าความรู้ โรงเรียนในอำเภอโพธิ์ประทับช้าง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิจิตร เขต 1 ที่เป็นแหล่งศึกษาข้อมูลเชิงประจักษ์

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2565). **หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

_____. (2563). **แผนยุทธศาสตร์กระทรวงศึกษาธิการ(พ.ศ.2563-2565).** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

จุฑาทิพย์ ชนะเคน. (2559). **การศึกษาคุณลักษณะภาวะผู้นำเชิงนวัตกรรมของผู้บริหารสถานศึกษา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิษณุโลกเขต 2**. (การค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ชาญณรงค์ วิเศษสัตย์. (2562). **การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของนักศึกษาวิชาชีพครู**. (ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

บุญชม ศรีสะอาด. (2560). **การวิจัยเบื้องต้น** (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ประจวบ แจ้โพธิ์. (2557). **ในความคิดเห็นของครูต่อบทบาทผู้บริหารในการพัฒนาการทำงานเป็นทีมของครูในโรงเรียน สำนักงานเขตบึงกุ่ม สังกัดกรุงเทพมหานคร**. วารสารสุทธิปริทัศน์ ปีที่ 28 ฉบับที่ 87, หน้า 227.

ยงยุทธ ยะบุญธง. (2564). **การบริหารสถานศึกษาแห่งการสร้างสรรค์นวัตกรรม.** เชียงใหม่: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สถิรพร เชาวน์ชัย. (2561). **การวิจัยทางการบริหารการศึกษา เอกสารประกอบการสอนวิชา 354517 การวิจัยทางการบริหารการศึกษา**. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2560). **แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบสอง พ.ศ.2560 – 2564.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา.

สำนักนายกรัฐมนตรี. (2561). **ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี(พ.ศ.2561-2580).** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา.

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). **แผนการศึกษาชาติ พ.ศ.2560-2579**. กรุงเทพฯ: บริษัท พริกหวานกราฟฟิค จำกัด.

อรชร ปราจันทร์. (2560). **รูปแบบการบริหารเพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของครูในสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน**. (ปริญญาการศึกษาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Lee and Benza. (2015). **Teaching Innovation Skills: Application of Design Thinking in a Graduate Marketing Course**. Business Education Innovation.

Ekanem, A. (2016). **The Power of Positive, Creative and Innovative Thinking**. California: CreateSpace Independent Publishing Platform.

David Horth And Dan Buchner. (2014). **Innovation Leadership: How to use innovation to leadeffectively, work collaboratively and drive results**. London: Center for Creative Leadership.

Shajahan S. (2023). **7 Ways to Boost Your Creativity and Innovation Skills.** สืบค้น 20 สิงหาคม 2566, สืบค้นจากhttps://www.linkedin.com/pulse/creativity-innovation-encouraging-new-ideasworkplace-kinetikglobal.

การศึกษาความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของโรงเรียนมัธยมศึกษา จังหวัดเชียงใหม่

Studying the needs for guidance services in the digital age of secondary school in Chiang Mai Province

กรรณลณิษฐ์ กำภู ณ อยุธยา[1] และ รัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ[1*]

Kanlanit Kamphu Na Ayuthaya[1], and Rattanawat Penrattanahiran[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของโรงเรียนมัธยมศึกษา จังหวัดเชียงใหม่ กลุ่มตัวอย่างคือ ผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว จำนวน 18 คน และนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย จำนวน 242 คน รวมทั้งหมด 260 คน โดยใช้การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แบบสอบถามปลายเปิด วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า ผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว มีความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลด้านการจัดวางตัวบุคคลมากที่สุด ในขณะที่นักเรียนมัธยมศึกษาให้ความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลด้านการให้คำปรึกษา โดยมีสื่อเทคโนโลยีดิจิทัลมีความเจริญก้าวหน้า ทันสมัย ดึงดูดน่าสนใจ มีสื่อที่หลายด้าน อำนวยความสะดวกรวดเร็ว เข้าถึงง่าย ฐานข้อมูลครอบคลุมกว้างขวางอย่างแม่นยำ รวมถึงบุคลากรทุกคนที่ในโรงเรียนหรือบุคลากรที่เกี่ยวข้องทางการศึกษา มีส่วนสำคัญในการช่วยสนับสนุนให้งานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพแก่ผู้เรียน ทั้งนี้ต้องการให้องค์กร หรือหน่วยงานต่าง ๆ มหาวิทยาลัยมีการสนับสนุนและพัฒนารูปแบบการใช้งานโปรแกรมหรือแอพพลิเคชันด้านการศึกษา ด้านอาชีพ ด้านส่วนและสังคมในรูปแบบของเกม หรือมีการแข่งขันออนไลน์ พร้อมกับสอดแทรกในงานบริการแนะแนว 5 บริการ

คำสำคัญ: ความต้องการ, งานบริการงานแนะแนวในยุคดิจิทัล, โรงเรียนมัธยมศึกษา

[1] ภาควิชาจิตวิทยา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50180

[1] Department of Psychology, Faculty of Education, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50180

* Corresponding author: rattanawat_pen@cmru.ac.th

Abstract

The purpose of this research is to study the needs of guidance services in the digital age of secondary schools in Chiang Mai Province. The sample group consists of 18 administrators, assistant administrators, advisors, and guidance teachers, and 242 secondary school students, totaling 260 people. The sampling method is stratified random sampling. The research instrument is a closed-ended questionnaire. The data was analyzed using content analysis. The results of the research showed that administrators, assistant administrators, advisors, and guidance teachers have the highest demand for guidance services in the digital age in the placement services. While secondary school students have the highest demand for guidance services in the digital age in the counseling services. The digital technology media is advanced, modern, attractive, has a wide range of media, provides quick convenience, easy access, and a comprehensive and accurate database. In addition, all personnel in the school or educational personnel are important in helping to support the effective delivery of guidance services in the digital age to students. It is also requested that organizations or agencies and universities support and develop the usage format of programs or applications in the areas of education, career, and personal and social in the form of games or online competitions, along with being embedded in 5 guidance services.

Keywords: Needs, Guidance services in the digital age, Secondary School

บทนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยการแนะแนวมีบทบาทและหน้าที่ช่วยเหลือให้แก่นักเรียน จากสภาพปัญหาที่หลากหลายต่าง ๆ ในโรงเรียน โดยเฉพาะช่วงวัยรุ่นอายุ 13-18 ปี ซึ่งเป็นวัยหัวเลี้ยวหัวต่อของชีวิต และมีพัฒนาการทางร่างกาย จิตใจ อารมณ์ และสังคมอย่างรวดเร็ว (รัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ, 2563) งานบริการแนะแนวในโรงเรียนถือว่าเป็นบริการที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการช่วยเหลือให้นักเรียนรู้จักและเข้าใจตนเอง เข้าใจสิ่งแวดล้อม สามารถแก้ไขปัญหาและตัดสินใจได้ด้วยตนเอง รวมทั้งสามารถแสวงหาข้อมูลสำหรับใช้ในการปรับปรุงพัฒนาตนเองเพื่อให้สามารถปรับตัวเข้ากับผู้อื่นและดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่ตนอาศัยได้อย่างปกติสุข การแนะแนวจะประสบความสำเร็จได้นั้น สิ่งสำคัญคือทางโรงเรียนจะต้องมีการจัดบริการแนะแนวให้กับนักเรียน เพื่อช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับนักเรียนให้ลดน้อยลง เป็นประโยชน์ต่อนักเรียนเองและยังเป็นประโยชน์ต่อการบริหารงานของโรงเรียนอีกด้วย (โพธิพันธ์ พานิช, 2558) โดยงานบริการแนะแนว ประกอบด้วย 5 บริการ ได้แก่ บริการรวบรวมข้อมูลนักเรียนเป็นรายบุคคล (Individual Inventory Service) บริการสนเทศ (Information Service) บริการให้คำปรึกษา (Counseling Service) บริการจัดวางตัวบุคคล (Placement Service) และบริการวิจัยและติดตามผล (Research and Follow up Service) ซึ่งแต่ละบริการมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันอย่างเป็นกระบวนการต่อเนื่อง การจัดบริการแนะแนวในโรงเรียนให้มีประสิทธิภาพที่ดีได้นั้น จึงต้องจัดให้ครบทั้ง 5 บริการ (นิรันดร์ จุลทรัพย์, 2558) เพราะเป็นบริการแนะแนวที่ให้ความช่วยเหลือนักเรียนให้สามารถ แก้ไขปัญหาทั้งด้านการเรียน อาชีพ หรือปัญหาทางด้านส่วนตัวและสังคม (รัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ, 2563) ยิ่งในปัจจุบันเด็กนักเรียนเกิดมาพร้อมกับความก้าวทางเทคโนโลยี เป็นยุคของอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่มีความรวดเร็ว ในการสื่อสารการส่งผ่านข้อมูลความรู้ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสังคม ไม่ว่าจะเป็นข่าวสาร ภาพหรือวิดีโอที่ทุกคนสามารถเข้าถึงได้อย่างรวดเร็วทุกที่และทุกเวลาที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของทุกคนในสังคม ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วและผันผวนตลอดเวลารวมถึงเด็กนักเรียนในช่วงวัยรุ่น จึงยังคงไว้ซึ่งปัญหาหลายด้านที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนานักเรียนในโรงเรียน ไม่ว่าจะเป็นปัญหา

เศรษฐกิจ เช่น ปัญหาความยากจน ปัญหาทางสภาพแวดล้อมและสังคม เช่น ปัญหายาเสพติด การคบเพื่อน และปัญหาครอบครัว เป็นต้น (คมเพชร ฉัตรศุภกุล, 2557)

งานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัล (Digital Age) นับว่าเป็นความท้าทายของการครูแนะแนวและบุคลากรทางการศึกษาทุกอย่างยิ่ง เนื่องจากเด็กนักเรียนในยุคปัจจุบันเป็น “เด็กยุคดิจิทัล” (Digital Generation) ที่เกิดไม่ช่วงปลายศตวรรษที่ 20 เป็นต้นมา (ตั้งแต่ปี ค.ศ.1995) ซึ่งเป็นช่วงที่มีการพัฒนาของสื่อดิจิทัลอย่างรวดเร็ว เด็กที่เติบโตและคุ้นเคยกับเทคโนโลยียุคดิจิทัลมาตั้งแต่เกิด (สุวดี อุปปินใจ และพูนชัย ยาวิราช, 2562) จึงมีการเข้าถึงสื่อดิจิทัลหรือสื่อโซเชียลต่างๆ ได้ดีโดยเฉพาะนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา ฉะนั้นการใช้เทคโนโลยีเพื่องานบริการแนะแนวในโรงเรียน จะช่วยทำให้การทำงานในงานแนะแนวเกิดความคล่องตัวและมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถทำให้นักเรียนเข้าถึงได้ง่ายและรวดเร็ว เช่น งานบริการแนะแนวด้านบริการสำรวจผู้เรียนเป็นรายบุคคล ก็จะต้องเปลี่ยนวิธีเป็นการสร้างแบบสอบถามและแบบทดสอบในรูปแบบออนไลน์ วิธีนี้สามารถช่วยให้ครูแนะแนวสะดวก เก็บข้อมูลได้รวดเร็วและง่ายในการติดตามและประเมินผล ลดความยุ่งยากในการจัดเก็บเอกสารจำนวนมาก หรือการสร้างแอปพลิเคชัน (Application) การนำแอปพลิเคชันมาใช้ในงานแนะแนวจะสามารถช่วยแบ่งเบาภาวะของครูแนะแนวได้บ้างและช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ในสิ่งที่ตนเองสนใจเบื้องต้นก่อนเข้ารับปรึกษาจากครูแนะแนว เช่น การใช้แอปพลิเคชันเพื่อให้ผู้เรียนได้ค้นพบตนเองว่าตนเองมีความสนใจและถนัดในเรื่องใด เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกอาชีพและศึกษาต่อในอนาคต (ธนารักษ์ สารเถื่อนแก้ว และสุพิน ใจแก้ว, 2566) จากเหตุผลข้างต้น จึงทำให้ผู้วิจัยเกิดความสนใจและมีความมุ่งมั่นในการศึกษางานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของโรงเรียนมัธยมศึกษา จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อเปิดมุมมองและความคิดเห็นเกี่ยวกับทิศทางของงานบริการแนะแนวในยุคดิจทัลให้กับครูแนะแนวและบุคลากรทางการศึกษาได้ทราบถึงความต้องการของผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว และนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา โดยผลการวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยคาดหวังว่า จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำผลการวิจัยไปสู่การต่อยอดพัฒนางานบริการแนะแนวในโรงเรียนในยุคดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์อย่างสูงสุดกับนักเรียนทุกคนในโรงเรียน

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของโรงเรียนมัธยมศึกษา จังหวัดเชียงใหม่

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ที่มุ่งเน้นศึกษาความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว และนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาโรงเรียนมัธยมศึกษา จังหวัดเชียงใหม่โดยใช้แบบสอบถามปลายเปิด (Open-ended Questions) เพื่อนำมาสู่การวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว จำนวน 125 คน และนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา จำนวน 2,198 คน รวมทั้งหมด 2,323 คน ของโรงเรียนนวมินทราชูทิศ พายัพ จังหวัดเชียงใหม่ (คณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2566)

กลุ่มตัวอย่าง ผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว และนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาของโรงเรียนนวมินทราชูทิศ พายัพ จังหวัดเชียงใหม่ โดยกลุ่มตัวอย่างในเก็บข้อมูลครั้งนี้ ใช้สูตรคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างของทาโร่ ยามาเน่ (Taro Yamane, 1973) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าความคลาดเคลื่อน 5% และใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น ประกอบด้วย ผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว จำนวน 18 คน และ

นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย จำนวน 323 คน รวมจำนวนทั้งหมด 341 คน และทำการคัดข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ออกมา 81 คน จึงได้ข้อมูลที่เก็บจากการสอบถามเป็นจำนวน 242 คน คิดเป็นร้อยละ 70.97

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาเครื่องมือเป็นแบบสอบถามปลายเปิด (Open-ended Questions) เป็นลักษณะข้อคำถามที่ให้ผู้ตอบได้แสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ประกอบด้วย 2 ชุด ได้แก่

ชุดที่ 1 สำหรับผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว ประกอบด้วย ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม มีจำนวน 3 ข้อ และตอนที่ 2 แบบสอบถามปลายเปิดความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัล จำนวน 8 ข้อ

ชุดที่ 2 สำหรับนักเรียน ประกอบด้วย ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม มีจำนวน 3 ข้อ และตอนที่ 2 แบบสอบถามปลายเปิดความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัล จำนวน 3 ข้อ

โดยผู้วิจัยเครื่องมือแบบสอบถามปลายเปิดมาเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้พิจารณาตรวจสอบคุณภาพด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC) และซึ่งคัดเลือกเฉพาะคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป จำนวน 3 ท่าน โดยแบบสอบถามชุดที่ 1 สำหรับผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว จำนวน 8 ข้อ ดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity Index: CVI) ของแบบสอบถามทั้งฉบับเท่ากับ 0.91 ส่วนแบบสอบถามชุดที่ 2 สำหรับนักเรียน จำนวน 3 ข้อ ดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity Index: CVI) ของแบบสอบถามทั้งฉบับเท่ากับ 0.86

3. ขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนดังนี้

3.1 ผู้วิจัยดำเนินการติดต่อประสานงานและจัดทำหนังสือจากมหาวิทยาลัยเพื่อขออนุญาตเก็บข้อมูลวิจัยไปยังโรงเรียนนวมินทราชูทิศ พายัพ จังหวัดเชียงใหม่

3.2 ผู้วิจัยจัดเตรียมแบบสอบถามเพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง โดยการถ่ายเอกสารแบบสอบถาม ประกอบด้วย 2 ชุด ได้แก่ ชุดสำหรับผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว และชุดสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา

3.3 ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง และติดตามผลของการตอบกลับจากแบบสอบถามเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

3.4 ผู้วิจัยนำแบบสอบถามที่ได้รับคืนมาตรวจสอบความถูกต้อง และคัดเลือกแบบสอบถามฉบับสมบูรณ์ โดยแบบสอบถามที่ได้จากผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว มีจำนวน 18 ฉบับ และแบบสอบถามที่ได้จากนักเรียนได้คัดแบบสอบถามที่ไม่สมบูรณ์หรือไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ออกมา 81 ฉบับ และเหลือแบบสอบถามที่สมบูรณ์ จำนวน 242 ฉบับ รวมแบบสอบถามฉบับสมบูรณ์ทั้งสิ้น จำนวน 260 ฉบับ

3.5 นำแบบสอบถามฉบับสมบูรณ์ จำนวน 260 ฉบับ ที่ได้รับการคัดเลือกฉบับสมบูรณ์นำผลมาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

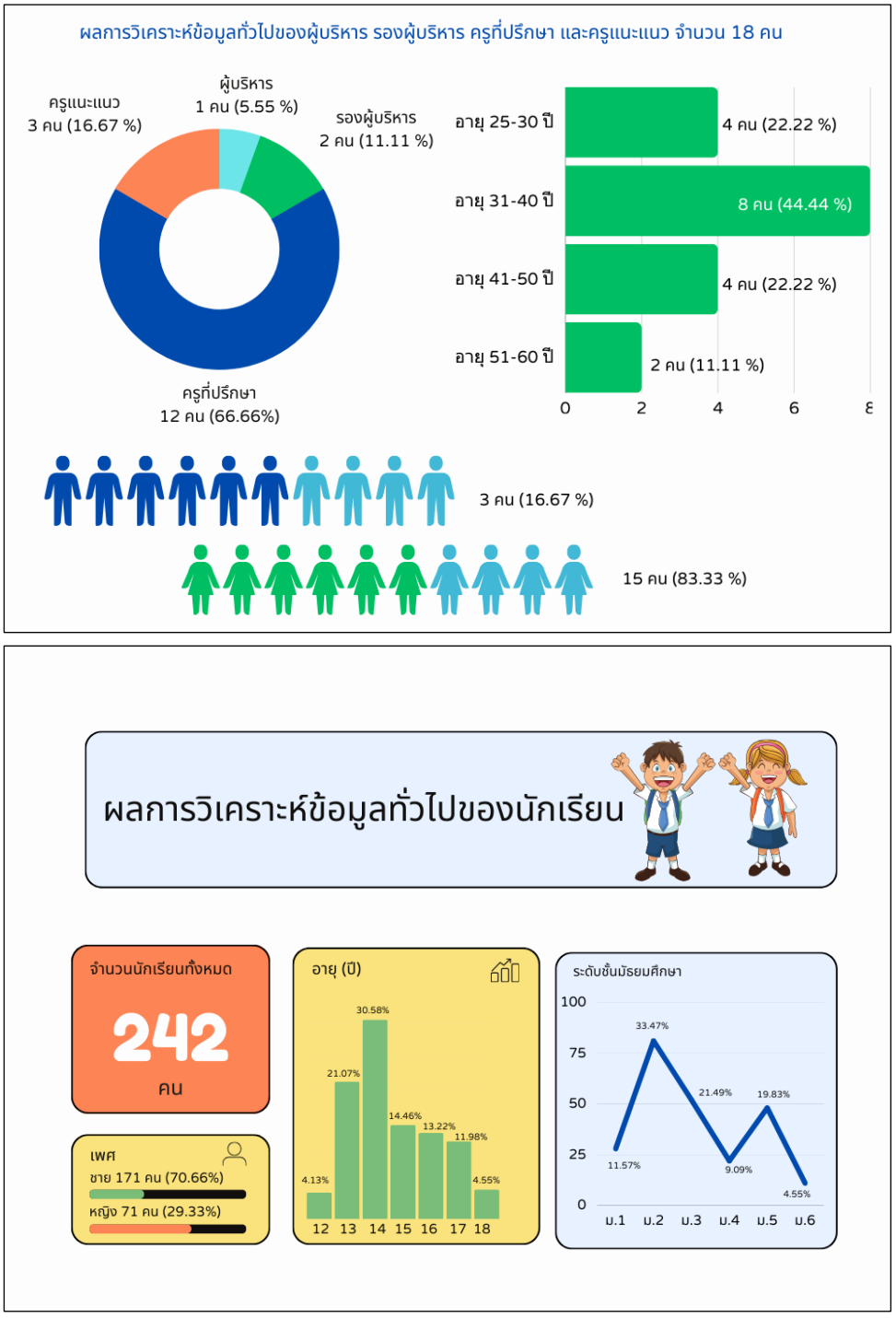
4. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำแบบสอบถามสมบูรณ์จำนวน 260 ฉบับ มาตรวจสอบความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลอีกครั้งก่อนที่จะนำมาทำการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) (ทวีศักดิ์ นพเกสร, 2549; Williamson & Long, 2005) โดยดำเนินการเขียนสรุปเป็น รายข้อตามประเด็นข้อคำถาม นำไปลงรหัสข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ สำหรับสถิติที่ใช้ คือ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการแจกแจงความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage)

ผลการศึกษา

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่ายเกี่ยวกับผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ผู้วิจัยจึงดำเนินการสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว และนักเรียน ไว้ดังภาพต่อไปนี้



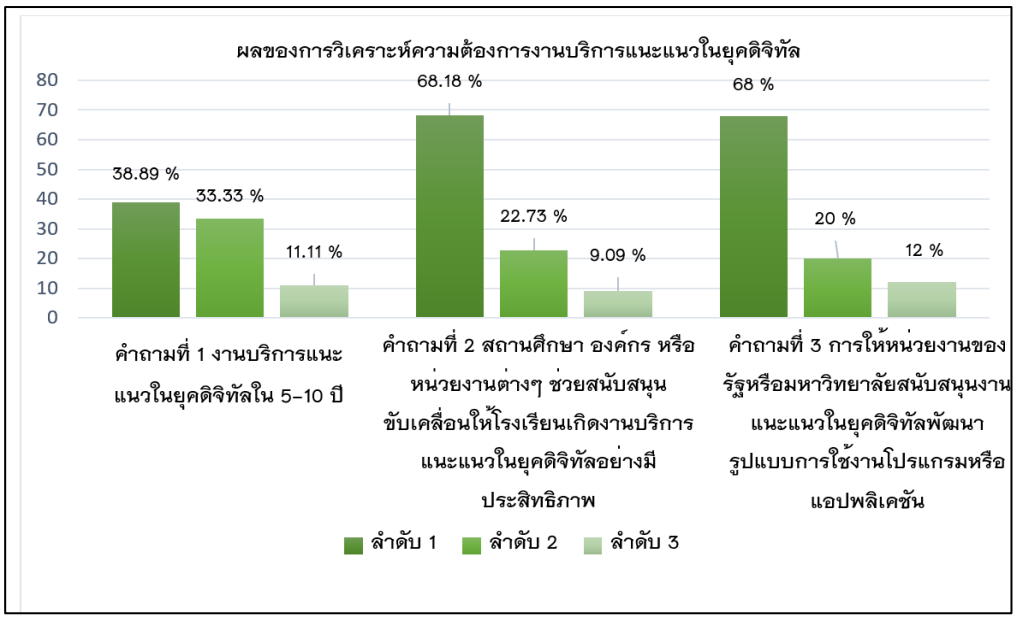
ภาพที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว และนักเรียน

จากภาพที่ 1 สามารถสรุปได้ว่า ผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว จำนวน 18 คน ส่วนมากเป็นเพศหญิง ร้อยละ 83.33 มีอายุอยู่ระหว่าง 31–40 ปี ร้อยละ 44.44 เป็นครูที่ปรึกษา ร้อยละ 88.89 และรองลงมาเป็นครูแนะแนว ร้อยละ 11.11 ส่วนนักเรียน จำนวน 242 คน ส่วนมากเป็นเพศหญิง ร้อยละ 70.66 มีอายุ 14 ปี ร้อยละ 30.58 อยู่ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ร้อยละ 33.47

2. ผลของการวิเคราะห์ความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของโรงเรียนมัธยมศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของโรงเรียนนวมินทราชูทิศพายัพ จังหวัดเชียงใหม่ ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบตารางความถี่และร้อยละของการตอบประเด็นคำถามปลายเปิดในแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูแนะแนว และครูที่ปรึกษา จำนวน 18 คน และกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียน จำนวน 242 คน ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว กลุ่มที่ 2 นักเรียนมัธยมศึกษา โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการนำเสนอตามประเด็นคำถามและกลุ่มที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ผลของการวิเคราะห์ความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว



ภาพที่ 2 แผนภูมิแท่งแสดงผลของการวิเคราะห์ความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว

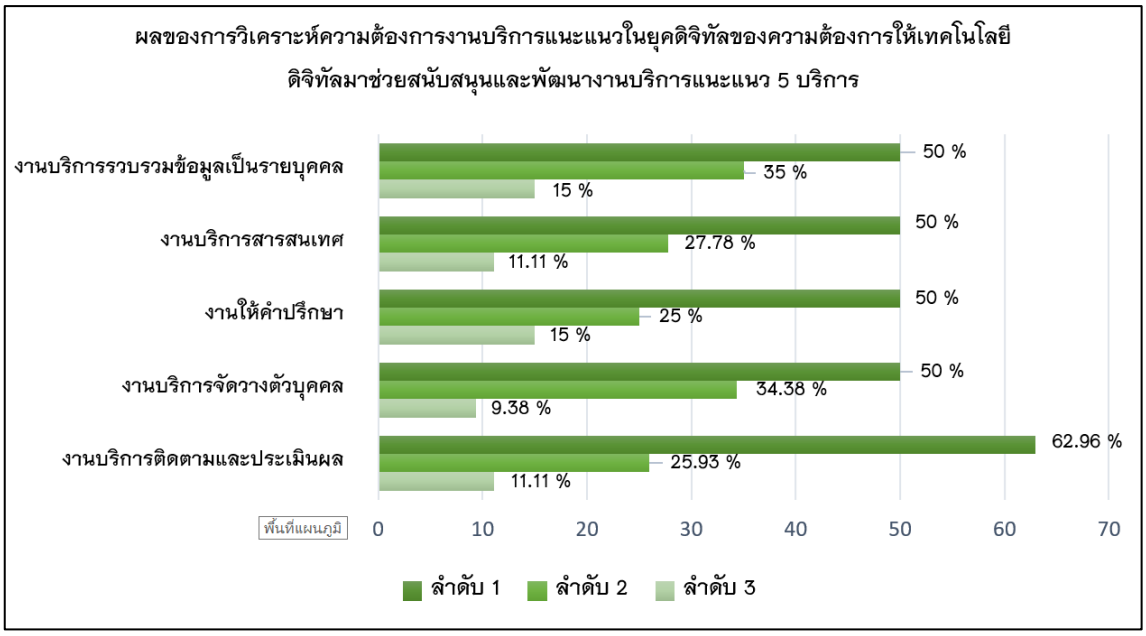
จากภาพที่ 2 ผลของการวิเคราะห์ความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว มีรายละเอียด ดังนี้

1) งานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลใน 5–10 ปี ข้างหน้า พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 1.1) เทคโนโลยีสื่อดิจิทัลมีความทันสมัย อยู่ในรูปแบบเกม ร้อยละ 38.89 1.2) การใช้ Facebook เพื่อช่วยกระจายข้อมูล ร้อยละ 33.33 และ 1.3) เทคโนโลยีมาช่วยในการจัดเก็บรวบรวมข้อมูล ร้อยละ 11.11

2) ด้านสถานศึกษา องค์กร หรือหน่วยงานต่างๆ ช่วยสนับสนุน ขับเคลื่อนให้โรงเรียนเกิดงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลอย่างมีประสิทธิภาพ พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 2.1) สนับสนุนการใช้แอพพลิเคชันช่วยเหลือด้านการศึกษา ด้านอาชีพ ด้านส่วนและสังคม ร้อยละ 68.18 2.2) มีเทคโนโลยีช่วยประชาสัมพันธ์เรื่องของนโยบาย

แผนการปฏิบัติงานหน้าที่ ที่เห็นภาพชัดเจน ร้อยละ 22.73 และ 2.3) มีเทคโนโลยีช่วยสนับสนุนโดยการส่งเสริมให้บุคลากรได้เข้าร่วมการพัฒนาตนเอง ร้อยละ 9.09

3) ด้านการให้หน่วยงานของรัฐหรือมหาวิทยาลัยสนับสนุนงานแนะแนวในยุคดิจิทัลพัฒนารูปแบบการใช้งานโปรแกรมหรือแอปพลิเคชัน เพื่อให้นักเรียนหรือผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าถึงงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัล พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 3.1) โปรแกรมหรือแอปพลิเคชัน การมีเกม การแข่งขันออนไลน์พร้อมกับสอดแทรกงานบริการแนะแนว ร้อยละ 68 3.2) โปรแกรมหรือแอปพลิเคชันคัดกรองข้อมูล สำรวจข้อมูล เพื่อวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างแม่นยำ และมีความชัดเจน ร้อยละ 20 และ 2.3) โปรแกรมหรือแอพพลิเคชัน มีแบบวัด แบบทดสอบ ความรู้เกี่ยวกับทางสุขภาพจิต ร้อยละ 12



ภาพที่ 3 แผนภูมิแท่งแสดงความต้องการเทคโนโลยีดิจิทัลช่วยสนับสนุนและพัฒนาในแต่ละด้านของงานบริการแนะแนว 5 บริการของผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว

จากภาพที่ 3 ความต้องการเทคโนโลยีดิจิทัลช่วยสนับสนุนและพัฒนาในแต่ละด้านของงานบริการแนะแนว 5 บริการ จากผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว มีรายละเอียด ดังนี้

1) งานบริการรวบรวมข้อมูลเป็นรายบุคคล พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 1.1) การกรอกข้อมูลนักเรียนผู้ปกครองในรูปแบบออนไลน์ ร้อยละ 50 1.2) การเยี่ยมบ้านโดยใช้วิธีการปักหมุดในแผนที่ Google Map ร้อยละ 35 และ 1.3) การทำแบบทดสอบ หรือแบบสำรวจต่างๆ โปรแกรมแอพพลิเคชัน ร้อยละ 15

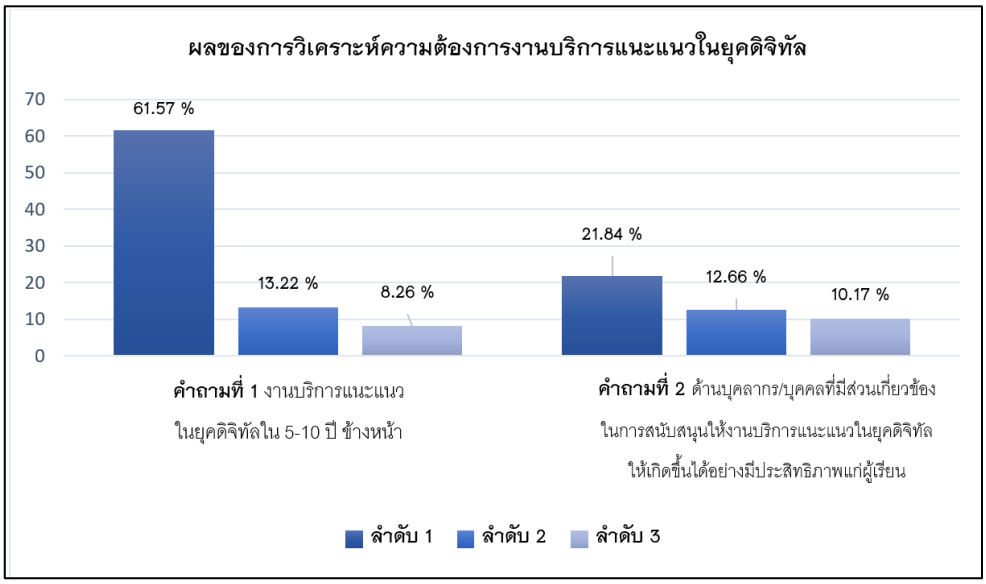
2) งานบริการสารสนเทศ พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 2.1) การใช้ AI แชท GPT ช่วยประชาสัมพันธ์ด้านอาชีพ ร้อยละ 50 2.2) การประชาสัมพันธ์ เรื่องต่าง ๆ เกี่ยวกับโรงเรียน ผ่านช่องทาง Facebook หรือ TikTok ร้อยละ 27.78 และ 2.3) สร้างแอพลิเคชัน ให้ข้อมูลด้านการศึกษา ด้านอาชีพ ส่วนตัวและสังคม ร้อยละ 11.11

3) งานบริการให้คำปรึกษา พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 3.1) มีเว็บไซต์ เพจ Facebook เพจ TikTok ฯลฯ ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพจิตแก่นักเรียน ร้อยละ 50 3.2) มีบอร์ดแชทให้นักเรียนปรึกษาปัญหาเรื่องราวชีวิต ร้อยละ 25 และ 3.3) Application ให้ช่วยเหลือเรื่องของการจัดตารางเวลาให้คำปรึกษา ร้อยละ 15

4) งานบริการจัดวางตัวบุคคล พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 4.1) แอพพลิเคชันมี Game เสริมทักษะด้านต่างๆ การศึกษา อาชีพ ร้อยละ 50 4.2) เกร็ดความรู้เรื่องของการเสริมทักษะด้านต่างๆ การศึกษา อาชีพ ทางช่องทางออนไลน์ ร้อยละ 34.38 และ 4.3) การแนะนำการจัดสรรทุนการศึกษาประเภทต่างๆ ผ่านช่องทางออนไลน์ ร้อยละ 9.38

5) งานบริการติดตามและประเมินผล พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 5.1) แอพพลิเคชัน Student care พัฒนาในเรื่องของการเช็คชื่อในการเข้าชั้นเรียนแต่ละคาบรายวิชา ร้อยละ 62.96 5.2) มีแอพพลิเคชันวิเคราะห์และประเมินผลการติดตามนักเรียนศึกษาต่อ/ไม่ศึกษาต่อ ร้อยละ 25.93 และ 5.3) ใช้แบบสำรวจออนไลน์ในเรื่องของความต้องการให้งานบริการแนะแนวช่วยเหลือแก่นักเรียน ร้อยละ 11.1

กลุ่มที่ 2 ผลของการวิเคราะห์ความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของนักเรียน

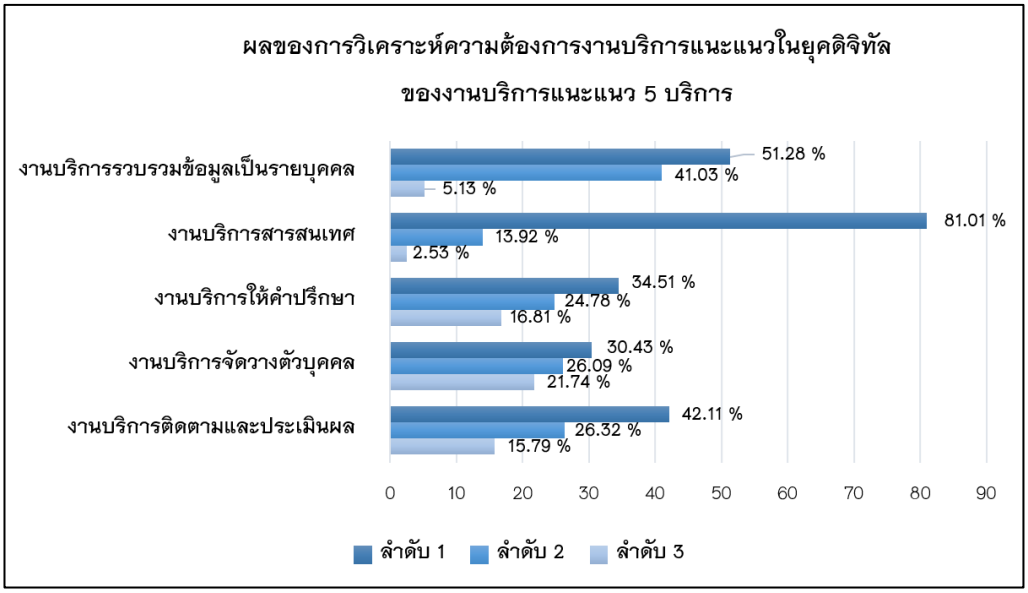


ภาพที่ 4 แผนภูมิแท่งแสดงความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของนักเรียน

จากภาพที่ 4 ผลของการวิเคราะห์ความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา มีรายละเอียด ดังนี้

1) งานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลใน 5-10 ปี ข้างหน้า พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 1.1) มีสื่อเทคโนโลยีดิจิทัลมีความเจริญก้าวหน้า ทันสมัย ดึงดูดน่าสนใจ มีสื่อที่หลายด้าน อำนวยความสะดวกรวดเร็ว เข้าถึงง่าย ฐานข้อมูลครอบคลุมกว้างขวาง มีความแม่นยำ ร้อยละ 61.57 1.2) บริการงานแนะแนวผ่านทางอินเทอร์เน็ต สื่อออนไลน์ โซเชียล เว็บไซต์ แอปพลิชัน ร้อยละ 13.22 และ 1.3) มีหุ่นยนต์เข้าช่วยงานบริการแนะแนว ร้อยละ 8.26

2) ด้านบุคลากร/บุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการสนับสนุนให้งานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลให้มีประสิทธิภาพแก่ผู้เรียน พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 2.1) ครู/บุคลากรทุกคนในโรงเรียน/บุคลากรทางการศึกษา ร้อยละ 21.84 2.2) ครูแนะแนว/บุคคลที่มีความรู้ด้านแนะแนว ร้อยละ 12.66 และ 2.3) ผู้บริหาร ร้อยละ 10.17



ภาพที่ 5 แผนภูมิแท่งแสดงผลของการวิเคราะห์ความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของงานบริการแนะแนว 5 บริการ

จากภาพที่ 5 ความต้องการเทคโนโลยีดิจิทัลช่วยสนับสนุนและพัฒนาในแต่ละด้านของงานบริการแนะแนว 5 บริการจากนักเรียน สามารถสรุปรายละเอียดดังนี้

1) งานบริการรวบรวมข้อมูลเป็นรายบุคคล พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 1.1) การเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ Google From ร้อยละ 51.28 1.2) การใช้โปรแกรม แอพพลิเคชันลงทะเบียน กรอกข้อมูลทั่วไปและข้อมูลส่วนตัว ร้อยละ 41.03 และ 1.3) การใช้สื่อออนไลน์ เทคโนโลยีเพื่อการวัดแบบทดสอบ ฯลฯ เพื่อค้นหาตนเอง ร้อยละ 5.13

2) งานบริการสารสนเทศ พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 2.1) ประชาสัมพันธ์ การศึกษา และอาชีพผ่านช่องทาง เว็บไซต์ แอพพลิเคชัน สื่อโซเชียลออนไลน์ ร้อยละ 81.01 2.2) การปฐมนิเทศผ่านช่องทางออนไลน์ ร้อยละ 13.92 และ 2.3) มี AI ช่วยประชาสัมพันธ์ การศึกษา และอาชีพ ร้อยละ 2.53

3) งานบริการให้คำปรึกษา พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 3.1) บริการการให้คำปรึกษาผ่านหลากหลายช่องทางออนไลน์ ร้อยละ 34.51 3.2) บริการการให้คำปรึกษาผ่านโปรแกรมแอปพลิชัน ร้อยละ 24.78 และ 3.3) การให้คำปรึกษาวิดีโอคอล ร้อยละ 16.81

4) งานบริการจัดวางตัวบุคคล พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 4.1) จัดงานแนะนำช่องทางสร้างรายได้และมอบทุนการศึกษาผ่านแอพพลิเคชัน ร้อยละ 30.43 4.2) การจัดกิจกรรมออนไลน์ให้เหมาะสมกับความสนใจ ความสามารถ ตัดสินใจด้วยตนเอง ร้อยละ 26.09 และ 4.3) แอพพลิเคชันแนะนำแผนการเรียน การศึกษาต่อ ร้อยละ 21.74

5) งานบริการติดตามและประเมินผล พบว่า 3 ลำดับแรก ได้แก่ 5.1) การเช็คชื่อเข้าชั้นเรียนผ่านออนไลน์หรือแอพพลิเคชัน ร้อยละ 42.11 5.2) การใช้ AI ตรวจสอบ การติดตามและประเมินผล ร้อยละ 26.32 และ 5.3) การใช้ Google Classroom การติดตามและประเมินผล ร้อยละ 15.79

สรุปผลและอภิปรายผล

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ความต้องการงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลของโรงเรียนมัธยมศึกษา จังหวัดเชียงใหม่ สามารถสรุปเป็น 2 กลุ่ม ได้ดังนี้

1. กลุ่มผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว สะท้อนให้เห็นถึงความต้องการให้งานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลใน 5-10 ปี ข้างหน้า ควรมีลักษณะดังนี้ ได้แก่ 1) ควรมีเทคโนโลยีสื่อดิจิทัลมีความทันสมัย อยู่ในรูปแบบ Game ร้อยละ 38.89 2) สถานศึกษา องค์กร หรือหน่วยงานต่าง ๆ ควรสนับสนุนการใช้แอพพลิเคชันช่วยเหลือด้านการศึกษา ด้านอาชีพ ด้านส่วนและสังคม ช่วยขับเคลื่อนให้โรงเรียนเกิดงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลอย่างมีประสิทธิภาพ ร้อยละ 68.18 3) ให้หน่วยงานของรัฐหรือมหาวิทยาลัยสนับสนุนงานแนะแนวในยุคดิจิทัลพัฒนารูปแบบการใช้งานโปรแกรมหรือแอปพลิเคชันในรูปแบบเกมหรือมีการแข่งขันออนไลน์ พร้อมสอดแทรกงานบริการแนะแนว เพื่อให้นักเรียนหรือผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าถึงงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัล ร้อยละ 68 4) ควรมีเทคโนโลยีสื่อดิจิทัลมีความความเจริญก้าวหน้า ทันสมัย ดึงดูดน่าสนใจ มีสื่อที่หลายด้าน อำนวยความสะดวกรวดเร็ว เข้าถึงง่าย ฐานข้อมูลครอบคลุมกว้างขวาง มีความแม่นยำ ร้อยละ 61.57 และ 5) ครู/บุคลากรทุกคนในโรงเรียน/บุคลากรทางการศึกษาทุกคนนั้นมีส่วนเกี่ยวข้องในการสนับสนุนให้งานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลให้เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพแก่ผู้เรียน ร้อยละ 21.84 นอกจากนี้ผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว ยังมีความต้องการเทคโนโลยีดิจิทัลช่วยสนับสนุนและพัฒนาในงานบริการแนะแนวทั้ง 5 บริการ ได้แก่ 1) ด้านงานบริการเก็บรวบรวมข้อมูลนักเรียนเป็นรายบุคคลควรมีการกรอกข้อมูลนักเรียน ผู้ปกครองในรูปแบบออนไลน์ ร้อยละ 50 2) ด้านงานบริการสารสนเทศควรมีการให้ AI การแชท GPT ช่วยประชาสัมพันธ์ ให้ข้อมูลด้านอาชีพ ร้อยละ 50 3) ด้านงานบริการให้คำปรึกษาควรมีเว็บไซด์ เพจ Facebook เพจช่อง TikTok ฯลฯ ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพจิตแก่นักเรียน ร้อยละ 50 4) ด้านงานบริการจัดวางตัวบุคคล ควรมีแอพพลิเคชันมี Game เสริมทักษะด้านต่างๆ การศึกษา อาชีพ ร้อยละ 50 และ 5) ด้านงานบริการติดตามและประเมินผล ควรพัฒนาแอพพลิเคชัน Student care เรื่องของการให้สามารถเช็คชื่อการเข้าชั้นเรียนแต่ละคาบรายวิชา ร้อยละ 62.96 เป็นต้น

2. กลุ่มนักเรียน สะท้อนให้ข้อมูลถึงความต้องการให้งานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลใน 5-10 ปี ข้างหน้า ควรมีลักษณะดังนี้ ได้แก่ 1) ควรมีสื่อเทคโนโลยีดิจิทัลมีความเจริญก้าวหน้า ทันสมัย ดึงดูดน่าสนใจ มีสื่อที่หลายด้านอำนวยความสะดวกรวดเร็ว เข้าถึงง่าย ฐานข้อมูลครอบคลุมกว้างขวาง มีความแม่นยำ ร้อยละ 61.57 2) ควรมีครู/บุคลากรทุกคนในโรงเรียน/บุคลากรทางการศึกษามีส่วนเกี่ยวข้องในการสนับสนุนให้งานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลให้มีประสิทธิภาพแก่ผู้เรียน ร้อยละ 21.84 ส่วนความต้องการเทคโนโลยีดิจิทัลช่วยสนับสนุนและพัฒนาในแต่ละด้านของงานบริการแนะแนว 5 บริการ มีดังนี้ ได้แก่ 1) งานบริการรวบรวมข้อมูลเป็นรายบุคคล ควรมีการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ Google From ร้อยละ 51.28 2) งานบริการสารสนเทศ ควรมีการประชาสัมพันธ์การศึกษา และอาชีพผ่านช่องทาง เว็บไซด์ แอพพลิเคชัน สื่อโซเชียลออนไลน์ ร้อยละ 81.01 3) งานบริการให้คำปรึกษา ควรบริการให้คำปรึกษาผ่านโปรแกรมแอปพลิเคชัน ร้อยละ 34.51 4) งานบริการจัดวางตัวบุคคลควรมีการแนะนำช่องทางสร้างรายได้ มอบทุนการศึกษาผ่านแอพพลิเคชัน ร้อยละ 30.43 และ 5) ด้านงานบริการติดตามและประเมินผล ควรเช็คชื่อเข้าชั้นเรียนผ่านออนไลน์หรือแอพพลิเคชัน ร้อยละ 42.11 เป็นต้น

อภิปรายผล

งานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลใน 5-10 ปี ข้างหน้า ทั้งผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนว และนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา พบว่า ควรมีสื่อเทคโนโลยีดิจิทัลมีความเจริญก้าวหน้า มีความทันสมัย น่าสนใจ น่าดึงดูด มีสื่อที่หลากหลาย อำนวยความสะดวกรวดเร็ว เข้าถึงง่าย ฐานข้อมูลครอบคลุมกว้างขวางที่แม่นยำและเชื่อถือได้ ซึ่งความต้องการเหล่านี้สะท้อนถึงความสนใจ (Attention) การเลือก (Selection) และการให้คุณค่า (Value) ต่อสิ่งที่รับรู้ โดยสิ่งเร้าใดที่บุคคลให้คุณค่าและให้ความสำคัญ สิ่งเร้านั้นจะสามารถเพิ่มความสนใจและใส่ใจที่จะรับรู้มากขึ้น นับว่าความสนใจ การเลือก และการให้คุณค่ามีอิทธิพลต่อการรับรู้ของบุคคลเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับกระบวนการเรียนรู้ของบุคคลตามหลักจิตวิทยาที่ประกอบด้วย 1) สิ่งเร้า (Stimulus) 2) อินทรีย์เกิดการรู้สึก (Sensation) 3) การรับรู้ (Perception) 4) การสรุปความคิดรวบยอด (Conception) 5) การเรียนรู้ (Learning) 6) การตอบสนอง (Response) (ภิไลวรรณ ศรีสงคราม และคณะ, 2549 อ้างใน รัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ, 2566) ซึ่งกระบวนการการเรียนรู้เหล่านี้ทำให้บุคคลเกิดการมีปฏิสัมพันธ์เชื่อมโยงกับประสบการณ์รอบตัวอย่างต่อเนื่อง จนนำไปสู่การรับรู้และการเรียนรู้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีที่อยู่รอบตัวของบุคคลทุกคนได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิต ฉะนั้นเทคโนโลยีจึงได้กลายมาเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับบุคคลทุกคน การเรียกร้องและแสดงความต้องการเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการทำงานในโรงเรียนหรือสถานศึกษาของครูและนักเรียนจึงเป็นเรื่องปกติและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับ Grosshandler (2012) ที่ระบุว่า โรงเรียนมีความต้องการอย่างมากในด้านเทคโนโลยีในการเข้าไปสนับสนุนต่อการช่วยเหลือในเรื่องการให้คำปรึกษาสำหรับนักเรียน เพื่อให้การเข้าถึงการช่วยเหลือนักเรียนได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้ผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว ให้ข้อมูลสะท้อนว่างานบริการแนะแนวควรอยู่ในรูปแบบ Game มีการแจกรางวัล เช่น ให้เกียรติบัตร ให้คะแนน และสอดแทรกงานบริการแนะแนว เพื่อเป็นแรงจูงใจในการให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมแนะแนว เนื่องจากนักเรียนชื่นชอบสิ่งที่น่าดึงดูด น่าตื่นเต้น ความสนุกสนาน พร้อมกับได้เรียนรู้ต่าง ๆ การรู้จักและเข้าใจตนเองมากกว่าการจดบันทึกบนกระดาษ สมุดหนังสือ ซึ่งการใช้เกมการเรียนรู้สามารถเพิ่มการมุ่งมั่นผูกพันในการเรียนรู้และส่งผลให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Steinkuehler & Duncan, 2008) ในส่วนด้านสถานศึกษา องค์กร หรือหน่วยงานต่างๆ ของรัฐหรือมหาวิทยาลัยควรให้การสนับสนุนและพัฒนารูปแบบการใช้งานโปรแกรมหรือแอปพลิเคชันช่วยเหลือด้านการศึกษา ด้านอาชีพ ด้านส่วนและสังคม ในรูปแบบเกมหรือมีการแข่งขันออนไลน์ พร้อมกับสอดแทรกงานบริการแนะแนว โดยอยู่บนอุปกรณ์เทคโนโลยีเคลื่อนที่สามารถพกพาและเปิดใช้งานได้ ทุกทีทุกเวลา เช่น โทรศัพท์ ไอแพด โน๊ตบุ๊ค เพื่อให้นักเรียนหรือผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าถึงงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัล และบุคลากรในโรงเรียนหรือบุคลากรทางการศึกษาทุกคนควรให้สำคัญ และส่งเสริมพัฒนาความรู้ พัฒนาตนเองเกี่ยวกับงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลซึ่งเป็นการช่วยขับเคลื่อนให้โรงเรียนเกิดงานบริการแนะแนวในยุคดิจิทัลอย่างมีประสิทธิภาพผ่านการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลมาช่วยสนับสนุนและพัฒนางานบริการแนะแนว 5 บริการ รวมทั้งทำให้นักเรียนเข้าถึงได้ง่ายและกระตุ้นให้นักเรียนสนใจกับเทคโนโลยีมากขึ้น ซึ่งการใช้เทคโนโลยีในการสอนและการส่งเสริมนักเรียน จะช่วยเพิ่มการกระตุ้นและการมุ่งมั่นผูกพันของนักเรียนในการเรียนรู้โดยรวม (Mo, 2011) เช่น ตัวอย่างเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มการสนใจของนักเรียน ได้แก่ ซอฟต์แวร์การประชุมผ่านเว็บ, เว็บบล็อก, วิกิ, เว็บไซต์สังคมออนไลน์ และเกมดิจิตอล (Schindler et al., 2017) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าเทคโลยีได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตและการเข้าถึงตัวนักเรียนได้มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ประเด็นที่สำคัญจากการสำรวจพบว่า ผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา ครูแนะแนวและนักเรียนให้ความสำคัญกับงานบริการแนะแนวด้านงานบริการจัดวางตัวบุคคลเป็นด้านแรก รองลงมาด้านงานบริการติดตามและประเมินผล ด้านงานบริการเก็บรวบรวมข้อมูลนักเรียนเป็นรายบุคคล ด้านงานบริการให้คำปรึกษา และด้านงานบริการสารสนเทศ จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่าผู้บริหาร รองผู้บริหาร ครูที่ปรึกษา และครูแนะแนว ส่วนมากมีความต้องการเทคโนโลยีดิจิทัลมาช่วยสนับสนุนและพัฒนางานบริการแนะแนวในด้านงาน

บริการจัดวางตัวบุคคลให้กับนักเรียนมากกว่างานบริการแนะแนวด้านอื่น ๆ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการวิจัยของ รัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ (2563) ที่พบว่า ลำดับความต้องการจำเป็นในการพัฒนางานบริการแนะแนวในโรงเรียน สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน จังหวัดเชียงใหม่ ลำดับแรก คือ บริการจัดวางตัวบุคคล ต้องการให้ทางโรงเรียนจัดบริการแนะแนวเกี่ยวกับการจัดให้นักเรียนทำงานพิเศษหรือหารายได้พิเศษระหว่างเรียน การจัดฝึกอบรมอาชีพระยะสั้นให้แก่นักเรียน และการมอบทุนอาหารกลางวันสำหรับนักเรียนที่มีปัญหาด้านทุนทรัพย์ ส่วนนักเรียนให้ความสำคัญอันดับแรก คือ งานบริการให้คำปรึกษา รองลงมางานบริการสารสนเทศ งานบริการรวบรวมข้อมูลเป็นรายบุคคล งานบริการจัดวางตัวบุคคล งานบริการติดตามและประเมินผล โดยมีความใกล้เคียงสอดคล้องกับผลการวิจัย ธัญญ์วรัตน์ อินธนูจิตร (2562) พบว่า ลำดับความต้องการและความจำเป็นในการพัฒนางานบริการแนะแนว ลำดับที่สอง งานบริการให้คำปรึกษา ต้องการให้มีการจัดตารางเวลาให้คำปรึกษาแก่นักเรียนอย่างชัดเจน มีการบันทึกข้อมูลของนักเรียนที่มาขอรับบริการให้คำปรึกษา และดำเนินการส่งต่อนักเรียนให้แก่ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน การให้คำปรึกษาเป็นหัวใจของการแนะแนว และสาเหตุที่หนึ่งที่นักเรียนมีความต้องการให้คำปรึกษา เนื่องจากนักเรียนมีความเครียดด้านการเรียน ด้านปัญหาครอบครัว และปัญหาส่วนตัวต่าง ๆ เมื่อนักเรียนมาขอรับการให้คำปรึกษา จะเป็นการช่วยให้นักเรียนให้รู้สึกสบายใจ ได้ระบายความรู้สึก ความเครียดต่าง ๆ จะเป็นการช่วยลดความเครียด และป้องกันการเกิดความเครียดสะสมที่อาจะนำไปสู่โรคซึมเศร้าในอนาคตได้ ฉะนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีหรือแอพพลิเคชันช่วยงานบริการให้คำปรึกษา จะเป็นการช่วยอำนวยความสะดวกแก่นักเรียนมากยิ่งขึ้น สามารถใช้บริการให้คำปรึกษาได้ทุกที่ ทุกเวลาเมื่อต้องการขอรับการปรึกษา เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Bangun & Saragih (2015) ที่ได้พัฒนาสื่อเทคโนโลยีในด้านการให้บริการแนะแนวและให้คำปรึกษา (Bimbingan Konseling) ผ่านทางเว็บไซต์ เพื่อช่วยให้เกิดความคล่องตัวในการแนะแนวและการให้คำปรึกษา รวมถึงทำการช่วยเหลือนั้นมีประสิทธิภาพและสะดวกสบายยิ่งขึ้นสำหรับนักเรียนทุกคน

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ อาจารย์ภาควิชาจิตวิทยา และเจ้าหน้าที่ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ให้คำปรึกษา สนับสนุนในการทำวิจัยในทุกๆ ด้าน รวมถึงขอขอบพระคุณผู้บริหาร คณะครู และนักเรียนโรงเรียนนวมินทราชูทิศ พายัพ จังหวัดเชียงใหม่ ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2566). **สถิติทางการศึกษาป 2566**. สืบค้นจาก http://www.bopp-obec.info/home/?page_id=14038

คมเพชร ฉัตรศุภกุล. (2557). **จี้ศธ.เร่งฟื้นฟูครูแนะแนวดูแลนักเรียน.** สืบค้นจาก https://blog.eduzones.com/zones/student/all?page=1509&gid=

ทวีศักดิ์ นพเกษร. (2549). **วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ เล่ม 2: คู่มือปฏิบัติการวิจัยประยุกต์เพื่อพัฒนาคนองค์กรชุมชนสังคม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครราชสีมา: โชคเจริญมาร์เกตติ้ง.

ธนารักษ์ สารเถื่อนแก้ว และสุพิน ใจแก้ว. (2566). การใช้เทคโนโลยีเพื่อการแนะแนวในโรงเรียน. **วารสารวิชาการสถาบันเทคโนโลยีภาคตะวันออกแห่งสุวรรณภูมิ**, ฉบับที่ 1 ปีที่ 2, หน้า 1-16.

ธัญญ์วรัตน์ อินธนูจิตร. (2562). **การศึกษาความต้องการบริการแนะแนวของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนโกสุมวิทยาสรรค์จังหวัดมหาสารคาม**. มหาสารคาม : โรงเรียนโกสุมวิทยาสรรค์.

นิรันดร จุลทรัพย. (2558). **การแนะแนวเพื่อพัฒนาผู้เรียน**. สงขลา: สาขาจิตวิทยา คณะศึกษาศาสตร มหาวิทยาลัยทักษิณ.

โพธิพันธ พานิช. (2558). **แนวคิดเกี่ยวกับหลักและระบบงานแนะแนว.** เอกสารการสอนชุดวิชาหลักและระบบงานแนะแนวในสถานศึกษา หนวยที่ 1–7. (หนา 1–37). (พิมพครั้งที่ 2). นนทบุรี: หาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

รัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ. (2563). การประเมินความต้องการจำเป็นในการพัฒนางานบริการแนะแนวในโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน จังหวัดเชียงใหม่. **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี**, ปีที่ 31 ฉบับที่ 2, หน้า 110–131.

รัตนวัชร์ เพ็ญรัตนหิรัญ. (2566). **จิตวิทยาทั่วไป (GENERAL PSYCHOLOGY)**. พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุง. เชียงใหม่ : ส.อินฟอร์เมชั่น เทคโนโลยี จำกัด.

สุวดี อุปปินใจ และพูนชัย ยาวิราช. (2562). การจัดการชั้นเรียนยุคดิจิทัล. **วารสารสมาคมพัฒนาวิชาชีพการบริหารการศึกษาแห่งประเทศไทย**, ปีที่ 1 ฉบับที่ 4, หน้า 51–65.

Bangun, N., & Saragih, A. H. (2015). Pengembangan Media Web Bimbingan Konseling. **Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi Dalam Pendidikan**, 2(1), 1–12.

Grosshandler, N. (2012). **Exploring technology usage by school counselors: A mixed methods study**. University of Nebraska, Lincoln.

Mo, S. (2011). Evidence on instructional technology and student engagement in an auditing course. **Academy of Educational Leadership Journal**, 15(4), 149.

Schindler, L. A., Burkholder, G. J., Morad, O. A., & Marsh, C. (2017). Computer-based technology and student engagement: a critical review of the literature. **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, 14(1), 25.

Steinkuehler, C., & Duncan, S. (2008). **The Impact of Educational Games on Learning.** In R. Ferdig (Ed.), Handbook of Research on Effective Electronic Gaming in Education (pp. 529–544).

Williamson, T., & Long, A. F. (2005). Qualitative data analysis using data display. **Nurse Researcher**, 12(3), 7–19.

Yamane, T. (1973) **Statistics: An Introductory Analysis**. 3rd Edition, Harper and Row, New York.

การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

Restraint to violent behavior of youth secondary school under the secondary educational service area office Chiang Mai

วชิราภรณ์ หน่อแก้ว[1*] และ ธนะดี สุริยะจันทร์หอม[1]

Wachiraporn Norkaew[1*]and Thanadee Suriyachanhom[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ กลุ่มตัวอย่าง คือ เยาวชนที่ศึกษาอยู่ในระบบโรงเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 – 6 จำนวน 285 คน ได้มาจากการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multi–stage Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถามการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน เป็นมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ จำนวน 22 ข้อ มีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67–1.00 มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ .899 และแบบสัมภาษณ์การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน ในรูปแบบสถานการณ์ที่แตกต่างกัน 3 สถานการณ์ มีค่าความหมาะสม อยู่ระหว่าง 3.33 – 4.67 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การสังเคราะห์เนื้อหา (content synthesis)

ผลการศึกษาพบว่า เยาวชนในโรงเรียนมัธยมศึกษาส่วนใหญ่มีการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$ =3.29) เมื่อพิจารณารายด้าน เรียงจากมากไปน้อย พบว่า ระดับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านอารมณ์ของเยาวชนอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ =3.42) รองลงมา คือด้านความคิดของเยาวชนอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$ =3.26) และด้านพฤติกรรมของเยาวชนอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$ =3.20) และข้อมูลจากการสัมภาษณ์ พบว่า เยาวชนส่วนใหญ่มีการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านความคิด โดยเยาวชนสามารถคิดไตร่ตรองก่อนที่จะพูด มักจะนึกถึงเหตุผลของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในการทบทวนตัวเอง และทวบทวนถึงผลกระทบที่อาจจะตามมา ส่วนในการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านอารมณ์ เยาวชนควบคุมอารมณ์และตั้งสติ ระงับอารมณ์ด้วยการใจเย็น และการยับยั้งชั่งใจในด้านพฤติกรรมเยาวชนส่วนใหญ่มักจะแสดงพฤติกรรมด้วยการหลีกเลี่ยงการเผชิญหน้า แสดงท่าทีเมินเฉย สามารถควบคุมพฤติกรรมและการกระทำที่ไม่เหมาะสมของตนเองโดยการปล่อยผ่าน

คำสำคัญ: การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรง, ความรุนแรง, เยาวชน

[1] คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50180

[1] Faculty of Education, Chiang Mai Rajabhat University, ChiangMai Province 50180

* Corresponding author e–mail: warisara.kl@hotmail.com, wachiraporn102544@gmail.com

Abstract

The Purpose of this research was to Restraint to Violent Behavior of Youth Secondary school under The Secondary Educational Service Area Office Chiang Mai. The samples were 285 in grades 3 to 6. They were chosen by multiple random sampling. The instrument used in this research was Restraint to Violent Behavior of Youth Secondary school questionnaire. There were 22 items with 5 rating scales, with the IOC values ranging from 0.67–1.00 and had the reliabilities at 0.899. Interviews on the acceptance of violent behavior were conducted in three different scenarios, with appropriateness scores ranging from 3.33 to 4.67. Statistical analysis of the data includes frequency, percentage, mean, standard deviation, and content synthesis for data interpretation.

The results were as follows: Most of the adolescents in secondary schools affiliated with the Ministry of Education have Restraint to Violent Behavior ($\bar{x}$ =3.29). When considering the different dimensions, starting from the highest to the lowest, it was observed that their level of acceptance of violent behavior in terms of emotions is relatively high ($\bar{x}$ =3.42), followed by their thoughts, which are at a moderate level ($\bar{x}$ =3.26), and their behavior, which is also at a moderate level ($\bar{x}$ =3.20). Interview data revealed that most adolescents tend to accept violent behavior in terms of thoughts, as they often consider the reasons behind events and reflect on the potential consequences before speaking. When it comes to emotional acceptance of violent behavior, adolescents tend to control their emotions, maintain composure, and suppress their feelings. In terms of behavioral acceptance, most adolescents tend to avoid confrontations, display indifference, and are capable of self-regulating and refraining from inappropriate actions by letting go.

Keywords: Restraint to Violent Behavior, Violent Behavior, Youth Secondary school

บทนำ

ในสังคมปัจจุบันพฤติกรรมความรุนแรงของเยาวชน มีแนวโน้มเพิ่มความรุนแรงมากขึ้น จากรายงานประจำปี Ending Violence in Childhood: Global Report 2017 ที่จัดทำขึ้นโดย Know Violence in Childhood องค์กรระหว่างประเทศที่เคลื่อนไหวเรื่องการใช้ความรุนแรงในเด็ก รายงานนี้ระบุว่า เด็กและเยาวชน 1 พัน 7 ร้อยล้านคน หรือคิดเป็น 3 ใน 4 ของเด็กและเยาวชนทั่วโลก ตกเป็นเหยื่อหรือมีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้ความรุนแรงทุก ๆ ปี (สุฑาทิพย์ คำเที่ยง, 2562) เนื่องจากปัจจุบันมีข่าวแพร่หลายจำนวนมากที่เยาวชนส่วนมากเกิดจากวัยรุ่นที่เข้าสู่การมีอารมณ์ที่แปรปรวนและมีอารมณ์ร้อนมากขึ้น จึงทำให้เกิดการมีพฤติกรรมที่รุนแรงจากการทะเลาะวิวาทหรือการใช้อาวุธในการทำร้ายร่างกายจนถึงแก่ชีวิต ที่ทำให้ก่อเกิดความสูญเสีย ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดพฤติกรรมความรุนแรงในเยาวชนนั้นเกี่ยวข้องกับการเลี้ยงดูในครอบครัวและกฎเกณฑ์ทางสังคมเป็นอย่างมาก (สถาบันสุขภาพจิตเด็กและวัยรุ่นราชนครินทร์ กรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข, 2556) อาจเกิดมาจากการที่ไม่ได้รับความเอาใจใส่และความดูแลที่ดีจากครอบครัว หรือจากสภาพแวดล้อมที่เด็กไม่มีผู้ดูแลหรือผู้อุปการะเลี้ยงดู ซึ่งมักพบว่า การเลี้ยงดูของพ่อแม่การแข่งขันสูงทางด้านการศึกษา การมุ่งเน้นด้านรายได้ ด้านเศรษฐกิจและค่านิยมที่เปลี่ยนไปทำให้เกิดปัญหาความรุนแรงในสังคมไทย (ดนัย อังควัฒนวิทย์, 2557) และจากสื่อสังคมต่างๆ ที่ทำให้เยาวชนมีความคิดลอกเลียนแบบจากสิ่งต่างๆที่ได้รับรู้ จึงทำให้สามารถมีพฤติกรรมที่รุนแรงได้ ซึ่งภาพที่เลวร้ายในสื่อ อาจเป็นตัวชี้นำการแสดงออกความเก็บกดทางอารมณ์ที่ผิด ๆ ย่อมทำให้เด็กกลุ่มเปราะบางเหล่านี้ มีพื้นฐานเติบโตขึ้นด้วยการใช้ความรุนแรง เพราะ

เห็นว่าเป็นแบบอย่าง อีกทั้งทำให้มีความยับยั้งชั่งใจลดน้อยลง มีความสามารถในการควบคุมอารมณ์ตนเองต่ำได้ (ยงยุทธ วงศ์ภิรมย์ศานติ์, 2560) และปัญหาความรุนแรงทุกวันนี้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสังคมเป็นอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาความรุนแรงในเยาวชนที่เป็นทรัพยากรบุคคลที่ควรให้ความสำคัญในการพัฒนาเพื่อให้เป็นผู้ที่มีคุณภาพในอนาคต ปัญหาอาชญากรรมร้ายแรงทำลายความสงบเรียบร้อยของสังคมส่วนรวม และปัญหาความรุนแรงที่เห็นได้ชัดและกำลังทวีความรุนแรงมากขึ้น คือ การก่อเหตุทะเลาะวิวาทของเยาวชน (จิรพัฒน์ พรหมสิทธิการ,2543) โดยรูปแบบของการก่อเหตุทะเลาะวิวาทนั้นได้มีการพัฒนาความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ เช่น มีการใช้อาวุธปืนหรืออาวุธมีด วัตถุระเบิด อาวุธเป็นปากกา การดัดแปลง อุปกรณ์การเรียนมาใช้เป็นอาวุธการก่อเหตุทะเลาะวิวาทของเยาวชนที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น (โกศล สุภวงษ์, 2526 อ้างถึงใน กนกพร กระจ่างแสงและคณะ, 2561) ส่วนมากเหตุการณ์การทะเลาะวิวาทในแต่ละครั้งมักจะมีผู้บาดเจ็บ หรือแม้กระทั่งเสียชีวิต และรูปแบบการทะเลาะวิวาทนั้นมักจะเกิดขึ้นในที่สาธารณะ เช่น ห้างสรรพสินค้า ป้ายรถประจำทาง บนรถประจำทาง หรือบริเวณหน้าโรงเรียน เป็นต้น ซึ่งทำให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องหรือประชาชนทั่วไปได้รับบาดเจ็บไปด้วย (รุจิราพร หงส์ทอง, 2550)

จากสถานการณ์ในปัจจุบันทำให้คนในสังคมต้องดำเนินชีวิตอย่างมีสติและรอบคอบเพราะสังคมประกอบด้วยคนทุกช่วงวัย ต่างคนต่างความคิด ต่างจิตใจ การจะอยู่ร่วมกันในสังคมนี้ได้ ต้องปรับตัวให้รู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงทางสังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงวัยเยาวชนซึ่งถือเป็นช่วงหัวเลี้ยวหัวต่อของชีวิต เป็นวัยที่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจขาดทักษะการควบคุมตนเอง อาจถูกชักชวนให้กระทำสิ่งต่าง ๆ ในทางที่ผิดหรือทำไปด้วยความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ได้ เยาวชนเป็นวัยที่อยู่ในระยะเปลี่ยนแปลงจากเด็กไปสู่ผู้ใหญ่ เป็นวัยแห่งการปรับตัว และเป็นวัยที่มีความเคร่งเครียดทางอารมณ์ ตัดสินใจเร็วและรุนแรง มักเกิดการทะเลาะวิวาทกันด้วยสาเหตุเพียงเล็กน้อยด้วยอารมณ์เพียงวูบเดียวได้ ก่อให้เกิดการกระทำหรือพฤติกรรมที่ไม่ควบคุมการยั้งคิดไม่มีการวางแผนหรือไตร่ตรองอย่างรอบคอบ มีความแปรปรวนของอารมณ์และจิตใจซึ่งเป็นสาเหตุให้เยาวชนมีพฤติกรรมแปลก ๆ หรือมีการกระทำที่ไม่เหมาะสม อันเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางร่างกาย จิตใจ และสังคม ทั้งนี้ เยาวชนจะดำเนินชีวิตอยู่ได้ในสังคม จะต้องมีสติ รู้จักคิดอย่างไตร่ตรองและมีวิจารณญาณ รู้จักยับยั้งชั่งใจในการควบคุมตนเอง ไม่ให้ทำในสิ่งที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งการควบคุมความคิดเป็นกระบวนการทางปัญญาที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมพฤติกรรมและการเตรียมพร้อมของบุคคลโดยอาศัยกระบวนการกำกับตนเอง (self-regulation) เพื่อเผชิญกับสถานการณ์ต่าง ๆ (Hanmethee, 2015 อ้างอิงใน จันทิมา ขณะรัตน์ และประสาร มาลากุล ณ อยุธยาะ, 2562) ผลกระทบจากการใช้ความรุนแรงพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมความรุนแรงของเยาวชน ได้แก่ ปัจจัยด้านภาวะทางอารมณ์ ปัจจัยด้านทางสังคม และปัจจัยด้านพฤติกรรม ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยข้างต้นมีอิทธิพลต่อความยับยั้งชั่งใจที่ส่งผลต่อการแสดงพฤติกรรมความรุนแรงออกมา กล่าวคือ เยาวชนที่มีพฤติกรรมเหล่านี้จะมีระดับในการควบคุมตนเองต่ำ ส่งผลให้เยาวชนเกิดความสับสน ขาดความเชื่อมั่นในตนเอง ทำให้ตัดสินใจกระทำพฤติกรรมต่าง ๆ ออกไปด้วยความวู่วาม ไม่สามารถควบคุมอารมณ์ มักจะดำเนินชีวิตโดยยึดตามกระแสสังคม อารมณ์ความรู้สึกความปรารถนาต่อสิ่งเร้าที่มายั่วยวน และมีลักษณะบุคลิกภาพแบบหุนหันพลันแล่น ชอบเสี่ยง มักใช้ภาษากายมากกว่าภาษาพูด โกรธและฉุนเฉียวง่าย เช่น แสดงการกระทำรุนแรงออกมาโดยไม่คิด จนไม่สามารถควบคุมการยับยั้งชั่งใจ ส่งผลต่อการตอบสนองที่ผิดพลาดและเกิดผลเชิงลบทั้งต่อตนเองและสังคมในภาพรวมตามมาอีกมากมาย สอดคล้องกับ Gottfredson และHirschi อ้างอิงใน (ณัชชา ชุนช่วยเจริญ และ วราภร ทรัพย์วิระปกรณ์, 2559) ที่กล่าวว่า “เยาวชนที่ไม่สามารถยับยั้งชั่งใจมีแนวโน้มที่จะแสดงพฤติกรรมความรุนแรงหรือก่ออาชญากรรมได้” ซึ่งการก่ออาชญากรรมในเด็กและเยาวชนในจังหวัดเชียงใหม่ ช่วงปี 2563-2565 สถานพินิจและคุ้มครองเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า เป็นเด็กและเยาวชนเพศชายมากกว่าเพศหญิง อยู่ในช่วง อายุ 15-19 ปี มากที่สุด จำนวนคดีที่มีแนวโน้มลดลง จากปี 2564 จำนวนคดี 351 คดี ปี 2565 จำนวนคดี 250 คดี ลดลง 101 คดี คิดเป็นร้อยละ 28.7 เด็กและเยาวชนที่กระทำความผิดซ้ำลดลง จากปี 2564 จำนวน 13 คน ในปี 2565 จำนวน 4 คน ลดลง 9 คน

คิดเป็นร้อยละ 69.2 ปัญหาสุขภาพจิตและจิตเวชที่พบมากที่สุดอยู่ใน กลุ่มโรคที่มีความผิดปกติทางอารมณ์ (สถาบันพัฒนาการเด็กราชรินทร์, 2565) การเสียชีวิต บาดเจ็บและพิการจากการถูกทำร้ายเป็นภาระและความสูญเสียทางสังคม ทั้งนี้ผลกระทบไม่ได้เกิดเฉพาะกับผู้ถูกกระทำ หรือผู้กระทำเท่านั้น หากแต่ยังมีผลกระทบต่อครอบครัว กลุ่มเพื่อน ต่อชุมชนและสังคมโดยรวมที่ต้องสูญเสีย เจ็บปวด จากผลลัพธ์ของความรุนแรงดังกล่าว ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ปรากฏให้เห็นเป็นข่าวตามสื่อต่างๆ เกี่ยวกับนักเรียนวัยรุ่นก่อเหตุทะเลาะวิวาท ยกพวกตีกัน ทำร้ายร่างกายอาจถึงขั้นเสียชีวิตทำลายทรัพย์สินของส่วนรวม การใช้ภาษาถ้อยคำที่รุนแรง ข่มขู่ ตำหนิติเตียน กล่าวโทษผู้อื่น ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้อาจถือได้ว่าเป็นพฤติกรรมที่รุนแรงทั้งสิ้น

จากปัญหาของการความยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชนดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเห็นว่าปัญหาการใช้ความรุนแรงของเยาวชน ส่งผลกระทบกับผู้ที่เกี่ยวข้องและประชาชนทั่วไปเป็นอย่างมาก หากปัญหานี้ยังไม่ได้รับการป้องกันและแก้ไขอาจก่อให้เกิดความเสียหายทั้งที่ประเมินได้และไม่ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน ว่ามีความยับยั้งชั่งใจของตนเองมากน้อยเพียงใด และสามารถยับยั้งได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ อันจะช่วยให้เหล่าเยาวชนปัจจุบันและอนาคตต่อไปของชาติได้เจริญเติบโตเป็นผู้ใหญ่ที่ดี และทำให้สังคมการใช้ชีวิตของเยาวชน และบุคคลทั่วไปทั้งหมดมีความสงบสุข เป็นที่ปรองดองกันต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สพม.34 เขต 1 อำเภอเมืองเชียงใหม่

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) เพื่อศึกษาความยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สพม.34 เขต 1 อำเภอเมืองเชียงใหม่

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ เยาวชนโรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สพม.34 เขต 1 อำเภอเมืองเชียงใหม่ จำนวน 5,760 คน (2566, 10 มิถุนายน) เป็นเยาวชน ช่วงอายุ 15 – 18 ปี มีทั้งหมดจำนวน 4 โรงเรียน ได้แก่ (1) โรงเรียนกาวิละวิทยาลัย จำนวน 1,019 คน, (2) โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จำนวน 2,506 คน, (3) โรงเรียนวัฒโนทัยพายัพ จำนวน 1,917 คน, และ (4) โรงเรียนหอพระ จำนวน 318 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ โรงเรียนกาวิละวิทยาลัย เชียงใหม่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 – 6 จำนวน 285 คน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน โดยเริ่มจากการสุ่มแบบกลุ่ม ใช้วิธีการสุ่มอย่างง่ายโดยการจับฉลากรายชื่อโรงเรียน จำนวน 1 โรงเรียน คือ โรงเรียนกาวิละวิทยาลัย เชียงใหม่ ขั้นตอนถัดไป คือ การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ โดยใช้ระดับชั้นเป็นชั้น

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ระดับชั้น	จำนวนประชากร (คน)	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (คน)
มัธยมศึกษาปีที่ 3	223	62
มัธยมศึกษาปีที่ 4	254	71
มัธยมศึกษาปีที่ 5	303	85
มัธยมศึกษาปีที่ 6	239	67
รวม	**1,019**	**285**

เครื่องมือที่ใช้รวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลวิจัย แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือแบบสอบถาม และแบบสัมภาษณ์ ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

1. แบบสอบถามการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นคำถามเลือกตอบ ได้แก่ เพศ อายุ สภาพการศึกษา

ส่วนที่ 2 แบบสอบถาม เรื่อง การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน โดยแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ 1. ด้านความคิด จำนวน 6 ข้อ 2. ด้านอารมณ์ จำนวน 6 ข้อ 3. ด้านพฤติกรรม จำนวน 10ข้อ รวมทั้งหมด จำนวน 22 ข้อ มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ คือ เห็นด้วยมากที่สุด เห็นด้วยมาก เห็นด้วยปานกลาง เห็นด้วยน้อย เห็นด้วยน้อยที่สุด โดยมีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 และค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ .899

2. แบบสัมภาษณ์การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน มีรายละเอียด ดังนี้ แบบการสัมภาษณ์การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน ผู้วิจัยได้สร้างแบบสัมภาษณ์ขึ้น โดยกำหนดเป็นสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ทั้งหมด 3 สถานการณ์ โดยมีประเด็นคำถามสถานการณ์ละ 6 ข้อ ครอบคลุมทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ 1. ด้านความคิด 2. ด้านอารมณ์ 3. ด้านพฤติกรรม มีค่าความเหมาะสมของแบบสัมภาษณ์เท่ากับ 4.67

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. ผู้วิจัยดำเนินการขอหนังสือขอความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล จากคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

2. ผู้วิจัยดำเนินการประสานกับทางโรงเรียนเพื่อนำหนังสือขอขอความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล เพื่อชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลให้กับทางผู้อำนวยการโรงเรียน คุณครู และนักเรียนในการอนุญาตให้เก็บข้อมูลวิจัย

3. ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง ตามวันเวลาที่ทางโรงเรียนกำหนด โดยขอความร่วมมือจากนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 – 6 โรงเรียนกาวิละวิทยาลัย เชียงใหม่ และอธิบายวัตถุประสงค์ของการวิจัย ตลอดจนวิธีการตอบแบบสอบถาม และการตอบแบบสัมภาษณ์

4. ผู้วิจัยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยพิจารณาจากความสมบูรณ์ และวิธีการตอบแบบสอบถามและการตอบแบบสัมภาษณ์ นำมารวบรวม แล้วให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด

5. ผู้วิจัยนำข้อมูลที่รวบรวมมาได้ไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ผู้วิจัยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป มีรายละเอียดในการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งใช้ค่าสถิติ ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ การแจกแจงความถี่ (Frequency) และค่าร้อยละ (Percentage)

2. ข้อมูลแบบสอบถามการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

3. ข้อมูลการสัมภาษณ์ ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การสังเคราะห์เนื้อหา (content synthesis)

ผลการศึกษา

ในการวิจัยครั้งนี้ เยาวชนผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 177 คน (ร้อยละ 62.11) และเป็นเพศชาย จำนวน 108 คน (ร้อยละ 37.89) ส่วนใหญ่อายุ 15 ปี จำนวน 88 คน (ร้อยละ 31.87) รองลงมาอยู่ในช่วงอายุ 16 ปี จำนวน 86 คน (ร้อยละ 30.17) อายุ 17 ปี จำนวน 75 คน (ร้อยละ 26.32) และอายุ 18 ปี จำนวน 36 คน (ร้อยละ 12.63)

ผลของการศึกษา พบว่า การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านความคิดของเยาวชน โดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$ =3.26) เมื่อพิจารณารายด้าน เรียงลำดับจากมากไปน้อย พบว่า ระดับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านอารมณ์ของเยาวชน มีระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =3.42) รองลงมาคือ ระดับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านความคิดของเยาวชน ($\bar{x}$ =3.26) และระดับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านพฤติกรรมของเยาวชน มีระดับน้อยที่สุด ($\bar{x}$ =3.20) ตามลำดับ และ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ พบว่า เยาวชนส่วนใหญ่ในด้านความคิดจะสามารถยั้งคิดไตร่ตรองก่อนที่จะพูด โดยเยาวชนมักจะนึกถึงเหตุผลของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในการทบทวนตัวเอง และคำนึงถึงผลกระทบที่อาจจะตามมา และเยาวชนส่วนใหญ่ในด้านอารมณ์ เยาวชนจะควบคุมอารมณ์และตั้งสติ โดยระงับอารมณ์ด้วยการใจเย็น และการยับยั้งชั่งใจในด้านพฤติกรรมเยาวชนส่วนใหญ่มักจะแสดงพฤติกรรมด้วยการหลีกเลี่ยงการเผชิญหน้า แสดงท่าทีเมินเฉย สามารถควบคุมพฤติกรรมและการกระทำที่ไม่เหมาะสมของตนเองโดยการปล่อยผ่าน เป็นต้น

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D (Standard deviation) ของการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 – 6 โรงเรียนกาวิละวิทยาลัย เชียงใหม่

ข้อความ	$\bar{x}$	S.D	ระดับ
ด้านความคิด	3.26	0.56	ปานกลาง
ด้านอารมณ์	3.42	0.73	ปานกลาง
ด้านพฤติกรรม	3.20	0.59	ปานกลาง
สรุป	**3.29**	**0.51**	**ปานกลาง**

จากตารางที่ 8 พบว่า ระดับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน โดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$ =3.29) เมื่อพิจารณารายด้าน เรียงลำดับจากมากไปน้อย พบว่า ระดับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านอารมณ์ของเยาวชน มีระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =3.42) รองลงมาคือ ระดับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านความคิดของเยาวชน ($\bar{x}$ =3.26) และระดับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านพฤติกรรมของเยาวชน มีระดับน้อยที่สุด ($\bar{x}$ =3.20) ตามลำดับ

ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการสังเคราะห์เนื้อหาของแบบสัมภาษณ์การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สพม.34 เขต 1 อำเภอเมืองเชียงใหม่

จากการศึกษาพบว่า เยาวชนโรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สพม.34 เขต 1 อำเภอเมืองเชียงใหม่ มีความยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรง ประกอบด้วยทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความคิด ด้านอารมณ์ ด้านพฤติกรรม โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการสังเคราะห์เนื้อหาของการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านความคิดของเยาวชน โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สพม.34 เขต 1 อำเภอเมืองเชียงใหม่

ด้านความคิด ในความเห็นของผู้ให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรง ผู้ให้สัมภาษณ์มีความเห็นดังต่อไปนี้

จากการสัมภาษณ์จะเห็นได้ว่าเยาวชนส่วนใหญ่จะสามารถยั้งคิดไตร่ตรองก่อนที่จะพูด โดยเยาวชนมักจะนึกถึงเหตุผลของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในการทบทวนตัวเอง และคิดถึงผลกระทบที่อาจจะตามมา เช่น ผู้ให้ข้อมูล 1 ให้สัมภาษณ์ว่า “ต้องใช้เหตุผลกลับมาคิดทบทวนว่าเราไปทำอะไรให้เขาไหม เขาถึงมาต่อว่าเรา” โดยสอดคล้องกับผู้ให้ข้อมูล 2 ให้สัมภาษณ์ว่า “ถามด้วยเหตุผลว่าเราได้ไปทำอะไรให้เขาหรือเปล่า” อีกทั้งสอดคล้องกับผู้ให้ข้อมูล 3 ให้สัมภาษณ์ว่า “มีสติว่าเราไม่ได้ไทำอะไรคิดอยู่ตลอดว่าเราไม่ได้ไปทำอะไรให้เขา”

เยาวชนในบางส่วนก็มีความคิดที่ไม่ยอมให้โดนกระทำอยู่ฝ่ายเดียว จึงตอบโต้ด้วยคำพูดที่รุนแรงไปบ้าง จนไม่สามารถยับยั้งตนเองได้ เช่น ผู้ให้ข้อมูลคนที่ 1 ให้สัมภาษณ์ว่า “เพราะอีกฝ่ายพูดว่าแน่จริงก็เข้ามาต่อยกูดิ เราก็โต้ตอบไปว่า ก็มาดิวะ จนอาจจะทำให้มีปากเสียงกันบ้าง” เป็นต้น

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการสังเคราะห์เนื้อหาของการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านอารมณ์ของเยาวชน โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สพม.34 เขต 1 อำเภอเมืองเชียงใหม่

ด้านอารมณ์ ในความเห็นของผู้ให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรง ผู้ให้สัมภาษณ์มีความเห็นดังต่อไปนี้

จากการสัมภาษณ์จะเห็นได้ว่าเยาวชนส่วนใหญ่จะควบคุมอารมณ์และตั้งสติ โดยระงับอารมณ์ด้วยการใจเย็น เช่น ผู้ให้ข้อมูล 1 ให้สัมภาษณ์ว่า “เราต้องควบคุมอารมรณ์ มีสติว่าเราไม่ได้ไปทำอะไรให้เขา” อีกทั้งสอดคล้องกับผู้ให้ข้อมูล 2 ให้สัมภาษณ์ว่า “ถ้าควบคุมได้ ก็จะพยายามที่จะใจเย็นที่สุด”

เยาวชนในบางส่วนที่อาจจะมีความรู้สึกที่โกรธ โมโห หงุดหงิด และไม่พอใจ แต่ก็สามารถควบคุมไม่ให้แสดงอารมณ์ที่รุนแรงออกไป เช่น ผู้ให้ข้อมูล 1 ให้สัมภาษณ์ว่า “อาจจะมีความรู้สึกเคืองๆ หรือหงุดหงิดหน่อย แต่ก็ไม่อยากให้เรื่องมันบานปลาย ก็ต้องใช้เหตุผลคุยกันเพื่อให้ใจเย็นกันทั้งสอง” เป็นต้น

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการสังเคราะห์เนื้อหาของการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงด้านพฤติกรรมของเยาวชน โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สพม.34 เขต 1 อำเภอเมืองเชียงใหม่

ด้านพฤติกรรม ในความเห็นของผู้ให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรง ผู้ให้สัมภาษณ์มีความเห็นดังต่อไปนี้

จากการสัมภาษณ์จะเห็นได้ว่าเยาวชนส่วนใหญ่จะแสดงพฤติกรรมด้วยการหลีกเลี่ยงการเผชิญหน้า แสดงท่าทีเมินเฉย สามารถควบคุมพฤติกรรมและการกระทำที่ไม่เหมาะสมของตนเองโดยการปล่อยผ่าน เช่น ผู้ให้ข้อมูล 1 ให้สัมภาษณ์ว่า “ไม่สนใจคำพูด ปล่อยผ่านเลย และควบคุมพฤติกรรมตนเองด้วยการเดินหนี” อีกทั้งสอดคล้องกับผู้ให้ข้อมูล 2 ให้สัมภาษณ์ว่า “แสดงพฤติกรรมด้วยการเดินหนีออกไป” ทั้งสอดคล้องกับผู้ให้ข้อมูล 3 ให้สัมภาษณ์ว่า “เดินหนี ไม่ยุ่งด้วย”

เยาวชนในบางส่วนแสดงพฤติกรรมด้วยการไม่เดินหนีอีกฝ่าย พยายามพูดคุยเพื่อสร้างความเข้าใจ และหาทางออกด้วยการขอความช่วยเหลือจากคุณครู เช่น ผู้ให้ข้อมูล 1 ให้สัมภาษณ์ว่า “จะไม่เดินหนี ก็อยู่ให้เขาเห็นไปเลย แต่จะพูดคุยกับเขาดีๆ แล้วหาทางออกด้วยการเคลียร์ใจกันด้วยเหตุผลมากกว่า” เป็นต้น

วิจารณ์และสรุปผล

การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชนอยู่ในระดับ ปานกลาง โดยเยาวชนส่วนใหญ่เมื่อเผชิญกับสถานการณ์ทางลบก็จะเกิดการยั้งคิดไตร่ตรองก่อนที่จะพูด โดยเยาวชนจะทบทวนตัวเองต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้น และคำนึงผลกระทบที่อาจจะตามมา ส่งผลให้เยาวชนควบคุมอารมณ์และตั้งสติได้ผ่านการคิดเชิงสาเหตุ และเกิดความยับยั้งชั่งใจไม่แสดงพฤติกรรมไม่ที่ไม่เหมาะสม แต่จะพยายามหลีกเลี่ยงการเผชิญหน้า ด้วยการแสดงท่าทีเมินเฉยต่อสถานการณ์ทางลบนั้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า เยาวชนเกิดการคิดทบทวนแยกแยะสิ่งที่เป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ข้อเท็จจริง และการตีความออกจากกันได้อย่างชัดเจน ทำให้ไม่เกิดความเข้าใจผิดจนก่อให้เกิดอารมณ์ทางลบและนำไปสู่การแสดงพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมได้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการบำบัดทางความคิดและพฤติกรรม (Cognitive behavioral therapy) หรือ CBT ที่ให้ความสำคัญกับหลักคิด เน้นเรื่องของสิ่งที่เห็นได้ สัมผัสได้มากกว่าการคิดเองที่อยู่ในใจ โดยที่ในการบำบัดเน้นให้เข้าใจความแตกต่างระหว่าง ข้อเท็จจริง ความคิดเห็น และการตีความ พร้อมกับระลึกได้ว่าความคิดเห็นหรือการตีความนั้นอาจจะจริงหรือไม่จริงก็ได้ขึ้นอยู่กับหลักฐานหรือข้อมูลที่มี ดังนั้นเมื่อเราคิดอะไรขึ้นมาก็ตามจึงไม่ควรด่วนสรุปหรือเชื่อไปตามนั้น ควรไตร่ตรองให้รอบคอบก่อนว่าสิ่งที่คิดนั้นมีหลักฐานสนับสนุนหรือคัดค้านอย่างไร (ณัทธร พิทยะรัตน์เสถียร: 2565)

นอกจากนี้ การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชนยังสามารถแบ่งได้ทั้งหมด 3 ด้านดังนี้

ด้านที่ 1 การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน ด้านความคิด พบว่า เยาวชนส่วนใหญ่มีความยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรง ด้านความคิด อยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจากเยาวชนส่วนใหญ่สามารถคิดไตร่ตรอง จัดการและป้องกันควบคุมความคิดตนเองโดยการไม่คิดไปในทางด้านลบ และควบคุมความต้องการของตนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยเยาวชนได้คิดวิเคราะห์อยู่เสมอว่าบางทีที่โดนพูดจาเสียดสี หรือการโดนดูถูก ไม่ได้เป็นความจริงทั้งหมด จึงทำให้เยาวชนสามารถหยุดยั้งความคิดที่รุนแรงได้ในเวลาที่สมควรโดยอาศัยสมาธิและเหตุผลเป็นตัวช่วย สอดคล้องกับทฤษฎีของ Cognitivism ปัญญานิยมหรือทฤษฎีความรู้ความเข้าใจ เชื่อว่าการเรียนรู้เป็นสิ่งที่มากกว่าผลของการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้า–การตอบสนอง โดยให้ความสนใจในกระบวนการภายในที่เรียกว่า ความรู้ความเข้าใจหรือการรู้คิดของมนุษย์ และสอดคล้องกับแนวคิดของ Haenjohn อ้างอิงจาก (นายฎาว แสงวัณณ์, 2566) ระบุถึงสมองมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับอารมณ์ การได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าผ่านการมอง สมองจะแปลความหมายส่วนที่มองเห็นและข้อมูลจะถูกส่งผ่านกระแสประสาทไปยังสมองในส่วนต่าง ๆ ทำให้เกิดการตอบสนองเพื่อเตรียมพร้อมต่อการเกิดปฏิกิริยาที่จะต้องสู้หรือที่จะต้องหนี กระแสประสาทสามารถส่งตรงไปยังก้านสมองซึ่งจะตอบสนองโดยทำหน้าที่พื้นฐาน สมองที่ทำหน้าที่บริหารจัดการคิดวิเคราะห์

ไตร่ตรองให้เหตุผลเพื่อการตัดสินใจ คือ สมองส่วนหน้าสมองส่วนนี้ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอมิกดาลา บริหารจัดการในการจำเพื่อนนำมาใช้งาน การยั้งคิด การยืดหยุ่นทางความคิด การให้เหตุผลเชิงจริยธรรม ความเชื่อมโยงของสมองและอารมณ์ใช้เพื่อพัฒนาให้อารมณ์เป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดความงอกงาม ป้องกันปัญหาต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัย อัญชลี วิจิตรปัญญา และคณะ (2565 : ออนไลน์) ที่ศึกษาการพัฒนาโปรแกรมการบำบัดทางความคิดและพฤติกรรมร่วมกับการฝึกการควบคุมตนเองในผู้ป่วยจิตเวชที่มีพฤติกรรมรุนแรง : ในด้านความคิดและอารมณ์ต่อพฤติกรรม กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ป่วยจิตเวชที่มารับการรักษา ณ แผนกผู้ป่วยในโรงพยาบาลจิตเวชเลย ราชนครินทร์ จำนวน 50 คน ผลการศึกษาพบว่า ผู้ป่วยจิตเวชกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ ก่อนทดลองผู้ป่วยจิตเวชมีความคิดและอารมณ์ต่อพฤติกรรมรุนแรงอยู่ในภาวะสูง หลังทดลองเกิดการเปลี่ยนความคิดที่เหมาะสมและแสดงออกทางความคิด พฤติกรรม อารมณ์ไปในทางที่ดีขึ้น เป็นการใช้กระบวนการและเทคนิคการเรียนรู้ใช้การเปรียบเทียบการบำบัดทางความคิดและพฤติกรรม ของ (Cognitive Behavior Therapy: CBT)

ด้านที่ 2 การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน ด้านอารมณ์ จากการศึกษาพบว่าเยาวชนส่วนใหญ่มีความยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรง ด้านอารมณ์ อยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจาก เยาวชนส่วนใหญ่สามารถรับรู้การใช้อารมณ์ในเหตุการณ์นั้นว่าควรหรือไม่ มีสติในการมองสถานการณ์ตามความเป็นจริง มีการแสดงอารมณ์ที่มีลักษณะต่าง ๆ ออกไปอย่างเหมาะสม เช่น การพูดคุยไปในทิศทางที่สามารถเกลี่ยกล่อมอารมณ์กันได้โดยการพูดเรื่องที่เข้าใจกันทั้งสองฝ่าย หรือสามารถเบี่ยงเบนออกไปจากเหตุการณ์หรือสถานที่ตรงนั้น เยาวชนมักเรียนรู้การควบคุมอารมณ์จากการที่ไม่วอกแวกกับสิ่งกระตุ้น เช่น คำพูดหรือท่าทางที่ส่อให้เรารู้สึกโกรธขึ้นมา ซึ่งก็สามารถสงบสติอารมณ์และยับยั้งชั่งใจไม่ให้เกิดอารมณ์ที่รุนแรงออกไปได้ สอดคล้องกับแนวคิดของ Aaron T. Beck ที่อธิบายว่า อารมณ์ ความคิด พฤติกรรมและร่างกายของมนุษย์มีความสัมพันธ์กัน การเปลี่ยนแปลงที่ส่วนใดส่วนหนึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วนอื่น ๆ ตามมาด้วยการบำบัดแบบ CBT ไม่ว่าจะเป็นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม ความคิด หรืออารมณ์ ความรู้สึก ซึ่งเน้นให้ทบทวนเกี่ยวกับความคิดและการปรับเปลี่ยนความคิดต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้น (ภมรพรรณ ยุระยาตร์, 2565) และสอดคล้องกับหลักการของการมีสติ (Mindfulness) คือ คุณลักษณะของบุคคลที่จะสามารถมุ่งใส่ใจต่อปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอยู่ในปัจจุบันขณะ โดยส่งผ่านจากขณะหนึ่งสู่ขณะหนึ่งในลักษณะที่ต่อเนื่องกัน โดยที่บุคคลยอมรับและเปิดรับต่อประสบการณ์โดยไม่ประเมิน วิเคราะห์ และตัดสิน ซึ่งเป็นการยอมรับต่อประสบการณ์หรือปรากฏการณ์นั้น ๆ อย่างสมบูรณ์ (คณะจิตวิทยา : 2561) จากการที่เยาวชนมีสติรับรู้เหตุการณ์ตามความเป็นจริงทำให้ไม่ตัดสินเหตุการณ์นั้น ๆ โดยทันที ทำให้เกิดการยับยั้งชั่งใจควบคุมอารมณ์เชิงลบได้ และสอดคล้องกับหลักการของ การกำกับอารมณ์ (Emotional regulation) คือ ความสามารถที่จะตอบสนองทางอารมณ์ต่อปรากฏการณ์ให้มีความเหมาะสม โดยอยู่ทั้งในรูปแบบของการตอบสนองโดยธรรมชาติและการชะลอการตอบสนองโดยธรรมชาติ (ฎาว แสงวัณณ์, 2559) อีกทั้งสอดคล้องกับ งานวิจัย จันทิมา ขณะรัตน์ และประสาร มาลากุล ณ อยุธยา (2562 : 15-30) ที่ศึกษาการยับยั้งชั่งใจของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต : ในด้านวุฒิภาวะทางอารมณ์ กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2560 มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต จำนวน 375 คน ผลการศึกษาพบว่า นักศึกษากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีวุฒิภาวะทางอารมณ์ในการยับยั้งชั่งใจอยู่ในระดับปานกลาง

ด้านที่ 3 การยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชน ด้านพฤติกรรม จากการศึกษาพบว่าเยาวชนส่วนใหญ่มีความยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรง ด้านพฤติกรรม อยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจาก เยาวชนส่วนใหญ่จะพยายามควบคุมตัวเองโดยแสดงพฤติกรรมด้วยการหลีกเลี่ยง และแสดงท่าทีเมินเฉย สามารถอดทนอดกลั้น ต่อต้าน หรือชะลอแรงกระตุ้นที่ผลักดันให้แสดงพฤติกรรมที่รุนแรง โดยเยาวชนจะรู้จักยับยั้งพฤติกรรมของตนเองไม่ให้ทำในสิ่งที่ไม่ถูกต้อง เพราะไม่สามารถรับมือกับผลกระทบที่จะตามมาได้ โดยเยาวชนเรียนรู้ที่จะพูดคุยด้วยเหตุผล เพื่อไม่ให้เกิดพฤติกรรมที่รุนแรงที่ไม่เหมาะสมออกไป จึงสอดคล้องกับทฤษฎีของ John

B. Watson ทฤษฎีการเรียนรู้กลุ่มพฤติกรรมนิยม (Behaviorism) เป็นการศึกษาพฤติกรรมที่สามารถสังเกตภายนอกได้ และเน้นความสำคัญของสิ่งแวดล้อม พฤติกรรมทุกอย่างจะต้องมีสาเหตุ และสาเหตุนั้นมาจากวัตถุหรือเรียกสิ่งเร้า (Stimulus) เมื่อมากระตุ้นสิ่งเร้าจะมีพฤติกรรมแสดงออกมาเรียกว่าการตอบสนอง ซึ่งก็คือพฤติกรรม และสอดคล้องกับแนวคิดของ Aaron T. Beck แอรอน เบ็ค ที่ให้ความหมายของ CBT ว่าเป็นระบบการบำบัดทางจิตที่พยายามลดปฏิกิริยาทางอารมณ์ที่มีมากเกินไป (Excessive Emotional Reactions) และพฤติกรรมที่ทำร้ายตัวเอง (Self-Defeating) โดยปรับเปลี่ยนความคิดที่มีความคลาดเคลื่อนบิดเบือนจากความจริง รวมทั้งความเชื่อที่ทำให้การปรับตัวไม่เหมาะสมและเป็นสาเหตุของการเปิดพฤติกรรมที่แสดงออกมา (ณัทธร พิทยะรัตน์เสถียร : 2565) ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัย กนกพร กระจ่างแสง และคณะ (2561 : ออนไลน์) ที่ศึกษาปัจจัยเชิงสาเหตุที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงต่อผู้อื่นของวัยรุ่นตอนกลาง : ในด้านพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงต่อผู้อื่น กลุ่มตัวอย่าง คือ วัยรุ่นตอนกลางที่มีอายุตั้งแต่ 17 –19 ปี ในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 383 คน ผลการศึกษาพบว่า วัยรุ่นตอนกลางกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงต่อผู้อื่น อยู่ในระดับน้อย

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. องค์กรทั้งภาครัฐและเอกชนรวมไปถึงสถาบันการศึกษาควรศึกษาองค์ประกอบและแบบวัดการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของเยาวชนก่อนนำไปใช้ เพื่อให้เกิดความเข้าใจและเหมาะสมกับกลุ่มที่มีช่วงวัยในระดับเยาวชน โดยต้องวัดให้ครอบคลุมครบทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ความคิด อารมณ์ และพฤติกรรม

2. องค์กรทั้งภาครัฐและเอกชนรวมไปถึงสถาบันการศึกษา สร้างความตระหนักและกระตุ้นการเรียนรู้ในเรื่องการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงให้กับเยาวชน ชี้ให้เห็นความสำคัญทั้งข้อดีและข้อเสียที่ตามมาของการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงของตนเอง ให้เหมาะสมและถูกต้อง

3. องค์กรทั้งภาครัฐและเอกชนรวมไปถึงสถาบันการศึกษาควรส่งเสริม สนับสนุนให้มีการปลูกฝังความยับยั้งชั่งใจ ให้เยาวชนครอบคลุมทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ความคิด อารมณ์ และพฤติกรรม โดยให้จัดอบรมในรูปแบบของการเรียนรู้โดยใช้สถานการจำลองเสมือนจริง เพื่อให้เยาวชนเรียนรู้ผ่านประสบการณ์และได้ฝึกการยับยั้งชั่งใจทั้ง 3 ด้าน

4. สถาบันการศึกษาควรส่งเสริมและกระตุ้นให้เยาวชนได้มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันให้มากขึ้นโดยการจัดกิจกรรมเรียนรู้และตระหนักถึงการยับยั้งชั่งใจต่อตนเองและผู้อื่นให้กับเยาวชน

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาการออกแบบงานวิจัยเพิ่มเติม ในกลุ่มเยาวชนที่ไม่ได้อยู่ในสถานศึกษาที่มีสภาพแวดล้อมตามบริบทของชุมชนที่มีความแตกต่างกัน

2. ควรนำการศึกษาของการยับยั้งชั่งใจต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงไปพัฒนา ในการจัดกระบวนการเรียนรู้แนวทางการยับยั้งชั่งใจ สำหรับเด็กและเยาวชนทุกเพศทุกวัย ที่อยู่ในและนอกระบบการศึกษาที่เป็นชุมชนต่าง ๆ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้อำนวยการโรงเรียน คณะครู และ นักเรียนโรงเรียนกาวิละวิทยาลัย เชียงใหม่ ที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามและให้ข้อมูลเพื่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กนกพร กระจ่างแสง และคณะ. (2561). ปัจจัยเชิงสาเหตุที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้ความรุนแรงต่อผู้อื่นของวัยรุ่นตอนกลาง. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี**, ปีที่ 12 ฉบับที่ 27, หน้า 97–110.

คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2561, 16 กุมภาพันธ์). ***Mindfulness – สติ.***

จิรพัฒน์ พรหมสิทธิการ. (2543). **ปัจจัยที่มีผลต่อการทะเลาะวิวาทของนักเรียนอาชีวศึกษา: ศึกษากรณีเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.** วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทิมา ขณะรัตน์ และ ประสาร มาลากุล ณ อยุธยา. (2562). การศึกษาการยับยั้งชั่งใจของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต. **วารสารเกษมบัณฑิต**, ปีที่ 20 ฉบับที่ 2, หน้า 15–30.

ฏาว แสงวัณณ์. (2559). **การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสติ การกำกับอารมณ์แบบปรับเปลี่ยนความคิด การกำกับอารมณ์แบบเก็บกด และสุภาวะทางจิต**. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัทธร พิทยะรัตน์เสถียร. (2565). **Basic Skills in CBT**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณัชชา ชุนช่วยเจริญ และวรากร ทรัพย์วิระปกรณ์. (2559). ผลการปรึกษากลุ่มเกสตัลท์ต่อการยับยั้งชั่งใจของเยาวชนที่กระทำผิดซ้ำ. **วารสารพยาบาลตำรวจ,** ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 , หน้า 60–67.

ดนัย อังควัฒนวิทย์. (2557). **ปัญหาความรุนแรงในเด็กและวัยรุ่น.** คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

ภมรพรรณ ยุระยาตร์. (2565). **จิตบำบัดรายบุคคลเบื้องต้น.** หจก.อภิชาติการพิมพ์ จังหวัดมหาสารคาม.

ยงยุทธ วงศ์ภิรมย์ศานติ์. (2560). **ความรุนแรงสัมพันธ์การเลี้ยงดู.** สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.). https://www.thaihealth.or.th/?p=256191

รุจิราพร หงส์ทอง. (2550). **การจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการเฝ้าระวังและเตือนเหตุการณ์ทะเลาะวิวาทของนักเรียนระดับอาชีวศึกษา เขตมีนบุรีกรุงเทพมหานคร.**

สุฑาทิพย์ คำเที่ยง. (2562). **ความรุนแรงในเด็กและเยาวชน : ตั้งใจ หรือ แค่พลั้งเผลอ.** ศูนย์สมเด็จพระเทพรัตนฯ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

สถาบันพัฒนาการเด็กราชรินทร์. (2565). **แผนบูรณาการขับเคลื่อนการดูแลสุขภาพจิตและจิตสังคมของเด็กและเยาวชน จังหวัดเชียงใหม่.**

สถาบันสุขภาพจิตเด็กและวัยรุ่นราชนครินทร์ กรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข. (2556). **แนวทางการดูแลช่วยเหลือวัยรุ่นที่มีพฤติกรรมความรุนแรง.**

อัญชลี วิจิตรปัญญา และคณะ. (2565). ที่ศึกษาการพัฒนาโปรแกรมการบำบัดทางความคิดและพฤติกรรมร่วมกับการฝึกการควบคุมตนเองในผู้ป่วยจิตเวชที่มีพฤติกรรมรุนแรง. **วารสารการพยาบาลจิตเวชและสุขภาพจิต,** ปีที่ 36 ฉบับที่ 1, หน้าที่ 120–147.

การถูกคุกคามทางเพศและวิธีป้องกันตนเองจากการถูกคุกคามทางเพศของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Sexual harassment and Self-protection from sexual harassment among Chiang Mai Rajabhat University students

ศศินภา สียะกาศ[1*] และ ธนะดี สุริยะจันทร์หอม[1]

Sasinapa Siyakat[1*]and Thanadee Suriyachanhom[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1. เพื่อศึกษาการถูกคุกคามทางเพศของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 2. เพื่อศึกษาแนวทางป้องกันตนเองเมื่อต้องเผชิญกับการถูกคุกคามทางเพศ การศึกษาครั้งนี้เป็นวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) โดยใช้แบบสัมภาษณ์ ในการเก็บข้อมูล นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 6 คนการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยในครั้งนี้ ใช้การสังเคราะห์เนื้อหา (Content synthesis)

ผลการศึกษาพบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่ถูกคุกคามทางเพศและมีประสบการณ์ในการถูกคุกคามทางเพศโดยผู้คุกคามมักเป็นเพศตรงข้าม ด้านการคุกคามทางเพศด้านทางกาย มักจะถูกสัมผัสบริเวณหัวเข่า สะโพก ขาอ่อน แขน จากการนั่งใกล้ชิดกัน ด้านการถูกคุกคามทางเพศทางสายตา มักจะถูกจ้องมองรูปร่างหน้าตาหรือ หน้าอก ด้านการถูกคุกคามทางเพศทางวาจา มักจะถูกบุคคลอื่นพูดจากระเซ้าเย้าแหย่ตอนที่อยู่คนเดียว และด้านถูกการคุกคามทางเพศทางออนไลน์ ทั้งเพศชายและเพศหญิงมีการถูกคุกคามทางเพศ โดยแสดงความคิดเห็นส่อในทางเพศใต้รูปภาพของตนเอง โดยผู้กระทำจะเป็นเพศตรงข้ามกับผู้ถูกกระทำ ยกเว้นเพศทางเลือกซึ่งถูกกระทำโดยทั้งเพศหญิง เพศชาย และ เพศทางเลือก แนวทางป้องกันตนเองเมื่อต้องเผชิญกับการถูกคุกคามทางเพศ นักศึกษาป้องกันโดยหลีกเลี่ยง เช่น หากรู้ตัวว่ากำลังถูกลูบไล้ ก็จะต่อว่าหรือปฏิเสธตามตรงว่าไม่ชอบ แล้วพยายามออกมาจากที่ตรงนั้น หรือ แกล้งเป็นไม่สนใจเพิกเฉย หรือทางออนไลน์จะโต้กลับด้วยการพิมพ์ต่อว่ากลับไป หรือกดรายงานบัญชีผู้ใช้นั้น

คำสำคัญ: การถูกคุกคามทางเพศ ,วิธีป้องกันตนเอง, นักศึกษา

[1] คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50180

[1] Faculty of Education, Chiang Mai Rajabhat University, Chiangmai, 50180

* Corresponding author: ssasinapa06@gmail.com

Abstract

The objectives of this study are as follows: 1. To investigate incidents of sexual harassment among students at Chiang Mai Rajabhat University. 2. To study self-protection strategies when facing incidents of sexual harassment. This study is conducted as qualitative research, using interviews as the data collection method. A total of six students from Chiang Mai Rajabhat University were interviewed. Data analysis for this research involves content synthesis.

The study's findings revealed that the majority of students have experienced sexual harassment, typically perpetrated by individuals of the opposite sex. In terms of physical harassment, students reported being touched in sensitive areas such as knees, hips, thighs, and arms, often in situations where they were in close proximity. When it came to visual harassment, students mentioned experiencing leering looks or stares directed at their appearance or chest. Verbal harassment occurred when individuals made explicit or suggestive comments when they were alone. Online sexual harassment was also reported by both male and female students, where they were subjected to explicit comments related to their appearance, often from individuals of the opposite sex, except in cases involving LGBTQ+ individuals, where harassment could come from individuals of various genders.

Self-protection strategies when facing sexual harassment involve avoidance. For example, if a person realizes they are being followed, they may confront or outright reject the behavior and attempt to distance themselves from the situation. They may also respond with indifference or nonchalance. In the online context, they may respond to ignore, blocking the individual, or reporting the user's account.

Keywords: Sexual harassment, Self-protection and Undergraduate students

บทนำ

ในปัจจุบันสังคมไทยยังขาดความเข้าใจในการถูกคุกคามทางเพศทั้งที่เป็นความรุนแรงและเป็นการเลือกปฏิบัติรูปแบบหนึ่งที่กระทำต่อเหยื่อ จะพบว่าเป็นการกดขี่หรือการเอารัดเอาเปรียบทางเพศ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบเจอมานานแล้ว แต่สังคมทั่วไปยังไม่มีความเข้าใจหรือให้ความสนใจเท่าที่ควร ทั้งๆที่ในชีวิตประจำวันเหยื่อถูกคุกคามทางเพศในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง แต่ตนเองยังไม่รู้หรือคาดไม่ถึงว่าพฤติกรรมที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการถูกคุกคามทางเพศ อีกทั้งปัญหาการถูกคุกคามเพศยังมีเพิ่มขึ้นมาเรื่อยๆ (นิชา ภุมมา, 2562) และอาจส่งผลกระทบต่อจิตใจของผู้ที่ตกเป็นเหยื่อมักเกิดความกลัวและอับอาย ไม่กล้าที่จะเปิดเผยเรื่อว่าตนเองถูกคุกคามทางเพศ รวมทั้งยังเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเหลื่อล้ำทางสังคม โดยเฉพาะในสังคมชายเป็นใหญ่มักมองว่าเรื่องการถูกคุกคามทางเพศเป็นเรื่องเล็กน้อยไม่ได้เสียหายอะไร และในหลายๆกรณีที่เหยื่อถูกคุกคามทางเพศได้จากสื่อสังคมออนไลน์ เป็นการสะท้อนถึงสภาพสังคมในปัจจุบันว่าไม่มีความปลอดภัย

ดังนั้นจึงส่งผลต่อคนในสังคมโดยการให้ความสำคัญในปัญหาอาชญากรรมที่เกี่ยวกับความผิดทางเพศมากยิ่งขึ้นและต้องการให้สังคมไทยมีการแก้ไขบทบัญญัติของกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความผิดเกี่ยวกับเพศ เพื่อป้องกันและข่มขู่อาชญากรรมมิได้กระทำความผิดอีก จะเห็นได้ว่าปัญหาการคุกคามทางเพศ เป็นจุดเริ่มต้นของการกระทำความผิดทางเพศอันนำไปสู่ความผิดทางเพศในฐานข่มขืนและกระทำชำเราหรือความผิดฐานอนาจารและความผิดในฐานอื่น ที่รุนแรงมากขึ้นตามลำดับ โดยการคุกคามทางเพศ สามารถเกิดขึ้นได้ทุกเพศ ทุกเวลา และทุกสถานที่

โดยไม่ได้จำกัดเฉพาะว่าจะเกิดการคุกคามทางเพศระหว่างบุคคลในครอบครัว บุคคลในที่ทำงาน หรือ บุคคลในที่สาธารณะ และการคุกคามทางเพศที่พบได้บ่อย คือ การคุกคามทางเพศในสถานที่ทำงานและในสถานศึกษา เนื่องจากสภาวะในการเจริญเติบโตของร่างกายและสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการกระทำคุกคามทางเพศได้ง่ายขึ้น

จึงมีการบัญญัติบทนิยามของการกระทำคุกคามทางเพศหรือการคุกคามอันมีลักษณะส่อไปในทางที่จะล่วงเกินทางเพศ ในประมวลกฎหมายอาญามาตรา 1 (19) (นิธิวิทย์ วณิชธนศิริ, 2562) ความว่า “การคุกคามอันมีลักษณะส่อไปในทางที่จะล่วงเกินทางเพศ” หมายความว่า การกระทำหรือพฤติกรรมในทางเพศ ซึ่งเกิดจากการใช้ถ้อยคำวาจา การแสดงอากัปกิริยา ท่าทาง ภาพ เอกสาร ข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือสิ่งของในลักษณะลามก หรือกระทำการอย่างอื่นในทำนองเดียวกัน รวมถึงการเสนอเงื่อนไขในทางเพศเพื่อแลกเปลี่ยนกับผลประ โยชน์ และการกระทำเหล่านั้นเป็นการกระทำที่ไม่พึงประสงค์ ไม่เหมาะสม หรือไม่น่ายินดี ตลอดจนเป็นการกระทำที่ก่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่น่าเป็นมิตร การข่มขู่ การลดทอนศักดิ์ศรีความเป็นมนุษย์ การเหยียดหยามเพศ การก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางด้านร่ายกายหรือจิตใจ ก็ตาม การกำหนดความรับผิดอันเป็นเหตุที่ต้องรับโทษหนักขึ้นของการกระทำคุกคามทางเพศหรือ “เหตุฉกรรจ์” ถ้าการกระทำความผิดตามวรรคหนึ่งเป็นการกระทำในที่สาธารณสถานหรือต่อหน้าธารกำนัล ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหนึ่งเดือนหรือปรับไม่เกินหนึ่งหมื่นบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ และ มาตรา 28 1/1 วรรคหนึ่งความว่า ผู้ใดกระทำการคุกคามอันมีลักษณะส่อไปในทางที่จะล่วงเกินทางเพศต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหนึ่งปีหรือปรับไม่เกินสองหมื่นบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ ถ้าการกระทำความผิดตามวรรคหนึ่งเป็นการกระทำในสถานศึกษา ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินห้าปีหรือปรับไม่เกินหนึ่งแสนบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ และการกำหนดความรับผิดอันในผลที่ต้องรับโทษหนักขึ้นของการกระทำคุกคามทางเพศหรือ “ผลฉกรรจ์” ในความผิดเกี่ยวกับการคุกคามทางเพศไม่มีการบัญญัติรองรับไว้ หากต้องการให้ผู้กระทำความผิดรับผิดในผลของการกระทำดังกล่าวต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการกระทำกับผลตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 63 โดยการรับอันตรายสาหัสหรือตายนั้นจะต้องเป็นผลธรรมดาที่ย่อมเกิดจากการกระทำด้วย ส่วนการยอมความในการความผิดเกี่ยวกับเพศ ไม่ว่าจะเป็นการข่มขืนกระทำชำเราหรือการกระทำอนาจาร ตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 276 หรือมาตรา 278 แล้วแต่กรณีได้มีการกำหนดโทษให้การกระทำความผิดดังกล่าวนั้น มีความผิดที่สามารถยอมความได้ หรือ ความผิดอาญาส่วนตัว ตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 281

การถูกคุกคามทางเพศ (Sexual Harassment) (นางปรีดา จุลปาน, 2558) คือ การถูกผู้อื่นกระทำพฤติกรรมที่คุกคามในเรื่องเพศ ไม่ว่าจะเป็นทางคำพูด เช่น การพูดหรือการวิจารณ์เกี่ยวกับเรือนร่างและการแต่งกายที่ส่อในทางลามก ทางสายตา เช่น การถูกมองในส่วนของร่างกายที่เป็นบริเวณส่วนตัว เช่น หน้าอก สะโพก เรียวขา ใต้กระโปรง หรือการใช้ท่าที เช่น การพยามยามใกล้ชิดโดยไม่จำเป็นหรือการแตะต้องผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต รวมไปถึงสื่อสังคมออนไลน์ เช่น การส่งข้อความในเชิงลามก การส่งรูปอวัยวะเพศให้แก่ผู้อื่นการคอมเมนต์โพสต์หรือรูปภาพแบบสองแง่สองง่าม การถูกคุกคามทางเพศจะต้องคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ที่เป็นเหยื่อเป็นหลัก การกระทำใดๆก็ตามที่ทำเหยื่อรู้สึกอับอาย เป็นการคุกคามความเป็นส่วนตัวของเหยื่อ และเหยื่อไม่ได้ยินยอมหรือไม่สามารถปฏิเสธการถูกคุกคามได้เนื่องจากสถานการณ์อาจจะบังคับไม่สามารถเลี่ยงได้ถือว่าเป็นการถูกคุกคาม การคุกคามทางเพศ เป็นการใช้ความรุนแรงรูปแบบหนึ่งที่ก่อให้เกิดความเดือดร้อน รำคาญและกังวลใจแก่ผู้ถูกกระทำ รวมทั้งเป็นสถานการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ทุกบริบทของสังคม โดยมูลนิธิหญิงชายก้าวไกล เปิดสถิติข่าวความรุนแรงทางเพศปี 2560 จากหนังสือพิมพ์ 13 ฉบับ พบมีข่าวความรุนแรงฯ ทั้งหมด 317 ข่าว มีผู้เสียชีวิต 20 ราย และปัจจัยกระตุ้นที่ทำให้เกิดความรุนแรงทางเพศมากที่สุด คือ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ร้อยละ 31.1 ปัจจัยรองลงมาร้อยละ 22 ผู้ก่อเหตุอ้างว่ามีอารมณ์ทางเพศ, การใช้สารเสพติด ร้อยละ16.3 และต้องการชิงทรัพย์ ร้อยละ 11.7 สถิติเหยื่อผู้ถูกกระทำร้อยละ 60.6 พบว่าเป็นกลุ่มเด็กและเยาวชน อายุ 5–20 ปี, รองลงมา ร้อยละ 30.9 อายุ 41–60 ปี สำหรับอาชีพของผู้ถูกกระทำ อันดับหนึ่ง เป็นนักเรียน/นักศึกษา ร้อยละ 60.9 รองลงมาคือลูกจ้าง ร้อยละ 21.6 ค้าขาย ร้อยละ 5.2 และเป็นกลุ่มเด็กเล็ก ร้อยละ 4.2

โดยที่ผู้คุกคามจะแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบตามคู่กรณี ตามผลงานวิจัยของ (Beavais, 1986; สำนักงานสาธารณสุขอำเภอมะนัง, 2564) ได้แก่ ชายคุกคามหญิง (Male Harass Female) หญิงคุกคามชาย (Female Harass Male) พวกรักต่างเพศคุกคามพวกรักร่วมเพศ (Heterosexual Harass Homosexual) พวกรักร่วมเพศคุกคามพวกรักร่วมเพศ (Homosexual Harass Homosexual) ซึ่งการถูกคุกคามทางเพศจะมีผลกระทบต่อความมีคุณค่าในตนเองของบุคคลและมีผลทำให้เกิดความเครียดได้ ดังที่ โรเซนเบิร์ก (Rosenberg, 1965; นางสาวนิตยา บุญหนัก, 2547) กล่าวว่าการแบ่งลำดับชั้นของเพศในสังคมสามารถมีผลต่อการรับรู้ลักษณะของบุคคลได้ ดังนั้น ถ้าบุคคลได้รับการถูกกระทำให้อับอายในที่สาธารณะ จิตใจได้รับผลกระทบทำให้เกิดความเครียด ก็จะสามารถทำเจ็บป่วยทางกาย เช่น ปวดศรีษะ แผลในกระเพราะอาหาร ถ้าหากเกิดความเครียดมาก ๆ จะทำให้ความสามารถด้านต่าง ๆ ลดลง นอกจากจะมีผลกระทบทางด้านร่างกายแล้วยังมีผลต่ออารมณ์ของบุคคลด้วย จากการสำรวจ (นางสาวนิตยา บุญหนัก, 2547) พบว่าผู้ถูกคุกคามทางเพศ มักมีอารมณ์โกรธ กลัว วิตกกังวลและซึมเศร้า และเมื่อผู้ถูกคุกคามทางเพศยังอยู่ในสถานการณ์การถูกคุกคามเรื่อย ๆ โดยไม่ได้รับการช่วยเหลือ ก็จะทำให้เกิดการซึมเศร้า ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความพยายามฆ่าตัวตาย โดยที่ผู้ถูกคุกคามทางเพศซึ่งเป็นเพศหญิงจะมีการพยายามฆ่าตัวตายมากกว่าเพศชายถึง 3 เท่า

สภาพปัญหาดังกล่าวครอบครัวหรือคนสนิทของเหยื่อมักไม่ทราบปัญหาที่เกิดขึ้นจะทราบก็ต่อเมื่อมีผลกระทบที่ตามมา เหยื่อส่วนใหญ่มักไม่กล้าที่จะบอกกล่าวปัญหานั้นกับครอบครัวหรือคนสนิทเนื่องจากอับอายหรือกังวลเกี่ยวกับภาพลักษณ์ ผลกระทบที่จะตามมา และไม่ทราบว่าสามารถแจ้งความเอาผิดฐานการคุกคามทางเพศ หรือการถูกผู้กระทำตามมาหาเรื่อง ซึ่งเหยื่อส่วนใหญ่มักเป็นเด็ก วัยรุ่น นักศึกษา วัยทำงาน ผลสำรวจออกมา (เพ็ญพรรณ กี้เจริญ, 2556) ผู้ชายมักจะไม่กระทำการคุกคามทางเพศกับผู้หญิงที่มีอายุมาก หากมีจะมีส่วนน้อย รสนิยมของผู้ชายส่วนมากจะพุ่งเป้าไปที่ วัยรุ่น นักศึกษาเสียส่วนใหญ่ เพราะเป็นวัยที่เจริญโตเต็มวัยแล้วทำให้ดึงดูดเพศตรงข้ามได้ค่อนข้างดี ผู้กระทำบางคนไม่ได้นึกถึงว่าการกระทำดังกล่าว เป็นการกระทำที่ถูกคุกคามเพศ วัยรุ่นหรือนักศึกษาที่ไม่มีความรู้ ขาดความเข้าใจในเรื่องนี้หรือโดนกระทำบ่อยๆ ก็จะคิดว่าเป็นเรื่องปกติ ผลสำรวจจากมูลนิธิหญิงชายก้าวไกลในปี2562 ยังพบความสัมพันธ์ของผู้กระทำและผู้ถูกกระทำ อันดับ 1 เกิดจากบุคคลแปลกหน้า/ไม่รู้จักกัน ร้อยละ 45.9 อันดับ2 เป็นคนรู้จักคุ้นเคยและเป็นบุคคลในครอบครัว ร้อยละ 45.6 อาทิ ครูกระทำกับนักเรียน นักเรียนกระทำกับนักเรียน, เพื่อนร่วมงาน/เพื่อน, คนข้างบ้าน , พระกระทำเด็กที่คุ้นเคยกัน พ่อเลี้ยง–ลูกเลี้ยง, ลุง–หลาน, พ่อ–ลูก, น้า–หลาน ส่วนอันดับ 3 ถูกกระทำจากบุคคลที่รู้จักกันผ่าน Social Network ร้อยละ 8.5 โดยที่เหยื่อไม่ได้ยินยอมและหลีกเลี่ยงจากที่ตรงนั้นไม่ได้

ปัญหาการถูกคุกคามทางเพศเกิดขึ้นอย่างมากในหมู่วัยรุ่น นักศึกษา ทุกคนควรหันมาสนใจและตระหนักถึงผลกระทบที่ตามมาจากพฤติกรรมเหล่านั้น ซึ่งปัญหาการคุกคามทางเพศ เป็นจุดเริ่มต้นของการกระทำความผิดทางเพศอันนำไปสู่ความผิดทางเพศฐานข่มขืนกระทำชำเราหรือความผิดฐานอนาจารและความผิดในฐานอื่น ๆ ที่รุนแรงมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ผลทั้งหมดที่เกิดขึ้นอาจไม่ได้เกิดกับตัวของเหยื่อเอง แต่อาจรวมไปถึงชุมชน สังคมและประเทศชาติด้วย ดังนั้นการลดปัญหาการถูกคุกคามทางเพศและการป้องกันจากการถูกคุกคามทางเพศถือว่าเป็นปัญหาที่ละเอียดอ่อนละมีความสำคัญอย่างมากในการแก้ไข ฉะนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนควรหันหน้ามาร่วมมือกันแก้ไขและลดปัญหาดังกล่าว

จากสภาพปัญหาและความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเรื่องการถูกคุกคามทางเพศและวิธีป้องกันตนเองจากการถูกคุกคามทางเพศ เพื่อศึกษาลักษณะของการถูกคุกคามทางเพศและวิธีป้องกันตนเองจากการถูกคุกคาม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการถูกคุกคามทางเพศของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

2. เพื่อศึกษาแนวทางป้องกันตนเองเมื่อต้องเผชิญกับการถูกคุกคามทางเพศ ของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ขอบเขต

ขอบเขตด้านประชากรที่ศึกษา

ประชากรเป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญ จำนวน 6 คน แบ่งออกเป็น เพศหญิง 3 คน เพศชาย 1 คน เพศทางเลือก 2 คน โดยใช้เทคนิคความอิ่มตัวของข้อมูล (Data saturation) คือ แนวคิดที่ระบุว่าจะไม่มีข้อมูลใหม่เพิ่มเติมจากการคาดหวังที่จะสามารถขยายผลจากข้อค้นพบในการวิจัย หรือกล่าวได้ว่า จำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างไม่มีความสำคัญแต่มีข้อมูลเพียงพอ เพื่อหาข้อสรุปได้หรือสามารถหาข้อมูลได้ตรงตามวัตถุประสงค์ โดยมีเกณฑ์คัดเข้า คือ ต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ทั้งโดยตรง หรือทางอ้อม เกี่ยวกับการถูกคุกคามทางเพศ

ขอบเขตด้านเนื้อหา

การถูกคุกคามทางเพศ แบ่งได้ทั้งหมด 4 ประเภท ประกอบด้วยการถูกคุมคามทางเพศทางวาจา, การถูกคุกคามทางเพศทางสายตา, การถูกคุกคามทางเพศทางกายและ การถูกคุกคามทางเพศจากการใช้สื่อออนไลน์

แนวทางการป้องกันตนเองเมื่อต้องเผชิญกับการถูกคุกคามเพศ

ขอบเขตด้านเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสัมภาษณ์ เรื่อง การถูกคุกคามทางเพศและวิธีป้องกันตนเองจากการถูกคุกคามของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้การสังเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis)

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ต้องการศึกษาการถูกคุกคามทางเพศและวิธีป้องกันตัวเองจากการถูกคุกคามทางเพศของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

กลุ่มประชากรที่ศึกษา

นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 6 คน โดยใช้เทคนิคความอิ่มตัวของข้อมูล (Data saturation) คือ แนวคิดที่ระบุว่าจะไม่มีข้อมูลใหม่เพิ่มเติมจากการคาดหวังที่จะสามารถขยายผลจากข้อค้นพบในการวิจัย หรือกล่าวได้ว่า จำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างไม่มีความสำคัญแต่มีข้อมูลเพียงพอ เพื่อหาข้อสรุปได้หรือสามารถหาข้อมูลได้ตรงตามวัตถุประสงค์ เป็นต้น โดยมีเกณฑ์คัดเข้า คือ ให้ผู้ถูกสัมภาษณ์ดูรูปภาพและข่าวที่ผู้วิจัยเตรียมไว้ แล้วพูดว่ามีความเห็นอย่างไรบ้างในแต่ละรูป หากพูดเกี่ยวกับการถูกคุกคามทางเพศในด้านต่าง ๆ ให้ตอบคำถามในประเด็นที่ต้องการจะสัมภาษณ์ แต่ถ้าหากไม่ได้พูดเกี่ยวกับการถูกคุกคามทางเพศจะจบการสัมภาษณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลวิจัย เป็นแบบสัมภาษณ์ เรื่อง การถูกคุกคามทางเพศและวิธีป้องกันตนเองจากการถูกคุกคามของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เกณฑ์การคัดเข้า จำนวน 1 ข้อ คือ เมื่อเห็นภาพและข่าวพวกนี้แล้ว มีความเห็นอย่างไร จากประสบการณ์ของท่านเกี่ยวกับการได้พบเห็นคนใกล้ชิดหรือเคยมีประสบการณ์เกี่ยวกับการถูกคุกคามทางเพศหรือไม่อย่างไร

ส่วนที่ 2 ประเด็นการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการถูกคุกคามทางเพศของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 4 ข้อ ได้แก่ 1. การกระทำหรือลักษณะที่บ่งบอกถึงการคุกคามทางเพศที่ท่านเคยพบเจอมา 2. จากสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ท่านทราบได้อย่างไรว่าตนเองกำลังถูกคุกคามทางเพศ 3. สถานที่ตอนถูกคุกคามทางเพศ 4. ผลกระทบจากการถูกคุกคามทางเพศ เป็นอย่างไร

ส่วนที่ 3 ประเด็นการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการป้องกันการคุกคามทางเพศของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 2 ข้อ ได้แก่ 1. หากถูกคุกคามทางเพศจะมีวิธีจัดการอย่างไร 2. ความรู้สึกหลังจากการปฏิเสธหรือเอาตัวรอดจากการถูกคุกคามทางเพศเป็นอย่างไร

โดยแบบสัมภาษณ์การถูกคุกคามทางเพศและวิธีป้องกันตนเองจากการถูกคุกคามของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ได้รับการหาค่าความเหมาะสมของแบบสัมภาษณ์ จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ได้ค่าความเหมาะสมเท่ากับ 4.00

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. ผู้วิจัยนำแบบสัมภาษณ์ที่ผ่านการปรับปรุงจากผู้เชี่ยวชาญไปเก็บข้อมูลกับกลุ่มที่ต้องการศึกษา โดยชี้แจงเกี่ยวกับรายละเอียด การปกป้องข้อมูล การรักษาความลับ และการสมัครใจในการให้ข้อมูลแก่ผู้ให้ข้อมูลก่อนดำเนินการสัมภาษณ์

2. ผู้วิจัยอธิบายเกี่ยวกับการใช้คำถามในเกณฑ์การคัดเข้า พร้อมขออนุญาตทำการบันทึกข้อมูล

3. ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง และ เน้นย้ำเกี่ยวกับการรักษาความลับ และประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาให้แก่ผู้ให้ข้อมูลทุกครั้ง

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยในครั้งนี้ ใช้การสังเคราะห์เนื้อหา (Content synthesis)

ผลการศึกษา

จากการศึกษาการถูกคุกคามทางเพศและวิธีป้องกันตัวเองจากการถูกคุกคามทางเพศของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. เพื่อศึกษาการถูกคุกคามทางเพศของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 2. เพื่อศึกษาแนวทางป้องกันตนเองเมื่อต้องเผชิญกับการถูกคุกคามทางเพศ ซึ่งเป็นวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 6 คน ซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการอธิบายได้มาจากการสัมภาษณ์ เป็นเครื่องมือที่ผู้วิจัยใช้ในการรวบรวมข้อมูลในการค้นคว้าเก็บข้อมูล โดยในส่วนของงานวิจัยนี้จะนำเสนอการอธิบายผลผ่านการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ประเด็นการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการถูกคุกคามทางเพศของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยแบ่งตามประเภทของการถูกคุกคามทางเพศได้ 4 ประเภท ดังนี้

1. ด้านการคุกคามทางเพศทางกาย

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ การคุกคามทางเพศทางด้านร่างกาย มักจะถูกสัมผัสบริเวณหัวเข่า สะโพก ขาอ่อน แขน จากการนั่งใกล้ชิดกัน โดยที่บุคคลที่ถูกกระทำมักจะไม่รู้ตัว ผู้กระทำส่วนใหญ่เป็นเพศชายและไม่เคยรู้จักหรือสนิทสนมกันมาก่อน เมื่อผู้ถูกกระทำรู้ตัวและพยายามหลีกหนี ผู้กระทำจะพยายามเข้าหามากกว่าเดิม เช่น จากการจับหัวเข่าก็เป็นโอบกอด เช่น ผู้ให้สัมภาษณ์ คนที่ 1 กล่าวว่า “เหตุการณ์ก็คือนั่งดื่มเหล้า แล้วมีผู้ชายมานั่งข้าง ๆ เขาเอามือมาจับเข่าของเพื่อน แล้วพยายามลูบเข่า พยายามโอบกอดเพื่อน เพราะเพื่อนก็เมา ไม่ค่อยรู้ตัว” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 2 กล่าวว่า “เคยโดนลูบขาอ่อน ตอนนั้นไปส่งผ้าให้ลูกค้า ที่บ้านทำร้านซักรีด ลูกชายของลูกค้าเรียกให้ไปนั่งด้วย ตอนนั้นก็ไม่ได้คิดอะไรเลยไปนั่ง แต่พอนั่งแล้วเขาก็เริ่มลูบขาอ่อนเราไปมาไม่หยุด พอเราดิ้นออกก็กอดไม่ให้ไปไหน” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 3 กล่าวว่า “ในวันสงกรานต์ที่ผ่านมา กำลังเล่นน้ำอยู่กับกลุ่มเพื่อน แล้วมีผู้ชายวัยกลางคนเดินเข้ามาหา แล้วพยายามโอบเอวเรา เมื่อเราพยายามถอยตัวออกห่างเขาก็พยายามเข้าใกล้และโอบเอวเราไว้ได้ ไม่ยอมปล่อย จนเราต้องดิ้นออกมา” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 4 กล่าวว่า “ส่วนตัวแล้วไม่เคยถูกคุกคามทางเพศทางกาย แต่เพื่อนผู้หญิงเคยโดนคุกคามทางเพศทางกายและตนเองอยู่ในสถานการณ์นั้น เหตุการณ์คือในวันนั้นไปร้านอาหารที่เป็นบาร์แห่งหนึ่ง แล้วมีผู้ชายคนหนึ่งเข้ามานั่งด้วยและพยายามชวนคุย ขอชนแก้ว สักพักผู้ชายคนนั้นเริ่มโอบหลังเพื่อนก่อน แล้วลูบแขนไปมา ผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 5 กล่าวว่า “เคยถูกจับ ลูบสะโพก เพราะส่วนตัวเป็นคนที่สะโพกใหญ่ อาจทำให้ดึงดูดเพศตรงข้าม อย่างเช่นเหตุการณ์ตอนไปสถานบันเทิง แล้วกำลังยืนเต้นอยู่กับเพื่อน ก็มีผู้ชายข้างหลังพยายามลูบและจับสะโพก” อีกทั้งยังสอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 6 กล่าวว่า “ตนไม่ได้คิดว่าการกระทำบางอย่างเป็นการถูกคุกคามทางเพศทางกายเพราะไม่ได้คิดอะไร แต่ถ้าหากเป็นคนที่ไม่สนิทกันมาทำ อาจจะคิดว่านั้นคือกำลังถูกคุกคามทางเพศทางกาย”

2. ด้านการคุกคามทางเพศทางสายตา

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ การถูกคุกคามทางเพศทางด้านสายตา มักจะถูกจ้องมองรูปร่างหน้าตาหรือ หน้าอก แล้วผู้กระทำจะหันไปเชิญชวนเพื่อนในกลุ่มของผู้กระทำมองด้วย โดยผู้กระทำส่วนใหญ่เป็นเพศชายและไม่เคยรู้จักหรือสนิทสนมกันมาก่อน เมื่อผู้ถูกกระทำรู้ตัวจะเมินเฉย ผู้กระทำจะพยายามเข้าหามากกว่าเดิม เช่น ผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 1 กล่าวว่า “ตอนนั้นไปดื่มเหล้าแล้วเต้นอยู่ ก็เผลอไปสบตากับผู้ชายคนหนึ่งเขาจ้องมองเราอยู่ แต่ไม่ได้คิดอะไร ผ่านไปสักพักเราหันกลับไปมองก็ยังมองจ้องเราอยู่ แล้วเริ่มขยับโต๊ะเข้ามา” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 2 กล่าวว่า “ตอนนั้นกำลังจะขึ้นไปห้องพัก แล้วมีผู้ชาย 2 คนอยู่ที่บันไดทางขึ้นหอ มีผู้ชายคนหนึ่งมองเราตั้งแต่หัวจรดเท้า มองที่หน้าเราแล้วหันไปคุยกับอีกคนว่าให้ดูบ้าง” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 3 และ 4 กล่าวว่า “ส่วนตัวไม่เคยโดน แต่เพื่อนเคยโดน เหตุการณ์เกิดขึ้นในสถานบันเทิงแห่งหนึ่ง กำลังดื่มเหล้าและเต้นกันอยู่ ก็มีผู้ชายคนหนึ่งมองจ้องมาที่เพื่อนแบบไม่ละสายตา จ้องมาที่หน้าอกของเพื่อน แล้วผู้ชายคนนั้นก็หันไปคุยกับเพื่อนในกลุ่มของตัวเอง หลังจากนั้นทั้งกลุ่มก็หันมามองเพื่อนเรา” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 5 กล่าวว่า “กำลังไปทานข้าวกับเพื่อนที่ร้านอาหารตามสั่งแห่งหนึ่ง แล้วมีผู้ชายโต๊ะถัดไปจ้องมองมาที่ตัวเราบ่อย ๆ จนทำให้เรารู้สึกอึดอัด สงสัยว่าเรามีอะไรผิดปกติรึเปล่า” อีกทั้งยังสอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 6 กล่าวว่า “เวลาไปสถานบันเทิง จะชอบถูกผู้หญิงจ้องมองมาที่เราและเพื่อนบ่อย ๆ ทำให้เราอึดอัด บางทีมีการชักชวนให้คนอื่นมองด้วย”

3. ด้านการคุกคามทางเพศทางวาจา

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ การถูกคุกคามทางเพศทางวาจา มักจะถูกพูดจากระเซ้าเย้าแย่ พยายามชวนพูดคุยในเชิงคุกคามในตอนที่อยู่คนเดียว โดยผู้กระทำส่วนใหญ่เป็นเพศชายและไม่เคยรู้จักหรือสนิทสนมกันมาก่อน เมื่อผู้ถูกกระทำพยายามจะหลีกหนี ผู้กระทำจะพยายามเข้าหามากกว่าเดิม เช่น ผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 1 กล่าวว่า “ระหว่างรอรถกลับบ้านแล้วยืนอยู่คนเดียว จะมีกลุ่มผู้ชายที่อยู่แถวนั้น ไม่แน่ใจว่าเขามารอรถด้วยมั้ย พวกเขาจะ

พูดแซว เช่น ไปกับพี่ไหม จะพาไปดูแมวที่ห้อง" สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 2 กล่าวว่า "ระหว่างยืนรออาหารที่หน้าร้าน มีผู้ชายคนหนึ่งคล้ายๆคนเมา มองจ้องมาที่เราตลอด แล้วก็เดินเข้ามาแซวว่า น่ารักจัง พอพูดเสร็จก็ยืนจ้องมองเรา" สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 3 กล่าวว่า "ส่วนตัวไม่เคยโดน แต่เพื่อนเคยโดน คล้ายกับตัวอย่างข่าวที่ให้ดูคือ ไรเดอร์มาส่งอาหารที่หอของเพื่อน แล้วพูดแซวเพื่อนตั้งแต่รับสายโทรศัพท์ว่า รีบมาเอานะจ๊ะ รออยู่นะคนสวย ตอนนั้นเพื่อนไม่ได้คิดอะไร แต่พอเพื่อนออกไปรับอาหาร เห็นเขาช่วยตัวเองให้เพื่อนดู แล้วพยายามบอกให้มองดูเพื่อนเลยรีบเอาอาหาร รีบเข้าห้องทันที" สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 4 กล่าวว่า "ช่วงสงกรานต์ แล้วไปเล่นน้ำตามถนนคูเมือง มีกลุ่มผู้ชายที่เขาเล่นน้ำกันข้างทางมาสาดน้ำ ปะแป้ง แต่เขาพูดแซวกันในกลุ่มว่า ใหญ่จัง เด้งดึ๋งเลยๆ ขาวมาก" สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 5 กล่าวว่า "ขณะเดินไปเอาพัสดุที่หอแฝดข้างๆ กำลังจะเดินกลับหอตัวเอง เห็นผู้ชายมีอายุคนหนึ่งขับรถตามเรา เราก็เลยรีบเดิน แต่เขาก็เร่งเครื่องตามมาจนทัน และพยายามชวนคุยว่าอยู่กับใคร อยู่คนเดียวหรอ ให้อยู่ด้วยมั้ยจ๊ะ มีแฟนรึยัง ทำให้รู้สึกกลัว" อีกทั้งสอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 6 กล่าวว่า "ไปทะเล แล้วไม่ได้ใส่เสื้อ มีกลุ่มพวกผู้หญิงกลุ่มหนึ่งแซวให้เราได้ยินว่า น่าลูบคลำจัง อยากลองลูบดู บอกเบอร์ห้องของตัวเองเพื่อเชิญชวนให้ไปหา"

4. ด้านการคุกคามทางเพศทางออนไลน์

ผู้ให้ข้อมูลที่เป็นเพศหญิงและเพศชาย มักจะถูกคุกคามทางเพศทางด้านออนไลน์และมีประสบการณ์เกี่ยวกับการถูกคุกคามทางเพศทางด้านออนไลน์ในช่องทาง Facebook จำนวน 2 คน ช่องทาง Instagram จำนวน 2 คน และไม่เคยโดนเลย จำนวน 2 คน โดยมักจะโดนแชร์รูปภาพของตนเองออกไปแล้วแสดงความคิดเห็นในเชิงคุกคาม โดยผู้กระทำส่วนใหญ่เป็นเพศตรงกันข้ามกับผู้ให้ข้อมูล เช่น ผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 1 กล่าวว่า "ช่วงม.ปลายประกวดดาวเดือนแล้วมีคนแชร์รูปของเราแล้วโพสต์หรือแสดงความคิดเห็นในช่องทาง Facebook ด้วยคำว่า อยากลองสักคืนมั้ย , กี่น้ำดี ทำให้เราอับอาย" สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 2 กล่าวว่า "ช่วงนั้นไปทะเลแล้วใส่ชุด ว่ายน้ำถ่ายลงใน Instagram ซึ่งเปิดเป็นสาธารณะ ก็มักจะมีคนมาคอมเมนท์ในเชิงคุกคาม เช่น ใหญ่มาก น่าโดน บอกมาคืนนี้อยากได้กี่ครั้ง" สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 3 กล่าวว่า "มีผู้ชายส่งรูปอวัยวะเพศมาให้ทางช่องทาง Instagram ให้ดู แล้วส่งข้อความมาถามว่า อยากลองไหม ชอบรึเปล่า" สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 4-5 กล่าวว่าไม่เคยโดน ส่วนผู้ให้ข้อมูลที่เป็นเพศทางเลือก มักจะถูกคุกคามทางเพศทางด้านออนไลน์ โดยมักจะโดนบุคคลที่ไม่รู้จักมาแสดงความคิดเห็นกระเซ้าเย้าแหย่ โดยผู้กระทำมีทั้งเพศชาย เพศหญิง และเพศทางเลือกด้วยกันเอง ผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 6 กล่าวว่า "ตอนช่วงปัจฉิม ถ่ายรูปกับดอกไม้ ของขวัญที่ได้ลง Facebook โดยใส่ชุดนักเรียนซึ่งกางเกงค่อนข้างที่จะสั้นและตอนที่ถ่ายรูปนั่งอ้าขา อาจจะด้วยมุมกล้องทำให้เห็นเหมือนอวัยวะเพศนูนออกมา ก็มีคนมาแสดงความคิดเห็นในเชิงคุกคามด้วยคำว่า ใหญ่จังเลย น่าอม"

ส่วนที่ 2 ประเด็นการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการป้องกันการคุกคามทางเพศของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

1. ด้านการคุกคามทางเพศทางกาย

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ มีวิธีการรับมือหรือป้องกันการถูกคุกคามทางเพศทางกายเบื้องต้น โดยขอความช่วยเหลือจากผู้อื่นหรือคนใกล้ชิดและพยายามหาทางออกมาจากตรงนั้นให้เร็วที่สุด เช่น ผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 1 กล่าวว่า "เมื่อรู้ว่าตนองกำลังถูกลูบขา ก็ต่อว่าผู้กระทำทันที และปฏิเสธตามตรงว่าไม่ชอบ และเดินออกมาจากตรงนั้นทันที" สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์ คนที่ 2 กล่าวว่า "เมื่อรู้ว่าตนเองถูกลูบขาและโดนโอบหลังจากคนแปลกหน้า ก็รีบส่งสายตาขอความช่วยเหลือจากเพื่อนให้พาออกไปจากตรงนี้ พยายามดิ้นหรือถอยตัวออกห่างจากผู้กระทำ" สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์ คนที่ 3 กล่าวว่า "เมื่อรู้ว่าตัวเองถูกกระทำอย่างนั้น ก็ไม่ได้คิดอะไรแต่ก็รีบออกมาจากตรงนั้นแล้วกลับบ้านทันที และคงไม่เล่นน้ำฝั่งนั้นอีก เพราะกลัวว่าจะถูกกระทำแบบวันนั้นอีกครั้ง" สอดคล้องกับผู้ให้

สัมภาษณ์คนที่ 4 กล่าวว่า “เมื่อรู้ตัวว่าถูกคุกคาม ก็ส่งสายตาขอความช่วยเหลือจากเพื่อนคนอื่นให้พาออกไปจากสถานการณ์ตรงนั้น แล้วตัวเองก็พยายามขยับถอยห่างออกจากผู้ชายคนนั้น” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 5 กล่าวว่า “รู้สึกไม่ปลอดภัยแต่ก็จะรีบออกมาจากตรงนั้นให้เร็วที่สุด แต่ถ้าเห็นคนทำก็จะต่อว่าทันที” อีกทั้งยังสอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 6 กล่าวว่า “หากตนเองถูกคุกคามทางเพศทางกาย ก็จะมีวิธีป้องกันคือ ขยับออกจากบุคคลนั้นหรือไม่ก็ถามว่าทำอะไร ทำเพื่ออะไร”

2. ด้านการคุกคามทางเพศทางสายตา

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ มีวิธีการรับมือหรือป้องกันการถูกคุกคามทางเพศทางสายตาเบื้องต้น โดยไม่ให้ความสนใจ บอกเพื่อนหรือบุคคลใกล้ชิดว่ากำลังถูกจ้องมองอยู่ให้เพื่อนคอยสังเกตว่าเขามีพฤติกรรมอย่างไร เช่น ผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 1 กล่าวว่า “บอกเพื่อนก่อนว่าตนเองถูกจ้องมองมาสักพักแล้ว รู้สึกไม่ปลอดภัย ขอให้เพื่อนบังตัวเราไว้” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 2 กล่าวว่า “พอถูกจ้องมองแบบนั้นก็ทำเป็นไม่สนใจ แล้วรีบวิ่งขึ้นห้องคอยสังเกตว่ามีคนตามมารึเปล่า ก่อนเข้าห้องก็ดูซ้ายขวาว่ามีคนตามมารึเปล่า” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 3 และ 4 กล่าวว่า “บอกเพื่อนว่ามีคนมองอยู่ ให้ระวังตัวด้วย แล้วพยายามดันเพื่อนให้มาอยู่ข้างหน้า หาเสื้อแขนยาวมาปกปิดไว้ และพาออกไปจากตรงนั้น” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 5 กล่าวว่า “ทำเป็นไม่สนใจ พยายามชวนเพื่อนคุยแล้วบอกเพื่อนว่ามีคนกำลังมองเราอยู่ ให้เพื่อนช่วยดูว่าเขายังมองเราอยู่หรือเปล่า” อีกทั้งยังสอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 6 กล่าวว่า “เดินออกมาจากตรงนั้นเลย ถ้าออกมาไม่ได้ก็จะพยายามไม่สนใจ”

3. ด้านการคุกคามทางเพศทางวาจา

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ มีวิธีการรับมือหรือป้องกันการถูกคุกคามทางเพศทางวาจาเบื้องต้น โดยไม่โต้ตอบด้วยกับผู้ที่มาคุกคาม หากอยู่ในสถานการณ์นั้นแล้วรู้สึกไม่ปลอดภัยให้รีบหลีกเลี่ยงหรือพาตัวเองออกมาจากสถานการณ์ตรงนั้น เช่น ผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 1 กล่าวว่า “พยายามทำเป็นไม่ได้ยิน แล้วรีบเดินออกมาจากตรงนั้น พยายามพาตนเองไปในที่มีคนเยอะๆ หรือโทรบอกเพื่อน คนใกล้ชิดว่ากำลังโดนคุกคาม” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 2 กล่าวว่า “ตอนที่เขาพยายามพูดคุยด้วยก็ทำเป็นไม่ได้ยิน ไม่สนใจ แล้วรีบเดินออกมาให้ห่างจากผู้ที่มาคุกคาม” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 3 กล่าวว่า “หากตนเจอเหตุการณ์เช่นนี้ จะหลีกเลี่ยงการพบเจอ และแจ้งให้ไรเดอร์วางอาหารไว้ที่ใดที่หนึ่ง รอเขาไปแล้วออกไปเอา ซึ่งตนก็ได้แนะนำเพื่อนไปเช่นนี้” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 4 กล่าวว่า “พยายามเดินหนีออกมาจากตรงนั้น และไม่ใส่ใจกับคำพูดที่เขาพูดออกมา” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 5 กล่าวว่า “พยายามไม่สนใจ แล้วรีบเดินหนีให้ไวที่สุด หากเขาถามอะไรก็ไม่โต้ตอบกลับไป” อีกทั้งยังสอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 6 กล่าวว่า “พยายามไม่สนใจ ทำเป็นไม่ได้ยินแล้วเดินหนีออกมาจากตรงนั้น”

4. ด้านการคุกคามทางเพศทางออนไลน์

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ มีวิธีการรับมือหรือป้องกันการถูกคุกคามทางเพศทางออนไลน์เบื้องต้น พิมพ์ตอบความคิดเห็นต่างๆ ต่อว่าบุคคลที่มาแสดงความคิดเห็น แล้วตัดขาดกับบุคคลนั้นไปเลยหรือกดรายงานบัญชีผู้ใช้ เช่น ผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 1 กล่าวว่า “หากเจอโพสต์หรือความเห็นเชิงคุกคามเกี่ยวกับเรา ก็จะพิมพ์ต่อว่า และรายงานบัญชีผู้ใช้นั้นไปเลย” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 2 กล่าวว่า “พอเขามาแสดงความคิดเห็นแบบนั้น ก็พิมพ์ตอบกลับต่อว่าและตัดขาดกับบุคคลนั้นไป เพราะไม่ชอบและไม่สนิทด้วย” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 3 กล่าวว่า “พิมพ์ต่อว่าบุคคลนั้น แล้วบล็อกหรือรายงานบัญชีผู้ใช้นั้นทันที” สอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 4 และ 5 กล่าวว่า “ตนเองและเพื่อนหรือคนรู้จักไม่เคยถูกคุกคามทางเพศทางออนไลน์ แต่ถ้าหากตนเองเจอสถานการณ์เช่นนี้ จะพิมพ์ตอบกลับต่อว่าอีกฝ่ายหรือตักเตือนว่าอย่าพิมพ์แสดงความคิดเห็นแบบนี้ เราไม่ชอบ หากผู้กระทำยังไม่หยุดก็บล็อกหรือรายงานบัญชีผู้ใช้นั้นเลย” อีกทั้งยังสอดคล้องกับผู้ให้สัมภาษณ์คนที่ 6 กล่าวว่า “พิมพ์ตอบกลับต่อว่าเขาไป และเลิกยุ่ง เลิกติดต่อกับบุคคลนั้นไปเลย เพราะไม่ชอบและไม่ค่อยสนิทด้วย”

วิจารณ์และสรุปผล

ประเด็นที่ 1 ด้านการคุกคามทางเพศทางกาย นักศึกษาผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ ถูกคุกคามทางเพศทางกาย โดยสัมผัสบริเวณหัวเข่า สะโพก ขาอ่อน แขน จากการนั่งใกล้ชิดกัน โดยที่บุคคลที่ถูกกระทำมักไม่รู้ตัว ผู้กระทำส่วนใหญ่เป็นเพศชายที่ไม่รู้จักหรือสนิทสนมมาก่อน ทั้งนี้เนื่องมาจากผู้ให้ข้อมูลมักถูกคุกคามทางเพศทางกายในขณะที่อยู่สถานบันเทิง ซึ่งเป็นสถานที่ค่อนข้างแออัด คนเยอะ และมีแต่บุคคลที่ไม่รู้จัก บางทีเมื่อถูกกระทำก็อาจจะไม่รู้ตัวจนกว่าจะมีเพื่อนบอกหรือรับรู้ได้เองว่าถูกคุกคาม ถ้าหากถูกกระทำโดยตรงจากการนั่งใกล้ชิดกัน ผู้ให้ข้อมูลจะสามารถรับรู้ถึงพฤติกรรมการถูกคุกคามได้ทันที และจะพยายามหลีกหนี สอดคล้องกับแนวคิดของโบการ์ตและสไตน์ (Bogart & Stein, 1987; รศ.ดร.อัมพร ธำรงลักษณ์, 2552) เกี่ยวกับลักษณะพฤติกรรมการคุกคามทางเพศ 3 มิติ จากการที่นักศึกษาส่วนใหญ่มักจะถูกคุกคามทางเพศทางกายในขณะที่ไม่รู้ตัว และเมื่อผู้ถูกกระทำพยายามหลีกหนี จะถูกผู้กระทำเข้าหามากกว่าเดิมโดยโอบกอดไม่ให้ผู้ถูกกระทำดิ้นหลุดไปได้ อย่างที่โบการ์ตและ สไตน์ ได้อธิบายในมิติที่ 1 และ 3 ว่า มิติที่ 1 การคุกคามทางเพศที่ยังชัดแจ้งและไม่ชัดแจ้ง เช่น การคุกคามทางร่างกาย การจู่โจมทางเพศ การข่มขืนหรือ อาจเป็นพฤติกรรมที่ไม่ชัดแจ้ง ซึ่งทำให้รู้สึกด้อยกว่า ไม่เป็นมิตร หรือมีสิ่งซ่อนเร้น และมิติที่ 3 การคุกคามทางเพศโดยใช้การควบคุมโดยจิต และใช้กำลังทางร่างกายควบคุมบังคับบุคคลอื่น โดยการคุกคามทางเพศอาจเป็นการควบคุมโดยใช้ความไม่พอใจ และการใช้ความแข็งแรงทางร่างกายเพื่อเอาชนะ หรือทำให้เชื่อฟัง ซึ่งสอดคล้องกับคณะจิตวิทยาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2563 : สื่อออนไลน์) ที่อธิบายถึงรูปแบบการจัดการความขัดแย้ง โดยการหลีกหนี (Avoiding/Withdrawing) ว่าเป็นรูปแบบการจัดการที่ไม่ตอบสนองต่อเป้าหมายของใครเลย หลีกหนีต่อปัญหาและละทิ้งความต้องการ อาจเป็นไปโดยชั่วคราวจนกว่าสถานการณ์จะดีขึ้นหรือถอนตัวอย่างถาวร อีกทั้งยังสอดคล้องกับ งานวิจัยของรศ.ดร.อัมพร ธำรงลักษณ์ (2552 : สื่อออนไลน์) ที่ศึกษาการคุกคามทางเพศในโรงเรียนมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร : สาเหตุและข้อเสนอทางนโยบายกลุ่มตัวอย่างคือ โรงเรียนมัธยมศึกษา 2 โรงเรียน (โรงเรียนรัฐบาลและเอกชน) ผลการศึกษาพบว่า ในด้านของความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการคุกคามทางเพศของนักเรียนทั้ง 2 โรงเรียน รับรู้ถึงพฤติกรรมการคุกคามทางเพศน้อยไม่ค่อยแตกต่างกัน แต่หากมีความรุนแรงมากจะมีความรู้ความเข้าใจมาก เช่น เพื่อนผู้ชายเอามือมาลูบไล้แขนของนักเรียน

ประเด็นที่ 2 ด้านการคุกคามทางเพศทางสายตา นักศึกษาผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ ถูกคุกคามทางเพศทางสายตา โดยมักจะถูกจ้องมองรูปร่างหน้าตาหรือ หน้าอกอย่างไม่ละสายตา โดยผู้กระทำส่วนใหญ่เป็นเพศชายและไม่เคยรู้จักหรือสนิทสนมกันมาก่อน ทั้งนี้เนื่องจากเพศหญิงมักมีรูปร่างหน้าตาที่โดดเด่นและน่าดึงดูด ทำให้เพศชายชอบจ้องมองรูปร่างหน้าตาของเพศหญิง จนทำให้รู้สึกไม่ปลอดภัยที่ถูกจ้องมองแบบนั้นและเพศชายมักจะจับกลุ่มอยู่ด้วยกัน ทำให้เวลามีคนหนึ่งเริ่มสังเกตเห็นก็จะบอกต่อให้คนอื่นในกลุ่มของตนเองหันมามองด้วยกัน สอดคล้องกับแนวคิดของซูป และ เอ็ดวาร์ด (Shoop & Edwards, 1994; กันทวัลย์ ภูวพันธุ์, 2543) ที่กล่าวถึงสาเหตุของการเกิดการคุกคามทางเพศ ในเรื่องของการรับรู้พฤติกรรมว่า เพศชายจะจัดแบ่งเพศหญิงโดยใช้เกณฑ์ทางเพศ โดยจะประเมินเพศหญิงในรูปแบบของบุคลิกลักษณะที่แสดงออก และทัศนคติที่กำหนดเพศหญิงมากกว่าความสามารถและทักษะในการทำงาน ดังนั้น ถ้าเพศชายประเมินเพศหญิงด้วยทัศนคติ บทบาททางเพศ ก็จะมองเพศหญิงในแนวทางเพศที่เพศหญิงถึงกำหนด เช่น เพศหญิงคือการยั่วยวนทางเพศ ลักษณะของการรักใคร่และการดึงดูดทางเพศ และตัวเพศหญิงผู้นั้นไม่ปฏิบัติตามที่ทัศนคติตามที่เพศชายกำหนดไว้ เพศหญิงก็ไม่ได้รับการพิจารณาถึงความสามารถในการทำงานของเธอ และนอกจากรูปร่างหน้าตาของเพศหญิงจะดึงดูดให้ฝ่ายตรงข้ามจ้องมองแล้ว เมื่อเพศชายอยู่ด้วยกันเป็นกลุ่มก็จะมีการชักชวนให้บุคคลอื่นมองด้วย ซึ่งสอดคล้องกับคณะจิตวิทยาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2565 : สื่อออนไลน์) ที่อธิบายถึงทฤษฎีการคล้อยตาม (Conformity) ว่าเป็นการแสดงพฤติกรรมหรือ การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมให้

เหมือนกับผู้อื่น โดยที่พื้นฐานเดิมของตนนั้นไม่ได้คิดหรือเชื่ออย่างนั้นหรือเมื่อต้องอยู่คนเดียวจะไม่ทำอย่างนั้น อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ เพ็ญพรรณ กี้เจริญ (2558 : สื่อออนไลน์) ที่ศึกษาการคุกคามทางเพศในสังคมไทย กลุ่มตัวอย่างคือ ข้าราชการหญิงในสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภาจำนวน 258 คน ผลการศึกษาพบว่าผู้หญิงที่เผชิญการถูกคุกคามทางเพศทางกริยาท่าทาง โดยการจ้องมองแบบกรุ้มกริ่มหรือสายตาแทะโลมเรือนร่างของผู้หญิง

ประเด็นที่ 3 ด้านการคุกคามทางเพศทางวาจา นักศึกษาผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ ถูกคุกคามทางเพศทางวาจาโดยมักจะถูกพูดจาแทะโลมหรือพูดจากระเซ้าเย้าแหย่กับผู้ถูกกระทำ โดยผู้กระทำส่วนใหญ่มักเป็นเพศชายที่ไม่รู้จักและสนิทสนมกันมาก่อน ทั้งนี้เนื่องจาก ผู้ให้ข้อมูลอยู่คนเดียวทำให้เป็นจุดที่น่าสนใจ ง่ายต่อการที่จะเข้าหา ทำให้เพศชายกล้าที่จะพูดจาแทะโลมหรือพูดจากระเซ้าเย้าแหย่เพื่อความสนุกและอยากเข้ามาพูดคุยมากกว่านั้น สอดคล้องกับแนวคิดของโบการ์ตและสไตน์ (Bogart & Stein, 1987; รศ.ดร.อัมพร ธำรงลักษณ์, 2552) เกี่ยวกับลักษณะพฤติกรรมการคุกคามทางเพศ 3 มิติ จากการที่นักศึกษาส่วนใหญ่มักถูกคุกคามทางเพศทางวาจาโดยการพูดจาเสียดสีในเรื่องเพศ อย่างที่โบการ์ตและสไตน์ได้อธิบายในมิติที่ 2 ว่า การคุกคามโดยวาจา เช่น การวิพากษ์วิจารณ์ การเล่าเรื่องตลก การพูดจาเสียดสีในเรื่องเพศ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รัตนาภรณ์ โปปัญจมะกุล และคณะ (2562 : สื่อออนไลน์) ที่ศึกษารูปแบบและวิธีการตอบโต้ต่อการถูกคุกคามทางเพศของนักเรียนมัธยมศึกษา ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่ถูกคุกคามทางเพศทางวาจา โดยครูคิดเป็นร้อยละ 52.3 โดยนักเรียนคิดเป็นร้อยละ 36.3 และโดยคนแปลกหน้าคิดเป็นร้อยละ 33.0

ประเด็นที่ 4 ด้านการคุกคามทางเพศทางออนไลน์ นักศึกษาทั้งเพศชายและเพศหญิงมีการถูกคุกคามทางเพศช่องทางออนไลน์ โดยแสดงความคิดเห็นใต้รูปภาพของตนเองในเชิงด้านลบด้วยการกระเซ้าเย้าแหย่ วิจารณ์การส่งภาพอวัยวะเพศมาให้ดูโดยผู้กระทำจะเป็นเพศตรงข้ามกับผู้ถูกกระทำ ซึ่งต่างกับเพศทางเลือกที่ถูกกระทำโดยทั้งเพศหญิง เพศชาย และ เพศทางเลือกด้วยกันเอง ทั้งนี้เนื่องจากปัจจุบันการพูดคุยกันหรือการแสดงความคิดเห็นต่างๆ เป็นเรื่องง่ายในสังคมออนไลน์ บางทีไม่จำเป็นต้องเปิดเผยตัวตนให้คนอื่นรับรู้ ทำให้บุคคลกล้าที่จะโพสต์หรือแสดงความคิดเห็นต่อรูปภาพคนอื่นในเชิงด้านลบ โดยไม่คำนึงว่าจะเป็นเพศไหนก็ตาม แต่เพศทางเลือกมักจะถูกคุกคามจากทั้งเพศเดียวกันและเพศตรงข้าม เพราะเป็นเพศที่มีความหลากหลายทำให้มีความแตกต่างที่เห็นได้ชัด สอดคล้องกับแนวความคิดพฤติกรรมการคุกคามทางเพศที่สามารถใช้กับสังคมไทย (รัชฎาภรณ์ ศรีรักษา, 2557; นิชา กุมภา, 2562) กล่าวว่า การทำความรู้จักกันผ่านสื่อสังคมออนไลน์และรูปแบบการคุกคามทางเพศในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยส่วนมากจะเป็นวัยรุ่นที่ถูกคุกคาม โดยเพศที่ถูกคุกคามมากที่สุดคือ กลุ่ม LGBTQ+ รองลงมาคือ เพศหญิง และ เพศชาย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นิชา กุมภา (2562 : สื่อออนไลน์) ที่ศึกษาพฤติกรรมการใช้เฟซบุ๊กของวัยรุ่นในเขตกรุงเทพมหานครฯ ที่ส่งผลต่อการเกิดภัยคุกคามทางเพศกลุ่มตัวอย่างคือ วัยรุ่นในเขตกรุงเทพมหานครฯ จำนวน 166 คน ผลการวิจัยพบว่า วัยรุ่นในเขตกรุงเทพมหานครฯ มีความคิดเห็นว่าการชมหยอก เป็นภัยคุกคามทางเพศซึ่งเกิดจากพฤติกรรมการใช้งานเฟซบุ๊กมากที่สุด โดยการพูดชมแต่แฝงไปด้วยคำแทะโลม ถือเป็นการชมหยอกที่กลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยมากที่สุด และภัยคุกคามในลักษณะ การส่งสื่อลามก กลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยน้อยที่สุดว่าเป็นภัยคุกคามทางเพศซึ่งเกิดจากพฤติกรรมการใช้งานเฟซบุ๊ก

ผลการอภิปรายแนวทางป้องกันตนเองเมื่อต้องเผชิญกับการถูกคุกคามทางเพศของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ประเด็นที่ 1 การป้องกันการหลีกหนี/หลีกเลี่ยงออกจากสถานการณ์ที่เป็นการถูกคุกคาม

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่มีวิธีป้องกันตนเองเมื่อต้องเผชิญกับการคุกคามด้วยวิธีการหลีกหนี/หลีกเลี่ยงพาตัวเองออกจากสถานการณ์นั้น ในด้านการถูกคุกคามทางกายและวาจา ทั้งนี้เนื่องมาจากการถูกคุกคามทางเพศด้วยวาจาและทางกายเป็นสิ่งที่ผู้กระทำถูกคุกคามโดยตรง เป็นการรู้สึกถึงมือที่สัมผัส รับรู้ถึงเสียงและคำพูดที่เฉพาะเจาะจง

ทำให้รู้สึกไม่ปลอดภัย จึงพยายามป้องกันตนเองด้วยการหลีกหนีออกจากสถานการณ์ตรงนั้น สอดคล้องกับคณะจิตวิทยาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2563) ที่อธิบายถึงรูปแบบการจัดการความขัดแย้ง โดยการหลีกหนี (Avoiding/Withdrawing) ว่าเป็นรูปแบบการจัดการที่ไม่ตอบสนองต่อเป้าหมายของใครเลย หลีกหนีต่อปัญหาและละทิ้งความต้องการ อาจเป็นไปโดยชั่วคราวจนกว่าสถานการณ์จะดีขึ้นหรือถอนตัวอย่างถาวร ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดแนวปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาการล่วงละเมิดทางเพศในการทำงาน (สำนักงานสาธารณสุขลี้, 2564) กล่าวว่าเมื่อถูกล่วงละเมิดหรือคุกคามทางเพศ ควรแสดงออกทันทีว่าไม่ชอบ ไม่พอใจในการกระทำของผู้กระทำ และถอยห่างจากการถูกคุกคามทางเพศนั้น หรือส่งเสียงเรียกร้องเพื่อให้ผู้กระทำหยุดกระทำและเรียกผู้อื่นช่วยอีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของรัตติกาล พลอยสวน (2564) ที่ศึกษาการป้องกันตนเองไม่ให้ตกเป็นเหยื่อการถูกล่วงละเมิดทางเพศของนักศึกษา ระดับปริญญาตรีในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร กลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาปริญญาตรี ผลการศึกษาพบว่า นักศึกษามีการป้องกันตนเองไม่ให้ตกเป็นเหยื่อการถูกล่วงละเมิดทางเพศในระดับมาก เช่น หลีกเลี่ยงสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เสี่ยงต่อการถูกล่วงละเมิดทางเพศ

ประเด็นที่ 2 การป้องกันตนเองโดยการขอความช่วยเหลือจากบุคคลรอบข้าง

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่มีวิธีการรับมือจากการถูกคุกคามทางเพศทางสายตา โดยไม่ให้ความสนใจผู้กระทำ บอกเพื่อนหรือบุคคลใกล้ชิดว่ากำลังถูกจ้องมองจนทำให้รู้สึกอึดอัด ไม่ปลอดภัย และให้เพื่อนคอยสังเกตว่าผู้กระทำมีพฤติกรรมอย่างไร ทั้งนี้เนื่องจากผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ รับรู้ถึงพฤติกรรมการถูกจ้องมองรูปร่างหน้าตาตนเอง ทำให้เกิดความรู้สึกอึดอัด จึงพยายามจะป้องกันตนเองด้วย การขอความช่วยเหลือจากบุคคลรอบข้างหรือเพื่อนให้ช่วยเหลือตนเองให้พาออกไปจากสถานการณ์นั้นหรือให้คอยช่วยสังเกตว่าบุคคลที่จ้องมองมีท่าทีที่จะพยายามเข้าหาหรือเปล่า สอดคล้องกับทฤษฎีของชินเก และกิลคริสต์ที่กล่าวถึงองค์ประกอบของ Social or Life skills 6 องค์ประกอบ จากการที่นักศึกษาส่วนใหญ่เลือกที่จะบอกเพื่อนหรือคนใกล้ชิด โดยเหตุผลที่ว่ารู้สึกอึดอัดและไม่ปลอดภัยจากการถูกจ้องมอง จึงสอดคล้องกับทักษะการเผชิญปัญหาของ Schinke and Gilchrist ที่กล่าวว่า ทักษะการเผชิญปัญหา หมายถึง ความสามารถของนักเรียนเกี่ยวกับการเลือกรูปแบบในการจัดการกับปัญหาได้อย่างเหมาะสม โดยมุ่งเน้นการใช้เหตุผลและมุ่งที่ตัวปัญหาเมื่ออยู่ในสถานการณ์เสี่ยงต่อการถูกล่วงเกินทางเพศในที่นี่ พิจารณาจากการเลือกแนวทางจัดการกับปัญหาโดยมุ่งการใช้เหตุผลมากกว่าอารมณ์ (Schinke and Gilchrist, 1984; นงนุช โรจนเลิศ, 2558) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กมลลักษณ์ ดอกคำ และคณะ (2565) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับพฤติกรรมเสี่ยงต่อการถูกกคุกคามทางเพศของประชาชนในพื้นที่หมู่ 16 บ้านแม่กาห้วยเคียน ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา กลุ่มตัวอย่างคือ ประชาชนในพื้นที่ จำนวน 282 คน ผลการศึกษาพบว่า เพศหญิงมีการรับรู้ความเสี่ยงการคุกคามทางเพศสูงสุด 44.7% ถูกพฤติกรรมการคุกคามทางเพศมากที่สุดคือใช้สายตาลวนลาม 18.8% และมีวิธีการเผชิญปัญหาจาการถูกคุกคามทางเพศมากที่สุดคือ การเดินหนีจากเหตุการณ์ 23.0% รองลงมาคือ การขอความช่วยเหลือจากผู้อื่น 16.6%

ประเด็นที่ 3 การป้องกันตนเองโดยเผชิญหน้ากับการถูกคุกคามทางเพศทางออนไลน์

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่มีวิธีรับมือจากการถูกคุกคามทางเพศทางออนไลน์ โดยเลือกวิธีการโต้กลับเป็นภาษาพูด พิมพ์ตอบกลับด้วยถ้อยคำรุนแรง กดบล็อก รายงานบัญชีผู้ใช้นั้น หรือเลือกที่จะไม่สนใจแล้วตัดขาดความสัมพันธ์ ทั้งนี้เนื่องจากผู้ให้ข้อมูลสังเกตเห็นโพสต์หรือความคิดเห็นเชิงลบที่เกี่ยวกับตนเอง โดยจากบุคคลที่สนิทหรือบุคคลอื่นที่ไม่รู้จัก รวมถึงพวกที่ไม่เปิดเผยตัวตน นำบัญชีปลอมมาแชร์และแสดงความคิดเห็นทำให้ตนเองรู้สึกไม่ชอบ หวาดกลัวว่าจะโดนคุกคามหนักขึ้นจากบุคคลที่ ไม่รู้จักหรือไม่เปิดเผยตัวตน ผู้ให้ข้อมูลจึงเลือกป้องกันตนเองด้วยวิธีการโต้กลับเป็นภาษาพูด กดบล็อก หรือรายงานบัญชีผู้ใช้นั้นไป หากเป็นบุคคลที่ผู้ให้ข้อมูลรู้จักหรือสนิทด้วย ก็จะตัดขาดความสัมพันธ์ไม่พูดคุยด้วยอีก เพราะกลัวจะไม่ปลอดภัย แต่เพศชายและเพศทางเลือกจะรู้สึกเฉย ๆ ไม่สนใจ

กับสิ่งที่เกิดขึ้น อาจจะขาดความมั่นใจไปบ้าง แต่ก็จะกลับมาเป็นปกติเร็วกว่าเพศหญิงสอดคล้องกับหลักการทักษะในการรับมือกับการกลั่นแกล้งบนโลกไซเบอร์ รวมไปถึงการคุกคามทางเพศทางออนไลน์ โดยวิธีจัดการเมื่อถูกกลั่นแกล้งได้ คือ หยุดการตอบโต้กับผู้กระทำ ปิดกั้นการสื่อสารกับผู้กระทำ โดยการบล็อกจากรายชื่อผู้ติดต่อ ถ้าผู้กระทำยังไม่หยุดการกระทำอีกควรแจ้งให้ผู้ปกครองหรือบุคคลใกล้ชิดทราบ แล้วบันทึกหลักฐานการกลั่นแกล้งไว้ (สรานนท์ อินทนนท์, 2563) โดยที่ผู้ให้ข้อมูลเลือกที่จะตอบกลับในทันที เนื่องจากบุคคลรับรู้ถึงตนเองได้น้อยลงและรู้สึกไม่ดีที่มีคนมาแสดงความคิดเห็นกับตนเองในเชิงลบ ทำให้ขาดความยับยั้งชั่งใจที่จะปล่อยผ่านไป ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดภาวะนิรนาม ของฟินลิป ซิมบราโว้ (Philip Zimbardo, 1969; ณัฐพล บุญทอง, 2565) กล่าวว่า พฤติกรรมความสนใจในภาพลักษณ์ของบุคคลจะลดลง เมื่อบุคคลรับรู้ถึงตนเองได้น้อยลงหรือความกังวลต่อภาพลักษณ์ตนเองน้อยลง จะทำให้ขาดความยับยั้งชั่งใจ เนื่องจากไม่ต้องสนใจการถูกประเมินตัวตนจากบุคคลอื่น ทำให้เกิดการแสดงออกที่ไม่พึงประสงค์ อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของศูนย์ประสานงานขับเคลื่อนการส่งเสริมและการปกป้องคุ้มครองเด็กและเยาวชนในการใช้สื่อออนไลน์ (2561, สื่อออนไลน์) ที่ศึกษาเรื่องการสำรวจสถานการณ์เด็กกับภัยออนไลน์ กลุ่มตัวอย่างคือ เด็กอายุ 6–18 ปี จำนวน 15,318 คน ผลการศึกษาพบว่า เด็กเลือกวิธีรับมือเมื่อถูกกลั่นแกล้งทางออนไลน์ ด้วยการบล็อกผู้ที่มากลั่นแกล้ง 43.7% รายงานบัญชีผู้ใช้ 29.4% ไม่ได้ทำอะไรเลย 21.7% ตอบว่าหรือแกล้งกลับ 1–2%

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. สถานศึกษาควรส่งเสริมความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการคุกคามทางเพศและการป้องกันตัวจากการถูกคุกคามให้แก่นักศึกษา เช่น จัดทำบทความเป็นเกร็ดความรู้ลงในวารสารประจำเดือน /ประจำปีเกี่ยวกับการคุกคามและการป้องกันตัวจากการถูกคุกคามทางเพศในสถานศึกษา การเชิญวิทยากรที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญมาให้ความรู้ในชั้นเรียน เป็นต้น

2. สถานศึกษาและครอบครัวสามารถชี้แนะแนวทางวิธีป้องกันตนเองจากเหตุการณ์การถูกคุกคามทางเพศให้กับนักศึกษาได้ หากต้องเผชิญกับเหตุการณ์การถูกคุกคามทางเพศ

3. สถานศึกษาและครอบครัวสามารถให้ความรู้เกี่ยวกับรูปแบบหรือลักษณะของการคุกคามทางเพศให้แก่นักศึกษาได้ เพื่อให้ทราบว่าลักษณะการกระทำแบบใดที่หมายถึงการคุกคามทางเพศ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษากับกลุ่มตัวอย่างที่หลากหลายมากกว่านี้ เช่น กลุ่มที่ถูกคุกคามทางเพศและไม่เคยถูกคุกคามทางเพศ เพื่อการสรุปผลที่ดีขึ้นและเห็นข้อแตกต่างที่ชัดเจนมากขึ้น

2. ควรศึกษารูปแบบของการป้องกันการเกิดการคุกคามทางเพศที่มีความหลากหลายมากกว่าเดิมและมีประสิทธิภาพ เพื่อสามารถนำไปปรับใช้ได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษามหาวิทยาลัยราภัฏเชียงใหม่ ที่ให้ความร่วมมือในการให้ความร่วมมือและสละเวลาในการตอบแบบสัมภาษณ์ เพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กันทวัลย์ ภูวพันธุ์. (2543). **ผลของการใช้โปรแกรมชุดแนะแนวในการพัฒนาเจตคติต่อการคุกคามทางเพศและความภาคภูมิใจในตนเองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนวัดชัยมงคล สังกัดกรุงเทพมหานคร.** ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (จิตวิทยาการแนะแนว). กรุงเทพฯ : บัณฑิตมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

กมลลักษณ์ ดอกคำ และคณะ (2564). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับพฤติกรรมเสี่ยงต่อการถูกคุกคามทางเพศของประชาชนในพื้นที่หมู่ 16 บ้านแม่กาห้วยเคียน ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา. **วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี**, 11(1), 87-88.

คณะจิตวิทยาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2565). **Conformity – การคล้อยตาม.** https://www.psy.chula.ac.th/th/feature-articles/conformity

คณะจิตวิทยาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2563). **รูปแบบการจัดการความขัดแย้ง.** https://shorturl.asia/18Z9a

ณัฐพล บุญทอง. (2565). **ประสบการณ์การคุกคามทางเพศบนเครือข่ายสื่อสังคมออนไลน์และแนวทางป้องกันการศึกษาเชิงคุณภาพแบบผสานวิธี.** https://shorturl.asia/e5kxz

นางสาวนิตยา บุญหนัก. (2547). **การศึกษาและการป้องกันการคุกคามทางเพศ.** http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Gui_Cou_Psy/Nittaya_B.pdf

นงนุช โรจนเลิศ. (2558). การศึกษาแหล่งการเรียนรู้และทักษะทางสังคมของนักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปกร. **วารสารศิลปากรศึกษาศาสตร์วิจัย**, 7(2), 36

นิชา ภุมมา. (2563). **พฤติกรรมการใช้เฟสบุ๊กของวัยรุ่นในเขตกรุงเทพมหานครฯ ที่ส่งผลต่อการเกิดภัยคุกคามทางเพศ (Facebook Usage Behavior by Teenagers in Bangkok that Affect on the Sexual Harassment Occurrence).** http://dspace.bu.ac.th/bitstream/123456789/4524/9/nicha.pumm.pdf

นิธิวิทย์ วณิชธนศิริ. (2562). **ปัญหาทางกฎหมายในความรับผิดทางอาญาเกี่ยวกับกระทำทางเพศศึกษากรณีการคุกคามทางเพศ.** http://www.lawgrad.ru.ac.th/AbstractsFile/6112019027/1597646605b2be9420acd9284fa0da3947e4723422_abstract.pdf

เพ็ญพรรณ กี้เจริญ. (2556). การคุกคามทางเพศในสังคมไทย (Sexual Harassment in Thai Society). **วารสารสหวิทยาการ**, 10(1), 49-51

ศูนย์ประสานงานขับเคลื่อนการส่งเสริมและปกป้องคุ้มครองเด็กและเยาวชนในการใช้สื่อออนไลน์. (2562). **แนวทางการปกป้องคุ้มครองเด็กจากภัยออนไลน์.** https://shorturl.asia/zPjnd

สรานนท์ อินทนนท์. (2563). **ความฉลาดทางดิจิทัล.** http://cclickthailand.com/wp-content/uploads/2020/04/dq_FINAL.pdf

สาระสำคัญ. **ชุดการเรียนรู้เพศศึกษา เล่มที่ 4 เรื่อง การถูกล่วงละเมิดทางเพศ.** (น.1–3), โดย นางปรีดา จุลปาน , 2558, (http://www2.yothinburana.ac.th/website/Teacher_Works/05_Health/preeda/book4.pdf).

สำนักงานสาธารณสุขอำเภอมะนัง จังหวัดสตูล. (2564). **คู่มือ แนวทางปฏิบัติป้องกันและแก้ไขปัญหาการล่วงละเมิดทางหรือการคุกคามทางเพศในการทำงาน.** https://shorturl.asia/uR28Y

สำนักงานสาธารณสุขอำเภอลี้ จังหวัดลำพูน. (2564). **คู่มือ แนวทางปฏิบัติป้องกันและแก้ไขปัญหาการล่วงละเมิดทางหรือการคุกคามทางเพศในการทำงาน.** https://shorturl.asia/6bKoh

รัชฎาภรณ์ ศรีรักษา. (2557). **วาทกรรมการคุกคามทางเพศในชีวิตประจำวัน: การศึกษาวาทกรรมวิเคราะห์เชิงวิพากษ์**. ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

รัตติกาล พลอยสวน. (2564). การป้องกันตนเองไม่ให้ตกเป็นเหยื่อการถูกล่วงละเมิดทางเพศของนักศึกษาระดับปริญญาตรีในเขตดุสิต กรุงเทพมหานคร. **วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา**, 4(1), 65–66.

รัตนาภรณ์ โปปัญจมะกุล และคณะ. (2562). การศึกษารูปแบบและวิธีการโต้ตอบต่อการถูกคุกคามทางเพศของนักเรียนมัธยมศึกษา. **วารสารศึกษาศาสตร์ มมร คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหามกุฏราชวิทยาลัย,** 7(2) 446–447

อัมพร ธำรงลักษณ์. (2552). **รายงานวิจัย เรื่อง การคุกคามทางเพศในโรงเรียนมัธยมศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะรัฐศาสตร์. 271 (44), 27299–303.

Bogart, K. & Nan, S. (1987). “Breaking the Silence : Sexual Harassment in Education,” **Peabody Journal of Education**. 64(4) :146–163

POBPAD. (2565). **รูปแบบและวิธีรับมือ Sexual Harassment ภัยสังคมที่ไม่ควรเพิกเฉย.** https://www.pobpad.com/รูปแบบและวิธีรับมือ–sexual–harassment–ภ

Shoop, Robert, J. & Edward, S, Debra, L. (1994). **How to Stop Sexual Harassment in our Schools.** Massachusetts : Allyn & Bacon.

Zimbardo, P. G. (1969). The human choice, reason, and order versus deindividuation, impluse, and chaos. **Nebraska Symposium on Motivation**, 17, 237–307.

ปัญหาทางกฎหมายในการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับในคดีอาญา

Legal problems in social work and public service work instead of fines in criminal cases

สุภาวดี อินแถลง[1]* วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ[1]

Suphawadee Inthalaeng[1]* Wimonrekha Sirichairawan[1]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาและเสนอแนวทางออกที่เหมาะสมกับสภาพการณ์ในปัจจุบันมากยิ่งขึ้น โดยศึกษาแนวความคิด ทฤษฎีของการลงโทษในคดีอาญาโดยเฉพาะโทษปรับ ศึกษาการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณะประโยชน์ของต่างประเทศ รวมถึงสัมภาษณ์ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวิจัยพบว่า ปัญหาประการแรก ตามประมวลกฎหมายอาญามาตรา 30/1 ให้ผู้ต้องโทษปรับซึ่งมิใช่นิติบุคคลและไม่มีเงินชำระค่าปรับเท่านั้นที่จะมีสิทธิยื่นคำร้องต้องศาลชั้นต้น ประกอบกับคำสั่งของศาลในแบบคำร้อง (บ.ส.1) ที่ยกคำร้องหากพบว่าจำเลยสามารถชำระค่าปรับได้ ปัญหาประการที่สอง ตามมาตรา 30/2 ถ้าผู้ต้องโทษฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามคำสั่งหรือเงื่อนไขที่ศาลกำหนด ถือว่าผู้นั้นไม่เห็นความสำคัญของมาตรการทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับ มีผลให้ศาลจะเพิกถอนคำสั่งอนุญาตดังกล่าวและปรับหรือกักขังแทนค่าปรับ แต่มิได้มีคำสั่งบังคับให้ริบทรัพย์สินตามมาตรา 29 และ 29/1 ก่อน ปัญหาประการที่สาม ศาลพึงสอบถามผู้ต้องโทษปรับ ซึ่งบางรายมิได้รู้ว่ามีมาตรการเฉพาะผู้ที่ไม่สามารถชำระค่าปรับได้ ถือว่าเป็นการเลือกปฏิบัติ

ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนวทางออกในการแก้ไขประมวลกฎหมายอาญาหรือมาตรการทางกฎหมาย ดังนี้ 1. ผู้ต้องโทษปรับสามารถยื่นคำร้องขอทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับได้แม้บุคคลนั้นจะสามารถจ่ายค่าปรับได้ก็ตาม 2. เมื่อศาลพิจารณาถึงฐานความผิดที่ได้กระทำและประวัติการกระทำความผิดครั้งก่อนแล้ว หากผู้ที่ต้องโทษปรับฝ่าฝืนไม่ทำงานบริการสังคมหรือสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับโดยไม่มีเหตุสมควร ควรกลับมาดำเนินการบังคับโทษปรับตามประมวลกฎหมายอาญาตามลำดับ มิใช่ผู้ต้องโทษปรับถูกบังคับให้กักขังทันที 3. ศาลต้องแจ้งสิทธิให้ผู้ต้องโทษปรับเกี่ยวกับการยื่นคำร้องขอทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับทราบในขณะพิพากษาคดี ไม่ว่าคดีนั้นจะเป็นความผิดตามประมวลกฎหมายอาญาหรือความผิดในคดีนโยบาย เช่น คดีเกี่ยวกับภาษี คดีเช็ค คดีเกี่ยวกับการรับคนต่างด้าวเข้าทำงาน เป็นต้น หรือแม้ว่าผู้ต้องโทษจะสามารถชำระค่าปรับได้ก็ตาม เพื่อให้เป็นการลงโทษโดยทั่วไป มิได้เป็นการเจาะจงเฉพาะผู้ต้องโทษปรับที่ไม่สามรถชำระค่าปรับได้ และเพื่อให้ผู้ต้องโทษปรับในคดีนโยบายบางประเภทดังกล่าวได้รับการแก้ไขฟื้นฟูมากกว่าต้องถูกบังคับการลงโทษ อันเป็นการสอดคล้องกับหลักการลงโทษสากล

คำสำคัญ: โทษปรับในคดีอาญา กักขังแทนค่าปรับ ริบทรัพย์สิน การทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์ คดีนโยบาย

---

[1] คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000.

[1] School of Law, University of Phayao, Phayao Province 56000

* Corresponding author: In.suphawadee@gmail.com

Abstract

This research article aims to study the problem and propose solutions that are more appropriate to the current situation by studying the theory and concepts of punishment in criminal cases, especially fines, studying social service work or public benefits according to foreign guidelines, including interviews with those involved.

From the research study, it was found that: The first problem, Criminal Code Section 30/1 only allows those convicted of a fine who are not juristic persons and do not have money to pay the fine, to have the right to submit a petition to the Court of First Instance together with the court's order in the petition form (Bor Sor 1) dismissing the petition if it is found that the defendant can pay the fine. The second problem, according to Section 30/2, is if the convicted person violates or fails to comply with orders or conditions set by the court, it is considered that he/she does not see the importance of social service measures instead of fines. As a result, the court will revoke the said permission order and impose a fine or detention instead of the fine but without first ordering the confiscation of assets according to Sections 29 and 29/1. The third problem, the court should ask those who have been sentenced to fines, some of whom do not know that there are specific measures for those who are unable to pay the fine, this is considered discrimination.

Therefore, the researcher would like to propose a solution for amending the Criminal Code or legal measures as follows: 1. A person who has been sentenced to be fined can submit a request to do social service instead of the fine, even if that person can pay the fine, 2. When the court considers the offense that the offender committed and the history of previous offenses, if the person who has been fined, fails to perform social services or public benefits instead of the fine without reasonable grounds, he/she should return to enforce the fine penalty according to the criminal code respectively, not those convicted of a fine and forced to be imprisoned immediately, 3. The court must notify the rights of the person convicted of a fine regarding submitting a request to do social service or public service work instead of the fine while adjudicating the case, regardless of whether the case is an offense under the Criminal Code or an offense in a policy case such as a tax case, bill of exchange case, cases regarding the employment of foreigners, etc., or even if the convicted person can pay the fine, to be a general punishment without specifically targeting those who are unable to pay the fine. and so that those convicted of certain types of policy cases will receive rehabilitation rather than having to be forced to be punished, which is consistent with international punishment principles.

Keywords: fine in the criminal case, impose the detention instead of the fine, the confiscation of assets, social work or public service work

บทนำ

วัตถุประสงค์ของการบังคับโทษปรับคือการมุ่งประสงค์ถึงผลกระทบต่อฐานะทางการเงินของผู้กระทำความผิด ในบางกรณีการบังคับโทษปรับไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์นั้นได้เท่าที่ควร เนื่องจากผู้กระทำความผิดที่มีฐานะทางการเงินหรือฐานะทางเศรษฐกิจที่ดีทำให้การบังคับโทษปรับไม่กระทบถึงสถานะทางการเงินของผู้กระทำผิดนั้นได้ แต่การบังคับโทษปรับจะมีผลกระทบเฉพาะผู้กระทำความผิดที่มีฐานะยากจนเท่านั้น เห็นได้ว่าการลงโทษปรับมิได้ก่อให้เกิดความยุติธรรมหรือเสมอภาคเท่าเทียมกันอย่างแท้จริง กลับให้เห็นถึงความเหลื่อมล้ำของกระบวนการทางอาญาจากคำพูดที่ว่าคุกมีไว้ขังคนจน เพราะหากผู้ต้องโทษปรับไม่มีเงินชำระค่าปรับศาลจึงมีคำสั่งให้กักขังแทนค่าปรับต่อไป

แม้ว่าในปัจจุบัน หากศาลมีคำพิพากษาให้ปรับผู้กระทำความผิด และผู้นั้นไม่มีเงินชำระค่าปรับศาลจะอาจมีคำสั่งให้ทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับในคดีอาญาได้ แต่เมื่อพิจารณาประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 30/1 ที่กำหนดให้ในกรณีที่ศาลมีคำพิพากษาปรับ ผู้ต้องโทษปรับซึ่งมิใช่นิติบุคคลและไม่มีเงินชำระค่าปรับเท่านั้นที่จะมีสิทธิยื่นคำร้องต้องศาลชั้นต้น ประกอบกับระเบียบราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม ว่าด้วยการกำหนดจำนวนชั่วโมงที่ถือเป็นการทำงานหนึ่งวัน และแนวปฏิบัติในการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณะประโยชน์แทนค่าปรับ และการเปลี่ยนสถานที่กักขัง พ.ศ.2546 ข้อ 4 และคำสั่งของศาลในแบบ คำร้อง (บ.ส.1) ที่ให้ยกคำร้องเนื่องจากจำเลยสามารถชำระค่าปรับได้ เห็นว่า การกำหนดให้เฉพาะบุคลธรรมดาและไม่สามารถชำระค่าปรับได้เท่านั้นที่จะสามารถทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับได้ หากเป็นกรณีผู้ต้องโทษปรับมีเงินชำระค่าปรับ แต่ไม่ต้องการชำระค่าปรับสามารถยื่นคำร้องขอทำงานบริการสังคมหรือสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับได้หรือไม่

ตามมาตรา 30/2 ถ้าผู้ต้องโทษฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามคำสั่งหรือเงื่อนไขที่ศาลกำหนด โดยถือว่าผู้ต้องโทษปรับไม่เห็นถึงความสำคัญของการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับในคดีอาญา หรือไม่ประสงค์ที่จะได้รับการแก้ไขฟื้นฟูการกระทำความผิดของตนแล้ว ศาลจะเพิกถอนคำสั่งอนุญาตดังกล่าวและปรับ หรือกักขังแทนค่าปรับ

ในการทำงานบริการสังและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับกฎหมายมิได้กำหนดให้ผู้ที่ต้องโทษปรับที่ไม่สามารถชำระค่าปรับได้สามารถทำงานบริการสังคมและสาธารณะประโยชน์แก่สังคมแทนค่าปรับนั้น ต้องเป็นผู้กระทำความผิดในฐานใดบ้าง จึงเป็นปัญหาว่าการขอทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับนั้นสามารถใช้ได้กับกฎหมายทุกประเภทหรือทุกฐานความผิดที่มีโทษปรับทางอาญาหรือไม่และการกระทำตวามผิดในคดีนโยบาย เช่น พระราชบัญญัติคนต่างด้าวฯ พระราชบัญญัติว่าด้วยความผิดอันเกิดจากการใช้เช็คฯ ความผิดเกี่ยวกับประมวลรัษฎากร พระราชบัญญัติสถานพยาบาลฯ เป็นต้น และตามระเบียบราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม ว่าด้วยการกำหนดจำนวนชั่วโมงที่ถือเป็นการทำงานหนึ่งวัน และแนวปฏิบัติในการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณะประโยชน์แทนค่าปรับ และการเปลี่ยนสถานที่กักขัง พ.ศ.2546 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2560 ข้อ 5 กำหนดให้ศาลพึงสอบถามว่าผู้ต้องโทษปรับมีเงินชำระค่าปรับหรือไม่ และแจ้งให้ทราบถึงสิทธิที่จะขอทำงานบริการสังคมหรือสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับ ซึ่งเป็นการแจ้งสิทธิให้เฉพาะกรณีที่ผู้ต้องโทษปรับไม่สามารถชำระค่าปรับได้เท่านั้น

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาแนวความคิดและความเป็นมาของโทษทางอาญาและการทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับทั้งของประเทศไทยและของต่างประเทศ

2. เพื่อศึกษาปัญหาทางกฎหมายที่เกิดจากการทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับตามประมวลกฎหมายอาญาของไทย

3. เพื่อค้นหาแนวทางออกของปัญหาทางกฎหมายที่เกิดจากการทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับ

สมมุติฐานของการศึกษา

การลงโทษโดยการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับสอดคล้องกับทฤษฎีการแก้ไขฟื้นฟูผู้กระทำความผิด ให้มีประสิทธิภาพ ไม่ควรนำเอาความสามารถในการชำระค่าปรับมาเป็นเงื่อนไขในการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณประโยชน์ ซึ่งผู้ต้องโทษบางรายที่กระทำความผิดเล็กน้อยหรือเป็นความผิดที่ไม่มีการกระทบโดยตรงกับชีวิตร่างกาย และไม่อยากชำระค่าปรับเป็นจำนวนเงิน อาจยื่นคำร้องขอทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับได้โดยเท่าเทียมกัน โดยมิควรจำกัดว่าเป็นคดีนโยบายหรือไม่ ซึ่งจะส่งผลให้สังคมได้รับประโยชน์ ในขณะเดียวกันก็ได้แก้ไขเยียวยาฟื้นฟูและเป็นการให้โอกาสผู้กระทำผิดได้สำนึกในการกระทำของตน

วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยจะทำการศึกษาในเชิงคุณภาพ (Qualitative research) โดยเป็นการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลทางนิติศาสตร์จากเอกสาร (Documentary research) ไม่ว่าจะเป็นแนวคิด ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กฎหมาย และระเบียบต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับในคดีอาญา เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ประกอบกับการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) จากผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key information) และใช้วิธีเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ซึ่งเป็นบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับ มาศึกษาค้นคว้า วิเคราะห์ สรุปผล เพื่อให้ทราบถึงปัญหาของการทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์และนำข้อมูลที่ศึกษามาปรับใช้ในการหาแนวทางออกของการทำงานบริการสังคมเพื่อให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น หาความเหมาะสมของการนำมาตรการดังกล่าวมาปรับใช้แทนการลงโทษปรับในคดีอาญา

ผลการศึกษา

1. โทษทางอาญา

1.1 ความหมายของโทษทางอาญา

“โทษ” เป็นเครื่องมือทางกฎหมายเป็นวิธีการที่มนุษย์กำหนดขึ้นเพื่อใช้บังคับกับมนุษย์ที่ฝ่าฝืนหรือละเมิดต่อกฎระเบียบของสังคม เพื่อให้เกิดความสงบเรียบร้อยในสังคม โทษจึงต้องสร้างความเกรงกลัวให้แก่ผู้กระทำความผิด ทำให้รู้สึกว่าผู้กระทำผิดนั้นต้องได้รับผลร้าย ต่อทรัพย์สิน เสรีภาพ ชีวิต ร่างกาย ของผู้กระทำผิดเอง และต้องแสดงให้เห็นว่าเป็นการตำหนิการกระทำของผู้ทำผิดและโทษที่จะนำมาใช้กับบุคคลนั้นต้องมีความสัมพันธ์กับสภาพสังคมหรือบริบทของสังคมนั้น ๆ ด้วย[2]

1.2 ทฤษฎีการลงโทษทางอาญา

นักวิชาการทางกฎหมายได้มีการแบ่งวัตถุประสงค์ของการลงโทษออกเป็น 5 ทฤษฎี[3] ได้แก่

(1) **ทฤษฎีการแก้แค้นทดแทน** เป็นวัตถุประสงค์ของการลงโทษที่มีมาตั้งแต่สมัยที่ไม่มีระบบรัฐ ซึ่งในสังคมดั้งเดิมมีการยอมรับการลงโทษในลักษณะที่เป็นการแก้แค้นส่วนตัว โดยมีกฎหมายในภาษาละติน Lex Talionis หรือ Talion Law มองว่าอาชญากรควรได้รับเป็นการลงโทษตามอาการบาดเจ็บและความเสียหายที่พวกเขาสร้างไว้กับเหยื่อ[4] ซึ่งมีการนำไปใช้กับกฎตาต่อตาฟันต่อฟันในเวลาต่อมา แม้ว่าการลงโทษในลักษณะนี้เป็นการลงโทษที่รุนแรงแต่ก็ทำให้ในปัจจุบันมีการปรับเปลี่ยนการลงโทษให้เหมาะสมกับความผิด จึงเป็นที่มาของหลักการลงโทษให้ได้สัดส่วน ซึ่งในปัจจุบันมีการยอมรับการแก้แค้นในกระบวนการยุติธรรมโดยรัฐมากกว่า หากกระบวนการยุติธรรมลงโทษผู้กระทำความผิดไม่ก่อให้เกิดความเป็นธรรมแก่ผู้เสียหาย การแก้แค้นอาจกลับมาแก้แค้นในรูปแบบส่วนตัวได้

(2) **ทฤษฎีการข่มขู่ยับยั้ง** เป็นวัตถุประสงค์ในลักษณะของการสร้างประโยชน์สังคม เป็นการยับยั้งมิให้มีการกระทำความผิดอีกและยับยั้งมิให้ผู้อื่นเลียนแบบการกระทำความผิดนั้น ซึ่งในประเทศสิงค์โปร์ มาเลเซีย บรูไน มีการนำโทษประหารชีวิต จำคุกระยะยาว รวมถึงการเฆี่ยน มาใช้บังคับเพื่อเป็นการข่มขู่ยับยั้งการกระทำความผิดได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ

(3) **ทฤษฎีการตัดความสามารถในการกระทำความผิด** เป็นการประหารชีวิตและจำคุกตลอดชีวิตที่เป็นการตัดความสามารถมิให้ผู้กระทำความผิดได้กระทำความผิดในสังคมอีกตลอดไป แต่การจำคุกเพียงชั่วระยะเวลาหนึ่งเป็นการตัดความสามารถในการกระทำความผิดเพียงชั่วคราว รวมถึงการริบทรัพย์สินที่ได้ใช้หรือมีไว้เพื่อจะใช้ในการกระทำความผิด ในบางประเทศมีการลงโทษโดยการฉีดยาลดความต้องการทางเพศให้กับผู้ที่กระทำความผิดเกี่ยวกับเพศซึ่งเป็นวิธีการตัดความสามารถในการกระทำความผิดอีกรูปแบบหนึ่ง

---

[2] ธานี วรภัทร์, **หลักกฎหมายมาตรการบังคับทางอาญา**, (กรุงเทพฯ: วิญญูชน, 2557), หน้า 22-23.

[3] ปกป้อง ศรีสนิท, **กฎหมายอาญาขั้นสูง**, พิมพ์ครั้งที่ 2 วิญญูชน, 2561, หน้า 189-191.

[4] The Editors of Encyclopaedia Britannica, **talion law**, สืบค้นเมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2566, https://www.britannica.com/topic/talion.

(4) ทฤษฎีการแก้ไขฟื้นฟูผู้กระทำความผิด เป็นวัตถุประสงค์ที่สอดคล้องกับเรื่องหลักสิทธิมนุษยชนมากที่สุด โดยมองว่าผู้ที่กระทำความผิดเป็นเสมือนผู้ป่วย หากได้รับการแก้ไข ฟื้นฟูร่างกาย จิตใจ มีการปรับเปลี่ยนนิสัยแล้วสังคมก็จะได้ประโยชน์จากการลงโทษ เมื่อผู้กระทำความผิดมีความสำนึกและรับผิดชอบต่อสังคมแล้ว ก็จะไม่กลับไปกระทำความผิดอีก หากผู้กระทำความผิดได้ถูกลงโทษหรือได้รับผลร้ายจากการลงโทษแต่เพียงอย่างเดียวไม่สามารถที่จะทำให้บุคคลที่กระทำความผิดมาแล้วนั้นสามารถประพฤติตัวดีขึ้น และไม่สามารถทำให้ผู้กระทำความผิดเกิดความสำนึกหรือความรับผิดชอบในการกระทำของตน

(5) ทฤษฎีการนำผู้กระทำความผิดกลับสู่สังคม เป็นวัตถุประสงค์ที่มีการพัฒนามาจากการแก้ไขฟื้นฟูผู้กระทำความผิด เป็นการให้โอกาสผู้กระทำความผิดกลับเข้าสู่สังคมและสามารถดำเนินชีวิตอยู่ร่วมกับคนในสังคมได้ เช่น ก่อนพ้นโทษให้เรือนจำกับผู้ว่าจ้างหรือนายจ้างร่วมมือกันทดลองนำนักโทษไปปฏิบัติงานหรือทำงานในช่วงเวลาหนึ่งก่อนเพื่อให้ได้รับการยอมรับจากสังคมหรือปรับสภาพแวดล้อมให้แก่นักโทษ เป็นต้น

1.3 ประเภทของโทษทางอาญา

โทษทางอาญาตามมาตรา 18 แห่งประมวลกฎหมายอาญาของประเทศไทยได้บัญญัติโทษสำหรับลงแก่ผู้กระทำความผิดมีดังนี้

(1) ประหารชีวิต

(2) จำคุก

(3) กักขัง

(4) ปรับ

(5) ริบทรัพย์สิน

1.4 แนวความคิดเกี่ยวกับดุลพินิจในการลงโทษ

เป็นแนวความคิดที่ว่าด้วยการลงโทษ นอกจากจะคำนึงถึงผลร้ายที่ผู้กระทำความผิดจะต้องได้รับแล้วควรคำนึงถึงผลที่มีต่อผู้กระทำความผิดหรือต่อสังคมในด้านอื่น ๆ ด้วย เพื่อการลงโทษกับสภาพการณ์ของสังคมในแต่ละยุคสมัย ดุลพินิจในการลงโทษต้องพิจารณา 2 ทฤษฎี ดังนี้

(1) ทฤษฎีเด็ดขาด เป็นการลงโทษให้สาสมกับการกระทำความผิด มีวัตถุประสงค์ในการลงโทษเพื่อทดแทนความผิดที่ผู้กระทำผิดคนนั้นได้ก่อให้เกิดขึ้นอย่างเดียว กล่าวคือ ต้องเป็นการลงโทษเพื่อให้มีการแก้แค้นตอบแทนที่ถูกต้องต่อผู้ที่กระทำความผิด ตั้งอยู่บนพื้นฐานของศีลธรรม และยังเป็นการรักษาความยุติธรรมของสังคมไว้ เป็นทฤษฎีที่สามารถบังคับใช้ได้อย่างทั่วไป ใช้ได้เสมอไปและใช้ได้ตลอดไป ไม่คำนึงถึงกาลเทศะหรือพฤติการณแวดล้อมใดๆ ทั้งสิ้นเป็นทฤษฎีที่ยืนยันตนเองว่าเป็นทฤษฎีที่ถูกต้องสามารถนำไปปรับใช้ได้กับทุกสถานการณ์ไม่ว่าจะเป็นสถานที่ใดหรือเวลาใดก็ได้ โดยโทษที่จะลงนั้นขึ้นอยู่กับความร้ายแรงแห่งผลการกระทำผิดด้วย

(2) ทฤษฎีสัมพันธ์ เป็นทฤษฎีที่ต้องพิจารณาถึงเหตุผลและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยมิได้พิจารณาจากการกระทำความผิดเหมือนดังทฤษฎีเด็ดขาดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่เป็นการพิจารณาว่าเมื่อมีการกระทำความผิดแล้วต้องมีการลงโทษอย่างไรเพื่องให้การลงโทษนั้นมีประโยชน์ต่อตัวผู้กระทำความผิดด้วย เนื่องจากผู้กระทำความผิดเป็นเพื่อนมนุษย์ด้วยกัน การลงโทษนั้นควรจะมีผลเป็นการกระทำให้ผู้กระทำผิดหวาดกลัว กลับตนเป็นคนดีทำให้สังคมเกิด

ความปลอดภัยจากการกระทำความผิด เป็นการป้องกันขัดขวางมิให้เกิดการกระทำความผิดขึ้นอีก ซึ่งแยกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

(2.1) การป้องกันทั่วไป (general prevention) เป็นการป้องกันมิให้บุคคลในสังคมโดยทั่วไปกระทำความผิด โดยเป็นการลงโทษเพื่อให้เป็นแบบอย่าง บังคับจิตใจให้บุคคลทั่วไปในสังคมที่มีความคิดจะกระทำความผิดไม่กระทำความผิดอย่างเดียวกันนั้น หรือเกิดความเกรงกลัวไม่กล้ากระทำความผิดเช่นนั้นอีก

(2.2) การป้องกันพิเศษ (special prevention) แม้ว่าบุคคลนั้นจะกระทำความผิด แต่การลงโทษควรก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้กระทำความผิด และยังต้องทำให้ผู้กระทำความผิดเกิดความหวาดกลัวไม่กล้ากระทำผิดอีกต่อไป ในเวลาเดียวกันเพื่อให้ผู้กระทำความผิดได้มีโอกาสกลับตนเป็นคนดี สามารถปรับตัวเข้ากับสังคมได้ และทำให้สังคมมีความปลอดภัยพ้นจากภยันตรายอันพึงเกิดจากการกระทำความผิดของผู้กระทำความผิดในอนาคต

2. โทษปรับทางอาญา

2.1 แนวความคิดเกี่ยวกับการกำหนดโทษปรับทางอาญา

การลงโทษปรับมีมาแต่ในสมัยโบราณ เป็นโทษที่เก่าแก่และมีอยู่ก่อนโทษจำคุก เนื่องจากภายหลังที่มีการยกเลิกการแก้แค้นทดแทนและมีกฎหมายห้ามมิให้ผู้เสียหายแก้แค้นทดแทนด้วยตนเอง แต่กฎหมายกำหนดให้ผู้กระทำความผิดต้องเสียเงินค่าปรับหรือให้บริการอย่างใดอย่างหนึ่งแก่ผู้เสียหายเป็นการตอบแทนการกระทำความผิด[5] ในประมวลกฎหมายพระเจ้าฮัมบูราบี กษัตริย์แห่งเมืองบาบิโลน ผู้ใดเอาทรัพย์สินของผู้อื่นไปจะต้องถูกปรับเป็นจำนวน 5 เท่าของราคาของที่เอาไป หรือหากเป็นกรณีลักสัตว์เลี้ยง ผู้นั้นจะต้องถูกปรับเป็นจำนวน 10 เท่าของราคาสัตว์ หรือหากเป็นการประทุษร้ายต่อทรัพย์ของแผ่นดินหรือลักทรัพย์ของหลวง ผู้นั้นจะต้องถูกปรับเป็นจำนวน 30 เท่า ของราคาทรัพย์นั้น23 ในกฎหมายยิว สมัยโมเสส ก็ได้มีการกำหนดโทษปรับเอาไว้เช่นกันโดยถือว่าเป็นการเยียวยาผู้เสียหายทางหนึ่ง

2.2 โทษปรับทางอาญาของประเทศไทย

โทษปรับ เป็นการปรับจำนวนเงินตามที่กฎหมายกำหนด ดังที่บัญญัติไว้ในมาตรา 28 แห่งประมวลกฎหมายอาญา ว่า มาตรา 28 ผู้ใดต้องโทษปรับ ผู้นั้นจะต้องชำระเงินค่าปรับตามจำนวนเงินที่กำหนดในคำพิพากษาต่อศาล โดยในความผิดฐานต่าง ๆ ที่อาจกำหนดโทษปรับในอัตราขั้นสูงไว้ หรือบางกรณีกำหนดจำนวนขั้นต่ำของโทษปรับขั้นต่ำไว้

ในกรณีที่ศาลมีคำพิพากษาให้ปรับผู้กระทำความผิดหลายคน มาตรา 31 บัญญัติว่า ในกรณีที่ศาลจะพิพากษาให้ปรับผู้กระทำความผิดหลายคนในความผิดอันเดียวกันในกรณีเดียวกัน ให้ศาลต้องลงโทษปรับเรียงตามรายบุคคล ศาลเป็นผู้กำหนดจำนวนเงินค่าปรับภายในขอบเขตตามที่บัญญัติไว้ในกฎหมายแต่ละฐานความผิดนั้น และผู้ต้องโทษปรับต้องนำเงินตามจำนวนที่ศาลกำหนดไว้ในคำพิพากษามาชำระต่อศาลภายในสามสิบวันนับแต่วันที่ศาลมีคำพิพากษา มิเช่นนั้น ผู้ต้องโทษปรับต้องถูกบังคับโทษปรับ

---

[5] สุวรรณ ทองเนื้อแข็ง, **การบังคับโทษปรับ** (นิติศาสตรมหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539), หน้า 7.

แม้ว่าโดยหลักแล้วโทษปรับวัตถุประสงค์คือการที่รัฐบังคับเอากับจำนวนเงินของผู้ต้องโทษปรับก็ตาม แต่เมื่อผู้ต้องโทษปรับไม่สามารถนำเงินมาชำระค่าปรับได้กฎหมายจึงมีมาตรการการบังคับโทษปรับ ดังนี้

(1) ยึดทรัพย์สินใช้ค่าปรับ ตามมาตรา 29 แห่งประมวลกฎหมายอาญา เป็นกรณีที่ผู้ต้องโทษปรับไม่ชำระค่าปรับต่อศาลภายในเวลา 30 วันนับแต่วันที่ศาลมีคำพิพากษาถึงที่สุด เนื่องจากการบังคับคดีอาญาจะกระทำได้ต่อเมื่อคดีถึงที่สุดแล้ว มิฉะนั้นจะต้องถูกยึดทรัพย์หรือถูกกักขังแทนค่าปรับตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติศาลมักมีคำสั่งให้กักขังแทนค่าปรับทันทีซึ่งเป็นการไม่ปฏิบัติตามบทบัญญัติของกฎหมาย

การยึดทรัพย์เพื่องบังคับคดี ตามมาตรา 29/1 ให้ศาลมีอำนาจออกหมายบังคับคดีได้ทันทีเมื่อผู้ต้องโทษปรับไม่ชำระค่าปรับภายในกำหนด

(2) กักขังแทนค่าปรับ ในกรณีการกักขังแทนค่าปรับนั้น อัตราของจำนวนเงินค่าปรับในการคำนวณเพื่อกักขังแทนค่าปรับในปัจจุบัน ให้ถืออัตรา 500 บาทต่อวัน ตามมาตรา 30 แห่งประมวลกฎหมายอาญา โทษกักขังแทนค่าปรับห้ามกักขังเกิน 1 ปี เว้นแต่ศาลมีคำพิพากษาให้ปรับตั้งแต่ 200,000 บาท ศาลจะสั่งกักขังแทนค่าปรับเกินกว่า 1 ปี แต่ไม่เกิน 2 ปีก็ได้เป็นดุลพินิจของศาล

(3) ทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับ เป็นหนึ่งในวัตถุประสงค์ของการลงโทษที่ประสงค์ให้ผู้กระทำความผิดสามารถกลับตัวเป็นพลเมืองดีได้ โทษที่ได้รับต้องมีความเหมาะสมกับสภาพแห่งความผิดด้วย และในปัจจุบันการกักขังแทนค่าปรับเป็นโทษที่หนักยิ่งกว่าโทษปรับ จึงสมควรปรับเปลี่ยนมาตรการลงโทษเสียใหม่ โดยกำหนดมาตรการให้ผู้ต้องโทษปรับทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับได้อีกทางหนึ่ง

3. การทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับในประเทศไทย

ตามพระราชบัญญัติแก้ไขเพิ่มเติมประมวลกฎหมายอาญา (ฉบับที่ 15) พ.ศ.2545 มาตรา 7 ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นมาตรา 30/1 มาตรา 30/2 และมาตรา 30/3 แห่งประมวลกฎหมายอาญา โดยเหตุผลว่า เนื่องจากเนื่องจากในการลงโทษผู้กระทำความผิดทางอาญามีหลักการสำคัญประการหนึ่ง คือ เพื่อแก้ไขให้ผู้นั้นสามารถกลับตัวเป็นพลเมืองดี ดังนั้น โทษที่ผู้กระทำความผิดควรจะได้รับจึงต้องมีความเหมาะสมกับสภาพความผิด อย่างไรก็ตาม ปรากฏว่า ในปัจจุบันมีผู้ได้รับโทษปรับต้องถูกกักขังแทนค่าปรับเป็นจำนวนมากขึ้น ซึ่งผู้รับโทษนั้น ๆ ต้องสูญเสียอิสรภาพโดยไม่สมควร ทำให้บุคคลในครอบครัวต้องเดือดร้อนและรัฐต้องรับภาระในการดูแลเพิ่มมากขึ้น สมควรปรับเปลี่ยนมาตรการลงโทษเสียใหม่ โดยกำหนดมาตรการให้ผู้ต้องโทษปรับทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับได้อีกทางหนึ่ง

เมื่อพิจารณาตามมาตรา 30/1 ที่มีการแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติแก้ไขเพิ่มเติมประมวลกฎหมายอาญา (ฉบับที่ 25) พ.ศ.2559 มาตรา 5 ว่า “ในกรณีที่ศาลพิพากษาปรับ ผู้ต้องโทษปรับซึ่งมิใช่นิติบุคคลและไม่มีเงินชำระค่าปรับอาจยื่นคำร้องต่อศาลชั้นต้นที่พิพากษาคดีเพื่อขอทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับหรือถ้าความปรากฏแก่ศาลในขณะที่พิพากษาคดีว่าผู้ต้องโทษปรับรายใดอยู่ในเกณฑ์ที่จะทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์ตามมาตรานี้ได้ และถ้าผู้ต้องโทษปรับยินยอม ศาลจะมีคำสั่งให้ผู้นั้นทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับก็ได้...” เห็นว่าผู้ที่ต้องโทษปรับที่ไม่ใช่นิติบุคคล และ ไม่มีเงินชำระค่าปรับ อาจยื่นคำร้องเพื่อขอทำงานบริการสังคมฯแทนค่าปรับ กล่าวคือ กรณีที่ศาลมีคำพิพากษาปรับ ผู้ต้องโทษปรับต้องเป็นบุคคลธรรมดาและไม่มีเงินชำระค่าปรับเท่านั้นที่จะสามารถยื่นคำร้องขอทำงานบริการสังคมฯแทนค่าปรับได้ แต่ในทางกลับกันหากบุคคลธรรมดาผู้ต้องโทษปรับที่มีเงินชำระค่าปรับไม่สามารถยื่นคำร้องขอทำงานบริการสังคมฯแทนค่าปรับได้ ประกอบกับ

ระเบียบราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม ว่าด้วยการกำหนดจำนวนชั่วโมงที่ถือเป็นการทำงานหนึ่งวัน และแนวปฏิบัติในการให้ทำงานบริการสังคมหรือสาธารณะประโยชน์แทนค่าปรับ และการเปลี่ยนสถานที่กักขัง พ.ศ. 2546 หมวดที่ 3 แนวทางปฏิบัติในการมีคำสั่งให้ทำงานบริการสังคมหรือสาธารณประโยชน์ ข้อ 4 ที่กำหนดให้ผู้ต้องโทษปรับซึ่งไม่มีเงินชำระค่าปรับอาจร้องขอทำงานบริการสังคมฯ และข้อ 5 ในกรณีผู้ต้องโทษปรับมิได้ร้องขอทำงานบริการสังคมฯแทนค่าปรับ ศาลพึงสอบถามว่าผู้ต้องโทษปรับมีเงินชำระค่าปรับหรือไม่ และแจ้งให้ทราบถึงสิทธิที่จะขอทำงานบริการสังคมฯแทนค่าปรับ นอกจากนี้คำร้อง (บ.ส.1) ในส่วนของคำสั่งศาล มีการระบุถึงกรณีหากศาลเห็นสมควรยกคำร้อง เนื่องจากจำเลยสามารถชำระค่าปรับได้ ซึ่งถือว่าการที่จำเลยสามารถชำระค่าปรับได้ให้ศาลยกคำร้อง

ในส่วนมาตรา 30/2 ถ้าภายหลังศาลมีคำสั่งอนุญาตตามมาตรา 30/1 แล้ว ความปรากฏแก่ศาลเองหรือความปรากฏตามคำแถลงของโจทก์หรือเจ้าพนักงานว่าผู้ต้องโทษปรับมีเงินพอชำระค่าปรับได้ในเวลาที่ยื่นคำร้องตามมาตรา 30/1 หรือฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามคำสั่งหรือเงื่อนไขที่ศาลกำหนด ศาลจะเพิกถอนคำสั่งอนุญาตดังกล่าวและปรับ หรือกักขังแทนค่าปรับ โดยให้หักจำนวนวันที่ทำงานมาแล้วออกจากจำนวนเงินค่าปรับก็ได้

ในระหว่างการทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับ หากผู้ต้องโทษปรับไม่ประสงค์จะทำงานดังกล่าวต่อไป อาจขอเปลี่ยนเป็นรับโทษปรับ หรือกักขังแทนค่าปรับก็ได้ ในกรณีนี้ให้ศาลมีคำสั่งอนุญาตตามคำร้อง โดยให้หักจำนวนวันที่ทำงานมาแล้วออกจากจำนวนเงินค่าปรับ เห็นว่า เป็นกรณีที่ศาลมีคำสั่งอนุญาตให้ผู้ต้องโทษปรับทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับแล้วต่อมาภายหลังผู้ต้องโทษปรับมีเงินพอชำระค่าปรับและประสงค์จะชำระค่าปรับหรือเป็นกรณีที่ผู้ต้องโทษปรับฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามคำสั่งหรือเงื่อนไขที่ศาลกำหนด หรือไม่ประสงค์ทำงานบริการสังคมฯแทนค่าปรับ ให้ศาลเพิกถอนคำสั่งที่ให้ทำงานบริการสังคมฯแทนค่าปรับ แล้วดำเนินการปรับต่อไป ซึ่งในกรณีที่ผู้ต้องโทษปรับฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามคำสั่งหรือเงื่อนไขที่ศาลกำหนดและยังไม่มีเงินมาชำระค่าปรับ มาตรา 30/2 กำหนดให้กักขังแทนค่าปรับเท่านั้น โดยมิได้กำหนดให้ยึดทรัพย์สินใช้ค่าปรับ ตามมาตรา 29 แห่งประมวลกฎหมายอาญา เป็นกรณที่ผู้ต้องโทษปรับไม่ชำระค่าปรับต่อศาลภายในเวลา 30 วันนับแต่วันที่ศาลมีคำพิพากษาถึงที่สุดก่อน เนื่องจากวัตถุประสงค์หลังของโทษปรับคือการบังคับเอาแก่ทรัพย์สินของผู้ต้องโทษก่อน แต่การกักขังแทนค่าปรับเป็นการบังคับเอากับเสรีภาพของผู้ต้องโทษปรับอันถือว่าเป็นการลงโทษที่ทำให้ผู้ต้องโทษปรับได้รับผลร้ายมากกว่าเดิม

และตามมาตรา 30/3 คำสั่งศาลตามมาตรา 30/1 และ มาตรา 30/2 ให้เป็นที่สุด

4. โทษปรับทางอาญาและการทำงานบริการสังคมในต่างประเทศ

4.1 ประเทศอังกฤษ

ในประเทศอังกฤษศาลสามารถลงโทษปรับควบคู่ไปกับโทษสถานอื่นได้ โดยการลงโทษปรับของประเทศอังกฤษมีแนวคิดว่า ผู้ที่กระทำความผิดที่มีฐานะทางการเงินที่ดีต้องจ่ายค่าปรับในจำนวนที่มากกว่าผู้ที่กระทำความผิดที่มีฐานะทางการเงินที่ต่ำกว่าแม้ผู้กระทำความผิดนั้นจะได้กระทำความผิดในฐานเดียวกันก็ตาม โดยการลงโทษปรับนั้นใช้ระบบปรับเป็นหน่วย คือการแยกความผิดเป็น 10 ระดับ[6] แต่ละระดับมีอัตราค่าปรับจะเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ ซึ่งศาลใช้ดุลพินิจคำนวณจากรายได้ตามความเป็นจริงในช่วงเวลานั้นของผู้กระทำความผิดที่ต้องเสียไปในแต่ละสัปดาห์ นอกจากนี้ศาลต้อง

[6] The Criminal Justice Act 1982, Section 69 (1).

พิจารณาสภาพแวดล้อมแห่งข้อหา ประวัติอาชญากรรมของผู้กระทำความผิด และความสามารถของการชำระค่าปรับประกอบกัน ส่งผลให้การลงโทษปรับเป็นไปอย่างสมเหตุสมผล ผู้กระทำความผิดที่ถูกศาลสั่งให้ลงโทษต้องชำระค่าปรับภายในระยะเวลาอันสมควรหรือผ่อนชำระค่าปรับเป็นงวด ๆ แล้วแต่กรณีตามที่ศาลกำหนด หากผู้กระทำความผิดผิดนัดไม่ชำระค่าปรับศาลมีอำนาจลงโทษจำคุกแทนค่าปรับได้ แต่ในกรณีที่ผู้กระทำความผิดเป็นผู้ไม่สามารถชำระค่าปรับได้เลย ศาลมีอำนาจออกคำสั่งว่าควรงดโทษปรับสำหรับบุคคลนั้นและออกคำสั่งให้บริการสังคม หรือคุมประพฤติ หรือปล่อยตัวโดยกำหนดเงื่อนไข หรือให้ชดใช้ค่าเสียหาย เป็นต้น ตามบทบัญญัติของ The Power of Criminal Act 1973 แก้ไขเพิ่มเติมโดย The Criminal Justice Act 1988, Section 35[7]

คำสั่งของศาลที่ให้ผู้กระทำความผิดทำงานบริการสังคมหรือสาธารณะประโยชน์อยู่ภายใต้กฎหมาย The Power of Criminal Act 1973, Section 14, 15 ดังนี้

(1) กรณีผู้กระทำความผิดที่มีอายุ 16 ปีหรือกว่า 16 ปี ก่อนศาลมีคำพิพากษา ศาลมีอำนาจสั่งให้ทำงานบริการสังคมโดยไม่ได้รับค่าจ้าง ตามจำนวนชั่วโมงที่ศาลกำหนด ไม่น้อยกว่า 40 ชั่วโมง และไม่เกิน 120 ชั่วโมง

(2) ก่อนศาลมีคำสั่งให้ทำงานบริการสังคม ศาลต้องไต่สวนและรับฟังความเห็นจากเจ้าหน้าที่คุมประพฤติ จนปรากฏเป็นที่พอใจแก่ศาลว่าผู้กระทำความผิดเป็นผู้สมควรและสามารถที่จะทำงานบริการสังคมได้ ภายใต้การสั่งการของเจ้าหน้าที่

(3) ศาลอาจกำหนดชั่วโมงของการทำงานบริการสังคมให้สอดคล้องกับคำสั่งศาล ในกรณีความผิดตั้งแต่ 2 ฐานความผิดขึ้นไปนั้น จำนวนชั่วโมงของการทำงานบริการสังคมนั้นเมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 240 ชั่วโมง

(4) ศาลต้องอธิบายวัตถุประสงค์ สิ่งที่ต้องทำตามคำสั่ง และผลของคำสั่งให้ทำงานบริการสังคม รวมทั้งผลของการฝ่าฝืนไม่ปฏิบัติตามคำสั่งศาล ศาลมีอำนาจตรวจสอบการทำงานบริการสังคมของผู้กระทำความผิดได้

(5) งานบริการสังคมที่ศาลกำหนดให้ผู้กระทำความผิดทำนั้น ต้องเป็นงานที่สามารถทำให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลา 12 เดือนนับแต่วันที่ศาลมีคำสั่ง จนกว่าผู้กระทำความผิดทำงานบริการสังคมครบตามระยะเวลาที่ศาลกำหนด เว้นแต่ศาลจะยกเลิกคำสั่งนั้น ซึ่งประเภทของงาน ได้แก่ การทำสวน ทำอาหารแจกให้ผู้ยากไร้ จัดแต่งสถานศึกษา ทำสินค้าเพื่อขายในการกุศล ทำงานฝีมือที่ตนถนัด

มาตราการทางกฎหมายของประเทศอังกฤษในปัจจุบันเปิดโอกาสให้ศาลใช้ดุลพินิจในการลงโทษปรับและมีการเปลี่ยนแปลงจากมาตรการบังคับโทษปรับมาเป็นให้ผู้กระทำความผิดทำงานบริการสังคมโดยศาลมีอำนาจสั่งให้จำเลยทำงานบริการสังคมได้โดยไม่ต้องได้รับความยินยอมจากจำเลยอีก โดยกระบวนการบังคับตามคำสั่งศาลจะดำเนินการโดยศาลแขวงที่จำเลยมีภูมิลำเนา หากจำเลยละเลยไม่ปฏิบัติตามคำสั่งศาล ศาลแขวงอาจออกหมายเรียกบุคคลนั้นมาชี้แจงต่อศาล แล้วศาลจะถามว่าจะทำตามหรือปฏิเสธ หากปฏิเสธศาลจะติดสินว่าบุคคลนั้นละเมิดต่อศาล[8]

---

[7] จุรีวรรณ มานะการ, การควบคุมผู้ต้องโทษปรับด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์แทนการกักขังแทนค่าปรับ, (นิติศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2557) หน้า 60-61.

[8] กานดา ปานคำ, **การบังคับโทษปรับ: ศึกษากรณีบังคับให้ทำงานแทนค่าปรับ**, (วิทยานิพนธ์ คณะนิติศาสตร์ปรีดี พนมยงค์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2557), หน้า 64-65

4.2 ประเทศสหรัฐอเมริกา

โทษปรับจะบังคับใช้กับฐานความผิดที่ถือว่าเป็นความผิดเล็กน้อยและความผิดที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจ เช่น ความผิดเกี่ยวกับ Antitrust[9] ซึ่งหลักเกณฑ์การลงโทษปรับที่เหมาะสมตามกฎหมาย Model Penal Code โดยสถาบันกฎหมายอเมริกา (The American Law Institue)[10] ต้องพิจารณาถึงลักษณะ พฤติการณ์ ความร้ายแรง สภาพแวดล้อม ประวัติอาชญากรรม ลักษณะนิสัย บุคลิกภาพของการกระทำความผิด ประกอบการลงโทษปรับ เพื่อให้การลงโทษปรับมีประสิทธิภาพ สามารถยับยั้ง ป้องกัน มิให้ผู้กระทำความผิดกลับมากระทำความผิดซ้ำในสังคมอีก การลงโทษปรับควบคู่ไปกับโทษจำคุกหรือการคุมประพฤติต้องเป็นความผิดที่ผู้กระทำความผิดมุ่งแสวงหาประโยชน์อันเป็นเงินจากการก่ออาชญากรรม หรือเพื่อปราบปรามและแก้ไขที่ตัวผู้กระทำผดเท่านั้น และการลงโทษปรับต้องคำนึงถึงความสามารถในการชำระค่าปรับและต้องไม่กระทบหรือไม่เป็นการยกเว้นการที่ผู้กระทำความผิดต้องชดใช้ค่าเสียหายให้แก่ผู้เสียหาย นอกจากนี้ การกำหนดจำนวนเงินและวิธีการชำระค่าปรับ ศาลต้องคำนึงถึงฐานะทางการเงินและความเป็นอยู่ของจำเลยด้วย

การทำงานบริการสังคม เป็นรูปแบบการลงโทษที่เกิดขึ้นใหม่และใช้อย่างแพร่หลาย โดยให้ผู้กระทำผิดชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้นให้สังคมโดยการทำงานบริการสังคมในหน่วยงานหรือองค์กรต่าง ๆ ของรัฐและไม่ได้รับค่าตอบแทน เป็นการลงโทษในลักษณะที่เป็นทั้งบทลงโทษ โดยการจำกัดเวลาและเสรีภาพจนกว่าจะทำงานเสร็จ และเป็นทั้งการแก้ไขฟื้นฟูผู้กระทำความผิด โดยเปิดโอกาสให้ผู้กระทำความผิดสร้างคุณค่าในตัวเอง ทำเพื่อสังคม การลงโทษดังกล่าวศาลสามารถใช้สำหรับผู้กระทำผิดที่ยากจนหรือมาฐานะที่ร่ำรวยมาก รวมถึงการกำหนดใช้ชดเชยค่าเสียหายด้วยเงิน[11]

4.3 ประเทศฝรั่งเศส

ประเทศฝรั่งเศสแบ่งประเภทความผิดทางอาญาเป็นไตรภาค[12] ดังต่อไปนี้

(1) ความผิดอุกฤษฎ์โทษหรือความผิดมหันตโทษ (Les Crimes) ประมวลกฎหมายอาญาฝรั่งเศสกำหนดให้โทษจำคุกตลอดชีวิตหรือกักขังตลอดชีวิตเป็นโทษสูงสุดของความผิดประเภทนี้ ไม่มีโทษประหารชีวิต โดยโทษจำคุกหรือกักขังมีการแบ่งลำดับชั้นไว้ 4 ลำดับในมาตรา 131-1 ซึ่งจำนวนเวลาของโทษจำคุกและกักขังขึ้นอยู่กับความหนักเบาของฐานความผิด นอกจากนี้ยังมีโทษปรับหรือโทษเสริมตามที่บัญญัติไว้ใน มาตรา 131- 10 มาใช้ควบคู่ไปกับโทษจำคุกหรือกักขังด้วย

(2) ความผิดมัชฌิมโทษหรือมัธยโทษ (Les Délits) มีชื่อเป็นภาษาฝรั่งเศสว่า “Les peines correctionnelles” มีความหมายเป็นการแก้ไขฟื้นฟูผู้กระทำความผิดเพื่อกลับเข้าสู่สังคม จึงมีการกำหนดโทษและลำดับชั้นของโทษในความผิด

---

[9] เพิ่งอ้าง หน้า 65

[10] ประเสริฐ เมฆมณี, **หลักทัณฑวิทยา**, (กรุงเทพมหานคร: บพิธการพิมพ์ จำกัด, 2525), หน้า 38.

[11] สกุลรัตน์ ทิพย์บุญทรัพย์**, การบังคับคดีอาญา : ศึกษาการบังคับโทษปรับ,** (วิทยานิพนธ์ สาขาวิชานิติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2552),หน้า 65

[12] ณรงค์ ใจหาญ และคณะ, **รายงานศึกษาฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยเรื่อง ศึกษาความเป็นไปได้ในการกำหนดชั้นโทษและการนำไปปรับใช้ในประมวลกฎหมายอาญา**, (สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, มิถุนายน 2549) หน้า 148-164.

ประเภทนี้หลากหลาย ประมวลกฎหมายฝรั่งเศส ค.ศ.1993 มาตรา 131-3 ได้มีการจัดลำดับประเภทของโทษที่จะลงแก่บุคคลธรรมดา

3. ความผิดลหุโทษ (Les Contraventions) ประมวลกฎหมายอาญาฝรั่งเศส ค.ศ. 1993 มาตรา 131-14 ได้กำหนดโทษปรับและโทษที่ห้ามหรือจำกัดสิทธิบางประการสำหรับความผิดนี้

โทษการทำงานบริการสาธารณะในความผิดมัชฌิมโทษ ตามประมวลกฎหมายอาญาฝรั่งเศสมาตรา 131-8 โทษการทำงานบริการสาธารณะเป็นโทษทางเลือกหรือเป็นโทษที่กำหนดไว้แทนที่โทษจำคุกซึ่งเป็นโทษหลัก ซึ่งมาตรา 131-9 วรรคแรก ห้ามการลงโทษการทำงานบริการสาธารณะพร้อมกับโทษจำคุกแล้ว ยังห้ามการลงโทษพร้อมกับการลงโทษอื่น ๆ ในคราวเดียวกันอีก เช่น โทษห้ามหรือจำกัดสิทธิของผู้กระทำความผิด โทษปรับ โทษปรับรายวัน ซึ่งการทำงานบริการสาธารณะเป็นโทษที่จะใช้ในขั้นตอนการพิจารณาพิพากษาในคดีอาญาที่เกิดขึ้นจากอุบัติเหตุ การกระทำความผิดในคดีเล็กน้อยที่มีการกระทำความผิดซ้ำ ความผิดเกี่ยวกับการจราจรหรือการคมนาคม หรือความผิดปานกลาง[13]

4.4 ประเทศเยอรมัน

โทษทางอาญาตามประมวลกฎหมายอาญาเยอรมันแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การลงโทษในทางอาญา และเป็นวิธีการเพื่อความปลอดภัย ซึ่งโทษทางอาญาหลักมีเพียงโทษจำคุกโดยมีกำหนดระยะเวลาหรือจำคุกตลอดชีวิต และโทษปรับ[14]

การกำหนดโทษปรับเป็นการนำระบบของกลุ่มประเทศสแกนดิเนเวียมาใช้ เป็นการกำหนดค่าปรับตามวันและรายได้ (Day Fine) โดยเห็นว่า ฐานะทางเศรษฐกิจของบุคคลแต่ละคนไม่เท่าเทียมกันและจะต้องไม่ทำให้ผู้กระทำความผิดที่มาฐานะด้อยกว่าได้รับโทษที่รุนแรงกว่า ซึ่งโทษปรับมิได้กำหนดไว้เป็นจำนวนที่แน่นอนแต่ขึ้นอยู่กับจำนวนวันของโทษปรับตามหลักการใช้ดุลพินิจกำหนดโทษและอัตราของโทษปรับตามความสัมพันธ์ในทางส่วนตัวและฐานะทางเศรษฐกิจของผู้กระทำความผิด เมื่อศาลมีคำพิพากษาลงโทษปรับ แต่ผู้กระทำความผิดไม่สามารถชำระค่าปรับได้เนื่องจากสถานะทางเศรษฐกิจ ศาลอาจกำหนดให้ชำระค่าปรับเป็นงวด ๆ ได้ หากผู้กระทำความผิดไม่ชำระค่าปรับภายในระยะเวลาที่ศาลกำหนดหรือชำระค่าปรับไม่ครบจำนวนตามที่กำหนดไว้ในคำพิพากษา ผู้กระทำความผิดจะต้องถูกกักขังแทนการชำระค่าปรับโดยถืออัตราระยะเวลาหนึ่งวันของค่าปรับรายวันเท่ากับหนึ่งวันของโทษจำคุก

รัฐบัญญัติให้ใช้ประมวลกฎหมายอาญา Introductory Act to the Criminal Code (EGStGB) มาตรา 293 ได้บัญญัติถึงการบังคับคดีในส่วนของการกักขังแทนค่าปรับ ว่าด้วยการทำงานแบบให้เปล่า ถ้าบุคคลที่ต้องคำพิพากษานั้นได้ทำงานแบบให้เปล่าแล้ว เป็นอันทดแทนการจำคุกแล้ว กล่าวคือ เมื่อศาลพิพากษาแล้ว เมื่อคดีเสร็จเด็ดขาดแล้วผู้นั้นไม่ชำระค่าปรับจะถูกกักขังแทนค่าปรับ และการกักขังแทนค่าปรับสามารถแทนที่ได้ด้วยการทำงานบริการสังคม [15] ซึ่งผู้กระทำความผิดสามารถทำงานบริการสังคมซึ่งเป็นการทำงานนอกสถานที่ที่ถูกคุมขังแทนได้ โดยผู้กระทำความผิดต้องทำงานบริการสังคมที่เป็นประโยชน์แก่สาธารณะหรือสิ่งแวดล้อมเป็นเวลา 6 ทดแทนชั่วโมงเพื่อการถูกกักขังแทนค่าปรับหนึ่งวัน

[13] อ้างแล้วเชิงอรรถที่ 11, หน้า 74.

[14] อ้างแล้วเชิงอรรถที่ 12, หน้า 179.

[15] อ้างแล้วเชิงอรรถที่ 8, หน้า 90.

โดยไม่ได้รับค่าตอบแทนและต้องไม่เป็นการแสวงหาผลประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ หากฝ่าฝืนไม่ทำงานโดยไม่มีเหตุอันสมควรต้องถูกบังคับโทษปรับและโทษกักขังแทนค่าปรับเช่นเดิมต่อไป[16]

วิเคราะห์ข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณะประโยชน์แทนค่าปรับ

จากการสัมภาษณ์ทำให้ทราบถึงความเห็นของผู้ให้สัมภาษณ์ส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 67 เห็นว่า ควรให้โอกาสบุคคลที่กระทำผิดและต้องโทษปรับในคดีที่มิได้เป็นความผิดร้ายแรงอันกระทบต่อชีวิต ร่างกาย เสรีภาพ ของบุคคล โดยสามารถยื่นคำร้องขอทำงานบริการสังคมหรือสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับได้ โดนเฉพาะคดีนโยบายที่มีโทษปรับสูงเพื่อให้โอกาสผู้กระทำความผิดและบุคคลนั้นมิได้เป็นภัยต่อสังคมสมควรให้โอกาสลงโทษโดยการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณะประโยชน์แทนค่าปรับ ซึ่งการลงโทษดังกล่าวมีความเหมาะสมกับสภาพในปัจจุบันในเรื่องของเศรษฐกิจที่ผู้ต้องโทษปรับต้องประสบปัญหาไม่มีเงินชำระค่าปรับ

ส่วนอีกร้อยละ 33 เห็นว่า ผู้ต้องโทษปรับนั้น หากบุคคลใดที่มีความสามารถในการชำระค่าปรับก็ควรบังคับเอากับผู้นั้นก่อนไม่สามารถทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับได้ แต่อย่างไรก็ตามเห็นควรให้โอกาสผู้กระทำความผิดสำหรับทุกฐานความผิดโดยเฉพาะความผิดที่มีโทษปรับเพียงอย่างเดียว(ปรับเป็นพินัย)ในการยื่นคำร้องขอทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับ

บทสรุป

การศึกษาการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับในคดีอาญา ตามประมวลกฎหมายอาญามาตรา 30/1, 30/2 และ 30/3 นั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวความคิดและความเป็นมาของโทษทางอาญาและการทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับทั้งของประเทศไทยและของต่างประเทศ เพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดจากการทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับตามประมวลกฎหมายอาญาของไทย และเพื่อศึกษาแนวทางออกของปัญหาที่เกิดจากการทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับ มีผลการศึกษาดังนี้

การทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับในคดีอาญามีลักษณะเป็นเครื่องมือทางกฎหมายอย่างหนึ่งที่ได้มีการนำมาใช้บังคับกับบุคคลที่กระทำผิดกฎหมายหรือกฎระเบียบของสังคม ที่อาจกระทบต่อคุณธรรมทางกฎหมายหรือกระทบต่อความสงบเรียบร้อยของสังคม หรือเป็นการกระทำผิดในกฎหมายที่ถูกบัญญัติไว้เป็นการเฉพาะเจาะจงในบางเรื่องด้วยเหตุผลทางเทคนิค (คดีนโยบายในยุคกฎหมายเทคนิค) แม้ว่าการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับจะมิได้สร้างความเกรงกลัวต่อผู้กระทำความผิดมากนัก แต่ก็สามารถทำให้ผู้กระทำความผิดมีความรู้สึกว่าเป็นผลร้ายกับตัวผู้กระทำความผิดเอง ซึ่งอาจเป็นผลร้ายในด้านเสรีภาพ ร่ายกาย ที่ต้องสละบางช่วงเวลาว่างของตนมาทำงานบริการสังคมหรือสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับ โดยการใช้แรงงาน ความรู้ความสามารถ

[16] ชวกล สาครรัตน์, **มาตรการทางกฎหมายเกี่ยวกับโทษปรับ**, (วิทยานิพนธ์ คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2557), หน้า 137–140.

หรือใช้ร่างกายในการก่อให้เกิดประโยชน์แก่ประชาชนหรือสังคม ทำให้เห็นว่าการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับในคดีอาญามีลักษณะที่ใกล้เคียงกับความหมายของโทษทางอาญา

ทฤษฎีการลงโทษทางอาญามีวัตถุประสงค์หลายประการซึ่งการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับสอดคล้องกับทฤษฎีการแก้ไขฟื้นฟูผู้กระทำความผิด ที่มีวัตถุประสงค์ในการแก้ไขฟื้นฟูผู้กระทำความผิด โดยมองว่าผู้กระทำความผิดหากได้รับการแก้ไขฟื้นฟู ไม่ว่าจะเป็นทางด้านร่างกาย จิตใจ สภาพแวดล้อม ปรับเปลี่ยนนิสัยให้มีจิตสำนึกและความรับผิดชอบต่อสิ่งที่ตนได้กระทำลงไป โดยการให้โอกาสผู้กระทำความผิดได้ตอบแทนสังคมในสิ่งที่ตนได้กระทำผิด โดยการให้ผู้กระทำผิดทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับในคดีอาญา ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและตัวผู้กระทำความผิดเอง เมื่อผู้กระทำความผิดได้รับการแก้ไขฟื้นฟูแล้วก็จะไม่กลับไปกระทำความผิดอีก โดยการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับ มิได้มุ่งจะลงโทษผู้กระทำความผิดให้ได้รับผลร้ายเพียงอย่างเดียวแต่เป็นการลงโทษเพื่อป้องกันการเกิดการกระทำความผิดซ้ำ

เมื่อพิจารณาการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับตามประมวลกฎหมายอาญาของไทยกับกฎหมายต่างประเทศแล้ว การทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับของไทยถือว่านำมาใช้เป็นการลงโทษได้ โดยต้องมีการพิจารณาฐานความผิด พฤติการณ์ และความร้ายแรงของการกระทำ ประวัติอาชญากรรมของผู้กระทำความผิดประกอบด้วย ซึ่งแนวทางคล้ายกับกฎหมายของประเทศอังกฤษที่ถือว่าการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณประโยชน์ในกรณีที่ผู้ต้องโทษปรับและไม่สามารถชำระค่าปรับได้ถือเป็นการลงโทษอย่างหนึ่ง โดยมีการกำหนดให้เฉพาะบุคคลต้องโทษปรับมีอายุตั้งแต่ 16 ปีขึ้นไปที่สามารถทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับได้ ซึ่งต้องมีการไต่สวนหรือรับฟังความเห็นของพนักงานคุมประพฤติประกอบด้วย และการทำงานบริการสังคมกฎหมายมิได้กำหนดฐานความผิดไว้โดยเฉพาะ เปิดโอกาสให้ศาลใช้ดุลพินิจในการลงโทษปรับและมีการเปลี่ยนแปลงจากมาตรการบังคับโทษปรับมาเป็นให้ผู้กระทำความผิดทำงานบริการสังคมและเป็นกรณีที่ศาลมีอำนาจสั่งให้จำเลยทำงานบริการสังคมได้โดยไม่ต้องได้รับความยินยอมจากจำเลยอีก ในส่วนกฎหมายของประเทศสหรัฐอเมริกา ถือว่าการทำงานบริการสังคมเป็นการลงโทษเพิ่มเติมจากโทษสถานอื่น เป็นการลงโทษที่มีความเข้มงวดน้อยที่สุด ให้ผู้กระทำความผิดมีความรับผิดชอบต่อสังคมและยังคงอยู่ในชุมชนต่อไป การลงโทษดังกล่าวเปิดโอกาสให้ศาลสามารถใช้สำหรับผู้กระทำผิดที่ยากจนหรือมาฐานะที่ร่ำรวยมาก รวมถึงการกำหนดใช้ชดเชยค่าเสียหายด้วยเงิน โดยมิได้คำนึงถึงฐานความผิดแต่อย่างใด ในส่วนกฎหมายของของประเทศฝรั่งเศส โทษการทำงานบริการสาธารณะเป็นโทษที่กำหนดไว้แทนที่โทษจำคุกซึ่งเป็นโทษหลัก มีวัตถุประสงค์เป็นการแก้ไขฟื้นฟูผู้กระทำความผิดเพื่อกลับเข้าสู่สังคม โดยกำหนดให้การทำงานบริการสาธารณะเป็นโทษที่จะใช้ในขั้นตอนการพิจารณาพิพากษาในคดีอาญาที่เกิดขึ้นจากอุบัติเหตุ การกระทำความผิดในคดีเล็กน้อยที่มีการกระทำความผิดซ้ำความผิดเกี่ยวกับการจราจรหรือการคมนาคม หรือความผิดปานกลาง และในกฎหมายของประเทศเยอรมัน กำหนดให้การทำงานบริการสังคมเป็นการบังคับคดีในส่วนของการกักขังแทนค่าปรับ ที่ให้ผู้กระทำความผิดสามารถทำงานบริการสังคมซึ่งเป็นการทำงานนอกสถานที่ที่ถูกคุมขังแทนได้ โดยผู้กระทำความผิดต้องทำงานบริการสังคมที่เป็นประโยชน์แก่สาธารณะเพื่อทดแทนการถูกกักขังแทนค่าปรับ เห็นได้ว่าการทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับของประเทศอังกฤษ ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศเยอรมันมิได้กำหนดความผิดไว้อย่างชัดแจ้งที่ให้นำมาตรการทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับมาใช้บังคับ ส่วน ประเทศฝรั่งเศสกำหนดให้ใช้การทำงานบริการสาธารณะสำหรับคดีอาญาที่เกิดขึ้นจากอุบัติเหตุ การกระทำความผิดในคดีเล็กน้อยที่มีการกระทำความผิดซ้ำ ความผิดเกี่ยวกับการจราจรหรือการคมนาคม หรือความผิดปานกลาง

ข้อเสนอแนะ

ประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 30/1 ประกอบกับตามระเบียบราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม ว่าด้วยการกำหนดจำนวนชั่วโมงที่ถือเป็นการทำงานหนึ่งวัน และแนวปฏิบัติในการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณะประโยชน์แทนค่าปรับ และการเปลี่ยนสถานที่กักขัง แก้ไขเพิ่มเติม(ฉบับที่ 2) พ.ศ.2560 ข้อ 4 และคำสั่งของศาลในแบบ คำร้อง (บ.ส.1) ที่ให้ยกคำร้อง เนื่องจากจำเลยสามารถชำระค่าปรับได้ ผู้วิจัยเห็นว่า เพื่อให้การลงโทษโดยการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับสอดคล้องกับทฤษฎีการแก้ไขฟื้นฟูผู้กระทำความผิด ให้มีประสิทธิภาพ ไม่ควรนำเอาความสามารถในการชำระค่าปรับมาเป็นเงื่อนไขในการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณประโยชน์ เนื่องจากในปัจจุบันฐานะทางการเงินมีความสำคัญกับการดำรงชีวิตในปัจจุบันเป็นอย่างมาก ซึ่งผู้ต้องโทษบางรายที่กระทำความผิดเล็กน้อยหรือเป็นความผิดที่ไม่มีการกระทบโดยตรงกับชีวิตร่างกาย และไม่อยากชำระค่าปรับเป็นจำนวนเงิน อาจยื่นคำร้องขอทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับได้ ส่งผลให้สังคมได้รับประโยชน์ ในขณะเดียวกันก็ได้แก้ไขเยียวยาผู้กระทำผิดมิให้ต้องได้รับโทษอีกด้วย

ตามระเบียบราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม ว่าด้วยการกำหนดจำนวนชั่วโมงที่ถือเป็นการทำงานหนึ่งวัน และแนวปฏิบัติในการทำงานบริการสังคมหรือสาธารณะประโยชน์แทนค่าปรับ และการเปลี่ยนสถานที่กักขัง แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2560 ข้อ 5 ผู้วิจัยเห็นว่า ศาลต้องแจ้งสิทธิเกี่ยวกับการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับให้ผู้ต้องโทษปรับทราบทุกกรณี ภายหลังจากศาลมีคำพิพากษาลงโทษปรับ หากผู้ต้องโทษปรับประสงค์หรือไม่ประสงค์ที่จะทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับแล้ว จึงค่อยไปพิจารณาคุณสมบัติของผู้ที่สามารถทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับตามกฎหมายต่อไป เพื่อให้ผู้ต้องโทษปรับทุกคนมีสิทธิทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับซึ่งเป็นมาตรการแก้ไขฟื้นฟูหรือเยียวยาผู้กระทำความผิดอย่างเท่าเทียมกัน เหมือนดังเช่นประเทศสหรัฐอเมริกาที่นำมาตรการดังกล่าวมาใช้สำหรับผู้กระทำผิดที่ยากจนหรือมาฐานะที่ร่ำรวยมาก

ประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 30/2 หากผู้ต้องโทษฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามคำสั่งหรือเงื่อนไขที่ศาลกำหนด โดยถือว่าผู้ต้องโทษปรับไม่เห็นถึงความสำคัญของโอกาสในการแก้ไขเยียวยาโดยการทำงานบริการสังคมและสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับในคดีอาญา ให้ศาลจะเพิกถอนคำสั่งอนุญาตดังกล่าว และปรับ หรือ กักขังแทนค่าปรับ ซึ่งเป็นการกลับสู่กระบวนการลงโทษเดิมที่บังคับเอากับจำนวนเงิน หรือทรัพย์สินของผู้ต้องโทษปรับ ที่ส่งผลกระทบต่อการเงินเศรษฐกิจเช่นเดิม ผู้วิจัยเห็นว่า ควรให้อำนาจศาลมีคำสั่งบังคับให้ริบทรัพย์สิน ตามมาตรา 29 และ 29/1 มีคำสั่งกักขังผู้ต้องโทษปรับทันที ซึ่งมิได้เป็นไปตามลำดับการบังคับโทษปรับที่ว่าหากไม่ชำระค่าปรับ ให้ริบทรัพย์สินก่อน แล้วจึงดำเนินการกักขังแทนค่าปรับ

นอกจากนี้ การขอทำงานบริการสังคมหรือทำงานสาธารณประโยชน์แทนค่าปรับนั้น สามารถใช้ได้กับกฎหมายทุกประเภทหรือทุกฐานความผิดที่กฎหมายกำหนดโทษปรับทางอาญาไว้เหมือนดังเช่นประเทศอังกฤษ ประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศเยอรมัน โดยเฉพาะการกระทำความผิดในคดีนโยบายซึ่งเป็นกฎหมายเทคนิค เช่น พระราชบัญญัติคนต่างด้าวฯ พระราชบัญญัติว่าด้วยความผิดอันเกิดจากการใช้เช็คฯ ความผิดเกี่ยวกับประมวลรัษฎากร ซึ่งเป็นความผิดที่มิได้ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของรัฐ หรือกระทบต่อชีวิตร่างการของบุคคล แม้กฎหมายจะกำหนดโทษ

ปรับในอัตราที่สูงก็ตาม ผู้วิจัยเห็นว่า ผู้กระทำความผิดในลักษณะนี้ยังมิควรต้องถูกลงโทษที่ผู้ต้องโทษปรับสามารถยื่นคำร้องขอทำงานบริการสังคมหรือสาธารณะประโยชน์แทนค่าปรับได้ แม้ว่าการลงโทษปรับบางฐานความผิดจะมีอัตราโทษไม่สูงมากนัก แต่หากผู้ต้องโทษปรับมีฐานะที่ยากจน และโทษปรับตามกฎหมายไทยมิได้คำนวณจากรายได้ของผู้กระทำผิดมาประกอบ แต่เป็นกรณีที่กฎหมายกำหนดอัตราค่าปรับไว้เฉพาะแต่ละฐานความผิดแล้ว การลงโทษปรับก็อาจกระทบต่อฐานะทางการเงินของผู้ต้องโทษ เมื่อผู้ต้องโทษปรับนำเงินไปชำระค่าปรับแล้ว ผู้นั้นอาจจะเดือดร้อนทางการเงินเป็นอย่างมาก เป็นการซ้ำเติมบุคคลที่มีฐานะยากจน จนกลับไปกระทำความผิดลักษณะที่อาจร้ายแรงกว่าเดิม ส่งผลเสียต่อตัวผู้กระทำความผิดและสังคม หรือการลงโทษปรับบางฐานที่มีอัตราโทษปรับอย่างสูง แต่ผู้กระทำความผิดเป็นนิติบุคคลและผู้แทนของนิติบุคคลต้องร่วมรับผิดกับนิติบุคคลด้วย หากนำเงินมาชำระค่าปรับทั้งของนิติบุคคลและของผู้แทนนิติบุคคลแล้ว อาจส่งผลกระทบต่อการดำเนินธุรกิจหรือฐานะทางเศรษฐกิจของนิติบุคคลนั้นได้ ดังนั้น แม้การลงโทษปรับจะเป็นการลงโทษอย่างหนึ่งที่กระทบต่อเงินหรือทรัพย์สินของผู้กระทำผิด แต่อย่างไรก็ตาม หากเปิดโอกาสให้ผู้กระทำความผิดบางฐานโดยเฉพาะการกระทำความผิดในคดีนโยบาย สามารถทำงานบริการสังคมแทนค่าปรับแล้วจะเป็นผลดีกับตัวผู้กระทำความผิดและสังคมมากกว่าการลงโทษปรับในทันที

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากคณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ขอบคุณหัวหน้างานเพื่อนร่วมงานที่คอยสนับสนุนการทำวิจัย และขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยความเรียบร้อย

เอกสารอ้างอิง

กานดา ปานคำ. **การบังคับโทษปรับ: ศึกษากรณีบังคับให้ทำงานแทนค่าปรับ**. (วิทยานิพนธ์ คณะนิติศาสตร์ปรีดี พนมยงค์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์. 2557). หน้า 64–65

คณิต ณ นคร. **ประมวลกฎหมายอาญา: หลักกฎหมายและพื้นฐานการเข้าใจ**. พิมพ์ครั้งที่ 10 (วิญญูชน. 2553) หน้า 207–208.

จุรีวรรณ มานะการ. **การควบคุมผู้ต้องโทษปรับด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์แทนการกักขังแทนค่าปรับ**. (นิติศาสตร์มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2557) หน้า 60–61.

ชวกล สาครรัตน์. **มาตรการทางกฎหมายเกี่ยวกับโทษปรับ**. (วิทยานิพนธ์ คณะนิติศาสตร์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2557) หน้า 137–140.

ณรงค์ ใจหาญ และคณะ. **รายงานศึกษาฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยเรื่อง ศึกษาความเป็นไปได้ในการกำหนดชั้นโทษและการนำไปปรับใช้ในประมวลกฎหมายอาญา.** (สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. มิถุนายน 2549). หน้า 148–164.

ธานี วรภัทร์. **หลักกฎหมายมาตรการบังคับทางอาญา**. (กรุงเทพฯ: วิญญูชน. 2557). หน้า 22–23.

ปกป้อง ศรีสนิท. **กฎหมายอาญาขั้นสูง**. พิมพ์ครั้งที่ 2 (วิญญูชน. 2561). หน้า 189–191.

ประเสริฐ เมฆมณี. **หลักทัณฑวิทยา**. (กรุงเทพมหานคร: บพิธการพิมพ์ จำกัด, 2525). หน้า 38.

พรรณิภา พลศิลป์. **มาตรการเสริมทางอาญา: ศึกษากรณีการให้ทำงานบริการสังคม**. (วิทยานิพนธ์ นิติศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2553). หน้า 35-38.

สกุลรัตน์ ทิพย์บุญทรัพย์. **การบังคับคดีอาญา : ศึกษาการบังคับโทษปรับ**. (วิทยานิพนธ์ สาขาวิชานิติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์. 2552). หน้า 65

สุวรรณ ทองเนื้อแข็ง. **การบังคับโทษปรับ**. (นิติศาสตร์มหาบัณฑิต นิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539) หน้า 7.

สุรศักดิ์ ลิขสิทธิ์วัฒนกุล. **บันทึกของนายยอร์ช ปาดูซ์ (Georges Padoux) ที่ปรึกษาการร่างกฎหมายของรัฐบาลสยามเกี่ยวกับการร่างกฎหมายลักษณะอาญา ร.ศ.127**. (วารสารนิติศาสตร์ ปีที่ 18 ฉบับที่ 2. กันยายน 2531) หน้า 21-23.

สำนักงานคุมประพฤติกลาง กระทรวงยุติธรรม. **การคุมประพฤติผู้ใหญ่: ทฤษฎีและแนวปฏิบัติ**. (2527) หน้า 127.

The Criminal Justice Act 1982, Section 69 (1).

The Editors of Encyclopaedia Britannica, **talion law**, สืบค้นเมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2566. https://www.britannica.com/topic/talion.

การเพิ่มประสิทธิภาพของการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 : กรณีศึกษาสถานีตำรวจภูธรในจังหวัดพะเยา

The Efficiency Increasing of Mediation at the Investigation Level according to the Mediation Act B.E.2562: The Study of the Provincial Police Stations in Phayao Province

วรุฒ อุทธวัง[1*] และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ[1]

Warut Auttthawang[1*]and Wimonrekha Sirichairawan[1]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานจริงในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในชั้นพนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 เพื่อเสนอแนะทางออกและนำมาพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งตามพระราชบัญญัติฉบับนี้ในชั้นพนักงานสอบสวนกำหนดให้พนักงานสอบสวนต้องแจ้งสิทธิและจัดให้คู่พิพาทเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ย โดยมีผู้ไกล่เกลี่ยซึ่งไม่ใช่พนักงานสอบสวนผู้เป็นเจ้าของสำนวนเข้ามาทำหน้าที่เป็นคนกลางในการไกล่เกลี่ย เพื่อให้คู่กรณีสามารถตกลงกันได้ด้วยความสมัครใจ แต่ในการปฏิบัติงานจริงนั้น กลับพบว่าการไกล่เกลี่ยคดีอาญาในชั้นพนักงานสอบสวนยังขาดประสิทธิภาพ ส่งผลให้คดีดังกล่าวไม่สามารถยุติหรือสิ้นสุดลงในชั้นพนักงานสอบสวนได้ ดังนั้น เพื่อสร้างแนวทางปฏิบัติให้มีมาตรฐานและมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงเสนอให้แก้ไขลดขั้นตอนของกฎหมายลง เพื่อทำให้ระยะเวลาการไกล่เกลี่ยแล้วเสร็จในคราวเดียว เป็นการลดภาระของคู่กรณีที่ต้องเดินทางมาพบทั้งพนักงานสอบสวนและผู้ทำการไกล่เกลี่ยภายหลัง และควรปรับปรุงสถานที่ไกล่เกลี่ยภายในสถานีตำรวจให้มีความพร้อมในการปฏิบัติงานมากขึ้น อีกทั้งควรกำหนดเป็นเชิงนโยบายเพื่อเพิ่มแรงจูงใจให้พนักงานสอบสวน เพื่อปรับกระบวนทัศน์และมุมมองที่พนักงานสอบสวนมีต่อกระบวนการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นกระบวนการยุติธรรมทางเลือก แต่กลับมีขั้นตอนที่มากกว่าและใช้ระยะเวลาที่นานกว่า อันแตกต่างไปจากกระบวนการยุติธรรมหลัก (เดิม) ตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาคดีอาญา ที่มีขั้นตอนที่น้อยกว่าและแล้วเสร็จในคราวเดียว เพื่อให้พนักงานสอบสวนเกิดความเข้าใจ ยอมรับ ให้ความร่วมมือ ในการจัดให้มีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทให้แก่ประชาชนมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวนมีประสิทธิภาพ ลดระยะเวลา ประหยัดค่าใช้จ่าย จำนวนคดีที่จะขึ้นสู่ชั้นศาล และประการสำคัญคือลดความเลื่อมล้ำในการเข้าถึงกระบวนการยุติธรรมให้กับประชาชน

คำสำคัญ: การไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน, คดีอาญายอมความได้, คดีอาญาลหุโทษ, คดีอาญาที่มีโทษอย่างสูงจำคุกไม่เกิน 3 ปี, พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562, กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์

[1] คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000.

[1] School of Law, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: warut_police@outlook.co.th

Abstract

The purpose of this research article is to study the problems of mediation that occur in actual work at the investigative level. According to the Mediation Act, B.E.2562, suggesting solutions and developing the mediation process to be more efficient. The investigating officer is required to notify this rights and arrange for the disputing parties to enter the mediation process. There is a mediator, who is not the investigative officer, who will do mediation so that the parties can agree on the deal voluntarily. However, it was found that mediation of criminal cases at the investigative level is still inefficient. As a result, the said case cannot be settled or ended at the level of investigators. Therefore, to create more standardized and efficient guidelines, the researcher proposes to amend and reduce the mediation steps, to complete the mediation period at one time. This will reduce the burden on the parties who have to travel to meet both the investigating officer and the mediator afterward. Moreover, mediation facilities within police stations should be improved to be more prepared for operations. It should also be established as a policy to increase incentives for investigative officers to adjust the paradigm and perspective that they have towards the mediation process at the investigative level according to the Mediation Act B.E.2562, which is an alternative justice process but there are more steps and take a longer time. This is different from the main justice process according to the Criminal Procedure Code, which has fewer steps and is completed at one time. For the investigative officers to understand, accept, cooperate, and voluntarily provide more mediation for the parties. Thus, it will result in the mediation process at the investigative level efficiency, time is reduced, and costs are saved. Finally, the cases will go to the court less and it will reduce inequality in access to justice for the people.

Keywords: Mediation at the investigative level, Compoundable offense, petty offense, Criminal cases with imprisonment not more than 3 years, Mediation Act B.E.2562, Restorative Justice

บทนำ

การไกล่เกลี่ยเป็นกระบวนการประนีประนอมข้อพิพาทที่เกิดจากการกระทำความผิดที่มีคู่กรณีทำการตกลงร่วมกันด้วยความสันติวิธี โดยคู่กรณีทั้งสองฝ่ายจะดำเนินการหาทางยุติข้อพิพาทร่วมกันผ่านการเสนอแนวทางและหาทางออกที่ตกลงกันได้ ซึ่งการไกล่เกลี่ยเป็นกระบวนการที่สำคัญในการอำนวยความยุติธรรมให้แก่ประชาชน โดยคู่ความต่างฝ่ายต่างยอมผ่อนผันให้แก่กัน เพื่อให้คดีความแล้วเสร็จไปจากศาล โดยคู่ความเกิดความรู้สึกที่ดีต่อกันและรักษาความสัมพันธ์ระหว่างกัน สามารถประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายของทั้งสองฝ่าย[2] กระบวนการไกล่เกลี่ยนั้นสามารถทำได้ในทุกสถานการณ์ตั้งแต่เริ่มมีข้อพิพาทซึ่งกันและกัน เพื่อสร้างความเป็นธรรมในสังคม นอกจากนั้นยังเป็นกระบวนการยุติธรรมทางเลือกที่เปิดโอกาสให้คู่กรณีสามารถเยียวยาแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ร่วมกัน ตลอดจนการสร้างแนวทางหรือรูปแบบที่จะชดใช้ชดเชยความเสียหายที่สร้างความพึงพอใจร่วมกัน ทั้งนี้ หากมีการนำวิธีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทไปใช้อย่างแพร่หลายในคดีที่สามารถเจรจาไกล่เกลี่ยกันได้ ก็จะช่วยทำให้ลดปริมาณคดีขึ้นสู่ศาล ลดปัญหาความขัดแย้งในชุมชน สังคมสามารถแก้ไขข้อพิพาทที่เกิดขึ้นอย่าง มีประสิทธิภาพและทำให้ประชาชนสามารถอยู่ร่วมกันได้อย่างสันติสุข ซึ่งการไกล่เกลี่ยก่อนคดีขึ้นสู่ศาลนั้นสามารถทำได้ในกระบวนการชั้นสอบสวน หรือเรียกว่าการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาในชั้นสอบสวน ซึ่งคู่กรณีทั้งสองฝ่ายสามารถเลือกแนวทางการแก้ไขปัญหาได้หลายช่องทาง โดยพิจารณาจากประมวลกฎหมายอาญา ในความผิดอันยอมความได้, ความผิดลหุโทษ ตามมาตรา 390 มาตรา 391 มาตรา 392 มาตรา 393 มาตรา 394 มาตรา 395 และมาตรา 397 หรือ ความผิดลหุโทษที่ไม่กระทบต่อส่วนรวมตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกา หรือ ความผิดที่มีอัตราโทษจำคุกอย่างสูงไม่เกิน 3 ปี ตามบัญชีท้ายพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ทั้งนี้ ความผิดที่เกิดขึ้นต้องเป็นกรณีที่ผู้ต้องหาไม่เคยได้รับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 มาก่อน เว้นแต่ เป็นคดีความผิดที่ได้กระทำโดยประมาท คดีความผิดลหุโทษ ซึ่งพ้นระยะเวลา เกิน 3 ปีนับแต่มีคำสั่งยุติคดี และผู้ต้องหาไม่อยู่ระหว่างต้องคำพิพากษาถึงที่สุดให้จำคุก หรือพ้นโทษมาแล้วเกินกว่า 5 ปี เว้นแต่ เป็นคดีความผิดที่ได้กระทำโดยประมาท คดีความผิดลหุโทษ หรือคดีความผิดที่ผู้ต้องหาได้กระทำในขณะที่มีอายุต่ำกว่า 18 ปี โดยผลการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาในชั้นสอบสวนนั้น สามารถเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ

(1) ในกรณีที่คู่กรณีตกลงกันได้ ให้ผู้ไกล่เกลี่ยบันทึกข้อตกลงนั้นไว้เป็นลายลักษณ์อักษร และให้คู่กรณีลงลายมือชื่อไว้ แล้วส่งบันทึกข้อตกลงไปยังพนักงานสอบสวน และให้พนักงานสอบสวนส่งไปยังพนักงานอัยการพร้อมด้วยสำนวนการสอบสวนเพื่อพิจารณาสั่งยุติคดี และสิทธินำคดีอาญามาฟ้องเป็นอันระงับ แต่ในกรณีที่มี ผู้เสียหายหลายคน หากผู้เสียหายคนหนึ่งคนใดไม่สามารถทำข้อตกลงกับผู้ต้องหาได้ สิทธินำคดีอาญามาฟ้องของผู้เสียหายดังกล่าวย่อมไม่ระงับ และ

(2) ในกรณีตกลงกันไม่ได้ ให้พนักงานสอบสวนผู้มีอำนาจออกคำสั่งดำเนินคดีต่อไป การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาไม่ตัดอำนาจของพนักงานสอบสวนที่จะทำการสอบสวนต่อไป

การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในชั้นสอบสวนนั้น ถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการจัดการคดีต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสังคมไทย เนื่องจากหากการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทต่าง ๆ ทำให้ข้อพิพาทคลี่คลายคดีลงได้ โดยไม่ต้องส่งฟ้องศาลแล้วจะช่วยลดภาระการทำงานของเจ้าหน้าที่และลดปริมาณคดีที่ขึ้นสู่ศาลได้ แต่ที่ผ่านมานั้น ยังพบว่า การไกล่เกลี่ยในชั้น

---

[2] **การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทชั้นศาลฎีกา**, สืบค้นเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 2566 จาก http://www.supremecourt.or.th/การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทชั้นศาลฎีกา.

พนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ในการบังคับใช้กฎหมายดังกล่าว ยังขาดประสิทธิภาพ เนื่องจากปัญหาในการปฏิบัติงานจริงของพนักงานสอบสวน

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้ โดยทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานจริงในพื้นที่ อันส่งผลให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในชั้นสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ยังขาดประสิทธิภาพ และเสนอแนวทางออกที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบังคับใช้กฎหมาย โดยศึกษาจากผู้ปฏิบัติงานจริงในสถานีตำรวจภูธรที่ตั้งอยู่ในจังหวัดพะเยา

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ในสถานีตำรวจภูธรจังหวัดพะเยา

2) เพื่อศึกษาแนวคิดกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ (Restorative Justice–RJ) และ นำเสนอในการปรับใช้เพื่อทำให้การไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวนมีประสิทธิภาพ

3) เพื่อศึกษาและค้นหาแนวทางในการพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวนให้มีประสิทธิภาพ

วิธีการศึกษา

ศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ด้วยการวิจัยเอกสาร ศึกษา วิเคราะห์ แนวคิด ทฤษฎี กฎหมายทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท เพื่อวิเคราะห์ปัญหาในการดำเนินงานการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน เงื่อนไขความสำเร็จของกระบวนการการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน และการสัมภาษณ์เชิงลึก (In–Depth Interview) โดยใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึก ที่กำหนดข้อคำถามเป็นลักษณะคำถามปลายเปิด โดยกำหนดกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่จังหวัดพะเยา ได้แก่ พนักงานสอบสวนในสถานีตำรวจ จำนวน 21 คน และผู้ไกล่เกลี่ยในสถานีตำรวจ จำนวน 5 คน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลให้ได้ข้อสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางหรือมาตรการทางกฎหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562

ผลการศึกษา

1. แนวคิดเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ย (Mediation)

การดำเนินการนำคู่พิพาทเข้ามาสู่การเจรจาตกลงกัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้ในบางทีก็เรียกว่า Facilitation แต่นักวิชาการบางท่านใช้คำว่า Conciliation หมายถึง กระบวนการระงับข้อพิพาทที่บุคคลที่สามนั้น แม้จะไม่ได้ทำหน้าที่ตัดสินข้อพิพาท แต่ก็มีบทบาทในการจัดทำข้อเสนอ [3]

การไกล่เกลี่ยเพื่อระงับข้อพิพาท คือ การที่คู่พิพาทได้ตกลงยินยอมโดยความสมัครใจที่ให้คนกลางหรือบุคคลภายนอกผู้ที่ไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับคดีซึ่งมีความเป็นกลาง ช่วยในการเจรจา ให้เกิดความเข้าใจอันดี และให้

[3] **Managing commercial disputes – key steps and processes,** สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2566 จาก https://www.taitlegal.com.au/managing–commercial–disputes–key–steps–and–processes.

ผู้กระทำความผิดได้เกิดความสำนึกพร้อมที่จะเยียวยาความเสียหายให้แก่ผู้เสียหาย โดยมีความเข้าใจกัน ทำให้สองฝ่ายได้ผ่อนปรนลดหย่อนความตรึงเครียดของปัญหาข้อพิพาท โดยสามารถตกลงในทางสันติวิธีได้โดยไม่มีการฟ้องร้องดำเนินคดีต่อศาล ด้วยการตกลงเพื่อทำสัญญาประนีประนอมเพื่อยอมรับและจะปฏิบัติตามข้อตกลงที่ได้รับต่อคู่กรณีเพื่อให้เกิดความเป็นธรรม

1.1 แนวคิดการยินยอมทั้งสองฝ่าย

แนวคิดการยินยอมทั้งสองฝ่าย เป็นแนวคิดที่เป็นสิ่งสำคัญที่สุด เพราะกระบวนการไกล่เกลี่ยจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความยินยอมทั้งสองฝ่ายโดยสมัครใจเท่านั้น เพราะหากไม่มีความยินยอมที่จะทำการไกล่เกลี่ยกระบวนการใดๆ ก็จะเกิดขึ้นไม่ได้เลยดังนั้นหลักนี้จึงต้องถือว่าเป็นหัวใจสำคัญในอันดับแรก ความยินยอมนี้ไม่ใช่ความยินยอมที่เป็นเรื่องเงื่อนไขเกี่ยวกับองค์ประกอบความผิดอาญาแต่ประการใด แต่ความยินยอมนี้ เป็นเรื่องความยินยอมพร้อมใจกันของคู่กรณีที่จะเข้าสู่กระบวนการในการไกล่เกลี่ยโดยที่ทั้งสองฝ่ายจะต้องมีความเห็นชอบ

1.2 แนวคิดผลประโยชน์ร่วมกันเป็นสำคัญ

ในการไกล่เกลี่ยนั้นเป็นกระบวนการที่คนกลางจะต้องมีทักษะที่จะสามารถค้นหาจุดร่วมกันและความต้องการที่แท้จริงของคู่กรณีเป็นสำคัญ การที่จะทำให้คู่กรณีสามารถจะตกลงกันเพื่อจะระงับข้อพิพาทนั้นผู้ไกล่เกลี่ยจะต้องสามารถค้นหาจุดร่วมกันของคู่กรณีได้ นอกจากนี้ กระบวนการการไกล่เกลี่ยเน้นไปที่ความเป็นกลางทุกขั้นตอนเพื่อประโยชน์ของทั้งสองฝ่ายในการได้ประโยชน์ร่วมกันสูงสุด

1.3 แนวคิดการชนะทั้งสองฝ่าย

การไกล่เกลี่ยเพื่อระงับข้อพิพาทมีแนวคิดสำคัญอีกประการ คือ แนวคิดชนะทั้งสองฝ่าย ที่เรียกว่าเป็นการไม่มีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งแพ้ เพราะเป็นสิ่งที่คู่พิพาทนั้นได้เจรจาพิจารณาสิ่งนั้นร่วมกันว่าเป็นประโยชน์ของทั้งสองฝ่าย จึงเป็นสิ่งที่ไม่มีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งแพ้หรือชนะ แต่หากเป็นชัยชนะของฝ่ายเดียวย่อมไม่สามารถบรรลุผลของการตกลงได้หรือหากบังคับให้ตกลงได้ แต่จะไม่เกิดผลการปฏิบัติตามอย่างยั่งยืน

1.4 แนวคิดการสำนึกผิดของผู้กระทำผิด

ในการไกล่เกลี่ยคดีอาญานั้นส่วนมากจะเป็นคดีที่ไม่ได้มีความรุนแรงของการกระทำความผิดมากนักและเป็นความผิดอันยอมความได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการไกล่เกลี่ยเพื่อระงับข้อพิพาททางอาญานั้นเป็นกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ โดยมีแนวคิดสำคัญก็เพื่อให้ผู้กระทำความผิดได้เกิดความสำนึกในการกระทำรับรู้ความรู้สึกของผู้เสียหายโดยผู้กระทำผิด กล่าวคำขอโทษด้วยใจจริงและพร้อมเยียวยาความเสียที่เกิดขึ้นแก่ผู้เสียหายต่อไป รวมทั้งส่งเสริมให้ชุมชนได้มีโอกาสเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในการแก้ไขปัญหา

1.5 แนวคิดการเยียวยาความเสียหาย

แนวคิดการเยียวยาความเสียหาย คือ การที่ผู้กระทำความผิดได้เกิดความสำนึก ซึ่งแสดงออกมาจากความเข้าใจกันของคู่กรณี สิ่งที่สะท้อนให้เห็นถึงการแสดงออกอย่างเป็นรูปธรรมของผู้กระทำความผิดที่มีต่อผู้เสียหาย ก็คือการเยียวยาความเสียหาย ซึ่งโดยส่วนมากคือค่าเสียหายที่สามารถคิดคำนวนออกมาได้ เพื่อให้ความเสียหายของผู้ที่ได้รับผลกระทบจากการกระทำความผิดนั้นได้รับการบรรเทาความเสียหายลงไปได้บ้าง และเพื่อให้คู่กรณีทั้งสองฝ่ายที่บาดหมางสามารถกลับมาอยู่ในสังคมเดียวกันได้อย่างสงบสุข

2. แนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ (Restorative Justice)

กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ คือ การแก้ไขปัญหาพฤติกรรมเชิงอาชญากรรมที่ยืดหยุ่นและเน้นการมีส่วนร่วม ซึ่งสามารถใช้เป็นส่วนเสริมหรือเป็นทางเลือกในการอำนวยความยุติธรรม กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์สามารถยกระดับการเข้าถึงความยุติธรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้เสียหายจากอาชญากรรม กลุ่มประชากรเปราะบาง และประชากรชายขอบ กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์สามารถช่วยให้บรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals–SDG) เป้าหมาย คือ การอำนวยความยุติธรรมสำหรับทุกคน และการสร้างสถาบันที่มีประสิทธิผล มีความรับผิดชอบ และเป็นที่ยอมรับในทุกระดับ

กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ เป็นแนวทางที่เสนอทางเลือกใหม่ ๆ สู่ความยุติธรรมให้แก่ผู้กระทำความผิด ผู้เสียหาย และชุมชน กระบวนการนี้ส่งเสริมการเข้าร่วมของผู้เสียหายในการแก้ไขสถานการณ์ อีกทั้งเปิดโอกาสให้ผู้ที่ยอมรับผิดต่อความเสียหายที่เกิดจากการกระทำของตัวเองได้สำนึกและแสดงความรับผิดชอบต่อผู้เสียหาย กระบวนการนี้อยู่บนฐานที่ว่า พฤติกรรมอาชญากรรมนั้นไม่ได้เพียงแต่เป็นการละเมิดกฎหมายเท่านั้น แต่ยังเป็นอันตรายและสร้างความเสียหายแก่ผู้เสียหายและชุมชนอีกด้วย และเนื่องจากคุณลักษณะที่หลากหลาย และพัฒนาการของแนวทางยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ทั่วโลก จึงมีการให้น้ำหนักที่องค์ประกอบการมีส่วนร่วมของกระบวนการ การเผชิญหน้า และการเข้าร่วมอย่างแข็งขันในกิจกรรมสานเสวนา ขณะที่นิยามอีกส่วนหนึ่งเน้นย้ำผลลัพธ์เชิงสมานฉันท์ เช่น การเยียวยา การรักษาและฟื้นฟูเหยื่ออาชญากรรม และการกลับคืนสู่สังคมของผู้กระทำความผิด ซึ่งนิยามส่วนใหญ่ต่างเห็นพ้องในองค์ประกอบหลักเหล่านี้

(1) ให้ความสำคัญกับอันตรายและความเสียหายที่เกิดจากพฤติกรรมอาชญากร

(2) การมีส่วนร่วมโดยสมัครใจจากผู้ที่ได้รับผลกระทบจากอาชญากรรมมากที่สุด ได้แก่ ผู้เสียหาย ผู้กระทำความผิด ซึ่งในบางกระบวนการหรือการดำเนินการนั้น ผู้สนับสนุนหรือสมาชิกครอบครัว สมาชิกของชุมชนที่มีส่วนได้ส่วนเสีย และผู้เชี่ยวชาญจะเข้าร่วมในกระบวนการด้วย

(3) การเตรียมความพร้อมคู่กรณีในการเข้าร่วมกระบวนการโดยผู้ปฏิบัติงานกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ที่ผ่านการฝึกอบรมมาแล้ว

(4) การเจรจาหรือสานเสวนาระหว่างคู่กรณีเพื่อให้เกิดความเข้าใจร่วมกันถึงสิ่งที่เกิดขึ้นและผลที่ตามมา รวมทั้งข้อตกลงว่าด้วยสิ่งที่จะต้องกระทำ

(5) ผลลัพธ์ของกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์แตกต่างกันออกไป อาจรวมถึงการแสดงออกถึงการสำนึกผิดและการยอมรับผิดชอบของผู้กระทำความผิด รวมทั้งการตกลงที่จะให้การชดเชยเยียวยาผู้เสียหายหรือชุมชน

(6) การสนับสนุนผู้เสียหายในการรักษาและบำบัดฟื้นฟู และการช่วยให้ผู้กระทำความผิดสามารถกลับคืนสู่สังคม และยุติการกระทำที่จะสร้างความเสียหายหรืออันตรายซ้ำในอนาคต

ในต่างประเทศ กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์มีจุดมุ่งหมายให้ผู้เสียหายได้มีส่วนร่วม อย่างไรก็ตาม แนวคิดเรื่อง “ผู้เสียหาย” ยังเป็นประเด็นเรียกร้องให้มีการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (operationalization) เพื่อวัตถุประสงค์ในการนิยามกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ ปฏิญญาว่าด้วยหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับการอำนวยความยุติธรรมแก่ผู้ที่ได้รับความเสียหายจากอาชญากรรมและการใช้อำนาจโดยมิชอบ ค.ศ. 1985 (1985 Declaration of Basic Principles of Justice for Victim of Crime and Abuse of Power) นิยามว่า ผู้เสียหาย คือ “บุคคลหรือกลุ่มบุคคลซึ่งเป็นผู้ได้รับความเสียหายไม่ว่าจะเป็นการบาดเจ็บทางร่างกายหรือจิตใจ ความทุกข์ทรมานทางอารมณ์ ความสูญเสียทางเศรษฐกิจหรือสิทธิขั้นพื้นฐาน โดยเป็นผลมาจากการกระทำความผิดทางอาญาภายในรัฐสมาชิก รวมถึงกฎหมายอื่น ๆ ที่ห้ามการใช้อำนาจโดยมิชอบทางอาญา” ปฏิญญานี้ยังนับรวมครอบครัวปัจจุบันหรือผู้ที่อยู่ในความ

อุปการะของผู้เสียหายและบุคคลที่ได้รับอันตรายจากการให้ความช่วยเหลือผู้เสียหายที่กำลังประสบเหตุร้ายหรือในการป้องกันการตกเป็นผู้เสียหายภายใต้นิยามของ “ผู้เสียหาย”

2.1 เป้าหมายของกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ [4]

กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์นั้นเปิดโอกาสให้ผู้กระทำความผิดแก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้น รวมทั้งการชดเชยและขอโทษผู้เสียหาย หรือฟื้นฟูความสัมพันธ์ที่แตกสลายลงด้วยอาชญากรรม ในกระบวนยุติธรรมสายหลักโดยทั่วไปนั้นผู้กระทำความผิดมักจะถูกควบคุมตัว และคู่กรณีทั้งสองฝ่ายจะต้องดำเนินการกับฝ่ายตรงข้ามในศาล แต่หากเป็นกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์นั้นมีเป้าหมายที่แตกต่างออกไป อันรวมถึงเป้าหมายตามที่ คู่มือว่าด้วยกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ ที่สำนักงานว่าด้วยยาเสพติดและอาชญากรรมแห่งสหประชาชาติแนะนำไว้ดังต่อไปนี้

(1) ยืนยันค่านิยมที่ชุมชนเชื่อถือและส่งเสริมการแก้ไขความขัดแย้งด้วยสันติ

(2) สนับสนุนผู้เสียหาย ให้พื้นที่ในการส่งเสียง รับฟังเรื่องราว และส่งเสริมให้พวกเขา ได้แสดงถึงความต้องการและความปรารถนาของตน ให้คำตอบแก่ผู้เสียหาย ช่วยให้ พวกเขามีส่วนร่วมในกระบวนการแก้ไขปัญหาและได้รับการชดเชยเยียวยา

(3) ฟื้นฟูความสัมพันธ์ที่ถูกทำลายเนื่องจากอาชญากรรมโดยสร้างฉันทามติว่าจะแก้ ปัญหาอย่างไรให้ดีที่สุด

(4) ส่งเสริมความรับผิดชอบส่วนบุคคล ด้วยการให้ผู้กระทำความผิดแสดงความรับผิดชอบ ต่อพฤติกรรมของตนและต่อความเสียหายที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้พวกเขาสามารถ หาหนทางในการฟื้นฟูความเสียหายที่เกิดขึ้น

(5) ระบุวิธีเชิงสมานฉันท์ มองไปข้างหน้าเพื่อฟื้นฟูความสมานฉันท์ในสังคม แทนที่ จะมุ่งเน้นที่การละเมิดกฎที่เกิดขึ้นและการบังคับใช้การลงโทษ โดยให้ความสำคัญว่า จะแก้ปัญหาผลกระทบจากการกระทำที่เป็นอันตรายต่อผู้เสียหายและชุมชนอย่างไร เป็นอันดับแรก

(6) ส่งเสริมความปลอดภัยของชุมชนและป้องกันการกระทำความผิดซ้ำ

2.2 จุดมุ่งหมายของกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ [5]

(1) สนับสนุนผู้เสียหาย ให้พื้นที่ในการส่งเสียง รับฟังเรื่องราว ส่งเสริมให้พวกเขาได้แสดงถึงความต้องการและความปรารถนาของตน ให้คำตอบแก่ผู้เสียหาย ช่วยให้พวกเขามีส่วนร่วมในกระบวนการแก้ไขปัญหา และเสนอความช่วยเหลือต่าง ๆ ให้ผู้เสียหาย

(2) การเยียวยาความสัมพันธ์บางส่วนที่ถูกทำลายเนื่องจากอาชญากรรมโดยการสร้างฉันทามติว่าจะแก้ปัญหาอย่างไรให้ดีที่สุด

(3) ยืนหยัดค่านิยมที่ชุมชนเชื่อถือและประณามพฤติกรรมอาชญากร

(4) สนับสนุนให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องรับผิดชอบต่อการกระทำของตนโดยเฉพาะผู้กระทำความผิด

(5) ระบุผลลัพธ์เพื่อมองไปข้างหน้าและเพื่อความสมานฉันท์

---

[4] สถาบันเพื่อการยุติธรรมแห่งประเทศไทย (TIJ Academy), **คู่มือว่าด้วยกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2**, สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2566 จาก https://knowledge.tijthailand.org/th/publication/detail/handbook-rj-programmes-2edition#book.

[5] สถาบันเพื่อการยุติธรรมแห่งประเทศไทย (TIJ Academy), **รายงานวิจัย Harmonious Justice: Thailand’ s Approach to Restorative Justice และ คู่มือสหประชาชาติว่าด้วยกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2) ฉบับแปลภาษาไทย**, สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2566 จาก https://www.tijthailand.org/highlight/detail/restorative-justice-reduces-recidivism.

(6) การป้องกันการกระทำผิดซ้ำโดยการส่งเสริมให้ผู้กระทำความผิดกลับตัวและเอื้ออำนวยการกลับคืนสู่ชุมชน

กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ให้ความสำคัญต่อความเสียหายที่ผู้กระทำความผิดก่อขึ้นเป็นหลัก โดยมิได้ละเลยพฤติกรรมของผู้กระทำความผิดในอนาคต ทั้งผู้เสียหายและชุมชนคาดหวังว่าการสำนึกผิดจะนำไปสู่ความรับผิดชอบ ซึ่งไม่เพียงแต่เพื่อชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้น แต่ยังเป็นการหลีกเลี่ยงการกระทำที่ก่อความเสียหายในอนาคตด้วย องค์ประกอบสำคัญในการทำข้อตกลงในกระบวนการไกล่เกลี่ยหรือกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์อื่นๆ เน้นคำมั่นว่า ผู้กระทำความผิดจะปรับพฤติกรรมของตนในอนาคต กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้กระทำความผิดกลับตัว หรือ “ปฏิรูปตัวเอง” อันเป็นวัตถุประสงค์ที่มีความชอบธรรมและสำคัญ ดังนั้น กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ จึงเป็นการป้องกันการกระทำผิดซ้ำ การยืนยันให้ผู้กระทำความผิดเข้าใจและยอมรับผิดชอบผลจากการกระทำของตนเอง ย่อมสื่อความหมายอย่างชัดแจ้งว่าต้องการให้ผู้กระทำความผิดเปลี่ยนพฤติกรรมในอนาคต ซึ่งครอบครัวของผู้กระทำความผิด ผู้อื่นในชุมชน ตลอดจนหน่วยงานตามกฎหมายมีบทบาทสนับสนุนกระบวนการกลับตัวนี้

กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ จึงเป็นมากกว่าการระงับความขัดแย้งหรือข้อพิพาท และยังเป็นวิวัฒนาการของการแก้ปัญหาอาชญากรรม ซึ่งให้ความเคารพศักดิ์ศรีและความเสมอภาคของบุคคล การสร้างความเข้าใจและส่งเสริมสังคมสันติสุข ด้วยการเยียวยาผู้เสียหาย ผู้กระทำความผิด และชุมชน กระบวนการนี้ดำเนินการตามคุณค่าหลักสำคัญหลายประการ และนำผู้ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์มาส่งเสียง อธิบายถึงความต้องการ และระบุถึงความรับผิดชอบของผู้กระทำความผิด และแก้ปัญหาร่วมกันว่าจะชดเชยความเสียหายและป้องกันการเกิดอาชญากรรมกระบวนการจำนวนมากมุ่งแก้ปัญหาอาชญากรรมนอกกระบวนการยุติธรรมทางอาญา หลักการความยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ ได้สร้างแรงบันดาลใจให้เกิดแนวทางใหม่ ๆ ในการป้องกันการก่อความรุนแรงแบบการแก้แค้น นอกจากนี้ กระบวนการและแผนงานยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ยังใช้ในการเอื้ออำนวยการคืนกลับสู่สังคม ทั้งยังกระตุ้นและส่งเสริมแนวทางเชิงนวัตกรรมเพื่อป้องกันลัทธินิยมความรุนแรงอีกด้วย

กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ ซึ่งเป็นหลักการทางกฎหมายที่นำมาใช้เป็นแนวทางปฏิบัติอย่างกว้างขวางในหลักนิติบัญญัติ ตุลาการ และการบริหารจัดการหน่วยงานราชการต่างๆ เพื่อให้เกิดประสิทธาพที่ดีในการจัดการองค์กร นอกจากนี้ หลักกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ยังสามารถนำมาบูรณาการแนวทางการปฏิบัติงานของพนักงานสอบสวนในการไกล่เกลี่ย เพื่อให้หลักการและแนวทางการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 มีความสมบูรณ์และมีแนวทางในการดำเนินงานที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

3. แนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562

พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 ได้ให้อำนาจในการดำเนินกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทก่อนฟ้อง โดยหากมีการนำกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ที่เน้นถึงการแก้ไขเยียวยาทั้งความรู้สึกทำให้ผู้กระทำนั้นเกิดความสำนึกผิดในสิ่งที่กระทำ และเข้าใจความรู้สึกของผู้เสียหายพร้อมที่จะช่วยเยียวยาความเสียหายที่เกิดขึ้น มาใช้ดำเนินการร่วมด้วย จะยิ่งทำให้ข้อพิพาทนั้นระงับไปด้วยความเข้าใจอันดีของคู่กรณีโดยเฉพาะในกระบวนการไกล่เกลี่ยคดีอาญาในชั้นพนักงานสอบสวน ซึ่งจะเป็นผลให้ลดปริมาณคดีขึ้นสู่ศาล สร้างความสมานฉันท์ในสังคม ลด

งบประมาณแผ่นดิน[6] โดยพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยฯ แบ่งการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทได้เป็น 3 กลุ่ม คือ การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน หน่วยงานรัฐ และพนักงานสอบสวน โดยพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยฯ กำหนดให้คำนิยามไว้ดังนี้

“การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท” หมายความว่า การดำเนินการเพื่อให้คู่กรณีมีโอกาสเจรจาตกลงกันระงับข้อพิพาททางแพ่งและทางอาญาโดยสันติวิธีและปราศจากการวินิจฉัยชี้ขาดข้อพิพาท ทั้งนี้ไม่รวมถึงการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทที่ดำเนินการในชั้นศาลและในชั้นการบังคับคดี

“ผู้ไกล่เกลี่ย” หมายความว่า บุคคลซึ่งได้รับการขึ้นทะเบียนและได้รับการแต่งตั้งให้ทำหน้าที่ในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท

“ข้อตกลงระงับข้อพิพาท” หมายความว่า ข้อตกลงที่คู่กรณีตกลงให้มีผลผูกพันโดยชอบด้วยกฎหมายเพื่อระงับข้อพิพาทหรือข้อเรียกร้องใด ๆ ที่แต่ละฝ่ายมีอยู่ และให้คู่กรณีแต่ละฝ่ายต่างมีสิทธิหน้าที่ หรือความรับผิดเพียงเท่าที่กำหนดไว้ในข้อตกลงนั้น

“หน่วยงานซึ่งดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท” หมายความว่า หน่วยงานของรัฐซึ่งดำเนินการระงับข้อพิพาทโดยวิธีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท

“หน่วยงานของรัฐ” หมายความว่า ราชการส่วนกลาง ราชการส่วนภูมิภาค สำนักงานศาลยุติธรรม สำนักงานอัยการสูงสุด หรือหน่วยงานอื่นของรัฐตามที่รัฐมนตรีว่าการกระทรวงยุติธรรมกำหนดในกฎกระทรวง

“นายทะเบียน” หมายความว่า หัวหน้าหน่วยงานของรัฐซึ่งดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท

พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ได้กำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นและลักษณะ ต้องห้าม รวมไปถึงอำนาจหน้าที่ และการมีจริยธรรมของการเป็นผู้ไกล่เกลี่ยไว้ โดยคุณสมบัติที่มี ความสำคัญคือการผ่านการอบรมการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท และการมีประสบการณ์ ซึ่งมาตรา 10 แห่ง พระราชบัญญัตินี้ กำหนดให้ผู้ที่จะขึ้นทะเบียนเป็นผู้ไกล่เกลี่ยต้องผ่านการอบรมการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทตาม หลักสูตรที่คณะกรรมการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติตามกฎหมายว่าด้วยการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติรับรองและเป็นผู้มีประสบการณ์ในด้านต่าง ๆ อันจะเป็นประโยชน์ แก่การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ในส่วนของการผ่านการอบรมตามหลักสูตรที่กำหนดนั้น ผู้ที่จะขึ้นทะเบียน เป็นผู้ไกล่เกลี่ย จะต้องมีความรู้ในเรื่องใดบ้าง เพื่อที่จะนำมาใช้ในการดำเนินกระบวนการไกล่เกลี่ย รวมถึงการมีประสบการณ์อันจะเป็นประโยชน์แก่การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทนั้น ควรมีประสบการณ์ หรือความ เชี่ยวชาญเฉพาะด้านของผู้ที่จะขึ้นทะเบียนเป็นผู้ไกล่เกลี่ย

ในส่วนของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา นั้น พระราชบัญญัติฉบับนี้ได้ให้อำนาจในการไกล่เกลี่ยที่ไม่แตกต่างกันในระหว่าง หน่วยงานของรัฐ และ ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน เพียงแต่ในส่วนของการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน นั้น พระราชบัญญัติฉบับนี้ได้ให้อำนาจในการไกล่เกลี่ยในขอบอำนาจที่มากกว่า คือ สามารถไกล่เกลี่ยความผิดอย่างสูงไม่เกิน 3 ปี ตามบัญชีท้ายพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ด้วย ซึ่งได้แก่ **ความผิดตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 294 มาตรา 295 มาตรา 296 มาตรา 299 มาตรา 300 และมาตรา 334**

[7] อริยพร โพธิใส, หลักเกณฑ์การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในคดีอาญา, **วารสารสารพันปัญหากฎหมาย**, มกราคม – กุมภาพันธ์, 2565.

ตารางเปรียบเทียบการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของหน่วยงานต่างๆ ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562

หน่วยงานของรัฐ		**ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน**		**ชั้นพนักงานสอบสวน**
ทางอาญา	ทางแพ่ง	ทางอาญา	ทางแพ่ง	ได้เฉพาะทางอาญาเท่านั้น
1) ความผิดอันยอมความได้ 2) ลหุโทษ บางมาตราได้แก่ 2.1) มาตรา 390 2.2) มาตรา 391 2.3) มาตรา 392 2.4) มาตรา 393 2.5) มาตรา 394 2.6) มาตรา 395 2.7) มาตรา 397 - อื่นๆ ตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกา	1) ข้อพิพาทเกี่ยวกับที่ดินที่ไม่เกี่ยวด้วยกรรมสิทธิ์ 2) ข้อพิพาทของทายาทเกี่ยวกับมรดก 3) อื่นๆ ที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกา 4) อื่นๆ ที่ทุนทรัพย์ไม่เกิน 5 ล้านบาท	1) ความผิดอันยอมความได้ 2) ลหุโทษ บางมาตราได้แก่ 2.1) มาตรา 390 2.2) มาตรา 391 2.3) มาตรา 392 2.4) มาตรา 393 2.5) มาตรา 394 2.6) มาตรา 395 2.7) มาตรา 397 - อื่นๆ ตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกา	1) ข้อพิพาทเกี่ยวกับที่ดินที่ไม่เกี่ยวด้วยกรรมสิทธิ์ทุนทรัพย์ไม่เกิน 5 แสน 2) ข้อพิพาทของทายาทเกี่ยวกับมรดก ทุนทรัพย์ไม่เกิน 5 แสน 3) อื่นๆ ที่ทุนทรัพย์ไม่เกิน 5 แสน 4) อื่นๆ ที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกา	1) ความผิดอันยอมความได้ 2) ลหุโทษ บางมาตราได้แก่ 2.1) มาตรา 390 2.2) มาตรา 391 2.3) มาตรา 392 2.4) มาตรา 393 2.5) มาตรา 394 2.6) มาตรา 395 2.7) มาตรา 397 - อื่นๆตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกา 3) ความผิดอาย่างสูงไม่เกิน 3 ปี ตามบัญชีท้ายพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ได้แก่ 3.1) มาตรา 294 3.2) มาตรา 295 3.3) มาตรา 296 3.4) มาตรา 299 3.5) มาตรา 300 3.6) มาตรา 334

ที่มา : ผู้วิจัย

การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาในชั้นพนักงานสอบสวน

การไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 หมายถึง กระบวนการที่ว่าด้วยเรื่องการไกล่เกลี่ยความขัดแย้งระหว่างบุคคลตั้งแต่ 2 คน ขึ้นไป ดำเนินการโดยเจ้าหน้าที่หรือบุคคลที่ได้รับการแต่งตั้งให้ทำหน้าที่ในการไกล่เกลี่ยที่ถูกต้องตามกฎหมาย ในการหาข้อยุติในการกระทำความผิดที่เกิดขึ้นซึ่งกันและกัน โดยตามเงื่อนไขที่ตกลงกันอาจมีการชำระค่าเสียหายตามที่กำหนดในข้อตกลง

การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาในชั้นพนักงานสอบสวน กระทำได้ในคดีความผิดประเภทต่างๆ ดังนี้

(1) ความผิดอันยอมความได้

(2) ความผิดลหุโทษตามมาตรา 390 มาตรา 391 มาตรา 392 มาตรา 393 มาตรา 394 มาตรา 395 และมาตรา 397 แห่งประมวลกฎหมายอาญา และความผิดลหุโทษอื่นที่ไม่กระทบต่อส่วนรวมตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกา

(3) เป็นความผิดที่มีอัตราโทษจำคุกอย่างสูงไม่เกิน 3 ปี

โดยเมื่อคู่กรณีทำข้อตกลงระงับข้อพิพาททางอาญากันแล้ว ให้ถือว่าสิทธินำคดีอาญามาฟ้องระงับเฉพาะคู่กรณีซึ่งทำข้อตกลงดังกล่าว หากคดีที่อยู่ระหว่างการสอบสวน หรือพิจารณาคดีของพนักงานสอบสวน พนักงานอัยการ หรือศาลแล้ว ให้หน่วยงานซึ่งดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทหรือกรมคุ้มครองสิทธิและเสรีภาพ แจ้งให้พนักงานสอบสวน พนักงานอัยการ หรือศาล แล้วแต่กรณีทราบ โดยพนักงานสอบสวน พนักงานอัยการ หรือศาลอาจรอการสอบสวน การสั่งคดี การพิจารณาคดี หรือการพิพากษาคดี แล้วแต่กรณีไว้ก่อนจนกว่าจะรู้ผลการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท เมื่อการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาสิ้นสุดแล้ว ให้หน่วยงานหรือกรมคุ้มครองสิทธิและเสรีภาพ แจ้งผลการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทให้พนักงานสอบสวน พนักงานอัยการหรือศาลทราบ ในกรณีที่คู่กรณีตกลงระงับข้อพิพาททางอาญากันได้ ให้ส่งสำเนาบันทึกข้อตกลงดังกล่าวไปด้วย หรือในกรณีที่การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทไม่เป็นผล ให้พนักงานสอบสวนพนักงานอัยการ หรือศาลสอบสวนสั่งคดีหรือพิจารณาพิพากษาคดีต่อไป แต่หากคู่กรณีทำข้อตกลงระงับข้อพิพาททางอาญาที่คู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งอาจมีสิทธิฟ้องคดีแพ่งเกี่ยวเนื่องกับคดีอาญาตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญาให้สิทธินำคดีอาญามาฟ้องระงับ เมื่อคู่กรณีได้ปฏิบัติตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทในส่วนแพ่งแล้ว ในกรณีที่คู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทในส่วนแพ่งให้คู่กรณีอีกฝ่ายดำเนินการเพื่อขอให้มีการบังคับตามข้อตกลงระงับข้อพิพาท ตามมาตรา 32 ได้ และในกรณีดังกล่าวซึ่งมีข้อตกลงระงับข้อพิพาทให้คู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งได้รับประโยชน์แห่งเงื่อนเวลาในการปฏิบัติตามข้อตกลง ให้นำความในมาตรา 6 มาบังคับใช้ในกรณีที่คู่กรณีฝ่ายนั้นไม่ปฏิบัติตามข้อตกลง ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมแก่คู่กรณีทุกฝ่าย

การไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทในชั้นพนักงานสอบสวนนั้น มีเงื่อนไขและข้อจำกัดที่สำคัญดังต่อไปนี้ [7]

(1) การเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยในชั้นสอบสวน เงื่อนไขประการแรก คือ คู่กรณีจะต้องมีความประสงค์จะทำการไกล่เกลี่ยเพื่อระงับข้อพิพาท และคำว่า คู่กรณี นี้หมายความว่า ผู้ต้องหาและผู้เสียหายในคดีอาญา แต่ผู้เสียหายนั้น จะต้องไม่ใช่รัฐหรือหน่วยงานของรัฐที่เป็นผู้เสียหาย กล่าวให้เข้าใจง่ายก็คือ ผู้เสียหายจะเป็นบุคคลธรรมดาทั่วไป

(2) คดีที่พนักงานสอบสวนมีอำนาจในการไกล่เกลี่ยได้นั้น จะต้องมีลักษณะสำคัญโดยต้องอยู่ในขอบเขตดังนี้

---

[7] ชลัท ประเทืองรัตนา, โอกาสและอุปสรรคในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในชั้นพนักงานสอบสวนตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562, **วารสารมหาจุฬานาครทรรศน์** ปีที่ 9 ฉบับที่ 7 (กรกฎาคม 2565).

(2.1) เป็นคดีความผิดอันยอมความได้

(2.2) เป็นคดีความผิดลหุโทษตาม มาตรา 390 มาตรา 391 มาตรา 392 มาตรา 393 มาตรา 394 มาตรา 395 และมาตรา 397 แห่งประมวลกฎหมายอาญา และความผิดลหุโทษอื่นที่ไม่กระทบ ต่อส่วนรวม

(2.3) เป็นความผิดที่มีอัตราโทษจำคุกอย่างสูงไม่เกิน 3 ปี

นอกจากนี้ ผู้ต้องหาที่จะทำการไกล่เกลี่ยได้จะต้องไม่เคยได้รับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 เว้นแต่เป็นคดีความผิดที่ได้กระทำโดยประมาท คดีความผิดลหุโทษ ซึ่งพ้นระยะเวลาเกินสามปีแต่มีคำสั่งยุติคดี และ ผู้ต้องหาไม่อยู่ระหว่างต้องคำพิพากษาถึงที่สุดให้จำคุก (มาตรา 42)

ในกรณีมีผู้เสียหายหลายคนในคดี ผู้เสียหายซึ่งเข้าร่วมการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทต้องสมัครใจประสงค์จะเข้าร่วมการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท และหากมีผู้เสียหายมีมากกว่าสองฝ่ายและมีฝ่ายใดไม่สมัครใจเข้าร่วมให้ทำการไกล่เกลี่ยเฉพาะในฝ่ายที่สมัครใจเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยนั้นได้โดยไม่ต้องทำการไกล่เกลี่ยฝ่ายที่ไม่สมัครใจแต่อย่างใด (มาตรา 45)[8]

ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาในชั้นการสอบสวน

ตามระเบียบสำนักงานตำรวจแห่งชาติ ว่าด้วยหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการยื่นคำร้องขอไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา การพิจารณาและระยะเวลาการสั่งคำร้อง และกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา พ.ศ. 2562 หมวด 1 ข้อ 8 ถึง ข้อ 10 โดยอาศัยอำนาจตามความในมาตรา 44 วรรคสอง ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 กำหนดให้หลังจากพนักงานสอบสวนรับคำร้องขอไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาแล้ว ให้พนักงานสอบสวนทำความเห็นเสนอพนักงานสอบสวนผู้มีอำนาจออกคำสั่งภายใน 3 วัน หากคำร้องดังกล่าวไม่ครบถ้วน ต้องทำคำร้องใหม่ภายใน 15 วัน นับแต่วันที่รับแจ้ง และให้พนักงานสอบสวนผู้มีอำนาจออกคำสั่งภายใน 3 วัน เพื่อแต่งตั้งผู้ไกล่เกลี่ย หลังจากที่ได้แต่งตั้งผู้ไกล่เกลี่ยแล้ว จะมีการนัดไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาครั้งแรก ภายใน 7 วัน นับแต่วันแต่งตั้งผู้ไกล่เกลี่ย แล้วแจ้งให้ผู้ไกล่เกลี่ยและคู่กรณีทราบ กรณีมีเหตุจำเป็นขอขยายระยะเวลาได้อีกไม่เกิน 7 วัน ทั้งนี้ ให้แล้วเสร็จภายใน 30 วัน นับแต่วันที่กำหนดนัดไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาครั้งแรก เว้นแต่ มีเหตุจำเป็นหรือเป็นกรณีที่มีเหตุอันควรเชื่อว่าคู่กรณีจะสามารถตกลงกันได้ ผู้ไกล่เกลี่ยอาจดำเนินการต่อไปได้อีกไม่เกิน 30 วัน โดยให้บันทึกเหตุดังกล่าวไว้ ทั้งนี้ กรณีผู้ไกล่เกลี่ยอาจถูกถอดถอนหรือสิ้นสุดลง ให้เริ่มนับใหม่ตั้งแต่วันที่กำหนดนัดไกล่เกลี่ยครั้งแรกหลังจากการแต่งตั้งผู้ไกล่เกลี่ยคนใหม่

เมื่อความปรากฏต่อผู้ไกล่เกลี่ยว่า ผู้เสียหายได้ยื่นฟ้องคดีอาญาต่อศาล ไม่ว่าก่อนการสอบสวนหรือระหว่างการสอบสวน ให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาเป็นอันยุติ และให้ผู้ไกล่เกลี่ยรายงานให้พนักงานสอบสวนทราบถึงการยุติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา ภายใน 7 วันนับแต่วันที่ยุติการไกล่เกลี่ย เมื่อได้รับรายงานการยุติดังกล่าวให้พนักงานสอบสวนมีอำนาจออกคำสั่งมีคำสั่งดำเนินคดีต่อไป

4. สัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) วิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์อาสาสมัครซึ่งเป็นผู้ที่ปฏิบัติงานจริง ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ในพื้นที่จังหวัดพะเยา จำนวน 26 คน

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก พบว่า พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 เป็นกฎหมายที่มีประโยชน์อย่างมาก ในการลดจำนวนคดีที่ขึ้นสู่ศาล แต่ตัวกฎหมายและระเบียบที่เกี่ยวข้องนั้นยังมีขั้นตอน

---

[8] ธนกร คารวพงศ์, **ปัญหาการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาในชั้นสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562**, การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 10.

ที่ซับซ้อนและมีระยะเวลาการดำเนินการที่นานเกินไป ทำให้ในการปฏิบัติงานจริงเกิดความล่าช้า สร้างภาระค่าใช้จ่ายในการเดินทางให้แก่ประชาชนผู้มีข้อพิพาทเป็นอย่างยิ่ง

หากว่ายังไม่มีการแก้ไขปรับปรุงในขั้นตอนการดำเนินกระบวนการไกล่เกลี่ยคดีอาญาในชั้นพนักงานสอบสวน โดยลดขั้นตอนให้น้อยลง และพนักงานสอบสวนไม่ต้องจัดทำเอกสารประหนึ่งทำสำนวนคดีปกติ ซึ่งหากยังไม่มีการปรับปรุงในจุดนี้ ผลลัพธ์ คือ พนักงานสอบสวนจะเลือกใช้ กระบวนการไกล่เกลี่ย ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 เฉพาะที่นอกเหนือจากที่ ประมวลกฎหมายวิธีพิจาณาความอาญา (อันได้ให้อำนาจพนักงานสอบสวนในการจัดการคดีอาญาความผิดอาญาอันยอมความได้ และความผิดลหุโทษที่พนักงานสอบสวนมีอำนาจในการเปรียบเทียบปรับ และทำให้คดีอาญาจบลง) ซึ่งได้แก่ 6 ฐานความผิด ตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 294, 295, 296, 299, 300 และ 334 อันจะส่งผลให้ไม่เป็นไปตามเจตนารมย์ของพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562

นอกจากนี้ ในประเด็นเรื่องสถานที่ที่ทำการไกล่เกลี่ยในสถานีตำรวจนั้นยังไม่มีความพร้อม เนื่องจากสถานีตำรวจไม่ได้ออกแบบมาให้เป็นสถานที่ทำการไกล่เกลี่ยแต่แรก อีกทั้งเห็นควรเพิ่มแรงจูงใจให้กับพนักงานสอบสวนซึ่งเป็นบุคคลที่มีหน้าที่จัดให้มีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการขับเคลื่อนกระบวนการไกล่เกลี่ยให้ได้ประสิทธิภาพ โดยการนำคดีที่พนักงานสอบสวนพยายามสามารถทำการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทสำเร็จ มาใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการพิจารณาความดีความชอบในหน้าที่การงานของพนักงานสอบสวน โดยพนักงานสอบสวนที่ให้ข้อมูลส่วนใหญ่เห็นตรงกันว่า หากมีนโยบายในการเพิ่มสวัสดิการหรือแรงจูงใจให้พนักงานสอบสวนทั่วประเทศ ในการสนับสนุนและจัดให้มีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทให้แก่ประชาชนมากขึ้น เช่น การนำจำนวนคดีที่พนักงานสอบสวนสามารถทำการไกล่เกลี่ยได้ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ได้ มาประกอบเป็นข้อพิจารณาในการเลื่อนตำแหน่งของพนักงานสอบสวน จะทำให้เกิดความร่วมมือในการที่พนักงานสอบสวนขับเคลื่อนกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 มากขึ้น

บทสรุป

กระบวนการการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างมากสำหรับการดำเนินงานในการจัดการคดีต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสังคมไทย เนื่องจากหากสามารถเจราจาหาข้อยุติข้อพิพาทต่างๆ ผ่านการไกล่เกลี่ยคลี่คลายคดีลงได้ โดยไม่ต้องส่งฟ้องคดีความเข้าสู่ชั้นศาล จะทำให้ช่วยลดภาระการทำงานของเจ้าหน้าที่และลดปริมาณคดีขึ้นศาลได้ แต่ที่ผ่านมานั้น การไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ยังขาดประสิทธิภาพในการบังคับใช้ เนื่องจากขั้นตอนของกฎหมายและระเบียบได้กำหนดกรอบของระยะเวลาในการดำเนินกระบวนการที่นานเกินไป ทำให้คู่กรณีไม่สามารถตกลงยอมความในคราวเดียวได้ จนกลายเป็นการสร้างภาระในด้านค่าใช้จ่ายในการเดินทางให้กับคู่กรณี และสถานที่ที่ทำการไกล่เกลี่ยยังไม่มีความพร้อมเนื่องจากสถานีตำรวจไม่ได้ออกแบบมาให้เป็นสถานที่ไกล่เกลี่ยตั้งแต่แรก ทำให้ในทางปฏิบัติพนักงานสอบสวนยังคงเลือกวิธีการยุติตามกระบวนการยุติธรรมหลัก (เดิม) ตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาคดีอาญา ซึ่งมีความรวดเร็วและง่ายจบในคราวเดียว จึงขัดกับหลักของพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562

นอกจากนี้ การแก้ไขปรับปรุงในขั้นตอนการดำเนินกระบวนการไกล่เกลี่ยคดีอาญาในชั้นพนักงานสอบสวน โดยลดขั้นตอนให้น้อยลง และวางหลักเกณฑ์ที่ลดภาระในการจัดทำเอกสารในกระบวนการไกล่เกลี่ย จะส่งผลให้พนักงานสอบสวนเลือกใช้กระบวนการไกล่เกลี่ย ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ทั้งคดีอาญา

ความผิดอาญาอันยอมความได้ ความผิดลหุโทษ ตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 390, 391, 392, 393, 394, 395 และ 397 รวมถึงคดีอาญา 6 ฐานความผิด ตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 294, 295, 296, 299, 300 และ 334 อันจะส่งผลให้เป็นไปตามเจตนารมย์ของพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562

นอกจากนี้ ควรนำหลักกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีต่อทุกฝ่าย ทั้งผู้กระทำความผิด ผู้ถูกกระทำ และสังคม โดยนำหลักกการดังกล่าวมาบูรณาการกับแนวทางการปฏิบัติงานของพนักงานสอบสวนในการไกล่เกลี่ยคดีอาญา เพื่อให้หลักการและแนวทางการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 มีความสมบูรณ์และมีแนวทางในการดำเนินงานที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ในการขับเคลื่อนและส่งเสริมสนับสนุนให้กระบวนการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวนให้มีประสิทธิภาพนั้น ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. แก้ไขระเบียบสำนักงานตำรวจแห่งชาติ ว่าด้วยหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการยื่นคำร้องขอไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา การพิจารณาและระยะเวลาการสั่งคำร้อง และกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา พ.ศ. 2562 หมวด 1 ข้อ 8 ถึง ข้อ 10 ซึ่งเป็นระเบียบที่อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 44 วรรคสอง ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 โดยแก้ไขให้พนักงานสอบสวนผู้รับคำร้องขอให้มีการไกล่เกลี่ยจากคู่พิพาท เป็นผู้จัดให้มีการแต่งตั้งผู้ไกล่เกลี่ยได้เอง โดยไม่ต้องเสนอให้พนักงานสอบสวนผู้มีอำนาจพิจารณาเป็นผู้พิจารณาอีก หรือลดขั้นตอนและกรอบของระยะเวลาในการดำเนินกระบวณการไกล่เกลี่ยลง ให้แล้วเสร็จในคราวเดียว เป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายในการเดินทางของคู่กรณีที่ต้องเดินทางมาพบทั้งพนักงานสอบสวน และผู้ที่ทำหน้าที่ไกล่เกลี่ย

2. ควรจัดให้มีสถานที่สำหรับทำการไกล่เกลี่ยในสถานีตำรวจที่แยกออกมาจากแบบแปลนห้องทำงานในสถานีตำรวจเดิม เพื่อป้องกันไม่ให้มีการนำห้องปฏิบัติการตามแปลนแบบเดิมมาใช้เป็นสถานที่สำหรับทำการไกล่เกลี่ย เนื่องจากพบว่าบางสถานีตำรวจไม่ได้ออกแบบสร้างขึ้นมาให้มีห้องสำหรับทำการไกล่เกลี่ยไว้โดยเฉพาะ ทำให้ในการปฏิบัติงานจริงต้องนำห้องทำงานของพนักงานสอบสวนหรือห้องสำหรับชี้ตัวผู้ต้องหามาใช้เป็นห้องที่ทำการไกล่เกลี่ย ซึ่งบางครั้งอาจดูไม่ค่อยเหมาะสม

3. ควรกำหนดเป็นเชิงนโยบาย หรือเพิ่มเติมในระเบียบสำนักงานตำรวจแห่งชาติ โดยเพิ่มสวัสดิการหรือแรงจูงใจให้พนักงานสอบสวนทั่วประเทศ ในการสนับสนุนและจัดให้มีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทให้แก่ประชาชนมากขึ้น เช่น การนำจำนวนคดีที่พนักงานสอบสวนสามารถทำการไกล่เกลี่ยได้ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ได้ มาประกอบเป็นข้อพิจารณาในการเลื่อนตำแหน่งของพนักงานสอบสวน นอกจากนี้ ควรจัดวัสดุหรืออุปกรณ์สำนักงานที่จำเป็นให้แก่พนักงานสอบสวน เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายกรณีที่พนักงานสอบสวนต้องจัดหาหรือซื้อด้วยกำลังทรัพย์ของพนักงานสอบสวนเอง เป็นต้น เพื่อเป็นการปรับกระบวนทัศน์และมุมมองที่พนักงานสอบสวนมีต่อกระบวนการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากความกรุณาของคณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ผู้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ พร้อมตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และขอขอบพระคุณ ผู้บังคับบัญชาสถานีตำรวจภูธรทั่วจังหวัดพะเยา พนักงานสอบสวน และผู้ไกล่เกลี่ย ทุกท่าน ที่กรุณาให้ข้อมูลโดยการทำแบบสอบถามและให้สัมภาษณ์ ซึ่งล้วนเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กัลยา ธนอังกูร **“ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของข้าราชการศาลยุติธรรมในจังหวัดเชียงใหม่”.** การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. 2551.

ชลัท ประเทืองรัตนา. โอกาสและอุปสรรคในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในชั้นพนักงานสอบสวนตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562. **วารสารมหาจุฬานาครทรรศน์** ปีที่ 9 ฉบับที่ 7 (กรกฎาคม 2565).

นันทวัน วงษ์สุภักดี. **การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาในชั้นสอบสวน : ศึกษา พ.ร.บ. การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562**. วิทยานิพนธ์ นิติศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. 2563.

ปอล เรือนใจดี. **ปัญหาการใช้อำนาจของพนักงานสอบสวน กรณีสั่งให้มีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาในหมวด 4 ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562**. การค้นคว้าอิสระ นิติศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2564.

ธนกร คารวพงศ์. **ปัญหาการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาในชั้นสอบสวนตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562**. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 10. 2563.

ทัศนีย์ อาดำ. **ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรด้านไอทีกรณีศึกษา:สำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์(ผลงานเชิง วิเคราะห์).** กรุงเทพฯ:สำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. 2555.

สมยศ แย้มเผื่อน. **ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน ปฏิบัติการ บริษัท เอเชีย มารีน เซอร์วิส จำกัด (มหาชน).** สารนิพนธ์ บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต (สาขาการจัดการ) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2551.

ศาลฎีกา. **การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทชั้นศาลฎีกา.** สืบค้นเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 2566 จาก http://www.supremecourt.or.th/การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทชั้นศาลฎีกา.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). **พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่นส**

สถาบันเพื่อการยุติธรรมแห่งประเทศไทย (TIJ Academy), **คู่มือว่าด้วยกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2**, สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2566 จาก https://knowledge.tijthailand.org/th/publication/detail/handbook-rj-programmes-2edition#book.

สถาบันเพื่อการยุติธรรมแห่งประเทศไทย (TIJ Academy), **รายงานวิจัย Harmonious Justice: Thailand' s Approach to Restorative Justice และ คู่มือสหประชาชาติว่าด้วยกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2) ฉบับแปลภาษาไทย**, สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2566 จาก https://www.tijthailand.org/highlight/detail/restorative-justice-reduces-recidivism.

สิทธิโชค อุบลขาว. **ประสิทธิภาพการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทคดีอาญาในชั้นพนักงานสอบสวน. การค้นคว้าอิสระนิติศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยทักษิณ.** 2564.

สุระทิน ชัยทองคำ. **การพัฒนากฎหมายในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา.** 2565.

อริยพร โพธิใส. หลักเกณฑ์การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในคดีอาญา. **วารสาร สารพันปัญหากฎหมาย**. มกราคม – กุมภาพันธ์. 2565.

Managing commercial disputes – key steps and processes. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2566. จาก https://www.taitlegal.com.au/managing-commercial-disputes-key-steps-and-processes.

Moorhead, G. and Griflin, R. W. (2001). **Organizational Behavior: Managing People and Organizations.** 6th ed. Massachusetts: Houghton Mifflin.

Mosley, D. C. (1996). **Management concept and practices. New York: Harper-Collins.**

Millet, J. D. (1994). **Management in the public service: The quest for effective performance. New York: McGraw-Hill Book.**

Simon, H. (1966). **Administrative Behavior: A Study of Decision Making Process in Administrative Organization. Toronto: The Free Press**

Peterson, E & Plowman, G. (1989). **Business organization and management. Illinois: Irwin. Vroom**

ปัญหาทางกฎหมายในการใช้กำลังป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจในการระงับเหตุฉุกเฉิน

Legal Problems of the Self-Defense by Police Officers in Emergency Response

เมธาวี ศรีโปฎก[1*] และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ[2]

Methawe Sripodok[1*] and Wimonrekha Sirichairawan[2]

บทคัดย่อ

บทความเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางและความหมายของการการป้องกันโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าหน้าที่ตำรวจและศึกษาปัญหาของเจ้าหน้าที่ตำรวจเกี่ยวกับการใช้กำลังการป้องกันตัวในการระงับเหตุฉุกเฉินในสถานการณ์ที่คับขันที่ต้องเผชิญกับภยันตรายอันอาจก่อให้เกิดภยันตรายต่อร่างกายหรือชีวิต โดยการวิจัยทางเอกสารและลงพื้นที่เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ ผลการศึกษาพบว่า การที่กฎหมายที่ใช้บังคับนั้นเป็นไปตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 68 อันเป็นกฎหมายเดียวกันกับที่ใช้บังคับในการป้องกันตัวของบุคคลทั่วไป อีกทั้งหลักการดังกล่าวยังมีการตีความได้โดยกว้าง ทำให้การนำมาใช้ต้องอ้างอิงตามคำพิพากษาของศาลซึ่งยังไม่มีความแน่นอน แม้มีประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 83 วรรค 3 หรือ ระเบียบเรื่องการจับกุม ก็ไม่ทำให้ผลเปลี่ยนแปลงไป เห็นได้ว่ากฎหมายที่มีอยู่ไม่เอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ตำรวจ เนื่องจากไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงของสถานการณ์ที่เกิดขึ้น จากการศึกษางานวิจัยต่างประเทศและความเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านพลวัตของมนุษย์ ในเรื่องความสามารถและประสิทธิภาพของเจ้าหน้าที่ตำรวจในสถานการณ์ฉุกเฉินที่มีความกดดันนั้นปรากฏข้อเท็จจริงที่แตกต่างจากมุมมองทางกฎหมายของไทย ส่งผลให้เมื่อเจ้าหน้าที่ตำรวจไทยใช้กำลังในการป้องกันตนเอง แต่กลับได้รับความเสียหายเกินควร เนื่องจากกฎหมายถือเป็นการกระทำรุนแรงเกินกว่าเหตุ ในขณะที่แนวทางของกฎหมายต่างประเทศ เช่น กฎหมายของมลรัฐมินนิโซต้า ประเทศสหรัฐอเมริกา กฎหมายสอดคล้องกับสถานการณ์และเอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ตำรวจมากกว่า ดังนั้น หากประเทศไทยพัฒนากฎหมายสำหรับเจ้าหน้าที่ตำรวจโดยเฉพาะและมีความชัดเจน ในขณะที่มีการกำหนดให้ควบคุมดูแลการใช้อำนาจไปด้วย จะทำให้การใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจมีประสิทธิภาพและสามารถตรวจสอบได้ เจ้าหน้าที่ตำรวจเกิดขวัญและกำลังใจในการปฏิบัติหน้าที่ในการรักษาความสงบเรียบร้อยให้กับประชาชน ขณะเดียวกันประชาชนก็เกิดความเชื่อมั่นในการปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ตำรวจ

คำสำคัญ: เจ้าหน้าที่ตำรวจ, เหตุฉุกเฉิน, การป้องกันตัว, การใช้กำลังเกินกว่าเหตุ

[1] คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] School of Law University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author : Ta_currahee@hotmail.com

Abstract

The purpose of this article is to study the guidelines and meaning of lawful protection of police officers and to study the problems of police officers regarding self-defense in emergencies, in critical situations that may cause danger to the body or life. The methodology is the research of documents and information obtained from interviews. The results of the study found that the law on self-defense that applies to the operations does not specifically provide for it. There is Section 68 of the Criminal Code, which is the same law that governs the self-defense of ordinary people. Moreover, the above principles can be interpreted widely thus its use must be based on uncertain court judgments. Even though the Criminal Procedure Code, Section 83, paragraph 3, or the regulations regarding arrest do not change the results. Therefore, it shows that the existing law does not facilitate the work of the police because it does not correspond to the reality of the situation. The results of international research studies and the opinions of human dynamics experts regarding the ability of police officers to perform in stressful emergencies appear to be different from the Thai legal perspective. As a result, when police officers use force in self-defense, they receive undue damage because from the law viewpoint is considered an act of excessive severity while the guidelines of foreign laws, such as the laws of Minnesota, United States, are more consistent and facilitate the work of police officers. So, if Thailand develops appropriate laws while simultaneously controlling the use of that power, it will make the use of force by police officers more efficient and verifiable. Police officers will have morale in performing their duties in maintaining peace and order for the people while the public will have confidence in the police officers' duties performance.

Keywords: police officers, emergency, self-defense, use of excessive force

บทนำ

เจ้าหน้าที่ตำรวจนั้นมีหน้าที่ในการรักษาความสงบเรียบร้อยและรักษาความปลอดภัยของคนสังคม ที่ต้องเผชิญกับภยันตรายหลากหลายรูปแบบ ซึ่งเป็นการกระทำเพื่อประโยชน์ของรัฐ แต่กฎหมายที่ให้สิทธิ์เจ้าหน้าที่ตำรวจในการป้องกันตัวนั้น ยังมิได้มีการบัญญัติไว้โดยเฉพาะ จึงต้องใช้หลักการป้องกันทั่วไปตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 68 ประกอบกับ หลักการใช้กำลังจับกุม ตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญามาตรา 83 ซึ่งยังไม่เหมาะสมเพียงพอต่อการปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ตำรวจ จึงทำให้เมื่อเจ้าหน้าที่ตำรวจทำการป้องกันตัวเองแต่ตนเองกลับได้รับผลร้าย หรือทำให้สังคมเกิดความเคลือบแคลงใจในตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจอีกด้วย

ดังตัวอย่าง เมื่อวันที่ 7 มิ.ย. 2558 ที่มีชายถือมีดบุกขึ้น สภ.ประตูน้ำจุฬาลงกรณ์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี และจะพุ่งเข้าทำร้ายเจ้าหน้าที่ตำรวจในโรงพัก จึงถูกยิงและเสียชีวิตในเวลาต่อมา เหตุการณ์ดังกล่าวเป็นที่วิพากษ์วิจารณ์ของคนในสังคมอย่างมาก ถึงการกระทำของเจ้าหน้าที่ตำรวจ สภ.ประตูน้ำจุฬาลงกรณ์ ที่ดูเหมือนเป็นการกระทำที่อาจรุนแรงเกินกว่าเหตุ (ไทยรัฐ, 2558)

เหตุการณ์ดังกล่าวได้เข้าสู่กระบวนการพิจารณาคดีของศาล โดยศาลชั้นต้นได้วินิจฉัยว่า การกระทำของเจ้าหน้าที่ตำรวจที่ยิงผู้ก่อเหตุนั้น เป็นระยะไม่ถึงกับประชิดตัว เพราะเจ้าหน้าที่ตำรวจย่อมมีความคล่องตัวในการใช้อาวุธประจำกายได้ดีกว่าบุคคลทั่วไป อีกทั้งความร้ายแรงของอาวุธปืนย่อมมีมากกว่าอาวุธมีดพอสมควร ตำรวจยัง

สามารถเลือกยิงจุดที่ไม่สำคัญได้ การยิงบริเวณหน้าอกอันเป็นจุดสำคัญเป็นการป้องกันเกินสมควรแก่เหตุ พิพากษาลงโทษจำคุก 4 ปี โดยไม่รอลงอาญา ส่วนศาลอุทธรณ์พิพากษาว่า การป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจเป็นภยันตรายที่ใกล้จะถึงและมีสิทธิที่จะป้องกันได้ แต่เห็นว่าผู้ตายมีรูปร่างเล็กกว่า ตำรวจควรหาสิ่งของที่สามารถหาได้ในบริเวณใกล้เคียง เช่น กระบองหรือสิ่งของอื่นเพื่อป้องกันตัวเองหรือผู้อื่นซึ่งจะทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้อาวุธปืน จึงเป็นการกระทำไปเกินสมควรแก่เหตุหรือเกินกว่ากรณีแห่งการจำต้องกระทำเพื่อป้องกัน คงจำคุก 2 ปี ไม่รอลงอาญา สุดท้ายศาลฎีกาได้มีคำพิพากษาว่า การที่ผู้ตายถือมีดด้วยมือซ้ายเดินอย่างเร่งรีบเข้าหาจำเลยจนเหลือระยะ 4 เมตร ผู้ตายจึงวิ่งตรงเข้าหาเจ้าหน้าที่ตำรวจฯ ได้ยิงปืนขู่ขึ้นฟ้า 2 นัด เตือนให้หยุด แต่ผู้ตายไม่หยุด กลับเดินถือมีดลักษณะจ้วงแทงเข้าหาเจ้าหน้าที่ตำรวจ เจ้าหน้าที่ตำรวจได้ถอยแล้ว จนอยู่ในระยะห่าง 1 เมตร ทำให้เจ้าหน้าที่ตำรวจตกอยู่ในที่คับขันไม่อาจหลีกเลี่ยงไปทางอื่นได้ เจ้าหน้าที่ตำรวจต้องใช้ปืนยิงไป 1 นัด ในภาวะฉุกละหุกเช่นนั้น เป็นการกระทำพอสมควรแก่เหตุ ถือเป็นการป้องกันโดยชอบด้วยกฎหมาย เจ้าหน้าที่ตำรวจไม่มีความผิดตามฟ้อง (ชนะชัย ลิ้มประเสริฐ, 2565, : 59-61) เห็นได้ว่า เจ้าหน้าที่ตำรวจจากกรณีคดีดังกล่าว กว่าจะพิสูจน์จนได้รับความเป็นธรรม ต้องใช้เวลาไปถึงศาลฎีกา หากประเทศไทยพัฒนากฎหมายสำหรับเจ้าหน้าที่ตำรวจโดยเฉพาะและมีความชัดเจน ในขณะที่มีการกำหนดให้ควบคุมดูแลการใช้อำนาจไปด้วย จะทำให้การใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจมีประสิทธิภาพและสามารถตรวจสอบได้ ส่งผลให้เจ้าหน้าที่ตำรวจเกิดขวัญและกำลังใจในการปฏิบัติหน้าที่ในการรักษาความสงบเรียบร้อยให้กับประชาชน

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาถึงการป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจในการระงับเหตุฉุกเฉิน เพื่อเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา อันทำให้การใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจมีความชัดเจนและเหมาะสมกับสถานการณ์ พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการคุ้มครองตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจจากการปฏิบัติหน้าที่ควบคู่ไปกับการควบคุมการใช้อำนาจนั้นด้วย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาข้อเท็จจริงและปัญหาของการป้องกันโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าหน้าที่ตำรวจเกี่ยวกับการใช้กำลังในการป้องกันตัวในการระงับเหตุฉุกเฉิน

2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบกฎหมายของประเทศไทยและของต่างประเทศเกี่ยวกับการป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจในการระงับเหตุฉุกเฉิน

3. เพื่อหามาตรการที่ทำให้เจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถใช้กำลังในการป้องกันตัวได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับสถานการณ์ของสังคมไทยปัจจุบันและลดความสูญเสียต่อสังคม

วิธีการศึกษา

ดำเนินการวิจัยโดยการค้นคว้าข้อมูลทางเอกสาร (Documentary Research) ผู้วิจัยจะทำการศึกษาถึงกฎหมาย ระเบียบ หลักการ แนวคิด ทฤษฎี คำพิพากษาอันเกี่ยวข้องกับการป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจในการระงับเหตุฉุกเฉิน เปรียบเทียบกับกฎหมายต่างประเทศ และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลประกอบกับข้อเท็จจริงจากงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวกับการใช้กำลังป้องกันของเจ้าหน้าที่ตำรวจ รวมถึงข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่และเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ (Field Research-Indepth Interview) เพื่อหาแนวทางและมาตราการในการป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจ

ผลการศึกษา

การให้สิทธิบุคคลในการทำการป้องกันตัวนั้นมาจากหลักที่ว่า รัฐไม่สามารถให้ความคุ้มครองบุคคลภายในรัฐได้อย่างทันท่วงทีในทุกกรณีที่เกิดขึ้น ทำให้รัฐจำเป็นต้องให้อำนาจแก่ประชาชนที่จะขจัดภัยอันกำลังจะเข้ามาถึงตนเองได้ (เกียรติขจร วัจนะสวัสดิ์, 2551 : 374) และหากการกระทำนั้นได้กระทำโดยชอบด้วยกฎหมายแล้ว ความผิดที่เกิดขึ้นจากการกระทำที่ชอบด้วยกฎหมายไม่ได้อยู่เอง และถือว่าการป้องกันนั้นเป็นการปฏิบัติหน้าที่ต่อสังคมอย่างหนึ่งโดยการต่อสู้ (จิตติ ติงศภัทิย์, 2546 : 712)

ประเด็นเรื่องการป้องกันโดยชอบด้วยกฎหมาย ได้บัญญัติไว้ในประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 68 ที่บัญญัติเรื่องการป้องกันตัวของบุคคล โดยการป้องกันจะชอบด้วยกฎหมายสามารถแบ่งหลักเกณฑ์ได้ ดังนี้ (เกียรติขจร วัจนะสวัสดิ์, 2551 : 374)

(1) มีภยันตรายที่เกิดจากการประทุษร้ายอันละเมิดต่อกฎหมาย

(2) ภยันตรายนั้นเป็นภยันตรายที่ใกล้จะถึง

(3) ผู้กระทำจำต้องกระทำไปเพื่อป้องกันสิทธิ ไม่ว่าจะเป็นสิทธิของตนเองหรือเป็นสิทธิของผู้อื่น เพื่อให้พ้นจากภยันตรายนั้น

(4) การกระทำป้องกันที่ทำไปนั้นไม่เกินขอบเขต

สิ่งสำคัญที่กฎหมายมุ่งให้ความคุ้มครองคือ “สิทธิ” ซึ่งตาม ประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 68 “สิทธิ” นั้นก็คือ คุณธรรมทางกฎหมาย ซึ่งตามกฎหมายไทยนั้น “การป้องกันโดยชอบด้วยกฎหมาย” (Notwehr) ไม่ได้จำกัดไว้ว่าเป็นสิทธิใดบ้างที่จะป้องกันได้ ฉะนั้นตามกฎหมายของไทย “คุณธรรมทางกฎหมายที่เป็นส่วนบุคคล” (Individual-rechtsgut) ทุกชนิดเป็น “คุณธรรมทางกฎหมาย” (Rechtsgut) ที่ป้องกันได้ทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นความอับอายทางเพศ เกียรติ ศักดิ์ศรีความเป็นมนุษย์ และอื่นๆ (คณิต ณ นคร, 2548 : 252)

เมื่อกล่าวถึงเจ้าหน้าที่ตำรวจที่มีหน้าที่คอยดูแลประชาชนให้อยู่อย่างสงบสุข โดยการป้องกันและปราบปรามจับกุมผู้การกระทำความผิดทางอาญาต่างๆ อีกทั้งยังต้องดูแลความมั่นคงของราชอาณาจักร ช่วยเหลือและพัฒนาประเทศนั้น แต่ในเรื่องการป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจนั้นยังต้องใช้หลักเรื่องการป้องกันตัวของบุคคลทั่วไป เนื่องจากประเทศไทยไม่ได้มีกฎหมายบัญญัติไว้โดยเฉพาะ สำหรับการใช้กำลังป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ถึงแม้จะมีกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 83 วรรค 3 ที่บัญญัติให้อำนาจแก่เจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถใช้วิธีการจับกุมหรือการป้องกันทั้งหลายกับบุคคลที่จะถูกจับ ที่ทำการขัดขวางหรือจะขัดขวางการเข้าจับกุมของเจ้าหน้าที่ตำรวจ หรือหลบหนีหรือพยายามจะหลบหนี โดยเจ้าหน้าที่ตำรวจต้องกระทำเท่าที่เหมาะสมแก่พฤติการณ์ โดยการใช้กำลังต้องใช้พอสมควรแก่เหตุ จึงจะชอบด้วยกฎหมาย เพราะหากกระทำเกินกว่าเหตุตามพฤติการณ์แล้ว ผู้ใช้กำลังนั้นก็จะต้องรับผิดทางอาญา (ณรงค์ ใจหาญ, 2546 : 198)

ในทางปฏิบัติบางครั้งการนำกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญามาตรา 83 วรรค 3 มาใช้ จะเป็นกรณีที่ผู้ถูกจับไม่ได้ใช้กำลังเพื่อก่อให้เกิดภยันตรายแก่ตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจ แต่ผู้ถูกจับเพียงแต่ต้องการใช้กำลังเพื่อให้หลุดพ้นจากการจับเท่านั้น การพิจารณาจึงเป็นการชั่งน้ำหนักกันระหว่างการกระทำที่จะขัดขืนหรือหลบหนีกับการกระทำที่ใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจเพื่อป้องกันการหลบหนีนั้น โดยเจ้าหน้าที่ผู้จับจะต้องไม่ใช้กำลังเกินสมควร เพราะหากใช้กำลังเกินไปจะเรียกว่ากระทำเกินกว่าเหตุหรือเกินไปกว่าที่กฎหมายอนุญาตให้ทำได้ และเจ้าหน้าที่นั้นอาจมีความผิด แต่หากการขัดขืนหรือขัดขวางของผู้ถูกจับนั้นส่อพฤติการณ์ที่จะทำให้เกิดภยันตรายแก่ตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจผู้จับกุมด้วยแล้วนั้น วิธีการตาม มาตรา 83 วรรค 3 ก็จะไปเชื่อมโยงกับหลักการป้องกันโดยชอบด้วยกฎหมายตามประมวลกฎหมายอาญา

มาตรา 68 ทันที ทำให้การพิจารณาจะต้องชั่งน้ำหนักระหว่างภยันตรายอันเกิดจากการขัดขืนหรือหลบหนี เทียบกับการใช้กำลังเพื่อป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ที่ต้องพิจารณาตามหลักการป้องกันตัวของบุคคลทั่วไป และหากการใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจเพื่อป้องกันตัวนั้นสมควรแก่เหตุแล้ว ก็ถือว่าการปฏิบัติเรื่องการจับกุมตามพฤติการณ์ก็มีความเหมาะสมด้วย (คำพิพากษาศาลฎีกา 238/2481, 775/2502, 1124/2480, 766/2486, 406/2523, ม.ป.ป.)

นอกจากนั้นแม้สำนักงานตำรวจแห่งชาติจะได้มีการบัญญัติระเบียบเกี่ยวกับคดี และวางหลักเกณฑ์ในเรื่องของการใช้กำลังในการจับกุมเอาไว้ เพื่อให้ผู้จับสามารถใช้วิธีหรือความป้องกันทั้งหลายเท่าที่เหมาะสมแก่พฤติการณ์ในการจับกุมผู้นั้น โดยยกตัวอย่างเอาไว้อย่างชัดเจน เช่น ผู้ร้ายมีปืนอยู่ในมือ ตำรวจบอกให้วางไม่ยอมวาง แสดงกิริยายกขึ้นยิง หรือทำท่าจะใช้อาวุธปืนต่อสู้ ตำรวจก็สามารถใช้อาวุธปืนยิงผู้นั้นก่อนได้ และหากผู้นั้นบาดเจ็บหรือตายก็ไม่เป็นการเกินไปกว่าเหตุ เพราะอาวุธปืนร้ายแรงจะปล่อยให้ผู้ร้ายยิงก่อน ตำรวจอาจบาดเจ็บสาหัสหรือตายได้ และในบางครั้งศักดิ์ของอาวุธที่ใช้ตอบโต้ของตำรวจกับของผู้ร้าย สามารถมีความแตกต่างผิดกันบ้างเล็กน้อย โดยตำรวจสามารถใช้อาวุธเกินไปได้บ้างในเวลาจำเป็น เช่น หากผู้ร้ายมีมีดดาบตรงเข้ามาจะฟันตำรวจ ทั้งที่ตำรวจก็จนมุมอยู่ไม่สามารถแก้ด้วยวิธีอื่นได้ และมีแต่อาวุธปืนอยู่ในมือจึงจำเป็นต้องยิงไป แม้การยิงนั้นจะทำให้ผู้ร้ายตาย ก็อาจไม่เป็นการเกินกว่าเหตุ (ประมวลระเบียบตำรวจ ภาค 1 ระเบียบตำรวจเกี่ยวกับคดี ข้อที่ 35)

แต่เนื่องจากระเบียบตำรวจเกี่ยวกับคดีดังกล่าวไม่มีสภาพบังคับ เพราะศาลไม่ได้นำระเบียบตำรวจเกี่ยวกับคดีมาเป็นหลักในการวินิจฉัยเรื่องการป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจ แต่ใช้เพียงกฎหมายเรื่องการป้องกันตัวตามประมวลกฎหมายอาญามาตรา 68 ประกอบประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 83 วรรค 3 ที่ยังไม่มีความแน่นอน ทำให้การบังคับใช้กฎหมายขาดหลักการในการใช้กำลังที่เหมาะสมและส่งผลให้เจ้าหน้าที่ตำรวจขาดความเฉียบขาดในการตัดสินใจในสถานการณ์อันตราย (คณิศร หลางหวอด และ จันทราทิพย์ สุขุม, ม.ป.ป.)

จากกฎหมายและระเบียบข้างต้น มีผู้ที่ศึกษาค้นคว้าในเรื่องนี้หลายท่านให้ความเห็นว่า เจ้าหน้าที่ตำรวจมีอำนาจความรับผิดชอบและความคาดหวังในมุมมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ต้องบังคับใช้กฎหมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้อาวุธปืนที่ต้องป้องกันตนเองและผู้อื่นจากภยันตรายอันละเมิดต่อกฎหมาย จึงอยู่ในสถานะที่เหนือกว่าประชาชนทั่วไป ดังนั้นหลักเกณฑ์ในการป้องกันจึงควรอยู่ในระดับที่สูงกว่าประชาชนทั่วไปที่บัญญัติไว้ในประมวลกฎหมายอาญามาตรา 68 (อิศเรศร์ ปรางทอง, 2557 : 75) และในกรณีการกำหนดหลักเกณฑ์การวิสามัญฆาตกรรมน่าจะต้องแยกออกจากหลักการป้องกัน ตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 68 เพราะการใช้กำลังของเจ้าพนักงานของรัฐไม่ว่าจะเป็นตำรวจหรือ ผู้บังคับใช้กฎหมายอื่นใด มีความแตกต่างจากการใช้กำลังป้องกันของปัจเจกชนทั่วไปตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 68 เพราะปัจเจกชนทั่วไปนั้นใช้หลักการป้องกัน “คุณธรรมทางกฎหมายที่เป็นส่วนบุคคล” เท่านั้น แต่ของเจ้าพนักงานของรัฐที่ต้องทำการจับกุมนั้น ถือเป็นอำนาจรัฐที่ให้ไว้ ตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญามาตรา 83 วรรค 3 (ปวริศร์ กิจสุขจิต, 2564 : 54-55) เป็นกระทำการในนามของรัฐตามกฎหมาย ที่เกิดจากข้อตกลงของคนในสังคมที่อยู่ร่วมกันอันเป็นสัญญาประชาคม โดยคนในสังคมได้ยอมให้มีการปกครองที่ชอบธรรมเพื่อรักษาความเป็นธรรมและสันติสุขให้เกิดขึ้นแก่มนุษย์และสังคม (วรากรณ์ พูลสวัสดิ์, 2559 : 1531)

เหตุฉุกเฉิน (emergency) คือ สถานการณ์ที่คนร้ายใช้อาวุธทำอันตรายเจ้าหน้าที่ตำรวจหรือบุคคลอื่น เกิดความเสี่ยงต่อการได้รับอันตรายแก่ร่างกายหรือเสียชีวิต และไม่หยุดการกระทำหลังจากถูกแจ้งเตือน หรือคนร้ายกระทำโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจมิได้มีการตั้งตัว จึงเป็นสถานการณ์คับขันที่เจ้าหน้าที่ตำรวจไม่มีเวลาในการคิดไตร่ตรอง เพราะภยันตรายได้เข้ามาหาตัวอย่างรวดเร็ว การประเมินและตอบสนองจึงต้องทำด้วยสัญชาติญาณตามการรับรู้เพื่อ

เอาชีวิตรอด เช่น เจ้าหน้าที่ตำรวจเข้าไประงับเหตุและกำลังเจรจาเกลี้ยกล่อมผู้ร้ายที่มีอาวุธปืน ทันใดนั้นคนร้ายกลับทำท่าชักปืนจะยิง เจ้าหน้าที่ตำรวจจึงต้องตัดสินใจใช้กำลังเพื่อป้องกันตนเองในทันที เป็นต้น

ประเด็นเรื่อง ป้องกัน ตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 68 ที่สามารถตีความได้โดยกว้าง

หมายถึง กฎหมายไม่สามารถระบุถึงขอบเขตของการใช้กำลังได้อย่างแน่นอนหรือมีความชัดเจนเพียงพอ กล่าวคือ กฎหมายของไทยจะมีการบัญญัติตัวบทกฎหมายไว้เป็นหลักกว้างๆ สามารถใช้ได้กับทุกสถานการณ์ แต่เมื่อนำมาใช้ กลับต้องวิเคราะห์หลายขั้นตอน และมีเงื่อนไขที่ซับซ้อน ยากที่จะหาขอบเขตที่แน่นอนได้ เนื่องจากกฎหมายวางหลักไว้กว้างเกินไป กล่าวคือ หลักการไม่สามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่พอสังเขปได้ เช่น แม้มีเหตุที่บุคคลกำลังทำร้ายให้เป็นอันตรายถึงชีวิตแล้ว ก็มิอาจยืนยันได้ว่า การตอบโต้ของผู้ใช้สิทธิป้องกันจะสามารถใช้กำลังที่มีความรุนแรงถึงชีวิตได้ สิ่งที่กฎหมายไทยวางหลักไว้มีเพียงว่า ต้องกระทำพอสมควรแก่เหตุ แล้วการกระทำเช่นไรถึงจะสมควรแก่เหตุ ไม่อาจอนุมานได้เลย ทำให้การป้องกันแบบใดในสถานการณ์ใดจะมีความเหมาะสมนั้น ไม่อาจหาบทกฎหมายใดมาวัดได้ ทำให้ทางปฏิบัติต้องใช้คำพิพากษาของศาลเป็นหลักในการอ้างอิงเพียงอย่างเดียว ซึ่งคำพิพากษาศาลก็ไม่สามารถนำเป็นหลักในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ตำรวจได้ในบางครั้ง เพราะไม่ใช่หลักที่เขียนไว้ตายตัว แต่ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้วินิจฉัยที่จะมองต่อข้อเท็จจริงในแต่ละพฤติการณ์ แม้จะมีแนวคำพิพากษาที่ทำให้ผลคำพิพากษามีธงคำตอบเช่นเดียวกัน ก็มิอาจยืนยันได้ว่า ข้อเท็จจริงตามคำพิพากษานั้นจะมีลักษณะและองค์ประกอบเช่นเดียวกันทุกประการ แต่ละคดีย่อมมีเหตุปัจจัยหลายประการมาเกี่ยวข้องที่ทำให้ผลคำพิพากษาเปลี่ยนแปลงไป จึงไม่อาจยืนยันได้ว่า หากกระทำตามข้อเท็จจริงตามคำพิพากษาแล้ว จะได้รับผลเช่นเดียวกัน อีกทั้งกระบวนการในการพิจารณาคดีย่อมมีหลายขั้นตอน กว่าจะมาถึงชั้นศาลฎีกาก็ต้องผ่านดุลยพินิจของผู้ใช้กฎหมายหลายขั้นตอนและใช้ระยะเวลานาน เป็นผลให้ผู้ใช้สิทธิป้องกัน ต้องได้รับผมกระทบด้านลบเกินควร

ประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งใช้ระบบกฎหมายคอมมอนลอว์ มีการบัญญัติกฎหมายที่มีความชัดเจนไว้มากกว่าโดยกฎหมาย Model Penal Code ที่ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นแม่แบบในการร่างกฎหมายอาญา เพื่อให้แต่ละมลรัฐนำไปพิจารณา แล้วนำมาประกอบการร่างกฎหมายอาญาของตนเอง (วรวุฒิ รักษาวงศ์, 2556 : 46) ซึ่งกฎหมาย มีการแบ่งประเภทการใช้กำลังเพื่อป้องกันโดยชอบด้วยกฎหมายออกเป็นเรื่องๆ ได้แก่ การป้องกันตัว (Self Defense), การป้องกันผู้อื่น (Defense of Others) และการป้องกันทรัพย์สิน (Defense of Property) โดยมีเงื่อนไขและสาระสำคัญที่แตกต่างกันออกไป (ฤทธิรงค์ สมอุดร, 2536 : 10)

ในเรื่องของการป้องกันตัว (Self Defense) กฎหมายได้มีการวางหลักไว้ว่า สามารถทำได้หากผู้กระทำเชื่อว่ามีความจำเป็นในทันทีทันใด เพื่อป้องกันตนเองจากการใช้กำลังอันละเมิดต่อกฎหมายของผู้อื่นในช่วงโอกาสเดียวกัน แต่การใช้กำลังกรณีดังกล่าวก็มีข้อจำกัดของการใช้กำลัง และจะไม่สามารถทำได้ในกรณีที่การใช้กำลังจะกระทำไปเพื่อขัดขืนการจับกุมของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ทั้งที่ผู้กระทำรู้ว่าเกิดขึ้นจากการจับกุมไม่ชอบด้วยกฎหมาย (วรวุฒิ รักษาวงศ์, 2566 : 47) ในส่วนการใช้กำลังถึงตาย (Deadly Force) จะมีการจำกัดขอบเขตเอาไว้เฉพาะ โดยยกตัวอย่างของประเภทภยันตรายที่รุนแรง ที่จะทำให้ผู้ใช้สิทธิป้องกันสามารถใช้กำลังถึงตาย ตอบโต้โดยไม่เป็นความผิดตามกฎหมาย ได้แก่ การใช้กำลังเพื่อป้องกันตัวเองจากอันตรายถึงชีวิต หรือทำการป้องกันตนเองจากการบาดเจ็บสาหัส หรือการลักพาตัว หรือการข่มขืนกระทำชำเราโดยใช้กำลังบังคับหรือขู่เข็ญ (ฤทธิรงค์ สมอุดร, 2536 : 10) เป็นต้น

แม้กฎหมายจะได้อนุญาตให้สามารถใช้กำลังถึงตาย (Deadly Force) ตอบโต้ต่อภยันตรายตามข้างต้น แต่ก็มีข้อยกเว้นเอาไว้ที่ไม่สามารถทำได้ หากผู้จะใช้กำลังนั้นได้กระทำการยั่วให้มีการใช้กำลังแก่ตนเอง เพื่อที่ตนเองจะได้ทำการตอบโต้ผู้ถูกยั่วยุ หรือผู้ที่จะใช้กำลังนั้นรู้ว่าตัวเองสามารถหลีกเลี่ยงได้จากการใช้กำลังดังกล่าว และทำให้ตนเองปลอดภัยอย่างแท้จริง โดยอาจล่าถอยหรือสละการครอบครองสิ่งของบางอย่างที่ถูกโต้แย้งกรรมสิทธิ์ (วรวุฒิ รักษาวงศ์, 2556 : 46)

ในส่วนการปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้ความสำคัญและมีการบัญญัติกฎหมายเอาไว้เฉพาะสำหรับการปฏิบัติงาน โดยกฎหมาย (Model Penal Code) ได้มีการบัญญัติหลักการใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจเอาไว้ โดยแบ่งการใช้กำลังไว้ 2 ระดับ (ณัฐวรรณ สิตวรเวศย์, 2561 : 51-52) คือ

(1) ระดับการใช้กำลังจับกุมทั่วไป ได้อธิบายว่าในการจับโดยใช้กำลังต่อบุคคลจะชอบด้วยกฎหมาย ต่อเมื่อเป็นการจับหรือช่วยเหลือการจับ ที่ผู้กระทำเชื่อว่ามีความจำเป็นเร่งด่วนในการใช้กำลังเพื่อจับกุมตามกฎหมาย โดยการจับกุมจะมีข้อจำกัดในการใช้กำลังกำหนดไว้ เพื่อให้เจ้าหน้าที่ต้องปฏิบัติตามสิ่งที่กฎหมายกำหนดด้วย คือ ผู้จับต้องแจ้งให้บุคคลนั้นทราบถึงวัตถุประสงค์ของการจับกุม หรือต้องเชื่อว่าผู้ถูกจับทราบวัตถุประสงค์ของการจับ หรือผู้จับไม่สามารถแจ้งผู้ถูกจับทราบได้โดยมีเหตุอันสมควร หรือเมื่อการจับ มีหมายจับตามกฎหมาย หรือเชื่อว่าถูกต้องตามกฎหมาย

(2) ระดับการใช้กำลังถึงตาย (Deadly Force) เจ้าหน้าที่บังคับใช้กฎหมายสามารถใช้กำลังขั้นรุนแรงถึงตายได้ แต่ต้องเป็นกรณี 1) จับผู้ร้ายความผิดร้ายแรง และ 2) เป็นการกระทำโดยเจ้าพนักงานที่มีอำนาจบังคับใช้กฎหมายหรือผู้ที่เข้าช่วยโดยเชื่อว่าเป็นเจ้าพนักงานที่มีอำนาจตามกฎหมาย และ 3) กระทำโดยเชื่อว่าไม่ได้ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริสุทธิ์ และ 4) ผู้กระทำเชื่อว่า ผู้จะถูกจับได้กระทำความผิดเกี่ยวกับการใช้กำลังหรือขู่เข็ญว่าจะใช้กำลังขั้นรุนแรงจนถึงแก่ความตาย หรือมีความเสี่ยงที่ผู้ถูกจับจะก่อให้เกิดความตายหรือความอันตรายสาหัสต่อผู้อื่นหากไม่ถูกจับในทันที หรือเป็นการใช้กำลังเพื่อให้การจับกุมตามกฎหมายบรรลุโดยใช้กำลังเพื่อป้องกันการหลบหนีการจับกุมโดยชอบด้วยกฎหมาย

ในระดับมลรัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา ก็ได้มีการบัญญัติกฎหมายเรื่องการป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจไว้โดยเฉพาะเช่นเดียวกัน เช่น มลรัฐมินนิโซต้า (Minnesota) ที่กำหนดให้เจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถใช้กำลังตามสมควรและอาจใช้ได้โดยปราศจากความยินยอมของอีกฝ่าย เมื่อปรากฏสถานการณ์หรือผู้ใช้กำลังเชื่อว่า เกิดเหตุที่จะใช้กำลังได้ในสถานการณ์นั้น โดยการใช้กำลังต้องกระทำโดยเจ้าพนักงานหรือบุคคลซึ่งช่วยเหลือเจ้าพนักงานภายใต้คำสั่งของเจ้าพนักงาน เพื่อให้การจับกุมเป็นไปตามกฎหมาย หรือเพื่อให้ขั้นตอนตามกฎหมายสำเร็จลุล่วง หรือเพื่อดำเนินการให้เป็นไปตามคำสั่งศาล ในส่วนของเจ้าหน้าที่ตำรวจนี้กฎหมายจะมีข้อจำกัดน้อยกว่าการป้องกันของประชาชนที่เป็นการป้องกันกรณีทั่วไป เนื่องจากเจ้าหน้าที่ตำรวจกระทำเพื่อประโยชน์ในการป้องกันและปราบปรามอาชญากรรม ทำให้เจ้าพนักงานสามารถใช้กำลังในการปฏิบัติหน้าที่ได้ตามความเชื่อของตนในขณะนั้น ว่าจะต้องป้องกันตนเองหรือผู้อื่นจากภยันตราย หรือเพื่อจับกุมผู้ร้าย (จุฬาลักษณ์ รัตนะจินดาวงศ์, 2556 : 130)

ในส่วนของการใช้กำลังถึงตาย (Deadly Force) โดยเจ้าหน้าที่ตำรวจนั้น กฎหมายได้มีการบัญญัติเอาไว้โดยเฉพาะ และให้ความหมายของการใช้กำลังถึงตาย (Deadly Force) ไว้เฉพาะสำหรับเจ้าหน้าที่ตำรวจ ซึ่งหมายถึงกำลังที่ผู้กระทำใช้ให้เกิดผล หรือสิ่งที่ผู้กระทำควรรู้ตามสมควรว่าทำให้เกิดความเสี่ยงอย่างมากที่จะก่อให้เกิดการเสียชีวิต หรือการบาดเจ็บสาหัสต่อร่างกาย การเจตนายิงปืนและการใช้อาวุธอย่างอื่นนอกเหนือจากอาวุธปืนที่บรรจุกระสุนที่มีอันตรายถึงชีวิตน้อยกว่า ซึ่งใช้โดยเจ้าหน้าที่ตำรวจภายในขอบเขตหน้าที่ราชการ โดยกระทำไปที่บุคคลหรือ

ยานพาหนะที่เชื่อว่าเป็นบุคคลนั้นอยู่ สิ่งเหล่านี้ถือเป็นการใช้กำลังถึงตาย (Deadly Force) นอกจากนั้นกฎหมายยังได้บัญญัติเจตนารมณ์ของการใช้กำลังถึงตายเอาไว้ โดยได้อธิบายเกี่ยวกับความรับผิดชอบของเจ้าหน้าพนักงานตำรวจอันเป็น**สิ่งสำคัญของการใช้อำนาจที่จะใช้กำลังถึงตาย จะต้องใช้อย่างรอบคอบและเคารพต่อสิทธิมนุษยชน** และการใช้กำลังถึงตายต้อง**ใช้เฉพาะเมื่อจำเป็นเพื่อป้องกันชีวิตมนุษย์หรือเพื่อป้องกันอันตรายร้ายแรงต่อร่างกาย** ซึ่งการพิจารณาว่าจำเป็นต้องใช้กำลังถึงตายหรือไม่ เจ้าหน้าที่ตำรวจจะต้องประเมินแต่ละสถานการณ์โดยคำนึงถึงพฤติการณ์เฉพาะของแต่ละกรณี และการประเมินต้องประเมินจากมุมมองของเจ้าหน้าที่ตำรวจที่มีเหตุผลในสถานการณ์เดียวกัน ขึ้นอยู่กับผลรวมของพฤติการณ์ที่เจ้าหน้าที่ตำรวจทราบหรือรับรู้ในขณะนั้นมากกว่าประโยชน์ของการมองย้อนกลับไป และเหตุการณ์ทั้งหมดจะต้องคำนึงถึงโอกาสที่เจ้าหน้าที่ตำรวจอาจถูกบังคับให้ตัดสินอย่างรวดเร็วเกี่ยวกับการใช้กำลังถึงตาย (Minnesota Statutes (USA) Section 609.066)

เนื่องจากประเทศสหรัฐอเมริกาใช้ระบบกฎหมายคอมมอนลอว์ จึงต้องยึด**คำพิพากษาของศาล**เป็นหลักในการพิจารณาคดี ซึ่งคำพิพากษาของศาลฎีกาของสหรัฐอเมริกา สองคดี ได้แก่ คดีระหว่างเทนเนสซีกับการ์เนอร์ (Tennessee v. Garner) และ คดีระหว่างแกรแฮมกับคอนเนอร์ (Graham v. Connor) ที่เป็นหลักกำหนดมาตรฐานรัฐธรรมนูญสำหรับการใช้กำลังของตำรวจ โดยคดีระหว่างเทนเนสซีกับการ์เนอร์ (Tennessee v. Garner) เป็น**มาตรฐานที่ใช้ควบคุมการใช้กำลังถึงตาย (Deadly Force)** กล่าวคือ ศาลฎีกาได้มีคำพิพากษาว่าเจ้าหน้าที่ตำรวจจะสามารถใช้กำลังถึงตายกับผู้ต้องถูกจับได้ก็ต่อเมื่อ มีความจำเป็นเพื่อป้องกันการหลบหนีและเจ้าหน้าที่มีเหตุอันน่าจะเชื่อได้ว่าผู้ต้องสงสัยอาจคุกคามต่อการเสียชีวิตหรือการบาดเจ็บทางร่างกายอย่างรุนแรงต่อเจ้าหน้าที่หรือผู้อื่น ในส่วนคดีระหว่างแกรแฮมกับคอนเนอร์ (Graham v. Connor) ได้กำหนดมาตรฐานความสมเหตุสมผลตามวัตถุประสงค์ในการพิจารณาว่าเจ้าหน้าที่ใช้กำลังมากเกินไปในระหว่างการจับกุมหรือการหยุดการสอบสวน โดยศาลฎีกาได้วางหลักการใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจโดยกล่าวถึง **หลักความเหมาะสม (Reasonableness Standard)** เกี่ยวกับข้อเท็จจริงของการใช้กำลังในสถานการณ์ ว่าจะต้องพิจารณาจากความรับรู้หรือความเข้าใจของเจ้าหน้าที่ตำรวจอันมีเหตุผลต่อสถานการณ์ในตอนนั้น ว่าจะใช้ดุลพินิจตอบโต้เช่นเดียวกันหรือไม่ มากกว่าการตัดสินใจที่ย้อนกลับมาคิดเมื่อสถานการณ์ได้ผ่านพ้นไปแล้วว่าควรทำเช่นนั้น โดยให้หลักเกณฑ์การใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจต้องคำนึงถึง 3 ปัจจัยดังนี้ คือ : (ณัฐวรรณ สิตวรเวศย์, 2561 : 81–82)

(1) ตัวของผู้ถูกจับมีพฤติกรรมจะต่อสู้หรือพยายามหลบหนีหรือไม่ เพราะหากให้ความร่วมมือ ก็ไม่มีเหตุผลในการใช้กำลังอีกต่อไป และหากพฤติการณ์เหล่านั้นได้สิ้นสุดลงแล้ว ก็ไม่มีเหตุผลในการใช้กำลังจับอีก

(2) ต้องพิจารณาถึงลักษณะของความผิดว่ามีความร้ายแรงเพียงใด หากเป็นความผิดร้ายแรง เช่น ฆ่าคนตาย ข่มขืนกระทำชำเรา ปล้นทรัพย์ เจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถใช้กำลังถึงขั้นรุนแรงถึงตายได้ แต่หากลักษณะความผิดเป็นความผิดที่ไม่มีความรุนแรงเข้ามาเกี่ยวข้อง เจ้าหน้าที่ตำรวจจะการใช้ความรุนแรงถึงตายก็ไม่เหมาะสม

(3) ความปลอดภัยของตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจและตัวผู้จะถูกจับเอง ถึงแม้เจ้าหน้าที่ตำรวจจะมีหน้าที่ปราบปรามผู้กระทำความผิด แต่ก็ไม่จำเป็นต้องให้เจ้าหน้าที่ตำรวจเสี่ยงชีวิตของตัวเองเพื่อกระทำหน้าที่นั้น ตำรวจสามารถอ้างสิทธิป้องกันได้เช่นบุคคลทั่วไป รวมถึงการป้องกันบุคคลอื่นและผู้กระทำผิดด้วย

ประเด็นเรื่องของดุลพินิจความเหมาะสมในการใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจ

ประเทศสหรัฐอเมริกาจะไม่ได้ใช้ดุลยพินิจของบุคคลมาตัดสินว่าการกระทำของเจ้าหน้าที่ตำรวจที่ใช้กำลังไปนั้นเหมาะสมหรือไม่ แต่หลักความเหมาะสมของการใช้กำลังในแต่ละสถานการณ์ ต้องพิจารณาจากความรับรู้หรือความเข้าใจของเจ้าหน้าที่ตำรวจอันมีเหตุผลต่อสถานการณ์ในตอนนั้น ว่าจะใช้ดุลพินิจตอบโต้เช่นเดียวกันหรือไม่

กฎหมายของประเทศสหรัฐอเมริกา ในมลรัฐมินนิโซตา (Minnesota) ให้ความสำคัญกับการใช้ดุลพินิจและความเป็นจริงของสถานการณ์ที่เจ้าหน้าที่ตำรวจต้องเผชิญ กล่าวคือ การใช้กำลังถึงตาย (Deadly Force) โดยเจ้าหน้าที่ตำรวจนั้น กฎหมายวางหลักว่า การพิจารณาว่าจะต้องใช้กำลังถึงตายหรือไม่ เจ้าหน้าที่ตำรวจจะต้องประเมินแต่ละสถานการณ์โดยคำนึงถึงพฤติการณ์เฉพาะของแต่ละกรณี และต้องประเมินจากมุมมองของเจ้าหน้าที่ตำรวจที่มีเหตุผลในสถานการณ์เดียวกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับผลรวมของพฤติการณ์ที่เจ้าพนักงานทราบหรือรับรู้ในขณะนั้นมากกว่าประโยชน์ของการมองย้อนกลับไป โดยเหตุการณ์ทั้งหมดจะต้องคำนึงถึงโอกาสที่เจ้าพนักงานอาจถูกบังคับให้ตัดสินอย่างรวดเร็วเกี่ยวกับการใช้กำลังถึงตาย

จากเจตนารมณ์ของกฎหมายประเทศสหรัฐอเมริกาในมลรัฐมินนิโซตา (Minnesota) ทำให้เห็นได้ว่ากฎหมายมุ่งบัญญัติให้มีความสอดคล้องกับภาระกิจของเจ้าหน้าที่ตำรวจ เนื่องจากเจ้าหน้าที่ตำรวจต้องเผชิญกับเหตุการณ์ร้ายแรงที่มีลักษณะเฉพาะของสถานการณ์ที่ไม่อาจคาดเดา ควบคุมไม่ได้ แปลกใหม่ และมักเกี่ยวข้องกับความกดดันด้านเวลา ภายใต้สถานการณ์เหล่านี้ เจ้าหน้าที่ตำรวจจำเป็นต้องตัดสินใจเกี่ยวกับความตายเป็นครั้งคราว บ่อยครั้งใช้เวลาเพียงเสี้ยววินาที เพื่อรักษาและปกป้องชีวิตประชาชนและชีวิตของตนเอง เพราะเมื่อเผชิญเหตุและพบกับภัยคุกคาม เจ้าหน้าที่ตำรวจจะเกิดความตื่นตัวจากความเครียดที่ถูกกระตุ้นจากปฏิกิริยาของภัยคุกคาม ส่งผลให้การรับรู้ความเข้าใจ และการเคลื่อนไหวลดลง และทำให้ประสิทธิภาพตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจและความแม่นยำของการทำงานลดลง ส่งผลทำให้เกิดข้อผิดพลาดของงานเพิ่มขึ้น สิ่งเหล่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพของตำรวจในด้านต่างๆ ลดลง เช่น ความแม่นยำในการยิง คุณภาพของการใช้ทักษะ รวมถึงสัดส่วนของแรงที่ใช้ และพบว่าเจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่จะต้องประสบกับการเปลี่ยนแปลงทางร่างกาย เช่น การรับรู้แคบลง การได้ยินเสียงลดลง และเกิดการมองเห็นแบบอุโมงค์ และเมื่ออยู่ในสถานการณ์แบบนี้เจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่จะเกิดการตอบสนองทางร่างกายแบบอัตโนมัติ (Simon Baldwi. et al, 2022) ดังนั้น กฎหมายจึงควรมีลักษณะเฉพาะสำหรับการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ตำรวจ มีหลักเกณฑ์ที่ชัดเจนสามารถนำมาใช้ในการปฏิบัติงานได้อย่างทันท่วงที เพื่อให้สอดคล้องกับขีดจำกัดด้านเวลาในสถานการณ์ที่เจ้าหน้าที่ต้องถูกกดดัน

ตารางเปรียบเทียบกฎหมายเรื่องการป้องกันตัวระหว่างประเทศไทยกับประเทศสหรัฐอเมริกา

ประเทศ	การแบ่งประเภทเรื่องการป้องกัน	การแบ่งระดับการใช้กำลังป้องกันตัว	การป้องกันตัวของตำรวจกับประชาชน	การใช้ดุลพินิจเรื่องความเหมาะสมของการใช้กำลัง
ประเทศไทย	ไม่มีการแบ่งประเภทเรื่องการป้องกัน	ไม่มีการแบ่งระดับการใช้กำลัง เพียงแต่ระบุว่าต้องกระทำพอสมควรแก่เหตุ	ใช้กฎหมายเดียวกัน คือ ป.อาญา มาตรา 68	พิจารณาจากดุลพินิจของบุคคลทั่วไป
ประเทศสหรัฐอเมริกา	มีการแบ่งประเภทของการป้องกันออกเป็นเรื่องๆ ได้แก่ การป้องกันตัว, การป้องกันผู้อื่น และการป้องกันทรัพย์สิน	มีการแบ่งระดับการใช้กำลังเป็น 2 ระดับ คือ ระดับการใช้กำลังไม่ถึงตาย และระดับการใช้กำลังถึงตาย	มีการบัญญัติกฎหมายไว้โดยเฉพาะสำหรับตำรวจ เพื่อให้สอดคล้องกับภารกิจและหน้าที่	พิจารณาจากความรับรู้หรือความเข้าใจของตำรวจอันมีเหตุผลต่อสถานการณ์ในตอนนั้น ว่าจะใช้ดุลพินิจตอบโต้เช่นเดียวกันหรือไม่

ที่มาตาราง : ผู้วิจัย

ประเด็นเรื่องความสามารถของเจ้าหน้าที่ตำรวจเรื่องการเลือกยิงจุดไม่สำคัญของร่างกาย บางครั้งผู้บังคับใช้กฎหมายยังมองว่า เจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถใช้อาวุธปืนยิงจุดที่ไม่สำคัญในร่างกายในสถานการณ์ฉุกเฉินได้ (ชัยชนะ ลิ้มประเสริฐ, 2565 : 59) แม้ผู้ต้องสงสัยใช้อาวุธปืนต่อสู้เจ้าหน้าที่ตำรวจก็ยังสามารถเลือกยิงจุดที่ไม่สำคัญได้ (คำพิพากษาศาลฎีกาที่ 406/2523, ม.ป.ป.) ซึ่งมุมมองนั้นไม่สอดคล้องกับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ดร.ลูวินสกี้ ผู้เป็นนักวิทยาศาสตร์ด้านพฤติกรรมชั้นนำ ที่ทำงานโดยเน้นไปที่การศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับพลวัตของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับความเครียดสูงและการเผชิญหน้าที่เป็นอันตรายถึงชีวิต (Force Science, n.d.) ได้มีความเห็นว่า ในความเป็นจริงความคิดนี้เป็นผลมาจากการฝึกของฮอลลีวูด ซึ่งตำรวจในภาพยนตร์และโทรทัศน์สามารถทำทุกอย่างเพื่อควบคุมผลลัพธ์ของเหตุการณ์ตามความต้องการของผู้กำกับหนัง มันสะท้อนให้เห็นถึงความเข้าใจผิดเกี่ยวกับพลวัตในชีวิตจริงและจบลงด้วยการคาดหวังทักษะที่ไม่สมจริงกับเจ้าหน้าที่ตำรวจในชีวิตจริง จากการศึกษาโดยศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์กองทัพประเทศสหรัฐอเมริกา เผยให้เห็นปัญหาเชิงปฏิบัติบางประการเกี่ยวกับการเลือกยิงจุดไม่สำคัญบนร่างกายเหล่านี้ โดยผู้เชี่ยวชาญอธิบายถึงพื้นฐานบางประการเกี่ยวกับพลวัตและกายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์ รวมถึงความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกันของการพลาดและการถูกยิง โดยอธิบายว่ามือและแขนอาจเป็นส่วนของร่างกายที่เคลื่อนไหวเร็วที่สุด ตัวอย่างเช่น ผู้ต้องสงสัยโดยเฉลี่ยสามารถขยับมือและแขนไปทั่วร่างกายเป็นมุม 90 องศาในเวลา 12/100 วินาที เขาสามารถขยับมือจากความสูงระดับสะโพกถึงระดับไหล่ได้ในเวลา 18/100 วินาที เจ้าหน้าที่ทั่วไปเหนี่ยวไกปืนให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้บนปืนกล็อค หนึ่งในระบบยิงแบบกึ่งอัตโนมัติที่เดินไกเร็วที่สุด ต้องใช้เวลา 1/4 วินาที ในการยิงแต่ละนัด ไม่มีทางที่เจ้าหน้าที่จะโต้ตอบได้ หรือยิงตามการเคลื่อนไหวและยิงโจมตีแขนของผู้ต้องสงสัยที่กำลังคุกคาม หรือยิงอาวุธที่อยู่ในมือของผู้ต้องสงสัยในช่วงเวลาที่กำลังโจมตีได้ แม้ว่าผู้ต้องสงสัยจะถืออาวุธให้นิ่งเป็นเวลาครึ่งวินาที หรือมากกว่านั้น การยิงที่แม่นยำเช่นนั้นก็ไม่น่าจะเป็นไปได้เลย เพราะตำรวจต้องยิงไปที่ผู้ต้องสงสัยขณะที่อาวุธของเขาแทบจะไม่หยุดนิ่ง นอกจากนี้เจ้าหน้าที่เองก็อาจจะเคลื่อนไหวขณะยิงด้วย แม้ว่าแขนท่อนบนเคลื่อนไหวช้ากว่าแขนท่อนล่างและมือ แต่การยิงที่ต้นแขนมีโอกาสมากขึ้นที่คุณจะยิงโดนหลอดเลือดแดงที่แขนของผู้ต้องสงสัย หรือมวลศูนย์กลางลำตัว พื้นที่ที่มีโอกาสเสียชีวิตสูง ดังนั้นพื้นที่ที่บางคนมองว่าปลอดภัยจากความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต ก็อาจมีความเสี่ยงในระดับเดียวกับการเล็งเป้าหมายมวลศูนย์กลางร่างกาย อีกกรณีหนึ่งหากจะยิงที่ขาที่เคลื่อนไหวช้ากว่าแขนในตอนแรกและมีความนิ่งมากกว่า แต่บริเวณลำตัวส่วนล่างและต้นขาส่วนบนนั้นเต็มไปด้วยเส้นเลือด ผู้ต้องสงสัยที่ถูกโจมตีที่นั่น อาจเลือดออกได้ภายในไม่กี่วินาทีหากหลอดเลือดแดงหลักเส้นใดเส้นหนึ่งถูกตัดขาด ดังนั้น การยิงซ้ำอีกครั้งเพื่อให้เพียงได้รับบาดเจ็บอาจไม่ทำให้เกิดบาดแผลเพียงอย่างเดียว ในทางกลับกัน หากเจ้าหน้าที่สามารถจัดการกับขาของผู้ต้องสงสัยได้โดยไม่ทำให้เสียชีวิต แต่ยังเหลือมือของผู้กระทำผิดยังมีอิสระในการยิง ความสามารถของเขาในการคุกคามชีวิตยังไม่ได้หยุดลงอย่างแท้จริง (William J. Lewinski, 2010)

จากข้อเท็จจริงที่กล่าวโดยผู้เชี่ยวชาญข้างต้น จึงเห็นได้ว่า มุมมองเรื่องข้อเท็จจริงที่ว่าตำรวจสามารถเลือกยิงจุดไม่สำคัญของร่างกายในสถานการณ์ฉุกเฉินคับขันได้นั้น ไม่น่าจะเป็นไปได้ และไม่สมควรที่จะทำ จึงไม่สอดคล้องกับมุมของผู้บังคับใช้กฎหมายไทยที่บางครั้งมีความเห็นว่า การป้องกันพอสมควรแก่เหตุ จากบุคคลที่ติดอาวุธมีดหรือปืนที่กำลังเข้ามาทำร้ายเจ้าหน้าที่ตำรวจในสถานการณ์ฉุกเฉินคับขัน เจ้าหน้าที่ตำรวจยังสามารถเลือกยิงจุดที่ไม่สำคัญได้

ประเด็นเรื่องการยิงขา เห็นว่าการยิงที่บริเวณขาของผู้ร้ายที่ติดอาวุธปืนเป็นสิ่งที่ไม่ควรทำอย่างยิ่ง แต่ในกรณีที่ผู้ร้ายติดอาวุธมีดนั้นยังมีความเป็นไปได้ในบางสถานการณ์ แต่ต้องไม่ใช่ในสถานการณ์ฉุกเฉินที่จวนตัว เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง กล่าวคือ หากผู้ร้ายอยู่ใกล้การเลือกยิงอาจง่าย แต่โอกาสและเวลาในการเล็งและยิงก็ยิ่งน้อยลง ความเสี่ยงของเจ้าหน้าที่ตำรวจที่จะถูกทำร้ายก็เพิ่มมาก ในทางตรงข้าม หากอยู่ผู้ร้ายอยู่ใน

ระยะไกล แม้ความปลอดภัยและเวลาของตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจในการเล็งและยิงจะมีมากขึ้น แต่การยิงก็จะยิ่งยากตามไปด้วยเพราะเป้าหมายก็จะมีขนาดเล็กลง อีกทั้งขายังมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอด สิ่งสำคัญที่จะหยุดผู้ร้ายได้คือการสร้างความเสียหายต่ออวัยวะอย่างเพียงพอ ทำให้การยิงตรงบริเวณขาจึงไม่ควรยิงเพียงนัดเดียว เพราะหากผู้ยิงขาดความแม่นยำประกอบกับกระสุนปืนไม่มีอนุภาพทำลายอย่างเพียงพอ การหวังผลเพื่อหยุดยั้งก็น้อยลงไปด้วย ดังนั้นการยิงจึงต้องยิงจนกว่าภัยคุกคามหรือภยันตรายนั้นได้หมดลง ซึ่งในสถานการณ์ฉุกเฉินเจ้าหน้าที่ตำรวจจะถูกกระตุ้นให้เกิดความเครียดและที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตำรวจในด้านต่างๆ ลดลง รวมถึงความแม่นยำในการยิงกระสุนที่ออกไปจึงอาจพลาดไปถูกจุดสำคัญส่วนอื่นของร่างกาย และอาจเป็นการกระทำที่ดูรุนแรงเกินกว่าการยิงที่ลำตัวเพียงไม่กี่นัด ดังนั้น **การเลือกยิงขา อาจเหมาะสมในสถานการณ์ที่ไม่ใช่เหตุฉุกเฉิน และเป็นการยิงของนักแม่นปืนที่มีอาวุธประสิทธิภาพสูงในการยิงระยะไกลและมีเวลาในการตัดสินใจเพียงพอ**

ประเด็นเรื่องระยะทางระหว่างเจ้าหน้าที่ตำรวจและผู้ต้องสงสัยที่ติดอาวุธมีด ได้มีผู้ทำการทดลองและเป็นที่รู้จักกันในหลัก 21 ฟุต (ประมาณ 6.4 เมตร) ซึ่งเป็นหลักที่ใช้กันแพร่หลายในหมู่ของเจ้าหน้าที่ผู้บังคับใช้กฎหมายในประเทศสหรัฐอเมริกา (Ron Martinelli, 2014) และจากการทดลองพบว่า ผู้ชายที่เป็นผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพแข็งแรงโดยเฉลี่ยสามารถวิ่งได้ระยะทาง 7 หลา ในเวลาประมาณ 1.5 วินาที แสดงให้เห็นว่าผู้โจมตีติดอาวุธที่ระยะห่าง 21 ฟุต ได้อยู่ในโซนอันตรายของคุณแล้ว (Dennis Tueller, 1983) แต่ความเห็นนี้ได้ถูกโต้เถียงว่า ระยะห่างระหว่างเจ้าหน้าที่ตำรวจและผู้ต้องสงสัยเพียง 21 ฟุต นั้นยังไม่เพียงพอ และได้ให้คำแนะนำว่า เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถชักปืนและยิงได้สำเร็จก่อนที่ผู้ต้องสงสัยจะไปประชิดตัวนั้น จะต้องให้เจ้าหน้าที่และผู้ต้องสงสัยอยู่ห่างกันประมาณ 32 ฟุต (ประมาณ 9.7 เมตร) (William L. Sandel, Hunter Martaindale และ J. Pete Blair, 2020) ซึ่งการทดลองครั้งหลังนี้สอดคล้องกับข้อเท็จจริงของคดีของ Buchanan v. City of San Jose ว่าหลัก 21 ฟุต นั้นยังไม่ปลอดภัย เพราะเมื่อผู้ร้ายที่ถือมีดกำลังวิ่งเข้าหาตำรวจแล้วถูกยิง ผู้ร้ายอาจยังสามารถเคลื่อนที่ไปได้อีก 37 ฟุต (ประมาณ 11.2 เมตร) ก่อนที่เขาจะล้มลง (VON KLIEM, JD และ LL.M, 2019)

เห็นได้ว่า มุมมองข้อเท็จจริงเกี่ยวกับระยะห่างที่เป็นระยะอันตรายหรือระยะประชิดตัว เมื่อผู้ร้ายติดอาวุธมีดกำลังจะเข้ามาทำร้ายเจ้าหน้าที่ตำรวจ ตามมุมมองของผู้บังคับใช้กฎหมายไทยยังมีมุมมองเกี่ยวกับระยะอันตรายหรือระยะประชิดตัวที่ยังไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง เพราะในบางครั้งมองว่าเป็นระยะที่ยังไม่เป็นอันตรายหรือยังไม่ประชิดตัวนั้น หากเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยต่างประเทศแล้ว ถือว่ามีความอันตรายแล้ว **ซึ่งมุมมองที่คลาดเคลื่อนนี้อาจนำไปสู่การตัดสินตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจว่าใช้กำลังเกินสมควร และทำให้เจ้าหน้าที่ตำรวจต้องถูกดำเนินคดีทั้งที่เจ้าหน้าที่ตำรวจอาจได้กระทำเหมาะสมแก่เหตุในสถานการณ์นั้นแล้ว**

ประเด็นเรื่องจำนวนกระสุนที่ทำการยิง ในประเทศไทยเจ้าหน้าที่ตำรวจจะพยายามยิงออกไปไม่ให้เกิน 1 นัด เพื่อที่จะนำไปอ้างในชั้นศาลว่ากระทำการป้องกันตัวไปพอสมควรแก่เหตุ (เรวัช กลิ่นเกษร, 2566) ซึ่งสอดคล้องกับคำพิพากษาของศาลฎีกาหลายคดีที่ข้อเท็จจริงมักปรากฏว่า ผู้ใช้สิทธิป้องกันตนเองโดยใช้อาวุธปืนยิงเพียง 1 นัด ถือเป็นการป้องกันตัวโดยชอบด้วยกฎหมาย แต่จากเหตุการณ์ในต่างประเทศที่ผู้ร้ายถือมีดวิ่งเข้าหาเจ้าหน้าที่ตำรวจที่พยายามฆ่าตัวตายด้วยฝีมือตำรวจ เจ้าหน้าที่ตำรวจพยายามยิงไปที่ลำตัวช่วงล่าง จำนวน 7 นัด โดยหลังจากถูกยิงคนร้ายล้มลงชั่วขณะหนึ่ง ก่อนที่เขาจะดีดตัวกลับขึ้นมายืนด้วยเลือดโชก ก่อนจะพุ่งเข้าหาเจ้าหน้าที่ตำรวจอีกครั้ง (MailOnline, 2019) เหตุการณ์นี้อาจเป็นข้อบ่งชี้ได้ว่า **การยิงเพียงนัดเดียว** ที่จะทำให้การป้องกันของเจ้าหน้าที่ตำรวจเป็นการป้องกันโดยชอบด้วยกฎหมาย ตามประมวลกฎหมายอาญามาตรา 68 นั้น **อาจเป็นการวางหลักเกณฑ์การป้องกันที่ทำให้เจ้าหน้าที่ตำรวจไม่สามารถทำการป้องกันตัวเองในการปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างปลอดภัย**

ประเด็นเรื่องความสามารถของเจ้าหน้าที่ตำรวจเกี่ยวกับการใช้อาวุธปืน คนทั่วไปมักมองว่าเจ้าหน้าที่ตำรวจมีความสามารถมากกว่าประชาชนจึงต้องใช้กำลังให้น้อยกว่าเมื่อต่อสู้กับคนร้าย ในต่างประเทศได้มีการศึกษาโดยทำการทดลอง ซึ่งผลปรากฏว่าจากการตรวจสอบระดับความแม่นยำในการยิงปืนโดยเจ้าหน้าที่บังคับใช้กฎหมายที่ผู้เข้าร่วมถูกแยกตามประสบการณ์การใช้อาวุธปืนออกเป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ระดับกลาง และมือใหม่(ประสบการณ์ขั้นต่ำ/ไม่มีเลย) ทดสอบความแม่นยำ ณ ตำแหน่งเป้าหมายตั้งแต่ 3 ถึง 75 ฟุต ผลที่ได้ ไม่พบความแตกต่างในเรื่องความแม่นยำระหว่างกลุ่มผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มระดับกลาง โดยผู้เชี่ยวชาญและระดับกลางให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่ามือใหม่ในทุกระยะ ยกเว้นระยะที่ห่างกันระดับ 3 ถึง 15 ฟุต ผลนั้นน่าตกใจที่ผู้เชี่ยวชาญมีความแม่นยำมากกว่ามือใหม่เพียง 10% ทำให้ผลการศึกษาครั้งนี้ระบุว่า **เจ้าหน้าที่ไม่มีข้อได้เปรียบเหนือมือปืนระดับกลาง และมีข้อได้เปรียบเหนือมือใหม่เล็กน้อย** (William J. Lewinski. et al, 2015) ในประเด็นนี้เห็นได้ว่ามุมมองเกี่ยวกับตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจที่ว่ามีความสามารถเหนือบุคคลทั่วไปในการใช้อาวุธปืนนั้น เป็นการคาดการณ์ที่ถูกต้อง แต่ความแม่นยำมากกว่าเพียงเล็กน้อยเช่นนั้น **ยังไม่มีความแตกต่างมากพอที่จะสามารถวางหลักเพื่อกำหนดให้เจ้าหน้าที่ตำรวจต้องใช้กำลังโดยเสียเปรียบเมื่อต้องต่อสู้กับผู้ร้าย เพราะเป็นการคาดหวังความสามารถในตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจที่เกินความเป็นจริงและทำให้เจ้าหน้าที่ตำรวจเกิดความเสียเปรียบเกินไป**

ประเด็นเรื่องการควบคุมดูแลการใช้อำนาจการใช้กำลังเพื่อป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ผู้วิจัยเห็นว่า นอกจากกฎหมายจะต้องมีลักษณะเฉพาะและเอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติหน้าที่แล้ว ก็ต้องมีมาตรการควบคุมการใช้อำนาจนั้นควบคู่ด้วย ซึ่งปัจจุบันได้มีพระราชบัญญัติป้องกันและปราบปรามการทรมานและการกระทำให้บุคคลสูญหาย พ.ศ. 2565 **ที่กำหนดให้เจ้าหน้าที่ต้องบันทึกภาพและเสียงอย่างต่อเนื่อง ในขณะจับและควบคุมตัวจนกระทั่งเจ้าหน้าที่นั้นได้นำตัวผู้จับที่ถูกควบคุมส่งต่อให้พนักงานสอบสวน หรือจนกว่าได้มีการปล่อยตัว** ซึ่งกฎหมายนี้สามารถ**นำมาใช้ร่วมกับการใช้กำลังเพื่อป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจได้**ในการควบคุมตรวจสอบการใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจ เนื่องจาก**เป็นหลักฐานที่มีความชัดเจน โดยไม่จำเป็นต้องมีการนำสืบให้เห็นข้อเท็จจริงเพิ่มเติมว่าการกระทำนั้นชอบด้วยกฎหมายหรือไม่** อีกทั้งยังสามารถนำมาพิสูจน์เพื่อใช้คุ้มครองตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจได้อีกด้วยหากเจ้าหน้าที่ตำรวจได้ทำการป้องกันโดยชอบ

วิเคราะห์ข้อมูลการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ตำรวจและเจ้าหน้าที่ศาลยุติธรรมผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกฎหมายอาญา

จากการสัมภาษณ์ประเด็นเรื่องบทบัญญัติของกฎหมาย ทำให้ทราบถึงความเห็นของผู้ให้สัมภาษณ์ส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 80 เห็นว่าประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 68 เรื่องการป้องกัน มีขอบเขตที่ไม่ชัดเจนเพียงพอ ยังมีปัญหาเรื่องการตีความเกี่ยวกับการกระทำที่พอสมควรแก่เหตุที่ยังไม่มีความแน่นอน และยังคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ผลของการไม่ระบุขอบเขตของการป้องกันที่พอสมควรแก่เหตุที่ชัดเจน ทำให้ผู้ที่ป้องกันตัวไม่สามารถรู้ได้ว่าการกระทำของตนเองเป็นการป้องกันตัวพอสมควรแก่เหตุหรือไม่ เพราะไม่มีการนิยามคำดังกล่าวไว้อย่างชัดเจน จึงทำให้เกิดความสับสนเมื่อเจ้าหน้าที่ตำรวจจำเป็นต้องทำ**การป้องกันว่าทำอย่างไร จึงถือว่าเป็นการกระทำที่พอสมควรแก่เหตุ** ซึ่งการวิเคราะห์การป้องกันอย่างเหมาะสมนั้น **ต้องใช้การพิจารณาที่ไตร่ตรองมากเกินไป ขัดกับสถานการณ์จริง และขัดกับสัญชาติญาณการเอาตัวรอดของมนุษย์** อีกทั้งเมื่อทำการป้องกันตัว ผู้ทำการป้องกันตัวยังต้องเข้าสู่กระบวนการยุติธรรมเพื่อนำสืบพิสูจน์ในชั้นศาลที่ใช้ระยะเวลานานอีกด้วย

ส่วนประเด็นเรื่องของการกำหนดมาตรการให้เจ้าหน้าที่ตำรวจต้องบันทึกวีดีโอขณะใช้กำลังระงับเหตุทุกครั้ง เพื่อพิสูจน์การใช้กำลังอย่างถูกต้องตามกฎหมาย มีผู้ให้สัมภาษณ์ร้อยละ 80 เห็นด้วยกับการให้เจ้าหน้าที่ตำรวจบันทึกวีดีโอขณะใช้กำลังระงับเหตุเพื่อพิสูจน์การใช้กำลังอย่างถูกต้องตามหลักกฎหมาย โดยให้ความเห็นว่า เป็นหลักฐานการแสดงให้เห็นถึงการทำงานอย่างโปร่งใส ถูกต้อง และเป็นการคุ้มครองสิทธิของประชาชน นอกจากนั้น มากกว่าครึ่งของผู้ให้สัมภาษณ์มีความเห็นเพิ่มเติมไปในทิศทางเดียวกันว่า เมื่อเจ้าหน้าที่ตำรวจมีหลักฐานมาแสดงถึงการปฏิบัติงานโดยชอบด้วยกฎหมายแล้ว ก็ควรมีมาตรการคุ้มครองเจ้าหน้าที่เป็นพิเศษมากกว่าบุคคลทั่วไป โดยเสนอในทิศทางที่ว่า เจ้าหน้าที่ตำรวจไม่ควรมีความผิดทางอาญาและไม่ควรถูกดำเนินคดี และควรผลักภาระการพิสูจน์ให้แก่ผู้กระทำความผิดว่าเจ้าหน้าที่ตำรวจกระทำการเกินสมควรแก่เหตุอย่างไร

บทสรุป

กฎหมายเรื่องการป้องกัน ตามประมวลกฎหมายอาญามาตรา 68 ที่เจ้าหน้าที่ตำรวจไทยนำมาใช้ในการปฏิบัติหน้าที่มีขอบเขตเรื่องการป้องกันที่กว้างเกินไป ยังไม่มีความชัดเจนและมีปัญหาเกี่ยวกับการตีความเรื่องความเหมาะสมของการใช้กำลังป้องกัน การพิจารณาต้องมีการไตร่ตรองที่ซับซ้อนยุ่งยากและไม่แน่นอน การพิสูจน์จึงต้องเข้าสู่กระบวนการยุติธรรม ซึ่งใช้เวลาในการพิจารณายาวนาน อีกทั้งมุมมองเรื่องการใช้กำลังป้องกันที่พอสมควร แก่เหตุ ในการระงับเหตุฉุกเฉินคับขันที่เจ้าหน้าที่ตำรวจต้องเผชิญ จึงไม่สอดคล้องต่อความเป็นจริง เนื่องจากการใช้ดุลพินิจเป็นการใช้ดุลยพินิจของบุคคลทั่วไปที่ไม่ใช่ผู้เป็นเจ้าหน้าที่ตำรวจ จึงทำให้มีมุมมองเกี่ยวกับข้อเท็จจริงของสถานการณ์ผิดไป ไม่ว่าจะเป็นเรื่องความสามารถของตัวเจ้าหน้าที่ตำรวจในการใช้กำลังหรือวิธีการที่ต้องการให้ตำรวจใช้กำลังระงับเหตุที่ไม่สมเหตุผลกับความจริง หากเปรียบเทียบกับกฎหมายของประเทศสหรัฐอเมริกาในมลรัฐมินนิโซต้า จะเห็นได้ว่ากฎหมายของต่างประเทศมีการบัญญัติหลักการและขอบเขตเรื่องการใช้กำลังป้องกันตัวของเจ้าหน้าที่ตำรวจไว้โดยเฉพาะ อีกทั้งยังที่มีการแบ่งระดับการใช้กำลังออกเป็น 2 ระดับ คือ ระดับการใช้กำลังแบบไม่ถึงตาย กับ ระดับการใช้กำลังถึงตาย (Deadly Force) ที่วางหลักเกณฑ์รายละเอียดอย่างชัดเจนและสามารถบังคับใช้ได้ เห็นได้จากการที่กฎหมายวางหลักการพิจารณาในสถานการณ์ที่กำหนดว่า การประเมินสถานการณ์การใช้กำลังจะต้องประเมินจากมุมมองของเจ้าหน้าที่ตำรวจที่รับรู้ได้ในขณะนั้น มากกว่าประโยชน์ของการมองย้อนกลับไป เพราะการมองย้อนกลับไปในภายหลัง จะเป็นมุมมองแบบของบุคคลที่ 3 ที่เห็นเป็นภาพรวม จึงไม่อาจรับรู้หรือสัมผัสได้เช่นเดียวกับบุคคลที่อยู่ในมุมมองที่ 1 ที่ต้องเผชิญกับความเครียด ความกดดัน ปัจจัยอื่นๆที่บีบคั้น ทำให้ไม่อาจเข้าถึงและไม่อาจเห็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ตามความจริง อีกทั้งกฎหมายของต่างประเทศยังคำนึงถึงโอกาสที่เจ้าหน้าที่ตำรวจอาจถูกบังคับให้ตัดสินใจอย่างรวดเร็วเกี่ยวกับการใช้กำลังถึงตาย จึงเห็นได้ว่าทั้งตัวบทกฎหมายในมลรัฐมินนิโซต้าและคำพิพากษาศาลฎีกาของประเทศสหรัฐอเมริกาที่เป็นหลักกฎหมาย มีความเอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ตำรวจและสอดคล้องกับงานวิจัยของผู้เชี่ยวชาญด้านพลวัตของมนุษย์เกี่ยวกับความเหมาะสมของการใช้กำลังในสถานการณ์ตามความเป็นจริงมากกว่ากฎหมายของไทย

ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยจึงเสนอให้แก้ไขกฎหมายเรื่องการใช้กำลังของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ให้แยกออกจากการป้องกันตัวของบุคคลทั่วไปตามประมวลกฎหมายอาญามาตรา 68 โดยให้ยกเลิกประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 83 วรรค 3 เดิม และบัญญัติเพิ่มเติมเป็น มาตรา 83/1 ที่กำหนดให้มีการแบ่งระดับการใช้กำลังออกเป็น 2 ระดับ

พร้อมกับมีมาตรการคุ้มครองและตรวจสอบ ซึ่งกฎหมายต้องกำหนดให้ภาระการพิสูจน์ตกแก่ผู้กระทำความผิด โดยบัญญัติว่า

ร่างแก้ไขเพิ่มเติม ประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 83/1 *"เจ้าพนักงานผู้ทำการจับสามารถใช้กำลังตามสมควรและอาจใช้ได้โดยปราศจากความยินยอมของอีกฝ่าย เมื่อปรากฏสถานการณ์หรือเจ้าพนักงานผู้ทำการจับเชื่อโดยมีเหตุผลอันสมควรว่า เกิดเหตุที่จะใช้กำลังได้ในสถานการณ์นั้น โดยการใช้กำลังต้องกระทำโดยเจ้าพนักงานหรือบุคคลซึ่งช่วยเหลือเจ้าพนักงาน ภายใต้คำสั่งของเจ้าพนักงาน เพื่อให้การจับกุมเป็นไปตามกฎหมาย หรือเพื่อให้ขั้นตอนตามกฎหมายสำเร็จลุล่วง หรือเพื่อดำเนินการให้เป็นไปตามคำสั่งศาล*

เจ้าพนักงานผู้จับสามารถใช้กำลังถึงตายกับผู้ต้องถูกจับได้ ก็ต่อเมื่อมีความจำเป็น เพื่อป้องกันชีวิตมนุษย์หรือเพื่อป้องกันอันตรายร้ายแรงต่อร่างกายของตนเองหรือของผู้อื่น ซึ่งการพิจารณาว่าจำเป็นต้องใช้กำลังถึงตายหรือไม่ ต้องประเมินแต่ละสถานการณ์โดยคำนึงถึงพฤติการณ์เฉพาะของแต่ละกรณี และการประเมินต้องประเมินจากมุมมองของเจ้าพนักงานที่มีเหตุผลในสถานการณ์เดียวกัน โดยเหตุการณ์ทั้งหมดจะต้องคำนึงถึงโอกาสที่เจ้าพนักงานอาจถูกบังคับให้ตัดสินใจอย่างรวดเร็ว

เจ้าพนักงานผู้ใช้กำลังในการปฏิบัติหน้าที่ตามมาตรานี้เจ้าพนักงานนั้นไม่มีความผิด แต่หากเจ้าพนักงานผู้ใดได้ทำการป้องกันตามมาตรานี้แล้วมีหลักฐานการบันทึกภาพและเสียงอย่างต่อเนื่องมาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนจนปราศจากข้อสงสัย ให้สันนิษฐานไว้ก่อนว่าการกระทำของเจ้าพนักงานไม่เป็นความผิด"

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากคณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ในการนี้ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำคณะนิติศาสตร์ รวมถึงขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ตำรวจและบุคคลที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยสนับสนุนข้อมูลการทำวิจัยในครั้งนี้ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยความเรียบร้อย

เอกสารอ้างอิง

เกียรติขจร วัจนะสวัสดิ์. (2551). **กฎหมายอาญา ภาค 1**. พิมพ์ครั้งที่ 10. (กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์พลสยาม.

คณิต ณ นคร. (2548). **กฎหมายอาญาภาคทั่วไป**. (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพมหานคร: วิญญูชน.

คณิศร หลางหวอด และ จันทราทิพย์ สุขุม. (ม.ป.ป.). **การใช้อำนาจของเจ้าหน้าที่รัฐต่อการวิสามัญคนร้าย**. คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ Faculty of Humanities and Social Sciences. สืบค้นวันที่ 7 กันยายน 2566. http://www2.huso.tsu.ac.th/ncom/csd/csdful_pdf/f202.pdf.

คำพิพากษาศาลฎีกาที่ 406/2523. (ม.ป.ป.). สำนักงานส่งเสริมงานตุลาการ. ระบบสืบค้นคำพิพากษา คำสั่งคำร้องและคำวินิจฉัยศาลฎีกา. สืบค้นวันที่ 9 กันยายน 2566. http://deka.supremecourt.or.th.

คำพิพากษาศาลฎีกา (238/2581. 775/2502. 1124/2480. 766/2486. 406/2523). (ม.ป.ป.). สำนักงานส่งเสริมงานตุลาการ. ระบบสืบค้นคำพิพากษา คำสั่งคำร้องและคำวินิจฉัยศาลฎีกา. สืบค้นวันที่ 9 กันยายน 2566. http://deka.supremecourt.or.th.

จิตติ ติงศภัทิย์. (2546). **คำอธิบายประมวลกฎหมายอาญา ภาค 1**. (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพมหานคร: หจก.จิรการพิมพ์.

จุฬาลักษณ์ รัตนะจินดาวงศ์. (2556). **การใช้สิทธิป้องกันโดยไม่จำต้องหลีกเลี่ยงภยันตรายก่อน(Stand Your Ground)**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยชนะ สิ้มประเสริฐ. (2565). **การนำยุทธวิธีตำรวจมาใช้ให้สอดคล้องกับหลักฎหมายว่าด้วยการค้น การจับ การควบคุม**. (พิมพ์ครั้งที่ 1).

ณรงค์ ใจหาญ. (2546). **วิธีพิจารณาความอาญา**. (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพมหานคร: วิญญูชน.

ณัฐวรรณ สิตวรเวศย์. (2561). **ขอบเขตและสภาพบังคับทางกฎหมายในกรณีที่เจ้าพนักงานตำรวจใช้กำลังจับเกินความเหมาะสม**. ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ปวริศร์ กิจสุขจิต. (2564). การปรับปรุงกฎหมายว่าด้วยอำนาจในการวิสามัญฆาตกรรม. **วารสารผู้ตรวจการแผ่นดิน**. ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม–มิถุนายน.

ประมวลระเบียบตำรวจ ภาค 1 ระเบียบตำรวจเกี่ยวกับคดี ข้อที่ 35.

ฤทธิรงค์ สมอุดร. (2536). **การป้องกันโดยชอบด้วยกฎหมาย ศึกษาเน้นหนักเฉพาะกรณีขอบเขตของการป้องกัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

เรวัช กลิ่นเกษร. (2566). **แนะนำการใช้อาวุธปืน โดย พล.ต.ท.เรวัช กลิ่นเกสร(Video)**. Youtube. สืบค้นเมื่อ 4 สิงหาคม 2566. https://www.youtube.com/watch?v=d3s7GAOBGI0.

วรากรณ์ พูลสวัสดิ์. (2559).**วิเคราะห์แนวคิดเรื่องสังคมนิยมน์กับทฤษฎีสัญญาประชาคม**. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. สืบค้นวันที่ 7 กันยายน 2566. https://publication.npru.ac.th/handle/123456789/311

วรวุฒิ รักษาวงศ์. (2556). **หลักยืนหยัดป้องกันภายในพื้นที่ที่ตนมีสิทธิอยู่(Stand Your Ground)**. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ไทยรัฐออนไลน์. (2558). สืบค้นวันที่ 6 กรกฎาคม 2566. https://www.thairath.co.th/news/local/504493.

อิศเรศร์ ปรางทอง. (2557). **ขอบเขตและมาตรฐานการใช้บังคับอาวุธปืนของพนักงานเจ้าหน้าที่ซึ่งมีอำนาจหน้าที่บังคับใช้กฎหมาย**. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

Dennis Tueller. (1983). **How CLOSE is TOO CLOSE**. THE POLICE POLICY STUDIES COUNCIL. สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2566. http://www.theppsc.org/Staff_Views/Tueller/How.Close.htm.

MailOnline. (2019). Just kill me. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม 2566. https://www.dailymail.co.uk/news/article-7209719/Heart-stopping-body-cam-footage-shows-two-Georgia-police-officers-killing-knife-wielding-man.html.

Minnesota Statutes (USA) Section 609.066.

Ron Martinelli. (2014). **Revisiting the "21-Foot Rule".** สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กันยายน 2566. http://www.cainstructor.com/Articles/21%20Foot%20Rule%20July%202016/Revisiting%20the%2021%20foot%20rule.pdf.

Simon Baldwi. et al. (2022). **A Reasonable Officer: Examining the Relationships Among Stress**. Training. and Performance in a Highly Realistic Lethal Force Scenario. frontiers. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กันยายน 2566. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.759132/full.

VON KLIEM. JD. LL.M. (2019). **The 21–foot "rule" is back in the news!**. FORCE SCIENCE. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กันยายน 2566. https://www.forcescience.com/2019/09/the–21–foot–rule–is–back–in–the–news/.

Force Science. (n.d.). William J. Lewinski. Ph.D.. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กันยายน 2566. https://www.forcescience.com /instructor /william–lewinski/.

William J. Lewinski. (2010). **Why shooting to wound doesn't make sense scientifically**. legally. or tactically. police 1. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 กันยายน 2566. https://www.police1.com/patrol–issues/articles/why–shooting–to–wound–doesnt–make–sense–scientifically–legally–or–tactically–6bOdYvNUEECtIWRI/.

William L. Sandel. Hunter Martaindale. J. Pete Blair. (2020). **A scientific examination of the 21–foot rule**. Research Gate Logo. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กันยายน 2566. https://www.researchgate.net/publication/341 783951_A_ scientific_examination_of_the_21–foot_rule.

William J. Lewinski. Ron Avery. Jennifer L. Dysterheft. Nathan D. Dicks. Jacob M. Bushey. (2015). **The Real Risks During Deadly Police Shootouts: Accuracy of the Naïve Shooter. FORCE SCIENCE**. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กันยายน 2566. https://www.forcescience.com/2015/05/the–real–risks–during–deadly–police–shootouts –accuracy–of–the–naive–shooter/.

ปัญหาทางกฎหมายเกี่ยวกับการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยของเจ้าพนักงานตำรวจศาล: กรณีหลบหนีภายหลังการปล่อยชั่วคราว

Legal Problems of the Arrest of the Accused or the Offenders by the Court Marshal: In Case of Escaping while Being Temporarily Released

อัครเดช สมคำ[1*] และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ[1]

Aukkaradet Somkham[1*] and Wimonrekha Sirichairawan[1]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและค้นหาปัญหาและแนวทางออกทางกฎหมายที่เหมาะสมในเรื่องการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนี ของเจ้าพนักงานตำรวจศาล โดยศึกษาแนวคิด ทฤษฎี กฎหมายของประเทศไทยและต่างประเทศ รวมถึงสัมภาษณ์ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ให้ได้แนวทางออกที่เหมาะสมกับสภาพการณ์ในปัจจุบัน จากผลการวิจัยพบว่าหน้าที่และอำนาจของเจ้าพนักงานตำรวจศาลในการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนี ซึ่งบัญญัติไว้ในมาตรา 5 (4) แห่งพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 มีประเด็นปัญหาดังนี้ ประการแรก มาตรา 5 (4) ไม่สอดคล้องกับเหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัตินี้ ที่สมควรกำหนดให้มีเจ้าพนักงานตำรวจศาลทำหน้าที่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจับกุมผู้ต้องหาและจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราว ประการที่สอง มาตรา 5 (4) ไม่ได้ให้อำนาจเจ้าพนักงานตำรวจศาลจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนีโดยตรง เจ้าพนักงานตำรวจศาลจึงไม่อาจเป็นเจ้าพนักงานผู้จัดการตามหมายจับได้ ประการที่สาม การจับกุมของเจ้าพนักงานตำรวจศาลกรณีมีเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ทันท่วงที เป็นข้อยกเว้นของกฎหมายที่อาจก่อให้เกิดการใช้ดุลพินิจของเจ้าพนักงานตำรวจศาลที่มีผลต่อประสิทธิภาพการจับกุมผู้หลบหนีเหล่านั้น ประการที่สี่ มาตรา 5 (4) คล้ายกับบทบัญญัติมาตรา 117 วรรค 3 แห่งประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา อาจเข้าข่ายกฎหมายที่หมดความจำเป็นตามมาตรา 77 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2560 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนวทางออก คือ แก้ไขบทบัญญัติ มาตรา 5 (4) จากเดิม แก้ไขเป็น “มาตรา 5 เจ้าพนักงานตำรวจศาลมีหน้าที่และอำนาจดังต่อไปนี้ (4) เมื่อผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหนีหรือจะหลบหนี และมีคำสั่งหรือหมายของศาลให้ทำการจับกุม ให้เจ้าพนักงานตำรวจศาลมีอำนาจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นได้ และเมื่อจับได้แล้ว ให้นำผู้ถูกจับไปยังศาลโดยเร็ว” เพื่อให้สอดคล้องกับเหตุผลในการบัญญัติและประกาศใช้พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 ในการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนของการบังคับใช้กฎหมายของเจ้าพนักงานตำรวจศาล เพื่อนำผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นกลับเข้าสู่กระบวนการยุติธรรม ให้กระบวนการยุติธรรมสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง

คำสำคัญ: เจ้าพนักงานตำรวจศาล, ปล่อยชั่วคราวโดยศาล, จับกุม, ผู้ต้องหาหรือจำเลย

---

[1] คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] School of Law, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: somkhamaukkaradet@gmail.com

Abstract

The purpose of this research article is to study and search for problems and appropriate legal solutions regarding the arrest of the alleged offenders or accused by the Court Marshal in case of escaping while being temporarily released, by studying concepts, theories, and laws of Thailand and abroad, including interviews with those who involved, to bring all the information to analyze and find solutions that are appropriate for the current situation. The researcher found that the duties and authorities of the Court Marshal in the arrest of the alleged offenders or the accused who have been temporarily released by the court but have fled, as provided in Section 5(4) of the Court Marshal Act B.E. 2562 (A.D.2019) has the following problems: First, Section 5(4) is inconsistent with the reasons for promulgating this Act. It is appropriate to appoint the Court Marshal to act effectively in the arrest of the alleged offenders or the accused who escape while temporarily released, Second, Section 5(4) does not authorize the Court Marshal to directly arrest the alleged offender or the accused who have been temporarily released by the court and have absconded, thus, the Court Marshal cannot be the managing according to the arrest warrant, Third, the arrest by the Court Marshal in case of an emergency where it is not possible to request help from Administrative Officials or police on time is an exception of the law that may cause the Court Marshal's discretion inefficiency in arresting those escapers, Fourth, Section 5(4) like the provisions of Section 117, paragraph 3 of the Criminal Procedure Code, which may count to unnecessary legislation according to the meaning of Section 77 of the Constitution of the Kingdom of Thailand B.E. 2560 (A.D.2017). Therefore, the researcher would like to propose a solution, which is to amend the provisions of Section 5(4) from the original to “Section 5, the Court Marshal have the following duties and authorities: (4) When the alleged offenders or the accused who have been temporarily released by the court have fled or will escape, and there is a court order or warrant for arrest, the Court Marshal shall have the authority to arrest the alleged offenders or the accused, and when caught, bring the arrested person to the court quickly.” To be consistent with the reasons for enacting and promulgating the Court Marshal Act B.E. 2562 (A.D.2019), to prevent and solve problems that may arise from the process of enforcing this law, to bring the alleged offenders or the accused back to the justice process, to allow the justice process to proceed continuously.

Keywords: Court Marshal, Temporarily released by the court, Arrest, The alleged offenders or the accused

บทนำ

ในการดำเนินคดีอาญา เมื่อคดีอยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาในชั้นศาล ผู้ต้องหาหรือจำเลยย่อมมีสิทธิที่จะขอปล่อยชั่วคราวต่อศาล อันเป็นการคุ้มครองสิทธิเสรีภาพในระหว่างที่ศาลยังไม่มีคำพิพากษาอันถึงที่สุดว่าเป็นผู้กระทำความผิด เป็นมาตรการช่วยผ่อนคลายการจำกัดเสรีภาพในร่างกายในระหว่างถูกดำเนินคดี เมื่อผู้ต้องหาหรือจำเลยได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้ว หากต่อมาภายหลังไม่มาพบศาลตามกำหนดนัดโดยไม่มีข้อแก้ตัวอันควร จะถูกสันนิษฐานว่าบุคคลนั้นจะหลบหนี และถูกศาลออกหมายจับ เพื่อนำผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นกลับเข้าสู่กระบวนการยุติธรรมต่อไป

จากสถานการณ์ที่ศาลยุติธรรมต้องเผชิญกับปัญหาการหลบหนีของผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การพิจารณาคดีมีความล่าช้า และผู้กระทำความผิดไม่ได้รับโทษตามผลของคำพิพากษา คำพิพากษาของศาลจึงขาดสภาพบังคับ กระทบต่อความเชื่อมั่นในระบบกระบวนการยุติธรรม สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากการที่ศาลยุติธรรมไม่มีเจ้าพนักงานที่มีสถานะเป็นพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจเพื่อทำหน้าที่โดยตรงในการติดตามจับกุมผู้หลบหนีการปล่อยชั่วคราวของศาล และผู้ที่ฝ่าฝืนไม่ปฏิบัติตามคำสั่งศาลเป็นการเฉพาะ อีกทั้งเจ้าพนักงานตำรวจในสังกัดสำนักงานตำรวจแห่งชาติ มีภาระหน้าที่ในการป้องกันปราบปรามการกระทำความผิดอาญาและรักษาความสงบเรียบร้อยของประชาชนเป็นจำนวนมาก จึงไม่สามารถดำเนินการติดตามจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราวโดยศาลได้อย่างทันท่วงที[2] จึงได้มีการตรากฎหมายพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 และประกาศในราชกิจจานุเบกษา มีผลใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม 2562 เพื่อกำหนดให้มีเจ้าพนักงานตำรวจศาลทำหน้าที่ดำเนินการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราวหรือผู้ที่ศาลได้ออกหมายจับแล้ว

หน้าที่และอำนาจการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนีของเจ้าพนักงานตำรวจศาล นั้น พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 ได้กำหนดไว้ในมาตรา 5 (4) โดยบัญญัติว่า “เจ้าพนักงานตำรวจศาลมีหน้าที่และอำนาจดังต่อไปนี้ (4) ปฏิบัติตามคำสั่งศาลในการแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาล แล้วหนีหรือจะหลบหนี หรือถ้ามีเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ทันท่วงที ก็ให้มีอำนาจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นได้ และเมื่อจับได้แล้ว ให้นำผู้ถูกจับไปยังศาลโดยเร็ว” ดังนั้น ตามบทบัญญัติดังกล่าว เมื่อเกิดกรณีที่ผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนี เจ้าพนักงานตำรวจศาล จะต้องทำการแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจทำการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีดังกล่าวเสียก่อน หากเจ้าพนักงานตำรวจศาลจะดำเนินการจับกุมด้วยตนเอง จะต้องปรากฏว่ามีเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ทันท่วงที ซึ่งเป็นกรณีที่กฎหมายให้อำนาจโดยกำหนดเป็นข้อยกเว้นเอาไว้ จึงมีประเด็นที่ต้องศึกษาว่าขั้นตอนของกฎหมายดังกล่าวนี้มีผลต่อประสิทธิภาพในการติดตามจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนีของเจ้าพนักงานตำรวจศาล ตามพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 และเหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัติดังกล่าวหรือไม่ อย่างไร

---

[2] สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา, **หลักเกณฑ์ในการตรวจสอบความจำเป็นในการตราพระราชบัญญัติ checklist ร่างพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. ...**, สืบค้นเมื่อวันที่ 24 เมษายน 2566, http://web.krisdika.go.th/data/outsitedata/article77/filenew/02Doc-9-1.pdf

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาปัญหาและเสนอแนวทางออกที่เหมาะสมในเรื่องการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลย ของเจ้าพนักงานตำรวจศาลกรณีหลบหนีภายหลังการปล่อยชั่วคราว เพื่อเป็นประโยชน์ให้เกิดประสิทธิภาพในการติดตามจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนีของเจ้าพนักงานตำรวจศาล ให้กระบวนการยุติธรรมดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง คำพิพากษาหรือคำสั่งของศาลมีสภาพบังคับ และสร้างความเชื่อมั่นในระบบกระบวนการยุติธรรมให้แก่สังคม

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยของเจ้าพนักงานตำรวจศาลกรณีหลบหนีภายหลังการปล่อยชั่วคราว

2. เพื่อศึกษาถึงแนวคิด ทฤษฎี กฎหมายไทยและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยของเจ้าพนักงานตำรวจศาลกรณีหลบหนีภายหลังการปล่อยชั่วคราว

3. เพื่อค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยของเจ้าพนักงานตำรวจศาลกรณีหลบหนีภายหลังการปล่อยชั่วคราว

วิธีการศึกษา

ศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ด้วยการวิจัยเอกสาร ศึกษา วิเคราะห์ แนวคิด ทฤษฎี กฎหมายทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยของเจ้าพนักงานตำรวจศาลกรณีหลบหนีภายหลังการปล่อยชั่วคราว และการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) โดยใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึกที่กำหนดข้อคำถามเป็นลักษณะคำถามปลายเปิด กลุ่มเป้าหมายในพื้นที่จังหวัดพะเยา ได้แก่ ผู้พิพากษาจำนวน 2 คน พนักงานอัยการจำนวน 2 คน พนักงานฝ่ายปกครองจำนวน 2 คน เจ้าหน้าที่ตำรวจจำนวน 2 คน และเจ้าพนักงานตำรวจศาลจำนวน 2 คน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ให้ได้ข้อสรุป ข้อเสนอแนวทาง หรือมาตรการทางกฎหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยของเจ้าพนักงานตำรวจศาลกรณีหลบหนีภายหลังการปล่อยชั่วคราว

ผลการศึกษา

1. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจับกุม เป็นมาตรการหรือขั้นตอนอย่างหนึ่งของกระบวนการยุติธรรมที่ถือว่ามีผลกระทบต่อสิทธิของบุคคลผู้ถูกจับอย่างร้ายแรง โดยปฏิญญาสากลว่าด้วยสิทธิมนุษยชน (The Universal Declaration of Human Rights) จึงรับรองสิทธิของผู้ถูกกล่าวหาว่า จะไม่ถูกจับกุมคุมขังโดยพลการ และเป็นผู้บริสุทธิ์จนกว่าศาลจะตัดสิน และกติการะหว่างประเทศว่าด้วยสิทธิพลเมืองและสิทธิทางการเมือง (International Covenant on Civil and Political Rights : ICCPR) ก็ได้กำหนดไว้ว่าบุคคลจะถูกจับหรือควบคุมโดยอำเภอใจไม่ได้ เว้นแต่ โดยเหตุผลและโดยเป็นไปตามกระบวนการที่บัญญัติไว้ในกฎหมาย

รัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ.2560 ได้รับรองและคุ้มครองสิทธิเกี่ยวกับการจับกุมไว้โดยใน **มาตรา 28** โดยกำหนดว่า การจับและการคุมขังจะกระทำมิได้ เว้นแต่ มีคำสั่งหรือหมายของศาลหรือมีเหตุอย่างอื่นตามที่กฎหมายบัญญัติ และ **มาตรา 29** กำหนดให้สันนิษฐานไว้ไก่อนว่าบุคคลที่ถูกกล่าวหาว่ามีความผิดอาญา มีสิทธิ

ที่จะได้รับการสันนิษฐานไว้ก่อนว่าเป็นผู้บริสุทธิ์ จนกว่าจะมีการพิสูจน์ความผิดตามกฎหมาย และก่อนที่จะมีคำพิพากษาอันถึงที่สุดแสดงว่าบุคคลใดได้กระทำความผิด จะปฏิบัติต่อบุคคลนั้นเสมือนว่าเป็นผู้กระทำความผิด ไม่ได้การควบคุม คุมขังผู้ต้องหาหรือจำเลยให้กระทำได้เท่าที่จำเป็น เพื่อป้องกันไม่ให้หลบหนี คำขอประกันของผู้ต้องหาหรือจำเลยในคดีอาญา ต้องได้รับการพิจารณาและจะเรียกหลักประกันเกินควรแก่กรณีไม่ได้ การไม่ให้ประกันตัวต้องเป็นไปตามที่กฎหมายบัญญัติ

การปล่อยชั่วคราวโดยศาล คือ การที่ศาลอนุญาตให้ผู้ต้องหาหรือจำเลยพ้นจากการถูกควบคุมตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อไม่ให้ผู้ต้องหาหรือจำเลยถูกควบคุมหรือถูกขังเป็นเวลานานเกินกว่าจำเป็นในระหว่างการสอบสวนหรือการพิจารณาคดี แบ่งเป็น 2 กรณี คือ การปล่อยชั่วคราวผู้ต้องหาโดยศาลในระหว่างการสอบสวนและการปล่อยชั่วคราวจำเลยโดยศาลในระหว่างการพิจารณาคดี การปล่อยชั่วคราวมีเงื่อนไขว่าผู้ได้รับการปล่อยชั่วคราวจะต้องมาพบศาลตามกำหนดนัด ผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาล หากต่อมาภายหลังไม่มาพบศาลตามกำหนดนัดโดยไม่มีเหตุอันสมควร จะถือว่าบุคคลดังกล่าวมีพฤติการณ์หลบหนี บุคคลดังกล่าวย่อมถูกศาลมีคำสั่งหรือหมายของศาลให้ต้องถูกจับกุมเพื่อนำกลับเข้าสู่กระบวนการยุติธรรม

กระบวนการยุติธรรมทางอาญามีแนวคิดทฤษฎีที่สำคัญได้แก่ **ทฤษฎีควบคุมอาชญากรรม** (Crime Control Model)[3] ที่เชื่อว่ากระบวนการทางอาญาต้องมีไว้เพื่อควบคุม ป้องกัน ระงับ และปราบปรามอาชญากรรมเป็นหลัก และจะต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จด้วยความรวดเร็ว[4] และแม้ว่าจะมีผลกระทบต่อสิทธิและเสรีภาพของบุคคลบ้างก็ตาม เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์แห่งการควบคุมอาชญากรรม หากไม่สามารถควบคุมป้องกันปราบปรามอาชญากรรมได้ ย่อมมีผลกระทบต่อความสงบเรียบร้อยในสังคมนั้น ๆ[5] หากประเทศใดให้ความสำคัญกับทฤษฎีนี้ประเทศนั้นก็จะเน้นออกกฎหมายให้อำนาจเจ้าหน้าที่ของรัฐใช้อำนาจเพื่อป้องกันปราบปรามและจับกุมอาชญากรรมมากกว่าการคำนึงถึงสิทธิและเสรีภาพของผู้บริสุทธิ์หรือประชาชน และอีกทฤษฎีหนึ่ง คือ **ทฤษฎีความชอบด้วยกระบวนการทางกฎหมายหรือหลักนิติธรรม** (Due Process Model)[6] มีแนวความคิดมุ่งคุ้มครองสิทธิและเสรีภาพของบุคคลหรือผู้ถูกกล่าวหาเป็นหลัก และต้องมีกฎหมายจำกัดอำนาจของเจ้าหน้าที่ของรัฐในการปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวกับมาตรการบังคับต่าง ๆ เช่น การจับกุม การตรวจค้น อีกทั้งต้องมีหลักหลักประกันให้กับประชาชนผู้บริสุทธิ์ที่จะไม่ถูกลงโทษ และมุ่งเน้นคุ้มครองสิทธิของผู้ถูกกล่าวหามากกว่าสิทธิของผู้เสียหายหรือเหยื่ออาชญกรรม ต่อต้านการใช้อำนาจรัฐโดยมิชอบ

ทั้งสองทฤษฎีแม้จะแตกต่างกันในแง่ของการปฏิบัติ แต่ก็มีวัตถุประสงค์ในการรักษาความสงบเรียบร้อยของสังคมส่วนรวมเหมือนกัน ทฤษฎีการควบคุมอาชญากรรมอาจเกิดประสิทธิภาพในแง่ของการปราบปรามอาชญากรรม แต่ก็อาจเกิดผลเสียในเรื่องของการใช้อำนาจรัฐที่มีมากเกินไป ในขณะที่ทฤษฎีความชอบด้วยกระบวนการทางกฎหมายหรือหลักนิติธรรมอาจเกิดประสิทธิภาพในแง่ของการคุ้มครองสิทธิเสรีภาพของประชาชน

---

[3] อิศราวุธ อ่อนน้อม, **หลักการรับฟังพยานหลักฐานที่ได้มาโดยมิชอบ,** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 2540), หน้า 23-26.

[4] เรื่องเดียวกัน, หน้า 23-24.

[5] รัชดาพร ต่อสกุล, **พยานหลักฐานที่ระบุการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้กระทำความผิดอาญา**, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2560), หน้า 24.

[6] อิศราวุธ อ่อนน้อม, อ้างแล้วในเชิงอรรถที่ 4, หน้า 23-26.

ไม่ให้ถูกเจ้าหน้าที่ของรัฐใช้อำนาจตามอำเภอใจ แต่ก็อาจส่งผลให้การดำเนินกระบวนการยุติธรรมมีขั้นตอนและเกิดความล่าช้า ทั้งสองทฤษฎีต่างก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย และการออกกฎหมายในกระบวนการยุติธรรมก็มักจะขัดแย้งกันในสองหลักการนี้เสมอ กระบวนการยุติธรรมที่ดีนอกจากจะมีมาตรการคุ้มครองสิทธิเสรีภาพของประชาชนในขั้นตอนกระบวนการยุติธรรมแล้ว จะต้องมีประสิทธิภาพในการป้องกันปราบปรามอาชญากรรมเพื่อรักษาความสงบเรียบร้อยของสังคมโดยรวมด้วย จึงต้องประสานทั้งสองหลักการให้เกิดความสมดุล

ตารางเปรียบเทียบหลักของ 2 ทฤษฎีที่มีผลต่อการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราวของศาล

ทฤษฎี	การจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราวของศาล
ทฤษฎีควบคุมอาชญากรรม (Crime Control Model)	– ให้อำนาจเจ้าหน้าที่ของรัฐสามารถจับกุมผู้หลบหนีการปล่อยชั่วคราวของศาลได้ แม้ว่าจะมีผลกระทบต่อสิทธิและเสรีภาพของบุคคลดังกล่าวก็ตาม เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์แห่งการควบคุมอาชญากรรม เพราะหากเจ้าหน้าที่ของรัฐไม่สามารถจับผู้หลบหนีการปล่อยชั่วคราวของศาลได้ ย่อมมีผลกระทบต่อความสงบเรียบร้อยในสังคมนั้น ๆ ส่งผลให้การพิจารณาพิพากษาคดีมีความล่าช้า คำพิพากษาขาดสภาพบังคับ กระทบต่อความเชื่อมั่นในระบบกระบวนการยุติธรรม
ทฤษฎีความชอบด้วยกระบวนการทางกฎหมายหรือหลักนิติธรรม (Due Process Model)	– การจับกุม กระทบต่อสิทธิและเสรีภาพของบุคคลผู้ถูกจับ ทั้งนี้ ต้องมีกฎหมายจำกัดและควบคุมการใช้อำนาจของเจ้าหน้าที่ของรัฐในการจับกุมดังกล่าวเพื่อคุ้มครองสิทธิเสรีภาพของประชาชนไม่ให้ถูกเจ้าหน้าที่ของรัฐใช้อำนาจตามอำเภอใจ

เห็นได้ว่า จับกุมดังกล่าวย่อมส่งผลกระทบต่อสิทธิและเสรีภาพของบุคคล แต่การจำกัดสิทธิดังกล่าวเป็นการปราบปราม เมื่อมีการหลบหนีการปล่อยชั่วคราวในชั้นศาลเกิดขึ้น ซึ่งมีคำสั่งหรือหมายของศาลให้ทำการจับกุมเท่านั้น ไม่ใช่การบังคับใช้กฎหมายกับบุคคลผู้กระทำผิดเพื่อปราบปรามอาชญากรรมทั่ว ๆ ไป ไม่มีผลกระทบต่อผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาล ที่ไม่หลบหนีแต่อย่างใด และประชาชนทั่วไปไม่ได้รับผลร้ายจากการถูกจำกัดสิทธิดังกล่าวนี้แต่ประการใด จึงมีความสมดุลระหว่างหลักทฤษฎีการควบคุมอาชญากรรม (Crime Control Model) และทฤษฎีความชอบด้วยกระบวนการทางกฎหมายหรือหลักนิติธรรม (Due Process Model) แล้ว

ที่มาตาราง : ผู้วิจัย

2. หลักการ เหตุผล ที่มาและความสำคัญของเจ้าพนักงานตำรวจศาล

ประเทศไทยได้ประกาศใช้พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ ศ. 2562 โดยเหตุผลในการประกาศใช้ในหมายเหตุท้ายพระราชบัญญัติ คือ

“โดยที่มีสถานการณ์อันอาจกระทบต่อการทำหน้าที่ของผู้พิพากษาในการอำนวยความยุติธรรม และมีกรณีผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลหลบหนี รวมทั้งมีผู้ที่ไม่ปฏิบัติตามหมายเรียกหรือคำสั่งศาล ซึ่งถูกออกหมายจับแล้วแต่ยังไม่สามารถจับกุมได้ ทำให้การพิจารณาพิพากษาคดีล่าช้า อาจทำให้ผู้กระทำความผิดไม่ได้รับการลงโทษ สถานการณ์ดังกล่าวเกิดจากการที่ไม่มีบุคลากรของศาลที่มีฐานะเป็นพนักงาน

ฝ่ายปกครองหรือตำรวจในการรักษาความสงบเรียบร้อย รักษาความปลอดภัยข้าราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม บุคลากร ทรัพย์สิน และ อาคารสถานที่ของศาลยุติธรรม ตลอดจนการอำนวยการสนับสนุนและเสริมสร้างประสิทธิภาพการจับกุมผู้ต้องหา จำเลยหรือบุคคลเหล่านั้น ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินคดีของศาลเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ สมควรกำหนดให้มีเจ้าพนักงานตำรวจศาลทำหน้าที่รักษาความสงบเรียบร้อย รักษาความปลอดภัยข้าราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม บุคลากร ทรัพย์สิน และอาคารสถานที่ของศาลยุติธรรม และดำเนินการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจับกุมผู้ต้องหาและจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราว หรือผู้ที่ศาลได้ออกหมายจับแล้ว จึงจำเป็นต้องตราพระราชบัญญัตินี้"

และมีเหตุผลและความจำเป็นในการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคลตามพระราชบัญญัตินี้ คือ

"เหตุผลและความจำเป็นในการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคลตามพระราชบัญญัตินี้ เพื่อให้การพิจารณาพิพากษาคดีเป็นไปโดยมีประสิทธิภาพ มีเจ้าพนักงานตำรวจศาลทำหน้าที่รักษาความสงบเรียบร้อย ความปลอดภัยแก่ข้าราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม และจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนี และผู้ที่ไม่ปฏิบัติตามหมายเรียกหรือคำสั่งศาล ซึ่งการตราพระราชบัญญัตินี้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่บัญญัติไว้ในมาตรา 26 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยแล้ว"

พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 กำหนดคำนิยาม คำว่า"เจ้าพนักงานตำรวจศาล" หมายความว่า บุคคลที่เลขาธิการสำนักงานศาลยุติธรรมแต่งตั้งให้ปฏิบัติหน้าที่ตามพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล (มาตรา 3) จึงถือเป็นข้าราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม ตามมาตรา 4 แห่งพระราชบัญญัติระเบียบข้าราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม พ.ศ. 2543

ตารางแสดงถึงหน้าที่และอำนาจของเจ้าพนักงานตำรวจศาล ตามพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562

ด้านการรักษาความปลอดภัย	ด้านการติดตามจับกุมตามหมายจับ
– รักษาความสงบเรียบร้อยและรักษาความปลอดภัยบุคคลและทรัพย์สินในบริเวณศาล (มาตรา 5 (1)) – ป้องกันและปราบปรามการกระทำความผิดในบริเวณศาล (มาตรา 5 (2)) – รักษาความปลอดภัยและคุ้มครองข้าราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรมตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบข้าราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม พนักงานและลูกจ้างของศาลและสำนักงานศาลยุติธรรมซึ่งกระทำการตามหน้าที่ หรือเพราะเหตุที่จะกระทำหรือได้กระทำการตามหน้าที่ รวมทั้งอาคารสถานที่และทรัพย์สินของศาลและสำนักงานศาลยุติธรรม (มาตรา 5 (3))	*– ปฏิบัติตามคำสั่งศาลในการแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหนีหรือจะหลบหนี หรือถ้ามีเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ทันท่วงที ก็ให้มีอำนาจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นได้ และเมื่อจับได้แล้ว ให้นำผู้ถูกจับไปยังศาลโดยเร็ว (มาตรา 5 (4))* – เมื่อศาลได้ออกหมายจับผู้ที่ไม่ปฏิบัติตามหมายเรียกหรือคำสั่งศาล ให้ศาลมีคำสั่งตั้งเจ้าพนักงานตำรวจศาลเป็นผู้จัดการตามหมายจับ และหากศาลเห็นสมควร ศาลอาจให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจเป็นผู้จัดการตามหมายจับโดยมีเจ้าพนักงานตำรวจศาลเป็นผู้สนับสนุนก็ได้" (มาตรา 5 (5))

ด้านการรักษาความปลอดภัย	ด้านการติดตามจับกุมตามหมายจับ
ในการปฏิบัติหน้าที่ตามพระราชบัญญัตินี้ ให้เจ้าพนักงานตำรวจศาลเป็นเจ้าพนักงานตามประมวลกฎหมายอาญา และให้มีหน้าที่และอำนาจเช่นเดียวกับพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา (มาตรา 10)	

ที่มาตาราง : ผู้วิจัย

3. อำนาจและหน้าที่การจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราว ตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญามาตรา 117

(ก) พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจ ที่พบผู้ต้องหาหรือจำเลยหนีหรือจะหลบหนีการปล่อยชั่วคราว มีอำนาจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นได้ (มาตรา 177 วรรคแรก)

(ข) บุคคลซึ่งทำสัญญาประกันหรือเป็นหลักประกัน ผู้พบเห็นผู้ต้องหาหรือจำเลยหนีหรือจะหลบหนีการปล่อยชั่วคราว อาจขอให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจที่ใกล้ที่สุดจับผู้ต้องหาหรือจำเลยได้ ถ้าไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากเจ้าพนักงานได้ทันท่วงที ก็ให้มีอำนาจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยได้เอง แล้วส่งไปยังพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจที่ใกล้ที่สุด และให้เจ้าพนักงานนั้นรีบจัดส่งผู้ต้องหาหรือจำเลยไปยังเจ้าพนักงานหรือศาล โดยคิดค่าพาหนะจากบุคคลซึ่งทำสัญญาประกันหรือเป็นหลักประกันนั้น (มาตรา 177 วรรคแรก)

(ค) เจ้าพนักงานศาล ศาลอาจมีคำสั่งตั้งเจ้าพนักงานศาลดำเนินการแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยซึ่งศาลสั่งปล่อยชั่วคราวที่หนีหรือจะหลบหนี ถ้ามีเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากเจ้าพนักงานได้ทันท่วงที ก็ให้มีอำนาจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นได้ (มาตรา 177 วรรค 3 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติแก้ไขเพิ่มเติมประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา (ฉบับที่ 34) พ.ศ. 2562)

4. เจ้าพนักงานตำรวจศาลในประเทศสหรัฐอเมริกา

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 1789 ประมวลกฎหมายสหรัฐอเมริกา ลักษณะที่ 28 มาตรา 561[7] กำหนดให้มีหน่วยงานบังคับคดีอาญาและการบังคับใช้กฎหมาย (U.S. Marshals Service) สังกัดกระทรวงยุติธรรม เพื่อสนับสนุนศาลในรัฐบาลกลาง โดยมีอำนาจและหน้าที่ดำเนินการติดตามจับกุมผู้กระทำความผิดที่หลบหนีคดีตามมาตรา 566 [8]

---

[7] Cornell Law School, **28 US Code § 561 – United States Marshals Service**, สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2566, https://www-law-cornelledu.translate.goog/uscode/text/28/561?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=th&_x_tr_hl=th&_x_tr_pto=op%2Csc&fbclid=IwAR2OksaJ999mCQia-75f1nEcBfYmyYbmBUbblVDGmve6mKONtKn0uistSs8.

[8] **28 U.S. Code § 566 – Powers and duties**

(c) Except as otherwise provided by law or Rule of Procedure, the United States Marshals Service shall execute all lawful writs, process, and orders issued under the authority of the United States, and shall command all necessary assistance to execute its duties.

(e)

(1) The United States Marshals Service is authorized to—

(B) investigate such fugitive matters, both within and outside the United States, as directed by the Attorney General.

มาตรา 566 อำนาจและหน้าที่

(C) เว้นแต่กฎหมายหรือระเบียบปฏิบัติจะกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น หน่วยงานบังคับคดีอาญาและการบังคับใช้กฎหมาย (U.S. Marshals Service) จะต้องดำเนินการบังคับใช้ตามหมายศาล กระบวนการ และคำสั่งที่ชอบด้วยกฎหมายทุกเรื่องที่ออกตามอำนาจของสหรัฐ และจะได้รับความช่วยเหลือทุกด้านที่ทำให้ปฏิบัติตามหน้าที่ได้

(e)

(1) หน่วยงานบังคับคดีอาญาและการบังคับใช้กฎหมาย (U.S. Marshals Service) ได้รับอำนาจให้

(B) สืบสวนสอบสวนเกี่ยวกับผู้กระทำผิดที่หลบหนี ทั้งภายในและภายนอกสหรัฐ ตามคำสั่งอัยการสูงสุด

หน่วยงานบังคับคดีอาญาและการบังคับใช้กฎหมาย (U.S. Marshals Service) มีภารกิจด้านการสืบสวนสอบสวนจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีตามหมายศาล[9] ในปี ค.ศ. 2023 มีผลงานการสืบสวนสอบสวนจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีตามหมายจับกว่า 95,425 หมายจับ[10] เป็นหน่วยงานเฉพาะที่สามารถสืบสวนจับกุมผู้กระทำความผิดหลบหนีโทษที่มีหมายจับทั่วทุกเขตเมืองทั้ง 56 รัฐ ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งแตกต่างจากตำรวจทั่วไป (Sheriff) ที่มีอำนาจหน้าที่ในการบังคับใช้กฎหมายโดยทั่วไปเฉพาะในมลรัฐที่ตนมีอำนาจและหน้าที่เท่านั้น[11]

ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้ระบบกฎหมาย Common Law แต่มีรัฐธรรมนูญลายลักษณ์อักษรที่เก่าแก่ที่สุดในโลกประเทศหนึ่ง และเป็นแม่บทให้กับหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก ได้รับการยอมรับว่าเป็นประเทศที่รับรองและประกันสิทธิเสรีภาพของประชาชนในประเทศสูงและก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ประเทศสหรัฐอเมริกามีหน่วยงานบังคับใช้กฎหมายและบังคับคดีอาญา (U.S. Marshals Service) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่สนับสนุนภารกิจของศาลที่มีประสบการณ์ในการสืบสวนสอบสวนจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีตามหมายศาลที่มีประสบการณ์และประสิทธิภาพ มีผลการจับกุมผู้หลบหนีหมายศาลจำนวนมาก และยังสามารถสืบสวนจับกุมผู้หลบหนีตามหมายศาลได้ทั่วทุกมลรัฐ แม้ว่าจะมีเจ้าหน้าที่ตำรวจทั่วไป (Sheriff) ของแต่ละมลรัฐที่สามารถทำหน้าที่จับกุมผู้หลบหนีหมายศาลเฉกเช่นเดียวกันกับหน่วยงานบังคับคดีอาญาและการบังคับใช้กฎหมาย (U.S. Marshals Service) ก็ตาม

5. สัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview)

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโดยวิธีสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) กลุ่มเป้าหมายที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวแล้วหลบหนีในพื้นที่จังหวัดพะเยา โดยใช้แบบสัมภาษณ์ที่กำหนดข้อคำถามเป็นลักษณะคำถามปลายเปิด และเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง ได้แก่ ผู้พิพากษาจำนวน 2 คน พนักงานอัยการจำนวน 2 คน พนักงานฝ่ายปกครองจำนวน 2 คน เจ้าหน้าที่ตำรวจจำนวน 2 คน และเจ้าพนักงานตำรวจศาลจำนวน 2 คน

(จาก **U.S. Marshals Service, Mission**, สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2566, https://www.usmarshals.gov/who-we-are/about-us).

[9] U.S. Marshals Service, **Fugitive Investigations**, สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2566, https://www.usmarshals.gov/what-we-do/fugitive-investigations).

[10] U.S. Marshals Service, **Fact Sheet Fugitive Apprehension 2023**, สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2566, https://www.usmarshals.gov/sites/default/files/media/document/2023-Fugitive-Apprehension.pdf.

[11] ธัญมน นาคชัยวัฒนา, **ปัญหาการติดตามจับกุมผู้กระทำความผิดซึ่งหลบหนีหมายจับในคดีอาญา:ศึกษาการจับกุมในชั้นศาล,** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2556), หน้า 75-77.

(ก) การสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างผู้พิพากษา

เมื่อศาลประทับฟ้องผู้ต้องหาหรือผู้กระทำผิดเป็นจำเลยแล้ว หมายถึงอยู่ในกระบวนการพิจารณาของศาลเต็มรูปแบบแล้วทั้งตัวจำเลยและสำนวนความทั้งหมด ถ้ามีการปล่อยชั่วคราวในระหว่างนี้ แล้วจำเลยหลบหนี หน้าที่ตรงนี้ควรจะอยู่ในความรับผิดชอบของเจ้าพนักงานตำรวจศาลเป็นหลักโดยตรง ไม่เช่นนั้นเจ้าหน้าที่ตำรวจหรือพนักงานฝ่ายปกครองจะแบกรับหน้าที่ตรงนี้มากเกินไป และเกิดปัญหาเชิงความรู้สึกของเจ้าหน้าที่ว่า จับมาแล้วศาลก็ปล่อย เพราะศาลมุ่งคุ้มครองสิทธิของผู้ต้องหาหรือจำเลยไม่ให้ถูกคุมขังเกินจำเป็น ศาลก็อนุญาตให้ปล่อยชั่วคราวผู้ต้องหาหรือจำเลยตามสิทธิ ซึ่งเจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่เมื่อได้ส่งตัวผู้ต้องหาต่อศาลแล้ว มักจะคาดหวังว่าจะไม่ต้องไปตามจับกุมบุคคลเหล่านั้นอีก ซึ่งสอดคล้องกับพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 มาตรา 5 (5) ที่ให้หน้าที่และอำนาจแก่เจ้าพนักงานตำรวจศาลเป็นหลัก เพราะอยู่ในชั้นกระบวนพิจารณาของศาลทั้งหมดแล้ว ถ้าจำเลยหรือบุคคลที่ฝ่าฝืน หรือ ผิดคำสั่งศาลในระหว่างพิจารณานี้ ย่อมเป็นหน้าที่ของเจ้าพนักงานตำรวจศาล

(ข) การสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างพนักงานอัยการ

พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 มาตรา 5 (4) ถอดแบบมาจาก ประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 177 วรรค 3 หากจะบังคับใช้กฎหมายมาตรา 5 (4) ให้มีประสิทธิภาพ ควรกำหนดระเบียบระหว่างหน่วยงานของเจ้าพนักงานตำรวจศาลและเจ้าหน้าที่ตำรวจทั่วไป ประสานความเข้าใจ ประสานความร่วมมือเพื่อลดขั้นตอนในการดำเนินงาน จะทำให้การดำเนินกระบวนการยุติธรรมเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการอำนวยความยุติธรรมได้ เจ้าพนักงานตำรวจศาลขึ้นตรงต่อศาล ในแง่ของการจับเชื่อว่าต้องเป็นหลักของการถ่วงดุลอำนาจ

(ค) การสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างสัมภาษณ์ปลัดอำเภอ

พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 มาตรา 5 (4) ยังแก้ปัญหากรณีผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนี ไม่ตรงจุด ทำให้กระบวนการยุติธรรมมีขั้นตอนมากเกินไป การจับกุมผู้ที่หลบหนีเหล่านั้น ควรเป็นภารกิจของเจ้าพนักงานตำรวจศาลเป็นหลัก แม้ว่าประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญาจะกำหนดให้เป็นหน้าที่ของพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจ แต่พนักงานฝ่ายปกครองไม่ได้มีหน้าที่ดังกล่าวนั้นแต่เพียงอย่างเดียว จึงไม่ได้ดำเนินการในส่วนนี้เท่าที่ควร อีกทั้งมีข้อจำกัดในเรื่องของอำนาจจับกุมที่สามารถจับกุมได้เฉพาะท้องที่ที่ได้รับแต่งตั้งให้ปฏิบัติหน้าที่เท่านั้น

(ง) การสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างเจ้าหน้าที่ตำรวจ

พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 มาตรา 5 (4) หากตัดขั้นตอนการแจ้งให้เจ้าพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจ และให้เจ้าพนักงานตำรวจศาลสามารถจับกุมโดยไม่ต้องอาศัยข้อยกเว้นจะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพเป็นอย่างมาก เป็นการแบ่งเบาภารกิจของเจ้าหน้าที่ตำรวจ เพราะเจ้าหน้าที่ตำรวจถูกแบ่งให้ไปปฏิบัติหน้าที่ในภารกิจด้านต่าง ๆ เช่น งานธุรการ งานจราจร งานป้องกันปราบปราม และงานสืบสวน ในสถานีตำรวจการติดตามจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนีเป็นหน้าที่ของงานสืบสวน ซึ่งมีภารกิจหลักมากมาย เช่น คดีทั่วไป คดียาเสพติด คดีสำคัญ เป็นต้น การสืบสวนจับกุมมีข้อจำกัดในเรื่องของท้องที่สถานีตำรวจ แม้ว่าประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญาจะกำหนดให้เจ้าหน้าที่ตำรวจมีอำนาจสืบสวนจับกุมได้ทั่วราชอาณาจักร แต่ในแง่ของการปฏิบัติ จะดำเนินการได้เฉพาะในเขตพื้นที่ของสถานีตำรวจที่ตนสังกัดเป็นหลัก การจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราวตามหมายจับของศาลถูกจัดลำดับความสำคัญเป็นลำดับรองจากงานในหน้าที่หลัก และให้ความสำคัญน้อยกว่าเมื่อเทียบกับหมายจับทั่วไป

(จ) สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างเจ้าพนักงานตำรวจศาล

ก่อนหน้านี้ศาลยุติธรรมประสบกับปัญหาการที่ออกหมายจับผู้ที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราวโดยศาล แต่ไม่มีผู้ดำเนินการจับกุมหรือมีการจับกุมที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณผู้ที่หลบหนี แต่เมื่อมีพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล เข้าใจว่าจะแก้ไขปัญหาในส่วนนี้ได้ แต่พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 มาตรา 5 (4) กลับเป็นบทบัญญัติที่มีขั้นตอนการบังคับใช้กฎหมายที่มีข้อยุ่งยากเป็นอุปสรรค เมื่อนำไปปฏิบัติงานจริงจึงขาดประสิทธิภาพ และเป็นบทบัญญัติที่เหมือนกับประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 177 วรรค 3

การแจ้งให้เจ้าพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจ จับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนี มักพบปัญหาเรื่องการนำส่งตัวผู้ต้องหาหรือจำเลยต่อศาล เพราะเมื่อเจ้าหน้าที่ตำรวจจับกุมให้ตามที่แจ้งแล้ว ก็จะประสานให้เจ้าพนักงานตำรวจศาลไปรับและควบคุมตัวมายังศาล เนื่องจากเจ้าหน้าที่ตำรวจติดขัดเรื่องงบประมาณที่ต้องใช้ในการนำส่งตัวผู้ต้องหาหรือจำเลยต่อศาล ซึ่งตามพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 มาตรา 5 (4) เจ้าพนักงานตำรวจศาล มีสถานะเป็นผู้แจ้งให้จับ ไม่ได้มีอำนาจจัดการตามหมายจับ กรณีนี้จึงไม่มีอำนาจควบคุมตัวและไปรับตัวมาส่งศาลได้ และเมื่อประสานให้เจ้าหน้าที่ตำรวจทั่วไป จับในครั้งต่อไป ก็มักจะไม่ได้รับความร่วมมือ

การจับกุมโดยอาศัยเหตุจำเป็นที่ไม่อาจขอความช่วยเหลือจากพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ เสี่ยงต่อการถูกโต้แย้งอำนาจการจับกุม เนื่องจากเป็นการกระทบสิทธิของผู้ถูกจับและครอบครัวของผู้ถูกจับ ปัจจุบันยังไม่มีคดีกรณีโต้แย้งอำนาจจับกุมดังกล่าวขึ้นสู่ศาล แต่ในอนาคตหากมีกรณีดังกล่าวเกิดขึ้น เชื่อว่าเจ้าพนักงานตำรวจศาลคงหลีกเลี่ยงและไม่ดำเนินการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีระหว่างปล่อยชั่วคราวหมายจับในส่วนนี้ก็คงมีปัญหาไม่มีผู้ดำเนินการเหมือนเดิมก่อนที่จะมีการตราพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาลฯ

บทวิเคราะห์

การศึกษาทั้งจากเอกสารและการลงพื้นที่สัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ทำให้พบว่า หน้าที่และอำนาจในการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนี ของเจ้าพนักงานตำรวจศาล ตามมาตรา 5 (4) แห่งพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 นั้น มีประเด็นปัญหา ดังนี้

ประเด็นแรก บทบัญญัติมาตรา 5 (4) ไม่สอดคล้องกับเหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 ที่สมควรกำหนดให้มีเจ้าพนักงานตำรวจศาล ซึ่งเป็นบุคลากรของศาลที่มีฐานะเป็นพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจ เพื่อดำเนินการให้เกิดประสิทธิภาพในการจับกุมผู้ต้องหาและจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราวหรือผู้ที่ศาลได้ออกหมายจับแล้ว รวมทั้ง ไม่สอดคล้องกับเหตุผลและความจำเป็นในการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคลตามพระราชบัญญัตินี้ เพื่อให้มีเจ้าพนักงานตำรวจศาลทำหน้าที่จับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีและผู้ที่ไม่ปฏิบัติตามหมายเรียกหรือคำสั่งศาล ซึ่งเมื่อพิจารณาจากบทบัญญัติมาตรา 5 (4) กำหนดให้เจ้าพนักงานตำรวจศาล เป็นเพียงผู้ประสานงานแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจทำหน้าที่จับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนี และเจ้าพนักงานตำรวจศาลจะมีอำนาจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราวนั้นได้ ก็ต่อเมื่อมีเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ทันท่วงที ซึ่งเป็นข้อยกเว้นของกฎหมายเท่านั้น ไม่ได้มีหน้าที่และอำนาจหลักในจับกุมแต่ประการใด

ทั้งนี้ ผู้วิจัยเห็นว่า เหตุผลที่มาตรา 5 (4) ต้องบัญญัติไว้เช่นนี้นั้น อาจเป็นเพราะในระยะเริ่มแรกของการมีเจ้าพนักงานตำรวจศาลเพื่อทำหน้าที่ดังกล่าว ด้วยอัตรากำลังของเจ้าพนักงานตำรวจศาล**ยังมีจำนวนไม่เพียงพอ** จึงต้องอาศัยการประสานงานพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจเพื่อทำหน้าที่เป็นหลัก แต่ปัจจุบันเมื่อกฎหมายถูกบังคับใช้มาได้ระยะเวลาหนึ่ง ก็ควรต้องปรับให้เข้ากับบริบทของการดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และเจตนารมณ์ของกฎหมายอย่างแท้จริง

ประเด็นที่สอง ปัญหาสถานะ “เจ้าพนักงานผู้จัดการตามหมายจับ” บทบัญญัติมาตรา 5 (4) ไม่ได้ให้อำนาจเจ้าพนักงานตำรวจศาลในการจับผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนีตามหมายจับไว้โดยตรงเป็นหลัก “เจ้าพนักงานตำรวจศาล” **จึงไม่อาจเป็น** “เจ้าพนักงานผู้จัดการตามหมายจับ” ได้ ส่งผลให้เกิดปัญหาในการปฏิบัติหน้าที่ เช่น ส่งผลต่ออำนาจการสืบสวน-สอบสวน เพื่อแสวงหาและรวบรวมข้อมูลส่วนบุคคลมาเชื่อมโยงความสัมพันธ์เกี่ยวกับบุคคลตามหมายจับ เพื่อจัดทำรายงานผลการสืบสวนก่อนทำการแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจ, ส่งผลต่ออำนาจการควบคุมตัวผู้ถูกจับมายังศาล ในกรณีที่แจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจจับกุม และเมื่อจับกุมแล้วพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจไม่สามารถนำผู้ถูกจับมาส่งศาลได้ด้วยตนเอง จึงประสานให้เจ้าพนักงานตำรวจศาลมารับตัวผู้ถูกจับไปยังศาล เป็นต้น

ประเด็นที่สาม การจับกุมของเจ้าพนักงานตำรวจศาล กรณีมีเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ทันท่วงที ตามมาตรา 5 (4) เป็นข้อยกเว้นของกฎหมายที่อาจก่อให้เกิดการใช้ดุลพินิจของเจ้าพนักงานตำรวจศาล และต้องอาศัยการตีความที่อาจเป็นข้อโต้แย้งว่า การจับชอบด้วยกฎหมายหรือไม่

(ก) เมื่อข้อเท็จจริงปรากฏว่า เจ้าพนักงานตำรวจศาลพบบุคคลผู้หลบหนีการปล่อยชั่วคราว ซึ่งศาลได้มีคำสั่งหรือหมายจับแล้ว และได้ใช้ดุลพินิจจับกุมบุคคลผู้หลบหนีดังกล่าว โดยอ้างเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ทันท่วงที ตามมาตรา 5 (4) นั้น หากต่อมาในภายหลังมีการโต้แย้งอำนาจการจับกุมของเจ้าพนักงานตำรวจศาลดังกล่าว และในทางนำสืบพบว่า**พฤติการณ์ยังไม่ถึงขนาดเป็นเหตุจำเป็นเร่งด่วน**ที่เจ้าพนักงานตำรวจศาลจะต้องดำเนินการจับกุมด้วยตนเอง ก็อาจส่งผลให้การจับกุมของเจ้าพนักงานตำรวจศาลนั้นเป็นการจับกุมที่ไม่ชอบด้วยกฎหมาย

(ข) เมื่อข้อเท็จจริงปรากฏว่าเจ้าพนักงานตำรวจศาลพบบุคคลผู้หลบหนีการปล่อยชั่วคราวซึ่งศาลได้มีคำสั่งหรือหมายจับแล้ว และ**ได้ใช้ดุลพินิจไม่จับกุมบุคคลผู้หลบหนี**ดังกล่าว โดยเชื่อว่าพฤติการณ์ยังไม่ถึงขนาดเป็นเหตุจำเป็นที่จะมีอำนาจจับกุมด้วยตนเอง และจะต้องทำตามขั้นตอนของมาตรา 5 (4) ให้ครบถ้วนเสียก่อน กล่าวคือแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจทำการจับกุมบุคคลดังกล่าว หากภายหลังปรากฏว่ามีการโต้แย้งการใช้ดุลพินิจดังกล่าว และในทางนำสืบพบว่ากรณีดังกล่าวถือเป็นเหตุจำเป็นเร่งด่วนที่เจ้าพนักงานตำรวจศาลสามารถทำการจับกุมได้เองโดยไม่ต้องแจ้งเจ้าพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจ ก็อาจส่งผลให้การปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าพนักงานตำรวจศาลนั้นเป็นการกระทำที่ไม่ชอบด้วยกฎหมาย

ประเด็นที่สี่ มาตรา 5 (4) เป็นบทบัญญัติที่**หมดความจำเป็น**

(ก) มาตรา 5 (4) คล้ายกับบทบัญญัติ มาตรา 117 วรรค 3 แห่งประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา ที่กำหนดให้ศาลอาจมีคำสั่งตั้งเจ้าพนักงานศาลเป็นผู้ดำเนินการแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหนีหรือจะหลบหนี หรือถ้ามีเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากเจ้าพนักงานได้ทันท่วงที ก็ให้มีอำนาจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยได้ และเมื่อจับได้แล้ว ให้นำผู้ถูกจับ

ไปยังศาลโดยเร็ว บทบัญญัติดังกล่าว ศาลอาจตั้งเจ้าพนักงานตำรวจศาลให้ดำเนินการดังกล่าวได้ ซึ่งเจ้าพนักงานตำรวจศาลก็มีสถานะเป็นเจ้าพนักงานศาล ตามมาตรา 4 แห่งพระราชบัญญัติระเบียบข้าราชการฝ่ายตุลาการศาลยุติธรรม พ.ศ. 2543 จึงไม่จำเป็นต้องมีบทบัญญัติมาตรา 5 (4) ดังกล่าวแล้ว

(ข) เมื่อเจ้าพนักงานตำรวจศาลพบผู้ต้องหาหรือจำเลยหนีหรือจะหลบหนีระหว่างได้รับการปล่อยชั่วคราวในบริเวณศาล หรือหากบุคคลซึ่งทำสัญญาประกันหรือเป็นหลักประกันเป็นผู้พบเห็นผู้ต้องหาหรือจำเลยหนีหรือจะหลบหนีการปล่อยชั่วคราวในบริเวณศาล ก็อาจขอให้เจ้าพนักงานตำรวจศาลจับผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นได้ เจ้าพนักงานตำรวจศาลย่อมมีอำนาจจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นได้ ตามพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 มาตรา 5 (2) และมาตรา 10 ประกอบประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 78 (4) และ 117 วรรคแรก โดยไม่ต้องแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหนีหรือจะหลบหนี ตามมาตรา 5 (4)

(ค) การที่ผู้ต้องหาหรือจำเลยได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วไม่มาพบศาลตามกำหนดนัด ถือว่าผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นไม่ปฏิบัติตามคำสั่งศาล เมื่อศาลได้ออกหมายจับผู้ต้องหาหรือจำเลยดังกล่าวแล้ว และ**ศาลมีคำสั่งตั้งให้เจ้าพนักงานตำรวจศาลเป็นผู้จัดการตามหมายจับ** ตามพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 **มาตรา 5 (5)** เจ้าพนักงานตำรวจศาลย่อมมีอำนาจจับกุมได้โดยไม่ต้องแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหนีหรือจะหลบหนี ตามมาตรา 5 (4)

จึงไม่มีความจำเป็นที่บทบัญญัติมาตรา 5 (4) แห่งพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 จะต้องบัญญัติเช่นนั้นอีกต่อไป และหากไม่ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงให้สอดคล้องกับเหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 รวมทั้งบริบทของการบังคับใช้กฎหมายของเจ้าพนักงานตำรวจศาล ก็อาจเข้าข่ายกฎหมายที่หมดความจำเป็นตามมาตรา 77 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2560 ที่กำหนดให้รัฐพึงจัดให้มีกฎหมายเพียงเท่าที่จำเป็น และยกเลิกหรือปรับปรุงกฎหมายที่หมดความจำเป็นหรือไม่สอดคล้องกับสภาพการณ์

ประเด็นที่ห้า จากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างบุคคลผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการดังกล่าวส่วนใหญ่มีความเห็นไปในทิศทางที่ควรปรับปรุงแก้ไขบทบัญญัติมาตรา 5 (4) แห่งพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 ให้สอดคล้องกับเหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนของการบังคับใช้กฎหมายของเจ้าพนักงานตำรวจศาล โดยให้เจ้าพนักงานตำรวจศาล มีหน้าที่และอำนาจการจับกุมดังกล่าวได้เช่นเดียวกับพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจเฉพาะในกรณีที่ผู้ต้องหาหรือจำเลยหลบหนีการปล่อยชั่วคราวในชั้นศาลเท่านั้น

แม้ว่าการให้อำนาจจับกุมดังกล่าว ส่งผลกระทบต่อสิทธิและเสรีภาพของบุคคลในชีวิตและร่างกาย ซึ่งเป็นสิทธิขั้นพื้นฐานที่รัฐธรรมนูญให้การรับรองและคุ้มครอง แต่การจำกัดสิทธิดังกล่าวเป็นการปราบปรามเมื่อมีการหลบหนีการปล่อยชั่วคราวในชั้นศาลเกิดขึ้น ซึ่งมีคำสั่งหรือหมายของศาลให้ทำการจับกุมเท่านั้น ไม่ใช่การบังคับใช้กฎหมายกับบุคคลผู้กระทำผิดเพื่อปราบปรามอาชญากรรมทั่ว ๆ ไป จึงเป็นมาตรการปราบปรามที่มีความสมดุลระหว่างหลักทฤษฎีการควบคุมอาชญากรรม (Crime Control Model) และทฤษฎีความชอบด้วยกระบวนการทางกฎหมายหรือหลักนิติธรรม (Due Process Model) รวมทั้งหลักสิทธิมนุษยชน ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลที่ไม่หลบหนีแต่อย่างใด และประชาชนทั่วไปไม่ได้รับผลร้ายจากการถูกจำกัดสิทธิดังกล่าวนี้แต่ประการใด

การแก้ไขบทบัญญัติเช่นว่านี้ อาจทำให้ภารกิจการจับกุมของเจ้าพนักงานตำรวจศาลซ้ำซ้อนกับภารกิจของพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจ แต่ผู้วิจัยเห็นว่าเป็นการกำหนดภารกิจเฉพาะในกรณีจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนีเท่านั้น เป็นการส่งเสริมการปฏิบัติหน้าที่ระหว่างพนักงานฝ่ายปกครองเจ้าหน้าที่ตำรวจ เพื่อให้ประชาชนได้รับความสะดวกรวดเร็วในการดำเนินกระบวนพิจารณาและผลของคำพิพากษาเกิดความเชื่อมั่นในกระบวนการยุติธรรม ซึ่งจากการสัมภาษณ์พนักงานฝ่ายปกครองก็มีภาระหน้าที่บำบัดทุกข์บำรุงสุขให้แก่ประชาชนตามกฎหมายมากมาย และมีข้อจำกัดเรื่องเขตอำนาจการปฏิบัติหน้าที่เฉพาะในเขตท้องที่ที่ตนได้รับคำสั่งให้ปฏิบัติงานเท่านั้น ส่วนเจ้าหน้าที่ตำรวจทั่วไป แม้ว่าจะมีความเชี่ยวชาญและมีความพร้อมด้านกำลังพลและทรัพยากรมากกว่าก็ตาม แต่ก็มีภาระหน้าที่ในการดูแลรักษาความสงบเรียบร้อยให้กับประชาชนจำนวนมาก และความเร่งด่วนของการปฏิบัติงานในเรื่องอื่นๆ รวมทั้งการกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบระหว่างท้องที่ของสถานีตำรวจประกอบกับหมายจับตามกฎหมายที่แบ่งออกเป็นสองประเภท[12] ประเภทแรก คือ หมายจับที่ศาลออกในระหว่างการพิจารณาของศาล (แบบ 47) ประเภทที่สอง คือ หมายจับที่เจ้าพนักงานยื่นคำร้องขอต่อศาลให้ออกหมายจับ (แบบ 47 ทวิ) ซึ่งหมายจับบุคคลผู้หลบหนีการปล่อยชั่วคราวของศาลอยู่ในหมายจับประเภทแรก (แบบ 47) ที่เจ้าหน้าที่ตำรวจให้ความสำคัญในการจับกุมเป็นลำดับรองลงมาจากประเภทที่สอง (แบบ 47 ทวิ) ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินการติดตามจับกุมผู้หลบหนีการปล่อยชั่วคราวของศาลที่ถูกออกหมายจับแล้ว แต่ยังไม่สามารถจับกุมได้

แม้ว่าเจ้าพนักงานตำรวจศาล (Court Marshal) ผู้ทำหน้าที่บังคับใช้กฎหมายให้กับองค์กรที่ใช้อำนาจตุลาการเป็นการเฉพาะนั้นจะเป็นเรื่องใหม่สำหรับประเทศไทย แต่ในประเทศสหรัฐอเมริกามีหน่วยงานบังคับใช้กฎหมายและบังคับคดีอาญา (U.S. Marshals Service) สำหรับองค์กรศาลเป็นการเฉพาะมานานแล้ว ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1789 โดยเฉพาะในการทำหน้าที่สืบสวนจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่หลบหนีหมายจับของศาล ส่งผลให้กระบวนการยุติธรรมของประเทศสหรัฐอเมริกาดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ ประเทศสหรัฐอเมริกา มีระบบกฎหมาย Common law ที่แตกต่างจากประเทศไทยที่ใช้ระบบ Civil law แต่ประเทศสหรัฐอเมริกาก็เป็นประเทศที่มีรัฐธรรมนูญลายลักษณ์อักษรที่เป็นแม่บทให้กับหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก ที่ให้ความสำคัญในการประกันและรับรองสิทธิเสรีภาพของประชาชนเป็นอย่างมาก รวมทั้งให้ความสำคัญกับการรักษาความสงบเรียบร้อยในสังคมและความปลอดภัยในประเทศอีกด้วย ซึ่งการจับกุมผู้หลบหนีหมายจับของศาลของประเทศสหรัฐอเมริกาแม้ว่าจะกระทบต่อสิทธิของบุคคลผู้ถูกจับ ก็ตาม แต่เพื่อให้เป็นการรักษาความสงบเรียบร้อยสังคมในประเทศ หน่วยงานบังคับใช้กฎหมายและบังคับคดีอาญา (U.S. Marshals Service) สังกัดกระทรวงยุติธรรม สนับสนุนศาลในรัฐบาลกลาง เป็นหน่วยงานของฝ่ายบริหาร ส่วนหน่วยงานเจ้าพนักงานตำรวจศาล ตามพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 ของประเทศไทยนั้น สังกัดสำนักงานศาลยุติธรรม เป็นหน่วยงานของฝ่ายตุลาการ ซึ่งโดยหลักของการแบ่งแยกอำนาจแล้ว การจับกุมควรเป็นอำนาจของฝ่ายบริหาร เพื่อให้เกิดการถ่วงดุลการใช้อำนาจดังกล่าวได้ และจากการสัมภาษณ์พนักงานอัยการก็มีความเห็นพ้องในเรื่องนี้ และเมื่อทำการศึกษาเพิ่มเติม พบว่า ศาลยุติธรรมเคยสังกัดอยู่กับกระทรวงยุติธรรม และได้แยกเป็นหน่วยงานอิสระเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2543 ดังนั้น อำนาจหน้าที่ของเจ้าพนักงานตำรวจศาล จึงขึ้นตรงกับสำนักงานศาลยุติธรรม ไม่ได้ขึ้นตรงต่อกระทรวงยุติธรรมดังเช่นประเทศสหรัฐอเมริกา ศาลยุติธรรมเป็นหน่วยงานอิสระ มีสำนักงานศาลยุติธรรมซึ่งไม่มีหน้าที่ในการพิจารณาพิพากษาคดี เป็นหน่วยงานธุรการที่มีหน้าที่เพียงสนับสนุนให้การพิจารณาพิพากษาของตุลาการบรรลุผล ส่วนการพิจารณาพิพากษาคดีของผู้พิพากษาอยู่ในการกำกับดูแลของ

[12] ศาลยุติธรรม, **แบบพิมพ์ศาล**, สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2566, https://www.coj.go.th/th/content/category/articles/id/6/cid/21.

คณะกรรมการตุลาการศาลยุติธรรมซึ่งแยกต่างหากอีกส่วนหนึ่งกับสำนักงานศาลยุติธรรม การที่เจ้าพนักงานตำรวจศาล สังกัดสำนักงานศาลยุติธรรม เพื่อสนับสนุนกระบวนการพิจารณาคดี เพื่อแก้ไขปัญหาการหลบหนีในการปล่อยชั่วคราวของศาล ให้กระบวนการพิจารณาดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง ประชาชนได้รับประโยชน์ในผลของคำพิพากษา การมีเจ้าพนักงานตำรวจศาลในประเทศไทย จึงไม่สามารถที่จะนำรูปแบบของประเทศสหรัฐอเมริกามาใช้ได้ทั้งหมด เพราะพื้นฐานจารีตประเพณีบริบทของสังคมที่ไม่เหมือนกัน ผู้วิจัยจึงเห็นว่าการมีเจ้าพนักงานตำรวจศาล ทำหน้าที่ติดตามจับกุมผู้หลบหนีการปล่อยชั่วคราวของศาลควรเป็นภารกิจหลักของสำนักงานศาลยุติธรรม ที่ต้องเป็นไปตามหลักความเป็นอิสระของผู้พิพากษา เพื่อดำรงไว้ซึ่งความเป็นกลาง ปราศจากอคติ ไม่ถูกแทรกแซงหรือจูงใจจากหน่วยงานภายนอกหรืออำนาจอื่น ซึ่งเป็นไปโดยสอดคล้องกับรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย มาตรา 196

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

หน้าที่และอำนาจของเจ้าพนักงานตำรวจศาลในการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนี ซึ่งบัญญัติไว้ในมาตรา 5 (4) แห่งพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 มีประเด็นปัญหาดังนี้

ประการแรก มาตรา 5 (4) ไม่สอดคล้องกับเหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัตินี้ ที่สมควรกำหนดให้มีเจ้าพนักงานตำรวจศาลทำหน้าที่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจับกุมผู้ต้องหาและจำเลยที่หลบหนีการปล่อยชั่วคราว

ประการที่สอง มาตรา 5 (4) ไม่ได้ให้อำนาจเจ้าพนักงานตำรวจศาลจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหลบหนีโดยตรง เจ้าพนักงานตำรวจศาลจึงไม่อาจเป็นเจ้าพนักงานผู้จัดการตามหมายจับได้

ประการที่สาม การจับกุมของเจ้าพนักงานตำรวจศาลกรณีมีเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ทันท่วงที เป็นข้อยกเว้นของกฎหมายที่อาจก่อให้เกิดการใช้ดุลพินิจของเจ้าพนักงานตำรวจศาล ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการจับกุมผู้หลบหนีเหล่านั้น

ประการที่สี่ มาตรา 5 (4) คล้ายกับบทบัญญัติมาตรา 117 วรรค 3 แห่งประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา อาจเข้าข่ายกฎหมายที่หมดความจำเป็นตามมาตรา 77 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2560

ประการที่ห้า เจ้าพนักงานตำรวจศาล สังกัดสำนักงานศาลยุติธรรม ซึ่งเป็นหน่วยงานของฝ่ายตุลาการแตกต่างจากหน่วยงานบังคับใช้กฎหมายและบังคับคดีอาญา (U.S. Marshals Service) ของประเทศสหรัฐอเมริกาที่สังกัดกระทรวงยุติธรรม ซึ่งเป็นหน่วยงานของฝ่ายบริหาร แต่อย่างไรนั้น การมีเจ้าพนักงานตำรวจศาลในประเทศไทยก็ไม่สามารถที่จะนำรูปแบบของประเทศสหรัฐอเมริกามาใช้ได้ทั้งหมด เพราะพื้นฐานจารีตประเพณีบริบทของสังคมที่ไม่เหมือนกัน ประเทศไทยจึงควรที่จะมีเจ้าพนักงานตำรวจศาล เพื่อสนับสนุนกระบวนการพิจารณาคดี เพื่อแก้ไขปัญหาการหลบหนีในการปล่อยชั่วคราวของศาล ให้กระบวนการพิจารณาดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง ประชาชนได้รับประโยชน์ในผลของคำพิพากษา หน้าที่ติดตามจับกุมผู้หลบหนีการปล่อยชั่วคราวของศาลควรเป็นภารกิจหลักของเจ้าพนักงานตำรวจศาล ที่ต้องเป็นไปตามหลักความเป็นอิสระของผู้พิพากษา ความเป็นกลาง ปราศจากอคติ ไม่ถูกแทรกแซงจากหน่วยงานภายนอกหรืออำนาจอื่น

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนวทางออก คือ แก้ไขบทบัญญัติ มาตรา 5 (4) เพื่อให้สอดคล้องกับเหตุผลในการบัญญัติและประกาศใช้พระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 ในการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนของการบังคับใช้กฎหมายของเจ้าพนักงานตำรวจศาล เพื่อนำผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นกลับเข้าสู่กระบวนการยุติธรรม ให้กระบวนการยุติธรรมสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง

ผู้วิจัยขอเสนอแนวทางการแก้ไขบทบัญญัติ มาตรา 5 (4) แห่งพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. 2562 จากเดิมที่บัญญัติไว้ว่า

มาตรา 5 "เจ้าพนักงานตำรวจศาลมีหน้าที่และอำนาจ ดังต่อไปนี้"

(4) "ปฏิบัติตามคำสั่งศาลในการแจ้งให้พนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหนีหรือจะหลบหนี หรือถ้ามีเหตุจำเป็นที่ไม่สามารถขอความช่วยเหลือจากพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจได้ทันท่วงที ก็ให้มีอำนาจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นได้ และเมื่อจับได้แล้วให้นำผู้ถูกจับไปยังศาลโดยเร็ว"

แก้ไขเป็น

ร่างแก้ไขเพิ่มเติม มาตรา 5 "เจ้าพนักงานตำรวจศาลมีหน้าที่และอำนาจ ดังต่อไปนี้"

(4) "เมื่อผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวโดยศาลแล้วหนีหรือจะหลบหนี และมีคำสั่งหรือหมายของศาลให้ทำการจับกุม ให้เจ้าพนักงานตำรวจศาลมีอำนาจจับผู้ต้องหาหรือจำเลยนั้นได้ และเมื่อจับได้แล้วให้นำผู้ถูกจับไปยังศาลโดยเร็ว"

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากคณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องในจังหวัดพะเยา เกี่ยวกับกระบวนการจับกุมผู้ต้องหาหรือจำเลยที่ได้รับการปล่อยชั่วคราวแล้วหลบหนี ที่ได้กรุณาแลกเปลี่ยนความรู้ในงานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณครอบครัวข้าพเจ้าและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน หวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความวิจัยชิ้นนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนากฎหมายและสังคมอีกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. **หลักเกณฑ์ในการตรวจสอบความจำเป็นในการตราพระราชบัญญัติ checklist ร่างพระราชบัญญัติเจ้าพนักงานตำรวจศาล พ.ศ. ...** . สืบค้นเมื่อวันที่ 24 เมษายน 2566. http://web.krisdika.go.th/data/outsitedata/article77/filenew/02Doc-9-1.pdf.

อิศราวุธ อ่อนน้อม. **หลักการรับฟังพยานหลักฐานที่ได้มาโดยมิชอบ.** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 2540).

รัชดาพร ต่อสกุล. **พยานหลักฐานที่ระบุการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้กระทำความผิดอาญา** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2560).

Cornell Law School, **28 US Code § 561 – United States Marshals Service**, สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2566, https://www-law-cornell-edu.translate.goog/uscode/text/28/561?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=th&_x_tr_hl=th&_x_tr_pto=op%2Csc&fbclid=IwAR2OksaJ999mCQia-75f1nEcBfYmyYbmBUbblVDGmve6mKONtKn0uistSs8.

U.S. Marshals Service. **Fugitive Investigations**. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2566. https://www.usmarshals.gov/what-we-do/fugitive-investigations.

U.S. Marshals Service. **Fact Sheet Fugitive Apprehension 2023**. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2566. https://www.usmarshals.gov/sites/default/files/media/document/2023-Fugitive-Apprehension.pdf.

ธัญมน นาคชัยวัฒนา. **ปัญหาการติดตามจับกุมผู้กระทำความผิดซึ่งหลบหนีหมายจับในคดีอาญา : ศึกษาการจับกุมในชั้นศาล** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2556).

ศาลยุติธรรม. **แบบพิมพ์ศาล**. สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2566. https://www.coj.go.th/th/content/category/articles/id/6/cid/21.

แนวทางหรือมาตรการทางกฎหมายเพื่อพัฒนาการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอในพื้นที่จังหวัดพะเยา

Guidelines or Legal Measures to Develop Mediation of Civil Disputes of the District Administration Offices in Phayao Province

ณิชกานต์ กันทะพะเยา[1*] และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ[1]

Nichakarn Kantaphayao[1*] and Wimonrekha Sirichairawan[1]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ ตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และหลักเกณฑ์วิธีการที่กำหนดในกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เพื่อค้นหาแนวทาง หรือมาตรการทางกฎหมายที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา โดยทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยเชิงคุณภาพ

ผลการศึกษาพบว่า จำนวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา มีจำนวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งน้อย อันเนื่องมาจากกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ได้กำหนดขั้นตอนของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอไว้มากเกินความจำเป็น การกำหนดคุณสมบัติของผู้ไกล่เกลี่ยบางประการส่งผลทำให้ความน่าเชื่อถือของผู้ไกล่เกลี่ยลดน้อยลง และประชาชนในพื้นที่จังหวัดพะเยายังไม่เห็นถึงประโยชน์ของกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอที่ดีกว่ากระบวนการระงับข้อพิพาทโดยวิธีอื่น นอกจากนี้ การขับเคลื่อนงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอยังคงมีการขับเคลื่อนน้อย ดังนั้น แนวทางหรือมาตรการทางกฎหมายเพื่อพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ ควรมีการพัฒนากฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ โดยแก้ไขกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เพื่อลดขั้นตอนกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งบางขั้นตอนให้น้อยลง ซึ่งจะทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทยุติได้เร็ว รวมถึงแก้ไขคุณสมบัติบางประการของผู้ไกล่เกลี่ยเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผู้ไกล่เกลี่ย และสนับสนุนการดำเนินงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอให้มากขึ้น

คำสำคัญ: การไกล่เกลี่ย, ข้อพิพาททางแพ่ง, มาตรการทางกฎหมาย, ที่ทำการปกครองอำเภอ

---

[1] คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] School of Law, University of Phayao, Phayao, 56000

*Corresponding author: nichakarn14112536@gmail.com

Abstract

This article aims to investigate the reality of administrative jurisdiction disputes in various districts of Phayao Province. The study explores relevant theories, legal principles, and regulations concerning the resolution of administrative jurisdiction disputes in districts, as outlined in the Royal Decree on Local Administration B.E.2534 and the Criteria and Procedures for Administrative Jurisdiction Disputes and Settlement B.E. 2553, along with its amendments. The objective is to identify suitable legal measures or strategies to enhance and streamline the administrative jurisdiction dispute resolution process in the districts of Phayao Province through qualitative research.

The findings indicate a minimal number of administrative jurisdiction disputes in the districts of Phayao Province. This low occurrence can be attributed to the excessive procedural requirements outlined in the regulations concerning administrative jurisdiction disputes and settlements. The stipulation of specific qualifications for disputing parties has also led to a decrease in the credibility of those involved. People in Phayao Province still do not see the benefits of the civil dispute mediation process of the district administrative office, which is better than the dispute resolution process by other methods. Additionally, the work on civil dispute mediation at the district administrative office is still less driven. Therefore, guidelines or legal measures to develop the civil dispute mediation process of the district administrative office must be the development of laws related to the mediation of civil disputes at district administrative offices by amending the Ministerial Regulations on Mediation and Conciliation of Civil Disputes B.E. 2553 and additional amendments. Reducing some steps in the civil dispute mediation process will allow the mediation to end the dispute quickly. Modifying some qualifications of mediators to increase the credibility of mediators. Furthermore, support the operations regarding civil dispute mediation of the district administrative office.

Keywords: Mediation, Civil Dispute, Legal Measures, District Administration Offices

บทนำ

แนวยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561 – 2580 ได้กำหนดแนวทางในการส่งเสริมระบบยุติธรรมทางเลือกและการมีส่วนร่วมของประชาชนในกระบวนการยุติธรรม โดยส่งเสริมกระบวนการยุติธรรมทางเลือกในรูปแบบต่าง ๆ[2] ส่งผลให้ปัจจุบันหลายฝ่ายให้ความสำคัญกับการนำวิธีการไกล่เกลี่ย (Mediation) ที่เป็นการเจรจาต่อรองที่มีบุคคลที่สาม (Mediator) ทำหน้าที่เป็นคนกลางในการดำเนินการและให้คำแนะนำ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการประนีประนอมยอมความจากความสมัครใจของคู่ความทั้งสองฝ่ายเป็นสำคัญ ซึ่งเป็นเครื่องมือและกลไกที่รัฐแสวงหาขึ้นมาเพื่อระงับข้อพิพาทให้สอดคล้องกับความต้องการของสังคมในปัจจุบันที่ต้องการความรวดเร็วและเป็นธรรม บรรลุวัตุประสงค์ในอันที่จะคุ้มครองสังคมให้มีความสงบ[3]

การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ เป็นกระบวนการระงับข้อพิพาททางเลือก (Alternative dispute resolution หรือ ADR) ที่พระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ให้อำเภอมีอำนาจหน้าที่ไกล่เกลี่ยหรือจัดให้มีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทเพื่อให้เกิดความสงบเรียบร้อยในสังคม โดยมีคณะบุคคลผู้ทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของประชาชน ที่คู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งมีภูมิลำเนาอยู่ในเขตอำเภอ ในเรื่องพิพาททางแพ่งเกี่ยวกับที่ดิน มรดก และข้อพิพาททางแพ่งอื่นที่มีทุนทรัพย์ไม่เกินสองล้านบาท มีอำนาจหน้าที่รับฟังข้อพิพาทโดยตรงจากคู่พิพาท และดำเนินการไกล่เกลี่ยให้เกิดข้อตกลงยินยอมร่วมกันระหว่างคู่พิพาทโดยเร็ว ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

การดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ ตามที่กำหนดในกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติมนั้น เมื่อคู่พิพาทฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งประสงค์จะให้มีการไกล่เกลี่ยโดยแจ้งความประสงค์เป็นคำร้องขอต่อนายอำเภอ นายอำเภอจะแจ้งให้คู่พิพาทอีกฝ่ายหนึ่งทราบและสอบถามว่าประสงค์จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยหรือไม่ กรณีที่คู่พิพาททุกฝ่ายตกลงยินยอมที่จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยจะกำหนดวันเลือกผู้ไกล่เกลี่ยซึ่งขึ้นบัญชีไว้ที่อำเภอ และเลือกประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ย ได้แก่ นายอำเภอ พนักงานอัยการประจำจังหวัด หรือปลัดอำเภอเป็นประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ย เมื่อมีการเลือกหรือกำหนดผู้ไกล่เกลี่ยและประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยแล้วประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยจะนัดประชุมคณะผู้ไกล่เกลี่ยภายในเจ็ดวันนับแต่วันที่มีคณะผู้ไกล่เกลี่ยครบถ้วน เพื่อพิจารณาว่าจะรับคำร้องขอไกล่เกลี่ยหรือไม่ หลังจากนั้นอำเภอจะส่งหนังสือนัดหมายการไกล่เกลี่ยแจ้งวัน เวลา และสถานที่ไปยังคณะผู้ไกล่เกลี่ยและคู่พิพาททุกฝ่าย ภายในเจ็ดวันนับแต่วันที่คณะผู้ไกล่เกลี่ยรับคำร้องขอไว้พิจารณา เพื่อดำเนินการไกล่เกลี่ยต่อไป หากคู่พิพาทตกลงกันได้ คณะบุคคลผู้ทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยจะจัดให้มีการทำสัญญาประนีประนอมยอมความระหว่างคู่พิพาท โดยให้ถือเอาข้อตกลงตามสัญญาประนีประนอมยอมความมีผลผูกพันคู่พิพาททั้งสองฝ่าย อีกทั้งในกรณีที่คู่พิพาทฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ปฏิบัติตามสัญญาประนีประนอมยอมความ คู่พิพาทอีกฝ่ายหนึ่งก็สามารถยื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการและให้พนักงานอัยการดำเนินการยื่นคำร้องต่อศาลที่มีเขตอำนาจเพื่อให้ออกคำบังคับให้ตามสัญญาประนีประนอมยอมความดังกล่าว โดยให้นำกฎหมายว่าด้วยอนุญาโตตุลาการมาใช้บังคับโดยอนุโลม

---

[2] ภาณุพงศ์ เฉลิมสิน, **การระงับข้อขัดแย้งโดยวิธีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท**, กรุงเทพธุรกิจ, ค้นวันที่ 20 เมษายน 2565 จาก https://www.bangkokbiznews.com/columnist/969894

[3] อรัชมน พิเชฐวรกุล, **การระงับข้อพิพาททางเลือก**, กรุงเทพธุรกิจ, ค้นวันที่ 20 เมษายน 2565 จาก https://www.bangkokbiznews.com/blogs/columnist/122222

อย่างไรก็ตาม แม้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ จะกำหนดให้นายอำเภอหรือปลัดอำเภอสามารถเป็นประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ และผลของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ สามารถออกคำบังคับได้ตามกฎหมายก็ตาม แต่การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่างๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561–2564 ที่ปรากฏตามระบบรายงานการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท ศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย มีจำนวนเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง ตามกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม จำนวน 6 เรื่องเท่านั้น โดยทำการไกล่เกลี่ยสำเร็จจำนวน 1 เรื่อง จำนวนทุนทรัพย์ 6,960 บาท

รายงานผลการดำเนินการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท ศูนย์ดำรงธรรม กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย ของจังหวัดพะเยา ปี พ.ศ.2561 – 2564

ลำดับ	ข้อพิพาททั้งหมด ประเภท	จำนวนเรื่อง	จำนวนข้อพิพาทที่เข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ย	จำนวนทุนทรัพย์ที่ไกล่เกลี่ยสำเร็จ	ผลการไกล่เกลี่ย สำเร็จ	ไม่สำเร็จ
1	ข้อพิพาททางแพ่ง(ตามกฎกระทรวง พ.ศ.2553)	6	5	6,960	1	0
	ที่ดิน	0	0	0	0	0
	มรดก	0	0	0	0	0
	แพ่งอื่นๆ	5	4	6,960	1	0
	***ประเภทเรื่องย่อยแรกนี้ แต่ประเภทเรื่องย่อยสอง ไม่ได้เลือก	1	1	0	0	0
	รวม	6	5	6,960	1	0
2	การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท(ทางแพ่ง) (ที่ไม่เข้ากฎกระทรวง พ.ศ. 2553)	1	1	0	0	0
	แพ่งอื่นๆ	0	0	0	0	0
	***ประเภทเรื่องย่อยแรกนี้ แต่ประเภทเรื่องย่อยสอง ไม่ได้เลือก	1	1	0	0	0
	รวม	1	1	0	0	0
3	คดีอาญาอันยอมความได้ (ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2553)	2	1	0	1	0
	***ประเภทเรื่องย่อยแรกนี้ แต่ประเภทเรื่องย่อยสอง ไม่ได้เลือก	2	1	0	1	0
	รวม	2	1	0	1	0
4	การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท(ทางอาญา) (ที่ไม่เข้ากฎกระทรวง พ.ศ. 2553)	0	0	0	0	0
	***ประเภทเรื่องย่อยแรกนี้ แต่ประเภทเรื่องย่อยสอง ไม่ได้เลือก	0	0	0	0	0
	รวม	0	0	0	0	0

ที่มา : ที่ทำการปกครองจังหวัดพะเยา จังหวัดพะเยา

ข้อมูล ณ วันที่ 5 กันยายน 2565

ดังนั้น จึงมีความสำคัญและจำเป็นที่ต้องศึกษาสถานการณ์ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา เพื่อค้นหาแนวทางหรือมาตรการทางกฎหมายที่เหมาะสมเพื่อพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา ให้มีการไกล่เกลี่ยเพิ่มมากขึ้น จะเป็นการเพิ่มทางเลือกในการเข้าถึงกระบวนการยุติธรรมให้กับประชาชนในพื้นที่ และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมเป็นอย่างยิ่ง

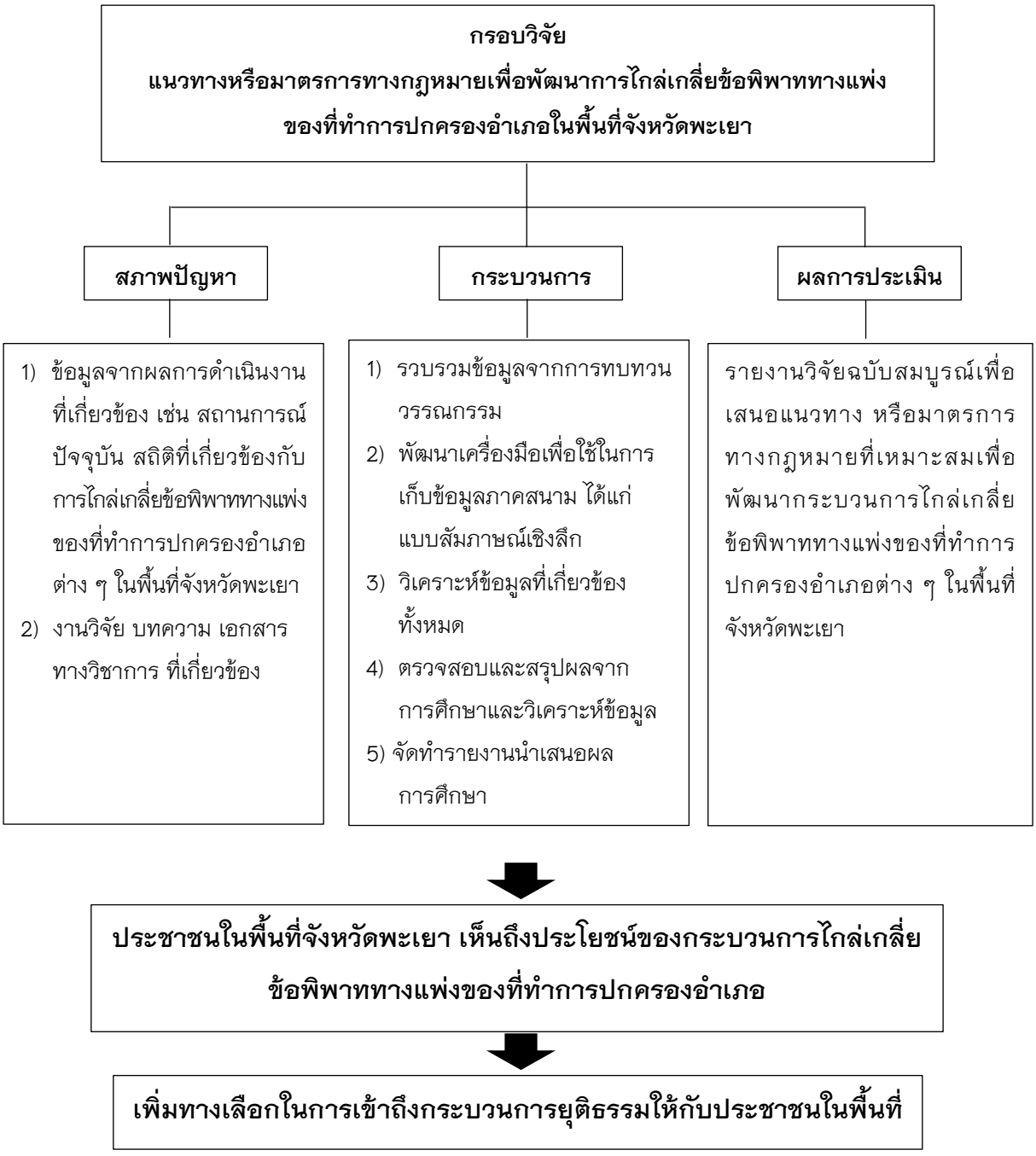
วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาสถานการณ์ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา

2. เพื่อศึกษาแนวคิด ทฤษฎี กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และหลักเกณฑ์วิธีการที่กำหนดในกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

3. เพื่อค้นหาแนวทาง หรือมาตรการทางกฎหมายที่เหมาะสมเพื่อพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา

กรอบแนวคิดและทฤษฎี



วิธีการศึกษา

บทความนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ทำการค้นหาข้อมูลโดยการวิจัยเอกสาร (Documentary Research) ค้นคว้าแนวคิด ทฤษฎี กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ ได้แก่ พระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม จากหนังสือ ตำรากฎหมาย ตำราวิชาการ ผลงานวิจัย วิทยานิพนธ์ บทความ บทบัญญัติของกฎหมาย เอกสารที่เกี่ยวข้อง และฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ นำมาวิเคราะห์เรียบเรียงเป็นระบบ และรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) โดยการเลือกตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างเฉพาะเจาะจงเป็นปลัดอำเภอที่รับผิดชอบงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา จำนวน 9 อำเภอ อำเภอละ 1 คน ได้แก่ อำเภอเมืองพะเยา อำเภอแม่ใจ อำเภอดอกคำใต้ อำเภอภูกามยาว อำเภอจุน อำเภอปง อำเภอเชียงคำ อำเภอเชียงม่วน และอำเภอภูซาง แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและสัมภาษณ์มาวิเคราะห์สังเคราะห์ เพื่อเสนอเป็นแนวทางหรือมาตรการทางกฎหมายที่เหมาะสมเพื่อพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยาต่อไป

ผลการศึกษา

1. การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ

การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ คือ กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งที่พระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม มาตรา 64/1 ประกอบมาตรา 61/2 กำหนดให้อำเภอมีอำนาจไกล่เกลี่ยหรือจัดให้มีการไกล่เกลี่ยเพื่อให้เกิดความสงบเรียบร้อยในสังคม โดยทำการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งด้วยคณะผู้ไกล่เกลี่ย ประกอบด้วย พนักงานอัยการ นายอำเภอ หรือปลัดอำเภอที่ได้รับมอบหมาย ทำหน้าที่เป็นประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ย และผู้ไกล่เกลี่ยที่คู่พิพาทแต่ละฝ่ายเลือกฝ่ายละหนึ่งคน ซึ่งการดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอต้องดำเนินการให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ ที่กำหนดในกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ดังนี้

*** หลักเกณฑ์การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ**

1. ข้อพิพาททางแพ่งที่จะทำการไกล่เกลี่ยของอำเภอ ต้องเป็นข้อพิพาทเกี่ยวกับ ที่ดิน มรดก และข้อพิพาททางแพ่งที่มีทุนทรัพย์ไม่เกินสองแสนบาท หรือมากกว่านั้นตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกา ซึ่งปัจจุบันพระราชกฤษฎีกากำหนดทุนทรัพย์การไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่งอื่น พ.ศ. 2565 กำหนดทุนทรัพย์การไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่งอื่นไว้ไม่เกินสองล้านบาท

2. บุคคลที่จะทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งในคณะบุคคลผู้ทำหน้าที่ไกล่เกลี่ย ต้องประกอบไปด้วยนายอำเภอหรือพนักงานอัยการ เป็นประธานคณะบุคคลผู้ทำหน้าที่ไกล่เกลี่ย และผู้ไกล่เกลี่ยที่คู่พิพาทแต่ละฝ่ายคัดเลือกจากบุคคลที่มีความรู้หรือมีประสบการณ์เหมาะสมกับการทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทซึ่งขึ้นบัญชีรายชื่อไว้ที่อำเภอ โดยผ่านความเห็นชอบของคณะกรมการจังหวัด และจะต้องมีคุณสมบัติและไม่มีลักษณะต้องห้ามดังต่อไปนี้

(1) มีอายุไม่ต่ำกว่าสามสิบห้าปีบริบูรณ์ในวันสมัคร

(2) มีภูมิลำเนาตามหลักฐานทะเบียนราษฎรในเขตอำเภอที่สมัคร

(3) เป็นบุคคลที่มีความรู้หรือมีประสบการณ์เหมาะสมกับการทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท

(4) ห้ามเป็นข้าราชการหรือเจ้าหน้าที่อื่นของรัฐ

(5) ห้ามเป็นบุคคลล้มละลาย คนเสมือนไร้ความสามารถ หรือคนวิกลจริตหรือจิตฟั่นเฟือนไม่สมประกอบ

(6) ห้ามเป็นผู้เคยได้รับโทษจำคุกโดยคำพิพากษาถึงที่สุดให้จำคุก เว้นแต่เป็นโทษสำหรับความผิดที่ได้กระทำโดยประมาทหรือความผิดลหุโทษ

(7) ห้ามเป็นผู้ดำรงตำแหน่งทางการเมือง กรรมการหรือผู้ดำรงตำแหน่งอื่นซึ่งรับผิดชอบการบริหารพรรคการเมือง ที่ปรึกษาพรรคการเมือง หรือเจ้าหน้าที่ในพรรคการเมือง

(8) ห้ามเป็นผู้เคยถูกถอดถอนให้พ้นจากบัญชีรายชื่อ

นอกจากนี้ผู้ไกล่เกลี่ยจะต้องยึดถือปฏิบัติตามจรรยาบรรณ ดังต่อไปนี้

(1) ปฏิบัติหน้าที่ด้วยความเป็นกลาง อิสระ ยุติธรรม และไม่เลือกปฏิบัติ

(2) เข้าร่วมการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททุกครั้ง เว้นแต่ แจ้งเหตุผลความจำเป็นล่วงหน้าให้ประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยทราบ

(3) ปฏิบัติหน้าที่ด้วยความรวดเร็ว ไม่ทำให้การไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทล่าช้าเกินสมควร

(4) ซื่อสัตย์สุจริต ไม่เรียกหรือรับทรัพย์สินหรือประโยชน์อื่นใดจากคู่พิพาทหรือบุคคลอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับข้อพิพาท

(5) ใช้วาจาสุภาพในขณะปฏิบัติหน้าที่ไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท

(6) รักษาความลับที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท

(7) ไม่ชี้ขาดข้อพิพาทหรือบีบบังคับให้คู่พิพาทฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งหรือทั้งสองฝ่ายลงลายมือชื่อในสัญญาประนีประนอมยอมความ

*** ขั้นตอนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ**

1. คู่พิพาทที่ประสงค์จะทำการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง ให้แจ้งความประสงค์ทำคำร้องเป็นหนังสือต่อนายอำเภอ โดยวิธีส่งด้วยตนเอง แจ้งด้วยวาจา หรือส่งไปรษณีย์

2. เมื่อนายอำเภอได้รับคำร้อง ให้แจ้งคู่พิพาทอีกฝ่ายเพื่อสอบถามความประสงค์ในการเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ย กรณีมีคู่พิพาทหลายฝ่ายให้แจ้งและสอบถามความประสงค์ทุกฝ่าย

3. เมื่อคู่พิพาททุกฝ่ายตกลงยินยอมที่จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ย ให้แจ้งเป็นหนังสือให้คู่พิพาททุกฝ่ายทราบ พร้อมทั้งกำหนดวัน เวลา และสถานที่ เพื่อให้คู่พิพาทมาพร้อมกันเพื่อเลือกผู้ไกล่เกลี่ยและประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ย

4. เมื่อมีการเลือกหรือกำหนดประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยแล้ว ให้ประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยนัดประชุมคณะผู้ไกล่เกลี่ยภายใน 7 วัน นับแต่วันที่มีคณะผู้ไกล่เกลี่ยครบถ้วน เพื่อพิจารณาคำร้องว่าเป็นการใช้สิทธิโดยไม่สุจริตหรือไม่ หรือการดำเนินการต่อไปจะมีผลให้เกิดการได้เปรียบหรือเสียเปรียบคู่พิพาทฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งในการดำเนินคดีทางศาล และจะมีมติรับหรือไม่รับคำร้องไว้พิจารณา

5. เมื่อคณะผู้ไกล่เกลี่ยรับคำร้องไว้พิจารณา ให้อำเภอส่งหนังสือนัดหมายการไกล่เกลี่ย และแจ้งวัน เวลา สถานที่ ไปยังคณะผู้ไกล่เกลี่ยและคู่พิพาททุกฝ่ายภายใน 7 วัน นับแต่วันที่คณะผู้ไกล่เกลี่ยรับคำร้องไว้พิจารณา

6. ก่อนเริ่มต้นการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยต้องชี้แจงวิธีการไกล่เกลี่ยให้คู่พิพาททุกฝ่ายทราบ

7. การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งทุกครั้ง คณะผู้ไกล่เกลี่ยจะต้องมาปฏิบัติหน้าที่ครบทุกคน จากนั้นให้คณะผู้ไกล่เกลี่ยรับฟังข้อเท็จจริงเบื้องต้นต่อหน้าคู่พิพาทพร้อมกัน ทั้งนี้ สามารถไกล่เกลี่ยพร้อมกันหรือแยกกันก็ได้

8. การไกล่เกลี่ย ต้องให้แล้วเสร็จภายในสามเดือน นับแต่วันที่นายอำเภอลงเรื่องในสารบบการไกล่เกลี่ย เว้นแต่ มีความจำเป็นและคู่พิพาทยินยอมให้ขยายระยะเวลาได้ครั้งละไม่เกินสามเดือน แต่รวมแล้วทั้งหมดต้องไม่เกินหนึ่งปี

*** ผลของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ**

1. กรณีคู่พิพาทตกลงกันได้ ให้คณะบุคคลผู้ทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยจัดให้มีการทำสัญญาประนีประนอมยอมความที่ไม่ขัดต่อความสงบเรียบร้อยและศีลธรรมอันดีของประชาชน ระหว่างคู่พิพาท และให้ถือเอาข้อตกลงตามสัญญาประนีประนอมยอมความมีผลผูกพันคู่พิพาททั้งสองฝ่าย การจัดทำสัญญาประนีประนอมดังกล่าว ทำให้ข้อเรียกร้องเดิมของคู่พิพาทได้ระงับสิ้นไป และทำให้คู่พิพาทได้สิทธิตามที่แสดงไว้ในสัญญาประนีประนอมยอมความ หากคู่พิพาทฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ปฏิบัติตามสัญญาประนีประนอมยอมความ ให้คู่พิพาทอีกฝ่ายหนึ่งยื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการที่มีเขตอำนาจรับผิดชอบในท้องที่อำเภอที่ดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทนั้น และพนักงานอัยการจะดำเนินการยื่นคำร้องต่อศาลที่มีเขตอำนาจเพื่อให้ออกคำบังคับให้ตามสัญญาประนีประนอมยอมความ ทั้งนี้ภายในกำหนดเวลาสามปีนับแต่วันที่อาจบังคับตามสัญญาประนีประนอมยอมความได้

2. กรณีที่ดำเนินการไกล่เกลี่ยพ้นกำหนดระยะเวลาที่กำหนดตามกฎหมายหรือคู่พิพาทไม่อาจตกลงกันได้ ให้คณะผู้ไกล่เกลี่ยสั่งจำหน่ายข้อพิพาท

2. วิเคราะห์สถานการณ์ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา

การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ กำหนดให้นายอำเภอหรือปลัดอำเภอ สามารถเป็นประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ และผลของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอสามารถออกคำบังคับได้ตามกฎหมาย แต่จำนวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา กลับมีจำนวนน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา ยังไม่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีระงับข้อพิพาททางเลือกมากกว่าการระงับข้อพิพาทโดยวิธีอื่น จากการศึกษาข้อมูลเอกสารและการสัมภาษณ์ พบว่า สาเหตุมาจากหลักเกณฑ์ วิธีการ ของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน งบประมาณ โดยจำแนกเป็นประเด็นดังนี้

ประเด็นแรก ปัญหาเกี่ยวกับขั้นตอนของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ ซึ่งได้กำหนดขั้นตอนการไกล่เกลี่ยไว้มากเกินความจำเป็น โดยขั้นตอนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง ตามกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เมื่อนายอำเภอได้รับคำร้อง ให้แจ้งคู่พิพาททุกฝ่ายเพื่อสอบถามความประสงค์ในการเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ย หากคู่พิพาททุกฝ่ายประสงค์และยินยอมเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยแล้ว ให้นายอำเภอกำหนดวัน เวลา และสถานที่ เพื่อให้คู่พิพาทมาพร้อมกันเพื่อเลือกผู้ไกล่เกลี่ยและประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ย จากนั้นให้ประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยนัดประชุมคณะผู้ไกล่เกลี่ยภายใน 7 วัน นับแต่วันที่มีคณะผู้ไกล่เกลี่ยครบถ้วน เพื่อพิจารณาคำร้องว่าเป็นการใช้สิทธิโดยไม่สุจริตหรือไม่ หรือการดำเนินการต่อไปจะมีผลให้เกิดการได้เปรียบหรือเสียเปรียบคู่พิพาทฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งในการดำเนินคดีทางศาล และจะมีมติรับหรือไม่รับคำร้องไว้พิจารณา จึงจะดำเนินการไกล่เกลี่ยต่อไป ซึ่งขั้นตอนการพิจารณาคำร้องว่าเป็นการใช้สิทธิโดยไม่สุจริตหรือไม่ หรือการดำเนินการต่อไปจะมีผลให้เกิดการได้เปรียบหรือเสียเปรียบคู่พิพาท

ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งในการดำเนินคดีทางศาลหรือไม่นั้น นายอำเภอสามารถพิจารณาว่าจะรับคำร้องหรือไม่ก่อนแจ้งให้คู่พิพาททุกฝ่ายเพื่อสอบถามความประสงค์ในการเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอได้ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม และกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม โดยมิต้องกำหนดขั้นตอนการนัดประชุมคณะผู้ไกล่เกลี่ยเพื่อพิจารณาว่าจะรับคำร้องหรือไม่ อันจะทำให้ขั้นตอนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอมีขั้นตอนมากเกินความจำเป็น และส่งผลให้กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทล่าช้า ไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอที่ต้องการความรวดเร็ว

ประเด็นที่สอง นอกเหนือจากการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ ตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม และกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติมแล้ว การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งในพื้นที่จังหวัดพะเยายังปรากฏว่ามีกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งวิธีอื่น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอแล้วปรากฏความแตกต่างกัน ดังนี้

กระบวนการไกล่เกลี่ย	ข้อพิพาทที่ไกล่เกลี่ย	ผู้ดำเนินการไกล่เกลี่ย	สภาพบังคับตามข้อตกลง
การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ ตาม -พระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม -และกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม	-ข้อพิพาททางแพ่งที่มีทุนทรัพย์ไม่เกิน 2,000,000 บาท -ข้อพิพาทเกี่ยวกับที่ดิน -ข้อพิพาทเกี่ยวกับมรดก	ผู้ไกล่เกลี่ยที่ผ่านความเห็นชอบของคณะกรรมการจังหวัด ซึ่งขึ้นบัญชีไว้ที่อำเภอ	หากไม่ปฏิบัติตามสัญญาประนีประนอมยอมความให้คู่กรณียื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการ เพื่อเสนอคำร้องให้ศาลออกคำบังคับ
การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน ตาม -พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562	-ข้อพิพาททางแพ่งทุนทรัพย์ไม่เกิน 500,000 บาท -ข้อพิพาทเกี่ยวกับที่ดิน ที่มิใช่ข้อพิพาทเกี่ยวด้วยกรรมสิทธิ์ -ข้อพิพาทระหว่างทายาทเกี่ยวกับทรัพย์มรดก	ผู้ไกล่เกลี่ยที่ผ่านการอบรมหลักสูตรที่คณะกรรมการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติ (กพยช.) รับรองและขึ้นทะเบียนไว้กับกรมคุ้มครองสิทธิและเสรีภาพ และขึ้นบัญชีไว้ในศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน หรือหน่วยงานของรัฐที่ดำเนินการภายใต้	หากคู่กรณีไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงระงับข้อพิพาท คู่กรณีสามารถยื่นคำร้องขอต่อศาลเพื่อให้บังคับตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทภายใน 3 ปี นับแต่วันที่อาจบังคับตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทได้

กระบวนการไกล่เกลี่ย	ข้อพิพาทที่ไกล่เกลี่ย	ผู้ดำเนินการไกล่เกลี่ย	สภาพบังคับตามข้อตกลง
		พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ซึ่งคู่พิพาทสามารถใช้สิทธิโดยตกลงร่วมกันเลือกผู้ไกล่เกลี่ย ที่จะมาทำหน้าที่เป็นผู้ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของคู่พิพาทได้เอง	
การไกล่เกลี่ยโดยคณะกรรมการหมู่บ้านตาม –ข้อบังคับกระทรวงมหาดไทยว่าด้วยการปฏิบัติงานประนีประนอมข้อพิพาทของคณะกรรมการหมู่บ้าน พ.ศ. 2530	–ข้อพิพาททางแพ่งทุกประเภท	คณะกรรมการหมู่บ้าน	สัญญาประนีประนอมยอมความ ซึ่งหากคู่พิพาทไม่ปฏิบัติตามสัญญาประนีประนอมยอมความ คู่พิพาทฝ่ายที่เสียหายต้องไปฟ้องบังคับตามสัญญาประนีประนอมยอมความ

จึงเห็นได้ว่า กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ สามารถไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งที่มีทุนทรัพย์ได้ไม่เกิน 2,000,000 บาท ซึ่งมากกว่าจำนวนทุนทรัพย์ที่การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ที่สามารถทำการไกล่เกลี่ยได้ไม่เกิน 500,000 บาท นอกจากนี้ การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ ยังสามารถไกล่เกลี่ยข้อพิพาทเกี่ยวกับที่ดินได้ทุกประเภท แตกต่างจากการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งโดยภาคประชาชนที่ไม่สามารถไกล่เกลี่ยข้อพิพาทเกี่ยวกับที่ดินที่เป็นข้อพิพาทเกี่ยวด้วยกรรมสิทธิ์ได้ อีกทั้งผลของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม กำหนดให้คู่กรณีสามารถยื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการเสนอต่อศาลออกคำบังคับได้ แต่จำนวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทโดยที่ทำการปกครองอำเภอยังคงมีจำนวนน้อย จึงวิเคราะห์ได้ว่า แม้กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ มีขอบอำนาจในการไกล่เกลี่ยที่มากกว่ากระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน และสภาพบังคับตามกฎหมายของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอจะสามารถยื่นคำร้องให้พนักงานอัยการเสนอต่อศาลออกคำบังคับได้ ซึ่งมีสภาพบังคับตามกฎหมายดีกว่าการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน และการไกล่เกลี่ยโดยคณะกรรมการหมู่บ้าน ไม่ได้ส่งผลกับจำนวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา แต่เกิดจากการที่ประชาชนไม่เห็นถึงประโยชน์ของกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ

ประเด็นที่สาม ประเด็นเรื่องคุณสมบัติบางประการของผู้ไกล่เกลี่ย ผลจากการสัมภาษณ์พบว่า หนึ่งในคุณสมบัติบางประการของผู้ไกล่เกลี่ย ตามกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ย และประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ที่กำหนดว่า ผู้ไกล่เกลี่ยต้องเป็นบุคคลที่มีความรู้หรือมีประสบการณ์เหมาะสมกับการทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท โดยมิได้กำหนดให้ผู้ไกล่เกลี่ยจะต้องได้รับการรับรองหรือผ่านการอบรมหลักสูตรใดหลักสูตรหนึ่งซึ่งเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง ส่งผลให้ความน่าเชื่อถือของผู้ไกล่เกลี่ยที่ขึ้นบัญชีไว้ที่อำเภอน้อยกว่าผู้ไกล่เกลี่ยตามกฎหมายอื่น เช่น ผู้ไกล่เกลี่ย ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ซึ่งผ่านการอบรมหลักสูตรที่คณะกรรมการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติ (กพยช.)รับรองและขึ้นทะเบียนไว้กับกรมคุ้มครองสิทธิและเสรีภาพ

ประเด็นที่สี่ ผลการศึกษาที่ได้จากการสัมภาษณ์ปลัดอำเภอของแต่ละอำเภอ ในพื้นที่จังหวัดพะเยาส่วนใหญ่พบว่า ที่ทำการปกครองอำเภอแต่ละอำเภอในพื้นที่จังหวัดพะเยา ได้รับการจัดสรรงบประมาณจากกรมการปกครองเฉพาะค่าตอบแทนและค่าใช้จ่ายในการเดินทางของคณะผู้ไกล่เกลี่ย กรณีทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่งเท่านั้น ไม่มีการจัดสรรงบประมาณในการสนับสนุนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอในด้านอื่น ๆ ทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนทรัพยากรในการขับเคลื่อนงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของแต่ละอำเภอ ไม่ว่าจะเป็นการขาดแคลนงบประมาณในการดำเนินการไกล่เกลี่ย การประชาสัมพันธ์ จำนวนบุคลากรในการดำเนินงานไม่เพียงพอ ทำให้ปลัดอำเภอที่รับผิดชอบงานศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ ต้องรับผิดชอบงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอด้วย ส่งผลให้เมื่อมีประชาชนร้องขอเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ ซึ่งจะต้องปฏิบัติตามขั้นตอนที่กฎหมายกำหนด ปลัดอำเภอผู้รับผิดชอบงานศูนย์ดำรงธรรมจะเลือกใช้วิธีการเจรจากับคู่กรณี ในฐานะปลัดอำเภอศูนย์ดำรงธรรมเพื่อยุติข้อพิพาทให้ได้เร็วที่สุด โดยไม่เข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ เพื่อลดภาระงานที่เข้ามามากมายด้วย นอกจากนี้ ปลัดอำเภอผู้ทำหน้าที่รับผิดชอบศูนย์ดำรงธรรมแต่ละอำเภอจะมีการลงพื้นที่เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องร้องเรียน หรืองานในความรับผิดชอบอื่น ๆ จึงส่งผลให้การขับเคลื่อนงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอจึงน้อยลง และประชาชนในพื้นที่ไม่เห็นถึงประโยชน์ของกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ

3. แนวทางหรือมาตรการทางกฎหมาย เพื่อพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา

แนวทางหรือมาตรการทางกฎหมาย เพื่อพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ ควรต้องมีการพัฒนากฎหมายในลักษณะลดขั้นตอนและกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งบางขั้นตอนให้น้อยลง ซึ่งจะทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทยุติได้เร็ว แก้ไขคุณสมบัติบางประการของผู้ไกล่เกลี่ยเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผู้ไกล่เกลี่ยที่ทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ

ควรแก้ไขกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 หมวดที่ 2 การดำเนินการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท ข้อ 11 วรรคสอง **จากเดิม** “เมื่อนายอำเภอได้รับคำร้องขอตามวรรคหนึ่งแล้ว ให้แจ้งคู่พิพาทอีกฝ่ายหนึ่งทราบและสอบถามว่าประสงค์จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทหรือไม่ หากเป็นกรณีที่มีคู่พิพาทหลายฝ่าย ให้แจ้งและสอบถามข้อพิพาททุกฝ่าย”

แก้ไขเป็น “เมื่อนายอำเภอได้รับคำร้องขอตามวรรคหนึ่งแล้ว ให้พิจารณาคำร้องว่าเป็นการใช้สิทธิโดยไม่สุจริตหรือไม่ หรือการดำเนินการต่อไปจะมีผลให้เกิดการได้เปรียบหรือเสียเปรียบคู่พิพาทฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งในการดำเนินคดีทางศาล และจะมีมติรับคำร้องไว้พิจารณาหรือไม่ แล้วแจ้งคู่พิพาทอีกฝ่ายหนึ่งทราบและสอบถามว่าประสงค์จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทหรือไม่ หากเป็นกรณีที่มีคู่พิพาทหลายฝ่าย ให้แจ้งและสอบถามข้อพิพาททุกฝ่าย”

ควรยกเลิกข้อ 12 (หมวดที่ 2 การดำเนินการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท) ซึ่งกำหนดขั้นตอน ให้ประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยนัดประชุมคณะผู้ไกล่เกลี่ยภายในเจ็ดวัน นับแต่วันที่มีคณะผู้ไกล่เกลี่ยครบถ้วน เพื่อพิจารณาคำร้องขอไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท ซึ่งเมื่อยกเลิกข้อ 12 แล้ว จะทำให้สามารถดำเนินการไกล่เกลี่ยได้ทันทีเมื่อคู่พิพาททุกฝ่ายประสงค์จะเข้าร่วมการไกล่เกลี่ย

ควรแก้ไขหมวดที่ 1 ข้อ 4 ก คุณสมบัติ (3) ที่กำหนดให้ผู้ไกล่เกลี่ยเป็นบุคคลที่มีความรู้หรือมีประสบการณ์เหมาะสมกับการทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท โดยแก้ไขเพิ่มเติม กำหนดคุณสมบัติของผู้ไกล่เกลี่ยว่าจะต้องผ่านการรับรองหรือผ่านการอบรมหลักสูตรใดหลักสูตรหนึ่งซึ่งเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งที่หน่วยงานของรัฐกำหนดจัดอบรม พร้อมทั้งจัดการอบรมหลักสูตรการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอให้ผู้ที่ประสงค์จะขึ้นบัญชีเป็นผู้ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง ตามกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เพื่อเป็นการเพิ่มความรู้และประสบการณ์ในการทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง ให้มีมาตรฐานและเกิดได้รับความเชื่อถือจากประชาชน

แนวทางในการสนับสนุนการดำเนินงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอให้มากขึ้น โดยการจัดตั้ง “ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ” เพื่อดำเนินการขับเคลื่อนงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ โดยมีนายอำเภอเป็นหัวหน้าศูนย์ไกล่เกลี่ยฯ ดังกล่าว และมอบหมายปลัดอำเภอเป็นเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ไกล่เกลี่ยฯ ดังกล่าว เพื่อรับผิดชอบเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอโดยเฉพาะ ทำหน้าที่พิจารณารับคำร้อง ดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง จัดทำข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนการไกล่เกลี่ย ปัญหา อุปสรรค เกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ ลงพื้นที่เพื่อทำการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ ประสานการดำเนินงานร่วมกับคณะกรรมการหมู่บ้าน, ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน (ศกช.) รวมทั้งประชาสัมพันธ์ และจัดทำโครงการเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่จังหวัดพะเยาเห็นถึงประโยชน์ของกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ และเพื่อให้กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง ของที่ทำการปกครองอำเภอเป็นหนึ่งในกระบวนการยุติธรรมทางเลือกที่ทำให้ประชาชนในพื้นที่จังหวัดพะเยาเกิดความเชื่อมั่นและเลือกใช้กระบวนการดังกล่าว

บทสรุป

จากการศึกษาวิจัยเรื่องการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอ ตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม และกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการยุติธรรมทางเลือกที่รัฐจัดทำขึ้นมาเพื่อเป็นทางเลือกให้กับประชาชน ซึ่งการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอนั้นสามารถไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งเกี่ยวกับที่ดินมรดก รวมทั้งข้อพิพาททางแพ่งอื่นที่มีทุนทรัพย์ไม่เกินสองล้านบาท ตามที่พระราชกฤษฎีกากำหนด และการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท

ทางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอยังมีผลผูกพันคู่พิพาท ทำให้ข้อเรียกร้องเดิมของคู่พิพาทระงับสิ้นไป และได้สิทธิตามสัญญาประนีประนอมยอมความ หากคู่พิพาทฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ปฏิบัติตามสัญญาประนีประนอมยอมความ คู่พิพาทอีกฝ่ายสามารถยื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการที่มีเขตอำนาจรับผิดชอบ และกฎหมายกำหนดให้พนักงานอัยการต้องดำเนินการยื่นคำร้องต่อศาลที่มีเขตอำนาจ เพื่อขอให้ศาลออกคำบังคับให้ตามสัญญาประนีประนอมยอมความให้แก่คู่พิพาท แต่หลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐกำหนดไว้บางส่วน กลับทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอมีขั้นตอนมากเกินความจำเป็น และในเรื่องคุณสมบัติบางประการของผู้ไกล่เกลี่ยที่กำหนดว่า ผู้ไกล่เกลี่ยต้องเป็นบุคคลที่มีความรู้หรือมีประสบการณ์เหมาะสมกับการทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท โดยมิได้กำหนดให้ผู้ไกล่เกลี่ยจะต้องได้รับการรับรองหรือผ่านการอบรมหลักสูตรใดหลักสูตรหนึ่งซึ่งเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง ส่งผลทำให้ความน่าเชื่อถือของผู้ไกล่เกลี่ยที่ขึ้นบัญชีไว้ที่ทำการปกครองอำเภอนั้นน้อย ประกอบกับประชาชนในพื้นที่จังหวัดพะเยายังไม่เห็นถึงประโยชน์ของกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ

เมื่อเปรียบเทียบในข้อที่ดีกว่าของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ กับ กระบวนการระงับข้อพิพาทโดยวิธีอื่น ไม่ว่าจะเป็นจำนวนทุนทรัพย์ที่ทำการปกครองอำเภอสามารถทำการไกล่เกลี่ยได้มากกว่าจำนวนทุนทรัพย์ของศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน (ศกช.) ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 (ศกช. มีจำนวนทุนทรัพย์ที่สามารถทำการไกล่เกลี่ยได้ไม่เกินจำนวน 500,000 บาท ในขณะที่การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ ทุนทรัพย์ที่สามารถทำการไกล่เกลี่ยได้ไม่เกินจำนวน 2,000,000 บาท)

นอกจากนี้ การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ สามารถทำการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทเกี่ยวกับกรรมสิทธิ์ที่ดินได้ทุกประเภท ในขณะที่ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน (ศกช.) ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ไม่สามารถทำการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทเกี่ยวกับที่ดินที่เป็นข้อพิพาทเกี่ยวด้วยกรรมสิทธิ์ได้ ยกเว้นที่ดินที่เกี่ยวกับมรดกระหว่างทายาทด้วยกันเท่านั้น ที่ ศกช.สามารถทำการไกล่เกลี่ยได้ จึงเห็นได้ว่าขอบอำนาจการไกล่เกลี่ยเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอเปิดกว้างมากกว่าการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทโดยศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน (ศกช.)

อีกทั้งในเรื่องการบังคับตามผลของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอเมื่อไกล่เกลี่ยกันได้ และมีการจัดทำสัญญาประนีประนอมยอมความ หากคู่พิพาทฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ปฏิบัติตามสัญญาประนีประนอมยอมความ ให้คู่พิพาทอีกฝ่ายหนึ่งยื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการที่มีเขตอำนาจรับผิดชอบในท้องที่อำเภอที่ดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทนั้น และพนักงานอัยการจะดำเนินการยื่นคำร้องต่อศาลที่มีเขตอำนาจเพื่อให้ออกคำบังคับให้ตามสัญญาประนีประนอมยอมความ ซึ่งแตกต่างจากการบังคับตามผลการไกล่เกลี่ยของศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ที่จะคู่กรณีต้องดำเนินการหรือจัดหาทนายความด้วยตนเอง ในการยื่นคำร้องขอต่อศาลเพื่อให้บังคับตามบันทึกข้อตกลงระงับข้อพิพาท และแตกต่างจากการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งโดยคณะกรรมการหมู่บ้าน ตามข้อบังคับกระทรวงมหาดไทยว่าด้วยการปฏิบัติงานประนีประนอมข้อพิพาทของคณะกรรมการหมู่บ้าน พ.ศ. 2530 ที่ผลของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท มีสภาพบังคับเพียงแค่สัญญาประนีประนอมยอมความ และหากไม่ปฏิบัติตามสัญญาประนีประนอมยอมความ คู่พิพาทฝ่ายที่เสียหายต้องไปฟ้องบังคับตามสัญญาประนีประนอมยอมความเป็นคดีใหม่ซึ่งทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่าย

นอกจากนี้ การขับเคลื่อนงานไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา ยังมีการขับเคลื่อนงานน้อย ขาดการประชาสัมพันธ์ หรือ ขาดการส่งเสริมในการจัดทำโครงการเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา อันเนื่องมาจากงบประมาณในการสนับสนุนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ ดังนั้น เพื่อเป็นการพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอในพื้นที่จังหวัดพะเยา ให้มีจำนวนการไกล่เกลี่ยเพิ่มมากขึ้น แนวทางหรือมาตรการทางกฎหมายเพื่อพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอจึงควรพัฒนากฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ โดยแก้ไขกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เพื่อลดขั้นตอนกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งบางขั้นตอนให้น้อยลง อันจะทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทยุติได้เร็ว นอกจากนี้ควรแก้ไขคุณสมบัติบางประการของผู้ไกล่เกลี่ย โดยกำหนดให้ผู้ไกล่เกลี่ยที่ทำหน้าที่ในที่ทำการปกครองอำเภอต้องมีการผ่านหลักสูตรอบรมผู้ไกล่เกลี่ยที่มีมาตรฐาน เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผู้ไกล่เกลี่ยที่ทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ นอกจากนี้ ควรจัดโครงการที่ส่งเสริมสนับสนุนการดำเนินงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอให้มากขึ้น เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่จังหวัดพะเยาเห็นถึงประโยชน์ของกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ และเพื่อให้กระบวนการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอเป็นหนึ่งในกระบวนการยุติธรรมทางเลือกให้กับประชาชนในพื้นที่ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและการแก้ไขปรับปรุงกฎหมาย

1. ปรับปรุงหลักเกณฑ์ วิธีการ ตามกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม โดยแก้ไขหมวดที่ 2 การดำเนินการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท ข้อ 11 วรรคสอง **จากเดิม** “เมื่อนายอำเภอได้รับคำร้องขอตามวรรคหนึ่งแล้ว ให้แจ้งคู่พิพาทอีกฝ่ายหนึ่งทราบและสอบถามว่าประสงค์จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทหรือไม่ หากเป็นกรณีที่มีคู่พิพาทหลายฝ่ายให้แจ้งและสอบถามข้อพิพาททุกฝ่าย”

แก้ไขเป็น “เมื่อนายอำเภอได้รับคำร้องขอตามวรรคหนึ่งแล้ว ให้พิจารณาคำร้องว่าเป็นการใช้สิทธิโดยไม่สุจริตหรือไม่ หรือการดำเนินการต่อไปจะมีผลให้เกิดการได้เปรียบหรือเสียเปรียบคู่พิพาทฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งในการดำเนินคดีทางศาล และจะมีมติรับคำร้องไว้พิจารณาหรือไม่ แล้วแจ้งคู่พิพาทอีกฝ่ายหนึ่งทราบและสอบถามว่าประสงค์จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทหรือไม่ หากเป็นกรณีที่มีคู่พิพาทหลายฝ่าย ให้แจ้งและสอบถามข้อพิพาททุกฝ่าย”

นอกจากนี้ **ควรยกเลิกข้อ 12** ซึ่งกำหนดขั้นตอนให้ประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ยนัดประชุมคณะผู้ไกล่เกลี่ยภายในเจ็ดวันนับแต่วันที่มีคณะผู้ไกล่เกลี่ยครบถ้วน เพื่อพิจารณาคำร้องขอไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท เพื่อให้สามารถดำเนินการไกล่เกลี่ยได้ทันทีเมื่อคู่พิพาททุกฝ่ายประสงค์จะเข้าร่วมการไกล่เกลี่ย

2. ปรับปรุงหลักเกณฑ์ วิธีการ ตามกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม โดยแก้ไขหมวดที่ 1 ข้อ 4 ก คุณสมบัติ (3) ที่กำหนดให้ผู้ไกล่เกลี่ยเป็นบุคคลที่มีความรู้หรือมีประสบการณ์เหมาะสมกับการทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท โดยกำหนดคุณสมบัติของผู้ไกล่เกลี่ย

ว่าจะต้องผ่านการรับรองหรือผ่านการอบรมหลักสูตรใดหลักสูตรหนึ่งซึ่งเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งที่หน่วยงานของรัฐกำหนดจัดอบรม

3. ที่ทำการปกครองอำเภอทุกอำเภอจัดตั้งศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ เพื่อดำเนินการขับเคลื่อนงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ สนับสนุนงบประมาณสำหรับอบรมกฎหมายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งให้แก่เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ งบประมาณในการประชาสัมพันธ์ และจัดทำโครงการเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่เห็นถึงประโยชน์ของกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ

4. จัดการอบรมหลักสูตรเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของอำเภอให้ผู้ที่ประสงค์จะขึ้นบัญชีเป็นผู้ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งตามกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เพื่อเป็นการเพิ่มความรู้และประสบการณ์ในการทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งให้เป็นมาตรฐานและมีความน่าเชื่อถือ

ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ

1. ที่ทำการปกครองอำเภอจัดตั้งศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ เพื่อดำเนินงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง โดยประสานการดำเนินงานร่วมกับคณะกรรมการหมู่บ้าน ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน รวมทั้งประชาสัมพันธ์ และจัดทำโครงการที่ส่งเสริมสนับสนุนการดำเนินงานเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของที่ทำการปกครองอำเภอ

2. ที่ทำการปกครองอำเภอแต่ละอำเภอ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา จัดทำบันทึกข้อตกลงความร่วมมือระหว่างที่ทำการปกครองอำเภอ กับคณะกรรมการหมู่บ้านในพื้นที่ของที่ทำการปกครองอำเภอ และศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชนในพื้นที่ของที่ทำการปกครองอำเภอ เพื่อบูรณาการร่วมกันในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งที่อยู่นอกเหนือหลักเกณฑ์ของอำเภอ คณะกรรมการหมู่บ้าน และศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน โดยส่งต่อกันในการช่วยระงับข้อพิพาทให้กับประชาชน

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับความเมตตาจากอาจารย์ที่ปรึกษาของผู้เขียนโดยให้คำแนะนำในการศึกษาค้นคว้ารวมถึงแนวคิดต่าง ๆ ล้วนแล้วแต่เป็นประโยชน์ ที่ผู้เขียนสามารถนำมาปรับใช้ และขอขอบคุณในพระคุณของบิดา มารดา และผู้มีอุปการคุณ รวมทั้งปลัดอำเภอและเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ข้อมูลและสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

กรมการปกครอง. (ม.ป.ป.). รายงานผลการดำเนินการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท. **กรมการปกครอง**. ค้นวันที่ 1 เมษายน 2565 จาก https://damrongdhama.dopa.go.th/report/mediation.

จรัสชนม์ จันทราทิพย์. (2560). **ปัญหาการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในธุรกิจประกันภัย**. สารนิพนธ์ น.ม., มหาวิทยาลัยศรีปทุม. กรุงเทพฯ.

นันทวัน วงษ์สุภักดี. (2563). **การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในทางอาญา:ศึกษา พ.ร.บ.การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2652**. วิทยานิพนธ์ น.ม., มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. กรุงเทพฯ.

เนตรนารี สิริยากรนุรักษ์. (2559). **การระงับข้อพิพาทเกี่ยวกับโดเมนเนมโดยการเจรจาไกล่เกลี่ยและการอนุญาโตตุลาการที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ น.ด., มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพฯ.

ประพาฬรัตน์ สุขดิษฐ์. (2561) “การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในคดีแพ่งของศาลยุติธรรม:ศึกษาเปรียบเทียบกฎหมายไทยและสิงคโปร์” การประชุมวิชาการสาขานิติศาตร์ระดับชาติ ครั้งที่ 1 หัวข้อ “ระบบกฎหมายไทย : ปฏิรูป/เปลี่ยนผ่าน/ปฏิสังขรณ์”. โรงแรมแคนทารี ฮิลล์ จังหวัดเชียงใหม่.; หน้า 330.

ป้อมฤดี กุมพันธ์. (2557). **การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทก่อนฟ้องในศาลส่วนคดีนักท่องเที่ยว**. วิทยานิพนธ์ น.ม., สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ผดุงศักดิ์ เทศดี. (ม.ป.ป.). กระบวนการไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาท:กรณีศึกษาเปรียบเทียบกฎหมายไทยกับกฎหมายญี่ปุ่น. **สำนักการต่างประเทศ**. ค้นวันที่ 30 เมษายน 2565 จาก https://oia.coj.go.th/th/content/category/detail/id/8/cid/8058/iid/93790.

พงษ์ธวัฒน์ บุญพิทักษ์. (ม.ป.ป.) การไกล่เกลี่ยก่อนฟ้องตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่งมาตรา 20 ตรี. **สำนักกฎหมาย สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร**. ค้นวันที่ 22 เมษายน 2565 จาก https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/elaw_parcy/ewt_dl_link.php?nid=2602.

ภัทราวรรณ เกตุลักษณ์ และ ธานี วรภัทร์. (2565). การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทโดยภาคเอกชน:ศึกษาตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท. **วารสารนิติ รัฐกิจ และสังคมศาสตร์ สำนักวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย**, ปีที่ 6 ฉบับที่ 1, หน้า 231.

ภาณุพงศ์ เฉลิมสิน. (2564). การระงับข้อขัดแย้งโดยวิธีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท. **กรุงเทพธุรกิจ**. ค้นวันที่ 20 เมษายน 2565 จาก https://www.bangkokbiznews.com/columnist/969894.

ลาวัลย์ นาคดิลก และ สัญญา เคณาภูมิ. (2560). แนวคิดการไกล่เกลี่ยเพื่อยุติข้อพิพาทคดีอาญาในชั้นพิจารณาคดีของศาล. **วารสารสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม**, ปีที่ 4 ฉบับที่ 2, หน้า 64.

สีสุลัน จันดา. (2557). **การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งระดับหมู่บ้าน:ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกฎหมายของประเทศไทยและสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว**. วิทยานิพนธ์ น.ม., สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สุรีรัตน์ ตาใจ. (2559). **ปัญหาอุปสรรคในกระบวนการไกล่เกลี่ยประนีประนอมข้อพิพาทในชั้นศาลในคดีครอบครัว:ศึกษาเฉพาะกรณีศาลเยาวชนและครอบครัวกลาง(สาขามีนบุรี)**. สารนิพนธ์ ศศ.ม., มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อรัชมน พิเชฐวรกุล. (2562). การระงับข้อพิพาททางเลือก. **กรุงเทพธุรกิจ**. ค้นวันที่ 20 เมษายน 2565 จาก https://www.bangkokbiznews.com/blogs/columnist/122222

สภาพปัญหาและแนวทางเพื่อการส่งเสริมกระบวนไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน

Problem Conditions and Guidelines for the Mediation of Dhamrongtham Center, Santisuk District, Nan Province

จุฑาทิพย์ พานพบ[1*] และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ[1]

Jutatip Phanphob [1*] and Wimonrekha Sirichairawan[1]

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและแนวทางเพื่อการส่งเสริมกระบวนไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน โดยศึกษาจากเอกสาร และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของฝ่ายปกครองเปรียบเทียบกับพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 และศึกษาจากข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างผู้ให้ข้อมูลจำนวน 16 คน

ผลการศึกษาสภาพปัญหาของกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน พบว่า ผลการดำเนินงานการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2557 – 2566 มีสถิติการไกล่เกลี่ยสำเร็จร้อยละ 85.58 และมีข้อพิพาทที่ไม่สามารถยุติเรื่องได้คิดเป็นร้อยละ 14.41 พบว่าเกิดจากปัจจัยที่คู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ยินยอมเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทและ ส่วนหนึ่งเกิดจากปัญหาด้านทักษะและความเชี่ยวชาญของผู้ไกล่เกลี่ย ประกอบกับปัญหาด้านการปฏิบัติงานของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข ซึ่งมีบุคลากรไม่เพียงพอกับงาน และขาดความรู้ ทักษะด้านกฎหมายและความรู้ด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ตลอดจนปัญหาด้านข้อจำกัดของกฎหมายไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของฝ่ายปกครอง ดังนั้น ควรมีการปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงานและพัฒนาบุคลากรที่ปฏิบัติหน้าที่รวมทั้ง ผู้ไกล่เกลี่ย ให้มีมาตรฐานและมีความรู้ความเชี่ยวชาญในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทให้มากขึ้น และควรมีการปรับปรุง/แก้ไขเพิ่มเติมกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของฝ่ายปกครองบางส่วนที่ล้าหลัง ให้ทัดเทียมกับพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 เพื่อให้สามารถอำนวยความเป็นธรรมให้แก่ประชาชนอย่างแท้จริง

คำสำคัญ: การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของฝ่ายปกครอง, ศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ, ผู้ไกล่เกลี่ย, พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562

[1] คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] School of Law, University of Phayao, Phayao, 56000

[*]Corresponding author: jutatip.pui2531@gmail.com

Abstract

The purpose of this article is to examine this issue and provide guidelines for facilitating the mediation process. Disputes at Dhamrongtham Center, Santisuk District, Nan Province, by examining documents and laws related to administrative dispute mediation against the Dispute Mediation Act 2019, using information from a sample survey of 16 informants.

Research results on the dispute resolution process issues at the Dhamrongtham Center, Santisuk District, Nan Province show that from 2014 to 2023, the dispute resolution operation results of the Dhamrongtham Center, Santisuk District reached a record-breaking mediation success rate of 85.58% and 14.41% of unresolved disputes. The reason was found to be due to factors in which one of the parties did not agree to participate in the dispute resolution process. This is partly due to issues with the skills and expertise of mediators. In addition, there are also operational issues at the Dhamrongtham Center, Santisuk District. Its staff is inadequate and lacks knowledge. Legal skills and knowledge in dispute resolution and the limitations of administrative law in resolving disputes. Therefore, work processes should improve, as should the people performing their duties, including mediators. Have higher standards and expertise in resolving disputes. Some outdated laws related to administrative dispute arbitration should also be improved/modified only by being equal to the Mediation Act B.E. 2562, so that can bring real justice to the people.

Keywords: Mediation of administrative disputes, Dhamrongtham District Center, the mediator

บทนำ

คณะรัฐมนตรีได้มีมติเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2559 ให้มีการจัดตั้งศูนย์ดำรงธรรมตามประกาศคณะรักษาความสงบแห่งชาติ ฉบับที่ 96/2557 ลงวันที่ 18 กรกฎาคม 2557 ขึ้นในอำเภอ และกำหนดให้ส่วนราชการที่เกี่ยวข้องให้ความร่วมมือและช่วยเหลือนายอำเภอในการแก้ไขปัญหาความเดือดร้อนของประชาชน ที่มีสาเหตุจากการร้องเรียนร้องทุกข์ และให้ผู้ว่าราชการจังหวัดมอบอำนาจตามประกาศ คณะรักษาความสงบแห่งชาติ ฉบับที่ 96/2557 ลงวันที่ 18 กรกฎาคม 2557 ให้แก่นายอำเภอ เพื่อให้ศูนย์ดำรงธรรมที่จัดตั้งขึ้นสามารถแก้ไขปัญหาความเดือดร้อนของประชาชน ที่มีสาเหตุจากการร้องเรียนร้องทุกข์ได้อย่างรวดเร็วมีประสิทธิภาพและทันต่อสถานการณ์[2]

ศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข ตั้งอยู่ ณ ที่ว่าการอำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน มีหน้าที่ตามภารกิจที่รัฐบาลได้มอบหมายเกี่ยวกับการให้บริการประชาชน ตามผังการดำเนินงานศูนย์ดำรงธรรมทั้ง 5 ด้าน ภารกิจด้านการไกล่เกลี่ยกรณีข้อพิพาททางแพ่งและอาญาถือเป็นภารกิจที่มีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก การดำเนินภารกิจของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ ด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งและทางอาญานั้น ได้ดำเนินการโดยอาศัยอำนาจตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/1 , มาตรา 61/2 และ 61/3 กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ. 2553 และพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562

[2] ศูนย์ดำรงธรรม กระทรวงมหาดไทย. **ประวัติศูนย์ดำรงธรรม**. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน 2566. จาก http://www.ins.moi.go.th/damrong1.html.

การศึกษาการบังคับใช้กฎหมายตามอำนาจหน้าที่ของพนักงานฝ่ายปกครองในการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทดังกล่าว กรณีศึกษาในพื้นที่อำเภอสันติสุข แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 3 ตำบล 31 หมู่บ้าน สภาพสังคมมีความเอื้อเฟื้อเผื่อแผ่และเอื้ออาทรต่อกันมากกว่าสังคมในเมือง เมื่อเกิดปัญหาขึ้นจึงเริ่มต้นด้วยการไกล่เกลี่ยพูดคุยประนีประนอมกัน โดยจากสถิติข้อพิพาทที่เข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรมธรรมอำเภอสันติสุขมากว่าร้อยละ 85.58 สามารถตกลงกันได้ แต่ทั้งนี้ก็มีหลายคดีที่ไม่สามารถเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยได้เนื่องจากข้อจำกัดข้อกฎหมายหลายประการ ปัจจุบันอำเภอสันติสุขมีการขยายทางด้านเศรษฐกิจและสังคมอย่างต่อเนื่อง มีการสร้างและพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวมากขึ้น โดยเฉพาะธุรกิจร้านอาหารและสถานที่พัก ทำให้มีนักท่องเที่ยวเข้ามาในพื้นที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดข้อพิพาททั้งทางแพ่ง ทางอาญา มากขึ้น ประกอบกับปัจจุบัน รัฐบาลประกาศให้ “การแก้ไขหนี้นอกระบบ” เป็นวาระชาติโดยจะเปิดให้ลูกหนี้ลงทะเบียนเพื่อนำไปสู่การไกล่เกลี่ยปรับโครงสร้างและปลดภาระหนี้[3] โดยให้ศูนย์ดำรงธรรมอำเภอรับลงทะเบียนลูกหนี้นอกระบบที่ต้องการความช่วยเหลือและดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทที่เกิดขึ้น ดังนั้น ศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จึงมีบทบาทหน้าที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาโดยเฉพาะภารกิจด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งและทางอาญา เพื่อให้สามารถรองรับนโยบายของรัฐบาลในการแก้ไขปัญหาหนี้นอกระบบ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนสามารถอำนวยความเป็นธรรมให้แก่ประชาชนในด้านการแก้ไขปัญหาข้อพิพาทต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งหากคู่กรณีสามารถเจรจาตกลงกันได้จะช่วยยุติปัญหาข้อขัดแย้ง และลดจำนวนคดีเข้าสู่กระบวนการยุติธรรมมากขึ้น ทั้งยังเป็นการอำนวยความสะดวกให้แก่ประชาชน สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการฟ้องร้องคดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติหน้าที่ในศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จึงมีความสนใจอย่างยิ่งที่จะศึกษาถึงสภาพปัญหาและกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข เพื่อจะนำข้อมูลไปปรับปรุงและพัฒนาการดำเนินงานด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข อันจะมีประโยชน์ต่อการพัฒนาองค์การต่อไป

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและประสิทธิภาพของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน

2. เพื่อค้นหาแนวทางหรือมาตรการทางกฎหมายที่เหมาะสม เพื่อส่งเสริมให้กระบวนไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

สมมติฐาน

การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข ช่วยอำนวยความเป็นธรรมให้แก่ประชาชนที่ได้รับความเดือดร้อน ให้ได้รับความเป็นธรรมอย่างเสมอภาค อันเป็นประโยชน์ต่อประชาชนและสังคมโดยรวม แต่ควรต้องมีกฎหมายที่เหมาะสมกับบริบทของการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของอำเภอ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการอำนวยความเป็นธรรมแก่ประชาชน ควรมีการปรับปรุงแก้ไขกฎหมายที่เกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยของฝ่ายปกครองให้มีขอบอำนาจในการปฏิบัติหน้าที่สอดคล้องกับลักษณะคดีที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในพื้นที่อำเภอ รวมทั้งกำหนดหลักเกณฑ์ของการไกล่เกลี่ยให้สอดคล้องกับสภาพสังคมและเศรษฐกิจในปัจจุบัน จะทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอมีประสิทธิภาพ

[3] รัฐบาลไทย ROYAL THAI GOVERNMENT.**การแก้ไขปัญหาหนี้นอกระบบ. เป็นวาระแห่งชาติ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2566. จาก https://www.thaigov.go.th/news/contents/details/75310

วิธีการศึกษา

1. การศึกษาข้อมูลวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) เป็นการศึกษารวบรวมข้อมูลจากเอกสาร การดำเนินงานของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ตลอดจนกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของฝ่ายปกครอง

2. การสัมภาษณ์ (In-Depth Interview) โดยวิธีการสอบถามแต่ละบุคคล ซึ่งกลุ่มเป้าหมาย คือ เจ้าหน้าที่รัฐผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข ประกอบด้วย

- ปลัดอำเภอที่รับผิดชอบงานศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จำนวน 1 คน
- ปลัดอำเภอหัวหน้ากลุ่มงานบริหารงานปกครอง (ในฐานะหัวหน้าสำนักงานศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข) จำนวน 1 คน
- นายอำเภอ (ในฐานะหัวหน้าศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข) จำนวน 1 คน
- เจ้าหน้าที่ปกครอง(ผู้ช่วยเหลือปลัดอำเภอปฏิบัติหน้าที่ของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข) จำนวน 1 คน
- กำนัน จำนวน 2 ตำบล
- ผู้ใหญ่บ้าน จำนวน 5 หมู่บ้าน (คัดเลือกจากสถิติหมู่บ้านที่มีการไกล่เกลี่ยมากที่สุดในอำเภอสันติสุข)
- ผู้ที่เคยทำหน้าที่เป็นผู้ไกล่เกลี่ยของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข (โดยการคัดเลือกผู้ไกล่เกลี่ย ที่เคยปฏิบัติหน้าที่ไกล่เกลี่ยเป็นจำนวนครั้งที่มากที่สุด) จำนวน 5 คน

รวมผู้ให้ข้อมูลทั้งสิ้น จำนวน 16 คน

3.การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล (Data Collection and Data Analyzation) โดยนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งการทบทวนวรรณกรรม การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interview) มาวิเคราะห์ให้ได้ข้อสรุป ข้อเสนอแนวทาง หรือมาตรการทางกฎหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข

ผลการศึกษา

จากการศึกษาค้นคว้าทางเอกสารและการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข ทำให้ทราบปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการไกล่เกลี่ยของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน โดยแยกเป็นประเด็น ดังนี้

1. ผลการดำเนินงานการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน

ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2557 – 2566 มีสถิติการไกล่เกลี่ยทั้งหมด 111 เรื่อง ดำเนินการไกล่เกลี่ยสำเร็จ จำนวน 95 เรื่อง คิดเป็นร้อยละ 85.58 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถิติการไกล่เกลี่ยของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2557 – พ.ศ.2566

ที่	ประเภท	ปี พ.ศ.										
		2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	รวม
1	การกู้ยืมเงิน			20	3	6	3				1	33
2	ที่ดิน		2		2	1	5		3	6		19
3	ผิดสัญญา				7	4	2		1			14
4	ครอบครัว		2			1		1				4
5	มรดก						2	2	2			6
6	อาญา	1							1			2
7	ร้องเรียนร้องทุกข์ทั่วไป	5			6	9	5	4	2	1	1	33
รวมทั้งสิ้น		6	4	20	18	21	17	7	9	7	2	**111**
จำหน่ายเรื่อง		1	1	2	3	4	1	1	1	2	0	**16**
ดำเนินการสำเร็จ		5	3	18	15	17	16	6	8	5	2	**95**
สำเร็จคิดเป็นร้อยละ		**83.33**	**75**	**90**	**83.33**	**80.95**	**94.11**	**85.71**	**88.88**	**71.42**	**100**	**85.58**

ที่มา : ศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน ข้อมูล ณ วันที่ 29 สิงหาคม 2566

จากการศึกษาวิจัย พบว่า ปัจจัยที่ทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมประสบความสำเร็จถึงร้อยละ 85.58 คือ มีกระบวนการบริหารจัดการ และขั้นตอนการดำเนินการไกล่เกลี่ยมีการความรวดเร็ว โดยมีการจัดลำดับความสำคัญของเรื่องที่เข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ย เน้นความรวดเร็วและประสิทธิภาพของผลการไกล่เกลี่ย โดยพยายามหาข้อยุติอย่างเป็นธรรมให้แก่คู่กรณี ลดระยะเวลาและขั้นตอนที่เกินความจำเป็น และการสร้างความเข้าใจให้แก่คู่กรณีให้ยินยอมเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทประสบความสำเร็จ ในส่วนของข้อพิพาทที่มีการจำหน่ายเรื่องออกจากสารบบ จำนวน 16 เรื่อง ซึ่งเป็นคิดร้อยละ 14.41 นั้น พบว่า เกิดจากปัจจัย คือ 1.คู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ยินยอม หรือไม่สามารถมาไกล่เกลี่ยข้อพิพาทได้ โดยผู้ให้สัมภาษณ์ให้ข้อมูลว่า เสนอแนวทางอยากให้มีการเพิ่มอำนาจของศูนย์ดำรงธรรม ในการเรียกให้คู่กรณีอีกฝ่ายมาเพื่อชี้แจงทำความเข้าใจก่อนเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท และควรมีการกำหนดมาตรการหรือบทลงโทษสำหรับคู่กรณีที่จงใจไม่เข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ย เนื่องจากต้องการให้คู่กรณีเสียเปรียบ และ 2. คู่กรณีไม่สามารถตกลงกันหาข้อยุติร่วมกันได้ ส่วนหนึ่งเกิดจากปัญหาด้านทักษะและความเชี่ยวชาญของผู้ไกล่เกลี่ยด้วย

2. ปัญหาอุปสรรคด้านการปฏิบัติงาน

โครงสร้างของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข นั้น มีนายอำเภอเป็นผู้อำนวยการศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ และมีคณะกรรมการอำนวยการศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ (หัวหน้าส่วนราชการประจำอำเภอ ทุกหน่วย ฯลฯ) คณะที่ปรึกษาศูนย์ดำรงธรรมอำเภอที่มาจากทุกภาคส่วนแบบประชารัฐ (ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แทนฝ่ายความมั่นคง ผู้แทนกลุ่มต่าง ๆ ฯลฯ) และให้ปลัดอำเภอหัวหน้ากลุ่มงานบริหารงานปกครอง เป็นหัวหน้าสำนักงานศูนย์ดำรงธรรม โดยสำนักงานศูนย์ดำรงธรรมมีหน้าที่ บูรณาการดำเนินงานมอบหมายผู้รับผิดชอบปฏิบัติหน้าที่ และสนับสนุนฝ่ายปฏิบัติการและฝ่ายรับเรื่อง/ติดตาม โดยแบ่งศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข ออกเป็น 4 ฝ่าย ได้แก่ ฝ่ายรับเรื่อง ฝ่ายปฏิบัติการ ฝ่ายติดตาม ฝ่ายรายงาน

จากการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ พบว่า โครงสร้างของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข มีความเหมาะสมโดยมีการบูรณาการทุกภาคส่วน ในพื้นที่ มีการแต่งตั้งคณะกรรมการอำนวยการ และคณะที่ปรึกษาจากทุกภาคส่วน เพื่อช่วยกันและเป็นการบูรณาการแก้ไขปัญหา และขับเคลื่อนการดำเนินงานของศูนย์ดำรงธรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับ มีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่เป็นระบบและชัดเจน

แต่ในส่วนของการปฏิบัติงานจริงนั้น มีบุคลากรไม่เพียงพอกับงาน ซึ่งศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข มีผู้ปฏิบัติงานจำนวน 2 คน ได้แก่ ปลัดอำเภอ จำนวน 1 คน และ เจ้าหน้าที่ปกครอง จำนวน 1 คน ซึ่งจะต้องรับผิดชอบภารกิจของศูนย์ดำรงธรรมในหลายด้าน มิใช่เฉพาะด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทเพียงอย่างเดียว ทำให้ ไม่สามารถปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างเต็มที่ จึงมีความต้องการให้มีการจัดสรรบุคลากรที่ปฏิบัติหน้าที่ในศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุขเพิ่มขึ้น ประกอบกับเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติหน้าที่ของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุขนั้น ยังขาดความรู้และทักษะด้านกฎหมาย และยังไม่เคยผ่านการอบรมเรื่องการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทมาก่อน

3. ปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดของกฎหมายบางประการ

กฎหมายที่ใช้ในการดำเนินภารกิจของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ ด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งและทางอาญานั้น มีระเบียบ/กฎหมายที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1) พระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/1, มาตรา 61/2 และ 61/3 เรื่องอำนาจหน้าที่ของอำเภอในการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท

2) กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

3) กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ. 2553

4) ระเบียบกรมการปกครอง ว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการในการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่งด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ.2566

5) พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 (นำมาเทียบเคียง เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงกฎหมาย และกฎระเบียบ ข้อบังคับที่ของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ ใช้ในการดำเนินภารกิจ)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ตามกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 และ พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562

ที่	เรื่อง	กรมการปกครอง		กฎหมายกลาง
		กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553	**กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553**	**พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562**
1	ผู้ไกล่เกลี่ย จำนวนผู้ไกล่เกลี่ย การเลือกผู้ไกล่เกลี่ย	– ผู้ไกล่เกลี่ย หมายความว่า บุคคลที่ทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท – ประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ย หมายความว่า นายอำเภอ พนักงานอัยการประจำจังหวัดหรือปลัดอำเภอที่ได้รับมอบหมาย (ข้อ 2)	ให้นายอำเภอหรือปลัดอำเภอของอำเภอนั้นเป็นผู้ไกล่เกลี่ยตามควรแก่กรณี (ข้อ 3)	–ผู้ไกล่เกลี่ย หมายความว่า บุคคลซึ่งได้รับการขึ้นทะเบียนและได้รับการแต่งตั้งให้ทำหน้าที่ในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท (มาตรา 3) –ให้คู่กรณีตกลงแต่งตั้งผู้ไกล่เกลี่ยคนหนึ่งหรือหลายคนจากบัญชีผู้ไกล่

ที่	เรื่อง	กรมการปกครอง		กฎหมายกลาง
		กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553	กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553	พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562
		–คู่พิพาทเลือกผู้ไกล่เกลี่ยของตนและร่วมกันเลือกประธานคณะผู้ไกล่เกลี่ย (ข้อ 11 วรรคสี่) เลือกจากบัญชีรายชื่อที่อำเภอได้จัดทำบัญชีและประกาศไว้แล้ว โดยมีที่มาจากผู้สมัครซึ่งมีคุณสมบัติและคณะกรรมการจังหวัดพิจารณาให้ความเห็นชอบ (ข้อ 3, 4, 5 และ 11 วรรคสี่)		เกลี่ยที่หน่วยงานซึ่งดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทจัดทำไว้ –หากคู่กรณีไม่สามารถตกลงแต่งตั้งผู้ไกล่เกลี่ยได้ คู่กรณีอาจขอให้หน่วยงานซึ่งดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทแต่งตั้งผู้ไกล่เกลี่ยจากบัญชีดังกล่าว (มาตรา 22)
2	เงื่อนไขในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท	1) ข้อพิพาท หมายความว่า ข้อพิพาททางแพ่งเกี่ยวกับที่ดิน มรดก และ ข้อพิพาททางแพ่งอื่นที่มีทุนทรัพย์ไม่เกินสองล้านบาท (ข้อ 2 ประกอบ พ.ร.ฎ. การกำหนดทุนทรัพย์ฯ พ.ศ. 2565) 2) ข้อพิพาทของประชาชนที่มีคู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งมีภูมิลำเนาอยู่ในเขตอำเภอ (มาตรา 61/2 พ.ร.บ.ระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2550) 3) คู่พิพาททุกฝ่ายตกลงยินยอมที่จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท (ข้อ 11 วรรคสาม)	1) ความผิดที่มีโทษทางอาญา หมายความว่า ความผิดที่มีโทษทางอาญาตามประมวลกฎหมายอาญา หรือกฎหมายอื่นที่เป็นความผิดอันยอมความได้ และมิใช่ความผิดเกี่ยวกับเพศ (ข้อ 2) 2) ข้อพิพาทเกิดขึ้นในเขตอำเภอนั้น (ข้อ 3) 3) ผู้เสียหายและผู้ถูกกล่าวหาทุกฝ่ายยินยอมหรือแสดงความจำนงที่จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ย (ข้อ 4 วรรคสาม)	1) ข้อพิพาทเกี่ยวด้วยสิทธิแห่งสภาพบุคคล สิทธิในครอบครัว หรือกรรมสิทธิในอสังหาริมทรัพย์ไม่สามารถไกล่เกลี่ยได้ ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งได้ในกรณี (1) ข้อพิพาทเกี่ยวกับที่ดินที่มิใช่ข้อพิพาทเกี่ยวด้วยกรรมสิทธิ์ (2) ข้อพิพาทระหว่างทายาทเกี่ยวกับทรัพย์มรดก (3) ข้อพิพาทอื่นตามที่กำหนดใน พ.ร.ฎ. (4) ข้อพิพาททางแพ่งอื่นที่มีทุนทรัพย์ไม่เกินห้าล้านบาท (มาตรา 20) 2) ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาได้ในกรณี (1) ความผิดอันยอมความได้ (2) ความผิดลหุโทษ ตามมาตรา 390, 391, 392, 393, 394, 395 และ 397 แห่ง ป.อาญา และความผิดลหุโทษตามกฎหมายอื่นที่ไม่กระทบต่อส่วนรวมตามที่กำหนดใน พ.ร.ฎ. (มาตรา 35)

ที่	เรื่อง	กรมการปกครอง		กฎหมายกลาง
		กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553	กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553	พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562
				3)ไกล่เกลี่ยข้อพาทอทางอาญาในชั้นการสอบสวนให้กระทำได้ในคดีความผิดดังต่อไปนี้ (1) คดีความผิดอันยอมความได้ (2) ความผิดลหุโทษ ตามมาตรา 390, 391, 392, 393, 394, 395 และ 397 แห่ง ป.อาญา และความผิดลหุโทษตามกฎหมายอื่นที่ไม่กระทบต่อส่วนรวมตามที่กำหนดใน พ.ร.ฎ. (3) ความผิดที่มีอัตราโทษจำคุกอย่างสูงไม่เกินสามปีตามบัญชีแนบท้าย พ.ร.บ. นี้ (มาตรา 41)
3	คุณสมบัติของผู้ไกล่เกลี่ย	<u>คุณสมบัติ</u> (1) มีอายุต่ำกว่า 35 ปีบริบูรณ์ ในวันสมัคร (2) มีภูมิลำเนาตามหลักฐานทะเบียนราษฎรในเขตอำเภอที่สมัคร (3) เป็นบุคคลที่มีความรู้หรือมีประสบการณ์เหมาะสมกับการทำหน้าที่ไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท <u>ลักษณะต้องห้าม</u> (1) เป็นข้าราชการหรือเจ้าหน้าที่อื่นของรัฐ (2) เป็นบุคคลล้มละลาย คนเสมือนไร้ความสามารถ หรือคนวิกลจริตหรือจิตฟั่นเฟือนไม่สมประกอบ (3) เป็นผู้เคยได้รับโทษจำคุกโดยคำพิพากษาถึงที่สุดให้จำคุก เว้นแต่เป็นโทษสำหรับความผิดที่ได้กระทำโดยประมาทหรือความผิดลหุโทษ	นายอำเภอหรือปลัดอำเภอที่นายอำเภอมอบหายให้เป็นผู้ไกล่เกลี่ย (ข้อ 3)	<u>คุณสมบัติ</u> (1) ผ่านการอบรมการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทตามหลักสูตรที่คณะกรรมการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติตามกฎหมายว่าด้วยการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติรับรอง (2) เป็นผู้มีประสบการณ์ในด้านต่าง ๆ อันจะเป็นประโยชน์แก่การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท <u>ลักษณะต้องห้าม</u> (1) เคยรับโทษจำคุกโดยคำพิพากษาถึงที่สุด เว้นแต่เป็นโทษสำหรับความผิดที่ได้กระทำโดยประมาทหรือความผิดลหุโทษ (2) เป็นคนไร้ความสามารถ คนเสมือนไร้ความสามารถ หรือคนวิกลจริตหรือจิตฟั่นเฟือนไม่สมประกอบ

ที่	เรื่อง	กรมการปกครอง		กฎหมายกลาง
		กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553	**กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553**	**พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562**
		(4) เป็นผู้ดำรงตำแหน่งทางการเมือง กรรมการหรือผู้ดำรงตำแหน่งอื่นซึ่งรับผิดชอบการบริหารพรรคการเมืองที่ปรึกษาในพรรคการเมือง (ข้อ 4)		(3) เคยถูกเพิกถอนการเป็นผู้ไกล่เกลี่ย ตาม พ.ร.บ.นี้ และยังไม่พ้นห้าปีนับถึงวันยื่นคำขอรับรองหนังสือรับรองการขึ้นทะเบียนเป็นผู้ไกล่เกลี่ย (มาตรา 10)
4	สภาพบังคับของข้อสัญญา	มีสภาพบังคับเสมือนสัญญาอนุโตตุลาการตาม พ.ร.บ. อนุญาโตตุลาการ พ.ศ. 2545 หากคู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งยื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการให้ศาลออกคำบังคับตามสัญญาประนีประนอมดังกล่าว	เมื่อผู้เสียหายและผู้ถูกกล่าวหายินยอมเป็นหนังสือตามที่ไกล่เกลี่ยและปฏิบัติตามคำไกล่เกลี่ยดังกล่าวแล้วให้ดีอาญาเป็นอันเลิกกัน	เมื่อคู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งเรียกร้องให้คู่กรณีอีกฝ่ายหนึ่งปฏิบัติตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทแล้ว แต่คู่กรณีฝ่ายที่ถูกเรียกร้องนั้นไม่ปฏิบัติตามข้อตกระงับข้อพิพาท คู่กรณีฝ่ายที่เรียกร้องอาจยื่นคำร้องขอต่อศาลเพื่อให้บังคับตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทได้ –การร้องขอตามวรรคหนึ่งต้องกระทำภายใน 3 ปีนับแต่วันที่อาจบังคับตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทได้ –ถ้าไม่ได้ร้องขอภายในกำหนดดังกล่าว ให้มูลหนี้ตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทนั้นเป็นอันระงับไป –การร้องขอตามวรรคหนึ่งให้ยื่นต่อศาลยุติธรรมที่คู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งมีภูมิลำเนาอยู่ในเขตศาล หรือศาลยุติธรรมที่มีเขตอำนาจพิจารณาพิพากษาข้อพิพาทซึ่งได้มีการไกล่เกลี่ยนั้น และเสียค่าขึ้นศาลตาม ป.วิ.แพ่ง ในอัตราเดียวกับคำร้องขอให้ศาลบังคับคดีตามคำชี้ขาดของอนุญาโตตุลาการในประเทศ (มาตรา 32)

ที่มา: สำนักการสอบสวนและนิติการ ส่วนอำนวยความเป็นธรรม กรมการปกครอง

ในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของฝ่ายปกครองนั้นกฎหมายให้มีหน้าที่และอำนาจในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งและทางอาญาได้ตามที่กฎหมายกำหนดให้มีหน้าที่และอำนาจไว้โดยเฉพาะ ตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 มาตรา 62/1, 62/2 และ 61/3 ดังนั้น จึงสามารถที่จะดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทได้สองระบบ คือ

1) ทำการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทไปตามขอบเขตประเภทของข้อพิพาท ที่พระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 กำหนดให้มีหน้าที่และอำนาจ โดยไม่ต้องปฏิบัติตามบทบัญญัติของพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562

2) ทำการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทไปตามขอบเขตประเภทของข้อพิพาทและทุนทรัพย์ ที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562

โดยจากการศึกษาเปรียบเทียบการไกล่เกลี่ยตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/1 ,มาตรา 61/2 และ 61/3 เรื่องอำนาจหน้าที่ของอำเภอในการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาท กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ. 2553 พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 สามารถเปรียบเทียบในแต่ละประเด็นได้ดังนี้

3.1 ผู้ไกล่เกลี่ย จำนวนผู้ไกล่เกลี่ย และการเลือกผู้ไกล่เกลี่ย

จากการเปรียบเทียบประเด็น ผู้ไกล่เกลี่ย จำนวนผู้ไกล่เกลี่ย และการเลือกผู้ไกล่เกลี่ย ของกฎหมายทั้งสามฉบับนั้น เห็นได้ว่า ในการคัดเลือกผู้ไกล่เกลี่ย ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/2 ประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 มีความคล้ายคลึงกัน โดยจะประกอบไปด้วย ผู้ไกล่เกลี่ยและประธานผู้ไกล่เกลี่ย แต่แตกต่างกันตรงที่คุณสมบัติของผู้ไกล่เกลี่ยตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ย ข้อพิพาท พ.ศ.2562 จะต้องผ่านการอบรมการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ตามหลักสูตรที่คณะกรรมการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติ (กพยช.) รับรอง ตามกฎหมายว่าด้วยการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติ ซึ่งคุณสมบัติของผู้ไกล่เกลี่ยดังกล่าว จะทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดความน่าเชื่อ เนื่องจากความรู้ความสามารถและประสบการณ์ของผู้ไกล่เกลี่ย ถือเป็นสิ่งที่สำคัญ

ในส่วนของคดีอาญานั้น ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/3 ประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 ผู้ไกล่เกลี่ยถูกกำหนดให้เฉพาะนายอำเภอหรือปลัดอำเภอเท่านั้น ผู้เสียหายไม่มีสิทธิเลือกผู้ไกล่เกลี่ยได้ ซึ่งจากข้อมูลผู้ให้สัมภาษณ์นั้น พบว่า ในกรณีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา ที่กำหนดเฉพาะให้นายอำเภอหรือปลัดอำเภอเท่านั้นเป็นผู้ไกล่เกลี่ย ในความเป็นจริงนั้นโดยส่วนใหญ่ปลัดอำเภอจะทำหน้าที่ผู้ไกล่เกลี่ย เนื่องจากมีการไกล่เกลี่ยเป็นจำนวนมาก นายอำเภอก็มักจะมอบหมายให้ปลัดอำเภอเป็นผู้ดูแลการไกล่เกลี่ย โดยเฉพาะอำเภอขนาดเล็กจะมีบุคลากรน้อย ปลัดอำเภอส่วนใหญ่ไม่มีคุณวุฒิทางด้านนิติศาสตร์ และไม่เคยผ่านการอบรมด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทมาก่อน จึงทำให้คู่กรณีเกิดความไม่มั่นใจตัวของผู้ไกล่เกลี่ย แต่ทั้งนี้หากทางอำเภอจะทำการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทไปตามขอบเขตประเภทของข้อพิพาทและทุนทรัพย์ที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 ก็สามารถทำได้ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ก็ยังติดปัญหาที่ว่า ในที่ว่าการอำเภอสันติสุข ไม่มีผู้ใดได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นผู้ไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการขึ้นทะเบียนผู้ไกล่เกลี่ย ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 ดังนั้น หากคู่พิพาทมีความประสงค์จะไกล่เกลี่ย ตามขั้นตอนและวิธีการที่กำหนดไว้ตามพระราชบัญญัติไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 ก็จะต้องไปยื่นคำร้องต่อหน่วยงานของรัฐ หรือศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อ

พิพาทอื่นที่มีอำนาจ ซึ่งอยู่ต่างพื้นที่ ซึ่งก็จะเป็นการเสียเวลา และเสียงบประมาณในการต้องเดินทางไปยังต่างพื้นที่เพื่อขอเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ย

3.2 เงื่อนไขในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท

จากการเปรียบเทียบประเด็นเงื่อนไขในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พบว่ามีปัญหา คือ

1) การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง ที่มีทุนทรัพย์เกินกว่า 2,000,000 บาท จะไม่สามารถไกล่เกลี่ยตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/1 ประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และ พระราชกฤษฎีกากำหนดทุนทรัพย์การไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่งอื่น พ.ศ. 2565 (พ.ร.ฎ.กำหนดทุนทรัพย์ฯ พ.ศ. 2565) เนื่องจากไม่อยู่ในอำนาจของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ คู่กรณีจะต้องไปยื่นความประสงค์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ณ ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของหน่วยงานอื่นที่มีอำนาจ

2) การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/3 ประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 ต้องเป็นความผิดที่มีโทษทางอาญา ตามประมวลกฎหมายอาญา หรือกฎหมายอื่นที่เป็นความผิดอันยอมความได้ และมิใช่ความผิดเกี่ยวกับเพศ และข้อพิพาทนั้นเกิดขึ้นในเขตอำเภอนั้น โดยผู้เสียหายและผู้ถูกกล่าวหาทุกฝ่ายยินยอมหรือแสดงความจำนงที่จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ย

แต่ในส่วนของพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 นั้น สามารถมีการไกล่เกลี่ยในกรณีความผิดลหุโทษได้ (หน่วยงานของรัฐ เช่น ศาล, สำนักงานยุติธรรมจังหวัด, ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน และการไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ที่สถานีตำรวจต่างๆ) และความผิดที่มีอัตราโทษจำคุกอย่างสูงไม่เกิน 3 ปี (การไกล่เกลี่ยในชั้นพนักงานสอบสวน ที่สถานีตำรวจต่างๆ) ซึ่งต้องเป็นกรณีที่ผู้ต้องหาไม่เคยได้รับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 มาก่อน เว้นแต่ เป็นความผิดที่ได้กระทำโดยประมาท คดีความผิดลหุโทษ ซึ่งพ้นระยะเวลาเกิน 3 ปี นับแต่มีคำสั่งยุติคดี และผู้ต้องหาไม่อยู่ระหว่างต้องคำพิพากษาถึงที่สุดให้จำคุก หรือพ้นโทษมาแล้วเกินกว่า 5 ปี เว้นแต่ เป็นคดีความผิดที่ได้กระทำโดยประมาท คดีความผิดลหุโทษ หรือคดีความผิดที่ผู้ต้องหาได้กระทำในขณะที่มีอายุต่ำกว่า 18 ปี และยังสามารถไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาในชั้นสอบสวนได้

เห็นได้ว่า การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/3 ประกอบ กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 นั้น มีข้อจำกัดมากกว่า ซึ่งหากเป็นความผิดลหุโทษ หรือความผิดโดยประมาท หรือความผิดที่อยู่ในชั้นสอบสวน ก็จะไม่สามารถไกล่เกลี่ยได้ ซึ่งในความเป็นจริงนั้น อำเภอสันติสุขเป็นอำเภอขนาดเล็ก มีประชากรประมาณ 15,000 คน อัตราการเกิดคดีอาญาส่วนใหญ่จะเป็นความผิดลหุโทษ และความผิดที่ได้กระทำโดยประมาทเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น ศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุขจึงไม่สามารถไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของคดีอาญาลักษณะดังกล่าวได้ จากสถิติการเกลี่ยไกล่ข้อพิพาททางอาญา ของอำเภอสันติสุข ตั้งแต่ ปีพ.ศ. 2557 – พ.ศ. 2565 จึงมีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา เพียงจำนวน 2 เรื่อง ซึ่งล้วนเป็นความผิดอาญายอมความได้ เห็นได้ว่า การระงับข้อพิพาทโดยการไกล่เกลี่ยทางอาญานั้น จากข้อจำกัดดังที่กล่าวมา ส่งผลให้ศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข จึงยังไม่ได้ช่วยระงับข้อพิพาทในพื้นที่มากนัก

3.3 สภาพบังคับของข้อสัญญา

จากการเปรียบเทียบสภาพบังคับของข้อสัญญา ของกฎหมายทั้งสามฉบับนั้น เห็นว่า ในกรณีข้อสัญญาที่ทำในกระบวนการไกล่เกลี่ย ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/2 ประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 มีข้อดี คือ สามารถบังคับได้และเกิดประโยชน์ต่อผู้ไกล่เกลี่ยอย่างแท้จริง

ดังตัวอย่างกรณีศึกษาในพื้นที่อำเภอสันติสุขมีข้อพิพาทเมื่อปี พ.ศ.2564 เป็นข้อพิพาททางแพ่งเกี่ยวกับการเรียกค่าเสียหายจากคดีละเมิด จำนวน 1 เรื่อง ทุนทรัพย์ไม่เกิน 200,000 บาท (ขณะนั้นยังไม่มีพระราชกฎษฎีกากำหนดทุนทรัพย์การไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่งอื่น พ.ศ.2565) ซึ่งได้ดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทและมีการตกลงโดยทำสัญญาประนีประนอมยอมความระหว่างคู่พิพาท ต่อมา คู่กรณีไม่ปฏิบัติตามสัญญา คู่กรณีฝ่ายที่เสียหายจึงได้ยื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการที่มีเขตอำนาจรับผิดชอบในท้องที่อำเภอที่ดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท และพนักงานอัยการได้ดำเนินการยื่นคำร้องต่อศาลที่มีเขตอำนาจ เพื่อให้ออกคำบังคับให้ตามสัญญาประนีประนอมยอมความดังกล่าว และได้มีการปฏิบัติตามจนข้อยุติข้อพิพาทแล้ว

เห็นได้ว่า กฎหมายของฝ่ายปกครองนั้นมีข้อดี เทียบเท่ากับพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 ในการบังคับตามข้อตกลงระงับข้อพิพาท มาตรา 32 ซึ่งเมื่อคู่กรณีฝ่ายหนึ่งเรียกร้องให้คู่กรณีอีกฝ่ายหนึ่งปฏิบัติตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทแล้ว แต่คู่กรณีฝ่ายที่ถูกเรียกร้องนั้นไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงระงับข้อพิพาท คู่กรณีฝ่ายที่เรียกร้องอาจยื่นคำร้องขอต่อศาลเพื่อให้บังคับตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทได้ นอกจากนี้ กฎหมายของฝ่ายปกครองนั้น มีข้อดีในส่วนของระบุหน่วยงาน คือ พนักงานอัยการ ให้เป็นผู้ที่ทำหน้าที่ในการช่วยเหลือประชาชนในการบังคับสัญญาประนีประนอมยอมความ โดยกำหนดให้พนักงานอัยการเป็นผู้ยื่นคำร้องต่อศาลในการบังคับผลให้เป็นไปตามสัญญาประนีประนอมยอมความ มากกว่าการบังคับตามบันทึกข้อตกลงระงับข้อพิพาท ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 ซึ่งมิได้กำหนดให้คู่กรณีสามารถยื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการที่มีเขตอำนาจรับผิดชอบในท้องที่อำเภอที่ดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ทำให้คู่กรณีฝ่ายที่ต้องเสียหาย ต้องไปดำเนินร้องต่อศาลให้บังคับให้ด้วยตนเอง

แต่ในส่วนของข้อพิพาททางอาญา ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/2 ประกอบ กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 เมื่อผู้เสียหายและผู้ถูกกล่าวหายินยอมเป็นหนังสือตามที่ไกล่เกลี่ยและปฏิบัติตามคำไกล่เกลี่ยดังกล่าวแล้ว ให้คดีอาญาเป็นอันเลิกกัน แต่หากคู่กรณีไม่ยอมปฏิบัติตามที่ไกล่เกลี่ย ให้จำหน่ายข้อพิพาทนั้น สัญญาไม่สามารถบังคับได้ คู่กรณีก็ต้องกลับเข้าสู่กระบวนการทางศาลต่อไป ซึ่งทำให้ไม่สามารถอำนวยความสะดวกในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทแก่ประชาชนอย่างแท้จริง จากสถิติการเกลี่ยไกล่ข้อพิพาททางอาญาของอำเภอสันติสุข ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2557 – พ.ศ. 2565 มีการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาเพียงจำนวน 2 เรื่อง และได้จำหน่ายเรื่องออกจากสารบบความทั้ง 2 เรื่อง เนื่องจากคู่กรณีไม่ปฏิบัติตามหนังสือตกลงยินยอม เมื่อเทียบกับพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 มาตรา 37 ซึ่งหากคู่กรณีทำข้อตกลงระงับข้อพิพาททางอาญาที่คู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งอาจมีสิทธิฟ้องคดีแพ่งที่เกี่ยวเนื่องกับคดีอาญา ตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญาให้สิทธินำคดีอาญามาฟ้องระงับ เมื่อคู่กรณีได้ปฏิบัติตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทในส่วนแพ่งแล้ว ในกรณีที่คู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทในส่วนแพ่ง ให้คู่กรณีอีกฝ่ายหนึ่งดำเนินการเพื่อให้มีการบังคับตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทตามมาตรา 32 ได้

บทสรุป

จากผลการศึกษาวิจัยพบว่า ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานการไกล่เกลี่ยของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุขมีดังนี้

ประเด็นปัญหาที่ 1 ผลการดำเนินงานการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2557 – 2566 มีสถิติการไกล่เกลี่ยทั้งหมด 111 เรื่อง ดำเนินการไกล่เกลี่ยสำเร็จจำนวน 95 เรื่อง คิดเป็นร้อยละ 85.58 ปัจจัยที่ทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทประสบความสำเร็จคือ กระบวนการบริหารจัดการและขั้นตอนการดำเนินการไกล่เกลี่ยที่มีประสิทธิภาพ เน้นความรวดเร็วและประสิทธิภาพของผลการไกล่เกลี่ยโดยพยายามหาข้อยุติอย่างเป็นธรรมให้แก่คู่กรณี และการสร้างความเข้าใจให้แก่คู่กรณีให้ยินยอมเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท

ในส่วนของข้อพิพาทที่มีการจำหน่ายเรื่องออกจากสารบบ จำนวน 16 เรื่อง ซึ่งเป็นคิดร้อยละ 14.41 นั้น พบว่าเกิดจากปัจจัยที่คู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ยินยอม หรือไม่สามารถมาไกล่เกลี่ยข้อพิพาทได้ และอีกปัจจัยหนึ่ง คือ คู่กรณีไม่สามารถตกลงกันหาข้อยุติร่วมกันได้ และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากปัญหาด้านทักษะและความเชี่ยวชาญของผู้ไกล่เกลี่ยด้วย

ประเด็นปัญหาที่ 2 ปัญหาด้านการปฏิบัติงานของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข ในด้านการปฏิบัติงานนั้นมีบุคลากรไม่เพียงพอกับงาน ประกอบกับเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติหน้าที่ของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข ยังขาดความรู้และทักษะด้านกฎหมาย และยังไม่เคยผ่านการอบรมเรื่องการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทมาก่อน

ประเด็นปัญหาที่ 3 ปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดของกฎหมาย ซึ่งได้แก่

1) ผู้ไกล่เกลี่ย จำนวนผู้ไกล่เกลี่ย และการเลือกผู้ไกล่เกลี่ย ซึ่งผู้ไกล่เกลี่ยของกฎหมายของฝ่ายปกครอง ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ. 2550 มาตรา 61/2 ประกอบ กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 ไม่ได้กำหนดว่าจะต้องผ่านการอบรมการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทตามหลักสูตรที่คณะกรรมการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติ ตามกฎหมายว่าด้วยการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติรับรอง ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความน่าเชื่อ ในส่วนของคดีอาญา ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/3 ประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 ผู้ไกล่เกลี่ยกำหนดให้เฉพาะนายอำเภอหรือปลัดอำเภอ ซึ่งในความเป็นจริงนั้นส่วนใหญ่ปลัดอำเภอจะทำหน้าที่ผู้ไกล่เกลี่ย เนื่องจากมีการไกล่เกลี่ยเป็นจำนวนมาก นายอำเภอก็มักจะมอบหมายให้ปลัดอำเภอเป็นผู้ดูแลการไกล่เกลี่ย และปลัดอำเภอส่วนใหญ่ไม่มีคุณวุฒิทางด้านนิติศาสตร์ และไม่เคยผ่านการอบรมด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทมาก่อน จึงทำคู่กรณีเกิดความไม่มั่นใจตัวของผู้ทำหน้าที่ไกล่เกลี่ย

2) เงื่อนไขในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท การไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่ง ที่มีทุนทรัพย์เกินกว่า 2,000,000 บาท (สองล้านบาท) จะไม่สามารถไกล่เกลี่ย ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/2 ประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ. 2553 และ พระราชกฤษฎีกากำหนดทุนทรัพย์การไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่งอื่น พ.ศ. 2565 ได้ จะต้องไกล่เกลี่ยตามหลักเกณฑ์และวิธีการของพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ซึ่งศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุขไม่สามารถทำได้

นอกจากนี้ ในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญา ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/3 ประกอบ กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 นั้นมีข้อจำกัดมากกว่าเงื่อนไขการไกล่เกลี่ยข้อพาทตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 คือ หากเป็นความผิดลหุโทษ หรือความผิดโดยประมาท หรือความผิดที่อยู่ในชั้นสอบสวน ก็จะไม่สามารถไกล่เกลี่ยได้ ซึ่งอำเภอสันติสุขเป็นอำเภอขนาดเล็กมีประชากรประมาณ 15,000 คน อัตราการเกิดคดีอาญาส่วนใหญ่มักจะเป็นความผิดลหุโทษ หรือความผิดที่ได้กระทำโดยประมาทเป็นส่วนใหญ่ ศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุขจึงไม่สามารถไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในคดีดังกล่าวได้

3) สภาพบังคับของข้อสัญญา ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/2 ประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 มีข้อดี คือ สามารถบังคับได้โดยหากคู่กรณีไม่ปฏิบัติตามสัญญาประนีประนอมยอมความ คู่กรณีสามารถยื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการที่มีเขตอำนาจรับผิดชอบในท้องที่อำเภอที่ดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท เพื่อให้พนักงานอัยการยื่นคำร้องต่อศาลที่มีเขตอำนาจเพื่อให้ออกคำบังคับให้ตามสัญญาประนีประนอมยอมความดังกล่าวได้ แสดงให้เห็นว่ากฎหมายของฝ่ายปกครองนั้น มีข้อดีในส่วนของการบังคับสัญญาประนีประนอมยอมมากกว่าการบังคับตามบันทึกข้อตกลงระงับข้อพพิพาท ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 ซึ่งมิได้กำหนดให้คู่กรณีสามารถยื่นคำร้องต่อพนักงานอัยการที่มีเขตอำนาจรับผิดชอบในท้องที่อำเภอที่ดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ทำให้คู่กรณีฝ่ายที่ต้องเสียหาย ต้องไปดำเนินร้องต่อศาลให้บังคับให้ด้วยตนเอง

ในส่วนของข้อพิพาททางอาญา ตามหลักเกณฑ์ในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/3 ประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 เมื่อผู้เสียหายและผู้ถูกกล่าวหายินยอมเป็นหนังสือตามที่ไกล่เกลี่ยและปฏิบัติตามบันทึกการไกล่เกลี่ยดังกล่าวแล้ว ให้คดีอาญาเป็นอันเลิกกัน แต่หากคู่กรณีไม่ยอมปฏิบัติตามบันทึกการไกล่เกลี่ย ให้จำหน่ายข้อพิพาทนั้น สัญญาไม่สามารถบังคับได้ โดยคู่กรณีก็ต้องกลับเข้าสู่กระบวนการทางศาลต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1 .ควรมีการประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างการรับรู้ให้แก่ประชาชนในพื้นที่ทราบถึงข้อดีและประโยชน์ของการเข้าสู่ระบบการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอให้มากขึ้น เพราะการยินยอมเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของคู่กรณีเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทประสบความสำเร็จ

2. ควรมีการจัดสรรกรอบของบุคลากรในการปฏิบัติหน้าที่ให้มีความเพียงพอกับงาน โดยเฉพาะด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ควรมีบุคลากร (เจ้าหน้าที่ฝ่ายปกครอง) ที่ดูแลรับผิดชอบเรื่องการไกล่เกลี่ยโดยเฉพาะ อย่างน้อย 1 คน และบุคลากร (เจ้าหน้าที่ฝ่ายปกครอง) ที่ปฏิบัติงานด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทนั้น จะต้องได้รับการอบรมความรู้เกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทด้วย

3. ควรมีการปรับปรุงกฎหมายการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทของฝ่ายปกครอง โดยเทียบเคียงข้อดีจากพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 มาเพิ่มเติม ดังนี้

3.1 ประเด็นของคุณสมบัติของผู้ไกล่เกลี่ย ควรมีการออกกฎหมายเป็นระเบียบกระทรวงมหาดไทยกำหนดคุณสมบัติของผู้ไกล่เกลี่ย ตามกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2553 และกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 เพิ่มขึ้น โดยผู้ที่จะขึ้นบัญชีเป็นผู้ไกล่เกลี่ย

ข้อพิพาทของอำเภอนั้น จะต้องผ่านการอบรมและได้รับใบรับรองหลักสูตรการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของฝ่ายปกครองและผู้ไกล่เกลี่ยที่ขึ้นบัญชีไว้นั้น สามารถไกล่เกลี่ยได้ทั้งข้อพิพาททางแพ่งและทางอาญา

3.2 ประเด็นเงื่อนไขของข้อพิพาททางอาญาที่จะเข้าสู่กระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ ที่บัญญัติไว้ในมาตรา 61/3 แห่งพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 ประกอบกับ กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ. 2553 ควรแก้ไขเพิ่มเติมให้สามารถไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาได้ในกรณีความผิดลหุโทษ ตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 390, 391, 392, 393, 394, 395 และ 397 ได้ด้วย เนื่องจากในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท โดยศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 ก็ได้ให้อำนาจผู้ไกล่เกลี่ยสามารถไกล่เกลี่ยได้ด้วย เพื่อเป็นการช่วยยุติข้อพิพาทที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในพื้นที่การดูแลของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ

3.3 ประเด็นเรื่องมาตรการบังคับภายหลังจากที่ได้ไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ.2534 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2550 มาตรา 61/3 วรรคสอง ประกอบกฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553 ข้อ 12 ควรกำหนดมาตรการในการบังคับของหนังสือตกลงยินยอม และบันทึกการตกลงยินยอมให้มีสภาพบังคับเช่นเดียวกับที่พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562 ได้กำหนดสภาพบังคับไว้ใน มาตรา 32 และ มาตรา 37

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก คณาจารย์คณะนิติศาสตร์มหาวิทยาลัยพะเยา ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดียิ่ง ทั้งนี้ขอขอบคุณที่ทำการปกครองอำเภอสันติสุข และเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานศูนย์ดำรงธรรมอำเภอสันติสุข และผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

พระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

กฎกระทรวงว่าด้วยการไกล่เกลี่ยความผิดที่มีโทษทางอาญา พ.ศ.2553

กฎกระทรวง ว่าด้วยการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562

พระราชกฤษฎีกากำหนดทุนทรัพย์การไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่ง พ.ศ.2565

ระเบียบกรมการปกครอง ว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการในการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาททางแพ่งด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ.2566

ศูนย์ดำรงธรรม กระทรวงมหาดไทย. **ประวัติศูนย์ดำรงธรรม**. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน 2566. จาก http://www.ins.moi.go.th/damrong1.html.

สำนักผู้ตรวจราชการ กระทรวงมหาดไทย. **ศูนย์ดำรงธรรมปัจจุบัน**. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 2565 จาก http://www.ins.moi.go.th/damrong1.html.

สำนักการสอบสวนและนิติการ. **การอำนวยความเป็นธรรมในหน้าที่ของพนักงานฝ่ายปกครอง.** การฝึกอบรมทางไกลเพื่อชี้แจงแนวทางปฏิบัติให้แก่ข้าราชการฝ่ายปกครองตามผลของการปรับปรุงกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ประจำปี 2551. ณ ห้องประชุมกรมการปกครอง. 29 มีนาคม 2551.

โชติช่วง ทัพวงศ์. **การจัดการความขัดแย้งกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท: ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท**.

สรวิศ ลิมปรังษี. (2555). **การจัดการความขัดแย้งกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท**. กรุงเทพมหานคร: สำนักระงับข้อพิพาทสำนักงานศาลยุติธรรม.

วันชัย วัฒนศัพท์.ถวิลวดี บุรีกุล และศุภณัฐ เพิ่มพูนวิวัฒน์. (2550). **คู่มือเพิ่มพลังความสามารถกระบวนการจัดการข้อพิพาท**. พิมพ์ครั้งที่ 2 .กรุงเทพมหานคร : ศิริภัณฑ์ออฟเซต.

ภานุ รังสีสหัส. **การจัดการความขัดแย้งกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท เรื่องการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท.** พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร : ธนาเพรส. 2555.

อัญชลี พูลเต็ม. **แนวคิดและหลักการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทก่อนฟ้องคดีต่อศาล**.

นันทรัตน์ ลีลาธนาวิทย์. **ปัญหาทางกฎหมายตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ.2562**.

ธีรพงศ์ กาบขุนทด. **ปัญหาทางกฎหมายเกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางอาญาของศูนย์ดำรงธรรมอำเภอ.**

สำนักสอบสวนและนิติการ กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย (2549). **บทบาทอำนาจหน้าที่และกฎหมายในการอำนวยความเป็นธรรมของฝ่ายปกครอง.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อาสารักษาดินแดน.

รัฐบาลไทย ROYAL THAI GOVERNMENT. **การแก้ไขปัญหาหนี้นอกระบบ" เป็นวาระแห่งชาติ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2566.จาก https://www.thaigov.go.th/news/contents/details/75310

การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการระงับข้อพิพาททางเลือกของศูนย์ยุติธรรมชุมชนกับศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน ในพื้นที่อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย

A Comparative Study of the Alternative Dispute Resolution Process of the Community Justice Center and the Public–Engaging Mediation Center: The Case Study in Amphoe Phaya Mengrai, Chiang Rai Province

แสงดาว พร้อมสุข[1*] และ วิมลเรขา ศิริชัยราวรรณ[2]
Sangdaw promsuk[1*] and Wimonrekha Sirichairawan[2]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากฎหมาย ระเบียบ กฎ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการระงับข้อพิพาททางเลือกของศูนย์ยุติธรรมชุมชนกับศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชนในพื้นที่อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย โดยทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยเชิงคุณภาพ ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชุมมีความแตกต่างกับศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นขอบอำนาจของคดีที่สามารถระงับข้อพิพาทได้ องค์ประกอบและการได้มาและคุณสมบัติของผู้ไกล่เกลี่ย ความแตกต่างของผลบังคับของข้อตกลงระงับข้อพิพาท ซึ่งทั้ง 3 ประเด็น ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญของความสำเร็จในการระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนในพื้นที่อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย ซึ่งผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาและวิเคราะห์กฎหมายและข้อมูลจากกลุ่มเป้าหมาย เพื่อวิเคราะห์และเสนอแนะแนวทางออกเพื่อเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมและเสริมสร้างกระบวนยุติธรรมชุมชนให้มีประสิทธิภาพและเป็นที่พึ่งของชุมชนอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท, ผลบังคับทางกฎหมาย, ศูนย์ยุติธรรมชุมชน, ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน, พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562

[1] คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000.
[1] School of Law, University of Phayao, Phayao, 56000
*Corresponding author: dawsangdaw16@gmail.com

Abstract

The objective of this research article is to study the laws, regulations, and rules related to the alternative dispute resolution process of the Community Justice Center and the Public–Engaging Mediation Center in Phaya Mengrai District, Chiang Rai Province by conducting qualitative research studies. The results of the study found that the dispute resolution process of the Community Justice Center is different from the dispute resolution process of the Public–Engaging Mediation Center according to the Mediation Act B.E. 2562, there are many factors such as the jurisdiction of the case, the composition, acquisition and qualifications of the mediators, the differences in the effectiveness of dispute settlement agreements, all these three issues, are important factors in the success of the Community Justice Center in the area of Phaya Mengrai District, Chiang Rai Province, in settlement the disputes. So the researcher is interested in studying and analyzing laws and information from the target groups to suggest guidelines that will be useful in promoting and strengthening the community justice process to be more efficient.

Keywords: Mediation, legal effect, The Community Justice Center, The Public–Engaging Mediation Center, The Mediation Act B.E. 2562

บทนำ

ที่ประชุมหัวหน้าส่วนราชการระดับกระทรวงหรือเทียบเท่า ครั้งที่ 4/2556 เมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม 2556 ได้มีมติเห็นชอบให้กระทรวงยุติธรรมดำเนินการเพิ่มโอกาสการเข้าถึงความยุติธรรม (Access to Justice) แก่ประชาชน และสนองตอบนโยบายที่สำคัญเร่งด่วนด้านลดความเหลื่อมล้ำด้วยการพัฒนาแนวคิด “ยุติธรรมชุมชน (Community Justice)” ให้บังเกิดผลเป็นรูปธรรมโดยการจัดตั้งศูนย์ยุติธรรมชุมชน (ศยช.) ทั่วประเทศ ประกอบกับกระทรวงยุติธรรมมีนโยบายให้มีการบูรณาการการทำงานของส่วนราชการสังกัดกระทรวงยุติธรรม ตั้งแต่ระดับจังหวัด เน้นบทบาทหน้าที่ของสำนักงานยุติธรรมจังหวัด (สยจ.) และศูนย์ยุติธรรมชุมชน (ศยช.) โดยประสานงานกับศูนย์ดำรงธรรมเพื่อให้เกิดการบูรณาการร่วมกัน กระทรวงยุติธรรมได้มีคำสั่งกระทรวงยุติธรรม ที่ 403/2557 ลงวันที่ 22 ตุลาคม 2557 เรื่อง การขับเคลื่อนระบบยุติธรรมชุมชนเพื่อลดความเหลื่อมล้ำด้านความเป็นธรรมทางสังคมและสร้างความสมานฉันท์ของประชาชน โดยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงยุติธรรมอาศัยอำนาจตามมาตรา 20 แห่งพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม สั่งการให้สำนักงานปลัดกระทรวงยุติธรรมบูรณาการความร่วมมือกับส่วนราชการทั้งในและนอกสังกัดกระทรวงยุติธรรมที่เกี่ยวข้อง ในการพัฒนาและส่งเสริมศักยภาพศูนย์ยุติธรรมชุมชนตำบลและเครือข่ายยุติธรรมชุมชน ให้มีขีดความสามารถสูงในการอำนวยความยุติธรรมแก่ประชาชนในระดับชุมชนโดยมีกรอบภารกิจหลัก 5 ด้าน ได้แก่ ด้านที่หนึ่ง การเฝ้าระวังและป้องกันปัญหาอาชญากรรม การทุจริตและ ประพฤติมิชอบและการกระทำผิดกฎหมายต่างๆ ในชุมชน ด้านที่สอง การรับเรื่องร้องเรียนหรือร้องทุกข์ปัญหาความไม่เป็นธรรมของประชาชน และรับแจ้งเบาะแสข้อมู ลการกระทำผิดกฎหมายต่างๆ ตลอดจน การช่วยเหลือ ดูแล ให้คำแนะนำ และแก้ไขปัญหาในเบื้องต้นแก่ผู้ได้รับความเดือดร้อน หรือผู้ที่ต้องการคำแนะนำเบื้องต้นทางด้านกฎหมายและกระบวนการยุติธรรม ด้านที่สาม ไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทหรือความขัดแย้งในชุมชนตามความยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ การเสริมสร้างความสมานฉันท์ในชุมชน และการติดตามดูแลให้มีการปฏิบัติตามข้อตกลงที่ได้มีการไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทหรือความขัดแย้งนั้น ด้านที่สี่ ให้ความช่วยเหลือ ดูแล ผู้ได้รับความเสียหายหรือได้รับผลกระทบจากอาชญากรรมและประสานงานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อดำเนินการตามหน้าที่ และด้านที่ห้า ให้ความช่วยเหลือ สงเคราะห์ และบำบัดแก้ไขฟื้นฟู ผู้กระทำ และผู้พ้นโทษให้กลับตนเป็นพลเมืองดีและไม่หวนกลับไปกระทำผิดอีก ให้สำนักงานยุติธรรมจังหวัดสนับสนุนการดำเนินงานของศูนย์ดำรงธรรม

จังหวัดและดำเนินการเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาความไม่เป็นธรรมของประชาชน ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับภารกิจของกระทรวงยุติธรรม การช่วยเหลือประชาชนทางกฎหมาย และการสนับสนุนการดำเนินงานเกี่ยวกับกองทุนยุติธรรม ในระดับจังหวัดโดยให้มีการรายงานผลการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องไปยังศูนย์ดำรงธรรมจังหวัดเป็นระยะ ๆ ทั้งเรื่องที่ได้รับมอบหมายจากศูนย์ดำรงธรรมจังหวัด เรื่องศูนย์ยุติธรรมชุมชนตำบลส่งเรื่องให้สำนักงานยุติธรรมจังหวัดเพื่อดำเนินการและเรื่องที่ประชาชนมาขอรับความช่วยเหลือจากสำนักงานยุติธรรมจังหวัดโดยตรง ให้กองพัฒนายุติธรรมชุมชน สำนักงานปลัดกระทรวงยุติธรรม รับผิดชอบเกี่ยวกับการบริหารระบบยุติธรรมชุมชนระดับนโยบายและการแปลงนโยบายไปสู่การปฏิบัติของส่วนราชการและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยบูรณาการการดำเนินงานตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการเสริมสร้างความสมานฉันท์แห่งชาติ พ.ศ. 2550 และดำเนินการให้เป็นไปตามนโยบายและยุทธศาสตร์ที่กระทรวงยุติธรรมกำหนด โดยมีส่วนราชการสังกัดกระทรวงยุติธรรมและหน่วยงานสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงยุติธรรมที่เกี่ยวข้องเป็นหน่วยงานสนับสนุน ให้สำนักงานยุติธรรมจังหวัด รับผิดชอบเกี่ยวกับการบริหารระบบยุติธรรมชุมชนระดับจังหวัด โดยบูรณาการการดำเนินงานตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการเสริมสร้างความสมานฉันท์แห่งชาติ พ.ศ. 2550 และดำเนินการให้เป็นไปตามนโยบายและยุทธศาสตร์ที่กระทรวงยุติธรรมกำหนด โดยมีหน่วยงานสังกัดกระทรวงยุติธรรมในจังหวัดเป็นหน่วยงานสนับสนุน ให้สำนักงานคณะกรรมการเสริมสร้างความสมานฉันท์แห่งชาติ สำนักงานปลัดกระทรวงยุติธรรม บูรณาการทำงานร่วมกับกองพัฒนายุติธรรมชุมชน สำนักงานปลัดกระทรวงยุติธรรม ในการขับเคลื่อนระบบยุติธรรมชุมชน ให้เป็นไปตามนโยบายและยุทธศาสตร์ที่กระทรวงยุติธรรมกำหนด ภายใต้กรอบการดำเนินงานตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการเสริมสร้างความสมานฉันแห่งชาติ พ.ศ. 2550 ให้ส่วนราชการในสังกัดกระทรวงยุติธรรม พัฒนาและส่งเสริมการดำเนินงานของศูนย์ยุติธรรมชุมชน ตามกรอบภารกิจ 5 ด้าน ในส่วนที่เกี่ยวข้องตามอำนาจหน้าที่ของแต่ละส่วนราชการ ให้สำนักผู้ตรวจราชการกระทรวงยุติธรรม เป็นหน่วยงานรับผิดชอบในการจัดระบบและแนวทางการให้คำปรึกษาทางกฎหมายแก่สำนักงานยุติธรรมจังหวัด ให้กรมคุ้มครองสิทธิเสรีภาพ เป็นหน่วยงานรับผิดชอบในการพัฒนาและส่งเสริมการไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทของสำนักงานยุติธรรมจังหวัดและศูนย์ยุติธรรมชุมชนตำบล ให้มีขีดความสามารถในการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้สำนักงานปลัดกระทรวงยุติธรรม สำนักงานกิจการยุติธรรม และกรมคุ้มครองสิทธิและเสรีภาพตลอดจนส่วนราชการสังกัดกระทรวงยุติธรรมที่เกี่ยวข้อง เร่งรัดการพัฒนากฎหมายและระเบียบที่เกี่ยวข้องเพื่อสนับสนุนศักยภาพการดำเนินงานของสำนักงานยุติธรรมจังหวัด และศูนย์ยุติธรรมชุมชนตำบลให้มีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผล

จนเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม 2557 กระทรวงยุติธรรมได้จัดทำข้อตกลงร่วมมือว่าด้วยการอำนวยความยุติธรรมเพื่อลดความเหลื่อมล้ำในสังคม ร่วมกับสำนักนายกรัฐมนตรี สำนักงานอัยการสูงสุด และกระทรวงมหาดไทยเกี่ยวกับการประสานความร่วมมือภายใต้กรอบอำนาจหน้าที่ของแต่ละหน่วยงานให้สอดคล้องเชื่อมโยงกันในเชิงบูรณาการตามนโยบายสำคัญเร่งด่วนของกระทรวงยุติธรรมด้านการอำนวยความยุติธรรมเพื่อลดความเหลื่อมล้ำ เพื่อเป็นการขับเคลื่อนนโยบายการอำนวยความยุติธรรมเพื่อลดความเหลื่อมล้ำในสังคมให้เกิดผลเป็นรูปธรรม มีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผลมากที่สุด

โดยสรุป **ยุติธรรมชุมชน** คือการดำเนินกิจกรรมชุมชนโดยร่วมกันเอง หรือร่วมกับภาครัฐในลักษณะของหุ้นส่วน โดยการนำทุนทางสังคมที่ดีงามและศักยภาพของชุมชนมาใช้ เพื่อสร้างภูมิคุ้มกัน ความปลอดภัยจากอาชญากรรม ความเป็นธรรม และความสงบสุขของชุมชน ด้วยการเสริมพลัง การป้องกันและสร้างภูมิคุ้มกันจากปัญหาอาชญากรรม การเยียวยาและการจัดการความขัดแย้ง ทำให้ประชาชนมีโอกาสเข้าถึงความยุติธรรมดีขึ้น เสริมประสิทธิภาพและลดภาระของกระบวนการยุติธรรมหลัก สร้างสำนึกความเป็นชุมชน และรักษาขนบธรรมเนียมจารีตประเพณีและภูมิปัญญาท้องถิ่นให้คงอยู่ โดยมีศูนย์ยุติธรรมชุมชน (ศยช.) คือ สถานที่ตั้งอยู่ในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) หรือชุมชน หรือประชาชนเห็นชอบให้จัดตั้งเป็นศูนย์ยุติธรรมชุมชนเพิ่ม เพื่อใช้เป็นสถานที่ดำเนินงานของ

คณะกรรมการประจำศูนย์ยุติธรรมชุมชน หรือดำเนินงานต่างๆ ของชุมชน และดำเนินการโดยคณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชน (คกก.ศยช.) กล่าวคือ สมาชิกที่ได้รับคัดเลือกให้เป็นตัวแทนของประชาชนในชุมชนในการประสานงานระหว่างประชาชน ชุมชน และองค์กรต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมในชุมชนและความสงบสุขของชุมชนนอกจากนี้ยังเป็นผู้บริหารจัดการและดำเนินงานในศูนย์ยุติธรรมชุมชน ซึ่งได้รับการแต่งตั้งจากผู้ว่าราชการจังหวัด ศูนย์ยุติธรรมชุมชน (ศยช.) ดำเนินการโดยคณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชน (คกก.ศยช.) มีภารกิจ 5 ด้าน และด้วยภารกิจดังกล่าวการจะบรรลุความสำเร็จได้รัฐไม่อาจเป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการแต่เพียงผู้เดียวหัวใจของความสำเร็จจึงอยู่ที่คนในชุมชนนั้น ๆ มีโอกาสและมีช่องทางที่จะเข้ามามีส่วนร่วม (สำนักงานยุติธรรมจังหวัดพระนครศรีอยุธยา กระทรวงยุติธรรม, 2563,1–3) เป็นการดำเนินการภายใต้การสั่งการและการบังคับบัญชาของรัฐมนตรีว่าการกระทรวงยุติธรรม โดยอาศัยอำนาจตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ประกอบกับคำสั่งกระทรวงยุติธรรม ที่ 322/2559 ที่ปลัดกระทรวงยุติธรรมอาศัยอำนาจตามมาตรา 21 แห่งพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. 2534 และที่แก้ไขเพิ่มเติม สั่งการให้ศูนย์ประสานราชการกระทรวงยุติธรรมมีหน้าที่พัฒนา ส่งเสริม และสนับสนุนการดำเนินงานของสำนักงานยุติธรรมจังหวัดในเขตอื้นที่รับผิดชอบ ในการดำเนินการขับเคลื่อนงานยุติธรรมชุมชน รวมทั้งการเสริมสร้างความเข้มแข็งและความยั่งยืนของศูนย์ยุติธรรมชุมชน และกำหนดบทบาทหน้าที่ให้ศูนย์ยุติธรรมชุมชน ให้ส่งเสริม สนับสนุนและประสานงานการดำเนินงานของส่วนราชการ หน่วยงานและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการเสริมสร้างการเข้าถึงความยุติธรรมของประชาชน เฝ้าระวังและป้องกันปัญหาอาชญากรรม การทุจริตและประพฤติมิชอบของเจ้าหน้าที่รัฐและการกระทำผิดกฎหมายต่าง ๆ พิจารณาเรื่องร้องเรียนร้องทุกข์ ปัญหาความไม่เป็นธรรมของประชาชน และรับแจ้งเบาะแสข้อมูลการกระทำผิดกฎหมายต่าง ๆ ตลอดจนการช่วยเหลือ ดูแล ให้คำแนะนำ และแก้ไขปัญหาแก่ผู้ที่ได้รับความเดือดร้อนหรือผู้ที่ต้องการคำแนะนำทางด้านกฎหมายและกระบวนการยุติธรรม **ไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทตามที่คู่กรณีร้องขอเกี่ยวกับความแพ่งหรือความอาญาที่เป็นความผิดอันยอมความได้ โดยให้ดำเนินการตามกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท หรือจัดการความขัดแย้งในชุมชน ทั้งนี้ การไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทให้เป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและประนอมข้อพิพาทในชุมชน** ให้ความช่วยเหลือ ดูแล ผู้ที่ได้รับความเสียหาย เป็นการปฏิบัติราชการโดยทั่วไปตามระเบียบบริหารราชการแผ่นดินที่ส่วนราชการจะต้องปฏิบัติตามคำสั่งของผู้บังคับบัญชา

ในขณะที่พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ได้หมายเหตุท้ายพระราชบัญญัติว่ามีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความสมานฉันท์ขึ้นในสังคมทำให้ปริมาณคดีขึ้นสู่ศาลลดน้อยลงลดปัญหาความขัดแย้ง ลดงบประมาณแผ่นดิน เสริมสร้างสังคมให้อยู่ร่วมกันอย่างปกติสุขและส่งเสริมระบบยุติธรรมทางเลือกและการมีส่วนร่วมของประชาชนในกระบวนการยุติธรรม อันจะทำให้ประชาชนที่มีข้อพิพาทสามารถยุติได้ด้วยการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทแทนการฟ้องร้องคดีต่อศาล และเพื่อเป็นกฎหมายกลางในการดำเนินการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 คือ การดำเนินการเพื่อให้คู่กรณีมีโอกาสเจรจาตกลงกันระงับข้อพิพาททางแพ่งและทางอาญาโดยสันติวิธีและปราศจากการวินิจฉัยชี้ขาดข้อพิพาท แต่ไม่รวมถึงการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทที่ดำเนินการในชั้นศาลและในชั้นการบังคับคดี ดังนั้น การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 จึงหมายถึงกระบวนการไกล่เกลี่ยในชั้นอื่นๆ ที่ไม่ใช่ในชั้นศาลและชั้นการบังคับคดี เช่น การไกล่เกลี่ยในชั้นของหน่วยงานต่างๆที่ดำเนินการไกล่เกลี่ย หรือในชั้นสอบสวน เป็นต้น ประเภทคดีที่ไกล่เกลี่ยได้ คือ ประเภทคดีแพ่ง ได้แก่ คดีที่ดิน (ไม่เกี่ยวด้วยกรรมสิทธิ์) คดีเกี่ยวกับทรัพย์มรดก และข้อพิพาทอื่นนอกจากที่ดิน/ทรัพย์มรดก ที่มีทุนทรัพย์ไม่เกินห้าล้านบาท (ภาคประชาชนดำเนินการได้ทุนทรัพย์ไม่เกินห้าแสนบาท) ประเภทคดีอาญา ได้แก่ ความผิดอันยอมความได้ เช่น หมิ่นประมาท ฉ้อโกง ยักยอก ทำให้เสียทรัพย์ บุกรุก ความผิดลหุโทษตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 390 – 395 และมาตรา 397 และความผิดลหุโทษอื่นตามที่กำหนดในพระราชกฤษฎีกา

กระบวนการระงับข้อพิพาททางเลือกของศูนย์ยุติธรรมชุมชนและศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชนจึงมีประเด็นปัญหาว่า กระบวนการไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทหรือความขัดแย้งในชุมชนตามความยุติธรรมเชิงสมานฉันท์และการเสริมสร้างความสมานฉันท์ในชุมชนของศูนย์ยุติธรรมชุมชนกับการไกล่เกลี่ยตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 เหมือนหรือต่างกันหรือไม่ อย่างไร หากมีความแต่งต่างกันแล้วผลทางกฎหมายของการดำเนินการไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนกับการไกล่เกลี่ยของศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชนเหมือนหรือต่างกันหรือไม่ อย่างไร สามารถการบังคับคดีตามกฎหมายหรือสามารถฟ้องร้องคดีได้หรือไม่ การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนมีขอบเขตอำนาจในการไกล่เกลี่ยหรือไม่ อย่างไร องค์ประกอบและการได้มาซึ่งคณะกรรมการของศูนย์ยุติธรรมชุมชนกับผู้ไกล่เกลี่ยตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 มีผลต่อประสิทธิภาพของการไกล่เกลี่ยหรือไม่ อย่างไร ดังนั้น เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการปรับปรุงให้การระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนมีประสิทธิภาพควรมีกฎหมาย หรือปรับปรุงแก้ไขโดยนำภารกิจในด้านที่ 3 ไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทหรือความขัดแย้งในชุมชนตามความยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ การเสริมสร้างความสมานฉันท์ในชุมชนของศูนย์ยุติธรรมชุมชนออกจากภารกิจของศูนย์ยุติธรรมชุมชน หรือไม่ อย่างไร อนึ่ง หากยังเห็นสมควรให้คงภารกิจด้านที่ 3 ไว้สมควรจะปรับปรุงหรือแก้ไขประการใดเพื่อเป็นการพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทหรือความขัดแย้งในชุมชนในพื้นที่ อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงรายให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาแนวคิดของการระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชน กับ ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบและการได้มาของผู้ไกล่เกลี่ยของของศูนย์ยุติธรรมชุมชน กับ ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลทางกฎหมายของข้อตกลงระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชน กับ ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน
4. เพื่อเสนอแนะแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนที่ให้ผลดีที่สุดแก่ประชาชนในพื้นที่ อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย

สมมติฐานของการศึกษา

บทบาทและของอำนาจของศูนย์ยุติธรรมชุมชนในเรื่องของไกล่เกลี่ยข้อพิพาทไม่มีผลบังคับคดีทางกฎหมาย หากแต่เป็นเพียงการไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทหรือความขัดแย้งในชุมชนตามหลักความยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ หรือการเสริมสร้างความสมานฉันท์ในชุมชน เชิงนโยบาย เท่านั้น ไม่ได้มีบทบัญญัติใดในกฎหมายที่รับรองหรือคุ้มครองให้บังคับตามกฎหมายได้ รวมถึงผู้ไกล่เกลี่ยมีวิธีการได้มาและคุณสมบัติแตกต่างกันกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชนซึ่งผู้ไกล่เกลี่ยจะต้องผ่านการอบรมและขึ้นทะเบียน พร้อมทั้งมีมาตรฐานและความน่าเชื่อถือต่อการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท มีผลบังคับคดีทางกฎหมายตามกฎหมายว่าด้วยการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ดังนั้น จึงสมควรทบทวนบทบาทด้านการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท และพัฒนาผู้ที่ทำหน้าที่ระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนให้มีคุณภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระงับข้อพิพาทชุมชนและส่งเสริมกระบวนการระงับข้อพิพาทเชิงสมานฉันท์

วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยเรื่อง “การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อพัฒนากระบวนการระงับข้อพิพาททางเลือกของศูนย์ยุติธรรมชุมชนกับศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชนในพื้นที่อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย” เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ที่ทำการศึกษา ผู้วิจัยได้ใช้รูปแบบการวิจัยโดยมีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1. วิจัยเอกสาร (Documentary Research) โดยทำการศึกษาค้นคว้าจากการรวบรวมข้อมูลเอกสาร ไม่ว่าจะเป็นจากเอกสารชั้นต้น (Primary Sources) เป็นเอกสารที่เป็นต้นฉบับหรือที่เป็นแหล่งข้อมูลโดยตรง เช่น งานเขียน พระราชบัญญัติ และจากเอกสารชั้นรอง (Secondary Research) คือ เอกสารที่มีผู้รวบรวมไว้แล้ว เช่น เอกสาร หนังสือ วารสาร บทความ วิทยานิพนธ์ และงานวิจัย เอกสารที่เกี่ยวข้องและฐานข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อศึกษา วิเคราะห์ สรุปผลและนำมาเรียบเรียง นำมาวิเคราะห์เรียบเรียงเป็นระบบ

2. ศึกษาโดยวิธีวิจัยภาคสนาม (Field Research) โดยได้กำหนดรูปแบบการวิจัยเชิงคุณภาพด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) โดยจะเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ไกล่เกลี่ยที่ได้รับการขึ้นทะเบียนจากผู้ผ่านการอบรมหลักสูตรการไกล่เกลี่ยและการระงับข้อพิพาทในชุมชนระดับต้น) หรือผู้ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย

ผลการศึกษา

การใช้กระบวนการยุติธรรมทางเลือกเพื่อยุติข้อพิพาทเพื่อช่วยลดภาระของรัฐในการนำคดีเข้าสู่กระบวนการทางศาล ลดความแออัดของผู้ต้องขังในเรือนจำ ช่วยฟื้นฟูความสัมพันธ์ของคนในสังคม และเป็นการเพิ่มบทบาทของชุมชนในการแก้ไขปัญหาความขัดแย้งแบบบูรณาการ กระบวนการระงับข้อพิพาททางเลือกจะช่วยลดภาระของกระบวนการยุติธรรมกระแสหลักที่มีความซับซ้อน และไม่มีลดหลักเกณฑ์ตามกฎหมายให้สามารถดำเนินการให้แล้วเสร็จโดยเร็ว ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบเพื่อพัฒนากระบวนการระงับข้อพิพาททางเลือกของศูนย์ยุติธรรมชุมชนกับศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชนในพื้นที่อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย จะต้องทราบแนวคิด ทฤษฎี กฎหมายหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับกรณีดังกล่าว เพื่อทำความเข้าใจและนำไปวิเคราะห์ผลตลอดจนเสนอแนะแนวทางในการระงับข้อพิพาทได้ ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมไว้ดังนี้

จากการศึกษาแนวความคิดที่เกี่ยวกับการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทอาจสรุปได้ว่า กฎหมายจะคงอยู่ได้ต้องความสัมพันธ์กับศาสตร์อื่นด้วย เช่นเดียวกับ ศีลธรรม จารีตประเพณี กฎหมายเป็นกฎเกณฑ์ที่เป็นแบบแผนความประพฤติของมนุษย์ในสังคม จากเดิมหากมีการฝ่าฝืนประเพณีสำคัญจะก่อให้เกิดความรู้สึกที่รุนแรงต่อคนในสังคมว่าการกระทำนั้นเป็นความชั่วจึงมีการลงโทษผู้ที่ฝ่าฝืนกฎเกณฑ์เช่นการขับไล่หรือการบังคับตามประเพณี ต่อมาเมื่อมีความเจริญขึ้น รัฐจะใช้กฎหมายที่มีลักษณะเป็นแบบชัดเจนขึ้น มีสภาพบังคับชัดเจนแน่นอน ความยุติธรรมสามารถรับรู้ได้โดยความรู้สึกหรือสัญชาตญาณยากที่จะอธิบาย เพื่อให้ความสงบเรียบร้อยกลับคืนมาเมื่อมีข้อพิพาทเกิดขึ้น การยุติข้อพิพาทจึงมีความจำเป็น ทั้งนี้ ยังมีแนวความคิดเกี่ยวกับการจัดการความขัดแย้ง ที่น่าสนใจที่สนับสนุนการศึกษานี้ ไม่ว่าจะเป็นสังคมใด ความขัดแย้งอาจเกิดจากความต้องการที่แตกต่าง ด้วยทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด เพื่อแข่งขัน อาจเกิดขึ้นกับบุคคลหรือประชาชนทั่วไป โดยอาจมีสาเหตุเดียวหรือหลายสาเหตุ ไม่ว่าจะมาจากการสื่อสารผิด ไม่พอใจในการกระทำของผู้อื่น การอยู่ร่วมกันในสังคม การปฏิสัมพันธ์ การทำกิจกรรมร่วมกันเกิดการกระทบกระทั่ง วิธีการจัดการความขัดแย้ง ได้แก่ การหลีกเลี่ยงหรือการหนีปัญหา (Avoidance) คือ วิธีแก้ไขความขัดแย้งกรณีที่มีฝ่ายหนึ่งไม่สนใจข้อเรียกร้องปัญหาที่เกิดขึ้น ไม่เห็นความขัดแย้งเป็นสาระสำคัญ ไม่เชื่อว่าการแก้ไขความขัดแย้งจะนำไปสู่การเจรจายุติความขัดแย้งได้ การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท (Mediation) คือการแก้ไขความขัดแย้งโดย ผู้ไกล่เกลี่ยเข้ามาคอยช่วยเหลือสนับสนุนการเจรจาให้ดำเนินเป็นไป แสวงหาทางออกที่เหมาะสมให้ทุกฝ่ายเกิดความพึงพอใจ สะดวก รวดเร็วไม่เป็นพิธีการ การเจรจาต่อรอง (Negotiation) เป็นกระบวนการแก้ไขความขัดแย้งเมื่อคู่พิพาทตกลงใจขจัดความขัดแย้งให้ยุติสามารถพูดคุยกัน บอกความต้องการของตน เจรจต่อรอได้ มีความตกลงร่วมกันในการขจัดความขัดแย้ง เป็นแนวทางที่สะดวกรวดเร็วการอนุญาโตตุลาการ (Arbitration) เป็นวิธีการแก้ไขความขัดแย้งดำเนินโดยศาล มีอนุญาโตตุลาการ เป็นผู้

ชี้ขาดมีผลผูกพัน วิธีนี้มักนิยมทางธุรกิจการค้า การประท้วงอย่างสันติ (Non-Violence confrontation) เป็นวิธีการกดดันในลักษณะต้องพึ่งพาอาศัยอีกฝ่ายหนึ่ง และ การใช้กำลังบังคับ (Forcing) จากฝ่ายที่มีอำนาจเหนือกว่า

นอกจากนี้ยังมี **แนวความคิดเกี่ยวกับการประนีประนอมข้อพิพาท** การประนีประนอมข้อพิพาท ผู้ไกล่เกลี่ยต้องค้นหาความพึงพอใจของคู่กรณี จนทุกฝ่ายเห็นว่าได้รับประโยชน์ไม่ได้ถูกบังคับให้ยอมรับข้อเสนอข้อเรียกร้องความยุติธรรมนั้น เป็นเรื่องที่มีความละเอียดอ่อน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าต้องมีลักษณะเที่ยงตรง สม่ำเสมอ และมีความพอดี (กิตติภณ สืบมา, 2554, 19-24) และ**แนวความคิดเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมของภาคประชาชน** ระบบกระบวนการยุติธรรม ระบบกระบวนการอำนวยความยุติธรรม ทั้งประเทศและทั่วโลก มีปัญหาบุคลากรในการอำนวยความยุติธรรมมีไม่สมดุลกับจำนวนประชากร ขั้นตอนกระบวนการยุติธรรมมีความซับซ้อน ทำให้เกิดความล่าช้า กระบวนการยุติธรรมไม่ตอบสนองปัญหาและความต้องการของชุมชน ประชาชนหรือผู้เหยื่อของอาชญากรรม ขาดการเหลียวแลถูกทอดทิ้งจากภาครัฐ ภาคประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการยุติธรรม ทุกประเทศให้ความสำคัญจึงเกิดแนวความคิดว่าผู้กระทำความผิดผู้เสียหายและชุมชน ต่างได้รับความกระทบกระเทือนจากการกระทำความผิด ชุมชนหรือภาคประชาชนจะต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการกำหนดนโยบาย แนวทางรักษาความสงบเรียบร้อยสร้างความเป็นธรรมให้แก่สังคม เพื่อสนองความต้องการของผู้เสียหาย ชุมชน รวมทั้งเพื่อให้ผู้กระทำความผิดต้องรับผิดชอบในสิ่งที่ตนกระทำโดยถือว่าชุมชนเป็นศูนย์กลาง (Community focused) ในการแก้ไขปัญหาของชุมชน รัฐหรือเจ้าหน้าที่ของรัฐ ต้องกระตือรือร้นในการแก้ไขปัญหาของชุมชน ด้วยการเป็นหุ้นส่วนหรือร่วมมือกับชุมชน กำหนดแนวทางปฏิบัติให้ผู้กระทำความผิดรับผิดชอบจากการกระทำของตนเอง ช่วยเหลือผู้เสียหายและสนับสนุน เสริมสร้างความปลอดภัยในกับชุมชน ชุมชนเป็นแหล่งที่ใช้ทางเลือกที่ดีในการแก้ไขปัญหา สร้างความสุข แก้ปัญหาความขัดแย้งสร้างความสงบสุข ระบบยุติธรรมชุมชนสนับสนุนภาคประชาชนได้มีส่วนร่วมทุกขั้นตอน สนับสนุนใช้วิธีบำบัดและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมผู้กระทำผิดภายในชุมชน (กรกฎ ทองขะโชค และคณะ, 2562, 92) **ความยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ (Restorative justice)** เป็นกระบวนการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคู่พิพาทกลับคืนสู่ความสัมพันธ์ที่ดีต่อกัน สร้างกระบวนการที่มีส่วนร่วมหลายฝ่ายเพื่อสร้างความสัมพันธ์ที่ดีแทนการลงโทษ ซึ่งอาจหมายความรวมถึง การเจรจา (Mediation) การไกล่เกลี่ย (Conciliation) (จุฑารัตน์ แก้วกัญญา, 2564, 1-18) **การไกล่เกลี่ยด้วยกระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์** คือ กระบวนการยุติธรรมทางเลือกที่ใช้จัดการความขัดแย้ง (บางประเภท) การกระทำผิด ด้วยกระบวนการที่คำนึงถึงการชดใช้เยียวยาให้แก่ผู้เสียหาย เรียกร้องความสำนึกผิดและความรับผิดชอบของผู้กระทำผิด ให้ความสำคัญต่อการมีส่วนร่วมของชุมชน มุ่งหมายให้เกิดผลลัพธ์ถึงความสมานฉันท์ในสังคม (สำนักการสอบสวนและนิติการ กรมการปกครอง,3)

เมื่อเกิดการกระทำความผิดหรือความขัดแย้งในชุมชนการใช้กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์กับการระงับข้อพิพาทในขั้นตอนก่อนฟ้องคดีได้และเป็นความผิดที่เกิดขึ้นในครั้งแรก ไม่ใช้วิธีตามที่บัญญัติไว้ในประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา ซึ่งมีหลักการอยู่ที่เหยื่อหรือผู้เสียหายและผู้กระทำผิดได้มีโอกาสประนีประนอมยอมความกัน ซึ่งผู้ที่เป็นตัวกลางในการประสานความสำเร็จนี้ได้ คือ ศูนย์ยุติธรรมชุมชน ดังนั้น ควรแก้ไขกฎหมายในพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน (ฉบับที่ 7) พ.ศ. 2550 ให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหรือคณะบุคคลในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเป็นผู้มีอำนาจในการไกล่เกลี่ยคดีอาญาและคดีแพ่งให้เพราะเป็นองค์กรของรัฐที่ใกล้ชิดกับประชาชนมากที่สุด (กรกฎ ทองขะโชค และคณะ, 2553)

กระบวนการยุติธรรมชุมชนในภาคประชาสังคม คือ กระบวนการยุติธรรมชุมชนมีลักษณะเป็นกระบวนการยุติธรรมอย่างไม่เป็นทางการที่เกิดจากการรวมตัวอย่างสมัครใจของภาคประชาสังคม มีวัตถุประสงค์ให้สมาชิกในชุมชนสามารถเข้าถึงการแก้ปัญหาความขัดแย้งภายในชุมชนและกระบวนการยุติธรรมชุมชนยังให้ความสำคัญกับความเท่าเทียมของสมาชิกกันบนฐานของความเป็นประชาธิปไตย และขณะเดียวกันยังสามารถเสริมสร้างความสัมพันธ์ของสมาชิกในชุมชนเพื่อการรักษาผลประโยชน์ของส่วนรวมในชุมชนมากกว่าส่วนบุคคลใดบุคคลหนึ่ง โครงสร้างหลักที่สำคัญ

ของกระบวนการยุติธรรมชุมชนในภาคประชาสังคม คือ โครงสร้างกระบวนการยุติธรรมที่ยับยั้งป้องกันการแก้ไขฟื้นฟูข้อพิพาท โดยการเจรจา ไกล่เกลี่ย และการตัดสินข้อพิพาทร่วมกันโดยหน่วยงานภาครัฐเข้ามาร่วมอย่างไม่เป็นทางการ เช่น ผู้ใหญ่บ้าน เจ้าหน้าที่ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และเจ้าหน้าที่ตำรวจ เป็นต้น จะเห็นได้ว่ากระบวนการยุติธรรมชุมชนจะเชิญผู้ที่มีความเกี่ยวข้องกับชุมชนเข้ามามีส่วนร่วมในการรับฟังและส่วนการเจรจา การไกลเกลี่ย และการตัดสินข้อขัดแย้งให้ แต่ผู้ที่เป็นตัวแทนคู่กรณีทำการตัดสินใจตามคำชี้แนะจากผู้ที่เข้าร่วมฟังเท่านั้น ส่วนภาคประชาสังคมคือผู้ที่ดำเนินการประสานการทำงานของกระบวนการยุติธรรมชุมชนไปยังฝ่ายต่างๆในระดับชุมชนเพื่อดูแลและปกป้องชุมชน การที่นำกระบวนการยุติธรรมชุมชนในภาคประชาสังคมมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยในทางปฏิบัติโดยการองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในแง่การสนับสนุนงบประมาณและสถานที่เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ประชาชนที่เข้าสู่กระบวนการยุติธรรมชุมชน และองค์กรปกครองส่วนภูมิภาคโดยกำหนด เป็นนโยบายของรัฐด้านกระบวนการยุติธรรมชุมชน เพราะเป็นหน่วยงานที่รับนโยบายของรัฐมาปฏิบัติกับชุมชนตามความเหมาะสมทางด้านต่างๆ ของสังคมนั้น แนวทางการนำกระบวนการยุติธรรมชุมชนมาใช้ในประเทศไทยในทางปฏิบัติโดยการบัญญัติไว้ในกฎหมายรัฐธรรมนูญในส่วนที่เกี่ยวกับสิทธิ์ในกระบวนการยุติธรรมและสิทธิชุมชนในหมวดสิทธิและเสรีภาพของประชาชนมีการบัญญัติไว้ในกระบวนการยุติธรรมตามกฎหมายรัฐธรรมนูญ เพื่อเป็นการเปิดโอกาสตามกฎหมายของการเข้ามามีส่วนร่วมของประชาชนในกระบวนการยุติธรรม ส่วนในหมวดสิทธิชุมชนที่ว่าด้วยสิทธิและเสริภาพของประชาชนตามกฎหมายรัฐธรรมนูญเป็นการส่งเสริมสิทธิขั้นพื้นฐานของประชาชนในการเป็นสมาชิกของรัฐและสิทธิของประชาชนนั้นสามารถนำไปสู่การมีเสรีภาพในการกระทำหรือแสดงออกตามกฎหมายและกระบวนการยุติธรรมชุมขนในภาคประชาสังคมมีความเกี่ยวข้องกับระบบการปกครองแบบประชาธิปไตยแบบปรึกษาหารือ ร่วมกันหาทางออกโดยการเจรจา พูดคุย แบบสมเหตุสมผลในเรื่องสาธารณะที่เกี่ยวกับทุกคนในรัฐ ดังนั้น การบัญญัตินี้ก่อให้เกิดประชาธิปไตยแนวใหม่ที่เรียกว่าประชาธิปไตยแบบปรึกษาหารือในสังคมและอีกทั้งเป็นการสร้างความเข้มแข็งให้เกิดกับชุมชน และภาครัฐต้องให้ความสำคัญโดยการบัญญัติ “กระบวนการยุติธรรมชุมชน” ไว้ในกฎหมายหลักที่ใช้ในการปกครองประเทศด้วย เพื่อให้ทุกฝ่ายที่ได้รับผลกระทบได้กลับคืนสู่สภาพดีดังเดิมอันเป็นการสร้างความสมานฉันท์ สร้างความสงบสุขให้เกิดขึ้นในชุมชน สังคม และประเทศชาติ (ทวิตรา เจรจา, 2560)

เมื่อกระทรวงยุติธรรมได้จัดทำข้อตกลงร่วมมือว่าด้วยการอำนวยความยุติธรรมเพื่อลดความเหลื่อมล้ำในสังคมร่วมกับสำนักนายกรัฐมนตรี สำนักงานอัยการสูงสุด และกระทรวงมหาดไทยเกี่ยวกับการประสานความร่วมมือภายใต้กรอบอำนาจหน้าที่ของแต่ละหน่วยงานให้สอดคล้องเชื่อมโยงกันในเชิงบูรณาการตามนโยบายสำคัญเร่งด่วนของกระทรวงยุติธรรมด้านการอำนวยความยุติธรรมเพื่อลดความเหลื่อมล้ำ เพื่อเป็นการขับเคลื่อนนโยบายการอำนวยความยุติธรรมเพื่อลดความเหลื่อมล้ำในสังคมให้เกิดผลเป็นรูปธรรม มีประสิทธิภาพ และเกิดประสิทธิผลมากที่สุด (สำนักงานปลัดกระทรวงยุติธรรม กองพัฒนายุติธรรมชุมชน) กระบวนการยุติธรรมควรที่จะมีความชัดเจน ไม่เข้าข้างฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง หลายครั้งความแตกต่างทางวัฒนธรรมนำมาซึ่งความแตกแยก และแบ่งฝ่ายระหว่างรัฐกับประชาชน ฉะนั้นการมีส่วนร่วมทั้งที่ทำงานด้านยุติธรรมชุมชนกับประชาชนต้องยกระดับความสำคัญให้มากขึ้น และต้องให้ความเป็นธรรมกับทุกฝ่าย การปฏิรูปด้านกระบวนการยุติธรรมในชุมชนควรเอาชุมชนเป็นตัวตั้ง โดยให้ประชาชนในชุมชนแก้ปัญหาตนเองก่อน จนนำไปสู่ศาลยุติธรรม และต้องไม่เลือกปฏิบัติ ที่สำคัญชุมชนต้องศึกษาปัญหาให้ชุมชนเองก่อน เพื่อแก้ปัญหาได้ถูกต้องตรงประเด็นความต้องการของประชาชน กระบวนการยุติธรรมชุมชนต้องทำให้ชาวบ้านรู้สึกว่าเขามีตัวตนสามารถพึ่งได้จริงขณะเดียวกันยุติธรรมชุมชนจะต้องมีการติดตามสถานการณ์จนสิ้นสุดด้วยเช่นกัน มีการทำงานอย่างต่อเนื่องไม่ใช่หมดไปตามวาระของข้าราชการที่รับผิดชอบ หรือหมดไปพร้อมกับรัฐบาลที่เปลี่ยนแปลงไป (สุรชัย ไวยวรรณจิตร และคณะ, 2559) มาตรการของศูนย์ยุติธรรมชุมชนในการแก้ไขปัญหาความเดือดร้อนของประชาชนให้ประสบความสำเร็จจะต้องสร้างความเข้มแข็งทางวัฒนธรรมและจารีตประเพณีและจะต้องมีโครงสร้างที่สอดคล้องกับแนวคิด

ยุติธรรมชุมชนและยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ และมีภูมิปัญญาในการบริหารจัดการ โดยจะต้องมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องและบังคับใช้อย่างแท้จริงและมีประสิทธิภาพ ซึ่งศูนย์ยุติธรรมชุมชนในสาธารณประชาธิปไตยประชาชนลาวเป็นระบบที่มีการระบุไว้ในกฎหมายอย่างชัดเจนซึ่งส่งเสริมและสนับสนุนการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการอำนวยความยุติธรรมและจัดการความไม่เป็นธรรมในชุมชน ส่งเสริมและแลกเปลี่ยนการเรียนรู้และประสบการณ์ด้านยุติธรรมชุมชนของประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพิ่มช่องทางให้ประชาชนเข้าถึงข้อความยุติธรรมได้โดยง่าย สะดวก รวดเร็ว เสมอภาคและประหยัดส่งเสริมให้เกิดความสามัคคีและความสมานฉันท์ในชุมชน รวมถึงการเคารพกฎกติกาการอยู่ร่วมกันของคนในชุมชน และสนับสนุนส่วนราชการหน่วยงานและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการเสริมสร้างการเข้าถึงความยุติธรรมของประชาชนอีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยเราได้มีการตราพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ซึ่งพระราชบัญญัติดังกล่าว มีประโยชน์โดยสามารถเข้าถึงกระบวนการยุติธรรมทางเลือกได้ง่าย สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นการนำกระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาททางแพ่งที่มีทุนทรัพย์ไม่สูงและข้อพิพาททางอาญาในคดีบางประเภทมากำหนดเป็นกฎหมายกลางเพื่อที่จะให้หน่วยงานของรัฐหรือศูนย์การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชนใช้ในการระงับหรือยุติข้อพิพาทและการนำยุติธรรมชุมชนมาใช้นั้นจะมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นเพราะในปัจจุบันและอนาคตคนในชุมชนจะมีบทบาท มีอำนาจในการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “ยุติธรรมชุมชน” ด้วยตนเองและปราศจากการแทรกแซงบทบาทหน้าที่และการดำเนินงานจากหน่วยงานของภาครัฐจึงจะสอดคล้องกับแนวคิดยุติธรรมชุมชนอย่างแท้จริงและที่สำคัญต้องให้สิทธิแก่คนในชุมชนในการดำเนินงาน ตัดสินใจและร่วมกันแก้ไขปัญหา ทั้งนี้ ศูนย์ยุติธรรมชุมชนในประเทศไทยควรมีการศึกษาบทเรียนในการนำปัจจัยเงื่อนไขความสำเร็จของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวมาเป็นต้นแบบในการดำเนินงานของศูนย์ยุติธรรมชุมชนมาประยุกต์และนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาเดือดร้อนของประชาชนให้ประสบความสำเร็จเพื่อประโยชน์ของประชาชน (อัคคกร ไชยพงษ์, 2562)

ประชาชนผู้ใช้บริการที่ศูนย์ยุติธรรมชุมชนมีความพึงพอใจบทบาทหน้าที่ของศูนย์ยุติธรรมชุมชนระดับปานกลางและมีส่วนร่วมในการดำเนินงานกับศูนย์ยุติธรรมชุมชนระดับปานกลาง แต่มีความพึงพอใจการให้บริการของศูนย์ยุติธรรมชุมชนในระดับมาก ส่วนผู้ปฏิบัติหน้าที่ในศูนย์ยุติธรรมชุมชนมองว่าศูนย์ยุติธรรมชุมชนประสบผลสำเร็จในการดำเนินงานตามบทบาทในระดับมาก ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำนโยบายยุติธรรมชุมชนไปสู่การปฏิบัติได้แก่ปัจจัยด้านภาวะผู้นำเป็นลำดับแรก ปัจจัยด้านการทำงานเป็นทีมเป็นลำดับต่อมา ข้อเสนอเชิงนโยบายได้แก่การส่งเสริมให้ศูนย์ยุติธรรมชุมชนมีบทบาทหน้าที่ในการดูแลให้คำแนะนำและแก้ปัญหาเบื้องต้นกับผู้ถูกละเมิดสิทธิและเสรีภาพ การลดข้อพิพาทและความขัดแย้งในชุมชน การป้องกันอาชญากรรมในชุมชน การแจ้งข่าว เบาะแสคดีความหรือการกระทำผิดกฎหมาย ให้ชุมชนทราบ การให้ความช่วยเหลือดูแลผู้ได้รับความเสียหายจากอาชญากรรม และให้โอกาส แก้ไข ฟื้นฟู ช่วยเหลือสงเคราะห์ผู้กระทำความผิดและการจัดตั้งและดำเนินการในศูนย์ยุติธรรมชุมชน (ศรวิชา กฤตาธิการ และ ไชยยศ ไพวิทยศิริธรรม, 2560) ทั้งนี้ ศูนย์ยุติธรรมชุมชนในจังหวัดชายแดนภาคใต้เป็นศูนย์ที่ประชาชนรวมตัวจัดตั้งขึ้นเองเพื่อเข้ามามีส่วนร่วมกับภาครัฐในการให้เกิดความเป็นธรรมในชุมชนโดยมีภารกิจ คือ การให้คำแนะนำ การรับเรื่องราวร้องทุกข์ การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท การเฝ้าระวังป้องกัน การฟื้นฟูผู้กระทำความผิด การประชาสัมพันธ์ การประสานงาน การแจ้งเบาะแสกิจกรรมชุมชน และอื่นๆ ซึ่งแต่ละศูนย์เริ่มจากคณะกรรมการจะเป็นผู้มีจิตอาสา ความสำเร็จศูนย์ยุติธรรมชุมชนในจังหวัดชายแดนภาคใต้นั้นนอกจากคณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชนต้องลงพื้นที่ไปทำงานกับชาวบ้านเพื่อให้เกิดการยอมรับและเชื่อมั่นว่าตัวเองมีศักยภาพอำนวยความยุติธรรมได้แล้วสิ่งที่สำคัญอีกอย่างคือ การทำงานด้วยจิตอาสาของคณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชนและเครือข่ายยุติธรรมชุมชนยังไม่มีกฎหมายกำหนดหน้าที่และอำนาจไว้อย่างชัดเจน (กรกฎ ทองขะโชค, 2561) ศูนย์ยุติธรรมชุมชนตำบลที่ได้รับรางวัลมีลักษณะการดำเนินการแตกต่างจากศูนย์ที่ไม่ได้รับรางวัล เงื่อนไขที่เอื้อต่อความสำเร็จในการดำเนินงานของศูนย์ยุติธรรมชุมชนตำบล มี 4 ด้าน ได้แก่ เงื่อนไขด้านการบริหารจัดการเงื่อนไขด้านชุมชน เงื่อนไขด้านการสนับสนุนจากภาครัฐ และเงื่อนไขด้านเครือข่ายและผู้ปฏิบัติงาน

ดังนั้น ภาครัฐควรมีนโยบายกำหนดให้ศูนย์ยุติธรรมชุมชนเป็นหน่วยงานหลักอำนวยความยุติธรรมระดับชุมชน ผลักดันให้มีแผนปฏิบัติการระดับชุมชนที่ชัดเจนและต่อเนื่องขณะเดียวกัน ศูนย์ยุติธรรมชุมชนตำบลต้องดำเนินนโยบายสร้างภาคีเครือข่ายและบริหารเครือข่ายกับชุมชนให้เกิดประสบการณ์ร่วมกันรับผิดชอบ (จักกริน วรนาม,2562) เพื่อให้การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทโดยยุติธรรมชุมชนมีประสิทธิภาพ เกิดประโยชน์สูงสุด ไม่เกิดความซ้ำซ้อน ควรกำหนดให้กรมคุ้มครองสิทธิและเสรีภาพ กระทรวงยุติธรรมเป็นหน่วยงานหลักในการสนับสนุนการดำเนินงานด้านการไกล่เกลี่ยประนอมข้อพิพาทของยุติธรรมชุมชน ควรมีการร่างกฎหมายการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทยุติธรรมชุมชนเพื่อรองรับการปฏิบัติงานของยุติธรรมชุมชน (ทนัทรยา ธีรัชธชาโชติ, 2557)

จากการที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการสัมภาษณ์คณะกรรมการยุติธรรมชุมชนและเจ้าหน้าผู้ปฏิบัติในศูนย์ยุติธรรมชุมชนในเขตพื้นที่อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย ประกอบกับที่ผู้วิจัยได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติงานในหน้าที่กรรมการและเลขานุการของคณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชนตำบลตาดควัน อำเภอพญาเม็งราย ในการดำเนินการภารกิจด้านการรับเรื่องร้องเรียนหรือร้องทุกข์ปัญหาความไม่เป็นธรรมของประชาชน และรับแจ้งเบาะแสข้อมูลการกระทำผิดกฎหมายต่างๆ ตลอดจน การช่วยเหลือ ดูแล ให้คำแนะนำ และแก้ไขปัญหาในเบื้องต้นแก่ผู้ได้รับความเดือดร้อน หรือผู้ที่ต้องการคำแนะนำเบื้องต้นทางด้านกฎหมายและกระบวนการยุติธรรม และด้านไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทหรือความขัดแย้งในชุมชนตามความยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ การเสริมสร้างความสมานฉันท์ในชุมชน และการติดตามดูแลให้มีการปฏิบัติตามข้อตกลงที่ได้มีการไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทหรือความขัดแย้งนั้น ซึ่งในการดำเนินงานด้านการไกล่เกลี่ยข้อระงับข้อพิพาทหรือความขัดแย้งในชุมชน ผู้รับบริการศูนย์ยุติธรรมชุมชนตำบลตาดควันที่เข้ามาขอคำแนะนำด้านกฎหมายและกระบวนการยุติธรรมหรือประสานงานเจ้าหน้าที่ให้เป็นผู้ไกล่เกลี่ยและระงับข้อพิพาทประสงค์ให้องค์การบริหารส่วนท้องถิ่นเป็นผู้ดำเนินการไกล่เกลี่ยหรือระงับข้อพิพาทในท้องที่ แต่เมื่อผลการไกล่เกลี่ยหรือระงับข้อพิพาทแล้วหากคู่กรณีพิพาทฝ่ายหนึ่งฝ่ายใดไม่ปฏิบัติตามไม่อาจบังคับคดีได้หรือข้อตกลงนั้นไม่มีผลทางกฎหมายเช่นเดียวกับการไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทของศูนย์ไกล่เกลี่ยภาคประชาชน ซึ่งทำให้การดำเนินงานของศูนย์ยุติธรรมชุมชนไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอและมักได้รับข้อคิดเห็นในแง่ลบกับศูนย์ยุติธรรมชุมชนที่ไม่อาจเสริมสร้างความสมานฉันท์ในชุมชนได้ ประกอบกับการสอบถามผู้ปฏิบัติงานในศูนย์ยุติธรรมชุมชนสรุปสาระสำคัญได้ว่า ขอบเขตการดำเนินงานด้านการไกล่เกลี่ยระงับข้อพิพาทในศูนย์ยุติธรรมชุมชนจะดำเนินการไกล่เกลี่ยโดยนำหลักการประนีประนอมยอมความตามประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์มาใช้ ซึ่งเมื่อคู่กรณีไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงประนีประนอมยอมความจะต้องดำเนินการโต้แย้งสิทธิตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความแพ่งซึ่งต้องฟ้องร้องดำเนินคดีตามปกติ ใช้เวลานานและเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นไม่สอดคล้องกับหลักความยุติธรรมเชิงสมานฉันท์ ทั้งไม่สอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลในการลดปริมาณนำคดีขึ้นสู่ศาลด้วย

ตารางเปรียบเทียบกระบวนการระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชน กับ ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน

รายการ	ศูนย์ยุติธรรมชุมชน	ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทพาคประชาชน
1. การดำเนินการไกล่เกลี่ย	คณะกรรมการโดยตำแหน่ง จากตำแหน่งที่เป็นที่เคารพ และน่าเชื่อถือของคนภายในชุมชนนั้น โดยการแต่งตั้งของผู้ว่าราชการจังหวัด	บุคคลที่ขึ้นทะเบียนเป็นผู้ไกล่เกลี่ยมีคุณสมบัติเป็นผู้ผ่านการอบรมการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทตามหลักสูตรที่คณะกรรมการพัฒนาการบริหาร งานยุติธรรมแห่งชาติตามกฎหมายว่าด้วยการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติรับรอง
2. ขอบเขตการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท	การอำนวยความยุติธรรมตามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ (MOU) ประกอบ	มีอำนาจระงับข้อพิพาททางแพ่ง หน่วยงานรัฐ ทำบันทึกข้อตกลงการระงับข้อพิพาทภาคประชาชน

รายการ	ศูนย์ยุติธรรมชุมชน	ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน
	กับคำสั่งกระทรวงยุติธรรม เป็นการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทตามที่คู่กรณีร้องขอเกี่ยวกับความแพ่งหรือความอาญาที่เป็นความผิดอันยอมความได้ ไม่ได้ระบุลักษณะกรอบขอบเขตในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในคดีแพ่งไว้ และระบุเพียงคดีอาญาอันเป็นความผิดอันยอมความได้	ทำบันทึกตกลงการระงับข้อพิพาทและมีหนังสือรับรองจากกรมคุ้มครองสิทธิแล้ว หากคู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ปฏิบัติตามข้อตกลง คู่กรณีอีกฝ่ายสามารถยื่นคำร้องต่อศาลเพื่อบังคับตามข้อตกลงฯ โดยทำภายใน 3 ปี และการระงับข้อพิพาททางอาญานั้นหากไกล่เกลี่ยสำเร็จมีผลทำให้สิทธินำคดีอาญามาฟ้องระงับ หากไกล่เกลี่ยไม่สำเร็จคู่กรณีเจตนาสละการไกล่เกลี่ย เข้าสู่ในกระบวนการยุติธรรมปกติ รวมทั้งหากอายุความครบกำหนดแล้ว ให้ขยายอายุความไป 60 วัน คดีอาญาพนักงานสอบสวน ให้หยุดนับอายุความในคดีอาญา
3. องค์ประกอบและการได้มาของผู้ไกล่เกลี่ย	คณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชน ประกอบด้วย ปลัดอำเภอ พัฒนากรตำรวจชุมชนประจำตำบล กำนัน นายกองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น อาสาสมัครแรงงาน อาสาสมัครพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ อาสาสมัครคุมประพฤติ อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ผู้แทนสภาเกษตรกรตำบล และผู้นำอาสาพัฒนาชุมชนระดับตำบลประเภทละ 1 คน และนิติกรหรือเจ้าหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ได้รับมอบหมาย เป็นกรรมการและเลขานุการ	บุคคลซึ่งได้รับการขึ้นทะเบียนและได้รับการแต่งตั้งให้ทำหน้าที่ในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ซึ่งจะต้องผ่านการอบรมและขึ้นทะเบียนเป็นผู้ไกล่เกลี่ยเสียก่อนจึงจะทำหน้าที่เป็นผู้ไกล่เกลี่ยได้
4. ผลบังคับทางกฎหมายหากมีการไม่ปฏิบัติตามข้อตกลง	ต้องนำไปฟ้องร้องต่อศาลตามปกติ และเมื่อศาลมีคำพิพากษาตามยอม หากผิดสัญญาอีกฝ่ายขอให้ศาลบังคับคดีได้ภายใน 10 ปีนับแต่ผิดสัญญา	ยื่นคำร้องต่อศาลเพื่อบังคับตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทได้ ภายใน 3 ปี นับแต่วันที่อาจบังคับตามข้อตกลงได้

ที่มาตาราง : ผู้วิจัย

บทสรุป

การพิจารณาเปรียบเทียบกระบวนการระงับข้อพิพาททางเลือกของศูนย์ยุติธรรมชุมชน กับ ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน ทำให้สรุปสาระสำคัญได้ ดังนี้

ประเด็นที่หนึ่ง การได้มาซึ่ง “คณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชน” (คกก.ศยช.) เป็นการดำเนินการในรูปแบบคณะกรรมการโดยตำแหน่งที่ได้รับการแต่งตั้งจากผู้ว่าราชการจังหวัด จากตำแหน่งที่เป็นที่เคารพและน่าเชื่อถือ

ของคนภายในชุมชนนั้นๆ แตกต่างจากการได้มาซึ่ง **“ผู้ไกล่เกลี่ย”** ของศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ซึ่งต้องเป็นบุคคลที่ขึ้นทะเบียนเป็นผู้ไกล่เกลี่ยมีคุณสมบัติเป็นผู้ผ่านการอบรมการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ตามหลักสูตรที่คณะกรรมการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติ ตามกฎหมายว่าด้วยการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติรับรอง เป็นผู้มีประสบการณ์ในด้านต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์แก่การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท และไม่มีลักษณะต้องห้ามตามที่กฎหมายบัญญัติ เห็นได้ว่า “ผู้ไกล่เกลี่ย” ของศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน ตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 มีส่วนส่งเสริมให้การไกล่เกลี่ยมีประสิทธิภาพและได้รับความเชื่อถือจากประชาชนมากกว่า แนวโน้มในอนาคตจึงสมควรที่จะมีการปรับปรุงให้ “คณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชน” มีมาตรฐานมากยิ่งขึ้น

ประเด็นที่สอง ขอบเขตการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ของศูนย์ยุติธรรมชุมชน เป็นการอำนวยความยุติธรรมตามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ (MOU) ประกอบกับคำสั่งกระทรวงยุติธรรม ที่ 322/2559 (ลงวันที่ 13 กรกฎาคม 2559) เรื่อง การบริหารงานในศูนย์ยุติธรรมชุมชน และที่แก้ไขเพิ่มเติมโดยคำสั่งกระทรวงยุติธรรม ที่ 570/2559 (ลงวันที่ 24 พฤศจิกายน 2559) เรื่อง แก้ไขคำสั่งการบริหารศูนย์ยุติธรรมชุมชน เป็นการไกล่เกลี่ยและประนอมข้อพิพาทตามที่คู่กรณีร้องขอเกี่ยวกับความแพ่งหรือความอาญาที่เป็นความผิดอันยอมความได้ ทั้งนี้ การไกล่เกลี่ยตามการบริหารงานในศูนย์ยุติธรรมชุมชน โดยคณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชนเป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและประนอมข้อพิพาทในชุมชน ซึ่งในขณะนั้นยังไม่มีกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและประนอมข้อพิพาทในชุมชน ประกอบกับไม่ได้ระบุลักษณะกรอบอำนาจหน้าที่หรือขอบเขตในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในคดีแพ่งไว้ ระบุเพียงคดีอาญาอันเป็นความผิดอันยอมความได้ ซึ่งส่งผลให้คณะกรรมการยุติธรรมชุมชนมีอำนาจในการไกล่เกลี่ยประนอมข้อพิพาทคดีแพ่งทุกกรณี ส่วนในคดีอาญาสามารถไกล่เกลี่ยประนอมข้อพิพาทได้เฉพาะความผิดอันยอมความได้ และไม่มีการกำหนดผลการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทว่าสามารถนำไปบังคับกับคู่กรณีอีกฝ่ายได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งในการตกลงไกล่เกลี่ยหรือประนอมข้อพิพาทนั้นการบังคับตามข้อตกลงที่คู่กรณีได้ตกลงถือเป็นเรื่องสำคัญมาก ดังนั้น การไกล่เกลี่ยและประนอมยอมความที่ทำขึ้นโดยคณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชน หากคู่กรณีอีกฝ่ายไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงที่ทำร่วมกันไว้ คู่กรณีฝ่ายที่ได้รับความเสียหายต้องดำเนินการฟ้องร้องตามกฎหมายต่อไป เมื่อเปรียบเทียบกับการไกล่เกลี่ยของศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน ซึ่งกฎหมายกำหนดให้ชัดเจนว่าหากคู่กรณีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งไม่ปฏิบัติตามข้อตกลง คู่กรณีอีกฝ่ายสามารถยื่นคำร้องต่อศาลเพื่อบังคับตามข้อตกลงระงับข้อพิพาทได้ภายใน 3 ปี ส่วนข้อพิพาททางอาญานั้นหากไกล่เกลี่ยสำเร็จมีผลทำให้สิทธินำคดีอาญามาฟ้องระงับ แต่หากไกล่เกลี่ยไม่สำเร็จ คู่กรณีเจตนาสละการไกล่เกลี่ย เข้าสู่ในกระบวนการยุติธรรมปกติ รวมทั้งหากอายุความครบกำหนดแล้ว ให้ขยายอายุความไป 60 วัน

ประเด็นที่สาม องค์ประกอบและการได้มาซึ่งผู้ไกล่เกลี่ย กลไกสำคัญที่สุดอีกประการหนึ่ง นอกเหนือจากขอบอำนาจและผลบังคับของข้อตกลง คือ ผู้ไกล่เกลี่ย เป็นบุคคลที่มีความสำคัญที่จะต้องเป็นผู้ที่มีคุณสมบัติและมีลักษณะพิเศษบางประการที่จะทำให้คู่กรณีหรือคู่พิพาทเลือกที่ใช้กระบวนการระงับข้อพิพาทด้วยวิธีการใด คือ ความเป็นกลางและความน่าเชื่อถือ เมื่อใดที่ผู้ไกล่เกลี่ยไม่มีความน่าเชื่อถือเพียงพอ ย่อมหาความเชื่อมั่นจากคู่พิพาทได้ยาก ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่า องค์ประกอบและการได้มาของผู้ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนในแต่ละชุมชนจะมีคณะกรรมการศูนย์ยุติธรรมชุมชน ซึ่งประกอบด้วย ปลัดอำเภอประจำตำบล เป็นประธานกรรมการ พัฒนากรประจำตำบล ตำรวจชุมชนประจำตำบล กำนันท้องที่ นายกองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในตำบล ประธานศูนย์ยุติธรรมชุมชนเดิม 1 คน (ถ้ามี) อาสาสมัครแรงงาน อาสาสมัครพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ อาสาสมัครคุมประพฤติ อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ผู้แทนสภาเกษตรกรตำบล และผู้นำอาสาพัฒนาชุมชนระดับตำบลประเภทละ 1 คน เป็นกรรมการ และนิติกรหรือเจ้าหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ได้รับมอบหมาย เป็นกรรมการและเลขานุการ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะแต่งตั้งโดยตำแหน่งและดำเนินการในรูปแบบคณะกรรมการ แตกต่างจากการไกล่เกลี่ยภาคประชาชนที่

ผู้ไกล่เกลี่ย คือ บุคคลซึ่งได้รับการขึ้นทะเบียนและได้รับการแต่งตั้งให้ทำหน้าที่ในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท ซึ่งจะต้องผ่านการอบรมและขึ้นทะเบียนเป็นผู้ไกล่เกลี่ยเสียก่อนจึงจะทำหน้าที่เป็นผู้ไกล่เกลี่ยได้ คุณสมบัติเหล่านี้เป็นพื้นฐานแห่งความเชื่อมั่นในกระบวนยุติธรรมทางเลือก อีกทั้งคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ต้อง ผ่านการอบรมการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทตามหลักสูตรที่คณะกรรมการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติ ตามกฎหมายว่าด้วยการพัฒนาการบริหารงานยุติธรรมแห่งชาติรับรอง และเป็นผู้มีประสบการณ์ในด้านต่าง ๆ อันจะเป็นประโยชน์แก่การไกล่เกลี่ยข้อพิพาท และไม่มีลักษณะต้องห้ามอันเป็นเงื่อนไขเบื้องต้นที่ได้รับการรับรองอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

กระบวนการระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชุมมีความแตกต่างกับศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชนตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 หลายประการไม่ว่าจะเป็นขอบอำนาจของคดีที่สามารถระงับข้อพิพาทได้ องค์ประกอบและการได้มารวมทั้งคุณสมบัติของผู้ไกล่เกลี่ย ตลอดจนความแตกต่างของผลบังคับของข้อตกลงระงับข้อพิพาท ซึ่งทั้ง 3 ประเด็นดังกล่าวล้วนเป็นปัจจัยสำคัญของความสำเร็จในการระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนในพื้นที่อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย และเพื่อเป็นการพัฒนากระบวนการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชน

ผู้วิจัยเห็นควรเสนอแนะดังนี้

ประการที่หนึ่ง ปัจจัยที่มีผลต่อผลสำเร็จของการดำเนินตามนโยบายของของกระทรวงยุติธรรมในการนำยุติธรรมชุมชนไปสู่การปฏิบัติ คือ ความเชื่อมั่นหรือทัศนคติของผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ที่เป็นคู่กรณีพิพาทรวมทั้งประชาชนในชุมชนยังไม่มีความเชื่อมั่นหรือมีทัศนคติที่ดีต่อศูนย์ยุติธรรมชุมชน สมควรเพิ่มประสิทธิภาพการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนประการแรก คือ ส่งเสริมให้ศูนย์ยุติธรรมชุมชนสามารถช่วยเหลือ ดูแล ให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหาเบื้องต้นให้กับผู้ที่ถูกละเมิดสิทธิและเสรีภาพ โดยวิธีการที่เสริมสร้างองค์ความรู้ให้กับผู้ไกล่เกลี่ยให้มีมาตรฐาน

ประการที่สอง ปรับปรุงหลักเกณฑ์และวิธีการได้มาซึ่งคณะกรรมการยุติธรรมชุมชนที่จากเดิมแต่งตั้งกรรมการโดยตำแหน่ง ได้แก่ ปลัดอำเภอประจำตำบล พัฒนากรประจำตำบล ตำรวจชุมชนประจำตำบล กำนันท้องที่ นายกองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในตำบล ประธานศูนย์ยุติธรรมชุมชนเดิม จำนวน 1 คน (ถ้ามี) อาสาสมัครแรงงาน อาสาสมัครพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ อาสาสมัครคุมประพฤติ อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ผู้แทนสภาเกษตรกรตำบล และผู้นำอาสาพัฒนาชุมชนระดับตำบลประเภทละ 1 คน นิติกรหรือเจ้าหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ได้รับมอบหมาย โดยผู้วิจัยเห็นว่า ควรเพิ่มคุณสมบัติของกรรมการเป็นผู้ขึ้นทะเบียนฝึกอบรมเป็นผู้ไกล่เกลี่ย เช่นเดียวกับผู้ไกล่เกลี่ยตามพระราชบัญญัติการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท พ.ศ. 2562 ด้วย

โดยวิธีการแก้ไขเพิ่มเติมคำสั่งกระทรวงยุติธรรม ที่ 322/2559 ลงวันที่ 13 กรกฎาคม 2559 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยคำสั่งกระทรวงยุติธรรม ที่ 570/2559 ลงวันที่ 24 พฤศจิกายน 2559 เรื่อง แก้ไขคำสั่งการบริหารศูนย์ยุติธรรมชุมชน

โดยเพิ่มเติมองค์ประกอบของคณะกรรมการยุติธรรมชุมชน เป็นวรรคที่สอง ของข้อ 4 ดังต่อไปนี้ “คณะกรรมการยุติธรรมชุมชนอย่างน้อยหนึ่งคนต้องเป็นบุคคลซึ่งได้รับการขึ้นทะเบียนและได้รับการแต่งตั้งให้ทำหน้าที่ในการไกล่เกลี่ยข้อพิพาทตามกฎหมายว่าด้วยการไกล่เกลี่ยข้อพิพาท” ทั้งนี้ กรรมการประเภทแต่งตั้งโดยตำแหน่ง ยังคงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเช่นเดิม ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะเป็นการส่งเสริมให้ศูนย์ยุติธรรมชุมชนมีประสิทธิภาพในการลดจำนวนข้อพิพาทจะขึ้นสู่ศาลหรือขจัดความขัดแย้งในชุมชนได้

ประการที่สาม ส่งเสริมหรือผลักดันให้มีกฎหมายว่าด้วยยุติธรรมชุมชนโดยมุ่งเน้นให้มีกฎหมายว่าด้วยยุติธรรมชุมชนเพื่อรับรองและคุ้มครองการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ เครือข่ายอาสา รวมทั้งรองรับผลทางกฎหมายของข้อตกลงหรือผลของการไกล่เกลี่ยหรือระงับข้อพิพาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนให้สามารถบังคับคดีได้ตามกฎหมาย

ประการสุดท้าย เสริมสร้างการมีส่วนร่วมของชุมชน หลักการที่เป็นหัวใจสำคัญของการระงับข้อพิพาทในชุมชนนั้น คือการเสริมสร้างความสมานฉันท์ของชุมชนอย่างยั่งยืน ที่ผ่านการพิจารณาหรือความเห็นชอบของประชาชนในชุมชน ผู้ปฏิบัติงานในศูนย์ยุติธรรมชุมชน และผู้มีส่วนได้เสียให้มีส่วนร่วมในการระงับข้อพิพาทใดๆ ได้ เช่น การแจ้งข่าวหรือเบาะแสทางคดีหรือการกระทำผิดกฎหมาย บทบาทในการป้องกันอาชญากรรมในชุมชน แนวทางหรือรูปแบบการระงับข้อพิพาทในชุมชนใดควรที่จะเกิดจากแนวทางและรูปแบบกระบวนการที่คนในชุมชนร่วมกันพิจารณาและเห็นชอบด้วยซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาจากนักวิชาการที่ศึกษาวิจัยความสำเร็จของศูนย์ยุติธรรมชุมชนต้นแบบ

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก คณาจารย์คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางตลอดเวลาการศึกษาครั้งนี้ ทั้งนี้ ขอขอบพระคุณหน่วยงานและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในศูนย์ยุติธรรมจังหวัด ศูนย์ยุติธรรมชุมชนอำเภอพญาเม็งราย ศูนย์ดำรงธรรมอำเภอพญาเม็งราย สำนักงานอัยการคุ้มครองสิทธิและเสรีภาพอำเภอเทิง ศูนย์ไกล่เกลี่ยข้อพิพาทภาคประชาชน และเจ้าหน้าที่รัฐที่เกี่ยวข้องในพื้นที่อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย ที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัย และขอบคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีจนทำให้งานวิจัยสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

กรกฎ ทองขะโชค และคณะ. (2553). **บทบาทของศูนย์ยุติธรรมชุมชนในเขตเทศบาลตำบลปากพะยูน อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.

กรกฎ ทองขะโชค. (2561) กระบวนการยุติธรรมเชิงสมานฉันท์และสันติวิธีของศูนย์ยุติธรรมชุมชนในจังหวัดชายแดนภาคใต้, **วารสารนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร,** ปีที่ 11 ฉบับที่ 1.

กรกฎ ทองขะโชค. (2562). การไกล่เกลี่ยข้อพิพาทในชุมชน. **วารสารสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยทักษิณ**, ปีที่ 8.

กองพัฒนายุติธรรมชุมชน (กยช.) สำนักงานปลัดกระทรวงยุติธรรม. **คู่มือประกอบการปฏิบัติงานของเครือข่ายยุติธรรมชุมชนเพื่อการเข้าถึงความยุติธรรมของประชาชน**.

จักกริน วรนาม และคณะ. (2562). เงื่อนไขที่เอื้อต่อความสำเร็จในการดำเนินงานของศูนย์ยุติธรรมชุมชนตำบลในจังหวัดขอนแก่น. **วารสารสังคมสงเคราะห์ศาสตร์**, ปีที่ 27 ฉบับที่ 2.

ทนัทรยา ธีรัชธชาโชติ. (2557). **การไกล่เกลี่ยประนอมข้อพิพาทโดยยุติธรรมชุมชน**. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต (กฎหมายสำหรับนักบริหาร) คณะนิติศาสตร์, สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์.

ทวิตรา เจรจา. (2560). **การเสริมสร้างแนวความปิดกระบวนการยุติธรรมชุมชนภายใต้บริบทของกฎหมายรัฐธรรมนูญ**.รายงานฉบับสมบูรณ์, สถาบันพระปกเกล้า.

ศรวิชา กฤตาธิการ และไชยยศ ไพวิทยศิริธรรม. (2560). ข้อเสนอเชิงนโยบายยุติธรรมชุมชนเพื่อเสริมสร้างความสมานฉันท์ของชุมชนอย่างยั่งยืน. **วารสารศิลปากรศึกษาศาสตร์วิจัย,** ปีที่ 9, ฉบับที่ 2.

สุรชัย ไวยวรรณจิตร และคณะ (2559). **การปฏิรูปกระบวนการยุติธรรมชุมชนในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักวิจัยและพัฒนา สถาบันพระปกเกล้า.

อัคคกร ไชยพงษ์. (2562). มาตรการของศูนย์ยุติธรรมชมชนในการแก้ไขปัญหาความเดือนร้อนของประชาชนให้ประสบความสำเร็จและการนำมาใช้. **วารสารกระบวนการยุติธรรม,** ปีที่ 12, เล่มที่ 3.

มาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรม: กรณีศึกษาธุรกิจน้ำมัน

Legel measures to promote a fair transition to the energy system: A case of oil business

รัฐนนท์ สุขสุวานนท์[1*] และ ธิติ ไวกวี[1]

Ratthanont Sooksuwanont[1*] and Thiti Waikavee[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับมาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรม จากกรณีของผู้ประกอบการธุรกิจน้ำมัน ซึ่งได้รับผลกระทบโดยตรงจากการที่รัฐกำลังพยายามพัฒนานโยบายการใช้งานระบบพลังงานจากพลังงานฟอสซิลที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมมาเป็นพลังงานสะอาดที่มีความยั่งยืน ผลจากการศึกษาวิจัยพบปัญหาและอุปสรรคของการบังคับใช้นโยบายและมาตรการทางกฎหมายอยู่หลายประการ เนื่องจากนโยบายและมาตราการทางกฎหมายอาจมีความไม่ครอบคลุมกับปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นด้านราคา สิ่งแวดล้อม แรงงาน ซึ่งก่อให้เกิดความไม่เป็นธรรมแก่ผู้ประกอบการธุรกิจน้ำมัน ผู้วิจัยจึงเสนอแนะแนวทางในพัฒนามาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมให้แก่ภาครัฐ โดยแบ่งมาตรการการออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ มาตรการระยะสั้น เป็นมาตรการกำหนดให้ธุรกิจน้ำมันมีการใช้งานเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีเงื่อนไขการของรับทุนส่งเสริมการลงทุนจากภาครัฐ และมีการจูงใจในการส่งเสริมให้ภาคขนส่งมีการใช้งานน้ำมันเชื้อเพลิงคาร์บอนต่ำและเชื้อเพลิงชีวภาพมากขึ้น และมาตราการระยะยาว ที่กำหนดให้มีตราพระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ไว้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาพลังงานสะอาดภายใต้กรอบการกำกับดูแลและบริหารความเสี่ยงอย่างมีประสิทธิภาพ และมาตรการจูงใจและสนับสนุนทางด้านภาษี เพื่อสร้างความมั่นใจในการลงทุนให้เป็นการพัฒนาธุรกิจที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: การเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรม, ธุรกิจน้ำมัน, การพัฒนาที่ยั่งยืน, พลังงานสะอาด

[1] คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] School of Law, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: different.rn@gmail.com

Abstract

This research examines Legel measures to promote a fair transition to the energy system: A case of oil business. This is directly affected by the government trying to develop policies for using energy systems from fossil energy that causes environmental pollution to clean, sustainable energy. The results of the research study found many problems and obstacles in enforcing policies and legal measures. This is because legal policies and measures may not cover current problems. Whether it be in terms of price, environment, or labor, which causes injustice to oil business operators. The researcher therefore suggests guidelines for developing legal measures to promote a fair energy system transition for the government sector. The measures are divided into 2 phases: short-term measures It is a measure requiring oil businesses to use technology to capture and store carbon dioxide. There are conditions for receiving investment promotion funds from the government. and there are incentives to encourage the transportation sector to use more low-carbon fuels and biofuels. and long-term measures that requires the enactment of the Climate Change Act To set clean energy development goals under the framework of effective supervision and risk management. and tax incentives and support measures to build confidence in investing in sustainable development.

Keywords: Just energy transition, Oil Business, Sustainable development, Clean energy

บทนำ

ปัญหาภาวะโลกร้อน (Global Warming Crisis) เกิดขึ้นจากการที่อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ซึ่งมีต้นเหตุจากการกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ จากอุสาหกรรมการผลิตพลังงานและการขนส่งในปริมาณมากเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลก จึงเป็นสาเหตุทำให้โลกเกิดการแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ จึงได้มีการประชุมสมัชชาประเทศว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (COP 26) เกิดขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยมีผู้แทนจากกว่า 200 ประเทศได้เข้าร่วมเพื่อสร้างพันธสัญญาในการวางแผนลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และประเทศไทยก็เป็นหนึ่งในประเทศที่ได้เข้าร่วมการประชุมและประกาศเจตนารมย์ที่จะบรรลุเป้าความเป็นกลางทางคาร์บอน ให้สำเร็จภายในปี พ.ศ. 2593 และ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ให้สำเร็จภายในปี พ.ศ. 2608 (ธารา บัวคำศรี, 2565)

เมื่อประเทศไทยตั้งเป้าหมายในการบรรลุ Carbon neutrality และเข้าสู่ Net zero emissions จึงต้องมีการปรับตัวเพื่อดำเนินการร่วมกับนานาประเทศได้อย่างยั่งยืน โดยเริ่มมองถึงปัญหาที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมภาคที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในประเทศ คือ ภาคพลังงานและการคมนาคม เนื่องจากมีการใช้งานพลังงานขั้นสุดท้ายเป็นจำนวนมาก และแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี เนื่องจากกิจการที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าส่วนมากยังคงมาจากก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และเชื้อเพลิงน้ำมันสำเร็จรูปเป็นหลัก และการคมนาคมยังคงใช้รถยนต์พลังงานสันดาปภายในที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่เป็นมลพิษตามมาเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีความสอดคล้องกับข้อมูลรายงานของกระทรวงพลังงานเกี่ยวกับสถานการณ์ในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปี 2565 จากภาคขนส่งมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระดับที่ 77.0 ล้านตัน CO_2 และจากภาคพลังงานมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมันสำเร็จรูปในการผลิตไฟฟ้ามีสัดส่วนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 0.6 ล้านตัน CO_2 เพิ่มขึ้นร้อยละ 21.1 จากปีที่ผ่านมา(ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2565) ประเทศไทยจึงได้มีการเตรียมการรับมือโดยการวางแผนยุทธศาสตร์ระยะยาวในการพัฒนาแบบปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ (Thailand, 2564) ระบุถึงเป้า

หมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) โดยเน้นการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคพลังงานและคมนาคมขนส่ง คือ บรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี พ.ศ. 2608 – 2613 ซึ่งจะมีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอย่างน้อย 50% การส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากกว่า 30% ด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมการบริการจัดการภาคพลังงาน การปรับการใช้พลังงานในภาคคมนาคม เพื่อรองรับนโยบาย 30@30 พร้อมทั้งการปรับเปลี่ยนโครงสร้างกิจการพลังงาน ตั้งแต่ด้านไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน ตามแนวทาง 4D1E และวางแผนการขับเคลื่อนธุรกิจตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs) (ศูนย์วิจัยและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน, 2566) ซึ่งคำนึงถึงความต่อเนื่องในการพัฒนาเศษฐกิจ แรงงาน ลดความเหลื่อมล้ำและความไม่สมดุลระหว่างสภาพแวดล้อมและสังคม พร้อมเสริมสร้างคุณภาพชีวิตของคนในสังคม ผ่านแนวคิด การเปลี่ยนผ่านพลังงานที่เป็นธรรม (Just Energy Transition) (Pattarawut Phaha, 2565) อาจกล่าวได้ว่า แผนของภาครัฐให้ความสำคัญกับการพยายามเปลี่ยนผ่านพลังงาน ตั้งแต่แหล่งต้นน้ำของการกระบวนการผลิตให้เป็นพลังงานที่สะอาดเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน แต่การพยายามเปลี่ยนผ่านดังกล่าว ทำให้รูปแบบการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงและการนำยายนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ ย่อมส่งผลให้ในอนาคตอาจมีแนวโน้มการใช้งานน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงอย่างต่อเนื่องในระยะยาว ทำให้ธุรกิจมากมายได้รับผลกระทบ หนึ่งในธุรกิจที่ได้รับผลกระทบโดยตรง คือ ธุรกิจน้ำมันหรือผู้ค้าน้ำมัน เนื่องจากต้องมีการปรับเปลี่ยนตั้งแต่รูปแบบวิธีดำเนินธุรกิจ เทคโนโลยี การผลิตตลอดจนแรงงาน ทำให้กิจการเข้าสู่ภาวะเผชิญกับความเสี่ยงสูง ไม่สามารถปรับเปลี่ยนกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่ลงทุนไปได้อย่างกะทันหัน การลงทุนที่มีราคาสูงในกิจการอาจจะกลายเป็นสินทรัพย์ที่ใช้งานไม่ได้หรือถูกด้อยค่าลงในอนาคต ซึ่งอาจก่อให้เกิดความไม่เป็นธรรมต่อการเปลี่ยนผ่านพลังงานสำหรับกิจการเหล่านี้ แต่อย่างไรก็ตามผู้ประกอบการธุรกิจดังกล่าวยังคงสามารถต่อยอดองค์ความรู้จากกระบวนการผลิตพลังงานของตนด้วยการพัฒนาและปรับปรุงกิจการให้เป็นธุรกิจพลังงานที่สะอาดได้ เช่น การปรับเปลี่ยนการดำเนินงานของน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติให้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง การลงทุนจัดหาน้ำมันและพลังงานที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนต่ำ การปรับเปลี่ยนกลยุทธธุรกิจกระจายเข้าสู่ธุรกิจรูปแบบใหม่ จากธุรกิจน้ำมันมาเป็นธุรกิจพลังงานเพื่อจัดหาไฟฟ้าและบริการด้านพลังงานที่หลากหลายขึ้น หรือ การนำเทคโนโลยีที่ดักจับและกักเก็บก๊าซเรือนกระจก (CCS)(PTTEP, 2565) เข้ามาใช้งานเพื่อช่วยในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสภาวการณ์ปัจจุบัน ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมการลดก๊าซเรือนกระจกจากภาคพลังงานและภาคคมนาคมให้สอดคล้องกับแผนการพัฒนาแบบปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ รัฐจึงจำเป็นต้องมีนโยบายและมาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมันให้เป็นธุรกิจพลังงานสะอาดอย่างชัดเจน เพื่อมุ่งไปสู่เป้าหมายการเปลี่ยนผ่านรูปแบบการใช้งานพลังงานสะอาดอย่างเป็นธรรม

จากการศึกษาพบว่าประเทศไทยได้นำกฎหมายมาใช้บังคับในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมัน ได้แก่ พระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543 พระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542 พระราชบัญญัติกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2562 พระราชบัญญัติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ พ.ศ. 2535 พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 และกฎหมายอื่น ๆ ผู้วิจัยได้พบปัญหาและอุปสรรคของการบังคับใช้เกี่ยวกับการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมันอยู่หลายประการ เช่น ประเทศไทยยังไม่มีนโยบายและมาตรการทางกฎหมายสำหรับการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมันอย่างเหมาะสมเท่าที่ควร ขาดมมาตรการทางกฎหมายส่งเสริมให้โรงกลั่นน้ำมันปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพน้ำมันให้เทียบเท่าสากล และไม่มีมาตรการทางกฎหมายที่ส่งเสริมธุรกิจน้ำมันให้เกิดการปรับตัวทางด้านเทคโนโลยีหรือใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จะมาช่วยดักจับและกักเก็บมลพิษเท่าที่ควร ขาดมาตรการกฎหมายที่จูงใจในด้านการลงทุนผลิตพลังงานที่สะอาด และยังขาดมาตรการจูงใจให้ภาคขนส่งมีการใช้งานน้ำมันเชื้อเพลิงคาร์บอนและเชื้อเพลิงชีวภาพมากขึ้น ผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะนำปัญหาและมาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยน

ผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมันของประเทศไทยมาเปรียบเทียบกับมาตรการทางกฎหมายเพื่อส่งเสริมการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมันของต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศเยอรมนี ซึ่งเป็นประเทศที่พัฒนาแล้ว เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงแก้ไขมาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมันของประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับยุคสมัยต่อไป

วิธีการศึกษา

ในการดำเนินการศึกษาเรื่อง มาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรม กรณีศึกษาธุรกิจน้ำมัน ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบและขอบเขตของระเบียบวิธีวิจัยหรือกระบวนการศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) และ ด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึกเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

ประชากรกลุ่มตัวอย่าง

สำหรับการกำหนดระเบียบวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดประชากรกลุ่มตัวอย่างไว้ คือ เจ้าหน้าที่สำนักงานพลังงานประจำจังหวัด ผู้ประกอบการธุรกิจค้าน้ำมันเชื้อเพลิง และอาจารย์มหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อให้ทราบถึงนัยและความคิดด้านการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรม กรณีศึกษาธุรกิจน้ำมัน โดยดำเนินกระบวนการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive random) เนื่องจากผู้วิจัยมีข้อจำกัดด้วยเรื่องระยะเวลาในการทำการศึกษาวิจัย จึงใช้วิธีเก็บข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key informant Interview) เป็นการสัมภาษณ์โดยกำหนดตัวผู้ตอบเป็นการเฉพาะเจาะจง เนื่องจากเป็นกลุ่มเป้าหมายที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้วิจัย โดยจะเรียกบุคคลประเภทนี้ว่า ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ อันเป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยตัวที่ผู้วิจัยได้พิจารณาคัดเลือกด้วยตนเอง เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้รับจากกระบวนวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ (qualitative research) มาดำเนินการประมวลผลข้อมูลอันนำไปสู่ข้อค้นพบต่อไป

ผลการศึกษา

1. ลักษณะของ “ธุรกิจน้ำมัน”

ธุรกิจน้ำมัน หรือ ผู้ประกอบการค้าน้ำมัน หมายถึง ผู้กระทำการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง โดยซื้อนำเข้ามาในราชอาณาจักร หรือได้มาไม่ว่าด้วยประการใดเพื่อจำหน่าย และให้หมายความรวมถึงผู้กลั่นหรือผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย แต่ทั้งนี้ ไม่รวมถึงผู้ได้รับสัมปทานตามกฎหมายว่าด้วยปิโตรเลียม (พระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543)

2. แนวโน้มการให้ความร่วมมือและพัฒนารูปแบบการดำเนินธุรกิจของผู้ประกอบการธุรกิจน้ำมันของประเทศไทยในปัจจุบัน

เพื่อบรรลุเป้าหมายการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกของประเทศ และดeเนินธุรกิจควบคู่กับความใส่ใจสิ่งแวดล้อมให้สอดคล้องกระแสสังคม – ข้อตกลงการค้าระหว่างประเทศ ภาคเอกชนเริ่มมีการประกาศถึงเป้าหมายลดปล่อยคาร์บอน และการเข้าสู่ Net Zero โดยหลายบริษัทในธุรกิจพลังงานได้กำหนดเป้าหมาย Carbon Neutrality และ Net Zero เร็วกว่าแผนของประเทศ 5 – 15 ปี ดังนี้

2.1 บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด

ตั้งเป้าหมาย Carbon Neutrality และ Net Zero ภายในปี 2593 และปี 2603 ตามลำดับ โดยมีแผนให้ความสำคัญกับการบรรลุเป้าหมายในการดำเนินธุรกิจ ดังนี้ (1) ต่อยอดธุรกิจสู่ขนส่งเชื้อเพลิงทางท่อและโลจิสติกส์ (2) ผลิตและจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน จากน้ำมันพืชใช้แล้ว เป็นรายแรกในประเทศไทย (3) ขยายธุรกิจผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด และธุรกิจผลิตภัณฑ์ชีวภาพที่มีมูลค่าสูง (4) หาแนวทางดูดซับและกักเก็บคาร์บอน

โดยธรรมชาติ ด้วย Green Carbon และ Blue Carbon และ (5) ตลาดซื้อขายคาร์บอนเครดิต Carbon Markets Club (Parinth , 2565)

2.2 บริษัท เชลล์แห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน)

ดำเนินธุรกิจภายใต้ยุทธศาสตร์ Powering Progress (Shell thailand, 2564) เพื่อเดินหน้าสู่การบรรลุเป้าหมาย Net Zero ทั้งในส่วนของผลิตภัณฑ์และบริการภายในปี 2593 ด้วยการขับเคลื่อนผ่านบทบาทที่สำคัญ 3 ด้าน คือ (1) การจัดหาผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีปริมาณคาร์บอนลดลงมาจำหน่ายให้แก่ลูกค้า เพื่อให้ลูกค้าได้มีส่วนร่วมในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปด้วยกัน (2) มุ่งในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ ตลอดกระบวนการดำเนินงานทั้งหมด และ (3) ทำงานร่วมกับภาคส่วนต่าง ๆ ทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจ และประชาสังคม เพื่อช่วยกันหาวิธีที่จะทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ไปด้วยกัน (ผู้จัดการออนไลน์, 2564)

2.3 บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

ประกาศเป้าหมายบรรลุ Carbon Neutrality และ Net Zero ภายในปี 2583 และปี 2593 ด้วยการดำเนินงานหลักจาก (1) การใช้เทคโนโลยีดักจับ และกักเก็บคาร์บอน (CCS) (2) การเปิดใช้งานโรงแยกก๊าซ ใหม่ทดแทนโรงงานเดิม ทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น (3) การปรับ Portfolio การลงทุนภายใต้ กลยุทธ์ Future Energy and Beyond

(4) มุ่งเน้นการใช้งานพลังงานหมุนเวียน (5) การทำโครงการปลูกป่า ดูดซับคาร์บอน และ (6) การกระจายเข้าสู่ธุรกิจพลังงานรูปแบบใหม่ เช่น ไฮโดรเจน (Parinth, 2565)

3. มาตรการทางกฎหมายเกี่ยวกับการประกอบธุรกิจน้ำมันเชื้อเพลิงของประเทศไทย

3.1 พระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543

กำหนดขึ้นเพื่อให้การดำเนินการประกอบกิจการเกี่ยวกับการค้าน้ำมันและการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศเป็นไปอย่างมีระบบ โดยกำหนดและควบคุมมาตรฐานคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อเป็นการคุ้มครองผู้บริโภคและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม รวมทั้งกำหนดการป้องกันและแก้ไขการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง โดยกำหนดให้ผู้ค้าน้ำมันมีการสำรองน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้มีน้ำมันเชื้อเพลิงเพียงพอต่อการใช้งานตลอดเวลา และกำหนดโทษทางอาญาเพื่อลงโทษผู้ประกอบกิจการที่มิได้ปฏิบัติให้เป็นไปตามที่กำหนด

3.2 พระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542

เพื่อใช้ในการควบคุมการประกอบกิจการเกี่ยวกับน้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันดิบ น้ำมันเบนซิน น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กำหนดความหมายของน้ำมันเชื้อเพลิงให้ครอบคลุมถึงก๊าซปิโตรเลียมเหลว และก๊าซธรรมชาติ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาวการณ์ในปัจจุบันและทันกับความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างรวดเร็ว

3.3 พระราชบัญญัติกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2562

เป็นกฎหมายที่มีหลักการสำคัญในการจัดตั้งกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อเป็นกลไกในการรักษาเสถียรภาพของระดับราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และป้องกันภาวะการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงมิให้เกิดผลกระทบต่อเศรษฐกิจ และเพื่อประโยชน์แห่งความมั่นคงด้านพลังงานและเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากสถานการณ์ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในตลาดโลกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระดับราคาขายปลีกน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ หรืออาจเกิดสถานการณ์ที่น้ำมันเชื้อเพลิงขาดแคลนและไม่เพียงพอต่อการใช้ภายในประเทศ

3.4 พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535

เป็นกฎหมายที่ใช้กำหนดการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร การอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักร หรืออุปกรณ์และส่งเสริมการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

3.5 พระราชบัญญัติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ พ.ศ. 2535

เป็นกฎหมายที่กำหนดให้มีองค์กรหลักที่เป็นคณะบุคคลในรูปของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ซึ่งทำหน้าที่กำหนดนโยบายด้านพลังงานของรัฐ เพื่อพิจารณาเสนอนโยบายและแผนการบริหารและพัฒนาพลังงาน รวมทั้งกำกับดูแลประสานงานและประเมินผลการปฏิบัติงานด้านพลังงานของหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อให้การปฏิบัติงานในด้านนโยบายและการบริหารพลังงานของประเทศมีเอกภาพและประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยมีสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานซึ่งเป็นส่วนราชการระดับกรม สังกัดกระทรวงพลังงาน ปฏิบัติงานตามที่ กพช. มอบหมาย

อภิปรายและสรุปผล

1. หลักการสำหรับแผนและนโยบายในการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงาน

หลักความยุติธรรมด้านสภาพอากาศ (Climate justice) (United Nations Children's Fund, 2022) เป็นหลักการที่คำนึงถึงประชาชนเป็นศูนย์กลางในการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศ สิ่งนี้ทำให้เกิดความมั่นใจในการเป็นตัวแทน การรวม และการปกป้องสิทธิของผู้ที่เปราะบางที่สุดต่อผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แนวทางแก้ไขจะต้องส่งเสริมความเสมอภาค รับประกันการเข้าถึงทรัพยากรพื้นฐาน และรับประกันว่าคนหนุ่มสาวสามารถอยู่อาศัย เรียนรู้ เล่น และทำงานในสภาพแวดล้อมที่ดีต่อสุขภาพและสะอาด

หลักความยุติธรรมในพลังงาน (Energy justice) เป็นหลักการที่คนกลุ่มหนึ่งถูกทำให้เป็นผู้รับผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาอยู่เพียงกลุ่มเดียว ความเป็นธรรมในพลังงานเป็นแขนงย่อยจากความยุติธรรมทางธรรมทางสิ่งแวดล้อม เพียงแต่จะตีกรอบไปที่ผลกระทบตลอดโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานและระบบพลังงาน เน้นการเข้าถึงพลังงานในราคาที่เหมาะสม มีความปลอดภัยและยั่งยืนอย่างเสมอภาค เพื่อให้ทุกคนสามารถคงไว้ซึ่งคุณภาพชีวิตที่ดี มี 4 องค์ประกอบหลัก คือ (1) การกระจายประโยชน์อย่างเป็นธรรม (2) ความเป็นธรรมเชิง (3) ความยุติธรรมที่รับรู้ได้ และ (4) ความเป็นธรรมเชิงสมานฉันท์ (Pattarawut Phaha, 2565)

หลักความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อม (Environmental justice) (คนึงนิจ ศรีบัวเอี่ยม, 2559) เป็นหลักการสำหรับความเท่าเทียมในการได้รับประโยชน์และความเป็นธรรมในการต้องรับภาระจากอันตรายสิ่งแวดล้อม มีลักษณะย่อยดังนี้ (1) ความยุติธรรมที่กระจาย (2) ความยุติธรรมเชิงกระบวนการ (3) ความยุติธรรมที่เป็นการยอมรับ

สำหรับแผนและนโยบายของประเทศไทย กระทรวงพลังงานได้มีการกำหนดนโยบายและจัดทำแผนพลังงานของประเทศประกอบด้วย แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า แผนอนุรักษ์พลังงาน แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกแผนบริหารจัดการก๊าซธรรมชาติ รวมถึงแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นพลังงานชนิดที่มีสัดส่วนการใช้ที่สูงมากโดยเฉพาะในภาคขนส่ง และเนื่องจากความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมีความเกี่ยวเนื่องและได้รับผลกระทบจากการดำเนินงานตามแผนพลังงานด้านอื่น ๆ จึงจำเป็นต้องมีการจัดทำแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง ที่นำเอาแผนงานและนโยบายจากแผนพลังงานทุกแผนมาประกอบกันให้เห็นความเชื่อมโยงเพื่อให้การบริหารจัดการพลังงานมีประสิทธิภาพ และประสานให้การดำเนินการตามแผนต่าง ๆ มีความชัดเจนและมีเป้าหมายรวมกัน เพื่อให้เกิดความสมดุลของการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถกำหนดทิศทางนโยบายการ

พัฒนาพลังงานได้อย่างเป็นรูปธรรม แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิงของประเทศระยะยาว ปี พ.ศ. 2558 – 2579 มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้กำหนดทิศทางการบริหารจัดการด้านน้ำมันเชื้อเพลิงให้สอดคล้องกับเป้าหมายที่ระบุภายใต้แผนอื่น ๆ โดยเฉพาะแผนอนุรักษ์พลังงานและแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้เป็นกรอบสำหรับการดำเนินนโยบายและการจัดทำแผนด้านน้ำมันเชื้อเพลิงในอนาคต โดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมต่าง ๆ รวมถึงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตซึ่งอาจส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการพัฒนาด้านพลังงานของประเทศ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2559)

การจัดทำแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นการบูรณาการระหว่างแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 –2579 กับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 โดยเริ่มกระบวนการจัดทำแผนจากการพยากรณ์ปริมาณความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลปริมาณ ความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเดียวกับแผนอนุรักษ์พลังงาน แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิงฉบับนี้ “น้ำมันเชื้อเพลิง” หมายความรวมถึง น้ำมัน ก๊าซปิโตรเลียม เหลวที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง และก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ และการจัดทำแผนจะมุ่งเน้นการบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิงในภาคขนส่ง เนื่องจากเป็นภาคส่วนที่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในสัดส่วนสูงที่สุด ตามแผนอนุรักษ์พลังงานได้มีการประเมินความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในกรณีฐาน BAU ว่าในปี 2579 จะมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในภาคขนส่ง 65,459 ktoe โดยตามแผนได้กำหนดแนวทางมาตรการอนุรักษ์พลังงานในภาคขนส่งแบ่งแนวทางดำเนินการออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 กำกับราคาเชื้อเพลิงในภาคขนส่งให้สะท้อนต้นทุนที่แท้จริง กลุ่มที่ 2 เพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงในยานยนต์ กลุ่มที่ 3 ส่งเสริมการบริหารจัดการการใช้รถบรรทุกและรถโดยสาร และกลุ่มที่ 4 พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานคมนาคมขนส่ง

ตารางที่ 1 ตารางแสดงการจำแนกชนิดน้ำมันกับปริมาณความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

หน่วย: ktoe

สาขาเศรษฐกิจ	ชนิดน้ำมัน	BAU		EEP100%	
		ปี 2569	ปี 2579	ปี 2569	ปี 2579
สาขาขนส่ง	เบนซิน	9,303	12,934	4,683	4,523
	ดีเซล	17,086	24,309	9,898	10,067
	LPG	4,601	8,001	2,785	4,264
	ก๊าซธรรมชาติ	5,731	9,269	4,020	5,447
	น้ำมันเครื่องบิน	7,206	10,036	7,206	10,036
	น้ำมันเตา	1,010	909	1,010	909
	รวมสาขาขนส่ง	**44,937**	**65,459**	**29,602**	**35,246**
รวมทุกสาขา	เบนซิน	9,381	13,012	4,760	4,600
	ดีเซล	23,972	32,389	16,784	18,147
	LPG	8,986	13,022	7,170	9,285
	ก๊าซธรรมชาติ	5,731	9,269	4,020	5,447
	น้ำมันเครื่องบิน	7,217	10,047	7,217	10,047
	น้ำมันเตา	1,699	1,598	1,699	1,598
	รวม	**56,985**	**79,338**	**41,650**	**49,125**

ข้อมูลในข้างต้นกรมธุรกิจพลังงานได้นำมาบริหารจัดการโดยกำหนดเป็นหลักการจัดทำแผน 5 หลักดังนี้

1. สนับสนุนมาตรการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในภาคขนส่งตามแผนอนุรักษพลังงาน พ.ศ. 2558 – 2579
2. บริหารจัดการชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมาะสม
3. ปรับโครงสรางราคาน้ำมันเชื้อเพลิงใหเหมาะสม
4. ผลักดันการใชเชื้อเพลิงเอทานอลและไบโอดีเซล ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579
5. สนับสนุนการลงทุนในระบบโครงสรางพื้นฐานน้ำมันเชื้อเพลิง (กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558)

เมื่อแผนต่าง ๆ ของภาครัฐมีเป้าหมายให้ความสำคัญกับการพยายามเปลี่ยนผ่านพลังงาน ตั้งแต่แหล่งต้นน้ำของการกระบวนการผลิตให้เป็นพลังงานที่สะอาดเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แต่การพยายามเปลี่ยนผ่านดังกล่าว ทำให้รูปแบบการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงและการนำยานยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ ย่อมส่งผลให้ในอนาคตอาจมีแนวโน้มการใช้งานน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงอย่างต่อเนื่องในระยะยาว ทำให้ ธุรกิจน้ำมัน หรือผู้ประกอบการค้าน้ำมัน ได้รับผลกระทบโดยตรง เนื่องจากต้องมีการปรับเปลี่ยนตั้งแต่รูปแบบวิธีดำเนินธุรกิจ เทคโนโลยีการผลิต ตลอดจนแรงงาน ทำให้กิจการเข้าสู่ภาวะเผชิญกับความเสี่ยงสูง ไม่สามารถปรับเปลี่ยนกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่ลงทุนไปได้อย่างกะทันหัน การลงทุนที่มีราคาสูงในกิจการอาจจะกลายเป็นสินทรัพย์ที่ใช้งานไม่ได้หรือถูกด้อยค่าลงในอนาคต ซึ่งอาจก่อให้เกิดความไม่เป็นธรรมต่อการเปลี่ยนผ่านพลังงานสำหรับกิจการเหล่านี้ โดยผู้วิจัยยังไม่เห็นการเชื่อมโยงจากกรอบแผนดังกล่าวมากนัก นอกจากนั้น เรื่องการเยียวยาหรือการฟื้นฟูหรือส่งเสริมกลุ่มผู้ได้รับผลกระทบจากความไม่เป็นธรรมทางสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมและพลังงานเดิม ยังไม่ถูกกล่าวถึงมากนัก การเยียวยาจะต้องทำอย่างไร หรืออาจจะกล่าวได้ว่ายังขาดองค์ประกอบของความเป็นธรรมอย่าง การกระจายอย่างเป็นธรรม และ ความเป็นธรรมเชิงสมานฉันท์ นโยบายอาจจะต้องระบุถึงแนวทางการกระจายอำนาจตลอดพลังงานให้ชัดเจน เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับเอกชนและประชาชนที่จะเข้ามามีส่วนในห่วงโซ่และอุตสาหกรรมพลังงานใหม่ ๆ ที่จะเกิดขึ้น

จากมุมมองสะท้อนที่เห็นถึงความพยายามของรัฐที่กำลังเผชิญกับความท้าทายต่อการผลิตนโยบายในการบรรเทาและแก้ไขปัญหาความเป็นธรรมที่จะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนผ่านสู่พลังงานสะอาด ที่อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนที่ไม่เป็นเป็นธรรม สามารถสรุปประเด็นท้าทายได้ ดังนี้

1. แรงงาน ผู้เผชิญผลกระทบโดย การเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานย่อมหมายถึงการเปลี่ยนผ่านอุตสาหกรรมการผลิตเกี่ยวข้องกับแรงงานในหลายระดับ การเปลี่ยนผ่านทางอุตสาหกรรมต้องมีการเปลี่ยนผ่านรูปแบบวิธีการผลิต และทักษะแรงงาน แม้จะมีงานศึกษามากมายว่า อุตสาหกรรมพลังงานสะอาดจะช่วยทดแทนอัตราการจ้างงานที่อุตสาหกรรมพลังงานเก่าต้องปิดตัวหรือเปลี่ยนรูปแบบ
2. ราคา ราคาของการเข้าถึงพลังงานสะอาด ซึ่งเกี่ยวข้องตั้งแต่ต้นทุนการผลิต การเข้าถึงเทคโนโลยีและโครงสร้างของระบบควบคุมและระบบตลาด ที่จะเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดราคาของพลังงาน อาจส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมผู้บริโภค
3. ธรรมาภิบาลในภาคพลังงาน นโยบาย มาตรการ หรือแผนจากทางภาครัฐต้องความชัดเจนและมีวิสัยทัศน์จากนโยบายของรัฐ ชัดเจนว่ารัฐมีแนวทางในทิศทางใด เพื่อภาคส่วนอื่น ๆ หากรัฐไม่มีความชัดเจนและแน่นอน การจะทำให้เกิดหุ้นส่วนเพื่อการพัฒนา และสร้างความเป็นธรรมย่อมเกิดขึ้นได้ยาก
4. ข้อกังวลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในพลังงานสะอาด ช่วงการปรับเปลี่ยนมาใช้พลังงานบางอย่างอาจสร้างข้อกังวลอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน

ความท้าทายทั้งสี่ข้อที่กล่าวมานี้ แสดงให้เห็นถึงว่าภาครัฐจึงควรต้องมีนโยบายในลักษณะที่มีความตอบโจทย์องค์ประกอบของความเป็นธรรมเข้ามาช่วยเหลือ

ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอ หลักความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อม (Environmental justice) เป็นหลักการที่สำคัญหลักการหนึ่งในหลายหลักการ มาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับกำหนดกรอบแนวทางของนโยบายดังกล่าวให้มีความเท่าเทียมในการได้รับประโยชน์และความเป็นธรรมในการต้องรับภาระจากอันตรายสิ่งแวดล้อม โดยมีองค์ประกอบย่อยดังนี้ (1) ความยุติธรรมที่กระจาย นโยบายจะต้องคำนึงในแง่การลดและบรรเทาผลกระทบที่เกิดขึ้น และที่เกิดขึ้นแล้ว พร้อม ๆ กัน กับการกระจายผลประโยชน์ให้ทั่วถึงและสมดุล โดยในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงาน ที่สามารถใช้เครื่องมือทางนโยบายตลอดแรงงาน อุตสาหกรรม และมาตรการคุ้มครองทางสังคม (2) ความยุติธรรมเชิงกระบวนการ รูปแบบและขั้นตอนกระบวนการจะต้องคำนึงถึงการรวมผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เปิดรับความคิดเห็นและข้อกังวล เป็นรูปแบบในระยะยาว ต่อเนื่อง และแน่นอน ตั้งแต่เริ่มต้นกำหนดนโยบายจนสามารถนำไปใช้งาน และประเมินผลแก้ไขปรับปรุง เช่น การสนับสนุนทรัพยากรและโอกาสในการเข้าถึงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง จะทำให้เกิดความน่าเชื่อถือ และเกิดการร่วมมืออย่างแท้จริง (3) ความยุติธรรมที่เป็นการยอมรับ เป็นนโยบายที่ให้การยอมรับความเท่าเทียมกันทางด้านสิ่งแวดล้อม ทุกคนมีสิทธิได้รับประโยชน์และความเป็นธรรมจากการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานอย่างเท่าเทียมไม่เลือกปฏิบัติต่อกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเพื่อเสริมสร้างความยุติธรรมที่กระจายและความยุติธรรมเชิงกระบวณการ ความยุติธรรมที่เป็นการยอมรับเป็นแนวคิดที่สำคัญของความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อม

ดังนั้น ผู้วิจัยเห็นว่าผู้ประกอบการธุรกิจน้ำมันยังคงสามารถปรับตัวและต่อยอดองค์ความรู้จากกระบวนการผลิตพลังงานของตนด้วยการพัฒนาและปรับปรุงกิจการให้เป็นธุรกิจพลังงานที่สะอาดเพื่อลดความเสี่ยงและผลกระทบจากการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานดังกล่าวได้ แต่จำเป็นต้องอาศัยนโยบายที่มีความชัดเจนโดยยึดกรอบแนวทางตามหลักความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อมเข้ามาช่วยแก้ปัญหา เพื่อมุ่งไปสู่เป้าหมายการเปลี่ยนผ่านรูปแบบการใช้งานพลังงานสะอาดอย่างเป็นธรรม

2. มาตรการทางกฎหมาย

สำหรับหลักความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อม ได้เข้ามามีอิทพลต่อกฎหมาย กระบวนการจัดการและการเคลื่อนไหวทางสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยเป็นระยะเวลานานพอสมควร จะเห็นได้ชัดเจนตั้งแต่บทบัญญัติมาตรา 46 ของรัฐธรรมนูญราชอาณาจักไทย พ.ศ. 2540 และมาตรา 66 ของรัฐธรรมนูญราชอาณาจักรไทย พ.ศ. ที่กำหนดให้กลไกสิทธิชุมชนเป็นเครื่องมือสำหรับสร้างดุลยภาพของอำนาจอันจะนำไปสู่การเกิดดุลยภาพของการได้รับประโยชน์และการรับภาระทางสิ่งแวดล้อมระหว่างผู้มีส่วนได้เสียต่าง ๆ ซึ่งเป็นเรื่องของความยุติธรรมทางสังคม ขณะเดียวกันก็เป็นช่องทางที่นำไปสู่ดุลยภาพของธรรมชาติและของความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติที่ไม่ใช่มนุษย์ได้ด้วย บทบัญญัติดังกล่าวนี้ แฝงไว้ด้วยหลักการของกระบวนทัศน์ความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อมหลายประการ นอกจากเรื่องอำนาจดังกล่าว เช่น สิทธิที่จะมีส่วนร่วมในการจัดการและบำรุงรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สิทธิที่จะเข้าถึงทรัพยากรธรรมชาติ และที่สำคัญอย่างยิ่ง คือ บทบัญญัติดังกล่าวได้กำหนดให้สภาวะ “สมดุล” และ “ยั่งยืน” เป็นเจตนารมณ์สูงสุดของการใช้สิทธิชุมชน ซึ่งมีผลโดยปริยายเป็นการกำหนดเจตนารมณ์สูงสุดสำหรับการจัดสิ่งแวดล้อมของประเทศด้วยเหตุผลเนื้อหาในตัวของมันเองแบะด้านการเป็นกฎหมายสูงสุด (ศักดิ์ณรงค์ มงคล, 2558)

ซึ่งความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อมกับแนวเรื่องการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) ซึ่งมีประเด็นที่เชื่อมโยงกันอยู่ในเรื่องการแจกจ่ายผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการพัฒนาพลังงานทั้งภายในคนรุ่นเดียวกัน และระหว่างคนต่างรุ่นนำไปสู่ความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อม เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของการพัฒนาที่ยั่งยืนและจรรโลงความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน

จากการศึกษาประเทศไทยได้นำกฎหมายมาใช้บังคับในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมัน ได้แก่ พระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543 พระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542 พระราชบัญญัติกองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2562 พระราชบัญญัติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ พ.ศ. 2535 พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 และกฎหมายอื่น ๆ ผู้วิจัยได้พบปัญหาและอุปสรรคของการบังคับใช้เกี่ยวกับการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมันอยู่หลายประการ ประเทศไทยจึงยังขาดมาตรการทางกฎหมายที่เหมาะสมและครอบคลุมกับปัจจุบันเท่าที่ควร จะเห็นได้จากเนื้อหาในส่วน กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจน้ำมันยังขาดบทกฎหมายในเรื่องการจัดการธุรกิจและบำรุงรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และกระบวนการพัฒนาธุรกิจที่คำนึงถึงการใช้ทรัพยากรอย่างสมดุลและยั่งยืน ไม่สอดคล้องกับแนวโน้มการให้ความร่วมมือและพัฒนารูปแบบการดำเนินธุรกิจของผู้ประกอบการธุรกิจน้ำมันในประเทศไทยข้างต้น ที่ในแต่ละบริษัทน้ำมันได้เริ่มมีการปรับตัวหาแนวทาง วางแผนและคิดกลยุทธ์ต่าง ๆ มาปรับใช้ดำเนินธุรกิจ แต่บางแนวทางยังคงเป็นไปได้ยากลำบาก เนื่องจากขาดมาตรการทางกฎหมายจากภาครัฐในการส่งเสริมเพื่อให้เกิดการพัฒนาธุรกิจอย่างยั่งยืนตามแนวทางอย่างเหมาะสมและเป็นธรรม

อนึ่ง เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals) (SDG Move Team, 2558) ซึ่งแผนการพัฒนาโลกเพื่อความยั่งยืน โดยมีเป้าหมายขจัดความยากจนให้หมดไป พร้อมกับดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกคน ทุกตัว ทุกที่บนโลก ซึ่งมีองค์การสหประชาชาติเป็นหัวเรือใหญ่ในการชวนเชิญ 193 ประเทศสมาชิกทั่วโลกมาร่วมมือกันจัดทำขึ้น โดยมีกรอบระยะเวลา 15 ปี ให้แต่ละประเทศวางแผนและติดตามผลเพื่อให้บรรลุเป้าหมายภายในปี 2030 มีทั้งหมด 17 เป้าหมาย โดยจะสะท้อน 3 เสาหลักของมิติความยั่งยืน คือ มิติด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2 Sustainable Development Goals: SDGs

Sustainable Development Goals : SDGs (17 เป้าหมาย)	
เป้าหมายที่ 1	ยุติความยากจนทุกรูปแบบในทุกที่
เป้าหมายที่ 2	ยุติความหิวโหย บรรลุความมั่นคงทางอาหารและยกระดับโภชนาการ และส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน
เป้าหมายที่ 3	สร้างหลักประกันการมีสุขภาวะที่ดี และส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีสำหรับทุกคนในทุกช่วงวัย
เป้าหมายที่ 4	สร้างหลักประกันว่าทุกคนมีการศึกษาที่มีคุณภาพอย่างครอบคลุมและเท่าเทียม และสนับสนุนโอกาสในการเรียนรู้ตลอดชีวิต
เป้าหมายที่ 5	บรรลุความเสมอภาคระหว่างเพศ และเพิ่มบทบาทของสตรีและเด็กหญิงทุกคน
เป้าหมายที่ 6	สร้างหลักประกันเรื่องน้ำและการสุขาภิบาล ให้มีการจัดการอย่างยั่งยืนและมีสภาพพร้อมใช้ สำหรับทุกคน
เป้าหมายที่ 7	สร้างหลักประกันว่าทุกคนเข้าถึงพลังงานสมัยใหม่ในราคาที่สามารถซื้อหาได้ เชื่อถือได้ และยั่งยืน
เป้าหมายที่ 8	ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่ต่อเนื่อง ครอบคลุม และยั่งยืน การจ้างงานเต็มที่และ มีผลิตภาพ และการมีงานที่มีคุณค่าสำหรับทุกคน
เป้าหมายที่ 9	สร้างโครงสร้างพื้นฐานที่มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรม ที่ครอบคลุมและยั่งยืน และส่งเสริมนวัตกรรม

Sustainable Development Goals : SDGs (17 เป้าหมาย)	
	ลดความไม่เสมอภาคภายในและระหว่างประเทศ
เป้าหมายที่ 10	ทำให้เมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ มีความครอบคลุม ปลอดภัย ยืดหยุ่นต่อ
เป้าหมายที่ 11	การเปลี่ยนแปลง และยั่งยืน
	สร้างหลักประกันให้มีแบบแผนการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน
เป้าหมายที่ 12	ปฏิบัติการอย่างเร่งด่วนเพื่อต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและ
เป้าหมายที่ 13	ผลกระทบที่เกิดขึ้น
	อนุรักษ์และใช้ประโยชน์จากมหาสมุทร ทะเลและทรัพยากรทางทะเลอย่างยั่งยืน
เป้าหมายที่ 14	เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน
	ปกป้อง ฟื้นฟู และสนับสนุนการใช้ระบบนิเวศบนบกอย่างยั่งยืน จัดการป่าไม้อย่าง
เป้าหมายที่ 15	ยั่งยืน ต่อสู้การกลายสภาพเป็นทะเลทราย หยุดการเสื่อมโทรมของที่ดินและฟื้น
	สภาพกลับมาใหม่ และหยุดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ
	ส่งเสริมสังคมที่สงบสุขและครอบคลุม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ให้ทุกคนเข้าถึงความ
เป้าหมายที่ 16	ยุติธรรม และสร้างสถาบันที่มีประสิทธิผล รับผิดชอบ และครอบคลุมในทุกระดับ
	เสริมความเข้มแข็งให้แก่กลไกการดำเนินงานและฟื้นฟูสภาพหุ้นส่วนความร่วมมือ
เป้าหมายที่ 17	ระดับโลกสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืน

จากเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนที่ได้กล่าวมานั้น จะเห็นได้ว่าประเด็นเรื่องพลังงานเป็นประเด็นที่ถูกกำหนดไว้อย่างชัดเจนในเป้าหมายที่ 7 ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน 17 ประการ ทั้งนี้ เนื่องจากพลังงานเป็นทั้งโอกาสและความท้าทายของโลกในปัจจุบัน

รายละเอียดเป้าหมายที่ 7 ด้านพลังงานที่ต้องดำเนินการภายในระยะเวลา 15 ปี (พ.ศ. 2558 – 2573) มีความน่าสนใจดังนี้

1. มีการเข้าถึงบริการด้านพลังงานในราคาที่เหมาะสม มีศักยภาพน่าเชื่อถือ และทันสมัย ภายในปี 2573
2. พลังงานหมุนเวียนมีสัดส่วนของในภาคการพลังงานโลกเพิ่มขึ้นอย่างยั่งยืน ภายในปี พ.ศ. 2573
3. ประสิทธิภาพด้านพลังงานมีการปรับปรุงพัฒนาเป็นเท่าตัวภายในปี พ.ศ. 2573
4. มีความร่วมมือระหว่างประเทศเพื่อเอื้ออำนวยให้มีการเข้าถึงการวิจัยและเทคโนโลยีพลังงานที่สะอาด พลังงานหมุนเวียน เทคโนโลยีที่ทำให้เชื้อเพลิงฟอสซิลสะอาดขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และส่งเสริมการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานทางพลังงานและเทคโนโลยีพลังงานสะอาดภายใน ปี พ.ศ. 2573
5. เพิ่มโครงสร้างพื้นฐานและปรับปรุงเทคโนโลยีในการจัดหาบริการพลังงานที่ยั่งยืน ทันสมัยให้แก่ประเทศกำลังพัฒนา โดยเฉพาะประเทศที่พัฒนาน้อยที่สุด ประเทศกำลังพัฒนาที่เป็นหมู่เกาะ และประเทศกำลังพัฒนาที่ไม่มีทางออกสู่ทะเล (ปวริศร, อัจฉรา, 2558)

เป้าหมายการพัฒนาของประเทศไทยจึงต้องคำนำนึงถึงการเข้าถึงพลังงาน เพิ่มสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียน ปรับปรุงประสิทธิภาพทางด้านพลังงาน ประสานความร่วมมือกับต่างประเทศ และเพิ่มโครงสร้างพื้นฐานและปรับปรุงเทคโนโลยีในการจัดหาบริการพลังงานที่ยั่งยืน เพื่อบรรลุเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนด้านพลังงาน

อาจกล่าวสรุปได้ว่า เนื่องจากแนวนโยบายและแผนต่าง ๆ ของภาครัฐยังคงขาดเป้าหมายและแนวทางที่ชัดเจน ต่อเนื่อง ดังนั้น กฎหมายที่ออกมาบังคับใช้จึงต้องเป็นหลักในการกำหนดภาระกิจให้ทั้งภาครัฐและภาคเอกชนที่จะดำเนินการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมให้กับธุรกิจน้ำมันเพื่อบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนด้านพลังงาน ผู้วิจัยจึงเสนอให้นำปัญหาและมาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมันของประเทศไทยมาเปรียบเทียบกับมาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมันของต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศเยอรมนี ซึ่งเป็นประเทศที่พัฒนาแล้ว เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขมาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมันของประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพโดยกำหนดกรอบเป้าหมายเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยคำนึงถึงหลัก 3 มิติ คือ มิติด้านสังคม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

กฎหมายของประเทศเยอรมนี

กฎหมายกำหนดอัตราส่วนการใช้งานพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพ ค.ศ. 2006 มีสาระสำคัญเป็นการกำหนดอัตราส่วนขั้นต่ำของเชื้อเพลิงชีวภาพ (เช่น เอทานอล) ที่ผู้จัดจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อการคมนาคมขนส่งจะต้องจัดจำหน่าย โดยจะต้องให้ได้สัดส่วนอย่างต่ำร้อยละ 6.25 ของปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ตนได้จัดจำหน่าย ทั้งนี้ อาจดำเนินการโดยจ้าหน่ายเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพบริสุทธิ์ เช่น E20 E85 หรือใช้วิธีการผสมเข้ากับน้ำมันเชื้อเพลิงก็ได้

ก่อนที่มีการตรากฎหมายฉบับนี้ ประเทศเยอรมนีได้ใช้มาตรการทางภาษี (ลดอัตราภาษีพลังงานสำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพ) เพื่อสร้างแรงจูงใจให้มีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพให้มากขึ้นกฎหมายฉบับนี้มีผลเป็นการยกเลิกผลประโยชน์ทางภาษีดังกล่าวและเปลี่ยนจากการใช้มาตรการสร้างแรงจูงใจมาเป็นมาตรการบังคับ (กำหนดให้เป็นหน้าที่) ทั้งนี้ กฎหมายฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อให้ประชาชนได้มีพลังงานจากเชื้อเพลิงใช้ในระยะยาว และลดปริมาณเขม่าและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการคมนาคมขนส่ง (สุปวีณ์, 2562)

กฎหมายของประเทศสหรัฐอเมริกา

1. Energy Policy Act of 2005 เป็นกฎหมายนโยบายพลังงานนี้ได้จัดตั้งโครงการประกันเงินกู้เพื่อการลงทุนในเทคโนโลยีนวัตกรรม เพื่อสนับสนุนการลงทุนในเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับพลังงานสะอาด

2. Energy Independence and Security Act เป็นกฎหมายที่ตราขึ้นในปี พ.ศ. 2550 เพื่อกำหนดมาตรการในการขยายการผลิตพลังงานทดแทน ลดการพึ่งพาการใช้น้ำมัน เพิ่มความมั่นคงทางพลังงานและเป็นกฎหมายที่กล่าวถึงการจัดการสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปไว้ในกฎหมายโดยตรงนอกจากนี้ยังส่งเสริมการวิจัยและการใช้ทางเลือกในการจับและกักเก็บก๊าซเรือนกระจก โดยมาตรการสำคัญภายใต้กฎหมายฉบับนี้ มีดังนี้ (1) การกำหนดมาตรฐานการประหยัดพลังงานโดยเฉลี่ย (2) การกำหนดมาตรฐานพลังงานทดแทนภาคบังคับซึ่งกำหนดให้ผู้ผลิตน้ำมันต้องใช้น้ำมันจากพลังงานชีวภาพอย่างน้อย 36 ล้านล้านแกลลอน ในปี พ.ศ. 2565 และมีการให้การส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับพลังงานทดแทน (ฝ่ายค้นคว้าและเปรียบเทียบกองกฎหมายต่างประเทศ สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา, 2563)

3. The Energy Improvement and Extension Act of 2008 กฎหมายฉบับนี้กำหนดมาตรการจูงใจสำหรับการจัดหาและอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ การใช้วัตถุดิบที่สะอาดในการผลิตพลังงานและการขนส่งที่ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่ามีประสิทธิภาพ โดยมีกลไกที่สำคัญ ดังนี้ (1) กำหนดขอบเขตการให้เครดิตทางภาษีสำหรับธุรกิจหรือที่พักอาศัยที่ใช้พลังงานหมุนเวียน รวมถึงจัดหาหรือการผลิตอุปกรณ์เครื่องใช้ที่ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า (2) เพิ่มเติมฐานการเครดิตภาษีสำหรับการลงทุนในธุรกิจที่ใช้พลังงานความร้อน ระบบ

พลังงานลมขนาดเล็ก (3) เครดิตภาษีสำหรับการจัดหายานยนต์ใหม่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า(4) เพิ่มจำนวนการเครดิตภาษีสำหรับการใช้พลังงานชีวภาพหรือการใช้พลังงานชีวภาพหมุนเวียน และ (5) ขยายขอบเขตการเครดิตภาษีสำหรับการผลิตและในกิจการที่ใช้พลังงานนอกชายฝั่ง จากคลื่นในทะเลและมหาสมุทร (อุดมศักดิ์ สินธิพงษ์, 2558)

จากการศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางเกี่ยวกับนโยบายและมาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านระบบพลังงานที่เป็นธรรมสำหรับธุรกิจน้ำมัน โดยยึดแนวทางตามหลักความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อมและกำหนดกรอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) สามาถแบ่งออกเป็นข้อเสนอแนะระยะสั้นและระยะยาว ดังนี้ (1) ข้อเสนอแนะในระยะสั้น คือ มีมาตรการทางกฎหมายกำหนดให้ธุรกิจน้ำมันมีการใช้เทคโนโลยีดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Capture and Storage : CCS) มาเป็นเงื่อนไขที่จะสามารถขอรับการส่งเสริมการลงทุนจากภาครัฐได้ และมีมาตรการที่ช่วยส่งเสริมการปรับเปลี่ยนธุรกิจน้ำมันให้กระจายเข้าสู่ธุรกิจรูปแบบใหม่ เช่น การกำหนดนโยบายให้มีการส่งเสริมและสนับสนุนให้สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทุกแห่งควรจัดให้มีจุดบริการอัดประจุไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวกให้สอดคล้องกับนโยบายของภาครัฐในการเพิ่มจำนวนเครื่องอัดประจุไฟฟ้า และควรมีมาตรการทางกฎหมายสำหรับกำหนดการผลิตและใช้งานน้ำมันเชื้อเพลิงคาร์บอนต่ำและเชื้อเพลิงชีวภาพในภาคผู้ผลิตน้ำมันและภาคขนส่งด้วย เป็นต้น (2) ข้อเสนอแนะในระยะยาว คือ ควรมีการตราพระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ขึ้นเป็นการเฉพาะ เพื่อเป็นกฎหมายในการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ให้เกิดความเชื่อมโยงกันระหว่างรัฐและเอกชนในการกำหนดเป้าหมายพัฒนาพลังงานสะอาด ภายใต้กรอบการกำกับดูแลและบริหารความเสี่ยงอย่างมีประสิทธิภาพ และมีการออกกฎหมายสำหรับการพัฒนาและส่งเสริมเอทานอลและไบโอดีเซลเพื่อควบคุมคุณภาพเป็นการเฉพาะ และควรมีมาตรการส่งเสริมการจัดทำแผนปรับปรุงมาตรฐานโรงกลั่นน้ำมันในประเทศไทย ให้มีคุณภาพน้ำมันเทียบเท่าสากล เช่น EURO 6 ของยุโรป พร้อมกับการปรับปรุงโครงสร้างราคาน้ำมันให้สะท้อนต้นทุนการผลิต และมีมาตรการจูงใจและสนับสนุนทางด้านภาษี เช่น การยกเว้นภาษีสำหรับวัสดุหรืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับผลิตพลังงานสะอาดที่มีต้นทุนสูง และการลดหย่อนหรือยกเว้นภาษีในการนำเข้าเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการจัดเก็บค่าการปล่อยมลพิษ เพื่อเป็นส่งเสริมและผลักดันผู้ประกอบการธุรกิจที่มีความต้องการปรับปรุงเทคโนโลยีและพัฒนาต่อยอดธุรกิจของตนให้เป็นธุรกิจพลังงานที่สะอาดในอนาคต และรัฐควรมีมาตรการส่งเสริมกองทุนในด้านการวิจัยและพัฒนา ด้วยการให้งบประมาณหรือจัดตั้งกองทุนสำหรับการทำวิจัยพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีการดักจับหรือกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CCS) และด้านการผลิตพลังงานที่สะอาดเพิ่มมากขึ้น ตลอดจนมีการส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างองค์ความรู้และความเข้าใจในการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์และการใช้งานเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ ๆ ให้กับพนักงานหรือลูกจ้างแรงงานธุรกิจน้ำมันได้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ หากผู้วิจัยไม่ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้มีส่วนเกี่ยวจ้องทุกท่าน ผู้วิจัยขอใช้พื้นที่กิตติกรรมประกาศนี้ในการกล่าวขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ธิติ ไวกวี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำหรับความกรุณาให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับการวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยตระหนักและซาบซึ้งในความกรุณา ความทุ่มเท และความเอาใจใส่ของอาจารย์ที่มีให้แก่ลูกศิษย์ทุกคน และขอกราบขอบคุณพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ พร้อมกันนี้ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. นภนันต์ ศุภศิริพงษ์ชัย กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์สำหรับสำหรับคำแนะนำต่าง ๆ เพื่อการปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

เชฏฐวิทย์ มุสิกะศิริ. (2560). มาตรการทางกฎหมายในการประกอบกิจการสถานีอัดประจุไฟฟ้า สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า. สาขากฎหมายทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ฐิติรัตน์ ยะอนันต์. (2565). การดำเนินการเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของประเทศไทย ศึกษากรณีการประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 26. วารสารรามคำแหง ฉบับ นิติศาสตร์. ฉบับที่ 11(1), 69-129.

เดชรัต สุขกำเนิด. (2565). SDG Updates | การพัฒนาพลังงานหมุนเวียนในกรอบของ COP และ SDGs – ประเทศไทยทำอะไรให้ดีขึ้นได้บ้าง?. สืบค้นจาก https://www.sdgmove.com/2021/11/23/sdg-updates-renewable-energy-in-cop-and-sdgs-thailand-better-opportunities/.

ธนิสา ทวิชศรี. 2565. “Carbon neutrality” กับ “net zero emissions” ต่างกันอย่างไร? และมีความสำคัญอย่างไร?, สืบค้นจาก https://www.pier.or.th/blog/2022/0301/.

ธารา บัวคำศรี. (2565). Net Zero Emissions: ถอดรหัสถ้อยแถลงของรัฐบาลไทยที่ COP26 กลาสโกว์, สืบค้น. จาก https://thestandard.co/net-zero-emissions/.

ปวรศร เลิศธรรมเทวี และอัจฉรา ชินนิยมพาณิชย์. (2560). การส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือก พลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียน. สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. 12-14.

ผู้จัดการออนไลน์. (2564). เชลล์ตั้งเป้าสู่องค์กร Net Zero ปี 93, สืบค้นจาก https://mgronline.com/business/detail/9640000123475.

ศักดิ์ณรงค์ มงคล, (2558). ความยุติธรรมทางสิ่งแวดล้อม. วารสารพัฒนาสังคม, 17(2), 88-109.

ศุภวิชญ์ พ่วงสุวรรณ. (2564). วิพากษ์ร่างพระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. 16(2), 1-14.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2565), รายงานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงาน ปี 2565, กรุงเทพมหานคร: กรม.

ศูนย์วิจัยและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน. (2566). SDG Updates | บทสรุปและข้อเสนอแนะ: เปลี่ยนผ่านอย่างไรให้เป็นธรรม, สืบค้นจาก https://www.sdgmove.com/2021/12/07/sdg-updates-how-to-achieve-just-energy-transition-summary-andrecommendations/?fbclid=IwAR1DJIxWJwVnBtVeBNV-Q731_ZSmdaxCuY34xQfnbWBKP1y8nA62ulKRy8o.

สุปวีณ์ กรดเสือ. (2562). มาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน. วารสารนิติ รัฐกิจ และสังคมศาสตร์ สำนักวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. 3(1), 1-16.

อุดมศักดิ์ สินธิพงษ์. (2558). มาตรการทางกฎหมายในการส่งเสริมการพัฒนาพลังงานที่สะอาด. วารสารนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 8(1), 63-87.

Blondeel, M., & Bradshaw, M. (2022). Managing transition risk : Toward an intedisciplinary understanding of strates in the oil industry. Energy Research & Social Science, 102696.

PTTEP. (2565). โครงการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, สืบค้นจาก https://www.pttep.com/th/Sustainability/Carbon-Capture-And-Storage.aspx.

Pattarawut Phaha. (2565). ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ SDGs, สืบค้นจาก https://www.sdgmove.com/intro-to-sdgs/.

Pattarawut Phaha. (2565). SDG Updates | บทสรุปและข้อเสนอแนะ: เปลี่ยนผ่านอย่างไรให้เป็นธรรม?, สืบค้นจาก https://www.sdgmove.com/2021/12/07/sdg-updates-how-to-achieve-just-energy-transition-summary-and-recommendations/?.

Parinth Nikornkittikosol, (2022). Thailand : Energy and Petrochemical. Yuanta Securities : Thailand, Sector Update Retrieved from https://portal.settrade.com/brokerpage/IPO/Research/upload/2000000452463/Energy_Sector_Update_161222-2.pdf.

SDG Move Team. (2558). ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ SDGs, สืบค้นจาก https://www.sdgmove.com/intro-to-sdgs/

Shell Thailand. (2564). เชลล์ เร่งขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การปล่อยก๊าซคาร์บอนให้เป็นศูนย์ มุ่งให้ความสำคัญกับลูกค้าเป็นอันดับแรก, สืบค้นจาก https://www.shell.co.th/th_th/media/media-2021/shell-accelerates-drive-for-net-zero-emissions-with-customer-first-strategy.html.

Thailand. (2564). Mid-century, Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategy Thailand, (2021), Retrieved from https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Thailand_LTS1.pdf.

United Nations Children's Fund. (2022). Climate Justice Roundtable : An online discussion with activists and experts, Retrieved from https://www.unicef.org/globalinsight/what-climate-justice-and-what-can-we-do-achieve-it?fbclid=IwAR17J8UioT2hyfcTV8B784y7-M8HF6TVtNyYK90QuLz6OJaY_M0h50f4P6U.

การศึกษาการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่องในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา โรงแรมระดับมาตรฐาน 4 ดาว

A study real-time electrical energy measurement of air conditioner A case study of 4-Star Standard Hotel

กฤษมาพร พึ่งโพธิ์[1], พงศกร คชาพงศ์กุล[1] และ ชานนท์ บุญมีพิพิธ[1*]

Krissamaporn Pungpho[1], Pongsakorn Kachapongkun[1] and Chanon Bunmephiphit[1*]

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เพื่อออกแบบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเพื่อนำไปประยุกต์ใช้วัดค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในโรงแรมระดับมาตราฐาน 4 ดาว โดยมีวัตถุประสงค์การตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของผู้เข้าพัก และนำไปวิเคราะห์ออกแบบแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมต่อไป ผลการศึกษาพบว่า พลังงานในระบบปรับอากาศจะมีภาระทำความเย็นสูงสุดที่ 1.5 ตันความเย็น ใช้ปริมาณกระแสสูงสุดที่ 7.5 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 1,600 วัตต์ ในเวลาประมาณทุก 30 นาที เมื่อภาระการทำความเย็นลดลง จะทำให้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลดลง และเมื่อความเย็นคงที่เครื่องปรับอากาศจะทำงานลดลง ทำให้กำลังไฟฟ้าลดเหลือประมาณ 1,100 วัตต์เป็นเวลา 45 นาที เมื่ออุณหภูมิห้องคงที่สมดุลกับอากาศภายในห้อง จะตัดการทำงานของคอมเพรสจึงทำให้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลดลงอยู่ที่ประมาณ 250 ถึง 450 วัตต์ ซึ่งเป็นการทำงานเฉพาะพัดลมคอยเย็น (แฟนคอล์ย) การใช้งานเครื่องปรับอากาศในระยะเวลา 24 ชม. มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ประมาณ 500 จนถึง 1,200 วัตต์ ตามการปรับอุณหภูมิการใช้งานของพฤติกรรมลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่ำ คอมเพรสเซอร์จะเพิ่มแรงดันของสารทำความเย็นเพื่อทำความเย็น ให้ได้ตามอุณหภูมิที่ผู้ใช้งานต้องการและทำให้ปริมาณไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และการพัฒนาระบบให้สามารถแสดงผลที่หลากหลาย ส่งผลให้ลดปริมาณพลังงานลงได้

คำสำคัญ: การตรวจวัด พลังงาน ไฟฟ้า โรงแรม

[1] วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

[1] Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhonpathom 73170

* Corresponding author e-mail: Chanon.bun@rmutr.ac.th

Abstract

This study to design a continuous electrical energy measurement system for electrical energy of the air conditioning system in a 4-star hotel. The objective for measuring the electrical energy of air conditioning system in guests' room, for analyzed to design it conservation energy with the participation. The result as shown, the energy consumption of air conditioning system at 1.5 tons refrigerant, maximum current 7.5 A. and a maximum power 1.6 kW, and approximately every 30 minutes, it reduces the power and when the air inside room is constant, it will work less. In this case, to power to decrease to about 1,100 watts for a long time (45 minutes) when the room temperature is stable. The air temperature inside will cut off the compressor to reducing the power to 250 to 450 watts. It used only for cooling fan (fan-coil) in working time (24 hr.) The power of the air conditioning about 500 to 1,200 watts according to the temperature adjustment from of the behavior of customer's service. When turn-on the system at low temperature, compressor increases the pressure of the refrigerant for cooling to the temperature user. The want and increase the amount of electricity and the development of a system that can show a variety of results as a result, the amount of energy can be reduced.

Keywords: Measurement, Energy, Electrical, Hotel

บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานในธุรกิจโรงแรมของประเทศไทยมีปริมาณความต้องการสูงขึ้น และการให้บริการในลักษณะดังกล่าวอาจสร้างผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การสร้างมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม การสร้างน้ำเสียในปริมาณมาก [1-3] แต่ต้นทุนทางพลังงานดังกล่าวที่เกิดขึ้นได้นำไปคำนวณรวมกับค่าบริการการเข้าพัก จึงทำให้อัตราการรับบริการโรงแรมนั้นสูง แต่ด้วยระดับการให้บริการที่สูงสุดจึงไม่อาจจะทำให้โรงแรมระดับ 4-5 ดาว มีอัตราค่าให้บริการที่ต่ำได้ต่อการสร้างความประทับใจและตอบสนองความต้องการของผู้เข้าพัก ซึ่งไม่สอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ของประเทศไทย ฉบับที่ 2 (2556-2560) ที่กำหนดให้ธุรกิจควรคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากในปัจจุบันสิ่งแวดล้อมได้ถูกทำลายจากการดำเนินการของธุรกิจส่งผลให้โรงแรมในประเทศไทยมีการรณรงค์ให้ผู้ประกอบการหันมาใส่ใจปัญหาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น

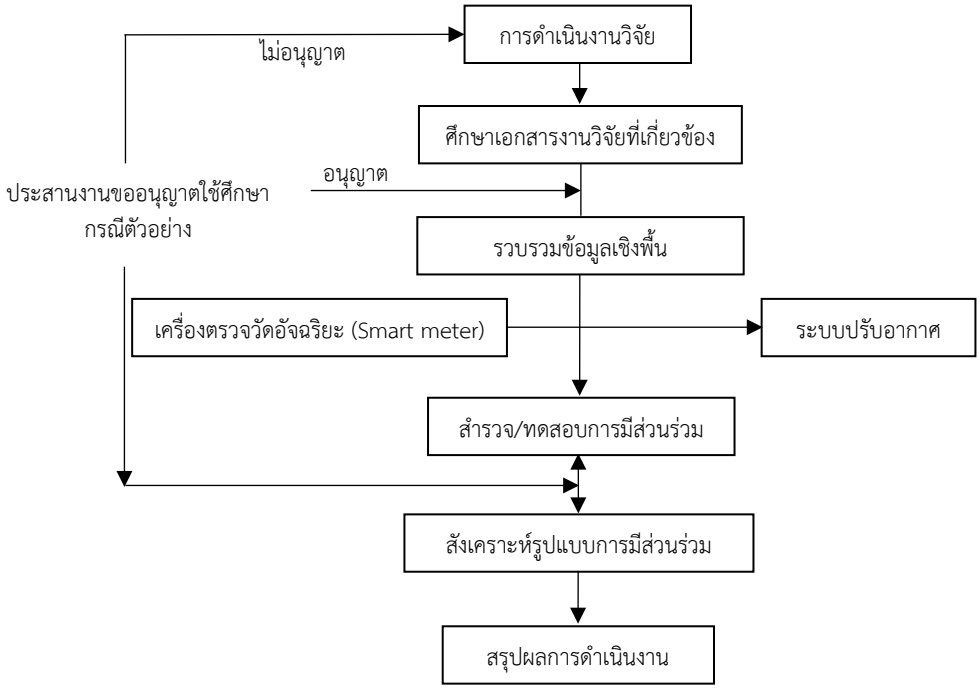
การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมจึงมีความสำคัญในการใช้พลังงานอย่างรู้คุณค่า รวมทั้งการตระหนักถึงแนวคิดการรักษ์สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ทุกประเทศทั่วโลกมีการรณรงค์การทำธุรกิจที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการดำเนินงานในทุกกิจกรรมมากยิ่งขึ้น รวมทั้งข้อตกลงระหว่างประเทศที่มีนโยบายร่วมในเรื่องรักษาสิ่งแวดล้อม ทำให้รัฐบาลได้สร้างมาตรฐานใบไม้สีเขียวเพื่อรณรงค์ให้ผู้ประกอบการหันมาใส่ใจในการบริการที่มีส่วนในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น รวมทั้งการนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดการเกิดของเสีย เป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น [4-7] จึงทำให้การตรวจวัดหรือการให้ได้มาซึ่งข้อมูลต้นทุนพลังงานที่แท้จริงที่จะแปรผันตามลักษณะหรือรูปแบบของการเข้าใช้บริการ สามารถนำมาพิจารณาการสร้างแรงจูงใจและแนวทางในการประหยัดพลังงานได้

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับส่วนห้องพักในโรงแรมระดับ 4 ดาว ด้วยเครื่องมือตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะในของระบบปรับอากาศที่เป็นปัจจัยต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดต่อการใช้บริการเพื่อนำไปออกแบบกระบวนการหรือแนวทางต่อการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเชิงพื้น

จากภาพที่ 1 แสดงการออกแบบเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง สำรวจข้อมูลเชิงพื้นที่โรงแรมระดับ 4 ดาว ที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน จากกรณีศึกษาห้องพักของโรงแรมระดับ 4 ดาว เพื่อการวิเคราะห์การใช้พลังงานและข้อจำกัดห้องพักที่ใช้ในการทดลอง โดยทำการสำรวจระบบปรับอากาศที่ใช้เป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อศึกษาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศนั้นๆ และนำค่าพลังงานเฉลี่ยที่ได้ มาวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการใช้พลังงาน และสร้างนโยบายเพื่อลดการใช้พลังงานระหว่างผู้ประกอบการและผู้เข้าพักในโรงแรม ในการมีส่วนช่วยกันอนุรักษ์พลังงาน



ภาพที่ 1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือวัดพลังงานอัจฉริยะ

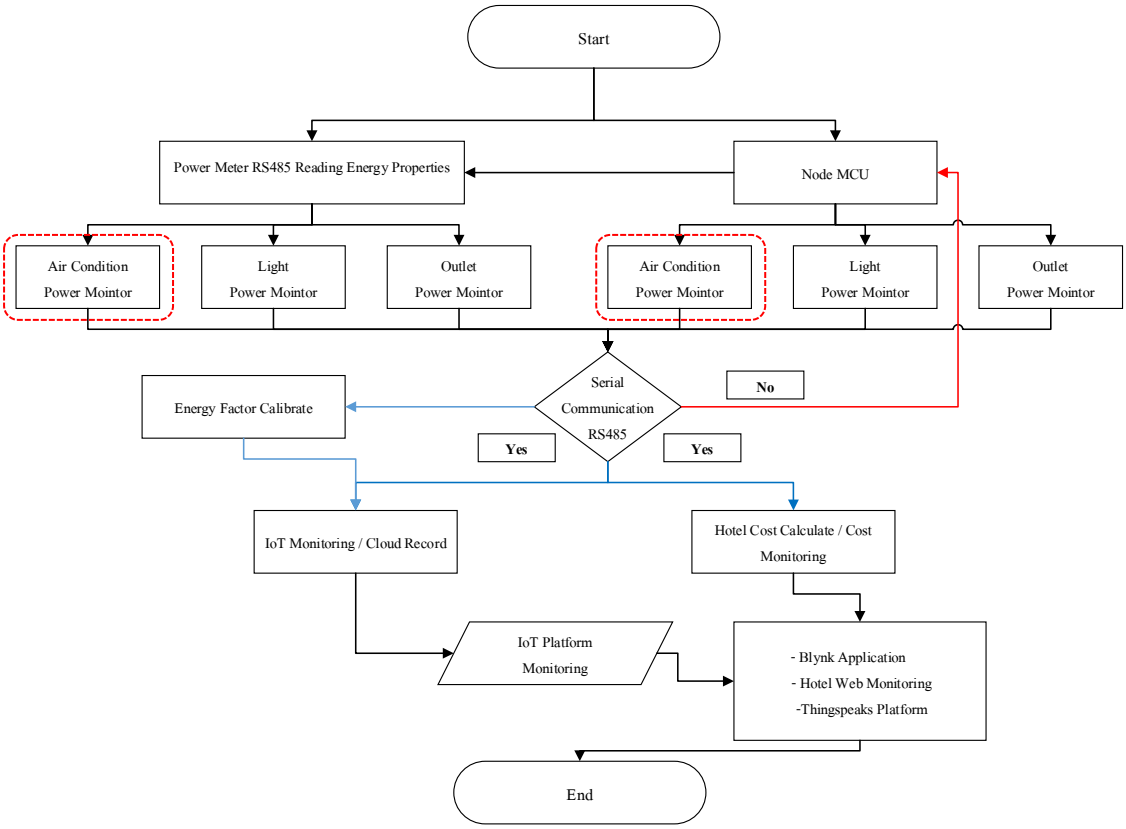
เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าได้กำหนดตัวแปรในการศึกษาการตรวจวัดการใช้พลังงานภายในห้องพักของโรงแรมระดับ 4 ดาว ในระบบปรับอากาศเท่านั้น และพัฒนาเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง โดยแสดงดังภาพที่ 2 ที่สามารถตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง และแสดงผลผ่านระบบแสดงผล 3 รูปแบบ ประกอบด้วย การแสดงผลการใช้พลังงานในห้องพักนั้นๆ การแสดงผลผ่านผู้จัดการพลังงานของโรงแรมและการแสดงผลผ่านระบบอินเตอร์เน็ตของผู้บริหาร

การวิเคราะห์ถึงผลการทดลองของเครื่องมือวัดพลังงานอัจฉริยะ

1) การวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานของแขกที่เข้าพัก เพื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมของแขกที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

2) การวิเคราะห์ถึงความร่วมมือของแขกผู้เข้าพักที่เห็นด้วยกับการลดการใช้พลังงาน โดยจะทำการสำรวจโดยใช้แบบสอบถาม

สรุปผลการวิจัย และแนวทางการพัฒนาเครื่องมือวัดพลังงานอัจฉริยะ



ภาพที่ 2 แผนผังระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

ผลการศึกษา

จากผังการทำงานของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart meter) ภาพที่ 2 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดพลังงานอัจฉริยะ คือ เริ่มต้นจากระบบจะทำการรับข้อมูลการใช้พลังงานจากมาตรวัดพลังงานแบบ Protocol Config RS485 ร่วมกับข้อมูลการตรวจวัดพลังงานของเซนเซอร์ตรวจวัดพลังงาน PZEM-004T มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนและคำนวณหาค่าแก้ดัชนีเพื่อทำให้ข้อมูลที่จะนำไปใช้ไม่มีความคลาดเคลื่อนโดยส่งข้อมูลพลังงานจากมาตรวัดพลังงานแบบ Protocol Config RS485 ผ่านช่องสื่อสารแบบ TTL ผ่านพอร์ต RX และ TX จากนั้นจะส่งค่าดัชนีการตรวจวัดไปคำนวณหาเงินคืนเพื่อสร้างแรงจูงใจให้แก่ผู้เข้าพักและนำข้อมูลในการตรวจวัดบันทึกข้อมูลไปยัง Cloud Server โดยใช้ Blynk Server Cloud และ Thing speak Cloud ทั้งนี้ผู้จัดทำวิจัยได้ทำการออกแบบ Hotel Energy Monitor Website เพื่อแสดงการใช้พลังงานรายบุคคลของผู้เข้าพัก โดยแบ่งการใช้งาน Website ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผู้เข้าพักสามารถดูพฤติกรรมการใช้พลังงานของตนเอง และ ดูค่าประหยัดเป็นจำนวนเงินที่โรงแรมจะคืนให้ผู้เข้าพักเมื่อทำการเช็คเอาท์ (Check Out) และ ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลการใช้งานของผู้เข้าพักไปวิเคราะห์หาแนวทางในการสร้างแรงจูงใจในการเข้าพัก โปรโมชั่น

หรือส่วนลดของผู้เข้าพักแต่ละเชื้อชาติ ควบคุมการเข้าพักของผู้เข้าพักเพื่อจัดการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงาน

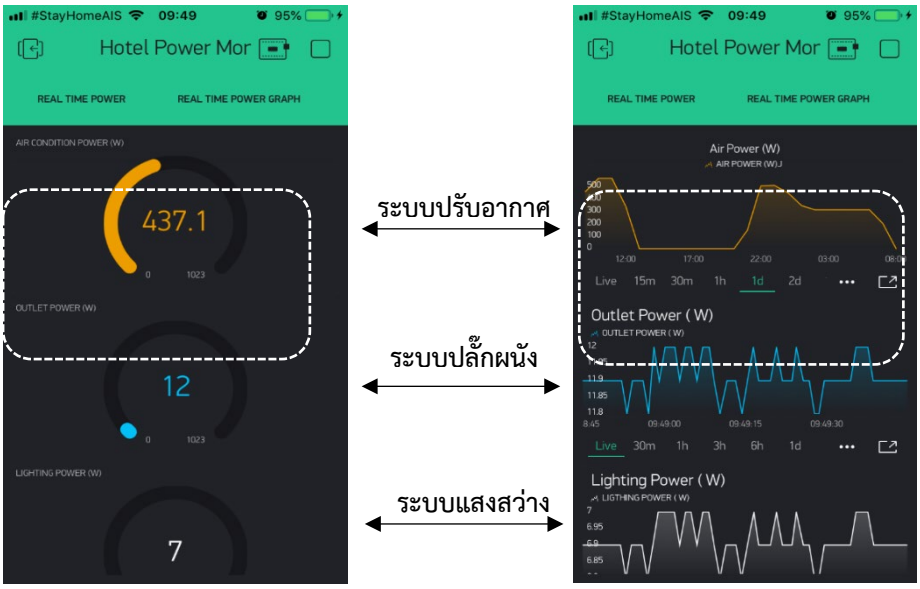


ภาพที่ 3 ระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบย่อย (รายอุปกรณ์ไฟฟ้า)

การออกแบบระบบการแสดงผลบนหน้าจอมือถือ (Application)

ในการออกแบบระบบการแสดงผลบนหน้าจอมือถือ (Application) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเขียน Application ด้วยการเขียนโค้ดชุดคำสั่ง และฟังก์ชั่นที่ใช้สั่งการให้แสดงผลข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิใน Application บนหน้าจอมือถือแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 โดยโค้ดชุดคำสั่ง และฟังก์ชั่นที่ใช้สั่งการ แสดงดังนี้

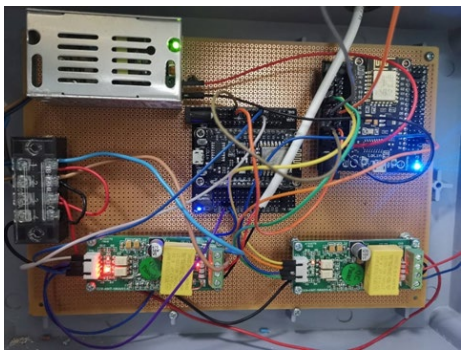
ฟังก์ชันการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า	ฟังก์ชันการอ่านค่ากำลังไฟฟ้า	ฟังก์ชันการอ่านค่าพลังงานไฟฟ้า
float outleti = pzem.current(ip);	float outletp = pzem.power(ip);	float outlete = pzem.energy(ip);
if(i >= 0.0){current_blynk=i;} //A	if(p >= 0.0){power_blynk=p;} //kW	if(e >= 0.0){energy_blynk =e; } ///kWh
if(i >= 0.0){current_thingspeak =i; } // A	if(p >= 0.0){power _thingspeak =p;} // kW	if(e >= 0.0){energy_thingspeak =e; } // kWh
if(i >= 0.0){current_hotelweb =i; } // A	if(p >= 0.0){power _hotelweb =p;} // kW	if(e >= 0.0){energy_hotelweb =e; } // kWh



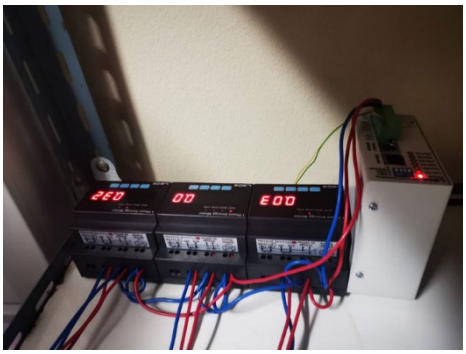
ก. ข.

ภาพที่ 4 การแสดงผลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศใน 2 ลักษณะ ประกอบด้วย

ก. การแสดงผลเชิงตัวเลข และ ข. การแสดงผลเชิงกราฟ



ก.



ข.



ค.



ง.



จ.



ฉ.

ภาพที่ 5 การอุปกรณ์ระบบตรวจวัด ประกอบด้วย ก. ระบบเชื่อมสัญญาณไร้สายเพื่อแสดงผล ข. เครื่องตรวจวัดพลังงานอัจฉริยะ ค. เครื่องวัดพลังงานชนิดอุตสาหกรรม kWh Meter1 Phase Energy Meter ง. Modbus TCP Scanner Model: MTP-SN-1 จ. และ ฉ. การติดตั้งกล่อง Hotel smart meter

การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในห้องพัก

ระบบปรับอากาศสำหรับโรงแรมกรณีศึกษานั้น ติดตั้งเป็นระบบมาตรฐานเหมือนกันทุกห้องในระดับเดียวกันแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน แยกเป็น 2 ส่วนคือ เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit, AHU) หรือหน่วยแฟนคอยล์ (Fan Coil Unit, FCU) และคอยล์ร้อน (Condenser Unit, CDU) โดยเครื่องปรับอากาศที่ทำการตรวจวัดเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 24000 BTU ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น Inverter ฉลากเบอร์ 5 กระแสไฟฟ้าสูงสุดแอมแปร์ จากเนมเพลต พบว่าเครื่องปรับอากาศมีภาระทำความเย็นสูงสุดที่ 1.5 ตันความเย็น ใช้ปริมาณกระแสสูงสุดที่ 7.5 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 1,600 วัตต์ ในเวลาประมาณทุก 30 นาที เมื่อภาระการทำความเย็นลดลง จะทำให้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลดลง และเมื่อความเย็นคงที่เครื่องปรับอากาศจะทำงานลดลง ทำให้กำลังไฟฟ้าลดเหลือประมาณ1100 วัตต์เป็นเวลา 45 นาที เมื่ออุณหภูมิห้องคงที่สมดุลกับอากาศภายในห้อง จะตัดการทำงานของคอมเพรสจึงทำให้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลดลงอยู่ที่ประมาณ 250 ถึง 450 วัตต์ ซึ่งเป็นการทำงานเฉพาะพัดลมคอยเย็น (แฟนคอล์ย) การใช้งานเครื่องปรับอากาศในระยะเวลา 24 ชม. มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ประมาณ 500 จนถึง 1,200 วัตต์ ตามการปรับอุณหภูมิการใช้งานของพฤติกรรมลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่ำ คอมเพรสเซอร์จะเพิ่มแรงดันของสารทำความเย็นเพื่อทำความเย็น ให้ได้ตามอุณหภูมิที่ผู้ใช้งานต้องการและทำให้ปริมาณไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานเปรียบเทียบกับระยะเวลาแล้วพบว่า พฤติกรรมของผู้เข้าใช้บริการโรงแรมมีการปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิที่ปรับจะแปรผันตรงกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานไป เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้ากับช่วงเวลาแล้ว ในช่วงที่ 1 นั้น เครื่องวัดแสดงผลการประมวลพลังงานไฟฟ้า

ที่ตรวจวัดได้ 0 วัตต์ ในช่วงเวลา 10.00–18.00 น. ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ห้องพักดังกล่าวยังไม่มีผู้เข้ามาใช้งาน จึงทำให้ไม่สามารถตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานได้ ช่วงที่ 2 ระยะเวลา 18.00–22.00 น. ผู้เข้าพักเข้าพักในห้องนั้นแล้ว ดังแสดงโดยค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศที่สามารถตรวจวัดได้ และความชันของกราฟแสดงถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และจากชนิดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่เป็นการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า 2 รูปแบบ คือ คอยเย็นภายในห้องพัก และคอมเพลสเซอร์ที่ระบายความร้อนออกนอกตัวห้อง โดยเมื่อผู้เข้าพักเข้าพัก ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Key card) จะสั่งระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในห้องพักให้พร้อมทำงาน ซึ่งปกติทั่วไประบบปรับอากาศจะทำงานทันทีเมื่อมีการเปิดระบบ ความชันของกราฟในช่วงแรกแสดงว่า คอยเย็นในห้องพักและคอมเพลาเซอร์ทำงานพร้อมกันจึงทำให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานไปตอนต้นนั้นว่าค่า 1,200 วัตต์ และเมื่ออุณหภูมิภายในห้องพักคงที่แล้ว ระบบคอมเพลสเซอร์ก็จะหยุดทำงานแต่ระบบคอยเย็นในห้องพักนั้นยังทำงานอยู่ จึงทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเริ่มใช้งาน 1,200 วัตต์ ลดลงมาเหลือ 550 วัตต์ ซึ่งจากลักษณะการทำงานเฉพาะของระบบปรับอากาศประเภทนี้ จึงสามารถนิยามได้ว่า 550 วัตต์ เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานไปสำหรับคอยเย็นในห้องพัก และ 650 วัตต์ เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานโดยคอมเพลสเซอร์ และจะทำงานสลับกันไปตามเช่นนี้ตลอดช่วงเวลาของการใช้งาน (ช่วงที่ 3) นอกจากนี้จะมีการเก็บค่าการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์

ขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอก เช่น ช่วงเวลาประมาณตั้งแต่ 8.00–12.00 น. ของทุกวัน ลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทยจะเริ่มร้อนอบอ้าว และจะร้อนมากในช่วงเวลาเที่ยงกระทั่งบ่าย และจากลักษณะการออกแบบอาคารให้รอบแสงธรรมชาติด้วยแล้วนั้น มักจะส่งผลต่อปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องเข้ามาในพื้นที่ของอาคารและห้องพัก เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนสะสมภายในอาคาร จึงทำให้ระบบปรับอากาศทำงานหนักกว่าช่วงเวลาอื่นๆ ช่วงที่ 4 อยู่ในช่วงเวลาที่กล่าวมาขั้นต้น และผู้เข้าพักยังไม่ได้ออกจากห้องพักจึงยังจะทำให้รับบปรับอากาศยังคงทำงานอยู่ ประกอบกับอุณหภูมิภายนอกเพิ่มสูงขึ้น เครื่องปรับอากาศจึงทำงานนานกว่าปกติ หรือใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติจึงทำให้สามารถตรวจวัดได้ดังที่แสดง โดยช่วงเวลานั้นเครื่องปรับอากาศใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 1,600 วัตต์ และช่วงเวลาดังกล่าวยังอยู่ในช่วงเวลาโหลดสูงสุดของการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วย ด้วยปัจจัยนี้จึงทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าในภาพรวมของผู้ประกอบการโรงแรมสูง

อภิปรายและสรุปผล

การนำระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ที่พัฒนาระบบให้สามารถใช้งานได้อย่างสะดวกและมีช่องทางแสดงผลที่หลากหลาย ส่งผลให้ลดปริมาณพลังงานลงได้ โดยเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อผลประหยัดนั้นเชื้อชาติ เพศ และวัตถุประสงค์การเข้าพักส่งผลต่อผลประหยัดที่เกิดขึ้น พบว่าพฤติกรรมการปรับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศสามารถแสดงแนวโน้มการลดลงของการใช้พลังงานอีกด้วย

ความแตกต่างของผู้เข้าพักต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศแสดงถึงเชื้อชาติยุโรปสามารถแสดงผลการประหยัดได้สูงกว่าเชื่อชาติเอเชียจากการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ เพศหญิงมีแนวโน้มการใช้พลังงานน้อยกว่าเพศชาย เป็นปัจจัยจากมวลร่างกายที่มีน้อยกว่าเพศชายที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนได้รวดเร็วกว่า จึงทำให้ปริมาณพลังงานสำหรับระบบปรับอากาศน้อยกว่า และวัตถุประสงค์การเข้าพักไม่มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดเป็นผลจากกำหนดเวลาการเข้าออกห้องพักที่ชัดเจนจากวัตถุประสงค์ของการใช้บริการครั้งนั้น

เอกสารอ้างอิง

Becchio, C., Corgnati, S. P., Vio, M., Crespi, G., Prendin, L., & Magagnini, M. (2017). HVAC solutions for energy retrofitted hotel in Mediterranean area. Energy Procedia, 133, 145–157. doi:https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.380

Michopoulos, A., Ziogou, I., Kerimis, M., & Zachariadis, T. (2017). A study on hot–w ater production of hotels in Cyprus: Energy and environmental considerations. Energy and Buildings, 150, 1–12. doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.071

Parpairi, K. (2017). Sustainability and Energy Use in Small Scale Greek Hotels: Energy Saving Strategiesand Environmental Policies. Procedia Environmental Sciences, 38, 169–177. doi:https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.099

Chen, H., Bernard, S., & Rahman, I. (2019). Greenw ashing in hotels: A structural model of trust and behavioral intentions. Journal of Cleaner Production, 206, 326–335. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.168

Gupta, A., Dash, S., & Mishra, A. (2019). All that glitters is not green: Creating trustworthy ecofriendly services at green hotels. Tourism Management, 70, 155–169. doi:https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.08.015

Navratil, J., Picha, K., Buchecker, M., Martinat, S., Svec, R., Brezinova, M., & Knotek, J. (2019). Visitors' preferences of renew able energy options in "green" hotels. Renew able Energy, 138, 1065–1077. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.043

Nguyen, D. N., Imamura, F., & Iuchi, K. (2017). Public–private collaboration for disaster risk management: A case study of hotels in Matsushima, Japan. Tourism Management, 61, 129–140. doi:https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.02.003

การศึกษาการวิเคราะห์อากาศชั้นบนโดยใช้ข้อมูลจากระบบ Wind Profiler เพื่อการพยากรณ์อากาศบริเวณจังหวัดเชียงใหม่

Study of upper air analysis using wind profiler for weather forecasting in Chiang Mai, Thailand

นพรพรรณ ฤทธิ์มหันต์[1*], ภมรวรรณ พุทธา[1*], ศุภพร น้อยเซ็น[1], ปรีชา จินต์ธนาวัฒน์[1], ดวงพร แก้วบังวัน[1] และ สุกฤษฎิ์ เกิดแสง[1]

Napornpan Ritmahun[1*], Pamornwan Pootta[1*], Supaporn Noisen[1], Preecha Jintanawat[1], Duangporn Kaewbungwan[1] and Sukrit Kirtsaeng[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาการวิเคราะห์อากาศชั้นบนนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้ข้อมูลจาก Wind profiler เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์อากาศบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ โดยระบบ Wind profiler ของกรมอุตุนิยมวิทยาสามารถตรวจวัดสารประกอบอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และทิศทางลม ที่ระดับความสูงต่าง ๆ จากผิวพื้นอย่างน้อย 5 กิโลเมตร นอกจากนี้สามารถตรวจวัด และเฝ้าระวังการเกิดลมเฉือนในแนวดิ่งได้อีกด้วย จากการศึกษานี้นำไปสู่การพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์เสถียรภาพของอากาศด้วยแผนภูมิเทอร์โมไดนามิคส์แบบสกิวทีลอการิทึมพี (Skew-T/log-P diagram) โดยทดลองทำการเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ เพื่อสะดวกสำหรับการนำข้อมูลไปสนับสนุนการตัดสินใจออกข่าวพยากรณ์อากาศ ข่าวเตือนภัยในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และบริเวณภาคเหนือ เช่น การวิเคราะห์โอกาสในการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง การคาดการณ์แนวโน้มการเกิดหมอกในช่วงฤดูหนาว รวมถึงการวิเคราะห์แนวโน้มของสภาพอากาศในช่วงที่มีภาวะฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ปกคลุมพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อประชาชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการเตรียมความพร้อมรับมือภัยธรรมชาติที่อาจจะเกิดจากสภาพอากาศร้าย ช่วยป้องกันและลดความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สินได้ต่อไป

คำสำคัญ: อุตุนิยมวิทยา การวิเคราะห์อากาศชั้นบน การพยากรณ์อากาศ

[1] กรมอุตุนิยมวิทยา 4353 ถนนสุขุมวิท แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260.

[1] Thai Meteorological Department 4353 Sukhumvit Road, Bang Na Subdistrict, Bang Na District, Bangkok

* Corresponding author : napornpan4436@gmail.com, pmwpt.eve@gmail.com

Abstract

Study of upper air analysis using Wind profiler data in Chiang Mai Province. The objective is to increase the efficiency of weather forecasting. The Wind profiler system is a tool used to monitor upper air to support aviation weather forecasting in Thai Meteorological Department, the system can measure meteorological compounds such as temperature, relative humidity, wind speed, and wind direction at various altitudes at least 5 kilometers above ground level. Furthermore, it can detect vertical wind shear in the vicinity of the station to issue severe weather warnings in time. This study led to the development of a stability index analysis program using the Skew-T Log P thermodynamic diagram and the trial is distributed via the website. It facilitates the use of information to support decision-making in issuing weather forecasts and warning announcements in Chiang Mai and the northern region. For example, analysis of the opportunity of thunderstorms Forecasting the trend of fog during winter Including analysis of weather trends during high concentrations of particulate matter (PM2.5) in the northern region, etc., It is useful for people and agencies to collaborate to prevent dangers that may occur from severe weather and help reduce damage to people's lives and property.

Keywords: Meteorology, Upper Air analysis, Weather Forecast

บทนำ

ในปัจจุบันประชาชนให้ความสนใจและติดตามข่าวพยากรณ์อากาศมากขึ้น โดยข่าวพยากรณ์อากาศมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต เช่น ติดตามสภาพอากาศประจำวันและการคาดการณ์สภาพอากาศล่วงหน้ารายสัปดาห์เพื่อวางแผนการท่องเที่ยว หรือนำไปวางแผนด้านการเกษตร เป็นต้น ซึ่งผู้พยากรณ์อากาศจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจในลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะภูมิอากาศ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศตั้งแต่ระดับพื้นดินไปจนถึงอากาศชั้นบนที่ระดับความสูงต่าง ๆ อีกทั้งยังต้องมีความเข้าใจในการนำข้อมูลผลการตรวจอากาศและแบบจำลองสภาพอากาศมาช่วยในการออกข่าวพยากรณ์อากาศและข่าวประกาศเตือนภัยพิบัติที่อาจเกิดอันตรายจากสภาพอากาศร้ายได้ (Kirtsaeng, Chantara, & Kreasuwun, 2553; Kirtsaeng, et al., 2555)ข้อมูลจากการตรวจอากาศชั้นบนเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างมากในการนำมาวิเคราะห์เสถียรภาพอากาศ เพื่อพยากรณ์แนวโน้มสภาพอากาศที่จะเกิดขึ้น เช่น การวิเคราะห์โอกาสในการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ลูกเห็บตก การคาดการณ์แนวโน้มการเกิดหมอกในตอนเช้าของฤดูหนาว รวมถึงการวิเคราะห์แนวโน้มของสภาพอากาศในช่วงที่มีภาวะฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ปกคลุมพื้นที่ภาคเหนือ เป็นต้น

ปัจจุบันสถานีตรวจอากาศชั้นบนเชียงใหม่ ทำการตรวจอากาศด้วยวิทยุหยั่งอากาศวันละ 1 ครั้ง เวลา 0000UTC (Coordinated Universal Time) หรือเวลา 07.00 น. ของประเทศไทย (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง, 2562) โดยทำการตรวจสภาพอากาศตั้งแต่ระดับผิวพื้นขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศ มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 20 กิโลเมตร จากพื้นดิน สารประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากการตรวจวัด ได้แก่ ความกดอากาศ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความเร็วลม ทิศทางลม และความชื้นสัมพัทธ์ จากนั้นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในแต่ละระดับความสูงตามระดับค่าความกดอากาศ จะถูกนำไปเขียนบนแผนภูมิเทอร์โมไดนามิคส์แบบสกิวทีลอการิทึมพี (Skew-T/log-P diagram) ซึ่งประกอบไปด้วย เส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) เส้นอุณหภูมิเท่า (Isotherm) เส้นอะเดียเบติกแบบแห้ง (Dry Adiabatic) เส้นอะเดียเบติกชื้น (Moist Adiabatic) และเส้นอัตราส่วนผสมอิ่มตัว (Saturation Mixing Ratio ส่วนมากใช้สำหรับทราบถึงเสถียรภาพของของบรรยากาศ ทำให้ผู้พยากรณ์อากาศทราบถึงคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ต่างๆ เช่น คุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิในรูปแบบข้อมูล

เชิงปริมาณหรือพารามิเตอร์ และเสถียรภาพของบรรยากาศ(Atmospheric Stability) เพื่อทำการวิเคราะห์และคาดหมายสภาพอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

การศึกษาค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศที่วิเคราะห์จากแผนภูมิ Skew-T/log-P จากการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ ของผู้พยากรณ์อากาศ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555-2564 พบว่า ดัชนีเสถียรภาพอากาศเกณฑ์ใหม่ที่ทำการศึกษามาแล้วนั้น มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การเกิดฝนฟ้าคะนอง ได้แก่ Showalter Index(SI), Lifted Index (LI) และ Convective Available Potential Energy (CAPE) โดยทุกดัชนีต้องบ่งชี้ไปทิศทางเดียวกัน และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์การเกิดฝนฟ้าคะนอง ควรนำค่าดัชนีแต่ละชนิดมาวิเคราะห์ร่วมกันให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตามในกรณีการเกิดพายุฝนฟ้าคะนองที่รุนแรง ควรมีการปรับปรุงเกณฑ์ดัชนีเสถียรภาพอากาศเพื่อการพยากรณ์การเกิดพายุฝนฟ้าคะนองเพื่อให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ทั้งนี้สารประกอบอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ทิศทางและความเร็วลม มีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะทางกายภาพของมวลอากาศ และมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา ดังนั้นการตรวจอากาศด้วยวิทยุหยั่งอากาศ ที่ทำการตรวจเพียงวันละ 1 ครั้ง จึงมีข้อจำกัดในการติดตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป และอาจส่งผลให้การพยากรณ์อากาศคลาดเคลื่อนได้ หากมีสภาพอากาศร้ายเกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดความเสียหายได้อย่างมาก การศึกษานี้จึงได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจากระบบ Wind profiler ของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ (Radiometrics Corporation, 2563)ซึ่งประกอบด้วยเซนเซอร์ 3 ชนิด ได้แก่ Wind profiler ทำการตรวจและรายงานข้อมูลทิศทางและความเร็วของลมชั้นบนที่ระดับความสูงตั้งแต่ 300 เมตร ถึง 5 กิโลเมตร โดยปล่อยคลื่นแม่เหล็กแม่ไฟฟ้า (Electromagnetic wave) และรับสัญญาณกลับมาคำนวณด้วยวิธีปรากฏการณ์ดอพเพลอร์(Doppler Effect), SODAR (sonic detection and ranging) ทำการตรวจและรายงานข้อมูลทิศทางและความเร็วของลมตั้งแต่ระดับผิวพื้นถึง 300 เมตร โดยส่งและรับสัญญาณแบบคลื่นเสียง เพื่อคำนวณทิศทางและความเร็วลม และ Radiometer เป็นเครื่องตรวจอุณหภูมิและไอน้ำในอากาศตามแนวดิ่ง โดยใช้หลักการ Microscopic voltage changes (Molecular emissions) โดยแสดงผลการตรวจวัดทุก 5 นาที ซึ่งข้อมูลจะถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RAOB (The Universal RAwinsonde OBservation program) ออกมาในรูปแบบแผนภูมิ Skew-T/log-P

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อากาศชั้นบนจากระบบ Wind profiler กับการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ บริเวณจังหวัดเชียงใหม่ โดยเลือกกรณีศึกษาการเกิดฝนฟ้าคะนองบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 23 เดือนกรกฎาคม 2566 และพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพอากาศจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนโดยภาษาไพทอน เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้สนใจสามารถเข้าใช้งานแบบเป็นปัจจุบัน(real time)ได้

วิธีการศึกษา

1. เก็บรวบรวมข้อมูลการตรวจวัดจากระบบ Wind profiler และจากวิทยุหยั่งอากาศ ณ เวลา 07.00 น. ในช่วงเดือน กรกฎาคม-กันยายน พ.ศ.2566
2. วิเคราะห์ข้อมูลตรวจวัดเพื่อหาค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศจากระบบ Wind profiler และการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ
3. เปรียบเทียบค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศที่วิเคราะห์ได้ โดยทวนสอบกับผลการตรวจอากาศด้วยเรดาร์ตรวจอากาศลำพูน และรายงานผลการตรวจอากาศของสนามบินเชียงใหม่
4. พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพอากาศ โดยใช้ภาษาไพทอน

5. สรุปผลการศึกษา

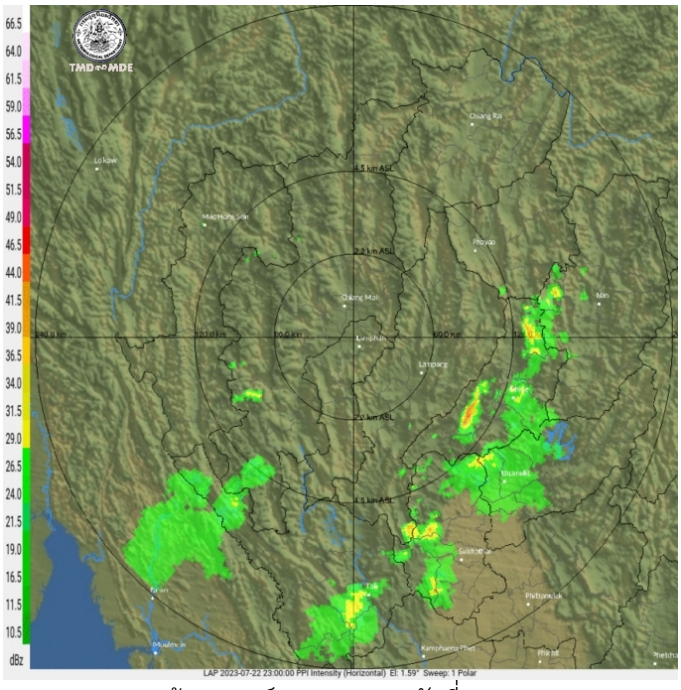
ผลการศึกษา

1. จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2566 พบว่า การตรวจอากาศด้วยระบบ Wind profiler จะทำการตรวจวัดทุก 5 นาที และการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ ทำการตรวจอากาศวันละ 1 ครั้ง เวลา 07.00 น. ซึ่งข้อมูลทั้ง 2 ชนิด จะได้สารประกอบทางอุตุนิยมวิทยา ที่ระยะความสูงต่าง ๆ ขึ้นไปในชั้นบรรยากาศ โดยข้อมูลทิศทางลมและความเร็วลมจากวิทยุหยั่งอากาศ แสดงข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับความสูงมากกว่าการตรวจวัดโดยระบบ Wind profiler ในขณะที่ระบบ Wind profiler มีความละเอียดเชิงเวลาสูงกว่าการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ
2. จากการนำข้อมูลดัชนีเสถียรภาพอากาศจากระบบ Wind profiler และจากการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ มาวิเคราะห์สภาพอากาศที่เกิดขึ้นในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ และนำไปตรวจสอบความสามารถในการพยากรณ์อากาศ กับผลการตรวจอากาศด้วยเรดาร์ตรวจอากาศลำพูน และรายงานผลการตรวจอากาศจากสนามบินเชียงใหม่ พบว่า จากกรณีศึกษาการเกิดฝนฟ้าคะนองในจังหวัดเชียงใหม่ เมื่อ วันที่ 23 กรกฎาคม 2566 ณ เวลา 07.00 น. – 10.00 น. ข่าวอากาศการบินของสนามบินเชียงใหม่ ดังรูปที่ 1 พบว่า เมื่อเวลา 09.00 น. มีการรายงานสภาพอากาศด้วยรหัส VCTS คือผู้ตรวจอากาศเสียงฟ้าร้องในระยะ 8–16 กิโลเมตร จากจุดอ้างอิงที่สนามบินเชียงใหม่ และเวลา 09.11 น. มีการรายงานสภาพอากาศด้วยรหัส –TSRA คือ เกิดฝนฟ้าคะนองกำลังอ่อนในรัศมี 8 กิโลเมตร รอบจุดอ้างอิงที่สนามบินเชียงใหม่ และเวลา 10.00 น. ไม่ตรวจพบการรายงานสภาพอากาศที่มีฝนฟ้าคะนองในพื้นที่

ลำดับ	เวลา	CODE
1	00.00 - 00.59	METAR VTCC 230000Z 15003KT 100V190 9999 FEW018 BKN038 26/24 Q1011 NOSIG= METAR VTCC 230030Z VRB02KT 9999 SCT035 26/24 Q1011 NOSIG=
2	01.00 - 01.59	METAR VTCC 230100Z VRB02KT 9999 SCT035 27/24 Q1012 NOSIG= METAR VTCC 230130Z 16004KT 100V200 9999 FEW018 BKN032 27/24 Q1012 NOSIG=
3	02.00 - 02.59	METAR VTCC 230200Z 22005KT 180V240 9999 VCTS FEW018 FEW025CB BKN032 27/24 Q1013 TEMPO FM0230 TL0300 2500 +TSRA= SPECI VTCC 230211Z 23006KT 190V260 9999 -TSRA FEW020CB BKN032 27/24 Q1012 TEMPO FM0230 TL0300 2500 +TSRA= METAR VTCC 230230Z 26006KT 230V290 9999 -TSRA FEW020CB BKN032 27/24 Q1012 TEMPO 3000 TSRA=
4	03.00 - 03.59	METAR VTCC 230330Z VRB03KT 9999 SCT035 30/23 Q1011 NOSIG= METAR VTCC 230300Z 23004KT 170V290 9999 BKN035 29/23 Q1011 RETS NOSIG=

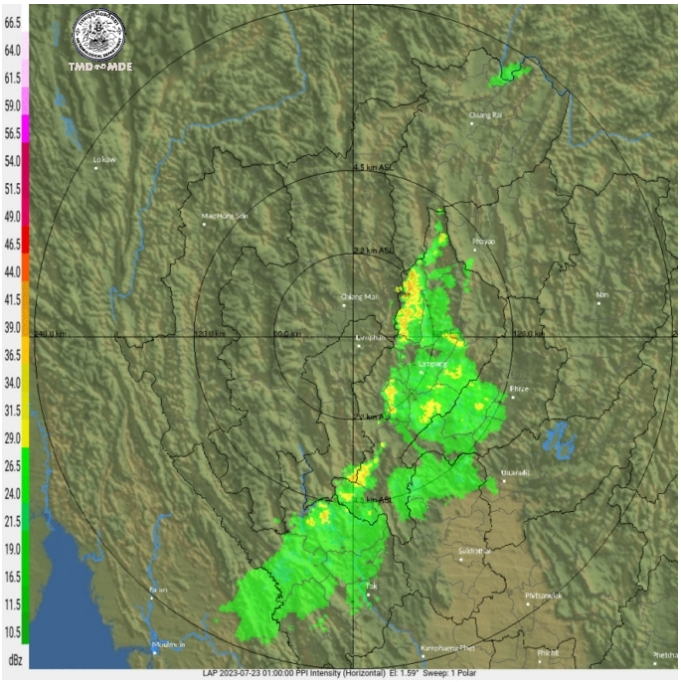
รูปที่ 1 ข่าวอากาศการบิน วันที่ 23 กรกฎาคม 2566 เวลา 07.00–10.00 น.
ที่มา: (กรมอุตุนิยมวิทยาA, 2566)

และผลการตรวจอากาศด้วยเรดาร์ตรวจอากาศลำพูน ณ เวลา 06.00 น.ดังรูปที่ 2 และ 08.00 – 09.00 น. พบกลุ่มฝนฟ้าคะนองมีทิศทางการเคลื่อนตัวเข้าสู่จังหวัดเชียงใหม่ ดังรูปที่ 3 และ 4



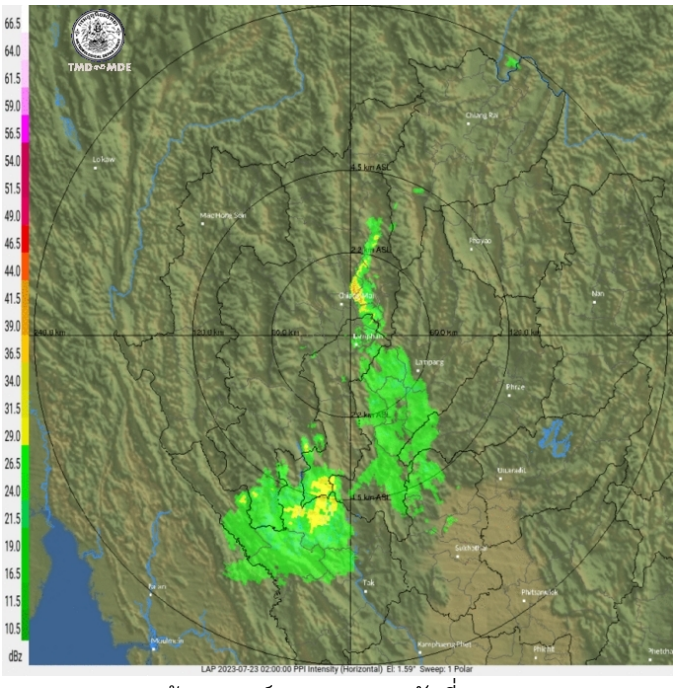
รูปที่ 2 ภาพผลการตรวจอากาศด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ วันที่ 23 กรกฎาคม 2566 เวลา 06.00 น.

ที่มา: (กรมอุตุนิยมวิทยาB, 2566)



รูปที่ 3 ภาพผลการตรวจอากาศด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ วันที่ 23 กรกฎาคม 2566 เวลา 08.00 น.

ที่มา: (กรมอุตุนิยมวิทยาB, 2566)



รูปที่ 4 ภาพผลการตรวจอากาศด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ วันที่ 23 กรกฎาคม 2566 เวลา 09.00 น.
ที่มา: (กรมอุตุนิยมวิทยาB, 2566)

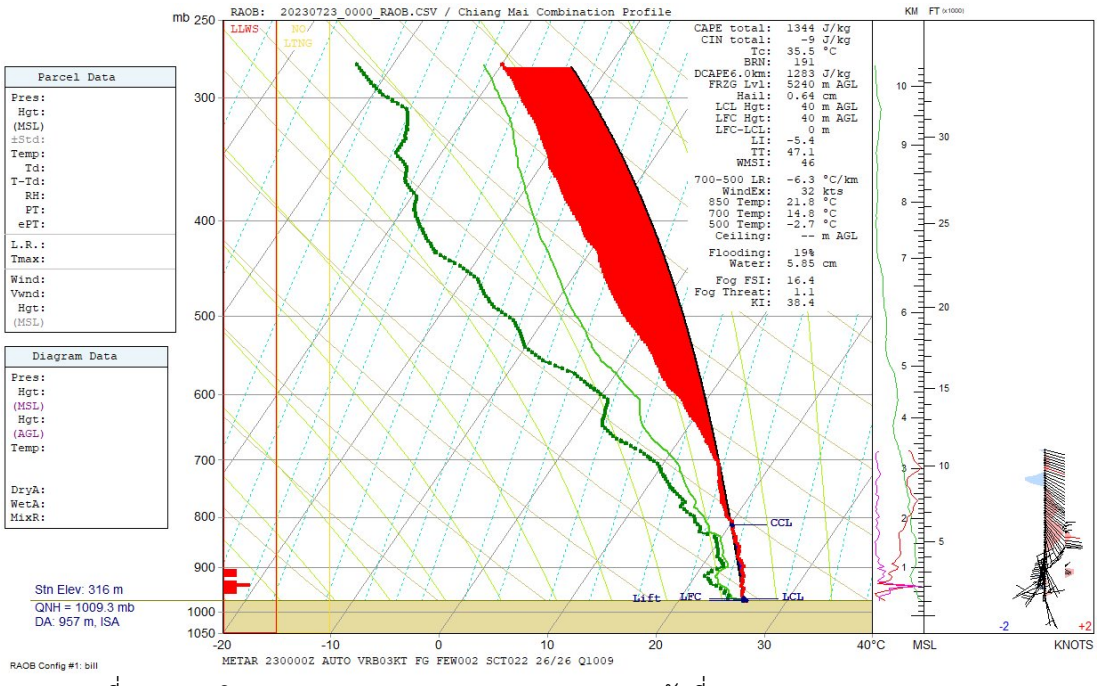
3. เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงเสถียรภาพอากาศ (Stability Assessment) จากระบบ Wind profiler ดังรูปที่ 5 และจากการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ ดังรูปที่ 6 ได้ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ดังนี้

3.1. KI (K Index) คือ ดัชนีที่ใช้สำหรับคาดการณ์การยกตัวจากการพาความร้อน (Convection) ซึ่งพบว่าค่า KI เท่ากับ 38.40 และ 31.90 ตามลำดับ โดยเมื่อนำไปเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่า KI กับโอกาสที่จะเกิดฝนฟ้าคะนอง พบว่า มีโอกาสเกิดฝนฟ้าคะนอง 80% – 90% และ 60% – 80% ตามลำดับ

3.2. LI (Lifted Index) คือ ผลต่างของอุณหภูมิจากการตรวจวัดการหยั่งอากาศ ที่ความกดอากาศระดับ 500 เฮกโตปาสคาล(hPa) กับอุณหภูมิของมวลอากาศที่ยกตัวขึ้นมาที่ความกดอากาศระดับ 500hPa จากบริเวณใกล้พื้นผิว ซึ่งพบว่า LI มีค่าเท่ากับ -5.4 และ -0.02 ตามลำดับ มีค่าติดลบ แสดงว่าอากาศสามารถยกตัวได้ดี และมีแนวโน้มเกิดฝนฟ้าคะนองรุนแรงได้

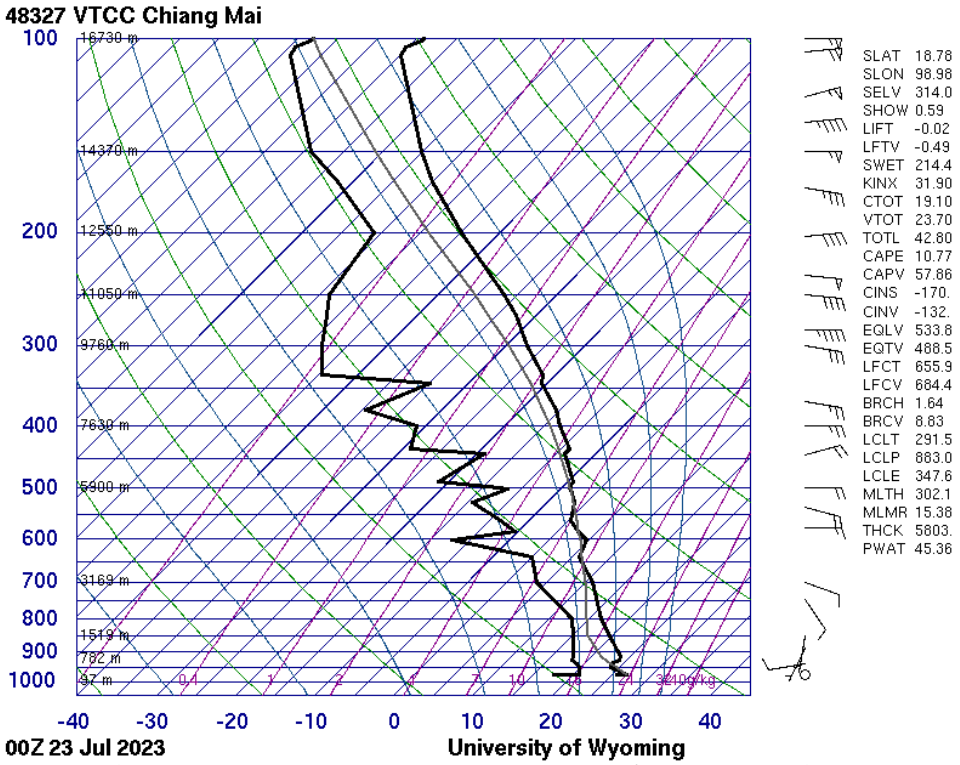
3.3. CAPE (Convective Available Potential Energy) เป็นค่าพลังงานที่บอกถึงศักยภาพการลอยตัวของอากาศโดยการพาความร้อน (Convection) จากระดับการยกตัวอิสระ (LFC) ไปจนถึงระดับ EL (Equilibrium Level) ซึ่งพบว่า มีค่าเท่ากับ 1,344 จูล/กิโลกรัม มวลอากาศสามารถยกตัวได้ปานกลาง และ 10.77 จูล/กิโลกรัม มวลอากาศสามารถยกตัวได้เล็กน้อย ตามลำดับ

3.4. TT (Total Totals Index) คือ ดัชนีชี้วัดสภาพอากาศที่รุนแรง (Severe weather) ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากับ 47.1 แสดงให้เห็นว่ามีโอกาสเกิดฝนฟ้าคะนองรุนแรง และ 42.8 แสดงให้เห็นว่ามีโอกาสเกิดลมเฉือน หรือฝนฟ้าคะนองได้



รูปที่ 5 แผนภูมิ Skew-T/log-P จากระบบ Wind profiler วันที่ 23 กรกฎาคม 2566 เวลา 07.00 น.

ที่มา: (โปรแกรม RAOB, 2566)

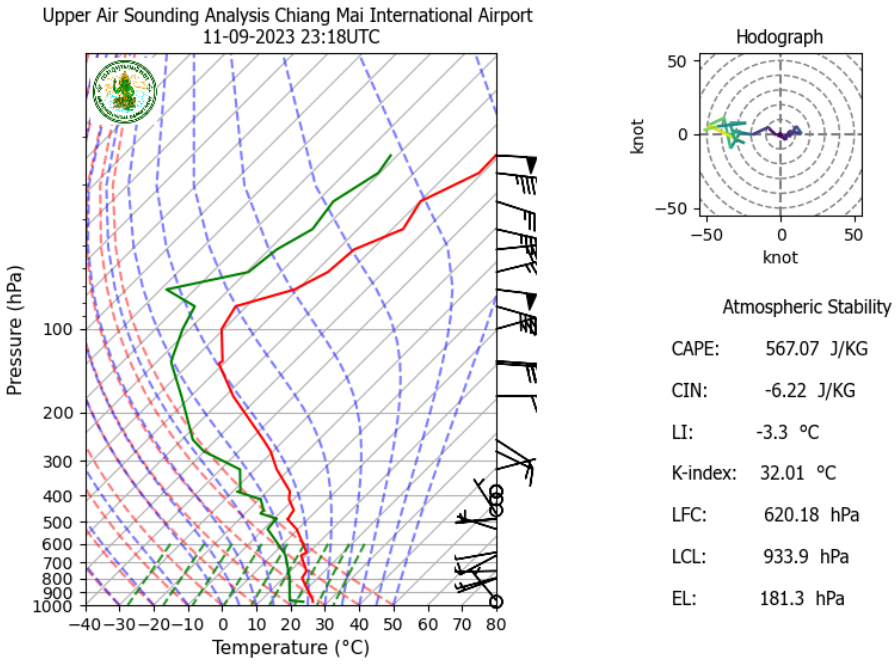


รูปที่ 6 แผนภูมิ Skew-T/log-P จากการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ วันที่ 23 กรกฎาคม 2566 เวลา 07.00 น.

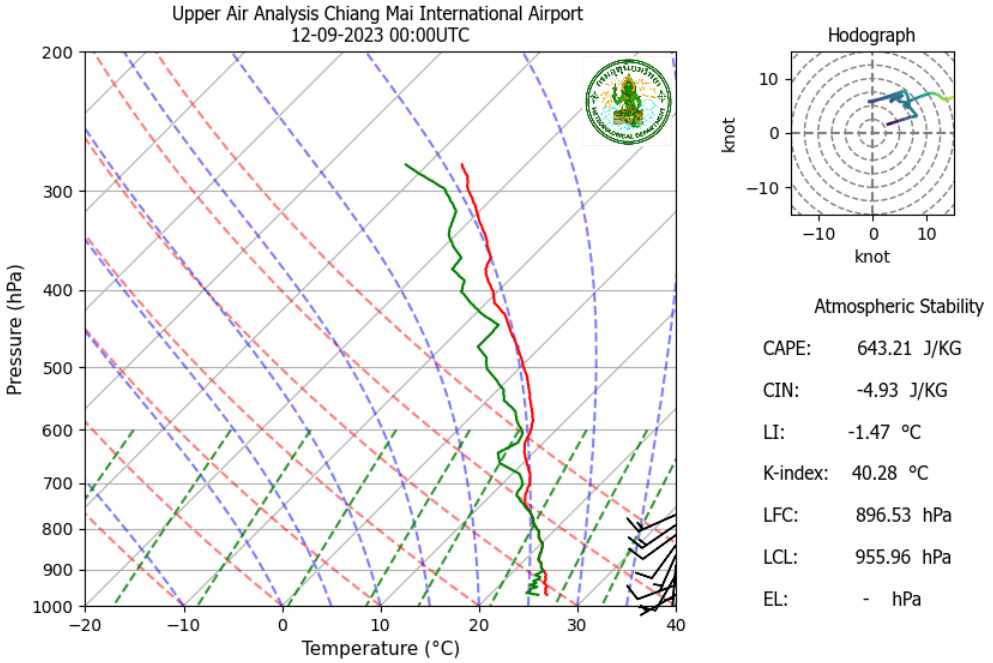
ที่มา: (Wyoming Weather Web, 2566)

4. จากการนำภาษาไพทอนมาพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพอากาศจากข้อมูลการตรวจอากาศชั้นบนที่ทำการตรวจวัดด้วยวิทยุหยั่งอากาศ ดังตัวอย่างในรูปที่ 7 และจากระบบ Wind profiler ที่แสดงถึงความถี่ในการตรวจ ดังตัวอย่างในรูปที่ 8, 9 และ 10 ซึ่งได้แผนภูมิ Skew-T/log-P และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ พบว่าการตรวจอากาศจากทั้ง 2 แหล่ง มีข้อจำกัดด้านความสูงในการตรวจ โดยจากวิทยุหยั่งอากาศตรวจวัดได้ที่ความสูงมากกว่าระบบ Wind profiler ทำให้แผนภูมิ Skew-T/log-P แสดงค่าแตกต่างกัน และส่งผลต่อดัชนีเสถียรภาพอากาศมีค่าแตกต่างกันด้วย เช่น ค่า EL จากระบบ Wind profiler มักจะไม่พบค่านี้ เนื่องจากตรวจวัดที่ความสูงไม่มากพอ และในส่วนของการคำนวณค่า CAPE จากระบบ Wind profiler จะคำนวณได้ถึงเพียงจุดที่เป็นขีดความสามารถของเครื่องมือ ตั้งแต่ระดับพื้นดินไปจนถึงความสูงประมาณ 5 กิโลเมตร แต่การตรวจด้วยวิทยุหยั่งอากาศ ค่า CAPE สามารถคำนวณต่อไปได้ที่ระดับความสูงที่มากกว่า เป็นต้น นอกจากนี้การตรวจด้วยระบบ Wind profiler จะทำการตรวจทุก ๆ 5 นาที ทำให้ได้ข้อมูลที่มีความต่อเนื่องและเป็นปัจจุบัน สามารถติดตามและวิเคราะห์สภาพอากาศที่เป็นปัจจุบันได้

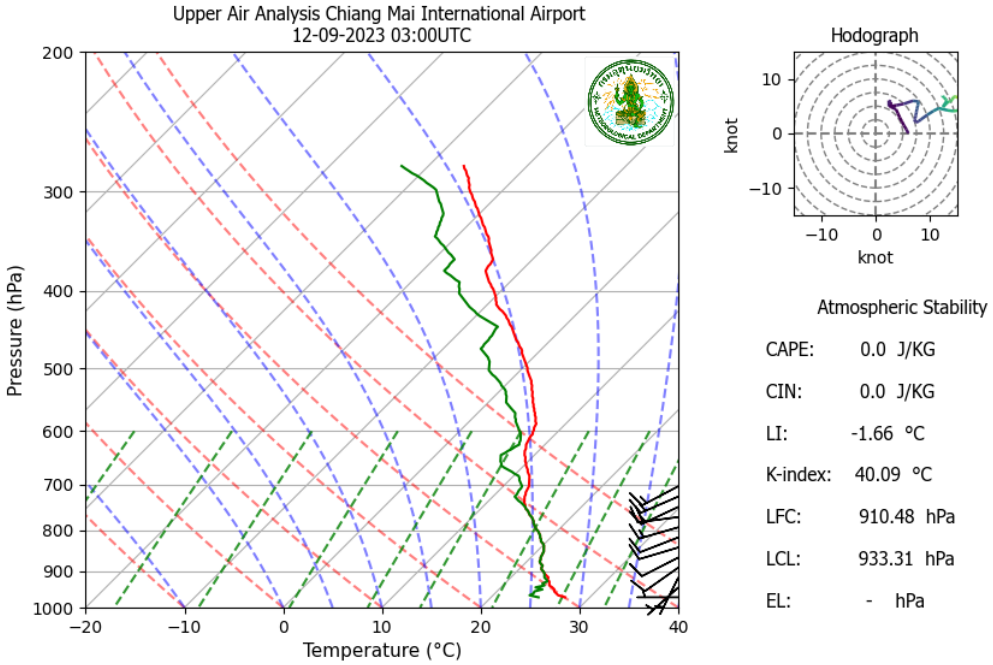
โดยปัจจุบันโปรแกรมอยู่ในระหว่างการพัฒนา และสามารถทดลองใช้งานได้ที่ https://unique-driven-bonefish.ngrok-free.app/



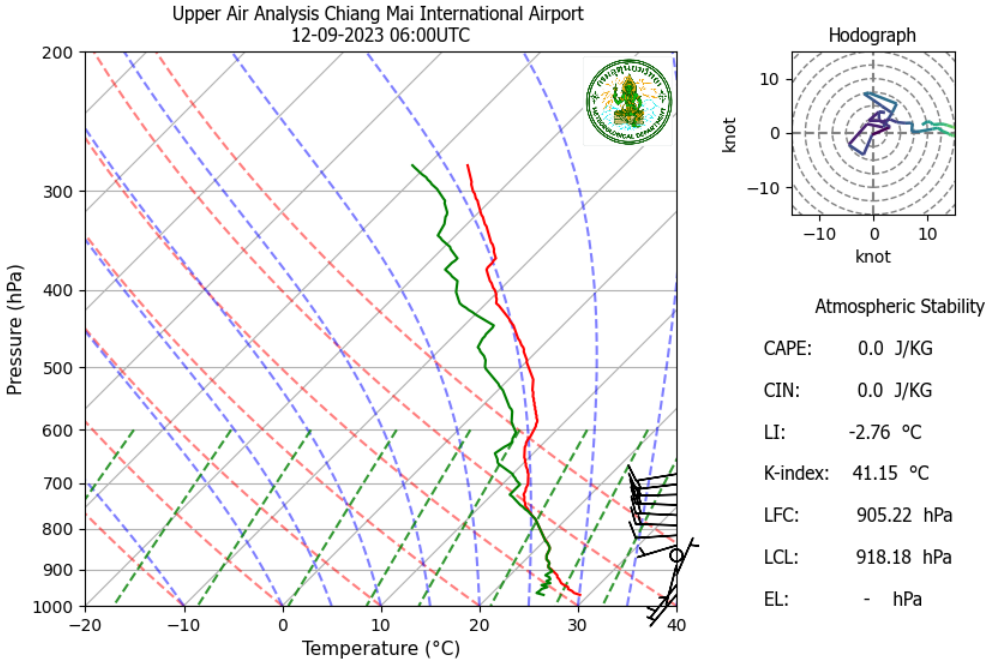
รูปที่ 7 แผนภูมิ Skew-T/log-P จากวิทยุหยั่งอากาศ
จากการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพอากาศ
ที่มา: (กรมอุตุนิยมวิทยาC, 2566)



รูปที่ 8 แผนภูมิ Skew-T/log-P จากระบบ Wind profiler จากการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพอากาศ
ที่มา: (กรมอุตุนิยมวิทยาC, 2566)



รูปที่ 9 แผนภูมิ Skew-T/log-P จากระบบ Wind profiler จากการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพอากาศ
ที่มา: (กรมอุตุนิยมวิทยาC, 2566)



รูปที่ 10 แผนภูมิ Skew-T/log-P จากระบบ Wind profiler
จากการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพอากาศ
ที่มา: (กรมอุตุนิยมวิทยาC, 2566)

อภิปรายและสรุปผล

การตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศตามมาตรฐานขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก(WMO) กำหนดให้ทำการตรวจวันละ 2 ครั้ง เวลา 07.00 น. และ 19.00 น. (ส่วนตรวจอากาศชั้นบน, 2566) แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการทำให้ตรวจอากาศชั้นบนได้ วันละ 1 ครั้ง เวลา 07.00 น. โดยเป็นตัวแทนของลักษณะอากาศในรอบ 24 ชั่วโมง ซึ่งไม่เพียงพอต่อการนำข้อมูลมาวิเคราะห์สภาพอากาศที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ห่างออกไปจากเวลาที่ทำการตรวจวัด แต่การตรวจอากาศชั้นบนจากระบบ Wind profiler สามารถติดตามสภาพอากาศได้ทุก 5 นาที แต่มีข้อจำกัดด้านความสูงที่สามารถหยั่งอากาศได้ตั้งแต่ระดับผิวพื้นขึ้นไปถึงระดับความสูงประมาณ 5 กิโลเมตร โดยผู้พยากรณ์อากาศจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้เพื่อสนับสนุนการพยากรณ์อากาศในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และมีการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพอากาศจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนด้วยภาษาไพทอน ซึ่งสามารถเข้าใช้งานได้ที่ https://unique-driven-bonefish.ngrok-free.app/ จึงเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้พยากรณ์อากาศที่จะได้รับข้อมูลเสถียรภาพอากาศที่ใกล้เคียงสถานการณ์ปัจจุบันมากที่สุด

จากกรณีการเกิดฝนฟ้าคะนอง ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ.2566 ณ เวลา 09.00-10.00 น. เมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนี KI LI CAPE และ TT พบว่า ดัชนีเสถียรภาพอากาศจากทั้ง 2 แหล่ง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและสอดคล้องกับเกณฑ์ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศที่บ่งชี้ถึงโอกาสที่จะเกิดฝนฟ้าคะนอง นอกจากนี้ยังพบว่าในบางครั้งผลการตรวจอากาศชั้นบนมีข้อมูลไม่ครบถ้วน อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรค เช่น สภาพอากาศที่มีละอองน้ำหรือความชื้นสูง มีคลื่นเสียงรบกวนเครื่องมือขณะทำการตรวจ ทำให้ข้อมูลการตรวจวัดมีความคลาดเคลื่อนหรือไม่ครบถ้วน ส่งผลทำให้ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศไม่ครบถ้วนเช่นกัน

ทั้งนี้หากจะนำข้อมูลการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ และจากระบบ Wind profiler ไปใช้ในงานวิจัยอื่น ๆ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้ข้อมูลจากทั้ง 2 แหล่ง คือ ระยะเวลาของการพยากรณ์อากาศ เช่น การตรวจด้วยวิทยุหยั่งอากาศ เหมาะสำหรับการพยากรณ์อากาศล่วงหน้า 24 ชั่วโมง สามารถใช้ข้อมูลเพื่อเป็นตัวแทนสภาพอากาศในพื้นที่นั้น ๆ และการนำข้อมูลจากระบบ Wind profiler เหมาะสำหรับการติดตามสภาพและคาดหมายสภาวะอากาศระยะสั้นในช่วงเวลา 1 – 2 ชั่วโมงข้างหน้า ทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอุตุนิยมวิทยาและค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ เพื่อประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดสภาวะอากาศร้ายในพื้นที่ที่ต้องการศึกษาได้ เช่น โอกาสเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง โอกาสเกิดหมอกในตอนเช้าของฤดูหนาว แนวโน้มของสภาพอากาศในช่วงที่มีภาวะฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ปกคลุมพื้นที่ได้ เป็นต้น ดังนั้นผู้พยากรณ์อากาศจำเป็นต้องมีความเข้าใจลักษณะอากาศในพื้นที่นั้น ๆ และมีความรู้ ความชำนาญ ประสบการณ์ ในการประเมินค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สภาพอากาศและการตัดสินใจในการพยากรณ์อากาศในพื้นที่นั้นได้ ประกอบกับทำการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การพยากรณ์อากาศมีความถูกต้อง แม่นยำ และเชื่อถือได้

จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่า การเกิดฝนฟ้าคะนองในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ ในเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ.2566 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน สามารถเกิดฝนฟ้าคะนองได้ทุกช่วงเวลา อย่างไรก็ตามการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ ณ เวลา 07.00 น. ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศที่วิเคราะห์ได้นั้นบางครั้งไม่บ่งชี้ถึงฝนฟ้าคะนองที่จะเกิดในช่วงเวลาที่ห่างออกไป ดังนั้นควรมีการพิจารณาการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ ณ เวลาตามมาตรฐานของ WMO หรือเพิ่มจำนวนสถานีการตรวจอากาศชั้นบน โดยพิจารณาจากปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยาที่เกิดขึ้นในแต่ละฤดูกาลสำหรับระบบ Wind profiler ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้นควรบำรุงรักษาเครื่องมืออย่างสม่ำเสมอเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ และควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการตรวจวัดอากาศชั้นบนชนิดอื่น เช่น หอตรวจสภาพอากาศ (Climate tower) (Liang, et al., 2565) อากาศยานตรวจสภาพอากาศไร้คนขับ(Drone) (Thielicke, Hübert, Müller, Eggert, & Wilhelm, 2564; Edoardo, 2566; Hervo, Romanens, Martucci, Weusthoff, & Haefele, 2566) และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเพื่อการตรวจอากาศชั้นบน (Ma, et al., 2566) เป็นต้น เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการพยากรณ์อากาศ ให้มีความถูกต้อง แม่นยำและทันต่อสถานการณ์ สามารถตอบสนองต่อความต้องการของประชาชนและผู้รับบริการในพื้นที่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณส่วนพยากรณ์อากาศการบิน ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลจากระบบ Wind profiler และขอบคุณกลุ่มงานตรวจอากาศชั้นบน ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ที่สนับสนุนข้อมูลการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ เพื่อใช้ประกอบการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณนักอุตุนิยมวิทยาและผู้ปฏิบัติงานเข้าร่วมแลกเปลี่ยนประสบการณ์ แสดงความคิดเห็น และ ข้อเสนอแนะ ซึ่งทำให้ผลการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงและเป็นไปตามความต้องการของผู้รับบริการ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบคุณ ครู อาจารย์ ของผู้วิจัยที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้แนวคิดในการทำงานด้านวิชาการตลอดจนกำลังใจจากครอบครัว และเพื่อน ๆ ที่มีให้เสมอมา งานวิจัยนี้ เป็นประโยชน์ในการพยากรณ์อากาศ และงานด้านมลพิษทางอากาศเป็นอย่างมาก ซึ่งนำไปใช้ปฏิบัติงานได้จริงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Edoardo, B. (2566, November 14). Methodologies for Wind Field Reconstruction in the U-SPACE: A Review. *Atmosphere, 14*, 2073-4433. Retrieved from https://doi.org/10.3390/atmos14111684

Hervo, M., Romanens, G., Martucci, G., Weusthoff, T., & Haefele, A. (2566, August 31). Evaluation of an Automatic Meteorological Drone Based on a 6-Month Measurement Campaign. *Atmosphere, 14*, 2073-4433. Retrieved from https://doi.org/10.3390/atmos14091382

Kirtsaeng, S., Chantara, S., & Kreasuwun, J. (2553). Mesoscale Simulation of a Very Heavy Rainfall Event over Mumbai, Using the Weather Research and Forecasting (WRF) Model. *Chiang Mai Journal of Science, 37*, 429-442. Retrieved from https://www.thaiscience.info/journals/Article/CMJS/10905468.pdf

Kirtsaeng, S., Kreasuwun, J., Chantara, S., Kirtsaeng, S., Sukthawee, P., & Masthawee, F. (2555). The Weather Research and Forecasting (WRF) Model Performance for a Simulation of the 5 November 2552 Heavy Rainfall over Southeast of Thailand. *Chiang Mai Journal of Science, 39*, 511-523. Retrieved from https://www.thaiscience.info/journals/Article/CMJS/10905270.pdf

Liang, Y., Wu, C., Wu, D., Liu, B., Li, Y., Sun, J., . . . Zhou, Z. (2565). Vertical distributions of atmospheric black carbon in dry and wet seasons observed at a 356-m meteorological tower in Shenzhen, South China. *Science of The Total Environment, 853*, 0048-9697. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722057564

Ma, X., Wang, J., Hong, H., Wang, X., Wang, Z., & Hu, B. (2566). Comprehensive Analysis of Typhoon Nangka Based on the Satellite Data from the GPM, CloudSat and Himawari-8. *Atmosphere, 14*, 440.

Radiometrics Corporation. (2563). *Wind and Thermodynamic Profiling system CNX training.*

Thielicke, W., Hübert, W., Müller, U., Eggert, M., & Wilhelm, P. (2564, Febuary 18). Towards accurate and practical drone-based wind measurements with an ultrasonic anemometer. *Atmospheric Measurement Techniques, 14*, 1303--1318. Retrieved from https://amt.copernicus.org/articles/14/1303/2021/

Wyoming Weather Web. (15 ตุลาคม 2566). เข้าถึงได้จาก University of Wyoming: https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html

กรมอุตุนิยมวิทยาA. (15 ตุลาคม 2566). *METNET system*. เข้าถึงได้จาก http://119.46.126.213:20080/

กรมอุตุนิยมวิทยาB. (15 ตุลาคม 2566). *เรดาร์ตรวจอากาศ*. เข้าถึงได้จาก https://weather.tmd.go.th/lmp.php

กรมอุตุนิยมวิทยาC. (15 ตุลาคม 2566). *TMD – UPPERAIR ANALYSIS*. เข้าถึงได้จาก กลุ่มวิจัยและพัฒนาสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา: https://unique-driven-bonefish.ngrok-free.app/

โปรแกรม RAOB, RAOB: 20230723_0000_RAOB.csv (15 กรกฎาคม 2566).

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง. (30 สิงหาคม 2562). เข้าถึงได้จาก www.ubonmet.tmd.go.th/files/KM-base/KM-2562-1.pdf

ส่วนตรวจอากาศชั้นบน. (2566). *การตรวจอากาศชั้นบน*. กรุงเทพมหานคร: กรมอุตุนิยมวิทยา.

รัศมีของบอร์สำหรับอะตอมไฮโดรเจนสองมิติ

Bohr radius for two-dimensional hydrogen atom

ภัทรลดา สระทองแป้น[1] ศุภวิชญ์ จินดาเนตร[1] และ อรรถพล อ่ำทอง[1*]

Phatlada Sathongpaen[1], Suphawich Jindanath[1] and Attapon Amthong [1*]

บทคัดย่อ

วัสดุสองมิติกำลังได้รับความสนใจอย่างยิ่งในสาขาฟิสิกส์ของแข็ง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เฉพาะตัวและมีศักยภาพในการประยุกต์ต่างๆ การศึกษาแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนสองมิติจึงมีความสำคัญ ก่อนที่จะศึกษาระบบอะตอมที่ซับซ้อนมากขึ้น อย่างไรก็ตามแบบจำลองอะตอมเชิงคลาสสิกของอะตอมไฮโดรเจนสองมิติยังขาดการอธิบายและยังไม่มีปรากฏในหนังสือเรียน ในงานวิจัยนี้เราจึงปรับเปลี่ยนแบบจำลองดั้งเดิมของบอร์เพื่ออธิบายรัศมีวงโคจรสำหรับอะตอมไฮโดรเจนสองมิติ พบว่ารัศมีวงโคจรพิเศษของอิเล็กตรอนเท่ากับระยะที่เป็นไปได้มากที่สุดของฟังก์ชันความน่าจะเป็นของอะตอมไฮโดรเจนสองมิติ โดยฟังก์ชันความน่าจะเป็นเหล่านี้มีจุดสูงสุดเพียงจุดเดียวเท่านั้น ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับอะตอมไฮโดรเจนสามมิติในทุกระดับชั้นพลังงานอีกด้วย การค้นพบนี้จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจระบบอะตอมไฮโดรเจนสองมิติเชิงคลาสิกมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: อะตอมไฮโดรเจน, รัศมีของบอร์, แบบจำลองของบอร์

Abstract

Two-dimensional (2D) materials have gained increasing attention in condensed matter physics because of their unique properties and potential applications. Accordingly, it is crucial to introduce the 2D hydrogen atom before learning more complex atomic systems. Unlike the ordinary three-dimensional (3D) hydrogen atom, classical atomic models describing the 2D hydrogen atom have yet to be established and are hardly found in textbooks. Here, the traditional Bohr model is modified to describe the allowed circular orbits of the 2D hydrogen atom. The allowed values of electron radii are found to be equivalent to the most probable distances of the specific 2D hydrogen wavefunctions exhibiting a single peak of probability densities. This equivalence is also found in the 3D hydrogen atom for every energy level. Our findings can be utilized to assist students in understanding the classical interpretation of the 2D hydrogen atom.

Keywords: Hydrogen atom, Bohr radius, Bohr model

[1] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1] Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author e-mail: attapona@nu.ac.th

Introduction

The Bohr model is one of the most recognized atom models. Despite lacking consideration for the wave–particle duality of an electron, the model successfully explains the discrete emission and absorption spectra of the hydrogen atom. This model is usually taught in elementary physics to familiarize students, as it presents a simple and intuitive representation of the hydrogen atom with an electron orbiting the nucleus in specific circular trajectories [1–3]. The allowed values of the electron radii are caused by the quantized angular momentum of an orbiting electron. The radius of the innermost Bohr circular orbit, known as the Bohr radius, is used widely as a reference length unit in atomic and molecular scales [4]. In quantum mechanics, the Bohr radius corresponds to the peak of the radial probability density of the ground hydrogen state [5]. However, the connection between the other Bohr orbits and the excited quantum states is still a puzzle.

In light of recent growing interest in single–layer materials such as graphene [6 – 7], transition metal dichalcogenides [8–9], and a two–dimensional electron gas [10–11], the two–dimensional (2D) hydrogen atom is another fundamental atomic system that should be considered as an additional topic in teaching and learning quantum mechanics. Unlike the three–dimensional (3D) hydrogen atom, an electron in the 2D hydrogen atom is assumed to move on a flat plane, surrounding the nucleus. In the previous studies based on quantum mechanics [12–14], it has been shown that the restriction of electron's motion leads to the modification of the energy levels of the regular 3D hydrogen atom. That means the typical Bohr model fails to explain the energy levels of the 2D hydrogen atom and is invalid for this atomic system.

In this article, the formula of the Bohr orbits for the 2D hydrogen is derived and studied for the first time. Here, the Bohr orbits for 2D and 3D hydrogen atoms are compared with peaks of quantum probability densities. Interestingly, the particular character of quantum wavefunctions closely associated with the 2D and 3D Bohr orbits is reported. The modified Bohr radius that fits the 2D hydrogen atom is proposed as a reference length unit for 2D atomic systems. This study will enable students to visualize the classical illustration of the 2D hydrogen atom and understand the relationship between the Bohr model and quantum wavefunctions.

Methods

Firstly, the Bohr model and the quantum–mechanical model of the 3D hydrogen atom are revisited. Although these models are usually found in textbooks, the relation between these two models is essential to be presented here to confirm the results of the 2D hydrogen atom. In the typical Bohr model [1 – 3], electron trajectories are described by circular orbits around the nucleus of an atom. It is well known that the radius of the allowed orbits in the 3D hydrogen atom r_n^{3D} is given by

$$r_n^{3D} = n^2 a_0 \qquad (1)$$

where n is the integer referring to the energy levels of the hydrogen atom, and a_0 is the distance between the nucleus and the electron in the innermost orbit. This distance is normally called the Bohr radius defined by $a_0 = 4\pi\varepsilon_0\hbar^2/(m_e e^2)$, where ε_0 is the vacuum permittivity, $\hbar$ is the reduced Planck constant. m_e and e are the electron mass and charge, respectively. Although the Bohr model is based on classical mechanics, we find that the discrete values of the radius ($r_n^{3D}/a_0 = 1^2, 2^2, 3^2, \ldots$) in equation (1) are associated with the atomic model based on quantum mechanics.

From the point of view of quantum mechanics, the position of an orbiting electron cannot be recognized precisely, but it can be described by the probability density [15–17]. Along the radial direction, the probability densities of quantum states are $P_{n,l}^{3D} = r^2\left|R_{n,l}^{3D}(r)\right|^2$, where r is the radial distance in spherical coordinates, n is the principle quantum number referring to the energy levels, l is the orbital quantum number, and $R_{n,l}^{3D}$ represent the radial part of 3D hydrogen wavefunctions [18,19].

In the case of 2D hydrogen atom, electron trajectories based on the typical Bohr model are assumed to be circular paths like those in the 3D hydrogen atom. Because an orbiting electron in the 2D system is also experienced the Coulomb force, its kinetic and potential energies can be calculated using the same approach as in the 3D hydrogen atom, described in many textbooks [1–3]. We therefore adopt the expression:

$$E = \frac{-e^2}{8\pi\varepsilon_0 r^{2D}} \tag{2}$$

to represent the total energy of the electron, where r^{2D} is the radius of the allowed orbits in the 2D hydrogen atom.

Another atomic model is based on quantum mechanics. The Schrödinger equation describing the 2D hydrogen atom is analytically solved to obtain the energy levels [12]:

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2(2n-1)^2}. \tag{3}$$

Equating equation (2) with equation (3) results in the quantization of the allowed radial distances as:

$$r_n^{2D} = (2n-1)^2 b_0, \tag{4}$$

where n is an integer, and $b_0 = a_0/4 = (\pi\varepsilon_0\hbar^2)/(m_e e^2)$ is the distance between the nucleus and the electron in the innermost orbit of the 2D hydrogen atom; thus, it can be considered as the Bohr radius for the 2D hydrogen atom. Unlike r_n^{3D}, the allowed values of r_n^{2D} is proportional to the square of an odd number; that is, $r_n^{2D}/b_0 = 1^2, 3^2, 5^2, \ldots$ or $r_n^{2D}/a_0 = (1^2/4), (3^2/4), (5^2/4), \ldots$.

For the quantum–mechanical model of the 2D hydrogen atom, the probability densities of 2D hydrogen wavefunctions are defined by $P_{n,m}^{2D} = \rho\left|R_{n,m}^{2D}(\rho)\right|^2$, where n is the principal quantum number,

m is the magnetic quantum number, ρ is the radial distance in polar coordinates, and $R_{n,m}^{2D}$ represent the radial part of 2D hydrogen wavefunctions [12,13].

In the next section, the Bohr model and quantum wavefunctions will be linked by comparing the allowed Bohr distances (r_n^{3D} and r_n^{2D}) and the most probable distances denoted by $d_{n,l}^{3D}$ and $d_{n,m}^{2D}$ for 3D and 2D hydrogen wavefunctions respectively. Because $d_{n,l}^{3D}$ and $d_{n,m}^{2D}$ are the distances where $P_{n,l}^{3D}$ and $P_{n,m}^{2D}$ are maximum, they are calculated from the derivatives of $dP_{n,l}^{3D}/dr=0$ and $dP_{n,m}^{2D}/d\rho=0$ respectively.

Results

The probability densities of the first ten 3D hydrogen wavefunctions and their most probable distances $d_{n,l}^{3D}$ are shown in Table 1. It is appearance that r_n^{3D} equal $d_{n,l}^{3D}$ for the quantum states $(1,0),(2,1),(3,2)$ and $(4,3)$. In general, the probability densities of these states in which $l=n-1$ can be expressed as $P_{n,l=n-1}^{3D}\propto(r^{2n}/a_0^{2n+1})\exp(-2r/na_0)$ and their derivatives result in $d_{n,l=n-1}^{3D}=n^2a_0$. This relation is equivalent to r_n^{3D} in equation (1). We, therefore, conclude that the radii of every Bohr orbit correspond to the most probable distances of the quantum states with $l=n-1$, and they can be considered as a classical analog of these quantum states. It is important to highlight that previously, the agreement between r_n^{3D} and $d_{n,l}^{3D}$ has been only reported for the ground state where $n=1$ [5].

To get further insight, the probability densities of the states with $l=n-1$ are shown in Figure 1. Because the peak of the state $(1,0)$ is much higher than others; the left y-axis is exclusively for the state $(1,0)$. It should be noticed that $P_{n,l=n-1}^{3D}$ exhibit a distinct character; they contain only one peak. Differently, those of the states with $l\neq n-1$ contain multiple peaks, which can be seen in the supplementary material (available online at Mendeley Data [20]). In the next paragraph, this behavior of probability densities will reappear and be additionally discussed in the case of the 2D hydrogen atom.

Table 1 Radial probability densities of the 3D hydrogen states $P_{n,l}^{3D}$ and their most probable distances $d_{n,l}^{3D}$.

$P_{n,l}^{3D} = r^2\left\|R_{n,l}^{3D}(r)\right\|^2$	$d_{n,l}^{3D}(a_0)$
$4\left(\frac{r^2}{a_0^3}\right)e^{-2r/a_0}$	1.000
$\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{a_0^3}\right)\left(1-\frac{r}{2a_0}\right)^2 e^{-r/a_0}$	5.236
$\frac{1}{24}\left(\frac{r^4}{a_0^5}\right)e^{-r/a_0}$	4.000
$\frac{4}{27}\left(\frac{r^2}{a_0^3}\right)\left(1-\frac{2r}{3a_0}+\frac{2r^2}{27a_0^2}\right)^2 e^{-2r/3a_0}$	13.074
$\frac{2^5}{3^7}\left(\frac{r^4}{a_0^5}\right)\left(1-\frac{r}{6a_0}\right)^2 e^{-2r/3a_0}$	12.000
$\frac{2^3}{5(3^9)}\left(\frac{r^6}{a_0^7}\right)e^{-2r/3a_0}$	9.000
$\frac{1}{16}\left(\frac{r^2}{a_0^3}\right)\left(1-\frac{3r}{4a_0}+\frac{r^2}{8a_0^2}-\frac{r^3}{192a_0^3}\right)^2 e^{-r/2a_0}$	24.618
$\frac{5}{3(2^8)}\left(\frac{r^4}{a_0^5}\right)\left(1-\frac{r}{4a_0}+\frac{r^2}{80a_0^2}\right)^2 e^{-r/2a_0}$	23.580
$\frac{1}{5(2^{12})}\left(\frac{r^6}{a_0^7}\right)\left(1-\frac{r}{12a_0}\right)^2 e^{-r/2a_0}$	21.211
$\frac{1}{35(2^{16}3^2)}\left(\frac{r^8}{a_0^9}\right)e^{-r/2a_0}$	16.000

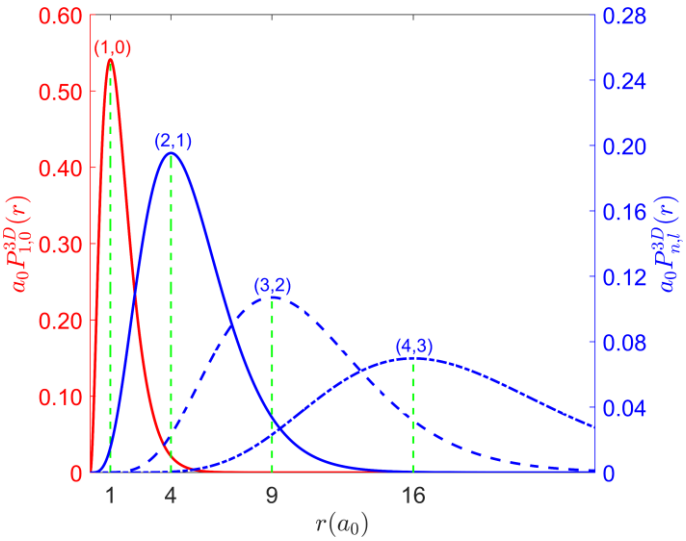


Figure 1 Distribution of the radial probability densities $P_{n,l}^{3D}$ for the quantum states $(n, l = n-1)$. The left y-axis is for the ground state represented by a red line. The right y-axis is for the other states represented by blue lines. Green dashed lines represent the most probable distances of each quantum state.

In Table 2, the probability densities of the first ten 2D hydrogen wavefunctions and their most probable distances $d_{n,m}^{2D}$ are shown. Interestingly, the results in Table 2 are consistent with those in Table 1; the most probable distances $d_{n,m}^{2D}$ of the quantum states $(1,0), (2,1), (3,2),$ and $(4,3)$ are exactly equal to the allowed distances r_n^{2D}. To understand $d_{n,m}^{2D}$ of other higher excited states with $m = n-1$, the general expression of the probabilities of these quantum states $P_{n,m=n-1}^{2D} \propto (\rho^{2n-1} / b_0^{2n}) \exp\ -\rho/(2n-1)b_0$ is differentiated to obtain the relation $d_{n,m=n-1}^{2D} = (2n-1)^2 b_0$, which also confirms that $d_{n,m=n-1}^{2D}$ are equivalent to r_n^{2D} for every energy level n. The equivalence between these classical and quantum results in both cases of the 2D and 3D hydrogen atoms validates our formula presented in equation (4). Then, $P_{n,m}^{2D}$ of these quantum states are shown in Figure 2. All of them are quantum states with a single peak of $P_{n,m}^{2D}$, similar to the character observed in Figure 1. As apparent in Tables 1 and 2, this character of $P_{n,m}^{2D}$ and $P_{n,l}^{3D}$ is caused by the probability densities consisting of a monomial function of the radial distance, while polynomial terms lead to multiple peaks of $P_{n,m}^{2D}$ and $P_{n,l}^{3D}$ as seen in the supplementary material [20].

The highlighted findings of this work are illustrated in Figure 3, which shows the comparison between allowed orbits of 2D and 3D hydrogen atoms. This illustration provides simple and intuitive concepts for students to grasp the classical representation of these fundamental atoms.

Although the 2D and 3D Bohr orbits fail to describe the most probable distances of some quantum states, they can be used to illustrate the classical trajectories corresponding to the quantum states for every energy level of the 2D and 3D hydrogen atoms. Undoubtedly, they serve as a bridge connecting classical and quantum mechanics, offering valuable concepts to students in introductory quantum mechanics courses. More importantly, the Bohr radius b_0 for the 2D hydrogen atom holds potential utility for researchers exploring 2D atomic systems. As a truly fundamental length in the realm of 2D atomic systems, the Bohr radius b_0 can serve as an appropriate length unit within the 2D framework.

Table 2 Probability densities of the 2D hydrogen states $P_{n,m}^{2D}$ and their most probable distances $d_{n,m}^{2D}$.

(n,m)	$P_{n,m}^{2D}=\rho\left\|R_{n,m}^{2D}(\rho)\right\|^2$	$d_{n,m}^{2D}(b_0)$
$(1,0)$	$\left(\frac{\rho}{b_0^2}\right)e^{-\rho/b_0}$	1.000
$(2,0)$	$\frac{1}{27}\left(\frac{\rho}{b_0^2}\right)\left(1-\frac{\rho}{3b_0}\right)^2 e^{-\rho/3b_0}$	11.196
$(2,1)$	$\frac{1}{2\ 3^5}\left(\frac{\rho^3}{b_0^4}\right)e^{-\rho/3b_0}$	9.000
$(3,0)$	$\frac{1}{4\ 5^3}\left(\frac{\rho}{b_0^2}\right)\left(2-\frac{4\rho}{5b_0}+\frac{\rho^2}{25b_0^2}\right)^2 e^{-\rho/5b_0}$	35.280
$(3,1)$	$\frac{1}{6(5^5)}\left(\frac{\rho^3}{b_0^4}\right)\left(3-\frac{\rho}{5b_0}\right)^2 e^{-\rho/5b_0}$	33.229
$(3,2)$	$\frac{1}{4!(5^7)}\left(\frac{\rho^5}{b_0^6}\right)e^{-\rho/5b_0}$	25.000
$(4,0)$	$\frac{1}{36(7^3)}\left(\frac{\rho}{b_0^2}\right)\left(6-\frac{18\rho}{7b_0}+\frac{9\rho^2}{49b_0^2}+\frac{\rho^3}{7^3b_0^3}\right)^2 e^{-\rho/7b_0}$	74.012
$(4,1)$	$\frac{1}{3(2^47^5)}\left(\frac{\rho^3}{b_0^4}\right)\left(12-\frac{8\rho}{7b_0}+\frac{\rho^2}{49b_0^2}\right)^2 e^{-\rho/7b_0}$	71.988
$(4,2)$	$\frac{1}{5!(7^7)}\left(\frac{\rho^5}{b_0^6}\right)\left(5-\frac{\rho}{7b_0}\right)^2 e^{-\rho/7b_0}$	65.216
$(4,3)$	$\frac{1}{6!(7^9)}\left(\frac{\rho^7}{b_0^8}\right)e^{-\rho/7b_0}$	49.000

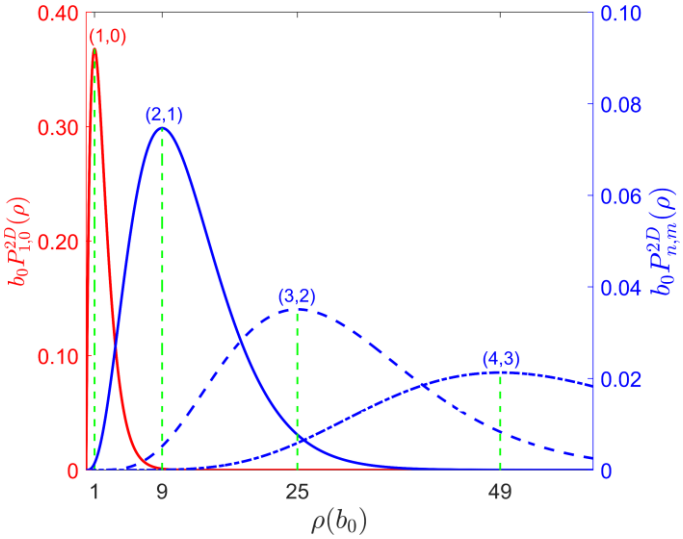


Figure 2 Distribution of the probability densities $P_{n,m}^{2D}$ for the quantum states $(n, m = n-1)$. The left y-axis is for the ground state represented by a red line. The right y-axis is for the other states represented by blue lines. Green dashed lines represent the most probable distances of each quantum state.

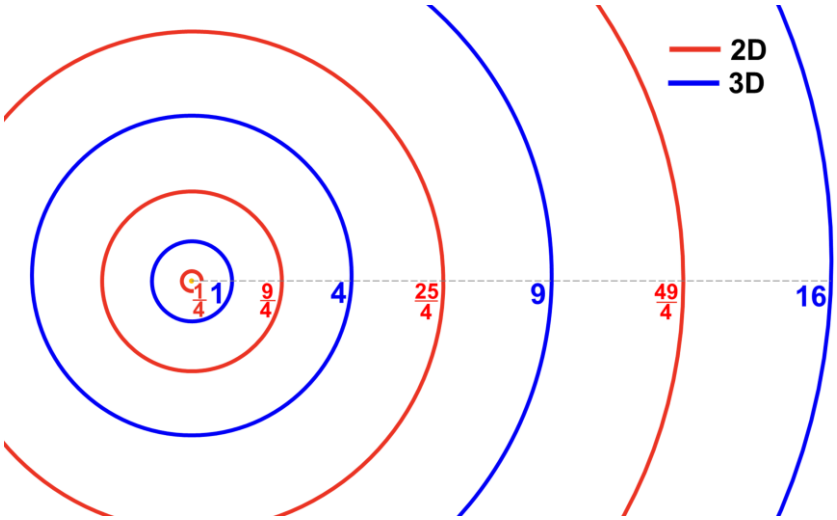


Figure 3 Classical picture of allowed circular orbits of the 2D and 3d hydrogen atoms represented by red and blue lines respectively. The numbers show the magnitudes of the allowed radii in unit of a_0.

Discussion and Conclusion

In conclusion, the 2D and 3D hydrogen atoms are revisited. Here, we attempt to present the connection between the Bohr model and the quantum states of the 2D and 3D hydrogen atoms. To achieve this, the formula of the allowed Bohr orbits for the 2D hydrogen atom is derived and proposed. It is found that the results due to the 2D and 3D hydrogen atoms are in a similar way. That is, the most probable distances of the quantum states with a single peak are in good agreement with the allowed radial distances based on the Bohr model. In this study, the difference between the 2D and 3D hydrogen atoms in the Bohr model is clearly depicted. The shortest allowed radius of the 2D hydrogen is recommended as a new reference length unit specifically applicable to 2D systems.

Acknowledgements

We gratefully acknowledge the financial support for this work provided by the Faculty of Science, Naresuan University.

References

1. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics*. John Wiley & Sons.
2. Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for scientists and engineers*. Cengage learning.
3. Young, H. D. (2011). Books a la Carte for University Physics with Modern Physics. Addison-Wesley.
4. Karpov, V. G., & Patmiou, M. (2020). Physics in the information age: qualitative methods in quantum mechanics. *European Journal of Physics*, *41*(3), 035407.
5. Gil, V. M. (2000). Orbitals in chemistry: a modern guide for students. Cambridge University Press.
6. Adorno, D. P., Bellomonte, L., & Pizzolato, N. (2017). The amazing graphene: an educational bridge connecting different physics concepts. *European Journal of Physics*, *39*(1), 013001.
7. Pérez, M., Elías, J., Sosa, M., & Vallejo, M. (2022). Hybridization bond states and band structure of graphene: a simple approach. *European Journal of Physics*, *43*(4), 045401.
8. Kemelbay, A., Kuntubek, A., Chang, N., Chen, C. T., Kastl, C., Inglezakis, V. J., ... & Kuykendall, T. R. (2019). Lithographically defined synthesis of transition metal dichalcogenides. *2D Materials*, *6*(4), 045055.
9. Ferreira, B., Rosati, R., Fitzgerald, J. M., & Malic, E. (2022). Signatures of dark excitons in exciton–polariton optics of transition metal dichalcogenides. *2D Materials*, *10*(1), 015012.
10. Martiyanov, K., Makhalov, V., & Turlapov, A. (2010). Observation of a two-dimensional Fermi gas of atoms. *Physical review letters*, *105*(3), 030404
11. Pramjorn, N., & Amthong, A. (2020). Donor binding energies in a curved two-dimensional electron system. *Applied Surface Science*, *508*, 145195.
12. Yang, X. L., Guo, S. H., Chan, F. T., Wong, K. W., & Ching, W. Y. (1991). Analytic solution of a two-dimensional hydrogen atom. I. Nonrelativistic theory. *Physical Review A*, *43*(3), 1186.

13. Zaslow, B., & Zandler, M. E. (1967). Two-dimensional analog to the hydrogen atom. *American Journal of Physics, 35*(12), 1118-1119.
14. Li, C. (2021). Exact analytical solution of the ground-state hydrogenic problem with soft Coulomb potential. *The Journal of Physical Chemistry A*, *125*(23), 5146-5151.
15. Schwartz, L. J. (1990). Calculating percent boundary surfaces for hydrogenlike s orbitals-An undergraduate computer assignment. *Journal of Chemical Education*, *67*(6), 504.
16. Mak, T. C., & Li, W. K. (2000). Probability of locating the electron in a hydrogen atom. *Journal of Chemical Education*, *77*(4), 490.
17. Li, W. K., & Blinder, S. M. (2011). Introducing relativity into quantum chemistry. Journal of Chemical Education, 88(1), 71-73.
18. Griffiths, D. J., & Schroeter, D. F. (2018). *Introduction to quantum mechanics*. Cambridge university press.
19. Zettili, N. (2009). Quantum mechanics: concepts and applications.
20. Amthong, A. (2023), "Supplementary material for "Bohr radius for two-dimensional hydrogen atom"", Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/995g2tdj8p.1

การจัดการฟาร์มโคเนื้อแม่พันธุ์ที่ดีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตลูกโค

The good beef cows farm management for increases efficiency of calf production

มลภัคน์ กล่ำรักษ์[1], สุรีย์พร แสงวงศ์[1], วีรนุช ทันนิธิ[1], นัฐมาพร คงเมือง[1] และ พยุงศักดิ์ อินต๊ะวิชา[1*]
Monpak Klamrak[1], Sureeporn Saengwong[1], Wiranut Thannithi[1], Nattamaporn Kongmuang[1] and Payungsuk Intawicha[1*]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตลูกโคของเกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง และกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง หลังจากผ่านการเข้าร่วมอบรมการจัดการโคเนื้อแม่พันธุ์คุณภาพ โดยเก็บข้อมูลเกษตรกรในจังหวัดพะเยา จำนวน 20 ฟาร์ม พบว่ากลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้รับรองมาตรฐานฟาร์ม GAP ร้อยละ 22.22 และมาตรฐานฟาร์ม GFM ร้อยละ 77.78 ในขณะที่กลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มีการได้รับรองมาตรฐานร้อยละ 100 สายพันธุ์โคเนื้อแม่พันธุ์ที่เลี้ยง พบว่ากลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์สายพันธุ์ลูกผสมชาร์โรเล่ห์มากที่สุดร้อยละ 77.78 กลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เลี้ยงโคเนื้อสายพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน และสายพันธุ์ลูกผสมชาร์โรเล่ห์ร้อยละ 45.45 เกษตรกรทั้ง 2 กลุ่ม มีการเก็บสำรองฟางข้าว และทำแปลงหญ้าคุณภาพ ร้อยละ 100 ดังนั้นการที่เกษตรกรมีการจัดการฟาร์มโคเนื้อแม่พันธุ์ที่ดีทำให้โคมีคะแนนสภาพร่างกายไม่ต่ำกว่าระดับ 5 จะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการผลิตลูกโค โดยโคเนื้อแม่พันธุ์ของเกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลงมีการตั้งท้อง ร้อยละ 88.44 และการเกิดของลูกโค ร้อยละ 87.56 สูงกว่า โคเนื้อแม่พันธุ์ของเกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีการตั้งท้อง ร้อยละ 68.84 และการเกิดของลูกโค ร้อยละ 65.07

คำสำคัญ: เกษตรกร, โคเนื้อแม่พันธุ์, การจัดการฟาร์ม, ประสิทธิภาพ และการผลิตลูกโค

Abstract

This research aimed to compare the efficiency of calf production between two groups of farmers, one that adopted modifications and one that did not, after engaging in training on quality breeding beef cattle management. Data was obtained from 20 farms in Thailand's Phayao Province. The study's findings were follows: 22.22% of farmers in the group that adjusted earned certification for GAP (Good Agricultural Practices) farm standards, while 77.78% received certification for GFM (Good Farm Management) farm standards. In contrast, with a rate of 100%, none of the farms in the group that did not adjust earned any certification. Regarding cattle breeds, the biggest proportion of farmers (77.78%) grew Charolais crossbred beef cattle in the group that adopted reforms, and all of them used artificial insemination (100%). 45.45% of those who did not adjust grew Brahman crossbred beef cattle, and 90.91% used artificial insemination. Both farmer groups preserved 100% of their rice straw stock and have high-quality pasture grass. As a consequence, farmers

[1] สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
[1] Department of Animal Science, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao, 56000
* Corresponding author: payungsuk.in@up.ac.th

effectively manage their breeding beef ranches. Causing the cows to have a body condition score of at least 5 will improve calf production efficiency. The cows of farmers in the change group had an 88.44 percent pregnancy and an 87.56 percent calf calving better than cows for farmers in the non-change group, had a pregnancy 68.84 percent and a calf calving 65.07 percent.

Keywords: Farmers, Beef Cows, Farm Management, Efficiency and Calf Production

บทนำ

ปัจจุบันอาชีพการเลี้ยงโคเนื้อส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายย่อย ทำให้การถ่ายทอดองค์ความรู้และเพิ่มศักยภาพการผลิตไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ซึ่งการพัฒนากลุ่มเกษตรกรเพื่อให้สามารถพัฒนาระบบการเลี้ยงที่มีคุณภาพ ตัวของเกษตรกรต้องมีพื้นฐานความพร้อมต่อการยอมรับเทคโนโลยีและสามารถนำไปปรับใช้ได้ จากผลการศึกษาของ [1] รายงานว่า เกษตรกรในจังหวัดเชียงราย ส่วนใหญ่จบการศึกษาในระดับปริญญาตรีเพียง ร้อยละ 15.56 แต่จบการศึกษาในระดับประถมศึกษา ร้อยละ 65.11 เช่นเดียวกับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อจังหวัดจันทบุรี พบว่า เกษตรกรจบการศึกษาสูงกว่าระดับมัธยมศึกษา/ปวช. ร้อยละ 2.93 [2] โดยส่วนใหญ่สายพันธุ์โคเนื้อแม่พันธุ์ที่เลี้ยง คือ สายพันธุ์ลูกผสมชาโรเล่ห์ รองลงมาคือลูกผสมแองกัส [3] เนื่องจากโคสายพันธุ์ลูกผสม จะมีโครงสร้างใหญ่ และมีอัตราการเจริญเติบโตสูง [4] ซึ่งเกษตรกรจะปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการผสมเทียม [5] และผู้ซื้อจะคำนึงถึงสายพันธุ์โคเป็นหลัก คือ สายพันธุ์ลูกผสมชาโรเล่ห์ ลูกผสมแองกัส และลูกผสมบราห์มัน ตามลำดับ เหมือนกับเกษตรกร จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน [6] แต่อย่างไรก็ตาม พบว่ามีเกษตรกรบางส่วนยังเลี้ยงโคสายพันธุ์พื้นเมืองผสมบราห์มัน และมีรูปแบบการเลี้ยงแบบปล่อยทุ่งหญ้าธรรมชาติ ไม่มีการขอรับรองมาตรฐานฟาร์ม [7] จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตลูกโคไม่เป็นไปตามเป้าหมาย และขาดความองค์ความรู้ในเรื่องของการจัดการฟาร์มที่ดี เช่น เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อจังหวัดแพร่ [5] และเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดน่าน ประสบปัญหาอาหารหยาบไม่เพียงพอต่อการเลี้ยงโคในฤดูแล้ง [8] โดยการจัดการด้านอาหารที่ดีจะต้องมีพืชอาหารสัตว์ที่มีทั้งคุณภาพ และปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโคเนื้อให้ดีขึ้นได้ [9]

โดยการเลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์ให้มีประสิทธิภาพหมายถึง การที่แม่โคจะต้องตั้งท้องและคลอดลูกปีละตัว ทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อมีรายได้อย่างต่อเนื่อง จากผลการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่าปัญหาของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์คือ แม่โคไม่แสดงอาการเป็นสัด ไม่กลับสัดหลังจากคลอดลูก และผสมไม่ติด [10] ทำให้วงรอบในการผลิตลูกโคไม่เป็นไปตามเป้าหมาย ส่งผลให้อัตราการตั้งท้องลดลง ไม่ให้ลูกทุกปี และทำให้เกิดความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจ [11] โดยวิธีการแก้ปัญหาโคเนื้อแม่พันธุ์ไม่แสดงอาการเป็นสัด หรือการผสมไม่ติด คือ การเหนี่ยวนำการเป็นสัด [12] ได้ศึกษาการเหนี่ยวนำการเป็นสัด ต่ออัตราการตั้งท้อง พบว่า การเหนี่ยวนำการเป็นสัดด้วยอุปกรณ์แบบสอดช่องคลอด (CIDR) มีอัตราการตั้งท้อง ร้อยละ 73.00 ซึ่งข้อดีของการเหนี่ยวนำการเป็นสัด คือ การลดวันท้องว่าง และช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพระบบสืบพันธุ์ในโคเนื้อแม่พันธุ์ได้ [13] การที่เกษตรกรมีองค์ความรู้และเข้าใจระบบการจัดการฟาร์มที่ดีจะช่วยให้เกษตรกร สามารถรักษาคะแนนสภาพร่างกายของโคเนื้อแม่พันธุ์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิต เช่น หากโคเนื้อแม่พันธุ์มีคะแนนสภาพร่างกายที่ดี ส่งผลกลับมาแสดงอาการเป็นสัด ผสมติด ภายใน 90 วัน และมีการคลอดลูกโคปีละตัว [10]

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ตั้งสมมติฐานว่า เกษตรกรที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Change) การจัดฟาร์มหลังจากได้รับองค์ความรู้เรื่องการจัดการโคเนื้อแม่พันธุ์คุณภาพ มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตลูกโค เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการพัฒนายกระดับการเลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดพะเยาในอนาคต

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ **เลขที่ UP-HEC 1.2/072/66** ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของการจัดการฟาร์มโคเนื้อแม่พันธุ์ ประสิทธิภาพการผลิตลูกโค ตั้งแต่ปี พ.ศ.2563 – 2565 ทำการสุ่มเก็บข้อมูลจากเกษตรกรที่ผ่านการเข้ารับการอบรมพัฒนาองค์ความรู้การจัดการฟาร์มโคเนื้อแม่พันธุ์คุณภาพ ในพื้นที่ตำบลบ้านสาง อำเภอเมืองพะเยา ตำบลป่าซาง และตำบลห้วยลาน อำเภอดอกคำใต้ ตำบลเชียงบาน อำเภอเชียงคำ ตำบลบ้านเหล่า อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา โดยจะต้องเป็นฟาร์มที่มีประสบการณ์ในการเลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์ 1 ปีขึ้นไป คัดเลือกทั้งหมด 20 ฟาร์ม แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. กลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (adopted) หลังจากการเข้ารับการอบรมพัฒนาองค์ความรู้การจัดการฟาร์มที่ดี มีการจดบันทึกข้อมูลการจัดการฟาร์ม และประสิทธิภาพการผลิตลูกโค/ปี/ฟาร์ม ตั้งแต่ปี พ.ศ.2563 – 2565
2. กลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (non-adopted) หลังจากการเข้ารับการอบรมพัฒนาองค์ความรู้การจัดการฟาร์มที่ดี มีการจดบันทึกข้อมูลการจัดการฟาร์ม และประสิทธิภาพการผลิตลูกโค/ปี/ฟาร์ม ตั้งแต่ปี พ.ศ.2563 – 2565

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการสำรวจและเก็บการมูลโดยการใช้แบบสอบถามแบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structured interview) ประกอบด้วย คำถามปลายเปิด (open-ended question) และคำถามปลายปิด (close-ended question) โดยทำการเก็บ ข้อมูลด้านต่าง ๆ ดังนี้ ด้านการจัดการฟาร์ม การจัดการอาหาร การจัดการโคเนื้อแม่พันธุ์ และเก็บข้อมูลการกลับสัด การผสมติด การตั้งท้อง และ การคลอดลูก

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของการจัดการฟาร์มโคเนื้อแม่พันธุ์ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ เชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ค่าความถี่ (frequency) ค่าร้อยละ (percentage) และค่าเฉลี่ย (mean)

ข้อมูลประสิทธิภาพการผลิตลูกโค ค่าร้อยละ (percentage) และค่าเฉลี่ย (mean) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (P-value <0.05)

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของการจัดการฟาร์มโคเนื้อแม่พันธุ์ของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดพะเยา พบว่า เกษตรกรทั้ง 2 กลุ่ม ได้เข้ารับการอบรมพัฒนาองค์ความรู้การจัดการฟาร์มโคเนื้อแม่พันธุ์คุณภาพ ร้อยละ 100 ซึ่งเกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการได้รับรองมาตรฐานฟาร์ม GAP (การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี; Good Agricultural Practices: GAP) ร้อยละ 22.22 มาตรฐานฟาร์ม GFM (ฟาร์มที่มีระบบการป้องกันโรคและการเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสม; Good Farming Management: GFM) ร้อยละ 77.78 ในขณะที่เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ไม่มีการได้รับรองมาตรฐาน ร้อยละ 100 ระดับการศึกษา พบว่า เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง จบการศึกษาระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่า ระดับมัธยมศึกษา และระดับประถมศึกษา ร้อยละ 33.33 เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พบว่า จบการศึกษาระดับประถมศึกษามากที่สุด ร้อยละ 54.55 รองลงมาคือ ระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่า ร้อยละ 27.27 และระดับมัธยมศึกษาน้อยที่สุด ร้อยละ 18.18 ประสบการณ์การเลี้ยง พบว่าเกษตรกรทั้ง 2 กลุ่ม มีประสบการณ์การเลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์มากกว่า 6 ปี ร้อยละ 100 สายพันธุ์โคเนื้อแม่พันธุ์ที่เลี้ยง พบว่า เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์สายพันธุ์ลูกผสมชาร์โรเล่ห์มากที่สุด

ร้อยละ 77.78 รองลงมาคือ สายพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน ร้อยละ 22.22 โดยปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการผสมเทียม ร้อยละ 100 เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พบว่าเลี้ยงโคเนื้อสายพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน และสายพันธุ์ลูกผสมชาร์โรเล่ห์ ร้อยละ 45.45 รองลงมาคือสายพันธุ์ลูกผสมแองกัส ร้อยละ 9.09 โดยปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการผสมเทียม ร้อยละ 90.91 รองลงมาคือผสมพันธุ์ด้วยวิธีธรรมชาติ ร้อยละ 9.09 ด้านอาหาร พบว่า เกษตรกรทั้ง 2 กลุ่ม มีการเก็บสำรองฟางข้าว และทำแปลงหญ้าคุณภาพ สำหรับตัดให้แม่โค ร้อยละ 100 เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง มีการเสริมอาหารข้น ร้อยละ 100 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 36.36 ตามลำดับ การจัดการด้านการป้องกันโรค พบว่า เกษตรกรทั้ง 2 กลุ่ม มีการฉีดวัคซีน ถ่ายพยาธิ และให้แร่ธาตุก้อน ร้อยละ 100 เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง มีการฉีดยาบำรุง และยาปฏิชีวนะภายใต้การกำกับดูแลของสัตวแพทย์ ร้อยละ 66.67 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 45.45 ด้านการตลาด พบว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง มีการจำหน่ายให้พ่อค้าคนกลางวิธีเดียว ร้อยละ 63.64 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 55.56 ซึ่งเกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง มีการจำหน่ายกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และพ่อค้าคนกลาง ร้อยละ 44.44 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 36.36 ตามลำดับ **ดังแสดงในตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกรและสภาพการเลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์

Parameter		Adopted (%)	non-adopted (%)
จำนวนเกษตรกรและฟาร์ม		9	11
การเข้าร่วมอบรม	เข้าร่วมการอบรมการจัดการฟาร์มที่ดี	100.00 (9/9)	100.00 (11/11)
การได้รับรองมาตรฐานฟาร์ม			
	ได้มาตรฐาน GAP	22.22 (2/9)	0.00 (0/11)
	ได้มาตรฐาน GFM	77.78 (7/9)	0.00 (0/11)
การศึกษา			
	ประถมศึกษา	33.33 (3/9)	54.55 (6/11)
	มัธยมศึกษา	33.33 (3/9)	18.18 (2/11)
	ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า	33.33 (3/9)	27.27 (3/11)
ประสบการณ์การเลี้ยงโค			
	1 – 3 ปี	0.00 (0/9)	0.00 (0/11)
	4 – 5 ปี	0.00 (0/9)	0.00 (0/11)
	6 ปีขึ้นไป	100.00 (9/9)	100.00 (11/11)
พันธุ์			
พันธุ์โคที่เลี้ยง			
	โคเนื้อแม่พันธุ์ลูกผสมบราห์มัน	22.22 (2/9)	45.45 (5/11)
	โคเนื้อแม่พันธุ์ลูกผสมชาร์โรเล่ห์	77.78 (7/9)	45.45 (5/11)
	โคเนื้อแม่พันธุ์ลูกผสมแองกัส	0.00 (0/9)	9.09 (1/11)
วิธีการปรับปรุงพันธุ์			

Parameter		Adopted (%)	non-adopted (%)
	ผสมพันธุ์ด้วยวิธีธรรมชาติ	0.00 (0/9)	9.09 (1/11)
	ผสมพันธุ์ด้วยวิธีผสมเทียม	100.00 (9/9)	90.91 (9/11)
อาหาร			
อาหารหยาบ			
- ฟางข้าว	เก็บสำรองฟางข้าว	100.00 (9/9)	100.00 (11/11)
- แปลงหญ้าคุณภาพ	แปลงหญ้าคุณภาพ สำหรับตัดให้แม่โค	100.00 (9/9)	100.00 (11/11)
	-หญ้าแพงโกล่า	22.22 (2/9)	63.64 (7/11)
	-หญ้ารูซี่	66.67 (6/9)	9.09 (1/11)
	-หญ้าเนเปียร์	11.11 (1/9)	27.27 (3/11)
อาหารข้น	เสริมอาหารข้น	100.00 (9/9)	36.36 (4/11)
การจัดการฟาร์ม			
การจัดการด้านการป้องกันโรค			
	ฉีดวัคซีน	100.00 (9/9)	100.00 (11/11)
	ถ่ายพยาธิ	100.00 (9/9)	100.00 (11/11)
	การให้ยาบำรุง	66.67 (6/9)	45.45 (5/11)
	ยาปฏิชีวนะ	66.67 (6/9)	45.45 (5/11)
	แร่ธาตุก้อน	100.00 (9/9)	100.00 (11/11)
การตลาด			
วิธีการจำหน่าย	กลุ่มวิสาหกิจชุมชน และพ่อค้าคนกลาง	44.44 (4/9)	36.36 (4/11)
	พ่อค้าคนกลาง	55.56 (5/9)	63.64 (7/11)

Adopted =กลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง, **non-adopted** =กลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ผลของคะแนนสภาพร่างกายของโคเนื้อแม่พันธุ์ ของเกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง พบว่า ในปี พ.ศ.2563 มีโคเนื้อแม่พันธุ์ที่มีคะแนนสภาพร่างกายอยู่ในระดับ 5 มากที่สุด ร้อยละ 60.81 รองลงมาคือ ระดับ 6 ร้อยละ 28.38 และระดับ 8 ร้อยละ 6.76 ต่ำที่สุดคือ ระดับ 4 ร้อยละ 4.05 ตามลำดับ ในปี พ.ศ.2564 เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง มีโคเนื้อแม่พันธุ์ที่มีคะแนนสภาพร่างกายอยู่ในระดับ 5 มากที่สุด ร้อยละ 66.67 รองลงมาคือ ระดับ 6 ร้อยละ 21.79 และระดับ 8 ร้อยละ 6.41 ต่ำที่สุดคือ ระดับ 4 ร้อยละ 5.13 ในปี พ.ศ.2565 เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง มีโคเนื้อแม่พันธุ์ที่มีคะแนนสภาพร่างกายอยู่ในระดับ 5 มากที่สุด ร้อยละ 67.12 รองลงมาคือ ระดับ 6 ร้อยละ 24.66 และระดับ 8 ร้อยละ 6.85 ต่ำที่สุดคือ ระดับ 4 ร้อยละ 1.37 ตามลำดับ ตามลำดับ ผลของคะแนนสภาพร่างกายของโคเนื้อแม่พันธุ์ ของเกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563-2565 พบว่า โคเนื้อแม่พันธุ์ที่มีคะแนนสภาพร่างกายอยู่ในระดับ 5 มากที่สุด ร้อยละ 64.89

รองลงมาคือ ระดับ 6 ร้อยละ 24.89 และระดับ 8 ร้อยละ 6.67 ต่ำที่สุดคือ ระดับ 4 ร้อยละ 3.56 ตามลำดับ และไม่มีโคเนื้อแม่พันธุ์ที่มีคะแนนสภาพร่างกายต่ำกว่าระดับ 4 **ดังแสดงในตารางที่ 2**

ผลของคะแนนสภาพร่างกายของโคเนื้อแม่พันธุ์ ของเกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พบว่า ในปี พ.ศ.2563 มีโคเนื้อแม่พันธุ์ที่มีคะแนนสภาพร่างกายอยู่ในระดับ 5 มากที่สุด ร้อยละ 67.57 รองลงมาคือ ระดับ 6 ร้อยละ 16.22, ระดับ 4 ร้อยละ 9.01 และระดับ 3 ร้อยละ 5.41 ต่ำที่สุดคือ ระดับ 8 ร้อยละ 1.80 ตามลำดับ ในปี พ.ศ.2564 มีโคเนื้อแม่พันธุ์ที่มีคะแนนสภาพร่างกายอยู่ในระดับ 5 มากที่สุด ร้อยละ 61.17 รองลงมาคือ ระดับ 6, ระดับ 3 ร้อยละ 14.56 และระดับที่ 4 ร้อยละ 8.74 ต่ำที่สุดคือ ระดับ 8 ร้อยละ 0.97 ในปี พ.ศ.2565 มีโคเนื้อแม่พันธุ์ที่มีคะแนนสภาพร่างกายอยู่ในระดับ 5 มากที่สุด ร้อยละ 66.67รองลงมาคือ ระดับ 6 ร้อยละ 14.10 และระดับ 3 ร้อยละ 10.26 ต่ำที่สุดคือ ระดับ 4 ร้อยละ 8.97 ตามลำดับ ตามลำดับ ผลของคะแนนสภาพร่างกายของโคเนื้อแม่พันธุ์ ของเกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563-2565 พบว่า โคเนื้อแม่พันธุ์ที่มีคะแนนสภาพร่างกายอยู่ในระดับ 5 มากที่สุด ร้อยละ 65.07 รองลงมาคือ ระดับ 6 ร้อยละ 15.07,ระดับ 3 ร้อยละ 9.93 และระดับที่ 4 ร้อยละ 8.90 ต่ำที่สุดคือ ระดับ 8 ร้อยละ 1.03 ตามลำดับ **ดังแสดงในตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลคะแนนสภาพร่างกายของโคเนื้อแม่พันธุ์ ของเกษตรกรทั้ง 2 กลุ่ม ในปี 2563-2565

Parameter	Body Condition Score					
	N	3	4	5	6	8
ปี พ.ศ.2563						
Adopted	74	-	4.05% (3)	60.81% (45)	28.38% (21)	6.76% (5)
non-adopted	111	5.41% (6)	9.01% (10)	67.57% (75)	16.22% (18)	1.80% (2)
ปี พ.ศ.2564						
Adopted	78	-	5.13% (4)	66.67% (52)	21.79% (17)	6.41% (5)
non-adopted	103	14.56% (15)	8.74% (9)	61.17% (63)	14.56% (15)	0.97% (1)
ปี พ.ศ.2565						
Adopted	73	-	1.37% (1)	67.12 (49)	24.66% (18)	6.85% (5)
non-adopted	78	10.26% (8)	8.97% (7)	66.67% (52)	14.10% (11)	-
Total						
Adopted	225	-	3.56% (8)	64.89 (146)	24.89 (56)	6.67 (15)
non-adopted	292	9.93 (29)	8.90 (26)	65.07 (190)	15.07 (44)	1.03 (3)

Adopted =กลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง, non-adopted =กลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ผลของอัตราการตั้งท้อง ในปี พ.ศ.2563 เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โคเนื้อแม่พันธุ์มีอัตราการตั้งท้อง ร้อยละ 87.84 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 71.17 ตามลำดับ ในปี พ.ศ.2564 พบว่า เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โคเนื้อแม่พันธุ์มีอัตราการตั้งท้อง ร้อยละ 88.46 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 67.96 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในปี พ.ศ.2565 พบว่า เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โคเนื้อแม่พันธุ์มีอัตราการตั้งท้อง ร้อยละ 89.04 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 66.67 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ผลของอัตราการตั้งท้องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563-2565 พบว่า เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โคเนื้อแม่พันธุ์มีอัตราการตั้งท้อง ร้อยละ 88.44 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 68.84 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.001$) **ดังแสดงในตารางที่ 3**

ผลของอัตราการเกิดของลูกโค ในปี พ.ศ.2563 เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โคเนื้อแม่พันธุ์มีอัตราการเกิดของลูกโค ร้อยละ 86.49 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 68.47 ตามลำดับ ในปี พ.ศ.2564 พบว่า เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โคเนื้อแม่พันธุ์มีอัตราการเกิดของลูกโค ร้อยละ 87.18 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 64.08 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในปี พ.ศ.2565 พบว่า เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โคเนื้อแม่พันธุ์มีอัตราการเกิดของลูกโค ร้อยละ 89.04 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 61.54 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ผลของอัตราการเกิดของลูกโคตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563-2565 พบว่า เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โคเนื้อแม่พันธุ์มีอัตราการเกิดลูก ร้อยละ 87.56 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 65.07 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.001$) **ดังแสดงในตารางที่ 3**

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลประสิทธิภาพการผลิตลูกโคของเกษตรกรทั้ง 2 กลุ่ม ในปี พ.ศ.2563-2565

Parameter	ปี พ.ศ.2563		ปี พ.ศ.2564		ปี พ.ศ.2565		Total	
	adopted	non-adopted	adopted	non-adopted	adopted	non-adopted	adopted	non-adopted
- Number of Beef Cows (N)	74	111	78	103	73	78	225	292
- Pregnancy rate %	87.84 (65)	71.17 (79)	88.46[b] (69)	67.96[a] (70)	89.04[b] (65)	66.67[a] (52)	88.44[b] (199)	68.84[a] (201)
- Calving rate %	86.49 (64)	68.47 (76)	87.18[b] (68)	64.08[a] (66)	89.04[b] (65)	61.54[a] (48)	87.56[b] (197)	65.07[a] (190)

Change =กลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง, No Change =กลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

[a b] Means within a row and study with different superscripts differ ($P<0.05$).

อภิปรายและสรุปผล

อภิปราย

จากการศึกษาข้อมูลพื้นของเกษตรกรจังหวัดพะเยาในครั้งนี้ พบว่า เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง จบการศึกษาระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่า ร้อยละ 33.33 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร้อยละ 27.27 ซึ่งเกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นเกษตรกรที่มีความยอมรับเทคโนโลยี และสามารถพัฒนาองค์ความรู้และนำไปปรับใช้ในฟาร์มของตนเอง ส่งผลให้เกษตรกรนำองค์ความรู้ไปพัฒนาฟาร์มให้ได้รับรองมาตรฐานฟาร์ม การศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายในการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างกลุ่มเกษตรกรที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีผลที่แตกต่างจากการศึกษาก่อนหน้านี้ของ [1] ที่รายงานว่า ระดับการศึกษาของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดเชียงราย จบการศึกษาในระดับปริญญาตรีเพียง ร้อยละ 15.56 แต่จบการศึกษาในระดับประถมศึกษา ร้อยละ 65.11 และการศึกษในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี ที่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อจบการศึกษาสูงกว่าระดับมัธยมศึกษา / ปวช. ร้อยละ 2.93 [2] ดังนั้นข้อจำกัดของเกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง คือเป็นกลุ่มเกษตรกรที่มีอายุมาก ส่วนใหญ่จบการศึกษาระดับชั้นประถามศึกษา อาจส่งผลให้เข้าไม่ถึงองค์ความรู้และไม่สามารถรับเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมต่าง ๆ มาปรับใช้ได้

การตลาดโคเนื้อพบว่า เกษตรกรจังหวัดพะเยาจะเลือกซื้อโคเนื้อ โดยคำนึงถึงสายพันธุ์โคเป็นหลัก คือ สายพันธุ์ลูกผสมชาโรเล่ห์ ลูกผสมแองกัส และลูกผสมบราห์มัน เหมือนกับเกษตรกรในพื้นที่ จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน [6] โดยเกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลง มีความรู้เรื่องสายพันธุ์ที่ตลาดมีความต้องการและจำหน่ายลูกโคได้ในราคาสูง และยังรู้รับและปรับใช้เทคโนโลยีการผสมเทียมมาช่วยปรับปรุงพันธุ์โคเนื้อ เพื่อให้ได้โคลูกผสมชาร์โรเล่ห์ ซึ่งพบว่ามีมากที่สุด ร้อยละ 77.7 อย่างไรก็ตามเกษตรกรที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ยังให้โคเนื้อแม่พันธุ์ผสมพันธุ์ด้วยวิธีตามธรรมชาติเหมือนกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ ในพื้นที่จังหวัดจันทบุรีมีปัญหาการผสมไม่ติด [2]

การจัดการอาหารพบว่า เกษตรกรทั้ง 2 กลุ่มให้ความสำคัญในการเก็บสำรองฟางข้าว และปลูกพืชอาหารสัตว์คุณภาพ ร้อยละ 100 เช่น หญ้าแพงโกล่า หญ้าเนเปียร์ หญ้ารูซี่ โดยแสดงให้เห็นถึงการปรับตัวของเกษตรกรยุคใหม่ที่นิยมสร้างแปลงหญ้ามากขึ้น เพราะหญ้าที่ปลูกมีคุณภาพดีกว่า และให้ผลผลิตที่สูงกว่าหญ้าธรรมชาติ โดยการจัดการอาหารที่ดีนั้น เป็นหนึ่งปัจจัยที่ทำให้โคเนื้อแม่พันธุ์มีความสมบูรณ์พันธุ์ มีผลผลิตให้ดีขึ้นได้ [9]

เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลงมีการปรับปรุงฟาร์มให้ได้รับรองมาตรฐานฟาร์มตามข้อกำหนดของกรมปศุสัตว์ [14] และได้รับรองมาตรฐานฟาร์ม GAP ร้อยละ 22.22 มาตรฐานฟาร์ม GFM ร้อยละ 77.78 ซึ่งเกษตรกรกลุ่มนี้มีความเข้าใจถึงกระบวนการผลิตที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และปรับกระบวนการผลิตเพื่อรองรับการตลาดส่งออกโคเนื้อไปยังตลาดประเทศลาว และประเทศจีน ที่ต้องมีคอกเลี้ยงโคที่ได้รับการรับรองมาตรฐานฟาร์ม GAP ถึงจะสามารถส่งโคเนื้อออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้

การเลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์ให้มีคะแนนสภาพร่างกายที่ดี จะส่งผลต่อการกลับสัดตรงตามวงรอบ และสามารถเพิ่มอัตราการผสมติดได้ [15] ซึ่งแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายสูง มีอัตราการผสมติดจากการผสมเทียมสูงถึง ร้อยละ 60.90 ผสมพันธุ์ด้วยวิธีตามธรรมชาติ ร้อยละ 82.70 [16] รวมถึงการกลับสัดหลังจากการคลอดลูก ร้อยละ 50.00 [17] โดยคะแนนสภาพร่างสภาพร่างกายที่เหมาะสมของโคแม่เนื้อพันธุ์ไม่ควรต่ำกว่าในระดับ 5 จะมีอัตราการตั้งท้องสูง ร้อยละ 80.00 [18] และหากแม่โคมีคะแนนสภาพร่างกายต่ำกว่าระดับ 3 จะมีอัตราการตั้งท้องลดลงเหลือเพียง ร้อยละ 43.00 [19]

การที่เกษตรกรมีองค์ความรู้และทักษะในการจัดการฟาร์มที่ดี และนำองค์ความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้อย่างเหมาะสม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตลูกโคได้ตามเป้าหมาย ได้โคเนื้อคุณภาพที่ตรงตามความ

ต้องการของตลาด ดังนั้นเมื่อประสิทธิภาพการผลิตลูกโคเพิ่มขึ้น เกษตรกรจะมีรายได้เพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ดังแสดงใน**ภาพที่** 1



ภาพที่ 1 การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตลูกโคให้ประสบความสำเร็จนั้น ต้องมีการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับเกษตรกรเพื่อให้เพิ่มทั้งความรู้และทักษะในการจัดการฟาร์มที่ดีก่อน

สรุปผล

เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสามารถพัฒนาฟาร์มให้ได้รับรองมาตรฐานฟาร์ม GAP ร้อยละ 22.22 และมาตรฐานฟาร์ม GFM ร้อยละ 77.78 ซึ่งการจัดการฟาร์มโคเนื้อแม่พันธุ์ที่ดีนั้น ทำให้เกษตรกรสามารถรักษาคะแนนสภาพร่างกายของโคเนื้อแม่พันธุ์ให้ไม่ต่ำกว่าระดับ 5 และส่งผลให้เกษตรกรกลุ่มที่เกิดการเปลี่ยนแปลงมีประสิทธิภาพการผลิตลูกโค คือ มีอัตราการตั้งท้อง ร้อยละ 88.44 และอัตราการเกิดของลูกโค ร้อยละ 87.56 สูงกว่า เกษตรกรกลุ่มที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีอัตราการตั้งท้อง ร้อยละ 68.84 และอัตราการเกิดของลูกโคร้อยละ 65.07

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ที่ให้ทุนสนับสนุน งบประมาณโครงการการพัฒนาโมเดลเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตลูกโคเนื้อสนับสนุนระบบการผลิตแบบครบวงจร งบประมาณปีพ.ศ.2563 ขอขอบคุณเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์ที่ได้ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ขอขอบคุณสาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้ความช่วยเหลือในการลงพื้นที่เก็บข้อมูล และขอขอบคุณอาจารย์ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการดำเนินการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Saengwong S., Thannithi W., Wichaporn J., and Intawicha P. (2019). Beef Cattle Production, Management and Supply Chain in Chiang Rai Province. Thai Science and Technology Journal (TSTJ). Vol. 28 No. 8 August 2020
2. Chimliang T. and Luengwaree P. (2016). Study on Status of Beef Cattle Raising of Farmers in Chanthaburi Province. Rampaipanni Research Journal. 10(3): 73–80.
3. Thannithi W., Intawicha P., Wichaporn J., Klamrak M., and Saengwong S. (2022). The study of raising conditions and SWOT analysis of cattle fattening production in Phayao province Naresuan Phayao Journal, 15(3), 111–121.
4. Castro Bulle, F. C. P., Paulino, P. V., Sanches, A. C., & Sainz, R. D. (2007). Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. Journal of Animal Science, 85(4), 928–936.
5. Saengwong S., Thannithi W., Wichaporn J., and Intawicha P. (2020). Producing Quality Beef from Cattle in Phrae Province: An Assessment of the Conditions, Problems, and Opportunities. King Mongkut's Agr. J. 2020: 38 (2): 254–262.
6. Chainam J, Supakijjanon T, Kiratikarnkul B, Patanawong W, Opaspattanakit Y. Trading conditions of live cattle at the cattle–buffalo market in Chiang Mai and Lamphun Province. Research Fund Office, Bangkok. 2014.
7. Prapatigul P., Intaruccomporn W., and Sreshthaputra S. (2021). The Seeking of Roughage Sources from Agricultural Wastes in Community for Beef Cattle Raising: A Case Study of Beef Cattle Raising Groupat Pua District, Nan Province. Community Development and Quality of Life Journal 9(2):278–288(2021)
8. Kantiya N. (2562). Factors affecting the efficiency of beef cattle production of farmers in the Beef Cattle Large Plot Agriculture System Project. Case study of Chiang Klang District, Nan Province. Research report. Nan Province Livestock Office, Muang District, Nan Province 55000
9. Terry, S. A., Basarab, J. A., Guan, L. L., & McAllister, T. A. (2020). Strategies to improve the efficiency of beef cattle production. Canadian Journal of Animal Science, 101(1), 1–19.
10. Intawicha P., Krueasan S., Kheanwang S. Thanee T., Tana S., Sorachakulaand C. Danmek K. (2017). Condition of raising beef cows and farmer satisfaction in Mueang district, Mae Chai, Dok Khamtai and Phukhamyao districts of Phayao Province. Journal of Agricultural Research and Extension33(3): 26–34. [in Thai]
11. Bó, G.A., L. Cutaia, L.C. Peres, D. Pincinato, D. Maraña and P.S. Baruselli. (2007). Technologies for fixed–time artificial insemination and their influence on reproductive performance of Bos indicus cattle. Soc.Reprod. Fertil. Suppl 64: 223–236.
12. Intawicha P., Krueasan S., Thanee T., Saengwong S., Dongpaleethun C. and Kaewkesa K. (2563). Comparison of Methods and Cost of Synchronize Estrus in Beef Cows, 37(1), 20–28.
13. Bó, G.A., D.C Guerrero, A. Tríbulo, H. Tríbulo, R. Tríbulo, D. Roganand R.J. Mapletoft. (2010). New approaches to superovulation in the cow. ReproductionFertility and Development22: 106–112.

14. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2013). Good agricultural practices for beef cattle farms. Announced in the Royal Gazette Announcements and general work edition, volume 130, special section 14

15. Pryce, J. E., Coffey, M. P., & Simm, G. (2001). The relationship between body condition score and reproductive performance. Journal of Dairy Science, 84(6), 1508–1515.

16. Cooke, R.F., G.C. Lamb, J.L.M. Vasconcelos and K.G. Pohler. (2021). Effects of Body Condition Score at Initiation of the Breeding Season on Reproductive Performance and Overall Productivity of Bos Taurus and B. Indicus Beef Cows. Animal Reproduction Science, vol. 232, p. 106820,

17. Carvalho, R.S., R.F. Cooke, B.I. Cappellozza, R.F.G. Peres, K.G. Pohler and J.L.M. Vasconcelos. (2022). Influence of Body Condition Score and Its Change after Parturition on Pregnancy Rates to Fixed–Timed Artificial Insemination in Bos Indicus Beef Cows. Animal Reproduction Science, vol. 243, p. 107028

18. Eversole, D. E., M. F. Browne, J. B. Hall, and R. E. Dietz. (2009). Body condition scoring beef cows. Virginia Cooperative Extension Publication 400–791.

19. Stewart, L., and Dyer, T. (2007). Body conditioning scoring beef cows.

คะแนนสภาพร่างกายณเวลาเหนี่ยวนำการเป็นสัดต่ออัตราการผสมติดและสมรรถนะการเจริญเติบโตลูกโค

Body condition scores at estrus synchronization time affect both conception rate and Growth Performance of calf

อมรรัตน์ สิทธิบุญมา[1], จักรกฤษ วิชาพร[1], สุรีย์พร แสงวงศ์[1] และ พยุงศักดิ์ อินต๊ะวิชา[1*]

Amornrut Sittiboonma[1], Jakkit Wichaporn [1], Sureeporn Saengwong[1] and Payungsuk Intawicha[1*]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบถึงคะแนนสภาพร่างกายต่ออัตราการผสมติด และสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกโค จนถึงระยะก่อนเข้าขุน การศึกษาที่ 1 เก็บข้อมูลจากโคเนื้อแม่พันธุ์ จำนวน 115 ตัว แบ่งกลุ่มตามคะแนนสภาพร่างกายออกเป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มคะแนนสภาพร่างกาย 4, 5, 6, 7 และ 8 ผลการศึกษาพบว่า แม่โคกลุ่มที่มีคะแนน (Body condition scores, BCS) ระดับ 8 มีอัตราการตั้งท้องสูงที่สุด (62.50%) และ มีการอัตราการคลอดลูกสูง (100.00%) มากกว่ากลุ่มที่มีคะแนนร่างกายน้อยกว่า 8 การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของลูกโค กลุ่มลูกโคที่เกิดจากแม่ที่มี BCS ≤ 6 กับ BCS ≥6 พบว่า น้ำหนักตัวของลูกแรกคลอด (36.83± 3.31 Kg.) และอายุ 6 เดือน (169.72±22.03) อายุ 18 เดือน (250.91± 31.81) มากกว่ากลุ่ม BCS ≤ 6 น้ำหนักตัวของลูกแรกคลอด (23.50± 2.42 Kg.) และอายุ 6 เดือน (137.72±5.00) อายุถึง 18 เดือน (227.33+ 11.31) ($P<0.05$) สรุปผลได้ว่าการที่โคเนื้อแม่พันธุ์มีคะแนนสภาพร่างกาย≥6 ส่งผลต่อการผสมติด และการเจริญเติบโตของลูก เพิ่มขึ้นกว่ากลุ่มที่มีคะแนนสภาพร่างกายต่ำ

คำสำคัญ: คะแนนสภาพร่างกาย, เหนี่ยวนำการเป็นสัด, การผสมติด, การเจริญเติบโตโคเนื้อ

[1] สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Department of Animal Science, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao, 56000

* Corresponding author: payungsuk.in@up.ac.th

Abstract

The purpose of this study was to test body condition scores to the conception rate and growth performance of calves until the fattening period. One hundred fifteen beef cows were divided into 5 groups according to their body condition scores; 4, 5, 6, 7, and 8. The results found that beef cattle in the group with BCS level 8 had the highest pregnancy rate (62.50%) and the highest calving rates (100%). The performance of calves was divided into 2 groups: A group of calves born to cattle with BCS score ≤ 6 *vs* ≥6. We found that the body weight of at birth was 36.83± 3.31 Kg. and at 6 months of age (169.72±22.03) and at 18 months of age (250.91± 31.81) than those in the BCS ≤ 6 groups, weight of birth(23.50± 2.42 Kg.) at 6 months of age (137.72±5.00) and at 18 months of age (227.33+ 11.31:P<0.05). The Conclusion of this study beef cows had a body condition score of ≥6. which had an effect on conception rates and the growth of calves more than those in the group with low body condition scores.

Keywords: Body Condition Scores, Estrus Synchronization, Conception Rate, Growth Performance, Beef Cattle

บทนำ

การเลี้ยงโคเนื้อในปัจจุบันเปลี่ยนไปมีการเลี้ยงโคลูกผสมเพื่อการค้ามากขึ้น อย่างไรก็ตามสภาพปัญหาการเลี้ยงโคเนื้อพันธุ์ลูกผสมพบว่า เกษตรกรขาดความรู้ในการปรับปรุงพันธุ์ การวางแผนผสมพันธุ์ และการดูแลแม่พันธุ์ให้มีคะแนนร่างกายที่เหมาะสมเพื่อแสดงการเป็นสัด ผสมติด และคลอดลูกได้ปีละตัว เพื่อให้บรรลุเป้าประสงค์ดังกล่าวเจ้าหน้าที่ปศุสัตว์ต้องส่งเสริมความรู้การผสมเทียม และการขยายพันธุ์โคเนื้อลูกผสมสายเลือดยุโรปให้มากขึ้น (สุรศักดิ์ รอดหยู่ และคณะ 2561) การเลี้ยงโคลูกผสมสายเลือดยุโรปมากกว่า 50% เป็นสายพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมเลี้ยงเพราะให้ผลตอบแทนที่ดีตลาดต้องการ การปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้ลูกผสม เกษตรกรนิยมใช้วิธีการผสมเทียม โดยสายพ่อพันธุ์โคที่เกษตรกรนิยมใช้ในการผสมเทียม คือ โคพันธุ์ Angus โคพันธุ์ Charolais และโคพันธุ์ Beefmaster (สุรีย์พร และคณะ 2563) การผสมเทียมในโคเนื้อทำได้ยากเนื่องจากการจับสัดจากตัวเกษตรกรเอง และการแสดงการเป็นสัดของแม่โคเนื้อไม่ชัดเจน การนำเทคโนโลยีการเหนี่ยวนำและผสมเทียมเพื่อเพิ่มอัตราการผสมติดเป็นวิธีการที่ช่วยแก้ไขปัญหาได้ (Johnson et al., 2018) การใช้ฮอร์โมน progesterone ร่วมกับ prostaglandin F2α (PGF2α) และ Gonadotropin hormone–releasing hormone (GnRH) แล้วกำหนดเวลาในการผสมเทียม พบว่า ทำให้มีอัตราการตั้งท้องเพิ่มขึ้นเป็น 54.3% การใช้ prostaglandin$F_2\alpha$ ($PGF_2\alpha$) มีอัตราการตั้งท้องเป็น 60.9% และ GnRH มีอัตราการตั้งท้องเป็น 59.2% (Monteiro et al., 2023) การศึกษาการในโคสาว พบว่า มีอัตราการตั้งท้องเพิ่มขึ้นเป็น 63.7% (White et al., 2016) ในปี 2562 วีรพันธุ์ และคณะ ได้ทำการศึกษาวิธีการเหนี่นำการเป็นสัดในโคเนื้อ โปรแกรม 7–day Co–synch + CIDR เปรียบเทียบกับ 14–day Co–synch + CIDR พบว่า อัตราการเป็นสัดในแม่โคกลุ่ม 7 วันมีค่าเท่ากับ 96.30% และอัตราการตั้งท้องกลุ่ม 7 วัน 40.74 %สูงกว่ากลุ่ม 14 วัน ปี 2562 พยุงศักดิ์และคณะ ได้ศึกษาโปรแกรมการเหนี่ยวนำการเป็นสัดในโคนม พบว่า อัตราการเป็นสัดและอัตราการผสมติด ของแม่โคหลังจากผสมเทียมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

แม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายต่ำ ≤ 3 จะมีอัตราการตั้งท้อง 43% หากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายสูงจะทำให้มีอัตราการผสมติกจากการผสมเทียมสูงถึง ร้อยละ 60.9 ผสมพันธุ์ตามธรรมชาติ ร้อยละ 82.7 และอัตราการคลอดลูก ร้อยละ 93.7 (Cooke et al., 2021) รวมถึงการกลับสัดและอัตราการต้องท้องหลังจากการคลอดลูก (50%)

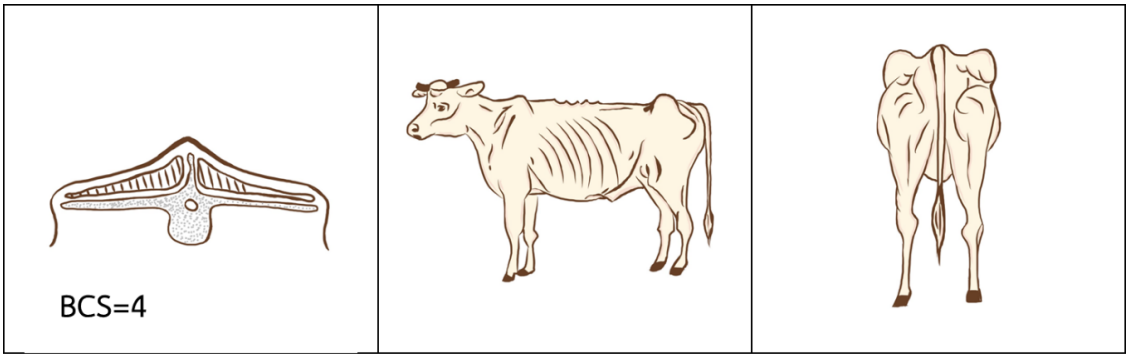
(Carvalho et al., 2022) คะแนนสภาพร่างสภาพร่างกายที่เหมาะสมในโคแม่พันธุ์ ควรอยู่ที่ระดับ >5 ทำให้มีอัตราการตั้งท้องสูงมากกว่า 80% (Escalante et al., 2013) ซึ่งส่งผลต่อลูกโคมีน้ำหนักแรกเกิดประมาณ 30.87 กิโลกรัม น้ำหนักหย่านมที่อายุ 200 วันเท่ากับ 214.12 กิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโตช่วงก่อนหย่านมวันละ 0.90 กิโลกรัม (อุไร และคณะ, 2547) ส่วนในช่วงขุนมีอัตราการเจริญเติบโตวันละ 1.27 กิโลกรัม การศึกษาประสิทธิภาพการขุนของโคสายพันธุ์กำแพงแสน (โคพื้นเมือง 25% โคบราห์มัน25% และโคชาร์โรเลส์ 50%) มีอัตราการเจริญเติบโต 1.04 กิโลกรัมต่อวัน (นันทนา และคณะ 2440)

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงตั้งสมมติฐานว่า คะแนนสภาพร่างกายแม่โคมีผลต่อประสิทธิภาพการผสมติด การผลิตลูกโค และการเจริญเติบโตของลูกโคก่อนเข้าขุน เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการฟาร์มและส่งเสริมการเลี้ยงโคเนื้อให้กับเกษตรกรรายย่อยต่อไป

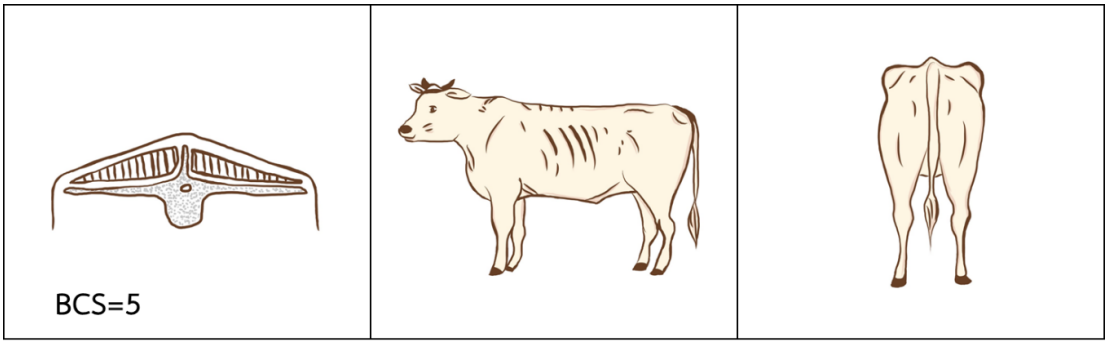
วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลอง

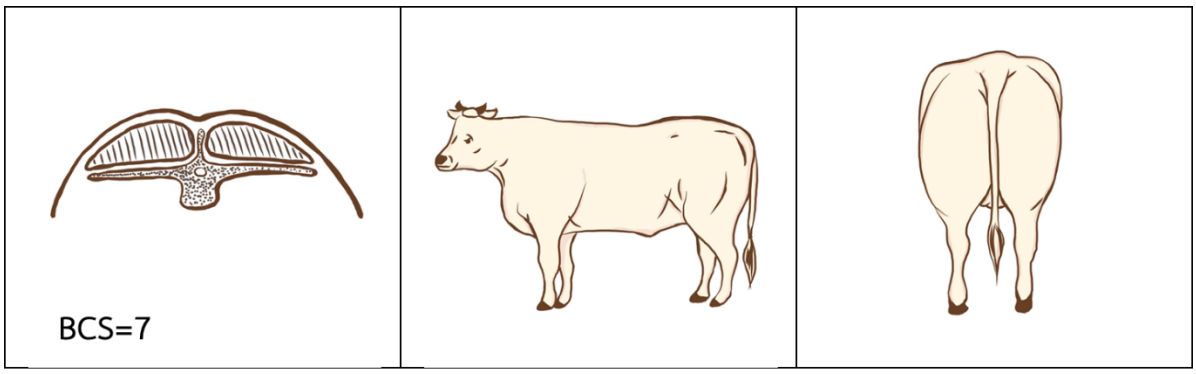
การทดลองครั้งนี้ได้รับรองโดยคณะกรรมการจริยธรรมการใช้สัตว์ทดลองมหาวิทยาลัยพะเยาเลขที่ 1-014-66 **การทดลองที่ 1 เก็บข้อมูลจาก**โคเนื้อแม่พันธุ์สายพันธุ์ลูกผสมบราห์มัน์ อายุ 2 ปีขึ้นไป จำนวน 115 ตัว ในฟาร์มเครือข่ายของกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดพะเยา โดยแบ่งเป็น อำเภอเชียงคำ อำเภอดอกคำใต้ อำเภอจุน อำเภอเมืองพะเยา ทำการแบ่งกลุ่มตามคะแนน BCS ออกเป็น 5 กลุ่มการทดลอง ตั้งแต่คะแนน 4, 5,.6, 7 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งการเกณฑ์การประเมินการให้คะแนน BCS อ้างอิงตาม (Thomas, 2021)



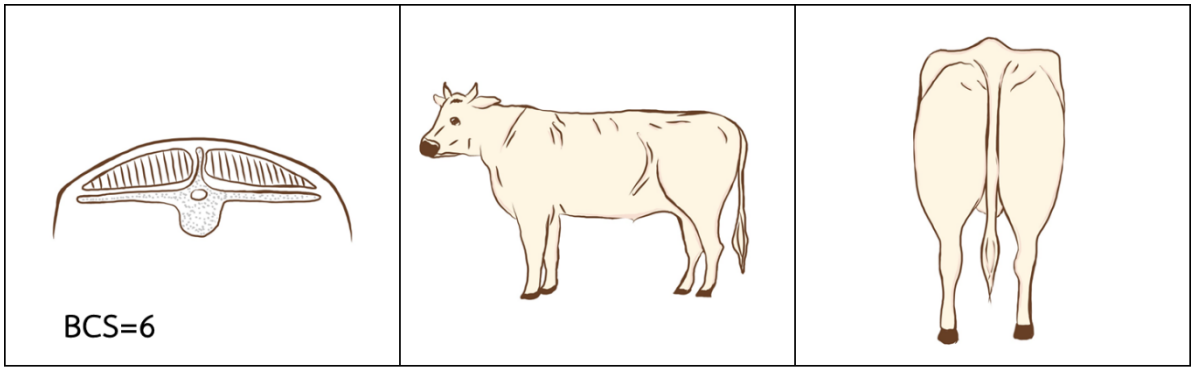
รูปที่ 1 BCS=4 ซี่โครงแต่ละซี่ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนไขมันบางส่วนปกคลุมไปตามซี่โครงและกระดูกสะโพก



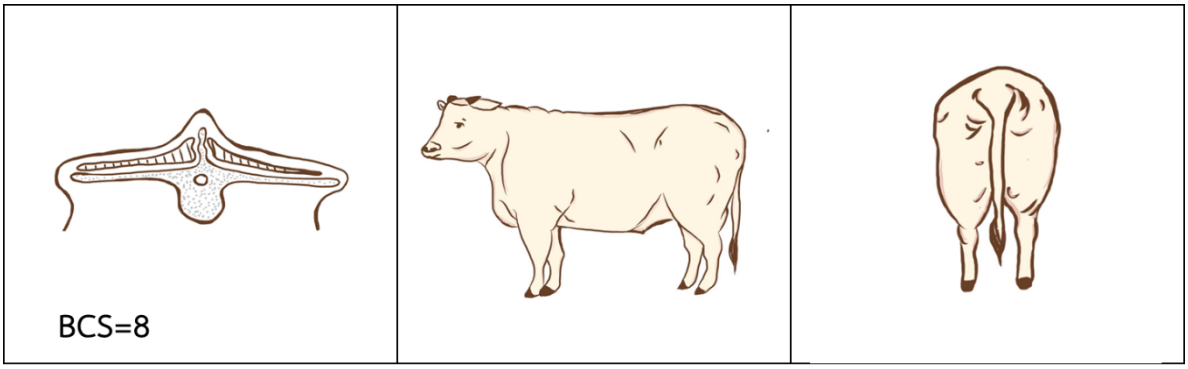
รูปที่ 2 BCS=5 โดยทั่วไปโคมีลักษณะโดยรวมที่ดี เมื่อคลำไขมันบริเวณซี่โครงให้ความรู้สึกมีไขมันปกคลุม บริเวณหัวหางทั้งสองข้างมีไขมันปกคลุมที่เห็นได้ชัด



รูปที่ 3 โคนหางและซี่โครงมีไขมันปกคุมเห็นได้ชัด



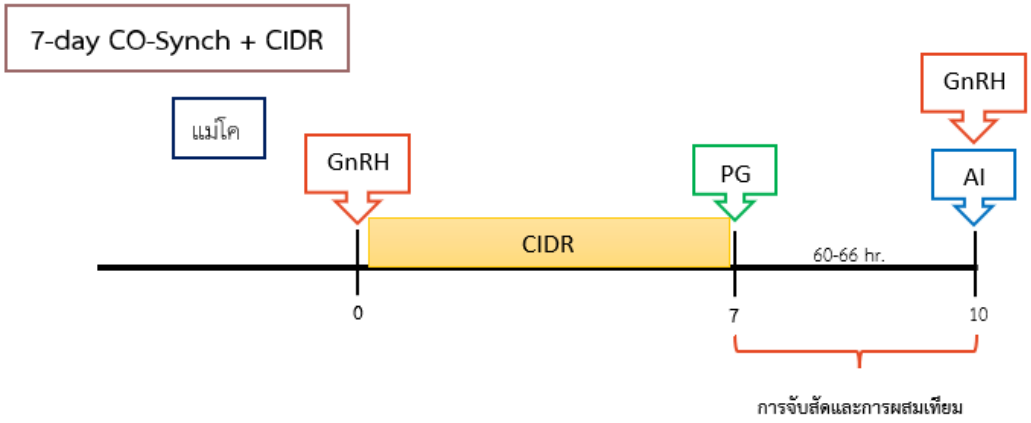
รูปที่ 4 BCS=7 ไขมันที่เป็นปกคลุมซี่โครงและรอบ ๆ โคนหาง เห็นได้ชัดไขมันบริเวณปากช่องคลอด



รูปที่ 5 BCS=8 มีเนื้อมากและมีน้ำหนักเกิน มีไขมันสะสมมากบริเวณซี่โครงและรอบโคนหาง และด้านล่างของช่องคลอด เห็นได้ชัด

การเหนี่ยวนำการเป็นสัด

หลังจากนั้นทำการเหนี่ยวนำและผสมเทียม โดยโปรแกรม 7-day Co-Synch + CIDR วันแรกของการเหนี่ยวนำDay 0 ทำการฉีดฮอร์โมนฮอร์โมนโกนาโดโทรปิน รีลิสซิ่ง 2.5 cc พร้อมกับการสอดแท่งอุปกรณ์เหนี่ยวนำ CIDR) Day 7 ทำการถอด CIDR และฉีดฮอร์โมนโพรสตาแกลนดิน (PG) 3 cc ทำการผสมเทียมในชั่วโมงที่ 66 รูปที่ 6 พร้อมกับฉีดฮอร์โมน GnRH หลังการฉีดฮอร์โมน $PGF_{2\alpha}$ ก่อนทำการผสมเทียมต้องตรวจดูแม่โคที่เป็นสัดจะยืนนิ่งให้ตัวอื่นขึ้นทับและมีเมือกใสไหลจากช่องคลอด จากนั้นทำการล้างบริเวณอวัยวะเพศภายนอกด้วยน้ำสะอาดและเช็ดให้แห้ง แล้วทำการละลายน้ำเชื้อที่รีดจากพ่อโคเนื้อสายพันธุ์ยุโรป ของกรมปศุสัตว์ และเตรียมปืนฉีดน้ำเชื้อเพื่อผสมเทียมให้กับแม่โค การผสมเทียมดำเนินการโดยเจ้าหน้าผสมเทียมจากสำนักงานปศุสัตว์จังหวัดพะเยา ทำการเก็บข้อมูลอัตราการตั้งท้อง อัตราการกลับสัดครั้งที่ 1 และอัตราการคลอดลูก



รูปที่ 6 โปรแกรมการเหนี่ยวนำการเป็นสัดและผสมเทียม โดยการฉีดฮอร์โมน GnRH พร้อมสอดแท่ง CIDR ในวันที่ 0 จากนั้นถอดแท่ง CIDR พร้อมกับฉีดฮอร์โมน PG ในวันที่ 7 จากนั้นผสมเทียมตัวที่พบการแสดงการเป็นสัดหรือฉีดฮอร์โมน GnRH พร้อมกับทำการผสมเทียมวันที่ 10 GnRH = Gonadotropin-releasing hormone PG = prostaglandin $F_2\alpha$, AI = Artificial Insemination Co-Synch = โปรแกรมการเหนี่ยวนำการเป็นสัด CIDR = Controlled Internal Drug Release (อุปกรณ์สอดช่องคลอด)

การตรวจการตั้งท้อง

ทำการตรวจท้องแม่โคที่ได้รับการผสมเทียมแล้ว ในแม่โคตัวที่ครบวงรอบการเป็นสัดแต่ไม่แสดงอาการเป็นสัดในวันที่ 60 หลังจากทำการผสมเทียม โดยเจ้าหน้าผสมเทียมของสำนักงานปศุสัตว์จังหวัดพะเยา ทำการหาอัตราการตั้งท้องทั้งสองกลุ่มทดลองที่ผสมติดในครั้งแรก ผสมครั้งที่ 2 และมากกว่า 2 ครั้งด้วยวิธีการ อัลตร้าซาวน์ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การตรวจการตั้งท้องด้วยเครื่องอัลตร้าซาวน์

การทดลองที่ 2 การศึกษาสมรรถนะการเจริญเติบโตลูกโค

ทำการศึกษาโดยเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของลูกโคเนื้อที่เกิดจาการผสมเทียมในการศึกษาที่ 1 โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง จำนวน 60 ตัว ช่วงอายุ 0-18 เดือน คือลูกโคที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS≥6 จำนวน 30 ตัว และลูกโคที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS≤6 จำนวน 30 ตัว เท่าๆกัน ข้อมูลที่บันทึกได้แก่ น้ำหนักแรกเกิด อัตราการเจริญเติบโต สัดส่วนร่างกาย (รอบอก ความสูง ความยาว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราเจริญเติบโต

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษาที่ 1

ทำการศึกษาผลของคะแนนร่างกายของแม่โค การตอบสนองต่อการแสดงอาการเป็นสัด อัตราการตั้งท้อง เปรียบเทียบโดยใช้ค่าร้อยละโดยใช้ Chi-square test โดยใช้โปรแกรม R (64-bit

การศึกษาที่ 2

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม R (64-bit) น้ำหนักแรกเกิด อัตราการเจริญเติบโต สัดส่วนร่างกาย (รอบอก ความสูง ความยาว) นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์แบบ (One-way ANOVA) โดยข้อมูลถูกเปรียบเทียบ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% (p-value <0.05)

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาคะแนนสภาพร่างกายต่ออัตราการผสมติดของโคเนื้อแม่พันธุ์ จำนวน 115 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม พบว่า กลุ่มที่ 1 คะแนนสภาพร่างกาย ระดับ 4 มีอัตราการตั้งท้องร้อยละ 27.27 อัตราการกลับสัดครั้งที่ 1 ร้อยละ 72.73 และอัตราการคลอดลูก ร้อยละ 72.73 คะแนนสภาพร่างกายระดับ 5 มีอตราการตั้งท้องน้อยที่สุด ร้อยละ 22.86 แต่อัตราการกลับสัดครั้งที่ 1 มากที่สุดร้อยละ 77.14 อัตราการคลอดลูกร้อยละ 85.71 คะแนนสภาพร่างกายระดับ 6 ,มีอัตราการตั้งท้อง อัตราการกลับสัดครั้งที่ 1 อัตราการคลอดลูก เท่ากับ 54.55% 45.45%และ 95.45% ตามลำดับ คะแนนสะภาพร่างกายระดับบ 7 มีอัตราการกลับสัดครั้งที่ 1 (ร้อยละ 47.06) น้อยกว่าาอัตราการตั้งท้อง (52.94) และอัตราการคลอดลูก (94.12) อัตราการตั้งท้องของแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายระดับ 8 มีค่ามากที่สุด (62.50) การกลับสัดครั้งที่ 1 เท่ากับ 37.50 และมีอัตราการคลอดลูกร้อยละ 100 ดังแสดงใน**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 คะแนนสภาพร่างกายต่ออัตราการผสมติดในโคเนื้อแม่พันธุ์ที่เหนี่ยวนำการเป็นสัด

BCS	Number of cows	Pregnancy rate (%)	Return to estrus1 (%)	Calving rate (%)
4	11	27.27(3/11)	72.73(8/11)	72.73(8/11)
5	35	22.86(8/35)	77.14(27/35)	85.71(30/35)
6	44	54.55(24/44)	45.45(20/44)	95.45(42/44)
7	17	52.94(9/17)	47.06(8/17)	94.12(16/17)
8	8	62.50(5/8)	37.50(3/8)	100(8/8)

Pregnancy rate= อัตราการตั้งท้อง, Return to estrus1 =การกลับสัดครั้งที่ 1, Calving rate= อัตราการตั้งท้อง

ผลการศึกษาอัตราการอัตราการเจริญเติบโตและสัดส่วนร่างกายของโคลูกผสมทั้งหมด 60 ตัวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มพบว่า น้ำหนักตัวของโคเนื้อลูกผสมในกลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS≥6 ช่วงอายุ แรกเกิด ช่วงอายุ 6 เดือน และช่วงอายุ 12 เดือน (36.83± 3.31 kg., 169.72±22.03 kg., 250.91± 31.81 kg.) มากกว่ากลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย (23.50± 2.42 kg., 137.72±5.00 kg., 227.33+ 11.31 kg.) BCS ≤6 ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) อัตราการเจริญเติบโต ADG ที่อายุ 6 เดือน (0.79± 0.15 kg.) ของกลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS≥6 มีค่ามากกว่า กลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS≤6 (0.62± 0.03 kg.)(P<0.05) เช่นเดียวกันกับช่วงอายุ 12 เดือน (0.82±0.11 kg., 0.77±0.06 kg.) ส่วนผลการวัดสัดส่วนของร่างกายพบว่า กลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS≥6 มีสัดส่วนรอบอกช่วงอายุแรก(66.83± 3.31 cm.) เกิด 6 เดือน (124.90±5.53 cm.) และ 12 เดือน (146.91± 11.82 cm.) มากกว่ากลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS≤6 ซึ่งมีความแตกต่างดันทางสถิติ (P<0.01) ส่วนสูงของโคลูกผสมช่วงอายุ แรกเกิด 6 เดือน และ 12 เดือน มีค่ามากกว่ากลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS ≤6 (46.50± 1.87 cm. , 97.36± 3.90 cm., 124.55± 5.24 cm.) ตามลำดับ และความยาวลำตัวของกลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายBCS≥6 ช่วงอายุแรกเกิด (60.66± 2.42 cm.) มากกว่ากลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS≤6 (50.66± 2.42 cm.) ช่วงอายุ 6 เดือน มีความยาวมากกว่ากลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS≤6 เช่นเดียวกันกับช่วงอายุ 12 เดือน ที่มีความยาวมากที่สุด (96.50± 6.58 cm.) ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) ดังแสดงใน**ตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 คะแนนร่างกายต่อน้ำหนักแรกเกิดอัตราการเจริญเติบโตและสัดส่วนร่างกายของลูกโค

Parameter	BCS ≥.6	BCS ≤ 6	p-vaiue
จำนวน	30	30	
นำหนัก (kg.)			
แรกเกิด	36.83± 3.31	23.50± 2.42	P<0.01
6 เดือน	169.72±22.03	137.72±5.00	P<0.01
12 เดือน	250.91± 31.81	227.33+ 11.31	P=0.03
อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (kg.)			
แรกเกิด			
6 เดือน	0.79± 0.150	.62± 0.03	P=0.03
12 เดือน	0.82±0.11	0.77±0.06	P=0.30
สัดส่วนร่างกาย			
ความยาวรอบอก (cm.)			
แรกเกิด	66.83± 3.31	53.50± 2.42	P<0.01
6 เดือน	124.90±5.53	90.18±3.45	P<0.01
12 เดือน	146.91± 11.82	123.00± 6.04	P<0.01
ส่วนสูง(cm.)			
แรกเกิด	60.83± 1.60	46.50± 1.87	P<0.01
6 เดือน	110.27± 2.93	97.36± 3.90	P<0.01
12 เดือน	130.75± 7.72	124.55± 5.24	P=0.04
ความยาวลำตัว (cm.)			
แรกเกิด	60.66± 2.42	50.66± 2.42	P<0.01
6 เดือน	83.90± 5.0	59.90± 18.24	P<0.01
12 เดือน	96.50± 6.58	88.77± 2.86	P<0.01

BCS ≥.6 =กลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายมากว่าหรือเท่ากับ 6

BCS ≤ 6 =กลุ่มที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6

อภิปรายและสรุปผล

จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า แม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายระดับ 6 ขึ้นไป มีอัตราการตั้งท้อง อัตราการกลับสัดครั้งที่ 1 และอัตราการคลอดลูกสูง การเป็นสัดครั้งแรกสูงเนื่องจากร่ายกายแม่โคที่สมบูรณ์จะทำให้รังไข่มีขนาดฟอลลิเคิลขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อได้รับการกระตุ้นจากฮอร์โมน GnRH ในโปรแกรมเหนี่ยวนำจึงเกิดการตกไข่และผสมติดได้ สอดคล้องกับ (เจนจิรา และคณะ (2562) ที่รายงานว่า แม่โคนางที่มีคะแนนร่างกายเท่ากับ 6 ขึ้นไป มีขนาดฟอลลิเคิลเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 14.0 มิลลิเมตร จะมีอัตราการตั้งท้องดีที่สุด เช่นเดียวกับ Pfeifer et al., 2021 ที่รายงานว่า แม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS>3 อยู่ในกลุ่มภาวะเจริญพันธุ์สูง มีอัตราการตั้งท้องเท่ากับ 66.8% มากกว่ากลุ่มที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS<3 มีอัตราการตั้งท้องเท่ากับ 43.1% และในแม่โคนมที่

มีคะแนนสภาพร่างกายเท่ากับ 5 ขึ้นไปมีอัตราการตั้งท้องสูงถึง 90% (Rae et al,1993) และมีอัตราการคลอดลูกสูง 93.7% Cooke et al. (2021) นอกจากนี้มีการรายงานในปี 2013 พบว่าแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกาย BCS≤4 , มีอัตราการตั้งท้อง 49.3% BCS5-6 มีอัตราการตั้งท้อง 57.9% และ BCS ≥6 มีอัตราการตั้งท้อง 55.8% (Whittier et al 2013) ในขณะที่ Moraes et al., 2019 รายงานว่า แม่โคนางที่คะแนนสภาพร่างกายมากกว่า 5 มีอัตราการการตั้งท้องสูงถึง 90% และในโคนม ของ พบว่า คะแนนสภาพร่างกายของแม่โคนมในระดับ 2 2.5 3 จะมีอัตรากการตั้งท้อง ที่ 57% 64% และ 65% ตามลำดับ (Escalante et al., 2013) หากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายต่ำยังส่งผลต่อโอกาสสูญเสียการตั้งครรภ์สูง (Consentini et al., 2023) ตัวอ่อนไม่มีพัฒนาการเจริญเติบโต 7 วันแรกของการตั้งครรภ์ 28.4% และหลังจาก 1 เดือนของการตั้งครรภ์ 47.9% (Reese et al., 2022) จะเห็นได้ว่า คะแนนสภาพร่างกายที่สูงขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการตั้งท้องที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้คะแนนสภาพร่างกายแม่โคที่มีระดับสูงส่งผลต่อการเป็นสัดและมีอัตราการกลับสัดหลังจากการคลอดสูง เนื่องจาก แม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายสูงมีการสะสมของไขมันซึ่งเป็นแหล่งสร้างฮอร์โมนเลปติน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับระบบสืบพันธุ์เพศเมีย (D'Occhiol et al, 2019) ทำหน้าที่ควบคุมการหลั่ง ฮอร์โมน GnRH และ ฮอร์โมน LH ทำให้เกิดการตกไข่ (ovulation) ช่วยเพิ่มอัตราการกลับสัดหลังจากการคลอดลูก นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มจานวนคิวมูลัสเซลล์ที่ส่งผลต่อคุณภาพของเซลล์ไข่ (Talukdar et al., 2020) ซึ่งบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของรังไข่ และช่วยเพิ่มอัตราการแบ่งเซลล์ในระยะ Cleavage และระยะ Blastocyte (Panda et al., 2017) เกษตรกรควรจัดการระบบการเลี้ยงให้มีคะแนนสภาพร่างกายไม่ให้ต่ำเพื่อทำให้การผสมติดดี

น้ำแรกเกิดและอัตราการเจริญเติบโตของลูกโคที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายระดับ 6 ขึ้นไปมากกว่า ลูกที่เกิดจากแม่โคที่มีคะแนนสภาพร่างกายน้อยกว่าระดับ 6 แสดงให้เห็นถึงการจัดการเลี้ยงดูที่ดีของเกษตรกร โดยแม่โคที่มีคะแนนร่างกายระดับ 6 ขึ้นไปจะมีการสะสมพลังงานของร่างกายทำให้สามารถเปลี่ยนเป็นโปรตีนและไขมันในน้ำนมสำหรับเลี้ยงลูกได้มากกว่ากลุ่มที่มีคะแนนสภาพรางกายต่ำกว่า 6 ซึ่งสอดคล้องกับ Vanessa et al (2022) ที่รายงานสัดส่วนร่างกายของลูกโคพบว่า ลูกโคที่เกิดจากแม่ที่มี BCS>6 จะมีสัดส่วนร่างกาย (รอบอก ส่วนสูง ความยาว) มากกว่า ลูกโคที่เกิดจากแม่ที่มี BCS <6 ซึ่งลูกโคที่เกิดจากแม่ที่มี BCS>6 มีอัตราการเจริญโตดี

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการศึกษา คะแนนสภาพร่างกาย 6 ขึ้นไปมีผลเพิ่มอัตราการผสมติดและการคลอด และการเจริญเติบโตของลูกมากกว่ากลุ่มที่มีคะแนนสภาพร่างกายต่ำ ดังนั้นเกษตรกรควรเลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์ให้มีคะแนนสภาพร่างกายอยู่ในระดับที่ 6 ขึ้นไป เพื่อรักษาประสิทธิภาการผลิตลูกโคของฟาร์ม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยบริหารและจัดการทุน ด้านการพัฒนารดับพื้นที่ (บพท.) ที่ได้สนับสนุนทุนงบประมาณโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาเชิงพื้นที่ โครงการการพัฒนาโมเดลเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตลูกโคเนื้อสนับสนุนระบบการผลิตแบบครบวงจร ประจำปีงบประมาณ 2563 สัญญาทุนเลขที่ A13F630008 ขอขอบคุณกรมปศุสัตว์ เจ้าหน้าที่กรมปศุสัตว์ ตลอดจนผู้นำชุมชน และเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อที่เสียสละเวลาในการแลกเปลี่ยนความรู้ รวมถึงให้คำปรึกษาในการดำเนินงานให้สำเร็จผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

เจนจิรา สมศักดิ์, อานนท์ ปะเสระกัง, วาที คงบรรทัด, วิวัฒน์ พัฒนาวงศ์. (2562).ขนาดของฟอลลิเคิลและคะแนนร่างกายมีผลต่ออัตราการตั้งท้องในโคนม. แก่นเกษตร 47 ฉบับพิเศษ 2

นันทนา ช่วยชูวงศ์, ชัยณรงค์ คันธพนิต, ปรารถนา พฤกษะศรี.การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35: สาขาสัตว์ สัตวแพทยศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2540. กรุงเทพฯ. 2540. หน้า 288-297 (567 หน้า)

พยุงศักดิ์ อินต๊ะวิชา วีรพันธุ์ ปัญญา ศักดิ์ชัย เครือสาร ธรรมนูญ ธานี และมนตรี ปัญญาทอง.2562.สภาพการเลี้ยงและการเปรียบเทียบระยะเวลาในการสอด CDIR เพื่อเหนี่ยวนำการเป็นสัดในโคนมของจังหวัดพะเยา. Journal of Agri. Research & Extension 35(3): 43-52

วีรพันธุ์ ปัญญา พยุงศักดิ์ อินต๊ะวิชา ธรรมนูญ ธานี สุรีย์พร แสงวงศ์ มนตรี ปัญญาทอง ชยุต ดงปาลีธรรม์ และจือเฉิง จู. 2562. ผลของระยะเวลาสอดอุปกรณ์เหนี่ยวนำต่อระดับฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน เอสตราไดออลอัตราการเป็นสัด และการตั้งท้องในโคเนื้อ. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 37(2):324-331.

สุรศักดิ์ รอดหยู่ และคณะ (2561) สภาพปัญหา และวิธีการเลี้ยงโคเนื้อพันธุ์ลูกผสมในสวนปาล์มน้ำมัน กรณีศึกษากลุ่มผู้เลี้ยงโคเนื้อบ้านทุ่งปราณ หมู่ที่ 4 ตำบลบ้านตูล อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช.วารสารสังคมพัฒนศาสตร์

สุรีย์พร แสงวงศ์, วีรนุช ทันนิธิ, จักรกฤษ วิชาพร และพยุงศักดิ์ อินต๊ะวิชา. (2563). การศึกษาสภาพการเลี้ยง การประเมินปัญหาและโอกาสในการผลิตโคเนื้อคุณภาพของเกษตรกรจังหวัดแพร่. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 38(2): 254-262.

อุไร รอดเรือง บังคม โตแป้น ทินกร อินทรคุปต์และไพโรจน์ศิริสม. 2547. การขุนโคลูกผสมชาร์โรเล่ส์-บราห์มันและลูกโคผสมบลอนดากีแตน-บราห์มัน ด้วยอาหารข้น 2 ระดับ. นิตยสารสร้างเงิน สร้างงาน. ฉบับที่ 1(4): 98-102

Carvalho, R.S., R.F. Cooke, B.I. Cappellozza, R.F.G. Peres, K.G. Pohler and J.L.M. Vasconcelos. (2022). Influence of Body Condition Score and Its Change after Parturition on Pregnancy Rates to Fixed-Timed Artificial Insemination in Bos Indicus Beef Cows. *Animal Reproduction Science*,243, 107028

Ciccioli, N H, Wettemann R P, Spicer L J, Lents C A, White F and Keisler D.H,. (2003). Influence of Body Condition at Calving and Postpartum Nutrition on Endocrine Function and Reproductive Performance of Primiparous Beef Cows1,2. Journal of Animal Science, 81(12): 3107–3120,

Consentini C.E.C, R. L.O.R. Alves, M. A. Silva, J. P.A. Galindez, G. Madureira, L.G. Lima, J. R.S. Gonçalves, M. C. Wiltbank and R. Sartori. (2023). What Are the Factors Associated with Pregnancy Loss after Timed-Artificial Insemination in Bos Indicus Cattle?. Theriogenology196: 264–269

Cooke, R.F., G.C. Lamb, J.L.M. Vasconcelos and K.G. Pohler.(2021). Effects of Body Condition Score at Initiation of the Breeding Season on Reproductive Performance and Overall Productivity of Bos Taurus and B. Indicus Beef Cows. *Animal Reproduction Scienc*e, 232: 106820,

D'Occhio, Michael J., Pietro S. Baruselli and Giuseppe Campanile.(2019). Influence of Nutrition, Body Condition, and Metabolic Status on Reproduction in Female Beef Cattle: A Review. *Theriogenology*,125:277–284,

Escalante R. C., S. E Poock, D. J. Mathew, W. R. Martin, E. M. Newsom, S. A. Hamilton, K. G. Pohler and M. C. Lucy (2013). Reproduction in grazing dairy cows treated with 14-day controlled internal drug

release for presynchronization before timed artificial insemination compared with artificial insemination after observed estrus. Division of Animal Sciences and College of Veterinary Medicine, University of Missouri, Columbia 6521.

Johnson, SK., R. F. Cooke, G. R. Dahlke, Joe Dalton, G.C. Lamb, J.W. Lauderdale, D.J. Patterson, G.A. Perry, Ky Pohler, Adam Summers and A.L. Van Eenennaam (2018). 2019 Protocols for Synchronization of Estrus and Ovulation in Beef cow and Heifers. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports:1–8

Monteiro P. L., J. C. E. C. Consentini, J. P. N. Andrade. A. D. Beard. A. Garcia–Guerra. R. Sartori. and M. C. Wiltbank.(2023) Research on Timed AI in Beef Cattle: Past, Present and Future, a 27–Year Perspective." Theriogenology211: 161–171,

Moraes F.L.Z., F. Morotti, C. B. Costa, P. A, Lunardelli and M. M. Seneda. (2019) Relationships between Antral Follicle Count, Body Condition, and Pregnancy Rates after Timed–AI in Bos Indicus Cattle136:10–14.

Panda, Bibhudatta S. K., Sriti Pandey, Anjali Somal, Mehtab S. Parmar, Irfan A. Bhat, Indu Baiju, Mukesh K. Bharti, G. Sai Kumar, Vikash Chandra and G. Taru Sharma.(2017). Leptin Supplementation in Vitro Improved Developmental Competence of Buffalo Oocytes and Embryos. *Theriogenology*, . 98: 116–122,

Pfeifer, L. F. M., W. B. Rodrigues, and E Nogueira. (2021). Relationship between body condition score index and fertility in beef cows subjected to timed artificial insemination. Livestock Science, 248, 104482

Rae, D. O., W. E. Kunkle, P. J. Chenoweth, R. S. Sand and T. Tran. (1993). Relationship of Parity and Body Condition Score to Pregnancy Rates in Florida Beef Cattle. *Theriogenology*, 39(5):1143–1152

Talukdar, Saswata, and Alexei Kharitonenkov. FGF19 and FGF21: In NASH We Trust. *Molecular Metabolism*, 46: 101152,

Thomas J. 2021. Body Condition Scoring of Beef Cattle.Extension.missouri.eduCattle.Extension.missouri.edu., extension.missouri.edu/publications/g2230.

Vanessa de L., G.R. Pereira, M. Kuczynski, T. Esteves, H. Fagundese and O. Jardim. (2022). The Influence of Weaning Age and Biocholine Supplementation to Post–Weaning Growth and Puberty in Brangus Heifers. *Research in Veterinary Science*, vol. 152, pp. 107–114,

White, SS., RK. Kasimanickam and VR. Kasimanickam, (2016).Fertility after two doses of PGF2a concurrently or at 6–hour interval on the day of CIDR removal in 5–day CO–Synch progesterone–based synchronization protocols in beef heifers. Theriogenology, 86(3), 785–790.

Whittier WD., JF. Currin, H. Schramm, S. Holland and RK. Kasimanickam, (2013).Fertility in Angus cross beef cows following 5–day CO–Synch + CIDR or 7–day CO–Synch + CIDR estrus synchronization and timed artificial insemination. Theriogenology ,80(9) ,963–969.

คุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์จากชันโรง (*Tetragonula laeviceps*)

Biological properties of stingless bee (*Tetragonula laeviceps*) products

ศิริกาญจน์ สันพา[1*], บาจรีย์ ฉัตรทอง[2], ศิริลักษณ์ สันพา[1], อรอำไพ จ่าภา[1], ช่อผกา พวงศรี[1] และ ขวัญหล้า แสนสุภา[1]

Sirikarn Sanpa[1*], Bajaree Chuttong[2], Sirilak Sanpa[1], Ornampai japa[1], Chorpaka Phuangsri[1] and Khwanla Seansupa[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์จากชันโรง (*Tetragonula laeviceps*) โดยตัวอย่างน้ำผึ้งและพรอพอลิสถูกเก็บจากฟาร์มในจังหวัดเชียงใหม่และจันทบุรี ผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกรวม สารฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ ABTS radical scavenging พบว่าตัวอย่างพรอพอลิสที่เก็บจากจังหวัดจันทบุรีให้ค่าสูงสุด ทำการวิเคราะห์ฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่เจริญแบบอิสระโดยวิธี agar well diffusion และ broth microdilution โดยแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบคือ *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* และ *Proteus mirabilis* ผลจากการทดลองพบว่าตัวอย่างน้ำผึ้งที่ความเข้มข้น 15 mg/mL และสารสกัดพรอพอลิสที่ความเข้มข้น 25 mg/mL สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทั้งสามชนิดได้

คำสำคัญ: ชันโรง, พรอพอลิส, น้ำผึ้ง, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย

[1] สาขาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

[1] Division of Microbiology and Parasitology, School of Medical sciences, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

*Corresponding author e-mail: sirikarnsanpa@gmail.com

Abstract

The purpose of this research was to study the biological properties of stingless bee (*Tetragonula laeviceps*) products. Honey and propolis samples were collected from farms in Chiang Mai and Chanthaburi provinces. Results from the determination of total phenolic compounds, total flavonoids, and antioxidant activity by DPPH and ABTS radical scavenging methods showed that propolis samples collected from Chanthaburi province exhibit the highest levels. The antibacterial activity of free-growing bacteria was analyzed by agar well diffusion and broth microdilution methods. *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, and *Proteus mirabilis* were used for this study. The results showed that honey and propolis extract were preventing the growth of three pathogens with concentrations of 15 mg/mL and 25 mg/mL, respectively.

Keywords: stingless bee, propolis, honey, antioxidant, antibacterial

บทนำ

ชันโรงหรือ stingless bee เป็นแมลงเก็บน้ำหวานในวงศ์ Apinae พบในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นซึ่งรวมถึงประเทศไทย ชันโรงแตกต่างจากผึ้งทั่วไปตรงที่ไม่มีเหล็กใน ในประเทศไทยนั้นชันโรงถูกเลี้ยงเพื่อผสมเกสรและสร้างผลิตภัณฑ์ทางการตลาดเช่นเดียวกับผึ้งพันธุ์ (*Apis mellifera*) โดยชันโรงมีความสามารถในการเก็บยางไม้มาสะสมภายในรังเพื่อสร้างเป็นรังและใช้ในการเก็บน้ำผึ้งรวมถึงเกสรผึ้งอีกด้วย ชันหรือพรอพอลิสที่ชันโรงสร้างขึ้นมีคุณสมบัติทางชีวภาพหลากหลายด้านเนื่องจากมีคุณสมบัติจากยางไม้ที่เก็บมาทำให้มีคุณสมบัติทางเภสัชกรรมด้วย (Campos et al., 2015; De Marco et al., 2017) สำหรับในประเทศไทยนั้นการเลี้ยงชันโรงมีแพร่หลายทั่วประเทศ ทั้งในภาคตะวันออก เหนือ และใต้ โดยที่ประเทศไทยมีความเหมาะสมทางด้านสภาพภูมิอากาศที่เหมาะแก่การเลี้ยง เนื่องจากมีพืชพันธุ์อาหารที่มีความหลายหลาย สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีการเลี้ยงชันโรงทางการค้าหลายสายพันธุ์ เช่น *Trigona pagdeni, Trigona laeviceps, Trigona Terminata* และ *Trigona fuscobalteata* คุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์จากชันโรงจึงแตกต่างกันตามชนิดของชันโรงและแหล่งเลี้ยงด้วย แต่เนื่องจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์จากชันโรงไม่แพร่หลายนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพทางด้านสารออกฤทธิ์สำคัญ สารต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคบางชนิด ของผลิตภัณฑ์จากชันโรงที่เก็บจากแหล่งเลี้ยงที่แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ

วิธีการศึกษา

1. ตัวอย่างน้ำผึ้งและพรอพอลิสจากชันโรง

ตัวอย่างน้ำผึ้งและพรอพอลิสจากชันโรง (*Tetragonula laeviceps*) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เก็บจากอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 2 ตัวอย่าง และอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี จำนวน 2 ตัวอย่าง เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจนกว่าจะใช้งาน ทำการสกัดสารออกฤทธิ์จากตัวอย่างพรอพอลิสโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล

70 เปอร์เซ็นต์ ใช้อัตราส่วนสารละลายต่อพรอพอลิส 1:10 หมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำไปทำให้แห้งและเก็บสารสกัดที่ได้ที่ –20 องศาเซลเซียส

2. การศึกษาสารสำคัญในตัวอย่างน้ำผึ้งและพรอพอลิส

2.1 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกรวม

วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกรวมโดยวิธี Folin–Ciocalteu colorimetric assay (Mamoon et al., 2020) โดยการเตรียมน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสผสมกับสารละลาย Folin–Ciocalteu reagent บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นผสมสารละลาย Na_2CO_3 ให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงในที่มืด วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

2.2 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์โดยวิธี aluminum chloride colorimetric assay (Mamoon et al., 2020) โดยการเตรียมน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสผสมกับเมทานอล อลูมิเนียมคลอไรด์ โพแทสเซียมอะซิเตต และน้ำกลั่น บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมในสารสกัดเทียบกับกราฟมาตรฐานเควอซิทีน

3. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.1 การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay (Suntiparapop et al., 2012) โดยผสมสารละลาย 2,2–diphenyl–1–picrylhdrazyl กับน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร หาปริมาณการต้านอนุมูล DPPH โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของ Trolox กับความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH

3.2 การศึกษาต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS radical scavenging assay

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS radical scavenging assay (Campos et al., 2015) โดยผสมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 mM กับสารละลาย $K_2S_2O_8$ ให้เข้ากันเป็นเวลา 12–16 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยากับสารที่เตรียมไว้ในที่มืดเป็นเวลา 6 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร หาปริมาณการต้านอนุมูล ABTS โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของ Trolox กับความสามารถในการยับยั้งอนุมูล ABTS

4. การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย

4.1 Agar well diffusion assay

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบคือ *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis* และ *Pseudomonas aeruginosa* โดยเลี้ยงบนอาหาร Mueller Hinton broth (MHB) บ่มที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของน้ำผึ้งและพรอพอลิสด้วยวิธี Agar well diffusion assay โดยเตรียมเชื้อทดสอบให้ปริมาณของเชื้อเท่ากับ 10^6 CFU/มิลลิลิตร ทำการเกลี่ยเชื้อบนผิวหน้าอาหาร เจาะอาหารให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ใส่น้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 100 ไมโครลิตรลงในหลุม บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางการเกิดโซนใส

4.2 Minimal inhibitory concentration และ Minimal bactericidal concentration

ศึกษาหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งเชื้อ (Minimal inhibitory concentration: MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดในการฆ่าเชื้อ (Minimal bactericidal concentration: MBC) ของน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสต่อเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสามชนิดด้วยวิธี microdilution broth โดยใช้ 96-well microtiter plate ทำการเลี้ยงเชื้อทดสอบในอาหารเลี้ยงเชื้อ MHB ให้มีปริมาณเชื้อเท่ากับ 10^6 CFU/มิลลิลิตร ใส่น้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสที่ความเข้มข้น 1.25-100 mg/mL บ่มเชื้อที่ 37 องสาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทดสอบการเจริญของเชื้อโดยการเติม resazurin สังเกตความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบและทำการเลี้ยงเชื้อต่อบนอาหาร MHA เพื่อหาค่า MBC

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้ถูกวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้โปรแกรม SPSS version 23 ในการวิเคราะห์ความแตกต่างและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกรวม (TPC) ปริมาณฟลาโวนอยด์ (TFC) การยับยั้งอนุมูล DPPH และการยับยั้งอนุมูล ABTS

ผลการศึกษา

1. สารสกัดพรอพอลิส

ทำการสกัดสารสำคัญในตัวอย่างพรอพอลิสด้วยตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ จากการสกัดพบว่าสารสกัดพรอพอลิสจากจังหวัดเชียงใหม่และจันทบุรีให้ค่าร้อยละผลผลิตเท่ากับ 24.33±9.76 และ 29.54±4.42 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

2. การศึกษาสารสำคัญในตัวอย่างน้ำผึ้งและพรอพอลิส

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในตัวอย่างน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสของชันโรงที่เก็บได้ พบว่าน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสมีปริมาณฟีนอลิกรวมอยู่ในช่วงระหว่าง 30.96-113.04 mg GAE/100g sample และ 562.41-573.49 mg GAE/100g extract ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของตัวอย่างน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิส พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ 2.16-3.09 mg QE/100g sample และ 36.06-46.97 mg QE/100g extract ตามลำดับ (ตาราง 1)

3. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay โดยใช้น้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าน้ำผึงและสารสกัดจากพรอพอลิสมีค่าความสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระดีพีพีเอชเท่ากับ 3.21–3.40 mg TE/g sample และ 4.25–5.58 mg TE/g extract ตามลำดับ และทำการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS radical scavenging assay พบว่าที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร น้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสมีค่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเอบีทีเอสเท่ากับ 2.40–2.45 mg TE/g sample และ 6.44–8.60 mg TE/g extract ตามลำดับ (ตาราง 1)

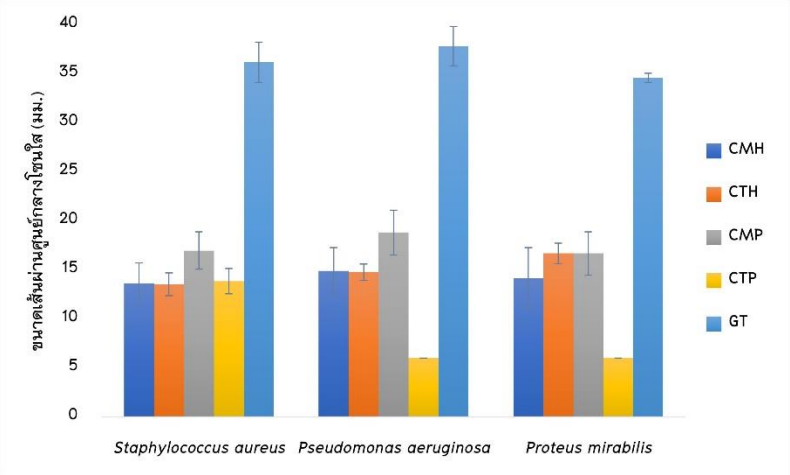
ตาราง 1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกรวม สารประกอบฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิกรวม (mg GAE/100g sample)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg QE/100g sample)	DPPH radical scavenging ability (mg TE/g)	ABTS radical scavenging ability (mg TE/g)
น้ำผึ้งจากจังหวัดเชียงใหม่	30.96±5.38^{a}	3.09±0.49^{a}	3.21±0.21^{a}	2.40±0.13^{a}
น้ำผึ้งจากจังหวัดจันทบุรี	113.04±3.37^{b}	2.16±0.87^{a}	3.40±0.19^{ab}	2.45±0.12^{a}
สารสกัดพรอพอลิสจากจังหวัดเชียงใหม่	562.41±13.42^{c}	36.06±2.71^{b}	4.25±1.27^{b}	6.44±4.01^{b}
สารสกัดพรอพอลิสจากจังหวัดจันทบุรี	573.49±143.06^{c}	46.97±23.21^{b}	5.58±0.45^{c}	8.60±0.34^{c}

*a,b,c และ d ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย

ทำการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Proteus mirabilis* ด้วยวิธี Agar well diffusion assay ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการศึกษาพบว่าน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพรอลิสสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบได้โดยเกิดโซนใสขนาด 13.50–18.80 มิลลิเมตร (ภาพ 1)



ภาพ 1 ผลของน้ำผึ้งและพรอพอลิสต่อการยับยั้งเชื้อทดสอบ CMH: น้ำผึ้งจากจังหวัดเชียงใหม่, CTH: น้ำผึ้งจากจังหวัดจันทบุรี, CMP: สารสกัดพรอพอลิสจากจังหวัดเชียงใหม่, CTP: สารสกัดพรอพอลิสจากจังหวัดจันทบุรี, GT: gentamicin 2 mg/mL ขนาดหลุมเท่ากับ 6 มิลลิเมตร

การศึกษาผลของน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสจากชันโรงโดยการทดสอบกับเชื้อทดสอบ พบว่าน้ำผึ้งความเข้มข้น 15 mg/mL สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Proteus mirabilis* ได้ และน้ำผึ้งความเข้มข้น 30 mg/mL สามารถฆ่าเชื้อทดสอบได้ สำหรับสารสกัดจากพรอพอลิสนั้นที่ความเข้มข้น 25 และ 50 mg/mL สามารถยับยั้งการเจริญและฆ่าเชื้อทดสอบได้ตามลำดับ (ตาราง 2)

ตาราง 2 ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อ (MBC) ของน้ำผึ้งและพรอพอลิสต่อการยับยั้งเชื้อทดสอบ

ตัวอย่าง	***Staphylococcus aureus***		***Pseudomonas aeruginosa***		***Proteus mirabilis***	
	MIC (mg/mL)	**MBC (mg/mL)**	**MIC (mg/mL)**	**MBC (mg/mL)**	**MIC (mg/mL)**	**MBC (mg/mL)**
น้ำผึ้งจากจังหวัดเชียงใหม่	7.50±0.00	15.00±0.00	12.50±2.50	20.00±10.00	13.75±6.25	25.00±15.00
น้ำผึ้งจากจังหวัดจันทบุรี	12.50±2.50	30.00±0.00	15.00±0.00	20.00±0.00	12.50±2.50	25.00±5.00
สารสกัดพรอพอลิสจากจังหวัดเชียงใหม่	25.00±0.00	25.00±0.00	3.13±0.00	25.00±0.00	25.00±0.00	50.00±0.00
สารสกัดพรอพอลิสจากจังหวัดจันทบุรี	6.25±0.00	9.38±3.13	12.5±0.00	100.00±0.00	6.25±0.00	50.00±0.00

*ค่าเฉลี่ยที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างปริมาณฟีนอลิกรวม (TPC) ปริมาณฟลาโวนอยด์ (TFC) การยับยั้งอนุมูล DPPH และการยับยั้งอนุมูล ABTS ที่พบในตัวอย่างน้ำผึ้งและสารสกัดจากพรอพอลิสพบว่ามีความสัมพันธ์กันระดับปานกลางถึงสูง ($p < 0.01$)

ตาราง 3 Pearson's correlation coefficient between phenolics, flavonoids, and antioxidant value.

	TPC	TFC	DPPH	ABTS
TPC	1.000			
TFC	0.662	1.000		
DPPH	0.740	0.578	1.000	
ABTS	0.759	0.686	0.957	1.000

* Correlation is significant at $p < 0.01$

วิจารณและสรุปผล

จากกการศึกษาก่อนหน้าทำให้ทราบว่าคุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์จากชันโรงซึ่งได้แก่น้ำผึ้งและพรอพอลิสมาจากองค์ประกอบทางเคมีที่อยู่ในน้ำผึ้งและพรอพอลิสซึ่งมาจากการน้ำหวานและเกสรของพืชที่อยู่โดยรอบรังของชันโรง ดังนั้นคุณสมบัติต่าง ๆ จึงแตกต่างกันไปตามแหล่งเก็บเกสรและน้ำหวานนั้น การศึกษานี้จึงศึกษาเกี่ยว กับสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียบางชนิดในแหล่งเก็บสองแหล่งเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสองแหล่งเก็บ

การศึกษาและเปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำผึ้งและสารสกัดพรอพอลิสจากชันโรง (*Tetragonula laeviceps*) ที่เก็บจากอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี แหล่งละ 2 ตัวอย่าง พบว่าเมื่อนำตัวอย่างพรอพอลิสมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์และทำให้แห้ง พบว่าได้ค่าร้อยละผลผลิตเท่ากับ 24.33–29.54 เปอร์เซ็นต์ โดยจากการศึกษาก่อนหน้าที่ทำการสกัดสารจากพรอพอลิสของชันโรงจากประเทศอินโดนีเซียพบว่าชันโรงชนิดอื่นให้ร้อยละผลผลิตประมาณ 37–74 เปอร์เซ็นต์ และพรอพอลิสจาก *Tetragonula laeviceps* ให้ร้อยละผลผลิตเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ (Arung et al., 2021) ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างกันอาจเนื่องจากแหล่งเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกันรวมถึงตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารซึ่งส่งผลต่อปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ด้วย (Chong and Chua, 2020)

การหาปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณฟลาโวนอยด์ การยับยั้งอนุมูล DPPH และการยับยั้งอนุมูล ABTS พบว่าในตัวอย่างสารสกัดพรอพอลิสให้ปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผลการทดลองที่ได้อาจเกิดเนื่องจากสารฟลาโวนอยด์ที่อยู่ในตัวอย่างพรอพอลิสที่ทำการศึกษานี้อาจเป็นกลุ่มของฟลาโวนอยด์ที่มีลักษณะเป็น high lipophilicity ซึ่งพบในตัวอย่างพรอพอลิสมากกว่าตัวอย่างน้ำผึ้งทำให้พบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำผึ้ง (Martos et al., 1997)

ผลจากการทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่เจริญแบบอิสระด้วยวิธี agar well diffusion และ broth microdilution พบว่าน้ำผึ้งความเข้มข้น 15 mg/mL และพรอพอลิสที่ความเข้มข้น 25 mg/mL สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Proteus mirabilis* ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผึ้งจากแหล่งอื่น

ได้แก่ น้ำผึ้งจาก *Trigona* sp. ที่เก็บจากประเทศมาเลเซียพบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *P. aeruginosa* ได้ โดยมีค่า MIC_{90} อยู่ระหว่าง 20–25 เปอร์เซ็นต์ (Al-kafaween et al., 2020) ซึ่งการที่ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำผึ้งที่ใช้ในการยับยั้งเชื้อมีค่าที่แตกต่างกันนั้นเกิดจากองค์ประกอบของสารสำคัญที่อยู่ในน้ำผึ้งและพรอพอลิสแต่ละชนิด

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง TPC, TFC, DPPH และ ABTS ที่พบในตัวอย่างน้ำผึ้งและสารสกัดจากพรอพอลิสพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกันระดับปานกลางถึงสูง ซึ่งผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำผึ้งและพรอพอลิสของชันโรง อาจเกิดจากการทำงานของสารที่มีฤทธิ์เสริมกันหรือฤทธิ์ปฏิปักษ์กันของสารประกอบฟีนอลลิกและสารประกอบที่ไม่ใช่ฟีนอล (Non-phenolic compounds) ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Tomsone et al., 2012; Wuttisin and Boonsook, 2019) อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสารประกอบที่ไม่ใช่ฟีนอลที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วย

จากผลการศึกษานี้ช่วยยืนยันคุณสมบัติทางชีวภาพด้านการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคและการต้านอนุมูลอิสระของน้ำผึ้งและพรอพอลิสของ *Tetragonula laeviceps* ทั้งตัวอย่างที่เก็บจากจังหวัดเชียงใหม่และจันทบุรี เหมาะแก่การนำไปประยุกต์เพื่อทำผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรมได้ และควรมีการศึกษาสารออกฤทธิ์อย่างละเอียดในตัวอย่างเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา เลขที่สัญญา FF65-RIM123 จากกองทุนส่งเสริม ววน.

เอกสารอ้างอิง

1. Al-Kafaween M, Bakar M, Jaffar N, Al-Jamal H, Khairi Z, jibril F. Antibacterial and Antibiofilm activities of Malaysian Trigona honey against *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145 and *Streptococcus pyogenes* ATCC 19615. 2019 May 30;Volume 13,.
2. Arung ET, Ramadhan R, Khairunnisa B, Amen Y, Matsumoto M, Nagata M, et al. Cytotoxicity effect of honey, bee pollen, and propolis from seven stingless bees in some cancer cell lines. Saudi J Biol Sci [Internet]. 2021;28(12):7182–9. Available from: https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.017
3. Campos JF, Das Santos UP, Da Rocha PDS, Damião MJ, Balestieri JBP, Cardoso CAL, et al. Antimicrobial, Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Cytotoxic Activities of Propolis from the Stingless Bee *Tetragonisca fiebrigi* (Jataí). Evidence-based Complement Altern Med. 2015;2015.
4. Chong FC, Chua LS. Effects of Solvent and pH on Stingless Bee Propolis in Ultrasound-Assisted Extraction. AgriEngineering. 2020;2(2):308–16.
5. De Marco S, Piccioni M, Pagiotti R, Pietrella D. Antibiofilm and Antioxidant Activity of Propolis and Bud Poplar Resins versus *Pseudomonas aeruginosa*. Evidence-based Complement Altern Med. 2017;2017.
6. Mamoon K, Thammasit P, Iadnut A, Kitidee K, Anukool U, Tragoolpua Y, et al. Unveiling the properties of thai stingless bee propolis via diminishing cell wall-associated cryptococcal melanin and enhancing the fungicidal activity of macrophages. Antibiotics. 2020;9(7):1–17.

7. Martos I, Cossentini M, Ferreres F, Tomás-Barberán FA. Flavonoid Composition of Tunisian Honeys and Propolis. J Agric Food Chem [Internet]. 1997 Aug 1;45(8):2824–9. Available from: https://doi.org/10.1021/jf9609284
8. Suntiparapop K, Prapaipong P, Chantawannakul P. Chemical and biological properties of honey from Thai stingless bee (*Tetragonula leaviceps*). J Apic Res. 2012;51(1):45–52.
9. Tomsone L, Kruma Z. Comparison of different solvents for isolation of phenolic compounds from horseradish (*Armoracia Rusticana* L.) leaves. Res Rural Dev. 2013;1(January):104–10.
10. Wuttisin N, Boonsook W. Total Phenolic, Flavonoid Contents and Antioxidant Activity of *Siraitia grosvenorii* Fruits Extracts. Food Appl Biosci J [Internet]. 2019 Mar 8;7(3 SE-Food Chemistry, Nutrition, and Analysis):131–41. Available from: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/fabjournal/article/view/176792

การศึกษาจุลินทรีย์ในผึ้งโพรงจากจังหวัดพะเยา

Investigation of microorganisms in *Apis cerana* from Phayao province

ศิริกาญจน์ สันพา[1*], ทิพย์วรรณ สรรพสัตย์[2], ศิริลักษณ์ สันพา[1], อรอำไพ จ่าภา[1], ธนาคาร ตันโยธา[1] และ บุษกร มาใจ

Sirikarn Sanpa[1*], Tipwan Suppasat[2], Sirilak Sanpa[1], Ornampai japa[1], Thanakhan Tanyotha[1] and Bussakorn majai[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ในตัวอย่างผึ้งโพรงที่เก็บจากจังหวัดพะเยา โดย ทำการตรวจสอบไวรัส 3 ชนิด ได้แก่ Acute bee paralysis virus (ABPV), Deformed wing virus (DWV) และ Sacbrood virus (SBV) ผลจากการศึกษาตัวอย่างผึ้งระยะตัวเต็มวัยพบการติดเชื้อของ DWV มากที่สุด รองลงมาคือ ABPV (18.42% และ 2.63% ของตัวอย่าง ตามลำดับ) สำหรับผึ้งระยะตัวอ่อนตรวจพบเฉพาะ DWV (31.25% ของตัวอย่าง) นอกจากนั้นยังพบการเข้าทำลายของไรวาร์รัวจำนวน 6 ตัวอย่าง ไม่พบการรุกรานของไรทรอพิลีแลปส์ โรคที่เกิดจากแบคทีเรีย และโรคที่เกิดจากเชื้อราในตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ การศึกษานี้ยังศึกษาจุลินทรีย์อื่น ๆ เช่น แบคทีเรียและยีสต์ จากผลการทดสอบทางชีวเคมี พบว่าเป็นแบคทีเรียในกลุ่ม family Lactobacillaceae, Enterobacteriaceae, Bacillaceae, Micrococcaceae.

คำสำคัญ: ผึ้งโพรง, ไวรัสผึ้ง, พะเยา, ไรวาร์รัว

[1] สาขาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] หลักสูตรสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Division of Microbiology and Parasitology, School of Medical sciences, University of Phayao, Phayao Province 56000

[2] Biology Program, School of Science, University of Phayao, Phayao Province 56000

*Corresponding author e-mail: sirikarnsanpa@gmail.com

Abstract

The objective of this research was to study the diversity of microorganisms in *Apis cerana* collected from Phayao Province. Honeybee were examined three types of viruses: Acute bee paralysis virus (ABPV), Deformed wing virus (DWV), and Sacbrood virus (SBV). In adult bees, the most prevalent virus was DWV followed by ABPV (18.42% and 2.63% of apiaries, respectively). In pupae, only DWV (31.25% of apiaries). Six out of thirty–eight colonies were infested with Varroa mites. Tropilaelaps mite, a bacterial disease, and fungal diseases were not present in any apiaries sample. This study also investigated other microorganisms such as bacteria and yeast. From the biochemical test results, bacteria were identified as microbial organisms including in the group of family Lactobacillaceae, Enterobacteriaceae, Bacillaceae, Micrococcaceae.

Keywords: *Apis cerana*, Honeybee virus, Phayao province, Varroa

บทนำ

ผึ้งโพรง (*Apis cerana*) เป็นผึ้งพื้นถิ่นของประเทศไทยที่มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลาย มีขนาดตัวใหญ่กว่าผึ้งมิ้มแต่เล็กกว่าผึ้งหลวง โดยสร้างรังในโพรงไม้ ในอาคารบ้านเรือนที่มืดและมิดชิด ลักษณะรวงรังมีหลาย ๆ ชั้นเรียงขนานกัน ขนาดรวงรังมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 ซม. สามารถนำมาเลี้ยงในหีบได้เช่นเดียวกับผึ้งพันธุ์ ผึ้งโพรงจัดเป็นผึ้งอุตสาหกรรมที่สำคัญในทวีปเอเชีย มีการเลี้ยงผึ้งโพรงกันอย่างแพร่หลาย เมื่อเปรียบเทียบผึ้งโพรงกับผึ้งพันธุ์แล้ว พบว่าผึ้งโพรงซึ่งเป็นผึ้งประจำถิ่นนั้นมีข้อดีกว่าผึ้งพันธุ์คือมีความต้านทานต่อไรวาร์รัวซึ่งเป็นไรที่เป็นปรสิตภายนอก (ectoparasite mite) มีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศได้ดีกว่า และมีต้นทุนอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงผึ้งต่ำว่าผึ้งพันธุ์ โรคที่เกิดในผึ้งนั้นมีหลายสาเหตุ เกิดจากแบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อรา ซึ่งโรคที่เกิดจากแบคทีเรียและเชื้อรานั้น มักแสดงอาการให้เห็นอย่างชัดเจน ทำให้สามารถแยกรังที่เกิดโรคออกได้ ต่างจากโรคที่เกิดจากไวรัส ผึ้งมักไม่แสดงอาการให้เห็นอย่างเด่นชัด ผึ้งที่เป็นโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัสนั้น ส่วนใหญ่มักแสดงอาการคล้ายคลึงกัน คือ เป็นอัมพาต ไม่สามารถเคลื่อนไหวทำกิจกรรมใด ๆ ได้ (ทิพย์วดี, 2549) โดยเชื้อไวรัสก่อโรคในผึ้งนั้นมีหลายชนิด ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาการติดเชื้อไวรัสผึ้ง 3 ชนิด ได้แก่ Acute bee paralysis virus, Deformed wing virus และ Sacbrood virus ซึ่งทั้งหมดมีสารพันธุกรรมเป็น Single–stranded positive RNA การติดเชื้อไวรัสในผึ้งส่วนใหญ่มักพบในรูปแบบของการลดลงของจำนวนประชากรผึ้งภายในรังโดยไม่ทราบสาเหตุ ส่งผลให้การผลิตน้ำผึ้งลดลงและก่อความเสียหายให้ได้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาโรคไวรัสในผึ้งโพรงและจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่พบในตัวผึ้งโพรง เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดโรคไวรัสและจุลินทรีย์ชนิดอื่นในตัวผึ้งโพรง ซึ่งอาจเป็นข้อมูลเพื่อในไปใช้ประโยชน์ในการจัดการฟาร์มและป้องกันการกระจายของโรคได้

วิธีการทดลอง

1. การเก็บตัวอย่างและสำรวจหาโรคผึ้งชนิดอื่น

เก็บตัวอย่างผึ้งโพรงในจังหวัดพะเยาโดยเก็บตัวอย่างแบบสุ่มอย่างน้อยจำนวน 59 ตัวต่อหนึ่งรัง เก็บตัวอย่างแบบสุ่มโดยทำการสลัดผึ้งพันธุ์ตัวเต็มวัย (adult) จากเฟรม (frame) หรือเก็บจากหน้ารัง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างไรโดยการแช่ตัวเต็มวัยในแอลกอฮอล์ 70% ทิ้งไว้ 15 นาที ตัวไรจะหลุดจากตัวผึ้งพันธุ์ แยกชนิดของไรพร้อมนับปริมาณไรแต่ละชนิด แล้วเก็บตัวอย่างทั้งหมดที่อุณหภูมิ –20 °C จนกระทั่งสกัด RNA นอกจากนั้นแล้วทำการเก็บข้อมูลการติดเชื้อโรคชนิดอื่นภายในรังผึ้งโดยการสังเกตุการติดเชื้อด้วยตาเปล่า เช่น โรคที่เกิดจากแบคทีเรีย โรคที่เกิดจากเชื้อรา รวมถึงการรุกรานของแมลงชนิดอื่น ๆ ในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง

2. การตรวจหาเชื้อไวรัสในผึ้งโพรง

2.1. การสกัด RNA จากตัวอย่างผึ้งและทำ complementary DNA

นำตัวอย่างผึ้งโพรงระยะตัวเต็มวัยและตัวอ่อนอย่างละ 10 ตัวมาสกัด RNA โดยการใช้ TRIzol Reagent (Invitrogen, Carlsbad, USA) ปริมาตร 0.5 mL ต่อผึ้ง 1 ตัว ทำการบดตัวอย่างให้ละเอียด ดูดเฉพาะสารละลายส่วนใสใส่ใน microcentrifuge tube ละลายตะกอน RNA ด้วย RNase–free water 100 µl เก็บไว้ที่ –80 °C จากนั้นนำ RNA ที่สกัดได้ไปทำการสังเคราะห์ cDNA โดยการใช้ Superscript IV First–Strand Synthesis System (Invitrogen, Carlsbad, USA) เก็บตัวอย่าง cDNA ที่ได้ที่อุณหภูมิ –20 °Cเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2.2. ตรวจหาไวรัสผึ้งด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR)

ทำการเพิ่มจำนวนเพื่อตรวจสอบหาเชื้อไวรัสชนิดต่าง ๆ ในผึ้งโพรง โดยการใช้ไพรเมอร์ที่จำเพาะต่อเชื้อไวรัสดังนี้

ตาราง 1 primer ที่ใช้ในการตรวจสอบการติดเชื้อไวรัสแต่ละชนิด

Virus	Forward primer	Length (bp)	เอกสารอ้างอิง
ABPV–F	GTGCTGGAGGTAAGGGACAA	742	Chanpanitkitchote et al., 2018
ABPV–R	GCCACCTTGTTGACTCCTGT		
DWV–F	GAGATTGAAGCGCATGAACA	302	Chanpanitkitchote et al., 2018
DWV–R	GAAAGCCGAGTTGAAGATGA		
SBV–F	GCTGAGGTAGGATCTTTGCGT	824	Chen et al., 2004
SBV–R	TCATCATCTTCACCATCCGA		

ตรวจสอบการติดเชื้อไวรัสด้วยเทคนิค PCR โดยการใช้อุณหภูมิเริ่มต้นในปฏิกิริยาคือ Innitial denature 95 °C 2 นาที และต่อด้วยปฏิกิริยา 40 รอบของ Denature 95 °C 30 วินาที, Annealing 56 °C 45 วินาที, Extention 72 °C 1 นาที เมื่อครบรอบแล้วต่อปฏิกิริยาด้วย Final extention 72 °C 7 นาที เก็บ PCR product ที่ได้ไว้ที่ 4 °C และทำการตรวจสอบผลที่ได้บน Agarose gel 1.5%

3. การศึกษาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างเชื้อไวรัสในผึ้งโพรงและไร

ทำการคำนวณเกี่ยวกับความถี่ของการตรวจพบเชื้อไวรัสชนิดต่าง ๆ ในผึ้งโพรงและในไรของผึ้งโพรงในจังหวัดพะเยา พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านสถิติเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการพบไวรัสในผึ้งโพรงและไร

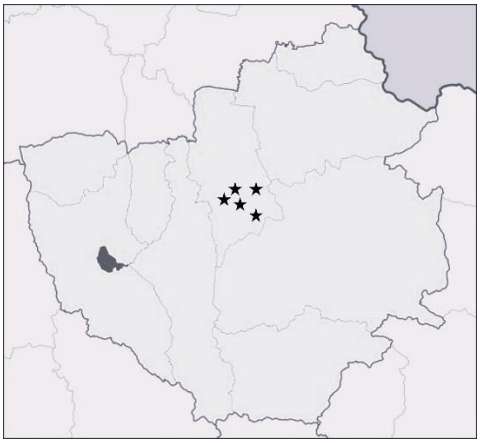
4. การแยกจุลินทรีย์อื่นจากตัวอย่างผึ้งโพรง

แยกจุลินทรีย์ชนิดอื่นในตัวอย่างผึ้งจากรังที่พบการติดไวรัสโดยการเก็บนำผึ้งใส่หลอดบรรจุ ทำการฆ่าเชื้อบริเวณพื้นผิวลำตัวของผึ้ง แล้ววางตัวผึ้งบนกระดาษที่สะอาดและผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว สำหรับผึ้งระยะตัวเต็มวัยใช้คีมคีบดึงตัวผึ้งงานทั้งสองข้างจากส่วนหัวและปล้องสุดท้ายของบริเวณส่วนท้อง โดยดึงทางเดินอาหารภายใต้กล้องจุลทรรน์แบบสเตอริโอ เก็บตัวอย่างลำไส้และผึ้งระยะตัวอ่อนที่ได้ไว้ในหลอดไมโครเซนติฟิว ที่มีบัฟเฟอร์ชาไลน์ ปริมาตร 1 ml บดตัวอย่างให้ละเอียด ทำการแยกเชื้อแบคทีเรียแลคติกบนอาหาร de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 1.0%, Brain heart infusion agar (BHI), Nutrient agar (NA) Yeast Malt Agar (YM) บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในสภาวะไร้อากาศ ทำการตรวจนับจำนวนโคโลนีของแบคที่เรียที่มีโซนใสรอบโคโลนีและตรวจดูลักษณะของแบคที่เรียด้วยการย้อมสีแกรม และทำการวิเคราะห์จุลินทรีย์เบื้องต้นโดยการทดสอบปฏิกิริยาชีวเคมี (Biochemical test) ได้แก่ การทดสอบออกซิเดส, การทดสอบ Catalase test การทดสอบการออกซิไดซ์และการหมักน้ำตาล glucose (OF– glucose test), การทดสอบการเคลื่อนที่ของแบคทีเรีย

ผลการศึกษา

1. การเก็บตัวอย่างผึ้งโพรงและสำรวจหาไรและโรคผึ้ง

เก็บตัวอย่างผึ้งโพรงจากอำเภอจุน จังหวัดพะเยา ช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงสิงหาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 38 รัง โดยเก็บตัวอย่างตัวเต็มวัยผึ้งโพรงจำนวน 38 รัง และตัวอย่างตัวอ่อนผึ้งระยะตัวอ่อนจำนวน 16 รัง โดยสถานที่เก็บตัวอย่างผึ้งโพรงแสดงดังภาพ 1 ทำการแยกไรโดยการแช่ตัวเต็มวัยในแอลกอฮอล์ทิ้งไว้ 15 นาที พบไรวาร์รัวในตัวอย่างรัง 6 รัง คิดเป็น 15.79% ของรังที่สำรวจ (ตาราง 2)



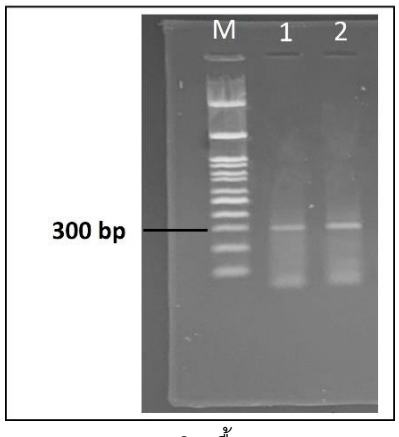
ภาพ 1 สถานที่เก็บตัวอย่างผึ้งโพรง ณ อำเภอจุน จังหวัดพะเยา

2. สำรวจการติดเชื้อโรคชนิดอื่น ๆ

ทำการสำรวจการติดเชื้อโรคอื่น ๆ จากตัวอย่างผึ้งโพรงและภายในรังที่ทำการเก็บตัวอย่างด้วยตาเปล่า โดยโรคที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ โรคที่เกิดจากแบคทีเรีย เช่น โรคตัวอ่อนเน่ายูโรเปียน (European Foulbrood) โรคที่เกิดจากเชื้อรา เช่น โรคชอล์คบรูด (chalkbrood disease) ไม่พบการติดเชื้อโรคทั้งสองชนิด ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง พบแมลงศัตรูผึ้งในกลุ่มของหนอนผีเสื้อ จำนวน 4 รัง คิดเป็น 10.53% ของจำนวนรังที่สำรวจ (ตาราง 2)

3. การตรวจหาเชื้อไวรัสในผึ้งโพรง

จากการตรวจหาเชื้อไวรัสในผึ้ง 3 ชนิด ได้แก่ Acute bee paralysis virus, Deformed wing virus และ Sacbrood virus ในระยะการเจริญของผึ้ง 2 ระยะ คือ ระยะตัวเต็มวัย (adult) ระยะตัวอ่อน (brood) โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างผึ้งโพรงรังละอย่างน้อย 59 ตัวต่อรัง แล้วเลือกมาทำการสกัดสารพันธุกรรมจำนวน 10 ตัวมาบดแล้วทำ cDNA เพื่อใช้เป็น template ในปฏิกิริยา PCR จากนั้นทำการแสดงผลโดยวิธี agarose gel electrophoresis (ภาพ 2)



ภาพ 2 ผลของการตรวจหาการติดเชื้อ Deformed wing virus (DWV) ในตัวอย่างผึ้งโพรง M: 100 bp DNA Ladder, 1–2: ตัวอย่างที่มีเชื้อ DWV

ผลจากการทดลองพบการติดเชื้อ Acute bee paralysis virus (ABPV) และ Deformed wing virus (DWV) ไม่พบการติดเชื้อ Sacbrood virus (SBV) โดยเชื้อไวรัสที่พบมากสุดคือ DWV รองลงมาคือ ABPV โดยในตัวเต็มวัยผึ้งโพรงมีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในตัวอย่างที่ทำการสำรวจคือ DWV 18.42% และ ABPV 2.63% ของจำนวนรังที่สำรวจ ในตัวอ่อนผึ้งโพรงมีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในตัวอย่างที่ทำการสำรวจคือ DWV 31.25% ของจำนวนรังที่สำรวจ (ตาราง 2) แต่ไม่พบอาการที่เกิดจากโรค DWV ในตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

ตาราง 2 ผลการตรวจสอบเชื้อไวรัส ABPV, DWV, SBV และแมลงศัตรูผึ้งในตัวอย่างผึ้งโพรง

Colony	ABPV		DWV		SBV		Varroa	Etc.
No.	Adult	Brood	Adult	Brood	Adult	Brood		
1	–	NS	–	NS	–	NS	–	
2	–	–	–	+	–	–	+	
3	–	NS	–	NS	–	NS	–	
4	–	NS	–	NS	–	NS	–	
5	–	–	–	–	–	–	–	
6	–	–	–	+	–	–	+	
7	–	NS	–	NS	–	NS	–	
8	–	NS	–	NS	–	NS	–	
9	–	NS	–	NS	–	NS	–	
10	–	–	–	+	–	–	+	moth
11	–	–	–	–	–	–	–	
12	–	–	–	–	–	–	+	
13	–	NS	+	NS	–	NS	–	
14	–	–	–	–	–	–	–	
15	–	–	–	–	–	–	–	
16	–	NS	–	NS	–	NS	–	moth
17	–	–	+	+	–	–	+	
18	–	NS	–	NS	–	NS	–	
19	–	NS	+	NS	–	NS	–	
20	–	–	–	–	–	–	–	
21	–	–	+	+	–	–	+	
22	–	–	+	–	–	–	–	moth
23	–	NS	–	NS	–	NS	–	
24	–	NS	–	NS	–	NS	–	
25	–	NS	–	NS	–	NS	–	
26	–	NS	–	NS	–	NS	–	

Colony No.	ABPV		DWV		SBV		Varroa	Etc.
	Adult	Brood	Adult	Brood	Adult	Brood		
27	+	NS	–	NS	–	NS	–	
28	–	NS	–	NS	–	NS	–	
29	–	NS	+	NS	–	NS	–	
30	–	NS	–	NS	–	NS	–	
31	–	NS	–	NS	–	NS	–	
32	–	NS	–	NS	–	NS	–	
33	–	NS	–	NS	–	NS	–	
34	–	–	+	–	–	–	–	
35	–	–	–	–	–	–	–	
36	–	–	–	–	–	–	–	moth
37	–	–	–	–	–	–	–	
38	–	NS	–	NS	–	NS	–	
%	1 (2.63)	0	7 (18.42)	5 (31.25)	0	0	6 (15.79)	4 (10.53)

* NS; No sample

4. การศึกษาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างเชื้อไวรัสในผึ้งโพรงและไร

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบว่าไวรัส DWV ที่พบในผึ้งทั้งในระยะตัวเต็มวัยและตัวหนอนมีความสัมพันธ์กับไรอย่างมีนัยยะสำคัญ และเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พบว่าไวรัส DWV ที่พบในระยะ ตัวหนอนมีความสัมพันธ์กับไรสูงกว่าระยะตัวเต็มวัยโดยพบค่า r เท่ากับ 0.694 และ 0.345 ตามลำดับ

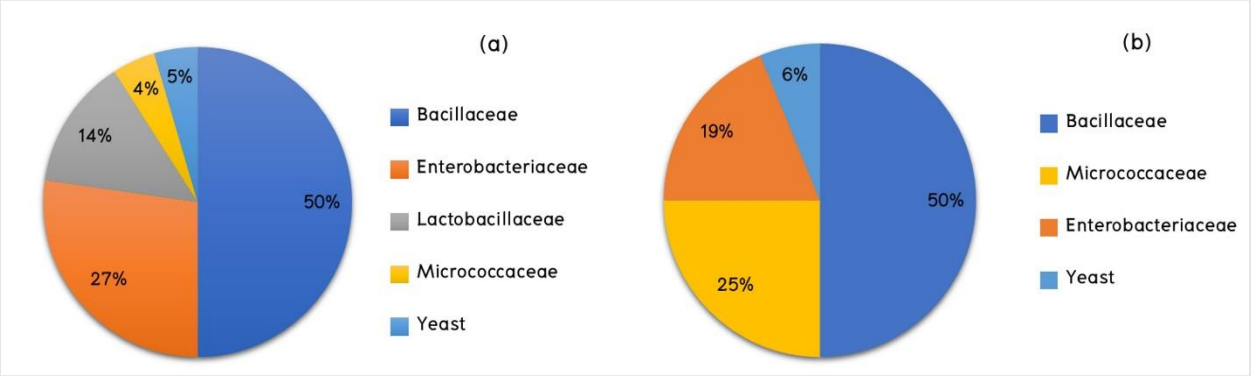
5. การแยกจุลินทรีย์อื่นจากตัวอย่างผึ้งโพรง

5.1 จุลินทรีย์จากผึ้งโพรงระยะตัวเต็มวัย

ผลการทดลองจากการนำผึ้งตัวเต็มวัยในรังที่มีการติดเชื้อไวรัสมาทำการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์โดยใช้ส่วนลำไส้ของผึ้งโพรงและทำการจำแนกเชื้อจุลินทรีย์เบื้องต้นด้วยการทดสอบทางชีวเคมี พบจุลินทรีย์ทั้งหมด 22 ไอโซเลท แบ่งเป็นแบคทีเรียแลคติกจำนวน 3 ไอโซเลท โดยใช้เกณฑ์การจัดจำแนกคือ เป็นแบคทีเรีย แกรมบวก ไม่เคลื่อนที่ ไม่สร้างเอนไซม์แคตาเลส ลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่ามีรูปร่างทั้งรูปแท่งหรืออาจจะเป็นรูปกลม และสามารถหมักน้ำตาลได้ (วินิดา, 2563), แบคทีเรียใน family Enterobacteriaceae จำนวน 6 ไอโซเลท โดยใช้เกณฑ์การจัดจำแนกคือ เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อน ไม่เคลื่อนที่ สามารถใช้น้ำตาลได้หลายชนิด ให้ผลแคตาเลสเป็นลบ, แบคทีเรียใน family Bacillaceae จำนวน 11 ไอโซเลท โดยใช้เกณฑ์การจัดจำแนกคือ เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปท่อน บางชนิดสามารถสร้างเอนโดสปอร์ได้ มักให้ผลแคตาเลสเป็นบวก, แบคทีเรียใน family Micrococcaceae จำนวน 1 ไอโซเลท โดยใช้เกณฑ์การจัดจำแนกคือ เป็นแบคทีเรียแกรมบวก ทรงกลม มักมีการจัดเรียงตัวเป็นกลุ่ม 4–8 เซลล์ ไม่มีการเคลื่อนที่ ให้ผลแคตาเลสเป็นบวก และยีสต์จำนวน 1 ไอโซเลท (นันทนา, 2549) (ภาพ 3a)

5.2 จุลินทรีย์จากผึ้งโพรงระยะตัวอ่อน

จากการทดลองนำตัวอ่อนผึ้งโพรงจากตัวอย่างที่มีการติดเชื้อไวรัสมาทำการเพาะเลี้ยงเพื่อแยกโคโลนีเดี่ยว โดยทำการจำแนกเชื้อด้วยการทดสอบทางชีวเคมี และลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบจุลินทรีย์ทั้งหมดจำนวน 16 ไอโซเลท โดยพบว่ามีแบคทีเรียกลุ่ม family Bacillaceae จำนวน 8 ไอโซเลท โดยใช้เกณฑ์การจัดจำแนกกลุ่มแบคทีเรียแกรมบวก รูปแท่ง สร้างเอนไซม์แคตาเลสได้ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้, family Micrococcaceae จำนวน 4 ไอโซเลท โดยใช้เกณฑ์การจัดจำแนกกลุ่มแบคทีเรียแกรมบวก รูปกลม สร้างเอนไซม์แคตาเลสได้ และไม่สามารถเคลื่อนที่ได้, family Enterobacteriaceae จำนวน 3 ไอโซเลท โดยใช้เกณฑ์การจัดจำแนกกลุ่มแบคทีเรียแกรมลบ รูปแท่ง สร้างเอนไซม์ออกซิเดสได้ และสามารถหมักน้ำตาลได้ และยีสต์ จำนวน 1 ไอโซเลท โดยใช้เกณฑ์การจัดจำแนกกลุ่มจากการสามารถหมักน้ำตาลได้ มีการแตกหน่อ รูปร่างคล้ายไข่ (อรอนงค์, 2517) (ภาพ 3b)



ภาพ 3 (a) จุลินทรีย์ที่แยกได้จากผึ้งโพรงระยะตัวเต็มวัย, (b) จุลินทรีย์ที่แยกได้จากผึ้งโพรงระยะตัวอ่อน

วิจารณและสรุปผล

จากการเก็บตัวอย่างผึ้งโพรงในจังหวัดพะเยาช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนสิงหาคมปี พ.ศ. 2565 จำนวน 38 รัง โดยทำการเก็บตัวเต็มวัยบริเวณหน้ารังและจากเฟรม ทำการแยกไรผึ้งโดยการแช่ผึ้งตัวเต็มวัยที่เก็บมาในแอลกอฮอล์และทำการบันทึกการพบไร จากการศึกษาพบเฉพาะไรวาร์รัว (*Varroa* spp.) ไม่พบไรทรอพิลีแลปส์ (*Tropilaelaps* spp.) แตกต่างจากการศึกษาก่อนหน้าที่มักพบการระบาดของไรทรอพิลีแลปส์มากกว่าไรวาร์รัว (พงษ์เทพ, 2526) และเมื่อทำการสังเกตุหาอาการของโรคชนิดอื่นที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราแล้ว ไม่พบการติดเชื้อ อาจเนื่องจากช่วงเวลาที่ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างเป็นเพียงช่วงเวลาสั้นและเป็นฤดูที่ไม่ค่อยพบการเข้าทำลายของไร

เมื่อนำตัวอย่างผึ้งโพรงที่ได้มาทำการตรวจสอบหาการติดเชื้อไวรัส 3 ชนิดด้วยเทคนิค RT-PCR โดยทำการตรวจสอบตัวอย่างผึ้งที่ทำการเก็บแบบสุ่ม เพื่อศึกษาการติดเชื้อไวรัส ในผึ้งโพรงตัวเต็มวัยพบการติดเชื้อไวรัส 2 ชนิด คือ DWV และ ABPV ไม่พบการติดเชื้อ SBV ในตัวอย่างผึ้งโพรงตัวอ่อนพบการติดเชื้อไวรัส 1 ชนิดคือ DWV ไม่พบการติดเชื้อ ABPV และ DWV

Deformed wing virus (DWV) เป็นเชื้อไวรัสที่ตรวจพบมากที่สุด จากการศึกษาพบว่า DWV สามารถก่อโรคได้ในทุกระยะของการเจริญของผึ้งแต่มักเพิ่มจำนวนในระยะดักแด้มากที่สุด (Chen et al., 2005) ดังนั้นเมื่อปริมาณของไวรัสเพิ่มจำนวนจนทำให้เกิดการตายของผึ้งก่อนการเจริญเป็นตัวเต็มวัย อาจเป็นสาเหตุหนึ่งให้พบ DWV ในตัวอย่างของผึ้งตัวอ่อนมากกว่าผึ้งตัวเต็มวัย ไวรัสที่พบรองลงมาคือ Acute bee paralysis virus (ABPV) พบในรังที่ไม่มีการแสดงอาการที่ผิดปกติของผึ้ง สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าพบว่าเชื้อไวรัสชนิดนี้มักตรวจพบในผึ้งที่ไม่แสดงอาการ (Berényi et al., 2006) จากผลการตรวจสอบพบการติดเชื้อ Sacbrood virus (SBV) ในทุกตัวอย่างซึ่งผลดังกล่าวนั้นสอดคล้องกับบงานวิจัยของ (Meng et al, 2022) ที่พบว่าความชุกของการติดเชื้อไวรัสดังกล่าวนั้นมักพบในผึ้งที่เลี้ยงในพื้นที่ภูเขาสูงหรือผึ้งในธรรมชาติมากกว่าผึ้งที่เลี้ยงในเชิงพาณิชย์ การตรวจสอบผึ้งโพรงที่ได้จากการเลี้ยงนั้นจึงมักไม่พบการติดเชื้อไวรัสดังกล่าว

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับระหว่างการพบ DWV ในตัวอย่างผึ้งและการพบไรวาร์รัว พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างการพบ DWV ในผึ้งตัวเต็มวัยกับการพบไรวาร์รัวมีค่า r = 0.345 และความสัมพันธ์ระหว่างการพบ DWV ในผึ้งตัวอ่อนกับการพบไรวาร์รัวมีค่า r = 0.694 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่กล่าวว่าไรวาร์รัวเป็นพาหะนำพาอนุภาคไวรัสเข้าสู่ตัวผึ้งได้ (Ball, 1989)

ผลการตรวจสอบจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ในผึ้งโพรง พบว่าในลำไส้ของผึ้งโพรงระยะตัวเต็มวัยพบจุลินทรีย์มากกว่าระยะตัวอ่อน ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่พบปริมาณจุลินทรีย์ในผึ้งระยะตัวเต็มวัยมากกว่าระยะตัวอ่อนอย่างมีนัยสำคัญ (Guo et al, 2015) ผลที่ได้เนื่องจากผึ้งตัวเต็มวัยมีกิจกรรมนอกรังที่มากกว่า ทำให้สัมผัสกับเชื้อภายนอกและอาหารที่กินเป็นพวกเกสรดอกไม้ที่มีจุลินทรีย์อื่นปะปนอยู่จำนวนมาก ซึ่งต่างจากผึ้งโพรงในระยะตัวอ่อนที่มักไม่พบจุลินทรีย์ในลำไส้ เนื่องจากทางเดินอาหารของผึ้งในระยะตัวอ่อนนั้นยังไม่พัฒนาสมบูรณ์และอาหารที่กินนั้นมีเพียงน้ำผึ้งและนมผึ้ง ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Guo et al, 2015) นอกจากนั้นยังพบแบคทีเรียแลคติกหลายไอโซเลทซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยก่อนหน้าซึ่งพบแบคทีเรียแลคติกในลำไส้ของผึ้งโพรงระยะตัวเต็มวัยเช่นเดียวกัน (Duong et al., 2020) ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้าพบว่าแบคทีเรียในลำไส้ผึ้งจะมีปริมาณลดลงเมื่อเกิดการติดโรคเชื้อราในผึ้ง และจะเพิ่มขึ้นเมื่อหายจากการติดเชื้อแล้ว (Khan et al., 2020) และจากการศึกษานี้พบความหลากหลายของแบคทีเรียหลายกลุ่มในตัวอย่างผึ้งโพรง โดยจุลินทรีย์ที่แยกได้มาจากตัวอย่างที่ไม่พบอาการที่เกิดจากโรคผึ้ง จุลินทรีย์ที่แยกได้อาจสามารถยับยั้งโรคในผึ้งหรือส่งเสริมการเจริญของผึ้งได้ ดังนั้นเพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างไวรัสและแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ จึงควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณและชนิดของแบคทีเรียที่พบในตัวอย่างผึ้งที่พบการติดเชื้อและไม่พบการติดเชื้อไวรัส

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2565 มหาวิทยาลัยพะเยา สัญญาเลขที่ RSPGUP 65/40

เอกสารอ้างอิง

1. ทิพย์วดี อรรถธรรม. 2549. ไวรัสของแมลง : นิวคลีโอโพลิฮีโดรไวรัส. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

2. นันทนา อรุณฤกษ์. (2549). การจำแนกแบคทีเรียกลุ่มแอนแอโรบ พิมพ์ครั้งที่:2. บริษัท โอเอส พริ้รติ้ง เฮ้าส์ จำกัด, กรุงเทพฯ. 200 หน้า.
3. พงษ์เทพ อัครธนกุล. 2526. ว่าด้วยผึ้งและการเลี้ยงผึ้ง. โรงพิมพ์พฤกษ์ศิริ. กรุงเทพมหานคร.
4. วนิดา ชื่นชัน, บุญมี กวินเสกสรรค์, สมบัติ ทีฆทรัพย์, วรรณกร กิจจะ, รัชนู เมยดง, สมศักดิ์ อยู่บริบูรณ์, และ ธนพงศ์ สาเภาลอย. (2563). การรอดชีวิตของแบคทีเรียกรดแลคติกในเรณูผึ้งสาหรับเลี้ยงผึ้งพันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี, 4(1),หน้า 1–11
5. อรอนงค์ พริ้งศุลกะ. (2517). จุลชีววิทยาทางการแพทย์แบคทีเรียก่อโรค. (พิมพ์ครั้งที่2). กรุงเทพฯ: จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์.
6. Ball, B.V. 1989. *Varroa jacobsoni* as a virus vector. In: Cavalloro, R. (Ed.), Present Status of Varroatosis in Europe and Progress in the Varroa Mite Control. OYce for OYcial Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 241–244.
7. Berényi O, Bakonyi T, Derakhshifar I, Köglberger H, Nowotny N. Occurrence of six honeybee viruses in diseased Austrian apiaries. Appl Environ Microbiol. 2006;72(4):2414–20.
8. Chanpanitkitchote P, Chen Y, Evans JD, Li W, Li J, Hamilton M, et al. Acute bee paralysis virus occurs in the Asian honey bee *Apis cerana* and parasitic mite *Tropilaelaps mercedesae*. J Invertebr Pathol [Internet]. 2018;151(November 2017):131–6. Available from: https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.11.009
9. Chen YP, Higgins JA, Feldlaufer MF. Quantitative real–time reverse transcription–PCR analysis of deformed wing virus infection in the honeybee (*Apis mellifera* L.). Appl Environ Microbiol. 2005;71(1):436–41.
10. Chen Y, Zhao Y, Hammond J, Hsu H, Evans J, Feldlaufer M. Multiple virus infections in the honey bee and genome divergence of honey bee viruses. J Invertebr Pathol. 2004;87(2–3):84–93.
11. Duong BTT, Lien NTK, Thu HT, Hoa NT, Lanh PT, Yun BR, et al. Investigation of the gut microbiome of *Apis cerana* honeybees from Vietnam. Biotechnol Lett [Internet]. 2020;42(11):2309–17. Available from: https://doi.org/10.1007/s10529–020–02948–4
12. Guo J, Wu J, Chen Y, Evans JD, Dai R, Luo W, et al. Characterization of gut bacteria at different developmental stages of Asian honey bees, *Apis cerana*. J Invertebr Pathol [Internet]. 2015;127:110–4. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2015.03.010
13. Khan S, Somerville D, Frese M, Nayudu M. Environmental gut bacteria in European honey bees (*Apis mellifera*) from Australia and their relationship to the chalkbrood disease. PLoS One [Internet]. 2020;15(8 august):1–22. Available from: http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0238252
14. Meng Y, Yu X, Huang Q, Zhang L, Wu X, Wang Z, et al. Genetic and phylogenetic analysis of the honey bee sacbrood virus from jiangxi isolates. J Asia Pac Entomol [Internet]. 2022;25(1):101847. Available from: https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.101847

ฤทธิ์ต้านเชื้อราของสารสกัดจากพืชที่กินได้ต่อกลุ่มเชื้อราก่อโรคในพืชหลังการเก็บเกี่ยว

Antifungal activity of edible plant extracts against post-harvest plant pathogenic fungi

ศิริลักษณ์ สันพา[1*], เยาวรัตน์ กองคำ[1], จินต์จุฑา อ่อนใจดี[2] และ ศิริกาญจน์ สันพา[1]

Sirilak Sanpa[1*], Yaowarat Kongkam[1], Jinjuta Onjaidee[1], and Sirikarn Sanpa[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพสารสกัดจากพืชกินได้ที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *Penicillium* sp., *Curvularia lunata* และ *Colletotrichum gloeosporioides* เชื้อราก่อโรคในพืชหลังการเก็บเกี่ยว โดยสารสกัดจากพืช 6 ชนิดได้แก่ อบเชย ใบพลู กระเทียม สะระแหน่ โหระพา และข่า ผลการทดสอบด้วยวิธี Poisoned Food Technique พบว่าหลังจากบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน สารสกัดใบพลูที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้สูงสุด โดยยับยั้ง *C. gloeosporioides* ร้อยละ 32±0.02 ยับยั้ง *Cur. lunata* ร้อยละ 26±0.04 และยับยั้ง *Penicillium* sp. ร้อยละ 53±0.02 ผลการทดสอบ Spore Germination Test พบว่าชั่วโมงที่ 24 สารสกัดจากใบพลูให้ผลการงอกของสปอร์ *C. gloeosporioides* ต่ำที่สุดที่ร้อยละ 62±0.11 และสารสกัดจากข่ามีการงอกของสปอร์ *Cur. lunata* และ *Penicillium* sp. ต่ำที่สุดที่ร้อยละ 27±0.05 และ 48±0.14 ตามลำดับ ผลการทดสอบด้วยวิธี Agar dilution technique พบว่า สารสกัดใบพลูสามารถยับยั้งและฆ่าเชื้อ *Cur. lunata, C. gloeosporioides*, และ *Penicillium* sp. ได้ดีที่สุด โดยให้ค่า Minimum Inhibitory Concentration (MIC) อยู่ที่ 4, 8 และ 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และค่า Minimum Fungicidal Concentration (MFC) เท่ากันที่ 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านเชื้อรา, พืชกินได้, เชื้อราก่อโรค, หลังการเก็บเกี่ยว

[1] สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Department of Microbiology, School of Medical Science, University of Phayao, Phayao, 56000

*Corresponding author : sirilak.sa@up.ac.th

Abstract

The objective of this research was to study the effectiveness of edible plant extracts that can inhibit the postharvest plant pathogenic fungi: *Penicillium* sp., *Curvularia lunata* and *Colletotrichum gloeosporioides*. The plants Including cinnamon, betel leaf, garlic, mint, basil, and galangal were extracted with 95% ethanol. The results of Poisoned Food Technique test showed that after 5 days incubation at 30°C, betel leaf extract with 1 mg/ml showed the highest percent inhibition. It could inhibit growth of *C. gloeosporioides* with 32±0.02%, *Cur. lunata* with 26±0.04% and *Penicillium* sp. 53±0.02%. The Spore Germination Test showed that after 24 h. incubation with betel extract *C. gloeosporioides* had the lowest germination with 62±0.11%. While *Cur. lunata* and *Penicillium* sp. treated with galangal extract showed the lowest germination at 27±0.05 and 48±0.14%, respectively. Agar dilution technique tests showed that betel extracts can inhibit and disinfect *Cur. lunata*, *C. gloeosporioides*, and *Penicillium* sp. at the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) 4, 8 and 16 mg/ml, respectively and the Minimum Fungicidal Concentration (MFC) 16 mg/ml.

Keywords: Antifungal activity, edible plants, pathogenic fungi, postharvest

บทนำ

การสูญเสียของผลผลิตเกษตรหลังเก็บเกี่ยวเป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากตลอดกระบวนการผลิตตั้งแต่การเพาะปลูกตลอดจนถึงการเก็บเกี่ยวล้วนแต่ต้องใช้ต้นทุนการผลิต หากการจัดการไม่เหมาะสมจะทำให้ผลผลิตเกิดการเน่าเสียเนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อราแบคทีเรีย หรือบอบช้ำก่อนถึงระยะเวลาการจัดจำหน่าย Barkai-Golan and Paster (2008) ได้รายงานว่าเชื้อราเมื่อเข้าทำลายผลผลิตทางการเกษตรจะก่อให้เกิดความเสียหายในระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการจำหน่าย โดยผักและผลไม้ที่มีการเข้าทำลายของเชื้อราจะสามารถสังเกตพบได้ก็ต่อเมื่อแสดงอาการของโรคทั้งในแปลงเพาะปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งเชื้อราบางชนิดมีการเข้าทำลายแบบแอบแฝงโดยไม่แสดงอาการอยู่ที่ผิวของผลไม้ที่ยังอ่อนและเมื่อผลสุกจึงแสดงอาการ ทำให้ได้ผลผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน มีงานวิจัยหลายฉบับรายงานถึงเชื้อราก่อโรคในพืชหลายชนิด เช่น *Penicillium* sp. ที่ก่อให้เกิดโรคเนาราสีเขียวของสม ซึ่งเป็นโรคหลังการเก็บเกี่ยวของสมที่สำคัญ เชื้อ *Curvularia lunata* มีรายงานแสดงถึงการก่อโรคใบจุด มีโรคเมล็ดด่างข่าว โรคใบจุด โรคใบไหม้เยอบีร่า รวมถึงโรคเมล็ดเน่าดำข้าวฟ่าง (สมศรี แสงโชติ, เนตรนภิส เขียวขำ และศศิฏิมล ลักษณพิสุทธิ์, 2553) จากงานวิจัยของรุ่งทิพย์ ในปี 2557 รายงานว่าเชื้อ *Colletotrichum* sp. มีจำนวนมากกว่า 20 species บนพืชต่างกัน ส่วนใหญ่ทำให้เกิดโรคใบจุดหรือโรคแอนแทรคโนส และการควบคุมโรคพืชซึ่งวิธีที่นิยมตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน คือการใช้สารเคมี เช่น สารเคมีที่ใช้ชุบผลมะม่วงเพื่อควบคุมโรคพืชเป็นสารในกลุ่ม Thiabendazole ได้แก่ benomyl และ carbendazim นั้นมักจะพบว่าเป็นปัญหาต่อการส่งออก เนื่องจากผลผลิตของสารพิษตกค้างทำให้เชื้อราสามารถสร้างความต้านทาน และจะมีสารพิษตกค้างในธรรมชาติจึงเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และก่อให้เกิดความเสียหายต่อหลายฝ่าย อาทิ เกษตรกร และผู้ประกอบการ เป็นต้น

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการควบคุมโรคพืชด้วยวิธีทางชีวภาพโดยการใช้สารสกัดจากสมุนไพรยังคงได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องตลอดมา เพราะมีฤทธิ์ค่อนข้างจำเพาะเจาะจงต่อศัตรูพืช และสลายตัวได้เร็วจึงมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้สารเคมี ยังมีงานวิจัยอีกมากที่รายงานผลว่าสมุนไพรไทยหลายชนิดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราได้ แต่ในการที่จะนำมาใช้ในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวในผลไม้

ชนิดต่าง ๆ นั้นสมควรจะเลือกชนิดสมุนไพรที่มนุษย์สามารถบริโภคได้ เพราะผลิตผลเกษตรต่าง ๆ เหล่านั้นพร้อมที่จะบริโภคอยู่แล้วจึงไม่ควรที่จะมีสารอื่น ๆ ที่เป็นอันตรายตกค้างอีก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาหาสมุนไพร ซึ่งเป็นส่วนประกอบของอาหารไทยที่มีประโยชน์ต่อร่างกายซึ่งหาได้ง่าย ราคาถูก โดยทั่วไปสมุนไพรเหล่านี้มีฤทธิ์ทางชีวภาพและเภสัช และยังมีงานวิจัยรองรับว่าสามารถยับยั้งเชื้อราบางชนิดได้ โดยได้เลือกสมุนไพรมาทั้งหมด 6 ชนิด คือ ข่า กระเทียม อบเชย สะระแหน่ โหระพา และใบพลู เพื่อหาสารสกัดหยาบจากสมุนไพรทั้ง 6 ชนิด ที่สามารถยับยั้งเชื้อรา *Penicillium* sp., *Curvularia lunata* และ *Colletotrichum gloeosporioides* ที่ก่อโรคในพืช ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการปนเปื้อนจากเชื้อราก่อโรคในพืช ผัก ผลไม้ได้ และช่วยลดการสูญเสียผลผลิตทางเกษตรได้

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมสารสกัด

ใช้ 95% Ethanol เป็นตัวทำละลาย โดยผสมพืชตัวอย่างต่อตัวทำละลาย ในอัตราส่วน 1:10 บ่มในที่มืดอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อบ่มครบตามเวลาที่กำหนด นำมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman NO.4 จะได้สารสกัดหยาบ จากนั้นนำสารสกัดหยาบไประเหยด้วยเครื่อง Rotary Evaporator เก็บไว้ในหลอดเซนติฟิวก์ขนาด 50 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2. การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา

ทดสอบด้วยวิธี Poisoned food technique (Das, Tiwari and Shrivastava, 2010) โดยผสมสารสกัดสมุนไพรในอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) เลี้ยงเชื้อราที่ใช้ในการทดสอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้ Cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร เจาะบริเวณปลายเส้นใย จากนั้นนำมาวางตรงกลางจานอาหาร PDA ที่ผสมสารสกัดจากตัวอย่างพืชที่นำมาทดสอบ ได้แก่ ใบพลู อบเชย โหระพา สะระแหน่ ข่า กระเทียม ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใช้ Cycloheximide ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เป็น Positive control และใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ผสมสารสกัดเป็น Negative control วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนีทุกวัน จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ ทำการบันทึกผลการทดลอง เป็นเวลา 5 วัน (Percent inhibition of radial growth ; PIRG) (ชัยพร ขัดสงคราม และเกวลิน คุณาศักดา, 2555) ตามสมการดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ} = \frac{\text{รัศมีของโคโลนีชุดควบคุม} - \text{รัศมีของโคโลนีชุดทดสอบ}}{\text{รัศมีของโคโลนีชุดควบคุม}} \times 100$$

3. การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดในการยับยั้งการงอกของสปอร์

ทดสอบด้วยวิธี Spore Germination Test ในอาหาร Potato Dextrose Broth (PDB) และเติมสารสกัด โดยมีความเข้มข้นสุทธิที่ 0.1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นใส่เชื้อราที่มีความเข้มข้นของสปอร์ 10^7 สปอร์/มิลลิลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน หยดลงบนสไลด์ที่อยู่ในเพลทอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วเรียบร้อย จากนั้นนำไปบ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เก็บผลที่ 18 และ 24 ชั่วโมง คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอกของสปอร์ (%Spore Germination) (Brgum, Mahal and Alam, 2010)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การงอกของสปอร์} = \frac{\text{จำนวนสปอร์ที่เกิดการงอก}}{\text{จำนวนสปอร์ทั้งหมด}} \times 100$$

4. การทดสอบค่าความเข้มข้นของสารสกัดหยาบในการยับยั้งและฆ่าเชื้อ

ทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ (Minimum Inhibitory Concentration, MIC) โดยใช้วิธี Poisoned food technique เจือจางแบบ two fold dilution method เริ่มที่ความเข้มข้น 2, 4, 8 และ 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาค่า MIC สังเกตการเจริญของเชื้อราและบันทึกผล ทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการฆ่าเชื้อรา (Minimum Fungicidal Concentration, MFC) โดยการนำชิ้นวุ้นที่ไม่มีการเจริญในอาหารจากการทดสอบ MIC มาวางลงบนอาหาร PDA ที่ไม่ผสมสารสกัดจากพืช บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาค่า MFC สังเกตการเจริญของเชื้อรา และบันทึกผล (Das, Tiwari and Shrivastava, 2010)

ผลการศึกษา

1. ผลการสกัดสารจากพืชสมุนไพร

การสกัดสารจากพืชสมุนไพรโดยใช้ 95% Ethanol เป็นตัวทำละลายในอัตราส่วนพืชตัวอย่างต่อ 95% Ethanol 1:10 พบลักษณะทางกายภาพ และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของสารสกัดพืชสมุนไพร โดยสารสกัดจากใบสะระแหน่ ให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงสุดที่ 4.84 และสารสกัดจากเปลือกอบเชยให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตต่ำสุดที่ 0.47 ดังแสดงในตาราง 1

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา

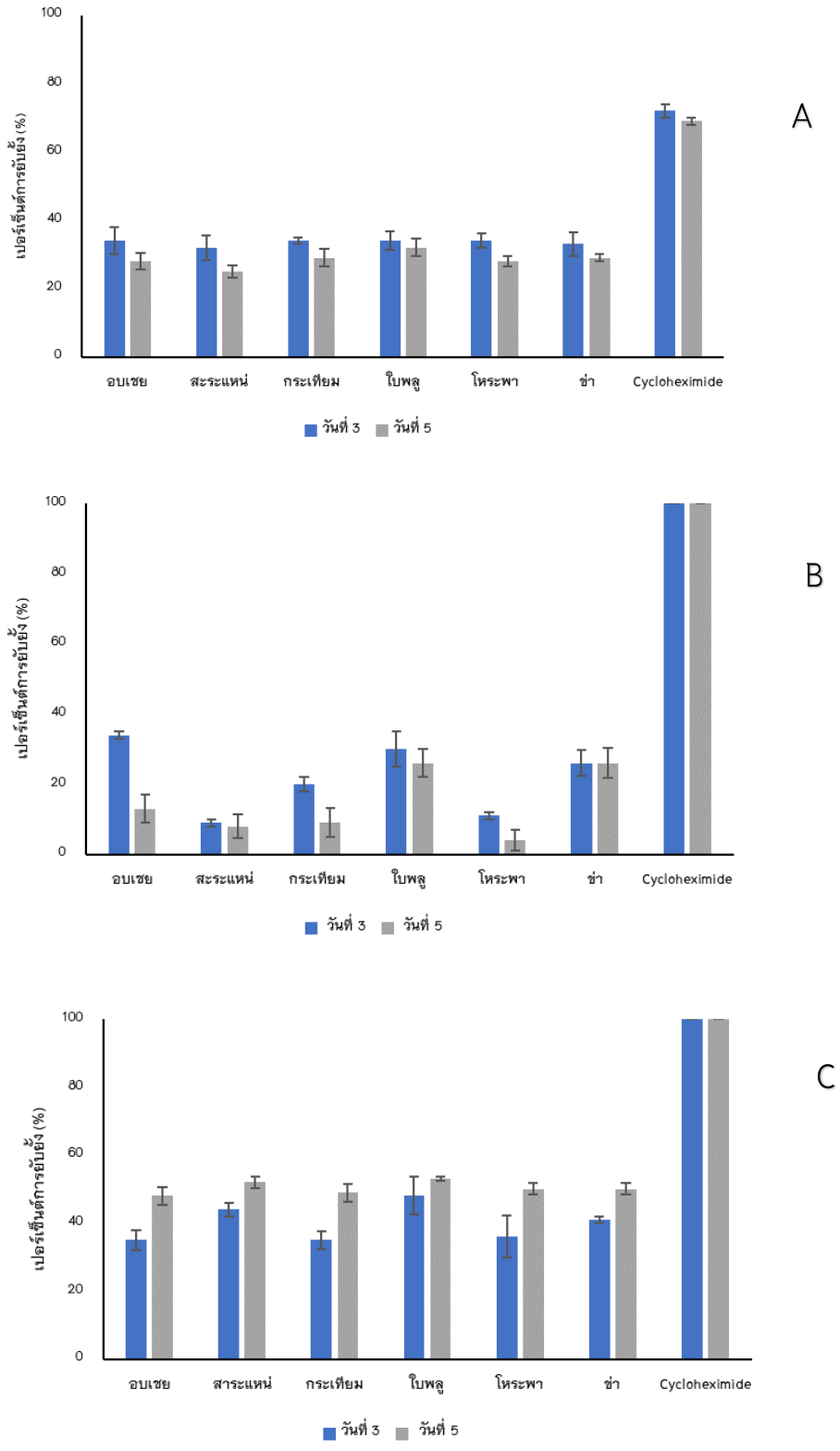
จากการศึกษาประสิทธิภาพฤทธิ์การต้านเชื้อราของสารสกัดสมุนไพร 6 ชนิด ความเข้มข้นที่ 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides*, *Curvularia lunata* และ *Penicillium* sp. ด้วยวิธี Poisoned food technique พบว่าหลังการบ่มเป็นเวลา 5 สารสกัดใบพลู ข่า และกระเทียม มีการยับยั้ง *Colletotrichum gloeosporioides* สูงเท่ากับร้อยละ 32±2.51, 29±1.00 และ 29±2.64 ตามลำดับ สารสกัดใบพลู ข่า และอบเชย มีการยับยั้ง *Curvularia lunata* ได้สูงเท่ากับ 26±4.04, 26±4.35 และ 13±4.04 ตามลำดับ และสารสกัดใบพลู สะระแหน่ และข่า มีการยับยั้ง *Penicillium* sp. ได้สูงเท่ากับร้อยละ 53±0.57, 52±1.73 และ 50±1.73 ตามลำดับ (แสดงดังภาพ 1)

ตาราง 1 ลักษณะทางกายภาพ และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของสารสกัดสมุนไพร

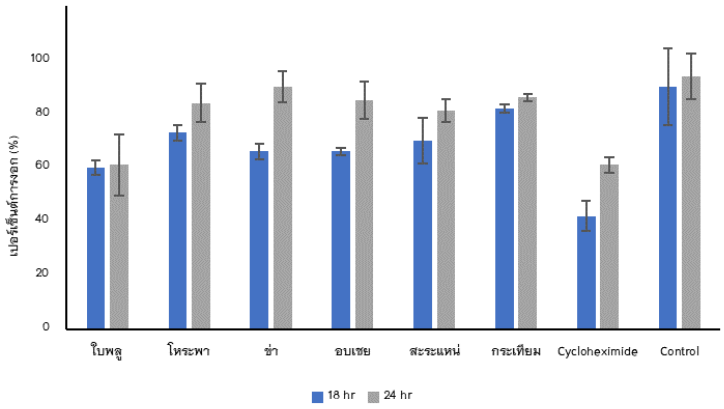
ชนิดของพืช	ส่วนของพืชที่ใช้	ลักษณะทางกายภาพ	เปอร์เซ็นต์ผลผลิต
ข่า	เหง้า	สีส้มเหลือง เหนียวหนืด มีกลิ่นฉุน	2.08
กระเทียม	หัว	สีส้มเหลือง เหนียวหนืด มีกลิ่นฉุน	0.88
อบเชย	เปลือก	สีเหลือง เหนียวหนืด มีกลิ่นฉุน	0.47
โหระพา	ใบ	สีเขียวเข้ม เหนียวหนืด มีกลิ่นฉุน	1.85
สะระแหน่	ใบ	สีเขียวเข้ม เหนียวหนืด มีกลิ่นฉุน	4.84
ใบพลู	ใบ	สีเขียวเข้ม เหนียวหนืด มีกลิ่นฉุน	2.17

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดในการยับยั้งการงอกของสปอร์

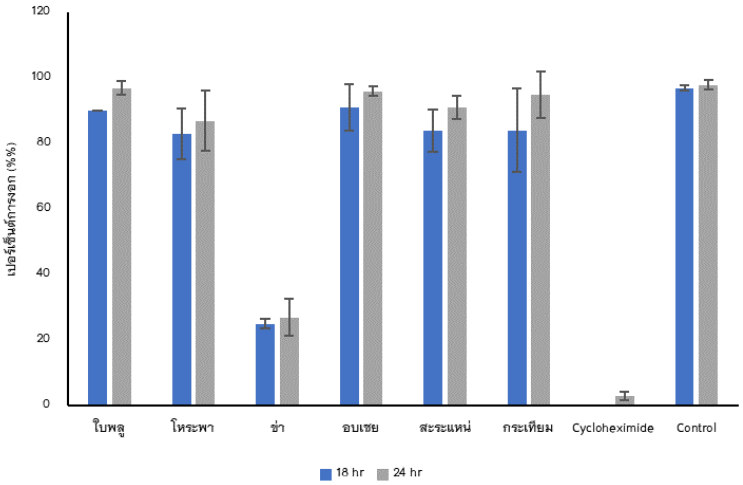
จากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพร 6 ชนิดได้แก่ ใบพลู โหระพา ข่า อบเชย สะระแหน่ และกระเทียม ในการยับยั้งการงอกสปอร์ของเชื้อรา*Colletotrichum gloeosporioides*, *Curvularia lunata* และ *Penicillium* sp. โดยใช้วิธี Spore Germination Test จากนั้นคำนวณหาร้อยละการงอกของสปอร์ที่ 18 และ 24 ชั่วโมง ผลการทดลอง พบว่า สารสกัดใบพลู ข่า และอบเชยสามารถยับยั้งการงอกสปอร์ของ *Colletotrichum gloeosporioides* ได้ดีที่ 18 ชั่วโมง โดยมีการงอกของสปอร์ต่ำที่ร้อยละ 60±2.82, 66±2.82 และ 66±1.41 ตามลำดับ ในชั่วโมงที่ 24 ใบพลู สะระแหน่ และโหระพา มีการงอกสปอร์ต่ำที่ร้อยละ 61±11.31, 81±4.24 และ 84±7.07 ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดข่า โหระพา และสะระแหน่ มีการงอกสปอร์ *Curvularia lunata* ต่ำที่ 18 ชั่วโมงโดยมีการงอกสปอร์ที่ร้อยละ 25±3.53, 83±8.48 84±4.94 ตามลำดับ ในชั่วโมงที่ 24 พบว่า ข่า โหระพา และสะแหน่ มีการงอกสปอร์ต่ำที่ร้อยละ 27±5.65, 88±9.19 และ 91±4.94 ตามลำดับ สำหรับ *Penicillium* sp. สารกัดข่า ใบพลู และกระเทียม สามารถยับยั้งการงอกสปอร์ได้ดีในที่ 18 ชั่วโมง โดยมีการงอกสปอร์ที่ร้อยละ 17±8.48, 77±19.79 และ 77±8.48 ตามลำดับ ชั่วโมงที่ 24 สารสกัดจากข่า กระเทียม และโหระพา มีการงอกสปอร์ต่ำที่ร้อยละ 48±14.14, 93±2.12 และ 96±5.65 ตามลำดับ (แสดงดังภาพ 2)



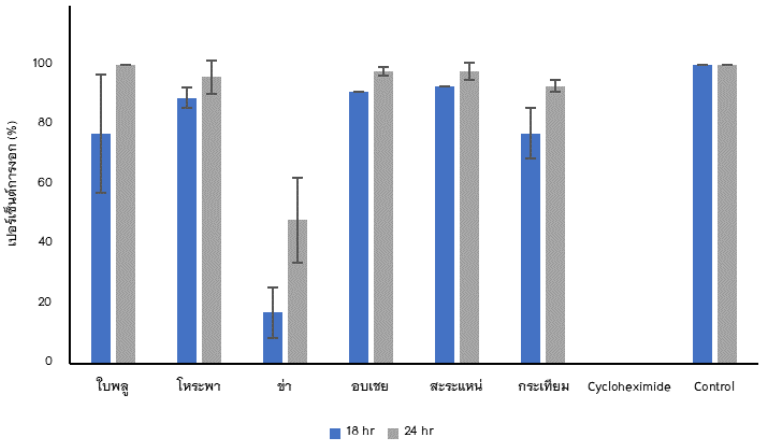
ภาพ 1 การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (A), *Curvularia lunata* (B), และ *Penicillium* sp. (C) จากสารสกัดสมุนไพรความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร



A



B



C

ภาพ 2 เปอร์เซ็นต์การงอกสปอร์ของ *Colletotrichum gloeosporioides* (A), *Curvularia lunata* (B), และ *Penicillium* sp. (C) หลังจากบ่มด้วยสารสกัดสมุนไพรความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

4. ผลการทดสอบความเข้มข้นสารสกัดหยาบจากสมุนไพรในการยับยั้งและเชื้อรา

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรในการยับยั้งและฆ่าเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides*, *Curvularia lunata* และ *Penicillium* sp. ด้วยวิธี Poisoned food technique เจือจางสารสกัดสมุนไพรแบบ Two-Fold serial dilution ให้มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 2-16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร พบว่าสารสกัดใบพลูสามารถยับยั้งการเจริญของ *Curvularia lunata* ได้ดีโดยให้ค่า MIC และ MFC เท่ากับ 4 และ 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สามารถยับยั้งเชื้อ *Colletotrichum gloeosporioides* ได้โดยให้ค่า MIC และ MFC เท่ากับ 8 และ 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สามารถยับยั้งเชื้อ *Penicillium* sp. โดยให้ค่า MIC และ MFC เท่ากันที่ 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

สารสกัดจากข่าสามารถยับยั้งเชื้อ *Colletotrichum gloeosporioides*, *Curvularia lunata* และ *Penicillium* sp. ได้โดยให้ค่า MIC เท่ากันที่ความเข้มข้น 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ MFC เท่ากันที่ความเข้มข้นมากกว่า 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สารสกัดกระเทียม สะระแหน่ อบเชย และโหระพาสามารถยับยั้งเชื้อ *Colletotrichum gloeosporioides*, *Curvularia lunata* และ *Penicillium* sp. ได้โดยให้ค่า MIC และ MFC มากกว่าความเข้มข้นที่ 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (แสดงดังตาราง 2)

ตาราง 2 แสดงค่าความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากสมุนไพรในการยับยั้งและฆ่าเชื้อราบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้นสมุนไพร (mg/ml)	*Colletotrichum gloeosporioides*		*Curvularia lunata*		*Penicillium* sp.	
	MIC	MFC	MIC	MFC	MIC	MFC
ใบพลู	8	16	4	16	16	16
กระเทียม	>16	>16	>16	>16	>16	>16
สะระแหน่	>16	>16	>16	>16	>16	>16
ข่า	16	>16	16	>16	16	>16
อบเชย	>16	>16	>16	>16	>16	>16
โหระพา	>16	>16	>16	>16	>16	>16

อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อราของสารสกัดสมุนไพรต่อเชื้อ *Curvularai lunata*, *Colletotrichum gloeosporioides* และ *Penicillium* sp. ใช้การทดสอบหาประสิทธิภาพของสารสกัดในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา ประสิทธิภาพของสารสกัดจากสมุนไพรในการยับยั้งการงอกสปอร์ การหาความเข้มข้นต่ำที่สุดในการยับยั้งและฆ่าเชื้อ โดยใช้สารสกัดจากสมุนไพร 6 ชนิด คือ ข่า กระเทียม อบเชย โหระพา สะระแหน่ และใบพลู พบว่าสารสกัดจากใบพลู ข่า และกระเทียม มีการยับยั้งเชื้อ *Colletotrichum gloeosporioides* ได้สูงตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของวลีรัตน์ ทองรักษ์ (2553) ได้ทดสอบผลของสารสกัดสมุนไพรบางชนิดต่อการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* โดยใช้วิธี Poisoned food technique ผลปรากฏว่า สารสกัดใบพลูที่สกัดด้วยเอทานอล ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ร้อยละ 100

งานวิจัยของวิมลศิริ สีหะวงษ์, สายัญ สืบผาง และสุวิจักขณ์ อรุณลักษณ์ (2565) ได้ศึกษาเรื่องการควบคุมการเจริญของเชื้อ *C. gloeosporioides* เชื้อสาเหตุของโรคหอมเลื้อยด้วยสารสกัดจากสมุนไพร พบว่าสารสกัดจากกระเทียม ข่า ขมิ้น และตะไคร้สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการงอกสปอร์ พบว่าหลังจากบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใบพลู สะระแหน่ และโหระพา เชื้อมีการงอกสปอร์ได้ต่ำตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรัญญา อาจจันทึก และคณะ (2545) ศึกษาผลของสารสกัดจากใบพลูคาวต่อเชื้อ *C. gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง เนื่องจากสารออกฤทธิ์ในพลูคาวมี Eugenol เช่นเดียวกับใบพลู พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพลูคาวสามารถยับยั้งการงอกของสปอร เชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ร้อยละ 100 โดยที่ 12 ชั่วโมงไม่พบการงอกของสปอร์ การทดสอบการหาความเข้มข้นต่ำที่สุดในการยับยั้งและฆ่าเชื้อ พบว่าสารสกัดใบพลูและข่าสามารถยับยั้งเชื้อได้โดยให้ค่า MIC เท่ากับ 8 และ 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และ MFC เท่ากับ 16 และมากกว่า 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ จีรนันท์ กล่อมนรา (2562) ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากส่วนต่างๆ ของหม่อนที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อราที่คัดแยกได้จากใบทุเรียน เนื่องจากสารออกฤทธิ์จากหม่อนมีสารประกอบฟีนอล เช่นเดียวกันกับใบพลู ทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดด้วยวิธี Paper Disc Diffusion ที่ระดับความเข้มข้น 300, 600 และ 900 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร พบว่า สารสกัดจากรากและลำต้นของหม่อนที่สกัดตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 สามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ที่ระดับความเข้มข้น 600 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

จากการศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อราของสารสกัดสมุนไพรต่อเชื้อ *Curvularia lunata* สารสกัดใบพลู ข่า และอบเชย มีการยับยั้งสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ นุชนารถ จงเลขา, สมบัติ ศรีชูวงศ์ และนุชนารถ กุมมารกาศ (2547) ได้ทดลองเรื่อง การทดสอบประสิทธิภาพของสมุนไพรและจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในการกำจัดเชื้อที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าว พบว่า สารสกัดข่าและขมิ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 สามารถยับยั้งเชื้อ *C. lunata* ได้ร้อยละ 100 และจากการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการงอกสปอร์ พบว่าสารสกัดข่า โหระพา และสะแหน่ มีการงอกสปอร์ต่ำตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศานิต สวัสดิกาญจน์ (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากพืช 10 ชนิดต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. lunata* สาเหตุโรคเม็ดด่างในข้าว พบว่าสารสกัดจากยูคาลิปตัสและผักชีลาว ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ได้ร้อยละ 100 เนื่องจากพบสารออกฤทธิ์ ประเภท Eugenol เช่นเดียวกับข่า การทดสอบการหาความเข้มข้นต่ำที่สุดในการยับยั้งและฆ่าเชื้อ พบว่าสารสกัดใบพลูและข่าสามารถยับยั้งเชื้อได้โดยให้ค่า MIC เท่ากับ 4 และ 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และ MFC เท่ากับ 16 และมากกว่า 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประภัสสร รักถาวร, อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ และอุดมลักษณ์ สุขอัตตะ, (2553) ได้ศึกษาฤทธิ์ของสารสกัด และน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในห้องน้ำสาธารณะ พบว่าสารสกัดใบพลูมีแนวโน้มในการยับยั้งเชื้อ *C. lunata* อยู่ระหว่าง 32 –2048 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันพลูในการฆ่าเชื้ออยู่ระหว่าง 128 –4096 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

จากการศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อราของสารสกัดสมุนไพรต่อเชื้อ *Penicillium* sp. สารสกัดใบพลู สะระแหน่ และข่า มีการยับยั้งสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ หฤทัย ไทยสุชาติ และพรอนันต์ บุญก่อน (2557) ได้ทดลอง การควบคุมเชื้อราปนเปอนในกระเทียม ด้วยสารสกัดจากพืชและจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในสภาพหองทดลอง พบว่า สารสกัดจากกานพลู พลู และขมิ้น มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราได้ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพดีที่สุดโดยยับยั้ง *Penicillium* sp. ได้อย่างสมบูรณ์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สายวรุณ มาตรวิจิตร และคณะ (2554) ได้ศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากพืชวงศขิงตอการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Penicillum digitatum* พบว่า พืชตระกูลขิงสามารถยับยั้งการงอกเส้นใยของเชื้อ *Penicillum digitatum* ได้ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ได้ร้อยละ 100 ที่ 36 ชั่วโมง การทดสอบการหาความเข้มข้นต่ำที่สุดในการยับยั้งและ

ฆ่าเชื้อ พบว่าสารสกัดใบพลูและข่าสามารถยับยั้งเชื้อได้โดยให้ค่า MIC เท่ากันที่ 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ MFC เท่ากับ 16 และมากกว่า 16 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับ ลลิตา คชารัตน์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในห้องน้ำสาธารณะด้วยน้ำมันหอมระเหยพลู น้ำมันหอมระเหยพลูผสมกับน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพร พบว่า ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันหอมระเหยพลูในการยับยั้ง เชื้อราทุกชนิดรวมถึง *Penicillium* sp. อยู่ในช่วง 128–1,024 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ในขณะที่ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสูตรผสมน้ำมันหอมระเหย (มีอัตราส่วนน้ำมันหอมระเหยระเหย พลู : กานพลู : ยูคาลิปตัส : ลาเวนเดอร์ ในอัตราส่วน 5: 1: 2: 2) อยู่ในช่วง 128–512 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบพลู และข่าในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคในพืช ผัก และผลไม้ เนื่องจากใบพลูและข่ามีสารสำคัญที่คล้ายกัน คือ Eugenol, Cineole และ Terpene โดยเยื่อหุ้มเชื้อราเป็นเป้าหมายหลักสำหรับฤทธิ์ต้านเชื้อราของสารประกอบธรรมชาติจากพืช ความสามารถในการผ่านผนังเซลล์และทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เป็นพื้นฐานสำหรับการต้านเชื้อรา ซึ่งองค์ประกอบของ Eugenol มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราโดยจะเข้าไปขัดขวางกระบวนการละลายชั้นไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้บทบาทในด้าน Osmotic barrier ลดลง และสูญเสียการควบคุมในที่สุด ในส่วนของสารออกฤทธิ์ Cineole และ Terpene มีกลไกลการยับยั้งเหมือนกันเนื่องจาก 1,8–Cineole ถูกพบว่าเป็นโครงสร้างของ Phenol ซึ่งประกอบไปด้วย Monoterpenoid Phenol จัดเป็น hydrophobic ที่มีผลต่อ phospholipid ของเยื่อหุ้มเซลล์ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ โดยไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดจากโครงสร้างของ monoterpenoid phenol จะไปลดความมีขั้วที่เยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้โครงสร้างของเซลล์สูญเสียเสถียรภาพ ส่งผลให้สารภายในเซลล์เกิดการรั่วไหลออกนอกเซลล์มากขึ้น ทำให้เชื้ออยู่ในภาวะอดอาหารและตายในที่สุด (วิมลศิริและคณะ, 2565)

จากการทดลองครั้งนี้ การสกัดสารเบื้องต้น เป็นแนวทางที่น่าสนใจนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมโรคในมะม่วง หรือผลผลิตพืชอื่น ๆ หลังเก็บเกี่ยว เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดรอยโรคที่มาสาเหตุจากเชื้อราก่อโรค Colletotrichum gloeosporioides, Curvularia lunata, และ Penicillium sp. รวมทั้งควรทำการทดลองผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรมากกว่า 1 ชนิดเข้าด้วยกัน เพื่อเป็นแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพรในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา เลขที่สัญญา FF65–RIM114 จากกองทุนส่งเสริม วว.

เอกสารอ้างอิง

จีรนันท์ กล่อมนรา (2562). การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากส่วนต่างๆ ของหม่อนที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อราที่คัดแยกได้จากใบทุเรียน. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 11(2), 197–207.

ชัยพร ขัดสงคราม และเกวลิน คุณาศักดากุล. (2555). ประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซีสเอนโดไฟต์ จากพืชวงศ์ลำไยในการควบคุมโรคผลเน่าของลำไย. วารสารเกษตร, 29(3), 239–248.

ประภัสสร รักถาวรม, อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ และอุดมลักษณ์ สุขอัตตะ. (2553). การศึกษาฤทธิ์ของสารสกัด และน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในห้องน้ำสาธารณะ. วารสารสำนักการแพทย์ทางเลือก, 3(2), 22–32.

ปิลันธนา เลิศสถิตธนกร, กรองกาญน์ มนตรี, จารุวรรณ บรรจง, เบญจวรรณ สำรวล และ ศิรินภา โคตรจันทร์. (2555). ฤทธิ์ต้านจุลชีพของน้ำมันจากเปลือกอบเชย. วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ, 55(7), 39–43.

พัชวรรณ สิทธิศาสตร์ และสิทธิศาตร์ ยศแสน. (2561). ประสิทธิภาพของสารสกัดพืชในการต้าน *Alternaria* sp. และ *Collectotrichum* spp. ที่คัดแยกจากใบยางพาราที่เกิดโรคใบจุด. วารสารการเกษตรราชภัฏ, 17(2), 48–55.

ลลิตา คชารัตน์, ประภัสสร รักถาวร, อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ และเกสรี กลิ่นสุคนธ์. (2559). การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในห้องน้ำสาธารณะด้วยน้ำมันหอมระเหยพลู น้ำมันหอมระเหยพลูผสมกับน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพร และสูตรผสมน้ำมันหอมระเหยที่มีน้ำมันหอมระเหยพลูเป็นองค์ประกอบหลัก. วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์, 54, 840–848.

วาสนา เนียมแสวง. (2563). จุลินทรีย์ในดินที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา *Curvularia* sp. สาเหตุโรคเมล็ดด่างในข้าว. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 12(24), 101–108.

วิมลศิริ สีหะวงษ์, สายัญ สืบผาง และสุวิจักขณ์ อรุณลักษณ์. (2565). การควบคุมการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* เชื้อสาเหตุของโรคหอมเลื้อยด้วยสารสกัดสมุนไพร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มธย, 7(1), 35–42.

Barkai-Golan, R. and Paster, N. (2008). Mycotoxins in Fruits and Vegetables. World Mycotoxin Journal, 1(2), 147–159.

Brgum, M. F., Mahal, M. F., and Alam, M. S. (2010). Inhibition of spore germination and mycelial growth of three fruit rot pathogens using some medical fungicides and botanical extracts. Journal of Life and Earth Science, 5, 23–27.

Bussaman, P., Namsena, O., Rattanasena, P., and Chandarapatya, A. (2012). Effect of crude leaf extracts on *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. Psyche: A Journal of Entomology, 12, 1–6.

Das, K., Tiwari, R .K. S., and Shrivastava, D. K. (2010). Techniques for evaluation of medicinal plant products as antimicro bial agent : Current method and future trends. Journal of Medicinal Plants Research, 4(2), 104–111.

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของเกสรผึ้งในพื้นที่จังหวัดพะเยา

The biological activities of bee pollen in Phayao Province

ศิริลักษณ์ สันพา[1*], ทิพย์วรรณ สรรพสัตย์[2], อรอำไพ จ่าภา[1] และ ศิริกาญจน์ สันพา[1]

Sirilak Sanpa[1*], Tipwan Suppasat[2], Ornampai Japa[1] and Sirikarn Sanpa[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ก่อโรคของเกสรผึ้ง โดยสกัดสารสกัดจากเกสรผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์ในพื้นที่จังหวัดพะเยาด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% จากนั้นทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay และ ABTS radical scavenging assay พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 2.71–3.58 mg TE/g sample และ 4.19–4.91 mg TE/g sample ตามลำดับ มีปริมาณฟีนอลิกรวมอยู่ในช่วงระหว่าง 41.97–144.74 mg GAE/100g sample มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ 1.57–6.02 mg QE/100g sample การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเกสรผึ้งในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค 4 ชนิดคือ *Salmonella* sp., *Bacillus cereus*, *Staphylococcus epidermidis*, และ *Pseudomonas aeruginosa* พบว่าสารสกัดเกสรผึ้งที่ความเข้มข้น 0.125–0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบทั้ง 4 ชนิด และความเข้มข้น 0.25–1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถฆ่าเชื้อทดสอบได้

คำสำคัญ: เกสรผึ้ง, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์

Abstract

This research aimed to study the antioxidant and antimicrobial activities of bee pollen from *Apis cerana* and *Apis mellifera* in Phayao Province. The bee pollen was extracted with 95% ethanol and the antioxidant activity was tested by DPPH radical scavenging assay and ABTS radical scavenging assay. It was found that the antioxidant activity was 2.71–3.58 mg TE/g sample and 4.19–4.91 mg TE/g sample, respectively. The total phenolic content was 41.97–144.74 mg GAE/100g sample, and the flavonoid content was 1.57–6.02 mg QE/100g sample. The antimicrobial efficiency of bee pollen extract was tested with 4 pathogenic microorganisms, including *Salmonella* sp., *Bacillus cereus*, *Staphylococcus epidermidis*, and *Pseudomonas aeruginosa*. The results showed that bee pollen extract at a concentration of 0.125–0.5 mg/ml was able to inhibit the growth of test microorganisms and a concentration of 0.25–1.0 mg/ml was able to kill all types of test bacteria.

Keywords: Bee pollen, antioxidant activity, antimicrobial activity

---

[1] สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[2] สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

[1] Department of Microbiology, School of Medical Science, University of Phayao, Phayao, 56000

[2] Department of Biology, School of Science, University of Phayao, Phayao, 56000

*Corresponding author : sirilak.sa@up.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นแหล่งกำเนิดและศูนย์กลางความหลากหลายทางพันธุกรรมของผึ้ง ผึ้งพื้นเมืองที่พบมีหลายสปีชีส์ได้แก่ ผึ้งโพรง (*Apis cerana*) ผึ้งมิ้ม (*A. florea*) ผึ้งหลวง (*A. dorsata*) และผึ้งแอนดริฟอรมิส (*A. andreformis*) ส่วนผึ้งที่นำเข้าจากยุโรปมีเพียงสปีชีส์เดียว คือ ผึ้งพันธุ์ (*A. mellifera*) ปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงผึ้งมากขึ้นมี 2 ชนิด คือ ผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์ (สัมฤทธิ์ มากสง, 2559) แหล่งน้ำผึ้งในประเทศไทยส่วนใหญ่ เป็นน้ำผึ้งที่ได้จากดอกไม้ที่มีอยู่ในแต่ละท้องถิ่น เช่น ดอกลำไย ลิ้นจี่ เงาะ มะพร้าว ทานตะวัน สาบเสือ และดอกไม้ป่า พื้นที่เลี้ยงผึ้งพบว่ากระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยภาคเหนือมีการเลี้ยงผึ้งมากที่สุด ถึงประมาณร้อยละ 80 (สิริวัฒน์ และคณะ, 2551) ของปริมาณน้ำผึ้งทั้งหมด แต่สำหรับผลิตภัณฑ์อื่นๆ จากผึ้ง เช่น นมผึ้งหรือรอยัลเยลลี ไขผึ้ง พรอพอลิส พิษผึ้ง และเกสรผึ้ง ยังไม่มีศึกษาพัฒนา และเกิดการเติบโตมากนักในเชิงพาณิชย์

เกสรผึ้งเป็นแหล่งรวมเกสรนานาชนิดที่รวบรวมโดยผึ้ง ผึ้งงานจะเก็บรวบรวมเกสรในรูปของก้อนเกสรกลับมายังรัง จากนั้นนำก้อนเกสรมาอัดแน่นในรวงรังแล้วใช้น้ำผึ้งคลุมทับเป็นชั้นบางๆ (bee bread) เพื่อป้องกันการเน่าเสีย เกสรผึ้งนี้เป็นอาหารของผึ้งตัวเต็มวัยและตัวอ่อน (Gilliam, 1997) เกสรผึ้งมีความสำคัญต่อผึ้ง เพราะเป็นแหล่งที่ให้สารอาหารประเภทโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุต่างๆ จึงใช้เป็นอาหารสำหรับประชากรผึ้งในรังเพื่อให้มีกำลังในการทำงาน ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของละอองเกสรผึ้งจะแปรผันไปตามชนิดของพืช การเลือกสถานที่เลี้ยงผึ้งและชนิดของพืชที่จะให้ละอองเกสรแก่ผึ้งจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า เกสรผึ้งมีโปรตีนสูง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชแต่ละชนิดด้วย (สิริวัฒน์ และคณะ, 2551) พะเยาเป็นพื้นที่ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ ความแตกต่างของพืชอาหารในแต่ละฤดูกาลยังส่งผลต่อคุณสมบัติของเกสรผึ้งอีกด้วย ด้วยความหลากหลายของพืชอาหารของผึ้งนี้ คณะวิจัยเห็นถึงความสำคัญของการสำรวจรวบรวมข้อมูล ตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพต่าง ๆ ในเกสรผึ้ง จากพื้นที่เลี้ยงผึ้งในจังหวัดพะเยา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สุขภาพ หรือผลิตภัณฑ์ธรรมชาติจากเกสรผึ้งที่มีความปลอดภัยและมีศักยภาพในการต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้

วิธีการศึกษา

1. การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างเกสรผึ้งจาก *A. cerana* และ *A. mellifera* จากฟาร์มเลี้ยงผึ้งในพื้นที่จังหวัดพะเยา ได้แก่พื้นที่การเกษตร เทศบาลตำบลแม่กา อ.เมือง จ.พะเยา และพื้นที่การเกษตรกลุ่มเกษตรอินทรีย์ เทศบาลตำบลจุน อ.จุน จ.พะเยา เก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารสำคัญจากเกสรผึ้ง

ทำการสกัดสารสำคัญจากตัวอย่างเกสรผึ้ง โดยนำตัวอย่างมาบดหรือหั่นให้มีขนาดเล็ก และสกัดโดยใช้ตัวทำละลายคือเอทานอล 95% จากนั้นทำการแยกกากโดยการกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman no. 1 แล้วนำสารสกัดที่ได้ไปทำให้แห้งภายใต้เครื่อง rotary evaporator และ lyophilized ตามวิธีที่รายงานไว้ (Huang, et. al, 2014) บันทึกน้ำหนักสารสกัดที่ได้ และคำนวณผลผลิตร้อยละ หรือ percentage yield นำสารสกัดที่ได้ ไปทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay โดยผสมสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhdrazyl กับตัวอย่างความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร หาปริมาณการต้านอนุมูล DPPH โดยเปรียบเทียบกับกราฟ

มาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของ Trolox กับความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH และ ABTS radical scavenging assay ตามวิธีมาตรฐาน (Campos et al., 2015) หาปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกรวมของสารสกัด (Folin–Ciocalteu colorimetric assay) การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์โดยวิธี aluminum chloride colorimetric assay (Mamoon et al., 2020) โดยการเตรียมตัวอย่างผสมกับเมทานอล อลูมิเนียมคลอไรด์ โพแทสเซียมอะซิเตต และน้ำกลั่น บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมในสารสกัดเทียบกับกราฟมาตรฐานเควอซิทีน

3. การทดสอบฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ก่อโรคของสารสกัดจากเกสรผึ้ง

นำสารสกัดที่ได้จากข้อ 2 มาทดสอบคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรค 4 ชนิด ได้แก่ *Salmonella* sp., *Bacillus cereus*, *Staphylococcus epidermidis*, และ *Pseudomonas aeruginosa* ด้วยวิธี microplate dilution method (Langfield, et. al, 2004) โดยการเจือจางสารสกัดสองเท่าลงใน microtiter plates ทำการเลี้ยงเชื้อทดสอบในอาหารเลี้ยงเชื้อ MHB ให้มีปริมาณเชื้อเท่ากับ 10^6 CFU/มิลลิลิตร ใส่สารสกัดจากเกสรผึ้งที่ความเข้มข้น 0.0625–1.0 mg/mL บ่มเชื้อที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบันทึกค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่ทำให้เชื้อทดสอบไม่สามารถเจริญได้เป็นค่า minimum inhibitory concentration (MIC) จากนั้นหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่สามารถฆ่าเชื้อได้หรือ minimum bactericidal concentration (MBC) โดยการนำเชื้อในหลุมที่ไม่เจริญมาทำการเลี้ยงซ้ำบนอาหารเลี้ยงเชื้อ MHA บันทึกความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่เชื้อทดสอบไม่สามารถเจริญโดยการเลี้ยงซ้ำได้

ผลการศึกษา

1. ผลการสกัดสารจากเกสรผึ้ง

การสกัดสารสำคัญจากเกสรผึ้งในพื้นที่จังหวัดพะเยาจำนวน 8 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างจากผึ้งพันธุ์ 4 ตัวอย่างและผึ้งโพรง 4 ตัวอย่าง โดยใช้เอทานอล 95% ได้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของสารสกัดเกสรผึ้งทั้งจากผึ้งโพรง (*Apis cerana*) และผึ้งพันธุ์ (*Apis mellifera*) มีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 24.53 ±6.21 ถึง 29.74 ± 4.66 ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ปริมาณร้อยละสารสกัดที่ได้ (%Yield Crude Extract) ของเกสรผึ้ง 8 ตัวอย่างด้วยวิธีการหมักด้วย 95% เอทานอล

ตัวอย่าง	ชนิดของผึ้ง	ปริมาณร้อยละสารสกัดที่ได้* (%Yield Crude Extract)
1	*Apis cerana*	25.23 ± 8.25
2	*Apis cerana*	24.92 ± 4.03
3	*Apis cerana*	29.74 ± 4.66
4	*Apis cerana*	28.53 ± 3.84
5	*Apis mellifera*	24.53 ±6.21
6	*Apis mellifera*	29.23 ± 5.16
7	*Apis mellifera*	26.17 ± 6.42
8	*Apis mellifera*	25.26 ± 8.57

*ปริมาณร้อยละสารสกัดที่ได้จากตัวอย่างเกสรผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารสำคัญจากเกสรผึ้ง

ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay พบว่าสารสกัดจากเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 3.17–3.28 mg TE/g sample และ 2.71–3.58 mg TE/g sample ตามลำดับ และผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS radical scavenging assay พบว่าสารสกัดจากเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 4.56–4.91 mg TE/g sample และ 4.19–4.79 mg TE/g sample ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 2

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในตัวอย่างเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์ พบว่าเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์มีปริมาณฟีนอลิกรวมอยู่ในช่วงระหว่าง 41.97–144.74 mg GAE/100g sample และ 49.30–116.20 mg GAE/100g sample ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของตัวอย่างเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ 3.94–6.02 mg QE/100g sample และ 1.57–3.14 mg QE/100g sample ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกรวม สารประกอบฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิกรวม (mg GAE/100g sample)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg QE/100g sample)	DPPH radical scavenging ability (mg TE/g)	ABTS radical scavenging ability (mg TE/g)
1	43.86±20.49	3.94±0.66	3.18±0.09	4.91±0.03
2	41.97±9.46	4.89±0.17	3.28±0.01	4.86±0.08
3	63.07±10.70	4.53±0.62	3.20±0.08	4.56±0.06
4	144.74±11.04	6.02±1.66	3.17±0.01	4.64±0.06
5	51.08±18.12	1.57±0.51	2.71±0.22	4.40±0.21
6	49.30±23.23	1.57±0.43	3.58±0.11	4.19±0.18
7	82.87±13.60	2.88±0.11	3.47±0.06	4.79±0.04
8	116.20±19.60	3.14±0.04	2.98±0.33	4.68±0.01

3. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ก่อโรคของสารสกัดจากเกสรผึ้ง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเกสรผึ้งในการยับยั้งและฆ่าแบคทีเรียก่อโรคที่ใช้ทดสอบ 4 ชนิดคือ *Salmonella sp., Bacillus cereus, Staphylococcus epidermidis, และ Pseudomonas aeruginosa* พบว่า สารสกัดจากเกสรผึ้งโพรง (ตัวอย่างที่ 1–4) ที่ความเข้มข้น 0.125–0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบทั้ง 4 ชนิด และความเข้มข้น 0.25–1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถฆ่าเชื้อทดสอบได้ โดย *Bacillus cereus* และ *Pseudomonas aeruginosa* เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถถูกยับยั้งและฆ่าได้โดยใช้สารสกัดจากเกสรผึ้งโพรงที่ความเข้มข้นต่ำสุด และพบว่าสารสกัดจากเกสรผึ้งพันธุ์ (ตัวอย่างที่ 5–8) ที่ความเข้มข้น 0.25–0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบทั้ง 4 ชนิด และความเข้มข้น 0.5–1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถฆ่าเชื้อทดสอบได้ โดยที่ *Staphylococcus epidermidis* เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถถูกยับยั้งและฆ่าได้โดยใช้สารสกัดจากเกสรผึ้งพันธุ์ที่ความเข้มข้นต่ำสุด ดังแสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อ (MBC) ของเกสรผึ้งต่อการยับยั้งเชื้อทดสอบ

ตัวอย่าง	*Staphylococcus epidermidis*		*Bacillus cereus*		*Pseudomonas aeruginosa*		*Salmonella* sp.	
	MIC (mg/mL)	MBC (mg/mL)	MIC (mg/mL)	MBC (mg/mL)	MIC (mg/mL)	MBC (mg/mL)	MIC (mg/mL)	MBC (mg/mL)
1	0.5	1.0	0.5	1.0	0.25	0.5	0.5	1.0
2	0.25	0.5	0.125	0.25	0.125	0.125	0.25	0.5
3	0.5	1.0	0.25	0.5	0.25	0.5	0.5	1.0
4	0.25	0.5	0.125	0.25	0.25	0.5	0.25	0.5
5	0.5	1.0	0.25	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
6	0.25	0.5	0.25	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
7	0.25	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
8	0.25	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0

อภิปรายและสรุปผล

เกสรผึ้งประกอบด้วยสารอาหารประเภทโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยวิตามิน เกลือแร่ (รมณี สงวนดีกุล, 2555) และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive Compounds) หลายชนิด จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในตัวอย่างเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์ในจังหวัดพะเยา พบว่าเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์มีปริมาณฟีนอลิกรวมอยู่ในช่วงระหว่าง 41.97–144.74 mg GAE/100g sample และ 49.30–116.20 mg GAE/100g extract ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของตัวอย่างเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ 3.94–6.02 mg QE/100g sample และ 1.57–3.14 mg QE/100g extract ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญที่พบในเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากแหล่งเก็บตัวอย่างอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ชนิดของพืชอาหารที่ผึ้งใช้เพื่อผลิตเกสรผึ้งและเกสรผึ้งหมักหรือ bee bread จึงเป็นพืชชนิดเดียวกัน ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่าสารสกัดจากเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 3.17–3.28 mg TE/g sample และ 2.71–3.58 mg TE/g sample ตามลำดับ และผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS พบว่าสารสกัดจากเกสรผึ้งจากผึ้งโพรงและผึ้งพันธุ์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 4.56–4.91 mg TE/g sample และ 4.19–4.79 mg TE/g sample เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยก่อนหน้า Dogaroglu et al. (2015) ทำการศึกษาสารประกอบทางชีวภาพของเกสรผึ้ง พบว่าในเกสรผึ้งมีปริมาณสารฟีนอลิก 1,371 มิลลิกรัม/100 กรัม ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของเกสรผึ้งมีค่าเท่ากับ 5,908 มิลลิกรัม $FeSO_4$/100 กรัม ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้ปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเกสรผึ้งแต่ละแหล่งตัวอย่างมีความแตกต่างกันคือ ชนิดของพืชอาหารหรือเกสรพืชที่ผึ้งนำมาใช้ผลิตเป็นเกสรผึ้ง หรือปฏิกิริยาที่เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างที่ผึ้งมีการสร้างเกสรผึ้งหมักหรือ honeybee bread (Margaoan et al, 2021)

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเกสรผึ้งในการยับยั้งและฆ่าแบคทีเรียก่อโรค พบว่าสารสกัดจากเกสรผึ้งโพรงที่ความเข้มข้น 0.125–0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบและความเข้มข้น 0.25–1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถฆ่าเชื้อทดสอบได้ โดย *Bacillus cereus* และ *Pseudomonas aeruginosa* เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไวต่อสารสกัดจากเกสรผึ้งโพรงที่สุด และพบว่าสารสกัดจากเกสรผึ้งพันธุ์ที่ความเข้มข้น 0.25–0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบทั้ง 4 ชนิด และความเข้มข้น 0.5–1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถฆ่าเชื้อทดสอบได้ โดยที่ *Staphylococcus epidermidis* เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไวต่อสารสกัดจากเกสรผึ้งพันธุ์มากที่สุด Pascoal et al. (2014) ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ การต้านการเปลี่ยนเป็นเซลล์มะเร็ง การต้าน อนุมูลอิสระ และการต้านการอักเสบของเกสรผึ้ง 8 ชนิด พบว่าตัวอย่าง E มีปริมาณฟีนอลิกสูง ที่สุด คือ 32.15 ± 2.12 มิลลิกรัม/กรัม และตัวอย่าง H มีปริมาณฟีนอลิกต่ำที่สุด คือ 18.55 ± 0.95 มิลลิกรัม/กรัม ตัวอย่าง C มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด คือ 10.14 ± 1.57 มิลลิกรัม/กรัม และ ตัวอย่าง H มีปริมาณฟลาโวนอยด์ต่ำที่สุด คือ 3.92 ± 0.68 มิลลิกรัม/กรัม คุณสมบัติการต้าน เชื้อจุลินทรีย์พบว่าเกสรผึ้งทุกตัวอย่างสามารถต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่มีความไวต่อยา ฆ่าเชื้อสูงสุด และ *Candida glabrata* ที่มีฤทธิ์ดื้อยาสูงที่สุด

ผลการวิจัยก่อนหน้ารายงานว่าผลิตภัณฑ์จากผึ้งมักพบองค์ประกอบทางเคมีซึ่งมาจากน้ำหวานและเกสรพืชอาหารที่อยู่ใกล้เคียงกับรังผึ้ง Khider et al. (2013) ทำการศึกษาคุณสมบัติของเกสรผึ้งในประเทศอียิปต์ที่ได้จากพืช 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด ต้นโคฟเวอร์ และอินทผลัม พบว่าสารสกัดจากเกสรผึ้งที่ได้ จากข้าวโพดมีคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียสูงที่สุด รองลงมาคือเกสรผึ้งที่ได้จากต้น Clover และอินทผลัม คุณสมบัติด้านการต้านอนุมูลอิสระพบว่าสารสกัดเกสรผึ้งที่ได้จากข้าวโพดมีฤทธิ์ในการ ต้านอนุมูลอิสระสูงและสามารถยับยั้ง Lipid Peroxidation ได้ (Tomasz Sawicki et al, 2022) จากการศึกษาดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้เกสรผึ้งเสริมลงในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหรือสารให้ประโยชน์เชิงหน้าที่ ให้กับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่สามารถช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคที่เกิดจากความเสื่อม ตามวัย และเกสรผึ้งยังมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่เหมาะสมกับการใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร ได้หลากหลายอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา งบประมาณ อพ.สธ. ปี 2566 รหัสโครงการ PG66009

เอกสารอ้างอิง

รมณี สงวนดีกุล. 2555. ผลิตภัณฑ์จากผึ้ง. ใน สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ และสุรีรัตน์ เดี่ยววาณิชย์ (น.295–297). ชีววิทยาของผึ้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ สุรีรัตน์ เดี่ยววาณิชย์ และอรวรรณ ดวงภักดี. 2551. ผึ้งและน้ำผึ้ง. สำนักพิมพ์ แห่งจุฬามหาวิทยาลัย

สัมฤทธิ์ มากสง. 2559. ความหลากหลายของพืชอาหารของผึ้งในหมู่บ้านทิพุเย ตำบลชะแล อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 24: 76–86.

Alimoglu, G., Guzelmeric, E., Yuksel, P. I., Celik, C., Deniz, I., Yesilada, E. 2021. Monofloral and polyfloral bee pollens: Comparative evaluation of their phenolics and bioactivity profiles. LWT– Food Science and Technology. 142 : 110973.

Chuenchan W., Kavinseksan B., Teekasap S., et. al. 2020. Survival of lactic acid bacteria in bee pollen for beekeeping (*Apis mellifera* L.). Journal of Thonburi University (Science and Technology). 4: 44–54.

Campos JF, Das Santos UP, Da Rocha PDS, Damião MJ, Balestieri JBP, Cardoso CAL, et al. Antimicrobial, Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Cytotoxic Activities of Propolis from the Stingless Bee *Tetragonisca fiebrigi* (Jataí). Evidence-based Complement Altern Med. 2015;2015.

De Marco S, Piccioni M, Pagiotti R, Pietrella D. Antibiofilm and Antioxidant Activity of Propolis and Bud Poplar Resins versus *Pseudomonas aeruginosa*. Evidence-based Complement Altern Med. 2017;2017.

Dogaroglu, M., Kolayl, S., Yucel, B., Hotaman, O.Y.H., Topal, E. & Kosoglu, M. 2015.Bioactive qualifications and characteristics of cherry honey, bee pollen and bee bread. pp. 456. In Proceedings of the 44th APIMONDIA International Apicultural Congress, Daejeon, Korea.

Gilliam, M. 1997. Identification and role of non-pathogenic microflora associated with honeybees. FEMS Microbiology Letters. 155: 1–10.

Khider, M., Elbanna, K., Mahmoud, A. & Owayss, A.A. 2013. Egyptian honeybee pollen as antimicrobial, antioxidant agents and dietary food supplements. Food Sci. Biotechnol., 22 (5): 1461–1469.

Mamoon K, Thammasit P, Iadnut A, Kitidee K, Anukool U, Tragoolpua Y, et al. Unveiling the properties of thai stingless bee propolis via diminishing cell wall-associated cryptococcal melanin and enhancing the fungicidal activity of macrophages. Antibiotics. 2020;9(7):1–17.

Margaoan R, Ozkok A, Keskin S, Mayda N, Urcan AC, Cornea-Cipcigan M. 2021. Bee collected pollen as a value-added product rich in bioactive compounds and unsaturated fatty acids: A comparative study from Turkey and Romania. LWT- Food Science and Technology. 149: 111925.

Pascoal, A., Rodrigues, S., Teixeira, A., Feas, X. & Estevinho, L.M. 2014. Biological activities of commercial bee pollens: Antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory. Food and Chemical Toxicology. 63: 233–239.

Suntiparapop K, Prapaipong P, Chantawannakul P. Chemical and biological properties of honey from Thai stingless bee (*Tetragonula leaviceps*). J Apic Res [Internet]. 2012 Feb 1 [cited 2014 Jun 19];51(1):45–52. Available from: http://www.ibra.org.uk/articles/Properties-of-Thai-honey-produced-by-stingless-bees

Standifer, L. N. 1980. Honeybee nutrition and supplemental feeding. Beekeeping in the United state, U.S. Government Printing Office, Washington, D. C.

Tomasz S, Małgorzata S, Lucyna K, and Paweł H. 2022. The profile of polyphenolic compounds, contents of total phenolics and flavonoids, and antioxidant and antimicrobial properties of bee products. Molecules. 27: 1301.

กองบรรณาธิการ พะเยาวิจัยครั้งที่ 13

1. ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ อัครเอกฒาลิน
2. ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล มุณีสว่าง
3. ศาสตราจารย์ ดร.เสมอ ถาน้อย
4. ศาสตราจารย์ ดร.สุทิสา ถาน้อย
5. ศาสตราจารย์ นพ.สุกิจ พันธุ์พิมานมาศ
6. Professor Gavin Reynolds
7. รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา มิ่งฉาย
8. รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์
9. รองศาสตราจารย์ ดร.พีรเดช ทองอำไพ
10. รองศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ
11. รองศาสตราจารย์ ดร.เชวศักดิ์ รักเป็นไทย
12. รองศาสตราจารย์ ดร.อรระวี คงสมบัติ
13. รองศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภวสุปรีย์
14. รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ น้อยฉิม
15. รองศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ประสาทเขตร์การ
16. รองศาสตราจารย์ ดร.ต่อพงศ์ กรีธาชาติ
17. รองศาสตราจารย์ ดร.พยุงศักดิ์ อินต๊ะวิชา
18. รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ น้อยฉิม
19. รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉราภรณ์ ดวงใจ
20. รองศาสตราจารย์ ดร.ลือชา ลดาชาติ
21. รองศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ วงศ์ราษฎร์
22. รองศาสตราจารย์ ดร.สาคร เมฆรักษาวนิช
23. รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ
24. รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล
25. รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรมงคล สุวรรณภูมิ
26. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำรัส กลิ่นหนู
27. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศานิตย์ ศรีคุณ
28. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงค์ อมรเดชาพล
29. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกอบศิริ ภักดีพินิจ
30. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอราวิล ถาวร
31. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติมา กาวีระ
32. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบูรณ์ คำเตจา
33. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติ เอี่ยมชื่น
34. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์
35. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ
36. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อุดม งามเมืองสกุล
37. ดร.ปิยรัษฎ์ ปริญญาพงษ์ เจริญทรัพย์
38. ดร.สิทธิรักษ์ รอยตระกูล
39. ดร.วารัชต์ มัธยมบุรุษ
40. ดร.วิทวัส สัจจาพงศ์
41. ดร.นิรมล พรมนิล
42. คุณเบญมาศ ตีระมาศวณิช

เลขานุการ

นายจักรพงศ์ มาลีพัตร

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางมนีกานต์ วังแสง

นางสาวรัชฎาภรณ์ แก้วสีบ

FRONTIER AREA BASED RESEARCH FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

DRA

DIVISION OF RESEARCH ADMINISTRATION
UNIVERSITY OF PHAYAO

กองบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยพะเยา

@University of Phayao

พะเยาวิจัย
กองบริหารงานวิจัย

08 2629 1970

www.prc.up.ac.th
www.dra.up.ac.th

E-Mail: prconference@up.ac.th