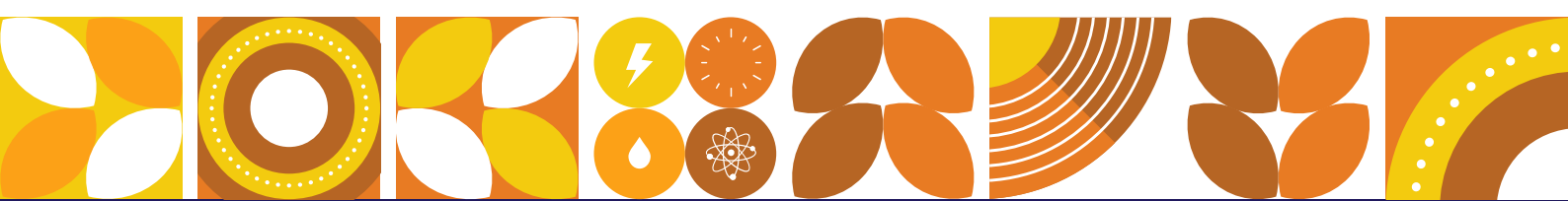




วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
Siam Technology College



Journal of Energy
and Environment
Technology



วารสารวิชาการเทคโนโลยี
พลังงานและสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Journal of Energy and Environment Technology
of Graduate School Siam Technology College



Journal of Energy and Environment Technology

ISSN 2392-5701

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567
Vol. 11, No. 2, July - December 2567



วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2567): Vol. 11 No. 2 (July – December 2024)

ISSN (Print): 2392-5701

วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม จัดทำโดย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เพื่อเป็นสื่อในการเผยแพร่ผลงานวิจัย ความรู้และวิทยาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ด้านวิทยาศาสตร์ ด้านเทคโนโลยี ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยวารสารเปิดรับบทความจากภายในและภายนอก รวมถึงต่างประเทศ แบบเต็มรูปแบบ (Full Paper) รวมถึงบทความวิชาการ (Review Articles) บทความที่เสนอมาอาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ โดยบทความดังกล่าวจะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน และเป็นข้อคิดเห็นของผู้ส่งบทความ นอกจากนี้อัตราการคัดลอกในระบบต้องไม่เกินกว่าร้อยละ 5 เท่านั้น

วัตถุประสงค์	เพื่อสนับสนุนและกระตุ้นให้มีการเขียนผลงานทางวิชาการ เผยแพร่ผลงานทางวิชาการของคณาจารย์ นักวิชาการและนักศึกษาทั้งภายในและภายนอก รวมทั้งเป็นสื่อกลางทางการศึกษา ค้นคว้า และเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการ
จุดมุ่งหมาย	เป็นศูนย์กลางเพื่อสนับสนุน ถ่ายทอด องค์ความรู้ และเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ และการวิจัยที่มีคุณภาพ ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม ชุมชน ส่วนรวมของประเทศได้อย่างต่อเนื่องในวารสารรูปแบบสิ่งพิมพ์ และวารสารอิเล็กทรอนิกส์
เงื่อนไข/ข้อกำหนด	1. รับผิดชอบบทความที่เป็นไปตามเกณฑ์ รูปแบบ มาตรฐาน และแนวปฏิบัติที่วารสารกำหนดไว้โดยผ่านความเห็นชอบจากวารสารแล้วเท่านั้น (ไม่รับผิดชอบบทความที่ไม่เป็นไปตามที่ระบุไว้) 2. บทความที่ส่งขอรับการพิจารณาจะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในขั้นตอนพิจารณาเพื่อเผยแพร่ในวารสารอื่น 3. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นข้อคิดเห็นของผู้แต่ง/ผู้พิมพ์/ผู้เขียน เท่านั้น และจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากบทความนั้น 4. บทความที่ได้รับการลงตีพิมพ์ในวารสารเป็นลิขสิทธิ์ของวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
กำหนดการเผยแพร่	ปีละ 2 ฉบับ (ราย 6 เดือน) ดังนี้ ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม-ธันวาคม
การประเมินบทความ	โดยผู้ทรงคุณวุฒิ / ผู้เชี่ยวชาญอย่างน้อย 3 ท่าน ต่อ 1 บทความ ในรูปแบบ Double Blinded
ที่ปรึกษา	อธิการบดี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม หน้าที่ ให้คำปรึกษาในการจัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุทฤต ปานชลธิบ หน้าที่ ดำเนินงานบริหารจัดการวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อมให้เป็นไปตามนโยบายของวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

<http://jeet.siamtechu.net>

เจ้าของ

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600 โทรศัพท์ 02-878-5000

การส่งบทความ

ส่งไฟล์ทาง E-mail (MS Word และ PDF) ไปที่ทางเว็บไซต์ของวารสาร <http://jeet.siamtechu.net/>

และ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JEET/index>

พิมพ์ที่

บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอเรชั่น จำกัด

99/164 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

โทรศัพท์ 02-575-1791 โทรสาร 02-575-1793 เว็บไซต์ www.protexts.com

สำนักงาน

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

เลขที่ 46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600 โทรศัพท์ 02-878-5035

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาม

รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงศ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริ สายสร

รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ ดวงเดือน

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปรากการเจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ด่วงทองสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ

รองศาสตราจารย์ ดร.สายพิน ไชยพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุโกศล วโนทยาพิทักษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา สารานันท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิธ แต่งศรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ ติรอต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาณิช นิลนนท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์ สงค์แสงยศ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิทธิพันธ์ ไชยพันธ์

ดร.สุทธิลักษณ์ ชุนประวัตติ

ดร.กฤติเดช ดวงใจบุญ

ดร.กนกอร รจนากิจ

ดร.ดิณณภาพ จุ่มอิน

ดร.กวิณเวทย์ พิพิธนันทนธร

ดร.ทรงพล นครศรีเรืองศักดิ์

อาจารย์วิษณุ บุญมาก

อาจารย์ปิยะนัฐ ใจตรง

อาจารย์เฉลิมพล เมืองลือ

อาจารย์เลอชัย กิรสมุทธานนท์

อาจารย์จิรวัดน์ กรุณา

อาจารย์สงกรานต์ ภารกุล

อาจารย์กัญญ์ สุริยันต์

มหาวิทยาลัยปทุมธานี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

มหาวิทยาลัยธนบุรี

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก

มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก

มหาวิทยาลัยธนบุรี

มหาวิทยาลัยธนบุรี

มหาวิทยาลัยปทุมธานี

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

หน้าที่

1. ให้ข้อคิด แนวทาง คำปรึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะในการดำเนินการจัดทำวารสารให้มีคุณภาพ เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้การดำเนินงานจัดทำวารสารสำเร็จลุล่วงด้วยดี
2. พิจารณาและประเมินบทความที่ส่งเข้าสู่กระบวนการของวารสารตามความเหมาะสม

ฝ่ายประสานงานและเลขานุการกองบรรณาธิการ

ดร.จุฑารัตน์ แก้วบุญชู

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อาจารย์ชลิตา โปะมา

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Reviewers) ปีที่ 11 ฉบับที่ 2

รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา สารานพรัตน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัตนา สิริสุนทรรัตน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ภูเกล้าวัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ภูสมมา

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำโชค วัฒนชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ดร.อังคณา เกะแก้ว

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ดร.ชนากานต์ จรเสถียร

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ดร.ธัญยธรณ์ วราพงศ์พิศาล

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ดร.ทรงพล นครเศรษฐ์ศักดิ์

มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์ปางกอก

ดร.กวินเวทย์ พิพิธนาชนนธร

มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์ปางกอก

ดร.กฤษฎา เครือชาลี

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ดร.ธนเสฏฐ์ อัคคิณญ์ภูติส

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ดร.สุทธิลักษณ์ ชุนประวัตติ

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ดร.กฤติเดช ดวงใจบุญ

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ดร.ไพโรจน์ หอมอ่อน

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ดร.ดิณณภพ จุ่มอิน

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ดร.วิศวะ มาลากรรณ

นักวิจัยอิสระ

ดร.พิภพรา มยุระฉายากุล

นักวิจัยอิสระ

ดร.ลักษิกา อ่องทิพย์

นักวิจัยอิสระ

ดร.กนกอร รจนากิจ

มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

อาจารย์ปิยะนัฐ ใจตรง

มหาวิทยาลัยธนบุรี

อาจารย์สงกรานต์ ภารกุล

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อาจารย์กำจัด ใจตรง

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อาจารย์ภัทรมนตร์ ธนเดชา

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อาจารย์ศิววัฒน์ สุโรติเวศย์

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

อาจารย์เฉลิมพล เมืองลือ

มหาวิทยาลัยปทุมธานี

บทบรรณาธิการ

ในสถานการณ์ปัจจุบัน แนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีได้เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ให้ความสำคัญกับการประหยัดพลังงาน การรักษาสິงแวดล้อม และลดผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานสะอาดจึงถือเป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ในฐานะที่วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามได้มุ่งมั่นในการส่งเสริมองค์ความรู้ด้านนี้อย่างต่อเนื่อง วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 2 ประจำปีที่ 11 เดือนกรกฎาคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 นี้ ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความวิชาการที่ครอบคลุมหลากหลายสาขา ทั้งด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม เพื่อตอบสนองความท้าทายของการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามให้ความสำคัญในการผสนองค์ความรู้เพื่อประโยชน์ต่อสังคม นำเสนอความคิดสร้างสรรค์ และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมในบริบทปัจจุบัน ส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันเพื่อมุ่งเน้นให้เกิด “คุณค่า” แก่สังคมและประเทศชาติอย่างยั่งยืน วารสารฉบับนี้จึงเป็นส่วนสำคัญที่แสดงถึงความก้าวหน้าในงานวิจัยที่สอดคล้องกับการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานสะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

กองบรรณาธิการยินดีรับบทความที่มีความประสงค์จะเผยแพร่และตีพิมพ์ผลงาน เพื่อเป็นศูนย์กลางในการเผยแพร่ และเป็นที่ยึดเหนี่ยวกันยิ่งขึ้น โดยขอความร่วมมือผู้ส่งบทความให้ปฏิบัติตามรายละเอียดและกฎเกณฑ์ของวารสารอย่างเคร่งครัดเพื่อรักษามาตรฐานของวารสารวิชาการ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ คณะที่ปรึกษา และผู้อ่านทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการสร้างคุณค่าให้แก่วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม เราหวังว่าวารสารนี้จะเป็นแหล่งความรู้และแรงบันดาลใจให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐกฤต ปานขลิบ

บรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
1. ผลกระทบของความเร็วลมทางออกและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของพัดลมเย็นด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ นพรัตน์ สีหะวงษ์ ปฐมศก วิไลพล และ ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์	1
2. การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวกรณีศึกษาเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก บุญเชิด หนูอิม	12
3. การพัฒนานวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษابันเทิงเพื่อส่งเสริมความรู้เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง นุชรรัตน์ นุชประยูร	28
4. การวิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการขนส่งสินค้า กรณีศึกษา บริษัท ภัทรพล ทรานสปอร์ต จำกัด พลกฤต กลั่นแก้วดำรง และ ฉมาธร กุญศรีกุล	40
5. การประเมินและการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) จากภาคการขนส่ง ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม กฤษฎา เครือชาลี โอภาส กิจกำแหง และ วรณลักษณ์ อภินาวิน	50
6. การพัฒนากระบวนการแปรรูปสาหร่ายด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมีเพื่อการสกัดเซลล์ลูไลส อดุลย์สมาน สุขแก้ว ศศมล ผาสุข และ ปัทมณัฏฐ์ ถกลภักดี	66
7. การเปรียบเทียบปริมาณผลผลิต ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเปลือกและเมล็ดลูกหยีที่ได้จากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน อดุลย์สมาน สุขแก้ว ปัทมณัฏฐ์ ถกลภักดี และ ศศมล ผาสุข	77
8. การพัฒนารูปแบบการจัดการประหยัพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทย ในอนาคต ชรินทร์ มาประสม อีลีหะ สนิโซ และ วิชิต เรืองแป้น	86
9. การประยุกต์ใช้ทออลมนวัตกรรมใหม่เพื่อเพิ่มศักยภาพการทำงานของระบบปรับอากาศ ภัทรมนตร์ ธนเดชา	98
10. ระบบจ่ายน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลักดันความเค็มในดินสำหรับการปลูกผัก ประสิทธิ์ ภูสมมา สถาพร เจริญศุภโชคกุล ชัยยุทธ แม้นสมุทร และ วัฒนา สมานจิตร์	107

ผลกระทบของความเร็วลมทางออกและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของพัดลมเย็นด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

EFFECTS OF OUTLET AIR VELOCITY AND COOLING WATER TEMPERATURE OF AIR COOLER WITH CLOSED-LOOP OSCILLATING HEAT PIPES

นพรัตน์ สีหะวงษ์¹ ปฐมศก วิลไลพล¹ และ ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ^{1*}

Nopparat Seehawong¹, Patomsok Wilaipon¹ and Piyanun Charoensawan^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

* Corresponding Author E-mail: piyanunc@nu.ac.th

Received June 20, 2024; Revised August 15, 2024; Accepted August 22, 2024

บทคัดย่อ

พัดลมเย็นต้นแบบขนาด 355 × 300 × 700 มิลลิเมตร ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสร้างจากท่อคาปิลลารีทองแดง แทนแผงรังผึ้ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 มิลลิเมตร ภายในท่อความร้อนใช้สารทำงาน R-134a ทำการศึกษาเชิงการทดลองถึงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะการทำความเย็นของพัดลมเย็น คือ อัตราการไหลอากาศ อุณหภูมิน้ำเย็น และจำนวนท่อความร้อน โดยทำการทดสอบที่ความเร็วพัดลมในช่วงระหว่าง 3.5 เมตรต่อวินาที ถึง 4.2 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 6 องศาเซลเซียส ถึง 21 องศาเซลเซียส ท่อความร้อนประกอบด้วย 2 และ 4 ชุด ท่อ พบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วลมของ 2 และ 4 ชุดท่อ การเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการทำความเย็นของท่อความร้อนลดลง การเพิ่มท่อความร้อนเป็น 4 ท่อจะให้ผลลัพธ์ดีกว่าการใช้ 2 ท่อ และที่อัตราส่วนความชื้นอากาศขาออก เมื่อใช้ท่อความร้อนจะมีค่าลดลงเพียงร้อยละ 6.6 ของอัตราส่วนความชื้นอากาศขาเข้า

คำสำคัญ: พัดลมเย็น ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ สมรรถนะทางความร้อน

Abstract

The air cooler original size 355 × 300 × 700 mm. The closed-loop Oscillating heat pipe (CLOHP) built from copper capillary pipes instead of cooling pad and contains R134a as working fluid. The effects of various parameters i.e., The Air flow rate, The water temperature and the number of heat pipes, The tests fan speed between 3.5 m/s to 4.2 m/s at cold water temperatures in the range of 6°C to 21°C. The CLOHP consists of 2 and 4 sets of heat pipes. The heat transfer rate decreased when increase air velocity for 2 and 4 sets of pipes. Increasing the cold-water temperature of both 2 and 4 heat pipe sets to have lower heat transfer rates and effectiveness decreased. Adding 4 heat pipes is better than using 2 heat pipes, and at the out-air humidity ratio, when using heat pipes, the value is reduced by 6.6% In air humidity ratio.

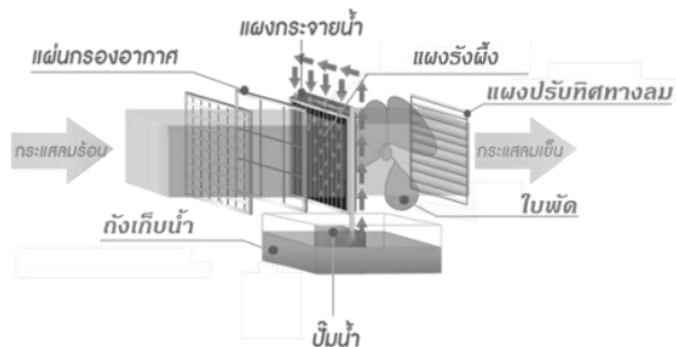
Keywords: Air cooler, closed-loop oscillating heat pipe, Thermal performance

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนสูงขึ้น เนื่องจากสภาวะโลกร้อน (Global warming) มนุษย์ส่วนใหญ่จึงมีการหันมาใช้เครื่องปรับอากาศมากขึ้น เครื่องปรับอากาศ (Air conditioner) โดยหลักการทำงาน คือ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ดูดและอัดสารทำความเย็นเพื่อเพิ่มความดันของสารทำความเย็นส่งต่อเข้าคอยล์ร้อน (Condenser) สารทำงานจะไหลผ่านแผงคอยล์ร้อน ระบายความร้อนด้วยพัดลมช่วยลดอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ จากนั้นส่งต่อไปให้กับอุปกรณ์ลดความดัน (Expansion valve) สารทำงานที่ไหลผ่านอุปกรณ์จะมีความดันและอุณหภูมิลดลง แล้วไหลเข้าสู่คอยล์เย็น (Evaporator) สารทำงานจะไหลผ่านแผงคอยล์เย็นโดยมีพัดลมเป่าเพื่อดูดซับความร้อนภายในห้องทำให้อุณหภูมิภายในห้องลดลง ซึ่งทำให้สารทำงานที่ออกจากคอยล์เย็นมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น จากนั้นจะถูกส่งกลับเข้าคอมเพรสเซอร์เพื่อทำงานเป็นวัฏจักร [1] ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศมีราคาที่สูงขึ้น สำหรับใช้ภายในที่อยู่อาศัยหรืออาคารในระบบปิด และต้องใช้พลังงานในการทำงานของระบบที่สูง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าสูงตามมาด้วย พัดลมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถประหยัดพลังงานและมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศ

พัดลม (Fan) เป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า มีหลักการทำงาน คือ ให้มอเตอร์ขับใบพัดให้หมุนลมที่พัดผ่านออกมา จะมีความเร็วที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิเท่ากับอากาศโดยรอบ ด้วยราคาที่ถูกลงและใช้งานได้ง่ายเคลื่อนย้ายสะดวก ทั้งยังช่วยลดปัญหาการใช้พลังงานที่สูงในเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นพัดลมจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีสำหรับอุปกรณ์ในการช่วยคลายร้อน แต่ถ้าหากอากาศโดยรอบมีอุณหภูมิสูงลมที่ออกจากพัดลมจะมีอุณหภูมิสูงเช่นเดียวกัน

ปัจจุบันมีการพัฒนาพัดลมแบบเดิมกลายเป็นพัดลมไอเย็น เพื่อแก้ปัญหาในส่วนนี้ พัดลมไอเย็น (Hydro air) เป็นพัดลมที่ทำงานผ่านระบบการระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) เป็นหลักการทำงานวิธีทางธรรมชาติ ที่ใช้น้ำในการลดอุณหภูมิของอากาศ โดยการแบ่งอนุภาคของน้ำให้มีขนาดเล็ก (เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น) เมื่ออากาศร้อนไหลผ่านพื้นผิวน้ำ อากาศร้อนส่วนหนึ่งจะถูกน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าดูดความร้อน (Latent heat) และน้ำบางส่วนที่ได้รับความร้อนจะกลายเป็นไอ ผลที่ได้คือ อุณหภูมิอากาศร้อนจะลดลง แต่จะมีปริมาณไอน้ำในอากาศที่เพิ่มขึ้น หลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 หลักการทำงานของพัดลมไอเย็น [2]

ปั๊มน้ำขนาดเล็กทำหน้าที่ดึงน้ำจากถังเก็บน้ำซึ่งอยู่ด้านล่างบรรจุน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ ขึ้นไปยังแผงกระจายน้ำด้านบน เพื่อให้มีอนุภาคน้ำที่เล็กลง จากนั้นน้ำจะถูกกระจายผ่านแผงรังผึ้ง (Cooling pad) ด้วยแรงโน้มถ่วง และในส่วนนี้เมื่อลมร้อนจากภายนอกถูกดูดผ่านแผ่นกรอง (Filter) หลังจากนั้นไหลสัมผัสกับแผงรังผึ้งทำให้น้ำดึงเอาความร้อนจากอากาศมาใช้ในการระเหย เมื่ออากาศถูกดึงความร้อนจะทำให้อุณหภูมิลดลง ซึ่งความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศของพัดลมไอเย็นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมของอากาศที่ไหลผ่านแผงรังผึ้งในขณะนั้น ต่อมาพัดลมจะดูดอากาศที่ผ่านแผงรังผึ้งและผ่านแผงตะแกรงปรับทิศทางลม (Grille) ลมที่ออกมาจะมีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งพัดลมไอเย็น

ใช้พลังงานในการทำงานที่ต่ำกว่าเครื่องปรับอากาศทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ทั้งยังใช้งานง่ายเคลื่อนย้ายสะดวก รวมถึงการดูแลและบำรุงรักษาง่าย แต่ลมเย็นที่ออกมาปริมาณไอน้ำในอากาศที่เพิ่มขึ้นหรือความชื้นสูง หากมีใช้งานในห้องปิดเป็นเวลานาน อาจเกิดกลิ่นอับชื้นและอาจมีปัญหาเรื่องเชื้อโรคและเชื้อราตามมาได้ ในงานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาพัดลมไอเย็นด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนส่งถ่ายความร้อนระหว่างน้ำเย็นกับอากาศเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความชื้นที่เพิ่มขึ้นจากอากาศที่ไหลผ่านสัมผัสกับน้ำโดยตรงและปัญหาดังกล่าวข้างต้น

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับพัดลมเย็นด้วยท่อความร้อนแบบส่นวงรอบยังมีน้อยมาก โดยก่อนหน้านี้มีงานวิจัยเกี่ยวกับท่อความร้อน นั่นคือ Charoensawan และคณะ (2003) [3] ได้ศึกษาทดลองท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ โดยนำท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 2.0 มิลลิเมตร และ 1.0 มิลลิเมตร ให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อน อุณหภูมิคงที่และระบายความร้อนด้วยอ่างน้ำเย็นอุณหภูมิคงที่ที่ผสมเอทิลีนไกลคอล (Water-ethylene glycol ร้อยละ 50 โดยปริมาตร) สารทำงานที่ใช้ คือ น้ำ เอทานอลและ R-123 พบว่า ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.0 มิลลิเมตร สารทำงานชนิดน้ำให้สมรรถนะการทำงานสูงกว่าเมื่อเทียบกับ R-123 และเอทานอล ในทางกลับกันสำหรับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 มิลลิเมตร สารทำงานชนิด R-123 และเอทานอลให้สมรรถนะการทำงานสูงกว่าเมื่อเทียบกับน้ำ และผลต่างอุณหภูมิที่กำหนดสมรรถนะจะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่วางตัวอยู่ในแนวระดับมีการทำวิจัยไว้โดย Charoensawan และ Terdtoon (2008) [4] โดยนำท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร ความยาวส่วนระเหย 50 และ 150 มิลลิเมตร และจำนวนโค้งเลี้ยว 5 11 16 และ 26 รอบ โดยสารทำงานที่ใช้คือ น้ำกลั่นและเอทานอลบริสุทธิ์ ที่อัตราส่วนการเติมต่างๆ ได้แก่ ร้อยละ 30 50 และ 80 ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด ทำการทดสอบที่อุณหภูมิส่วนระเหยตั้งแต่ 40–90 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นทีละ 10 องศาเซลเซียส พบว่า สำหรับท่อความร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.0 มิลลิเมตร สารทำงานที่เหมาะสมคือน้ำ ตรงกันข้ามกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 มิลลิเมตร สารทำงานที่เหมาะสม สามารถใช้ทั้งน้ำและเอทานอล สมรรถนะที่ดีที่สุดของท่อความร้อนอยู่ที่จำนวนโค้งเลี้ยว 26 รอบ สำหรับท่อความร้อนที่มีความยาวส่วนระเหย 150 มิลลิเมตร อัตราส่วนการเติมที่เหมาะสมคือร้อยละ 30 ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด สำหรับท่อความร้อนที่มีความยาวส่วนระเหย 50 มิลลิเมตร อัตราส่วนการเติมที่เหมาะสมคือร้อยละ 30 และ 50 ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด สำหรับการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบของการจัดการความร้อนของการระบายความร้อน CPU มีการทำวิจัยไว้โดย Siricharoenpanich และคณะ (2019) [5] ใช้ท่อความร้อนแบบส่นที่ไม่มีวัสดุพูนและวัสดุพูน สารทำงานที่ใช้ R-11 R-134a และเอทานอล มุมการเอียง (0 30 60 และ 90 องศา) มีอัตราส่วนการเติมคงที่ที่ร้อยละ 50 ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด พบว่า ที่มุมเอียง 30 องศา และ 60 องศา ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบที่ติดตั้งในแนวตั้งและแนวระดับ (0 องศา และ 90 องศา) สารทำงานที่เหมาะสมในการระบายความร้อน คือ R-134a เมื่อเทียบกับ R-11 และเอทานอล สำหรับการเพิ่มภาระของคอมพิวเตอร์จะส่งผลให้อุณหภูมิของ CPU สูงขึ้นตามไปด้วย และท่อความร้อนแบบที่มีวัสดุพูนช่วยให้อุณหภูมิของ CPU ต่ำกว่าท่อความร้อนที่ไม่มีวัสดุพูน และสำหรับการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบส่น ได้ศึกษาทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพร้อมท่อความร้อนแบบส่น มีการทำวิจัยไว้โดย H. Yang และคณะ (2019) [6] โดยใช้ท่อความร้อนแบบส่นจำนวน 40 ท่อ มีความยาว 21.6 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.0 มิลลิเมตร และจำนวนโค้งเลี้ยว 40 รอบ สารทำงานที่ใช้คือ R-134a ด้วยอัตราส่วนการเติมคงที่ร้อยละ 50 ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด อุณหภูมิของอากาศภายนอกถูกควบคุมอยู่ในช่วง 30-45 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารคงที่เท่ากับ 26 องศาเซลเซียส ความเร็วมถูกควบคุมไว้ที่ 1.0 ถึง 3.5 เมตรต่อวินาที และมุมการติดตั้งแตกต่างกันตั้งแต่ 0-90 องศา พบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพร้อมท่อความร้อนแบบส่นอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 30-50 การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศบริสุทธิ์ทำให้ประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด การเพิ่มความเร็วม (ปริมาตรอากาศ) ค่าความจุการนำกลับมาใช้ใหม่มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่มีค่าลดลง ในขณะที่ผลต่างความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นควรเลือกใช้ระดับความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในการระบายความร้อนของหลอดไฟ LED มีการศึกษาโดย Y.Tang และคณะ (2021) [7] ได้มีการ

เสนอและทดสอบการออกแบบท่อความร้อนแบบใหม่ที่จะช่วยระบายความร้อนขนาดเล็ก (HPACHS) สำหรับการกระจายความร้อนออกจาก LED แรงสูง ข้อมูลอุณหภูมิในส่วนต่างๆของแผงระบายความร้อนได้รับการบันทึกภายใต้กำลังไฟฟ้าขาเข้าของหลอด LED อยู่ระหว่าง 18–34 วัตต์ โดยเพิ่มขึ้นทีละ 4 วัตต์ ผลการวิจัยพบว่าเมื่อใช้ท่อความร้อนช่วยระบายความร้อน การปรับการใช้พลังงานขาเข้าหลอด LED ถึง 34 วัตต์ พบว่าอุณหภูมิฐานของหลอด LED สามารถระบายความร้อนได้อย่างปลอดภัยที่ 100.32 องศาเซลเซียส และมีการศึกษาการลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาและภายในอาคารโดยการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวรอบกับหลังคาในงานวิจัยของ L.H. Saw และคณะ (2021) [8] ได้ออกแบบและทดสอบระบบหลังคา โดยการนำระบบท่อความร้อนแบบสั่นวรอบที่สร้างจากท่อคาปิลลารีทองแดงมาประยุกต์ใช้เข้ากับระบบหลังคาโลหะแบบเปลือย ใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระบบหลังคาทำความเย็นท่อความร้อนแบบสั่นวรอบสามารถลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาจาก 34 องศาเซลเซียส เป็น 29.6 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละ 12.94 และเป็นระบบที่ออกแบบง่ายและมีค่าใช้จ่ายน้อย และนอกจากนี้ Calautit และคณะ (2020) [9] ทำการศึกษาตรวจสอบความสบายเชิงความร้อนและคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีการระบายความร้อนด้วย Windcatcher ร่วมกับท่อความร้อนพร้อมติดตั้ง โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข อุโมงค์ลมและการทดสอบภาคสนามที่ UAE ช่วงฤดูร้อน พบว่า การเพิ่มท่อความร้อนและพื้นผิวครีป ทำให้การไหลของอากาศผ่าน Windcatcher ลดลง แต่ไม่ได้ขัดขวางการไหลของอากาศแม้ที่ความเร็วมกลางแจ้งต่ำ และข้อมูลการทดสอบภาคสนามพบว่า สมรรถนะการระบายความร้อนของระบบท่อความร้อนใน Windcatcher สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยเพิ่มครีป

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด จะเห็นว่าพัฒมเย็นด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวรอบยังไม่ได้มีการศึกษาไว้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงต้องการวิเคราะห์ผลของความเร็วมทางออกและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของพัฒมเย็นด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวรอบนี้

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ท่อความร้อนแบบสั่นวรอบ

ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนทำระเหยเป็นแหล่งรับความร้อนภายนอก ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนและส่วนควบแน่นเป็นแหล่งระบายความร้อนออก และแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามโครงสร้างของท่อ ดังแสดงในภาพที่ 2 ดังนี้

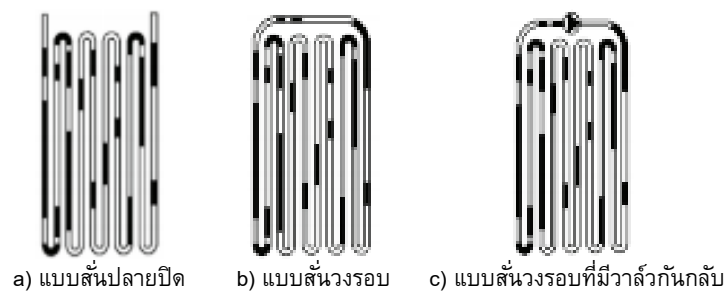
1) ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed-end oscillating heat pipe, CEOHP) สร้างจากท่อคาปิลลารียาวท่อเดียวที่มีการปิดปลายท่อทั้งสองข้างแยกจากกัน ในกรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานตามแนวแกนท่อเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยการสั่นจะถูกกระตุ้นโดยการผันผวนของคลื่นความดันอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากการเดือดของฟองในของไหลทำงาน

2) ท่อความร้อนแบบสั่นวรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP) สร้างจากจากท่อคาปิลลารียาวท่อเดียวที่มีการเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเป็นวงรอบการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานร่วมกับการไหลเวียนของสารทำงานผ่านโค้งเลี้ยวต่างๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง

3) ท่อความร้อนแบบสั่นวรอบที่มีวาล์วกักเก็บกลับ (Closed-loop oscillating heat pipe with check valves, CLOHP/CV) มีลักษณะเป็นท่อคาปิลลารีขนาดเล็กขดกลับไปกลับมาปลายท่อทั้งสองด้านเชื่อมต่อกันเป็นวงรอบและติดตั้งวาล์วกักเก็บ ไว้ตรงตำแหน่งส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนสำหรับควบคุมทิศทางการไหลของสารทำงานภายในท่อ เพื่อให้มีการไหลไปในทิศทางเดียวกันการติดตั้งวาล์วกักเก็บไว้ที่ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ข้อดีของท่อความร้อนแบบสั่น คือ ไม่ต้องใช้วัสดุพุนภายในท่อเพราะอาศัยการเคลื่อนที่แบบสั่นเนื่องจากผลต่างความดันในการทำงานของสารทำงาน ถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้นโดยเพิ่มจำนวนโค้งเลี้ยวให้มีพื้นที่สัมผัสในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนแบบธรรมดาที่มีวัสดุพุนและแบบเทอร์โมไซฟอน ท่อความร้อนแบบสั่นสร้างได้

ง่ายเนื่องจากไม่มีวัสดุพูนเมื่อเทียบกับท่อความร้อนแบบธรรมดาที่มีวัสดุพูน สามารถทำงานได้ทุกระนาบเมื่อเทียบกับเทอร์โมไซฟอน และท่อความร้อนแบบสั่นไร้ขีดจำกัดในการถ่ายเทความร้อน

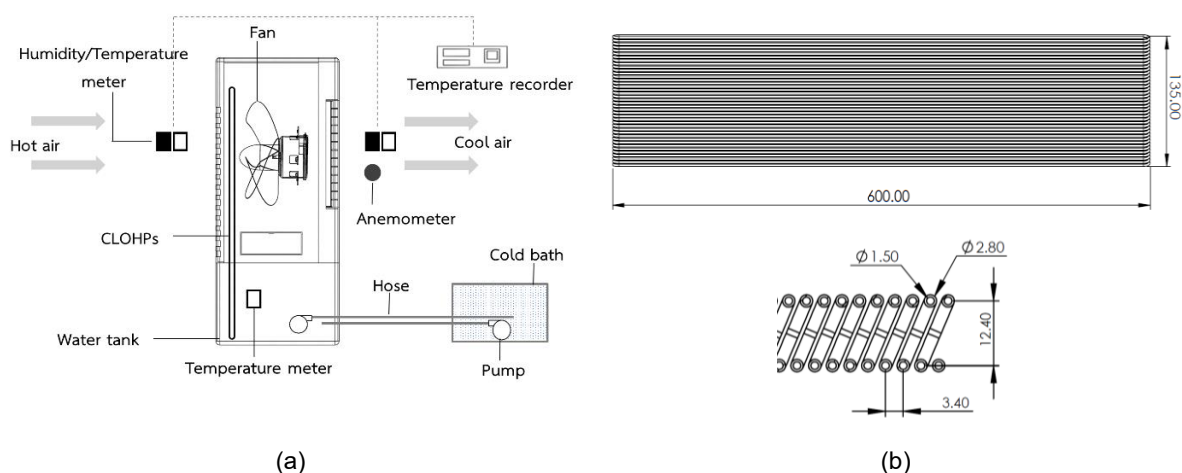
จากการเปรียบเทียบท่อความร้อนทั้ง 3 ชนิด เลือกท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ เนื่องจากข้อได้เปรียบที่เหนือกว่าเมื่อเทียบกับท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดและท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดวาล์วกันกลับคือ การไหลเวียนของสารทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีความเป็นอิสระมากกว่า ดังแสดงในภาพที่ 2 เนื่องจากท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด ปลายทั้งสองข้างไม่ได้ติดกันทำให้การไหลเวียนไม่เป็นอิสระ สำหรับท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดวาล์วกันกลับ การสร้างและออกแบบมีความซับซ้อนยุ่งยาก เนื่องจากท่อบางขนาดเล็กจึงอาจทำให้เกิดการอุดตันบริเวณวาล์วกันกลับซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน



ภาพที่ 2 ชนิดของท่อความร้อนแบบสั่น [10]

2.2 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองดังแสดงภาพที่ 3(a) ประกอบด้วย ชุดพัดลมเป็นต้นแบบที่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบอยู่ภายในเครื่อง สายยางซิลิโคน (Hose) ที่ต่อเข้ากับอ่างน้ำเย็น (Cold Bath) และปั้มน้ำ (Pump) ของชุดพัดลมเป็นต้นแบบ เครื่องวัดความเร็วม (Anemometer) เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิอากาศ (Humidity/Temperature Meter) และเครื่องวัดอุณหภูมิน้ำ (temperature meter)



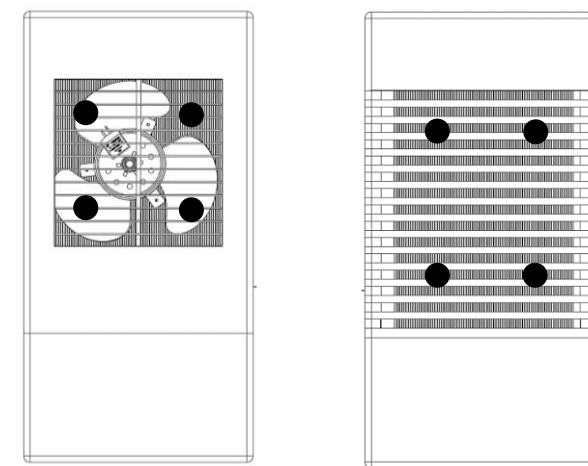
ภาพที่ 3 (a) อุปกรณ์การทดลองทั้งหมด (b) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่สร้างมาจากท่อคาปิลลารีทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.8 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 มิลลิเมตร นำมาขดให้เป็นวงรอบ โดย 1 ชุดท่อจะมีความยาว 600 มิลลิเมตร และกว้าง 135 มิลลิเมตร ระยะโค้งเลี้ยว 12.40 มิลลิเมตร แต่ละท่อมีขนาดห่างกัน 3.4 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3(b) นอกจากนี้ พัดลมเป็นต้นแบบขนาด 355 × 300 × 700 มิลลิเมตร ภายในประกอบด้วยใบพัดขนาด 250 มิลลิเมตร อยู่ตรงช่อง

จ่ายลมหน้า สำหรับช่องจ่ายลมเป็นแบบบานเกล็ดมีขนาด 260×260 มิลลิเมตร ตัวถังมีความจุได้ 14 ลิตร แผงควบคุมที่อยู่ด้านบนตัวเครื่องสามารถปรับระดับความเร็วลมได้ 3 ระดับ คือ สูง กลาง และต่ำ ส่วนภาพที่ 4 แสดงการติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับพัดลมเย็นที่สร้างขึ้นจริง โดยนำท่อความร้อนมาติดตั้งด้านหลังพัดลมเย็น ให้ส่วนควบแน่นอยู่ภายในถังเก็บน้ำเย็นด้านล่าง และส่วนทำระเหยจะอยู่ด้านบนเพื่อให้อากาศไหลผ่าน



(a) ด้านหน้าพัดลมเย็นสำหรับ
อากาศขาออก (b) ด้านหลังพัดลมเย็นสำหรับ
ดูดอากาศขาเข้า
ภาพที่ 4 การติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับพัดลมเย็น



● แสดงตำแหน่งในการวัด

(a) ด้านหน้าพัดลมเย็นสำหรับ
อากาศขาออก (b) ด้านหลังพัดลมเย็นสำหรับ
ดูดอากาศขาเข้า

ภาพที่ 5 ตำแหน่งของการวัดค่าตัวแปรต่างๆ ในแต่ละจุด

ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของพัดลมเย็นที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ โดยการติดตั้งชุดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบจำนวน 2 ชุดท่อในพัดลมเย็น ดังแสดงภาพที่ 3(a) จากนั้นเปิดอ่างน้ำเย็นให้เครื่องทำงานโดยการปรับให้มีอุณหภูมิน้ำเย็น 6 องศาเซลเซียส รออ่างน้ำเย็นมีอุณหภูมิน้ำคงที่ 15 นาที จากนั้นเปิดปั๊มน้ำขนาด 12 วัตต์ ปล่อยน้ำเข้าและออกระบบผ่านสายยางซิลิโคน น้ำเย็นจะไหลเวียนกันระหว่างถังเก็บน้ำในพัดลมเย็นและอ่างน้ำเย็น เปิดเครื่องพัด

ลมเย็นปรับความเร็วของพัดลมไปที่ระดับความเร็วต่ำ บันทึกค่าอุณหภูมิน้ำเย็นที่ถังเก็บน้ำของพัดลมเย็นโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิน้ำ (Temperature meter) และใช้เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิอากาศ (Humidity/ Temperature Meter) วัดค่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าและความชื้นสัมพัทธ์เข้าตามตำแหน่งในภาพที่ 5(b) และความเร็วอากาศขาออก อุณหภูมิอากาศขาออกและความชื้นสัมพัทธ์ขาออกตำแหน่งในภาพที่ 5(a) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นทำการเปลี่ยนระดับความเร็วพัดลมเป็นระดับความเร็วกลางและสูง พร้อมกับทำการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิน้ำเย็นไปที่ 11 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ และเปลี่ยนชุดท่อความร้อนเป็น 4 ชุดท่อความร้อน หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งมีการพิจารณาถึงค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด มาคำนวณคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดได้จาก

$$\dot{Q} = \dot{m} (h_{in} - h_{out}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{max} = \dot{m} (h_{in} - h_{out,min}) \quad (2)$$

เมื่อ $\dot{Q}$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (กิโลวัตต์)
$\dot{Q}_{max}$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (กิโลวัตต์)
$\dot{m}$	คือ อัตราการไหลเชิงมวลอากาศ (กิโลกรัมต่อวินาที)
h_{in}	คือ เอนทาลปีทางเข้า (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
h_{out}	คือ เอนทาลปีทางออก (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
$h_{out,min}$	คือ เอนทาลปีทางออกที่น้อยที่สุด (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

คำนวณหาอัตราส่วนความชื้นได้จาก

$$\Delta\omega = \omega_{in} - \omega_{out} \quad (3)$$

เมื่อ $\Delta\omega$	คือ ปริมาณไอน้ำที่ลดลง
ω_{in}	คือ ปริมาณไอน้ำที่ตำแหน่งขาเข้า
ω_{out}	คือ ปริมาณไอน้ำที่ตำแหน่งขาออก

คำนวณหาประสิทธิภาพการทำความเย็น (Effectiveness, ε)

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \quad (4)$$

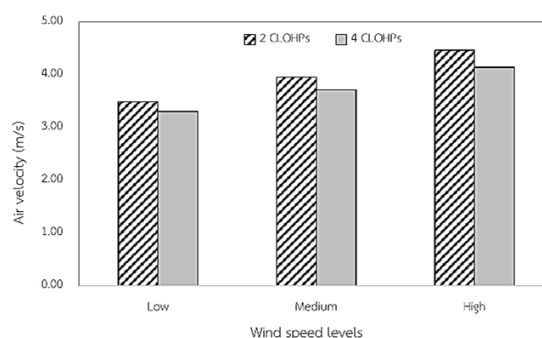
เมื่อ ε	คือ ประสิทธิภาพการทำความเย็น
$\dot{Q}$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (กิโลวัตต์)
$\dot{Q}_{max}$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (กิโลวัตต์)

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลกระทบของความเร็วลมต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการทำความเย็น

ตัวแปรที่ต้องการศึกษาประกอบด้วย ระดับความเร็วลมของพัดลมเย็น อุณหภูมิน้ำเย็น ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการทำความเย็นของพัดลมเย็น และค่าความชื้นในอากาศของการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

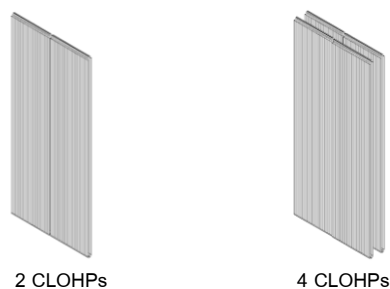
จากภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมของพัดลมเย็นและจำนวนชุดท่อความร้อนเปรียบเทียบค่าความเร็วที่ได้จากการใช้ชุดท่อความร้อนทั้ง 2 และ 4 ชุดท่อ ตามลำดับ การใช้ท่อความร้อน 4 ชุดท่อกมีค่าความเร็วลมทางออกที่ระดับความเร็วพัดลมต่ำ เท่ากับ 3.3 เมตรต่อวินาที เมื่อระดับความเร็วพัดลมเพิ่มขึ้นเป็นระดับกลางและระดับสูง การใช้แบบ 4 ชุดท่อความร้อนจะมีค่าความเร็วลมเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 3.7 และ 4.1 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ส่วนในการใช้ท่อความร้อนแบบ 2 ชุดท่อกมีค่าความเร็วลมมากที่สุดอย่างเห็นได้ชัดในทุกระดับความเร็วพัดลมซึ่งมีค่าอยู่ที่ 3.5 4.0 และ 4.5 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ค่าความเร็วลมทางออกของพัดลมเย็นที่ระดับความเร็วพัดลมระหว่าง 3.5 เมตรต่อวินาที ถึง 4.2 เมตรต่อวินาที ที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

ดังนั้นการเลือกใช้งานจำนวนชุดท่อความร้อนหรือการใช้แผงรังผึ้งมีผลกับค่าความเร็วลมของอากาศ เนื่องจากการใช้ท่อความร้อนจำนวน 2 ชุดท่อ จะเกิดช่องว่างในการไหลผ่านของอากาศมากกว่าการใช้ท่อความร้อนจำนวน 4 ชุดท่อ ทำให้การใช้แบบ 2 ชุดท่อความร้อน อากาศสามารถไหลผ่านได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการใช้แบบ 4 ชุดท่อความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 7 ลักษณะของการจัดเรียงตัวของชุดท่อความร้อน

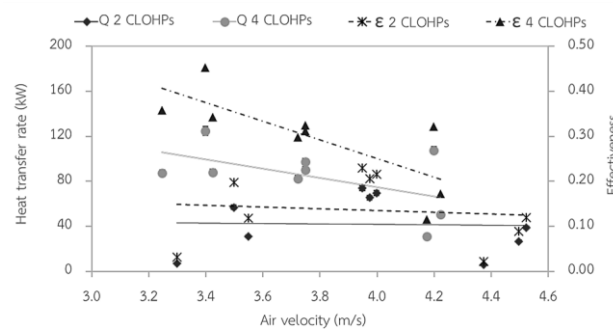
จากภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมทางออกของพัดลมเย็นต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น มีแนวโน้มเดียวกันคือ ท่อความร้อน 2 และ 4 ชุดท่อ เมื่อเพิ่มความเร็ว มีแนวโน้มให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการทำความเย็นมีค่าลดลง เนื่องจากลักษณะการจัดเรียงตัวของท่อความร้อน 2 และ 4 ชุดท่อ มีช่องว่างในการไหลผ่านของอากาศที่มาก จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่น้อย ดังนั้นผลของการเพิ่มค่าความเร็วลมและประสิทธิภาพการทำความเย็น ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก



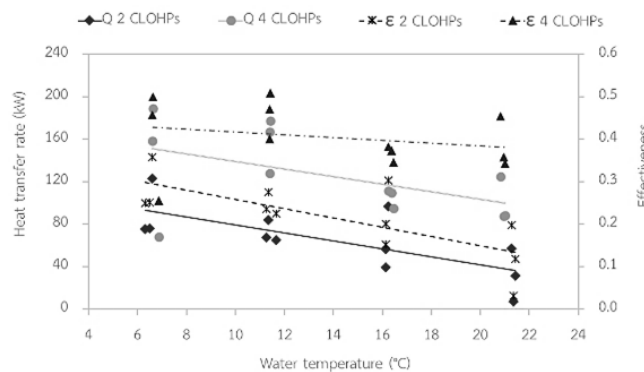
ภาพที่ 7 ลักษณะของการจัดเรียงตัวของชุดท่อความร้อนในเครื่องพัดลมเย็น

3.2 ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเย็นต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการทำความเย็นของพัดลมเย็นในการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นรอบสำหรับการทำความเย็น (CLOHP)

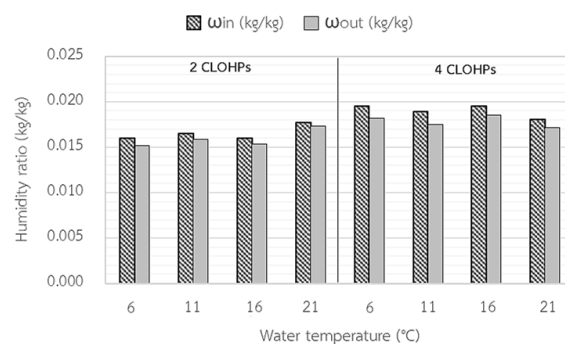
เนื่องจากผลของอุณหภูมิน้ำเย็นต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการทำความเย็นของพัดลมเย็นมีแนวโน้มในแนวเดียวกัน จึงพิจารณาที่ระดับความเร็วลมต่ำของพัดลมเย็นมาแสดงดังภาพที่ 9 เมื่ออุณหภูมิน้ำเย็นมีค่าเท่ากับ 6 องศาเซลเซียส ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนแบบการใช้ท่อความร้อนจำนวน 2 และ 4 ชุดท่อ มีค่าเท่ากับ 91 กิโลวัตต์ และ 138 กิโลวัตต์ ตามลำดับ จากนั้นการเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลง และเมื่ออุณหภูมิน้ำเย็น 21 องศาเซลเซียส อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนจำนวน 2 และ 4 ชุดท่อมียังค่าอยู่ที่ 32 กิโลวัตต์ และ 100 กิโลวัตต์ ตามลำดับ สำหรับค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของ 2 และ 4 ชุดท่อ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 6 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.30 และ 0.43 ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิน้ำเย็นเพิ่มขึ้นเป็น 21 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการทำความเย็นของชุดท่อความร้อนทั้ง 2 แบบ ลดลงเท่ากับ 0.14 และ 0.38 ตามลำดับ



ภาพที่ 8 ค่าความเร็วลมทางออกของพัดลมเย็นต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นและอัตราการถ่ายเทความร้อน



ภาพที่ 9 ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเย็นต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการทำความเย็น



ภาพที่ 10 ค่าอัตราส่วนความชื้นในอากาศขาเข้าและขาออกของพัดลมเย็นที่อุณหภูมิน้ำเย็นต่างๆ

3.3 การเปรียบเทียบค่าความชื้นในอากาศ สำหรับการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบของพัลลัมเย็น

เนื่องจากผลของค่าความชื้นในอากาศสำหรับการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบของพัลลัมเย็น มีแนวโน้มในแนวเดียวกัน จึงพิจารณาที่ระดับความเร็วมต่ำของพัลลัมเย็นมาแสดงดังภาพที่ 10 การใช้ท่อความร้อนจำนวน 2 ชุดท่อความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเย็นที่ 2 องศาเซลเซียส ค่าอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงอยู่ที่ร้อยละ 4.9 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 21 องศาเซลเซียส ค่าอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงอยู่ที่ร้อยละ 2.0 และสำหรับการใช้ 4 ชุดท่อความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเย็น 6 องศาเซลเซียส ค่าอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงอยู่ที่ร้อยละ 6.6 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 21 องศาเซลเซียส ค่าอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงอยู่ที่ร้อยละ 4.8 และเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกันระหว่างการใช้ 2 และ 4 ชุดท่อความร้อน จะเห็นได้ว่าการใช้ท่อความร้อนจำนวน 4 ชุดท่อจะมีค่าอัตราส่วนความชื้นในอากาศทั้งเข้าและออกที่สูงกว่าการใช้ท่อความร้อนจำนวน 2 ชุดท่อ เนื่องจากในการทดสอบการใช้ท่อความร้อนจำนวน 4 ชุดท่อนั้นทำการทดลองในช่วงวันเวลาที่มีสภาพอากาศที่แตกต่างกับการทดสอบการใช้ท่อจำนวน 2 ชุดท่อ

4. บทสรุป

จากการทดลองศึกษาพัลลัมเย็นด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ สรุปได้ว่า การเพิ่มความเร็วม (อัตราการไหลอากาศ) จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีผลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นสำหรับกรณีการใช้ชุดท่อความร้อน จะทำให้ผลต่างอุณหภูมิระหว่างอากาศร้อนและน้ำเย็นลดลง การส่งถ่ายความร้อนหรือการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มจำนวนชุดท่อความร้อนเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนทำให้อัตราการพาความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนชุดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเป็น 4 ชุดท่อ จะทำให้ของอัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการทำความเย็นของพัลลัมเย็นมีค่าสูงกว่า 2 ชุดท่อความร้อนทุกระดับความเร็วมพัลลัมและอุณหภูมิน้ำเย็น และอัตราส่วนความชื้นในอากาศขาออกของการใช้ท่อความร้อนจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าลดลงสูงสุดร้อยละ 6.6 ของอัตราส่วนความชื้นในอากาศขาเข้า

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wechillmart. (2020). How does the air conditioning system work, Retrieved September 16, 2019, from <https://www.wechillmart.com/blog/air-conditioning-system-work/>
- [2] Ingreen. (2018, April 4). Principle of Evaporative Cooling. Retrieved January 27, 2020, from <https://ingreen.co.th>
- [3] P. Charoensawan, et al. (2003). Closed loop pulsating heat pipes Part A: parametric experimental investigations. Appl. Therm. Eng, (23), 2009–2020.
- [4] P. Charoensawan and P. Terdtoon. (2008). Thermal performance of horizontal closed-loop oscillating heat pipes. Appl. Therm. Eng, (28), 460–466.
- [5] A. Siricharoenpanich, et al. (2019). Thermal management system of CPU cooling with a novel short heat pipe cooling system. Energy and building, (197), 100545.

- [6] H. Yang, et al. (2019). Experimental study on a pulsating heat pipe heat exchanger for energy saving in air-conditioning system in summer. *Energy and building*, (197), 1–6.
- [7] J.K. Calautit, et al. (2020). Numerical and experimental investigation of the indoor air quality and thermal comfort performance of a low energy cooling windcatcher with heat pipes and extended surfaces. *Renewable energy*, (145), 744-756.
- [8] Y. Tang, et al. (2021). Experimental investigation on active heat sink with heat pipe assistance for high-power automotive LED headlights. *Case Studies in Thermal Engineering*, (28), 1-10.
- [9] L.H. Saw, et al. (2021). Development of the closed loop pulsating heat pipe cool roof system for residential buildings. *Case Studies in Thermal Engineering*, (28), 1-11.
- [10] P. Charoensawan. (2012). Heat pipe technologies. Phitsanulok: Focus Printing.

การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวกรณีศึกษาเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก

ANALYSIS OF AREAS THAT HAVE THE POTENTIAL TO BE DEVELOPED INTO GREEN AREAS OF THE EASTERN ECONOMIC CORRIDOR

บุญเชิด หนูอิม^{1*}

Booncherd Nu-im^{1*}

¹คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

¹Faculty of Humanities and Social Science, Burapha University

*Corresponding Author E-mail: booncher@go.buu.ac.th

Received June 27, 2024; Revised September 26, 2024; Accepted September 29, 2024

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียว กรณีศึกษาเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจำแนกการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงปี พ.ศ. 2556 พ.ศ. 2559 พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2564 ในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก เพื่อเป็นแนวทางสนับสนุนการแก้ไข ลดปัญหามลพิษทางอากาศ สังคม และสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) สรุปผลการศึกษาพบว่าการใช้ที่ดินระหว่างปีพ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2564 มีการใช้ประโยชน์ที่ดินในด้านเกษตรกรรมมากที่สุด ในช่วงระยะเวลา 8 ปีที่ผ่านมาแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง มีผลจากการขยายตัวของเศรษฐกิจ การขยายตัวเมือง และนโยบายส่งเสริมพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก รองลงมาคือด้านพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียว ได้มีการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยและการให้ค่าน้ำหนักต่อปัจจัยหลักและปัจจัยรองด้วยวิธีการบวการตัดสินใจตามลำดับชั้น (AHP) ในการคำนวณค่าดัชนีวัดความสอดคล้องของเหตุผล ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักด้านการใช้ที่ดินและสิ่งปลูกสร้าง มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด ประกอบด้วยปัจจัยรองที่มีความสำคัญ 3 ลำดับแรกคือ HUM1-ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ทิ้งร้างไม่ระบุการใช้ประโยชน์ในปี(2563/2564) (ร้อยละ 33.3) รองลงมาเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยปัจจัยรองที่มีความสำคัญลำดับแรกคือ ENV1-ด้านแหล่งน้ำ (ร้อยละ 32.5) และปัจจัยด้านสังคมคือ SOC1-สถานที่สำคัญ (ร้อยละ 5.7) ตามลำดับ ระดับศักยภาพประเภทการใช้ที่ดินเหมาะสมต่อการพัฒนาเพื่อรองรับเป็นพื้นที่สีเขียวและแนวทางในการใช้ประโยชน์อยู่ในระดับสูงในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ซึ่งสามารถแบ่งประเภทพื้นที่สีเขียวที่มีศักยภาพรองรับต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวแบ่งออกเป็น 5 ประเภทมีเนื้อที่รวม 379,430 ไร่ ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกของพื้นที่รวมปริมาณเท่ากับ 5.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ที่สามารถรองรับต่อการพัฒนาเชิงพื้นที่เป็นพื้นที่สีเขียวประเภทป่าชุมชนภายใต้สมมุติฐานการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 15 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่

คำสำคัญ: กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น พื้นที่สีเขียว ภูมิสารสนเทศ เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก

ABSTRACT

This study aims to analyze land use changes in the Eastern Economic Corridor (EEC) between 2013, 2016, 2018, and 2021 to identify potential areas for green space development, thereby supporting efforts to mitigate air, social, and environmental pollution in the EEC region. This study shows that between 2013 and 2021, agricultural land use was the highest compared to other land uses. However, over the 8-year period, there has been a continuous decline in agricultural land due to economic growth, urbanization, and the promotion of the Eastern Economic Corridor. Conversely, urban and built-up areas have shown a continuous increase. To analyze areas with potential for green space development, a hierarchical analysis process (AHP) was used to prioritize criteria and assign weights to primary and secondary criteria in calculating a consistency index. Key findings of this research, Community and built-up areas have shown a continuous upward trend. The main criteria with the highest average importance weight were land use and built-up areas. The three most important sub-criteria within this category were: HUM1-Land use data for abandoned areas with unspecified use (33.3%), The next most important main criteria were the environment, with the most important sub-criteria were ENV1-Water resources (32.5%). The most important social criteria were SOC1-Culture and landmark (5.7%). These areas can be classified into five types with a total area of 379,430 rai. The total greenhouse gas sequestration capacity of these areas is estimated to be 5.6 million tCO₂-eq/year. The areas can support spatial development as community forests under the assumption of greenhouse gas sequestration of 15 tons of carbon dioxide per rai.

Keywords: Multi-Criteria Decision Analysis, Green Spaces, GIS, Eastern Economic Corridor (EEC)

1. บทนำ

ความหลากหลายทางชีวภาพและผลผลิตทางการเกษตรที่อุดมสมบูรณ์ของประเทศไทยนั้น สามารถปรับเปลี่ยนระบบการผลิตไปสู่การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า เพื่อรักษาความมั่นคงทางวัตถุดิบที่คงความสมดุลของระบบและคาดหวังให้ตอบโจทย์เป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ของสหประชาชาติอย่างน้อย 5 เป้าหมาย [1] ได้แก่ การผลิตและบริโภคที่ยั่งยืน การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การอนุรักษ์ความหลากหลาย ความร่วมมือเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ประเด็นปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม การบริหารจัดการการใช้ที่ดินและการประเมินศักยภาพต่อการพัฒนาในอนาคต โดยเฉพาะการพัฒนาเชิงพื้นที่เป็นพื้นที่สีเขียวและลดความเสื่อมล้ำเชิงพื้นที่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะด้านฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ที่เกินมาตรฐานเป็นอันตรายต่อสุขภาพเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุของการเกิดมลพิษจากหลายแหล่งกำเนิด [2] ได้ศึกษาและพัฒนาแนวคิด Actionable Intelligence Policy (AIP) Platform เรียกว่า AIP Platform [3] ให้เป็นเครื่องมือในการสังเคราะห์ประเด็นปัญหารวบรวม วิเคราะห์และนำเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาแบบองค์รวม (เชิงพื้นที่ เวลาและกลุ่มเป้าหมาย) ให้เกิดการสนับสนุนการขับเคลื่อนในเชิงนโยบาย โดยมีแนวคิดการใช้ Intelligence ในการช่วยกลั่นกรองและวิเคราะห์ข้อมูลมีความถูกต้องทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ที่จะนำไปสู่การกำหนดนโยบายที่ตรงต่อสถานการณ์และป้องกันปัญหาได้อย่างแม่นยำ ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนได้นั้นด้วยตัวชี้วัดซึ่งครอบคลุมทั้ง 3 มิติ ประกอบด้วย ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านเศรษฐกิจ และด้านสังคม เพื่อพัฒนาศักยภาพเชิงพื้นที่ให้ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูงสุด [2-3] บุญศิริ สุขพร้อมสรรพ (2558) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่เพื่อรองรับการขยายตัวของชุมชนโดยรอบมหาวิทยาลัยพะเยาโดยใช้การวิเคราะห์ศักยภาพของการพัฒนาเชิงพื้นที่ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประมาณผลค่าน้ำหนักแก่ปัจจัยต่างๆ ซึ่งทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่ (Potential Surface Analysis: PSA) และใช้การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการเปลี่ยนแปลงช่วงปี พ.ศ. 2534-2555 ผลการศึกษาสามารถเป็นแนวทางในการวางแผนการใช้ที่ดินเพื่อพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืนสำหรับการขยายตัวของพื้นที่โดยรอบมหาวิทยาลัยได้

รวมถึงผลการศึกษาของ ประพัทธ์พงษ์ อุปลา และคณะ (2555) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่ที่สามารถใช้ประโยชน์และวิเคราะห์หาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาที่อยู่อาศัย นิคมอุตสาหกรรม พาณิชยกรรม แหล่งท่องเที่ยว ด้วยเช่นกัน [4,15] Ali และคณะ (2018) ได้ประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาในภาคเกษตรกรรมโดยเฉพาะยางพารา การประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมและสำหรับการปลูกยางพาราในลุ่มน้ำอุตะเกา โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศร่วมกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision analysis: MCDA) และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ในการหาพื้นที่ที่เหมาะสมและการกำหนดปัจจัยสำคัญครอบคลุมในด้านกายภาพ สังคมและสิ่งแวดล้อมโดยนำปัจจัยเหล่านั้นมากำหนดค่าถ่วงน้ำหนักโดยเทคนิคแบบ AHP การศึกษาวิจัยนี้จะช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบนโยบายการเกษตรเพื่อการพัฒนาการเกษตรที่ยั่งยืนของภูมิภาคได้ [5] การประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมที่มีศักยภาพในการพัฒนาเชิงพื้นที่เป็นพื้นที่สีเขียวและการใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีต ปัจจุบันและแนวโน้มความเป็นไปได้ในอนาคตเพื่อนำไปสู่การบริหารจัดการพื้นที่และรองรับศักยภาพที่เหมาะสมต่อการพัฒนาในอนาคตโดยมุ่งประโยชน์ให้เกิดผลกระทบโดยตรงที่ครอบคลุมในหลายมิติเป็นตัวกำหนดและคัดเลือกปัจจัยที่สำคัญต่างๆ เช่น ด้านภูมิศาสตร์และทำเลที่ตั้ง ด้านโครงสร้างพื้นฐาน ด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม โดยการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ (GIS) มาเป็นเครื่องมือ กำหนดยุทธศาสตร์เชิงพื้นที่วางแผน และบริหารจัดการจะอย่างไรจึงจะสามารถพัฒนาพื้นที่สีเขียวให้เกิดประโยชน์สูงสุดและนำไปประยุกต์เพื่อเศรษฐกิจชุมชนได้อย่างยั่งยืน [3] ยกระดับศักยภาพ และโอกาสให้กับพื้นที่สีเขียวในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก [6] ดังนั้นจำเป็นต้องมีการบูรณาการการวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์และบริหารจัดการสัดส่วนจากการพัฒนาศักยภาพเชิงพื้นที่ที่เหมาะสมที่จะเป็นพื้นที่สีเขียว การเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เหมาะสมในอนาคต [7-8] เพื่อรองรับการขยายตัวของเศรษฐกิจและการตั้งถิ่นฐาน อาจพิจารณาพื้นที่สีเขียวทางธรรมชาติ พื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการพื้นที่สีเขียวเพื่อสิ่งแวดล้อม พื้นที่สีเขียวเพื่อเส้นทางสัญจร และหรือพื้นที่ สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน เป็นต้น [2,9]

ในการศึกษาครั้งนี้ จึงให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์พื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับการส่งเสริมและพัฒนาอย่างรวดเร็วด้วยโครงการด้านเศรษฐกิจและโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ การเติบโตของภาคอุตสาหกรรมและการลงทุนในเขต EEC นั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างรวดเร็วและมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในพื้นที่ หากไม่มีการวางแผนและจัดการที่เหมาะสม เพื่อรักษาความสมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การศึกษาจะเน้นไปที่การวิเคราะห์การใช้ที่ดินที่มีศักยภาพในการกำหนดเป็นพื้นที่สีเขียวในเขต EEC พื้นที่สีเขียวดังกล่าวจะมีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบทางลบจากการพัฒนาอุตสาหกรรมและโครงการโครงสร้างพื้นฐาน เช่น การลดมลพิษทางอากาศ การรักษาคุณภาพน้ำ และการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ การวิเคราะห์ศักยภาพของที่ดินเพื่อกำหนดเป็นพื้นที่สีเขียวจะพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ความเหมาะสมของดินและพืชพรรณ ความสำคัญทางนิเวศวิทยา และการเชื่อมโยงกับพื้นที่ธรรมชาติอื่น ๆ การวางแผนพื้นที่สีเขียวในเขต EEC จะมีผลต่อการพัฒนาที่มีความยั่งยืน ซึ่งจะรองรับการขยายตัวของเมืองและอุตสาหกรรมในอนาคต โดยคำนึงถึงความสมดุลด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษานี้คาดว่าจะนำไปสู่การเสนอแนะเชิงนโยบายที่สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่สีเขียวใน EEC ให้สอดคล้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืนในระยะยาว ซึ่งจะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาคุณภาพชีวิตของประชาชนและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาจำแนกการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงปี พ.ศ. 2556 พ.ศ. 2559 พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2564 ในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก
- 2) เพื่อศึกษาวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียว

3. การวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินจากอดีตถึงปัจจุบันในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก

หลักการพัฒนาที่ยั่งยืนเหมาะสมกับสภาพและศักยภาพของพื้นที่ในสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2564 เทียบกับปี 2560 พื้นที่เมืองและชุมชน พื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น พื้นที่เกษตรและพื้นที่อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมลดลงเปรียบเทียบการใช้ที่ดินในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ในอดีตจนถึงในปัจจุบันระหว่างปี พ.ศ. 2556, พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2564 [6-9]

3.2 ปัจจัยในการพิจารณาการคัดเลือกปัจจัยสำคัญและการลำดับความสำคัญของปัจจัยหลักและรอง

จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ปัจจัยที่นำมาพิจารณาหรือเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกปัจจัยหลักและปัจจัยรองที่สำคัญสำหรับการจัดลำดับความสำคัญต่อการพัฒนาศักยภาพพื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อรองรับเป็นพื้นที่สีเขียวในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก โดยพิจารณาจากปัจจัยสนับสนุนรองรับพื้นที่สีเขียว จากบทความวิจัยและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องประกอบกับผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำความสำคัญและคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยดังต่อไปนี้

3.2.1 ปัจจัยสนับสนุนรับรองพื้นที่สีเขียว (Support Criteria)

- 1) ปัจจัยหลักด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยปัจจัยรอง ด้านแหล่งน้ำและด้านพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมขัง
- 2) ปัจจัยด้านการใช้ที่ดินและสิ่งปลูกสร้างโดยมนุษย์ ประกอบด้วยปัจจัยรอง ด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ทั้งร้างไม่ระบุการใช้ประโยชน์ ด้านการเข้าถึงพื้นที่สีเขียวโครงข่ายถนนสายหลักและสายรอง และด้านพื้นที่ตั้งโรงงานและเขตอุตสาหกรรม แสดงในตารางที่ 1

3.2.2 ปัจจัยเงื่อนไขที่พิจารณาเป็นพื้นที่ก้นอกและไม่ทับซ้อน (Exclusion Criteria)

ปัจจัยพื้นที่ก้นอกและไม่ทับซ้อนของผังเมือง ประกอบด้วยปัจจัยรอง ได้แก่ ด้านพื้นที่ชุมชนเมืองและย่านการค้า และด้านพื้นที่อนุรักษ์และเขตพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม แสดงรายละเอียดของข้อมูล แหล่งที่มาและประเภทของข้อมูลดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แหล่งที่มาของข้อมูลและเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกปัจจัยหลักและปัจจัยรองการคัดเลือกปัจจัยสำคัญและการลำดับความสำคัญของปัจจัย

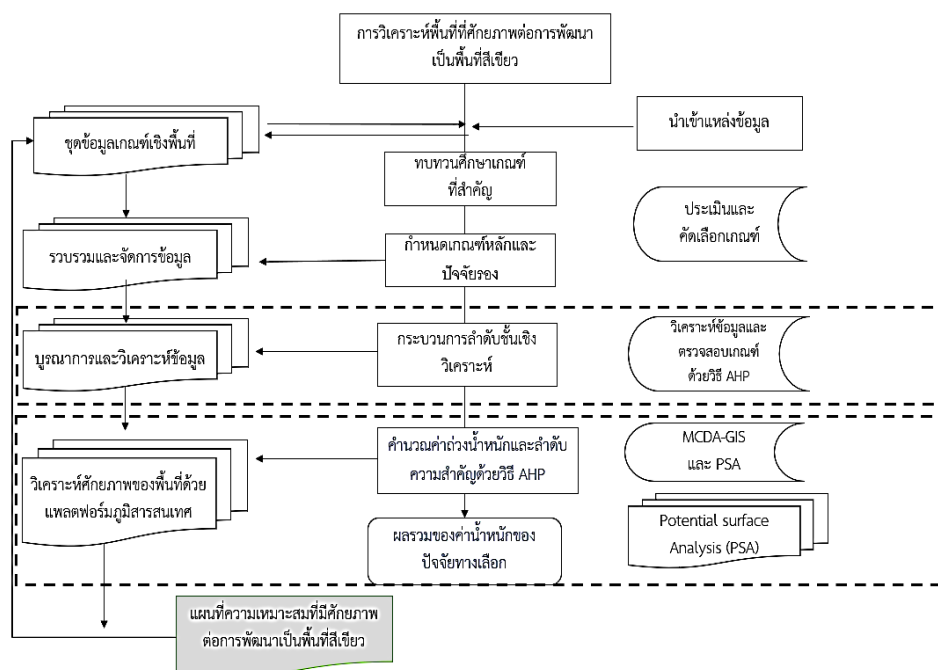
ปัจจัยหลัก	รหัส	ปัจจัยรอง	ประเภท	แหล่งที่มา
ปัจจัยสนับสนุนรับรองพื้นที่สีเขียว (Support Criteria)				
1. ด้านสิ่งแวดล้อม	ENV1	ด้านแหล่งน้ำ	พื้นที่	พ.ด.
	ENV2	พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมขัง	พื้นที่	สทอภ.
2. ด้านการใช้ที่ดินและสิ่งปลูกสร้างโดยมนุษย์	HUM1	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ทั้งร้างไม่ระบุการใช้ประโยชน์ (2563/2564)	พื้นที่	พ.ด.
	HUM2	การเข้าถึงพื้นที่สีเขียวโครงข่ายถนนสายหลักและสายรอง	พื้นที่	ยผ.
	HUM3	พื้นที่ตั้งโรงงานและเขตอุตสาหกรรม	จุดที่ตั้ง	ยผ./EEC
3. ด้านสังคมและชุมชน	SCO1	สถานที่สำคัญ	พื้นที่/แผนที่	ยผ./EEC
ปัจจัยเงื่อนไขที่พิจารณาเป็นพื้นที่ก้นอกและไม่ทับซ้อน (Exclusion Criteria)				
4. ด้านผังเมือง	EXO1	พื้นที่ชุมชนเมืองและย่านการค้า	พื้นที่/แผนที่	ยผ./EEC
	EXO2	พื้นที่อนุรักษ์และเขตพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม	พื้นที่/แผนที่	ยผ./EEC

ที่มา: สทอภ.: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) [2] ยผ.: กรมโยธาธิการและผังเมือง [10]

EEC: สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (สกพอ.) [11] พ.ด.: กรมพัฒนาที่ดิน [8]

3.3 การวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียว ด้วยการประยุกต์ใช้แพลตฟอร์มภูมิสารสนเทศ

การวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียว (Green Space) ด้วยการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ (Geospatial) [3] โดยการจำแนกการใช้ที่ดินจากฐานข้อมูล GIS ในอดีตกับปัจจุบันและข้อมูลการวางแผนการใช้ที่ดินในอนาคตในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [8] ข้อมูลจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) [2] และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ข้อมูลอาจจะอยู่ในรูปของแผนที่ แผนภาพดิจิทัลจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่สามารถเข้าถึงได้ เช่น สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน) (สพร.) [12] และข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาวิเคราะห์และประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอดีตและในปัจจุบันที่เป็นฐานข้อมูลระหว่างในปี พ.ศ. 2556–2564 กับแผนนโยบายหรือแผนแม่บทในการพัฒนาเชิงพื้นที่ในอนาคตในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก กรอบแนวคิดเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะแนวทางเชิงนโยบายเพื่อการส่งเสริมการพัฒนาศักยภาพเชิงพื้นที่สีเขียว และการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เหมาะสมกับศักยภาพของพื้นที่ต่อการพัฒนาในอนาคต [9] แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

การประเมินหาพื้นที่ที่เหมาะสมที่มีศักยภาพรองรับเป็นพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชนในอนาคตจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยการบูรณาการกระบวนการช่วยสนับสนุนการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) เพื่อการลำดับความสำคัญของปัจจัยด้วยของชั้นข้อมูล ต่อการพิจารณาเลือกเกณฑ์หลักและเกณฑ์ย่อยด้วยวิธีการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) [13-14] และการประยุกต์ใช้แพลตฟอร์มภูมิสารสนเทศ (Geospatial Platform) [3] โดยการประเมินความเหมาะสมเชิงพื้นที่โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่ (Potential Surface Analysis: PSA) [4,15] เพื่อหาพื้นที่ที่มีศักยภาพรองรับเป็นพื้นที่สีเขียวโดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ขอบเขตพื้นที่ศึกษาวิจัยและขอบเขตของข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ใช้ประกอบการศึกษา เช่น ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี 2556 และ 2564 [8] ขอบเขตการปกครองของจังหวัดในพื้นที่ EEC ข้อมูลเครือข่ายถนน ข้อมูลที่ตั้งชุมชน ข้อมูลแหล่งน้ำ ข้อมูลการใช้ที่ดินที่ทั้งร้างไม่ระบุการใช้ประโยชน์ ข้อมูลกันออก เช่น ข้อมูลน้ำท่วม ข้อมูลป่าไม้และพื้นที่อนุรักษ์ในปัจจุบัน เป็นต้น [3, 8,10-11]

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 ขอบเขตการศึกษา

แนวคิดการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของ 3 จังหวัดในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก โดยใช้ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน และใช้วิธีการคำนวณจากความแตกต่างของพื้นที่ระหว่างปีที่ใช้ในการศึกษาของในแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน ระหว่างปีพ.ศ. 2556-2559, ปีพ.ศ. 2556-2561 และปีพ.ศ. 2561-2564 [7-8] โดยดูแนวโน้มของการใช้ที่ดินในอัตราที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงหรือเปลี่ยนแปลงจำนวนพื้นที่เท่าไร และเป็นร้อยละเท่าไร เช่น (+) คือการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เพิ่มขึ้น และ (-) คือการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่ลดลง เป็นต้น เพื่อเป็นกรอบทิศทางการดำเนินงานด้านพื้นที่สีเขียวอย่างยั่งยืนให้กับหน่วยงานและภาคส่วนที่เกี่ยวข้องทั่วประเทศ ใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน รวมทั้ง เพื่อตอบเป้าหมายการดำเนินงานด้านพื้นที่สีเขียวระดับประเทศและระดับพื้นที่ เป้าหมาย ภายในปีพ.ศ. 2570 พื้นที่สีเขียวได้รับการดูแลรักษาให้คงอยู่อย่างยั่งยืน ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพตามมาตรฐานของประเทศ ตัวชี้วัด พื้นที่สีเขียวสาธารณะต่อประชากร 10 ตารางเมตรต่อคน ร้อยละของพื้นที่สีเขียวต่อพื้นที่เมือง ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 10 พื้นที่สีเขียวต้นแบบ ภูมิภาคละ 5 แห่ง เครือข่ายพื้นที่สีเขียว ภูมิภาคละ 5 เครือข่าย เครื่องมือ กลไก องค์ความรู้ การบริหารจัดการพื้นที่สีเขียว [17]

4.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

4.2.1 การประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ระเบียบวิธีวิจัยที่ช่วยในการสร้างการตัดสินใจกับการประเมินหลายส่วนจากอดีตจนถึงปัจจุบันจากฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดินระหว่างปีพ.ศ. (2556-2559) พ.ศ. (2559-2561) และพ.ศ. (2561-2564) [7-8] เป้าหมายหากระบวนการที่ชัดเจนที่ได้ผลลัพธ์เพื่อการตัดสินใจนำมาสู่การแก้ปัญหา ซึ่งแต่ละวิธีการจะมีกระบวนการ วิเคราะห์ ผลลัพธ์และความแม่นยำที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นประเด็นปัญหาที่เหมือนกันในแต่ละพื้นที่ก็ตาม จำเป็นต้องพิจารณาตามสถานการณ์ที่มีความเหมาะสมในแต่ละเหตุการณ์ รวมไปถึงความเชี่ยวชาญของผู้ใช้

4.2.2 การกำหนดเกณฑ์และกระบวนการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์

ศึกษาและกำหนดเกณฑ์เพื่อใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ AHP [13-14] มาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียว โดยมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและค่าลำดับชั้นของข้อมูล ซึ่งมีเกณฑ์หลักจำนวน 3 เกณฑ์ได้แก่ (1) ด้านแหล่งน้ำ (2) ด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปลูกสร้าง และ (3) ด้านสังคมและชุมชน โดยอ้างอิงเกณฑ์จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและแนวทางปฏิบัติที่ดีจากต่างประเทศ เช่น Sustainable Development Goals (SDG) 2030 [16] และโมเดลเศรษฐกิจ BCG [18] โดยจะกำหนดปัจจัยที่ได้ออกไปแล้ว (Exclusion Factor) กลุ่มเกณฑ์ย่อยที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์พื้นที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวที่จะนำมาพิจารณา ประกอบไปด้วย เช่น ไม่อยู่ในพื้นที่ที่ดินประเภทศูนย์กลางพาณิชย์กรรม ไม่อยู่ในพื้นที่ดินพัฒนาชุมชนเมืองและที่ดินประเภทรองรับการพัฒนาเมือง ไม่อยู่ในเขตที่ดินอนุรักษ์ป่าไม้และเพื่อการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ไม่อยู่ในที่ดินประเภทที่พระราชกฤษฎีกากำหนดให้เป็นเขตปฏิรูปที่ดิน และไม่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย เป็นต้น [6-9,11]

4.3 วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น AHP

กระบวนการลำดับชั้นการวิเคราะห์ AHP เป็นวิธีการเลือกสถานการณ์ทางเลือกสำหรับการวางแผนเชิงกลยุทธ์โดยใช้การวิเคราะห์การตัดสินใจหลายเกณฑ์ MCDM โดยอ้างอิงจาก Saaty T. (1980) เป็นผู้พัฒนากระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ AHP [13-14,19] ในปี 1970 และใช้กันอย่างแพร่หลายในการกำหนดนโยบายในปัจจุบัน เทคนิค AHP ใช้ระบบการให้คะแนนเพื่อช่วยผู้มีอำนาจตัดสินใจในการจัดอันดับความชอบสำหรับทางเลือกและเกณฑ์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า เกณฑ์สองข้อถูกเปรียบเทียบและถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญหรือความชอบสัมพัทธ์ เทคนิค AHP เป็นวิธี MCDM ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งใช้ในสถานการณ์จริงอย่างแพร่หลายเพื่อให้ได้มาซึ่งโซลูชัน วิธีการนี้จะจัดปัญหาออกเป็นลำดับชั้นที่แตกต่างกันและประเมินแต่ละลำดับชั้นโดยการเปรียบเทียบในลักษณะคู่ ลำดับชั้นในวิธีนี้เป็นลำดับชั้นเชิงเส้นที่มีจำนวนจำกัดของ

ระดับ เป้าหมายหรือแนวทางแก้ไขที่เป็นไปได้ของปัญหาอยู่ในระดับบนสุดของลำดับชั้นและเกณฑ์พร้อมกับเกณฑ์ย่อยอยู่ในระดับกลาง ทางเลือกของเกณฑ์อยู่ในระดับล่าง เกณฑ์และทางเลือกจะถูกเปรียบเทียบในลักษณะคู่กับตัวคูณตั้งแต่ 1 ถึง 9 น้ำหนักของเกณฑ์จะถูกกำหนดเพื่อคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับทางเลือก การตัดสินใจแบบหลายปัจจัยโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นการวิเคราะห์ AHP แสดงในตารางที่ 2 [20]

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

คำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) คำนวณจากอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) ที่คำนวณจากตารางเมตริกซ์กับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) จากตารางที่ 2 และสมการในการคำนวณดังนี้

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (1)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (2)$$

เมื่อ λ_{max} คือ ค่าไอเกน Eigenvalue สูงสุดของสัมประสิทธิ์เฉพาะ ซึ่งจะคำนวณหาค่า Eigen vector ของเมตริกซ์ในแต่ละแถวแบบ Normalized matrix โดยหา Normalized นี้ทำโดยการหาค่าเฉลี่ยความสำคัญในแต่ละแถว และ n เป็นค่าที่ขึ้นกับขนาดเมตริกซ์ ขนาด 6×6 สำหรับกรณีการศึกษาในครั้งนี้ สำหรับค่าของ $C.R. \leq 0.10$ (ร้อยละ 10) แสดงว่าปัจจัยมีความสอดคล้องกันสามารถนำ ค่าไอเกนหรือค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue) ไปใช้เป็นค่าน้ำหนักได้ และถือว่าอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ถ้า $C.R. > 0.10$ หรือ (ร้อยละ 10) แสดงว่าค่าปัจจัยไม่มีความสอดคล้องกัน ต้องปรับหรือให้ค่าปัจจัยใหม่ เพื่อคำนวณค่า $C.R. \leq 0.10$ หรือ (ร้อยละ 10) ถึงจะนำค่า Eigenvalue ไปใช้งานได้ และถือว่ายอมรับไม่ได้จะต้องทำการทบทวนการให้ค่าน้ำหนักคะแนนเปรียบเทียบในเกณฑ์นั้นใหม่จนได้ค่า C.R. ที่สามารถยอมรับได้ และเปิดตารางค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) โดยที่ค่า R.I. เป็นค่าที่ขึ้นกับขนาดเมตริกซ์โดยผลของ R.I. แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ความหมายของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ระดับความเข้มข้นของ ความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้ง 2 เกณฑ์ส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์เท่า ๆ กัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับมาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับสูงสุด
2,4,6,8	อยู่ช่วงระดับที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น	อยู่ช่วงระดับที่ได้อธิบายมาข้างต้น

ที่มา: Saaty, 1980: 2003 [13-14]

ตารางที่ 3 ค่าของดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์

n	1	2	3	4	5	6
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24

ที่มา: Saaty, (2003) [14]

4.5 กระบวนการเตรียมเครื่องมือ การประเมินความเหมาะสมเชิงพื้นที่และการเก็บข้อมูล

การประเมินความเหมาะสมเชิงพื้นที่ที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่ PSA [4] โดยการวิเคราะห์ร่วมกับฐานข้อมูลเชิงพื้นที่และโปรแกรมวิเคราะห์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ QGIS หรือ ArcGIS และนำเข้าข้อมูลจากแบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านในการให้คะแนนน้ำหนักค่าความสำคัญของกลุ่มปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือความสัมพันธ์กับศักยภาพของพื้นที่สีเขียวในปัจจัยหลักและปัจจัยรอง [21] โดยมีขั้นตอนและการดำเนินการดังต่อไปนี้ 1) การทับซ้อนแผนที่ซึ่งต้องใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาวิเคราะห์เพื่อกำหนดระดับคะแนนของปัจจัยและความเหมาะสมในระดับมากที่สุด ปานกลางและน้อยที่สุด 2) กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้ความสำคัญของกลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับศักยภาพของพื้นที่ 3) คำนวณผลค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยโดยระบบ GIS เพื่อกำหนดค่าคะแนนจากผลคูณระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละกลุ่มปัจจัย ดังสมการค่าคะแนน

$$S = \sum_{i=1}^n (w_i x_i)$$

เมื่อ S คือ คะแนนรวมแสดงศักยภาพของพื้นที่ โดยมีปัจจัยกลุ่มปัจจัยที่ 1 ถึง n โดยที่ w_i คือค่าคะแนนรวมแสดงสำคัญของปัจจัยที่ n (Weight) และ x_i คือ ระดับค่าคะแนนความเหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ n (Criteria Score) [5]

4) จัดลำดับค่าศักยภาพของพื้นที่เป็นการแสดงค่าคะแนนบนแผนที่โดยแพลตฟอร์มเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เช่น QGIS, ArcGIS หรือ แพลตฟอร์มอื่น ๆ ในการคำนวณค่าพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนารองรับพื้นที่สีเขียว ซึ่งสามารถแบ่งออก 3 ระดับ คือ พื้นที่ที่มีศักยภาพมาก ปานกลางและน้อยต่อการพัฒนา [21] 5) กระบวนการ MCDM แบบลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ AHP มาใช้ในการวิเคราะห์ของปัจจัยและแนวทางการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่สำหรับรองรับเป็นพื้นที่สีเขียว โดยมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและค่าลำดับชั้นความสำคัญของข้อมูล [13-14,19]

5. ผลการศึกษาวิจัย

5.1 ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอดีตและปัจจุบันในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก

ผลการศึกษา พบว่าการใช้ที่ดินโดยภาพรวมพื้นที่เขต EEC มีพื้นที่การใช้ประโยชน์ทั้งหมด 8.29 ล้านไร่ ประกอบด้วย ในปีพ.ศ. 2556-2559 การใช้ประโยชน์ที่ดินในด้านเกษตรกรรมมากที่สุด จำนวน 5.43 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 68.06 ในปีพ.ศ. 2559-2561 การใช้ประโยชน์ที่ดินในด้านเกษตรกรรมมากที่สุด จำนวน 5.36 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 64.63 ในปีพ.ศ. 2561-2564 พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในด้านเกษตรกรรมมากที่สุด จำนวน 5.33 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 64.30 แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ภาพรวมการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ปีพ.ศ. 2556-2564

ประเภทการใช้ที่ดิน (ล้านไร่)	2564	ร้อยละ	2561	ร้อยละ	2559	ร้อยละ	2556
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	1.26	15.16	1.23	14.79	1.16	14.55	0.96
พื้นที่เกษตรกรรม	5.33	64.30	5.36	64.63	5.43	68.06	5.66
พื้นที่ป่าไม้	1.03	12.40	1.03	12.45	0.73	9.11	1.04
พื้นที่น้ำ	0.28	3.39	0.25	3.00	0.26	3.26	0.23
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	0.39	4.75	0.43	5.13	0.40	5.02	0.41
รวมทั้งหมด	8.29	100.00	8.29	100.00	7.98	100.00	8.29

ตารางที่ 5 ภาพรวมการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของ EEC ในระหว่างปีพ.ศ.2556-2564

ประเภทการใช้ที่ดิน (ล้านไร่)	เนื้อที่ เปลี่ยนแปลง		เนื้อที่ เปลี่ยนแปลง		เนื้อที่ เปลี่ยนแปลง	
	(61-64)	ร้อยละ	(59-61)	ร้อยละ	(56-59)	ร้อยละ
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-0.032	-0.38	-0.064	-0.81	0.300	3.62
พื้นที่เกษตรกรรม	0.028	0.33	0.070	0.88	-0.331	-3.99
พื้นที่ป่าไม้	0.005	0.06	-0.305	-3.83	-0.009	-0.11
พื้นที่น้ำ	-0.032	-0.39	0.011	0.14	0.051	0.61
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	0.032	0.38	-0.025	-0.31	-0.012	-0.14

หมายเหตุ : การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินคำนวณจากความแตกต่างของพื้นที่ระหว่างช่วงปีที่ใช้ในการศึกษาของในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก โดย + คือ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเพิ่มขึ้น, - คือ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินลดลง [8-9]

จากตารางที่ 5 แสดงภาพรวมการเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ปีพ.ศ. 2556-2563 พบว่า ในปีพ.ศ. 2556-2559 มีพื้นที่เขต EEC มีการเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุด ด้านพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง เนื้อที่เปลี่ยนแปลงจำนวน 300,124 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.62 ในปีพ.ศ. 2559-2561 มีพื้นที่เขต EEC มีการเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุด ด้านพื้นที่เกษตรกรรมเนื้อที่เปลี่ยนแปลงจำนวน 70,415 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.88 และในปีพ.ศ. 2561-2564 มีพื้นที่เขต EEC มีการเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุด ด้านพื้นที่เบ็ดเตล็ดเนื้อที่เปลี่ยนแปลงจำนวน 31,604 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.38

5.2 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

5.2.1 ผลการประเมินเกณฑ์และลำดับความสำคัญของปัจจัยเพื่อหาลำดับความสำคัญและให้ค่าความสำคัญของแต่ละปัจจัยต่อศักยภาพในการพัฒนาพื้นที่สีเขียวด้วยวิธีการ AHP จากผู้เชี่ยวชาญ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 3 ท่านที่ประสงค์เป็นผู้ให้คำแนะนำปัจจัยหลักและปัจจัยรองต่างๆ จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามการให้คะแนนจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาพื้นที่รับรองรับพื้นที่สีเขียวของ EEC ด้วยวิธี AHP สามารถสรุปลำดับความสำคัญและค่าคะแนนความสำคัญได้สรุปผลลัพธ์ของเทคนิค MCDM ด้วยวิธี AHP [13-14] ก่อนหน้าซึ่งประเมินแต่ละทางเลือกและกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้กับปัจจัยในมิติต่างๆ ในกระบวนการตัดสินใจซึ่งหมายถึงการคำนวณ AHP ในผลการศึกษาได้ตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) เมทริกซ์ลำดับความสำคัญโดยรวม (AHP) ที่ส่งผลให้น้ำหนักสำหรับเกณฑ์ตามการเปรียบเทียบแบบคู่ของการใช้แทนคำแนะนำ และการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (Estimation of the Consistency) (ตารางที่ 2) แสดงค่าคะแนนความสำคัญของปัจจัยหลัก ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตและอัตราส่วนความสอดคล้องกันของการวินิจฉัย C.R. จากการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจเป็นแบบรายคู่ (Pair Wise Comparison) จำนวน 6 คู่ พบว่าการคำนวณหาลำดับความสำคัญและคำแนะนำของปัจจัยจากผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้วินิจฉัยโดยการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล C.R. ด้วยการหาค่าดัชนีความสอดคล้องของเหตุผลตามขนาดเมตริกซ์สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Ratio: C.R.) ที่คำนวณได้จากตารางเมตริกซ์กับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) (ตารางที่ 3) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 จากผลการศึกษา พบว่าสามารถนำ Eigenvalue (λ_{max}) คือ 6.177 ไปใช้คำนวณเป็นคำแนะนำได้ คือ 0.028 (ร้อยละ 2.8) ซึ่งน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 (C.R. ≤ 10 เปอร์เซ็นต์) ถือว่ายอมรับปัจจัยมีความสอดคล้องกันของปัจจัยอย่างสมบูรณ์

จากตารางที่ 6 เป็นผลจากผลการวิเคราะห์การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยและการให้คำแนะนำต่อปัจจัยหลักและปัจจัยรองด้วยวิธีการคำนวณการตัดสินใจตามลำดับชั้น (AHP) พบว่า ผลการคำนวณค่าดัชนีวัดความสอดคล้องของ

เหตุผล ปัจจัยหลักด้านการใช้ที่ดินและสิ่งปลูกสร้างโดย มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดประกอบด้วยปัจจัยรองที่มีความสำคัญลำดับแรก คือ HUM1-ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ทั้งรังไม่ระบุการใช้ประโยชน์ปีพ.ศ. 2564 (ร้อยละ 33.3) HUM2-การเข้าถึงพื้นที่สีเขียวโครงข่ายถนนสายหลักและสายรอง (ร้อยละ 6.1) HUM3-พื้นที่ตั้งโรงงานและเขตอุตสาหกรรม (ร้อยละ 5.4) รองลงมาเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยปัจจัยรองที่มีความสำคัญลำดับแรก คือ ENV1 -ด้านแหล่งน้ำ (ร้อยละ 32.5) และ ENV2-พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมขัง (ร้อยละ 17) และปัจจัยด้านสังคมและชุมชน คือ SOC1-สถานที่สำคัญ (ร้อยละ 5.7) ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับความสำคัญและให้ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักและปัจจัยรองด้วยวิธี MCDM-AHP

ปัจจัยหลัก (Main-Criteria)	ปัจจัยรอง (Sub-criteria)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก (Criteria Weight)	ค่าเฉลี่ย (%)	ลำดับ ความสำคัญ (Rank)
1.ด้านสิ่งแวดล้อม	ENV1-ด้านแหล่งน้ำ	0.325	32.5	2
	ENV2-พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมขัง	0.170	17.0	3
2.ด้านการใช้ที่ดินและ สิ่งปลูกสร้างโดย มนุษย์	HUM1-ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ทั้ง รังไม่ระบุการใช้ประโยชน์ (2563/2564) ที่มีศักยภาพพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียว	0.333	33.3	1
	HUM2-การเข้าถึงพื้นที่สีเขียวโครงข่าย ถนนสายหลักและสายรอง	0.061	6.1	4
	HUM3-พื้นที่ตั้งโรงงานและเขต อุตสาหกรรม	0.054	5.4	6
	SOC1-สถานที่สำคัญ	0.057	5.7	5
3.ด้านสังคมและชุมชน	ผลรวมคะแนน	1	100.0	ลำดับที่ 1-6

หมายเหตุ: ปัจจัยเงื่อนไขที่ไม่นำมาพิจารณาเป็นพื้นที่กันออกและไม่ทับซ้อน (Exclusion criteria) ได้แก่ EXO1-พื้นที่ชุมชนเมืองและย่านการค้า และ EXO2-พื้นที่อนุรักษ์และเขตพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม

5.2.2 ผลของวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ต่อการพัฒนารับรองการใช้เป็นพื้นที่สีเขียวในขนาดในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก

ภาพที่ 3 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีศักยภาพรองรับการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ซึ่งครอบคลุมจังหวัดฉะเชิงเทรา ชลบุรีและระยอง พบว่าพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเพื่อรับรองเป็นพื้นที่สีเขียวในขนาดจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปีพ.ศ. 2563/2564 ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการส่งเสริมและพัฒนาในอนาคต 9 ประเภท ดังนี้ 1) พื้นที่นาไร่เนื้อที่ 55,607 ไร่ 2) พื้นที่ไร่ไร่เนื้อที่ 6,478 ไร่ 3) พื้นที่ไม้ยืนต้นไร่/เลียมไร่เนื้อที่ 19,274 ไร่ 4) โรงเรือนไร่เนื้อที่ 1,410 ไร่ 5) สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไร่เนื้อที่ 42,344 ไร่ 6) ทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม/ไม้ละเมาะไร่เนื้อที่ 228,919 ไร่ 7) เหมืองเก่า บ่อขุดเก่าไร่เนื้อที่ 27,260 ไร่ 8) พื้นที่อุตสาหกรรมไร่เนื้อที่ 1,124 ไร่ และ 9) สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ/สถานที่ไร่เนื้อที่ 14,361 ไร่ พื้นที่รวมทั้งหมดโดยประมาณ 379,430 ไร่ ดังแสดงในตารางที่ 7

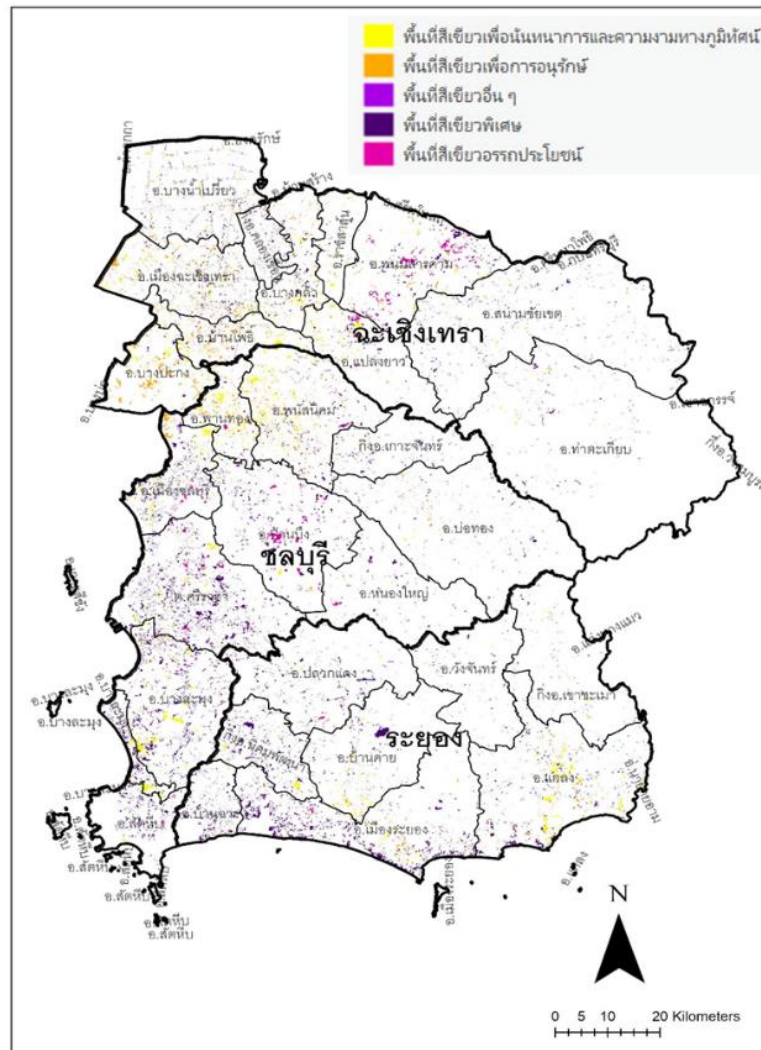
การศึกษาและวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่และแนวทางการใช้ประโยชน์ที่ดินรองรับการใช้เป็นพื้นที่สีเขียวในขนาดในพื้นที่เขต EEC อ้างอิงตามคู่มือการพัฒนาพื้นที่สีเขียวโดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [17] แบ่งออกเป็น 6 ประเภท ตามคุณลักษณะและการใช้ประโยชน์ พื้นที่สีเขียวสามารถจำแนกได้หลายรูปแบบการจำแนกอาจใช้บทบาทหน้าที่ของพื้นที่นั้นๆ ขนาด และลักษณะทางกายภาพ ซึ่งแต่ละประเทศมีมาตรฐานในการจำแนกพื้นที่สีเขียวแตกต่างกันโดยในประเทศไทย พบว่า ระดับศักยภาพเหมาะสมต่อการพัฒนาและแนวทางในการใช้ประโยชน์อยู่

ในระดับสูงในพื้นที่เขต EEC ซึ่งสามารถแบ่งประเภทพื้นที่สีเขียวออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ 1) พื้นที่สีเขียวเพื่อนันทนาการและความงามทางภูมิทัศน์มีเนื้อที่ 76,446 ไร่ (ร้อยละ 20) 2) พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์มีเนื้อที่ 27,260 ไร่ (ร้อยละ 7) 3) พื้นที่สีเขียวเพื่อการอนุรักษ์มีเนื้อที่ 44,271 ไร่ (ร้อยละ 12) 5) พื้นที่สีเขียวอื่นๆ มีเนื้อที่ 2,534 ไร่ (ร้อยละ 1) 6) พื้นที่สีเขียวพิเศษมีเนื้อที่ 228,919 ไร่ (ร้อยละ 60) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ต่อการพัฒนารับรองการใช้เป็นพื้นที่สีเขียวในพื้นที่เขต EEC

ระดับศักยภาพพื้นที่	ประเภทพื้นที่สีเขียว	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
พื้นที่ที่มีศักยภาพเหมาะสมในระดับสูง	(1) พื้นที่สีเขียวเพื่อนันทนาการและความงามทางภูมิทัศน์	76,446	20.15
	(2) พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์	27,260	7.18
	(3) พื้นที่สีเขียวเพื่อการอนุรักษ์	44,271	11.67
	(4) พื้นที่สีเขียวอื่น ๆ	2,534	0.67
	(5) พื้นที่สีเขียวพิเศษ	228,919	60.33
	รวมทั้งหมด	379,430	100.00

จากการศึกษา พบว่า พื้นที่ศักยภาพเหมาะสมของใช้ประโยชน์ที่ดินต่อแนวทางการพัฒนารองรับเป็นพื้นที่สีเขียวในพื้นที่เขต EEC เป็นแนวทางการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีศักยภาพรองรับต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวในขนาดของเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก แสดงในภาพที่ 3 จากการศึกษาค้นคว้า ประเภทการใช้ที่ดินและเนื้อที่ระดับศักยภาพเหมาะสมต่อการพัฒนาเพื่อรองรับเป็นพื้นที่สีเขียวและแนวทางในการใช้ประโยชน์อยู่ในระดับสูงในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ซึ่งสามารถแบ่งประเภทพื้นที่สีเขียวที่มีศักยภาพรองรับต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวแบ่งออกเป็น 5 ประเภท จำนวน 379,430 ไร่ ได้แก่ 1) พื้นที่สีเขียวเพื่อนันทนาการและความงามทางภูมิทัศน์มีเนื้อที่ 76,446 ไร่ (ร้อยละ 20.15) 2) พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์มีเนื้อที่ 27,260 ไร่ (ร้อยละ 7.18) 3) พื้นที่สีเขียวเพื่อการอนุรักษ์มีเนื้อที่ 44,271 ไร่ (ร้อยละ 11.67) 4) พื้นที่สีเขียวอื่นๆมีเนื้อที่ 2,534 ไร่ (ร้อยละ 0.67) 5) พื้นที่สีเขียวพิเศษมีเนื้อที่ 228,919 ไร่ (ร้อยละ 60.33) และสามารถมีศักยภาพการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 15 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกของพื้นที่รวมปริมาณเท่ากับ 5.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปีที่สามารถรองรับต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวประเภทป่าชุมชน [22]



ภาพที่ 3 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีศักยภาพรองรับการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวบนเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก

6. สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียว กรณีศึกษาเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก และศึกษาพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียว ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในปัจจุบันและอนาคตในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ภาพรวมการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ปีพ.ศ. 2556-2564 พบว่า การใช้ที่ดินโดยภาพรวมในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) มีพื้นที่การใช้ประโยชน์ทั้งหมด 8,291,250 ไร่ จะเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินด้านเกษตรกรรมมากที่สุดจำนวน 5,331,363 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 64.3 จะเห็นว่าแนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินในด้านเกษตรกรรมลดลงอย่างต่อเนื่อง สาเหตุหลักมาจากการขยายตัวของเมืองและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ชนบท [23] รองลงมาการใช้ประโยชน์ที่ดินด้านพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างจำนวน 1,257,047 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 15.16 แนวโน้มนี้เกิดจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมและการสร้างที่อยู่อาศัยเพื่อรองรับการขยายตัวของประชากร [24] ด้านพื้นที่ป่าไม้จำนวน 1,027,583 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 12.39 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น มีการตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติทั้งในระดับภาครัฐและเอกชน ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มพื้นที่ป่าไม้จากนโยบายการปลูกป่าในหลายพื้นที่ รวมถึงการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนในการปลูกป่าเพื่อเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน [25] ด้านพื้นที่เบ็ดเตล็ดจำนวน 393,971 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.75 ได้รับการ

เปลี่ยนแปลงไปสู่การพัฒนาเป็นพื้นที่ที่อยู่อาศัย โรงงาน หรืออุตสาหกรรมอื่นๆ อย่างไรก็ตาม พื้นที่เหล่านี้ยังคงมีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวเพื่อการพักผ่อนและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ โดยการจัดสรรพื้นที่สีเขียวจะสามารถส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ได้ [26] ด้านพื้นที่น้ำจำนวน 281,286 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.39 แหล่งน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นการพัฒนาพื้นที่น้ำเหล่านี้สามารถนำไปสู่การสนับสนุนการทำเกษตรและการอุตสาหกรรมที่ยั่งยืนในอนาคต [27] การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเขต EEC จะต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อให้การพัฒนาในเขตนี้เป็นไปอย่างยั่งยืน การวางแผนการใช้ที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพและการประเมินพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้างสมดุลระหว่างการพัฒนาและการรักษาสภาพแวดล้อม [28]

กำหนดเกณฑ์เพื่อนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่สู่ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ สรุปผลการวิเคราะห์การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยและการให้ค่าน้ำหนักต่อปัจจัยหลักและปัจจัยรองด้วยวิธีการบวการตัดสินใจตามลำดับชั้น (AHP) พบว่า ปัจจัยหลักด้านด้านการใช้ที่ดินและสิ่งปลูกสร้างโดย มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด (ร้อยละ 55) ประกอบด้วยปัจจัยรอง คือ HUM1-ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ทั้งร้างไม่ระบุการใช้ประโยชน์ในปี (พ.ศ.2564) (ร้อยละ 42) HUM2-การเข้าถึงพื้นที่สีเขียวโครงข่ายถนนสายหลักและสายรอง (ร้อยละ 6.5) HUM3-พื้นที่ตั้งโรงงานและเขตอุตสาหกรรม (ร้อยละ 6.4) รองลงมาเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (ร้อยละ 35) ประกอบด้วยปัจจัยรอง คือ ENV1 -ด้านแหล่งน้ำ (ร้อยละ 21) และ ENV2-พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมขัง (ร้อยละ 14) ปัจจัยด้านสังคม คือ SOC1-สถานที่สำคัญ (ร้อยละ 10.1) ตามลำดับ สอดคล้องกับ Kienast และคณะ (2012) ที่ใช้ AHP ในการจัดการพื้นที่สีเขียวและการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม [29]

การประเมินพื้นที่เหมาะสมที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่เขียว การใช้ประโยชน์ที่ดินมีศักยภาพรองรับการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ซึ่งครอบคลุมจังหวัดฉะเชิงเทรา ชลบุรีและระยอง พบว่าพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเพื่อรับรองเป็นพื้นที่สีเขียวจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี (พ.ศ.2564) (กรมพัฒนาที่ดิน) ประกอบด้วยพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการส่งเสริมและพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียว 9 ประเภท ดังนี้ 1) พื้นที่นาร้างเนื้อที่ 55,607 ไร่ 2) พื้นที่ไร่ร้างเนื้อที่ 6,478 ไร่ 3) พื้นที่ไม้ยืนต้นร้าง/เสื่อมโทรมเนื้อที่ 19,274 ไร่ 4) โรงเรือนร้างเนื้อที่ 1,410 ไร่ 5) สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำร้างเนื้อที่ 42,344 ไร่ 6) หุ่นุญธรรมชาติ/หุ่นุญสลับไม้พุ่ม/ไม้ละเมาะเนื้อที่ 228,919 ไร่ 7) เหมืองเก่า บ่อขุดเก่าเนื้อที่ 27,260 ไร่ 8) พื้นที่อุตสาหกรรมร้างเนื้อที่ 1,124 ไร่ และ 9) สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ/สถานที่ร้างเนื้อที่ 14,361 ไร่ พื้นที่รวมทั้งหมดโดยประมาณ 379,430 ไร่ จากพื้นที่ดังกล่าวนำมากำหนดเป็นประเภทการใช้ที่ดินและระดับศักยภาพเหมาะสมต่อการพัฒนาเพื่อรองรับเป็นพื้นที่สีเขียวและแนวทางในการใช้ประโยชน์ในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทพื้นที่สีเขียวที่มีศักยภาพรองรับต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวแบ่งออกเป็น 5 ประเภทจำนวน 379,430 ไร่ ได้แก่ 1) พื้นที่สีเขียวเพื่อนันทนาการและความงามทางภูมิทัศน์ มีเนื้อที่ 76,446 ไร่ ร้อยละ 20.15 2) พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ มีเนื้อที่ 27,260 ไร่ ร้อยละ 7.18 3) พื้นที่สีเขียวเพื่อการอนุรักษ์ มีเนื้อที่ 44,271 ไร่ ร้อยละ 11.67 4) พื้นที่สีเขียวอื่น ๆ มีเนื้อที่ 2,534 ไร่ ร้อยละ 0.67 5) พื้นที่สีเขียวพิเศษมีเนื้อที่ 228,919 ไร่ ร้อยละ 60.33 สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen และคณะ (2016) ที่ได้เสนอวิธีการจัดประเภทพื้นที่สีเขียวเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนในพื้นที่เมือง [30]

7. ข้อเสนอแนะในการวิจัยและแนวทางการจัดการเชิงนโยบาย

สำหรับข้อเสนอแนะจากผลการศึกษาวิจัยไปปรับใช้ โดยการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าจำนวนเนื้อที่จำนวน 379,430 ไร่ เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงต่อการพัฒนาเป็นพื้นที่สีเขียวในอนาคต โดยหน่วยงานท้องถิ่นหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำประเภทของพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกันด้วยข้อจำกัดทางกายภาพ ภูมิศาสตร์ เศรษฐกิจ สังคมและชุมชนเพื่อให้ผู้กำหนดนโยบายนำไปพิจารณาในการวางแผน มาตรการผ่านกลไกต่าง ๆ จากนโยบายภาครัฐเพื่อนำพื้นที่ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวและการจัดสรรประโยชน์ร่วมกันของคนในสังคมและชุมชน EEC และหน่วยงานที่

เกี่ยวข้องโดยบูรณาการข้อมูลเพื่อบริหารจัดการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งแวดล้อมด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นแนวทางในการมีส่วนร่วมของชุมชนในการบริหารจัดการประโยชน์และพัฒนาเชิงพื้นที่ในอนาคต

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs).(2558). เป้าหมายย่อยภาษาไทยจากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.sdgmove.com/sdg-101/>
- [2] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.(2564), รายงานการพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืนภาคตะวันออก พ.ศ.2564 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.gistda.or.th/article_attach/รายงานการพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืน_ภาคตะวันออก_ปี_พ.ศ.2564.pdf
- [3] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).(2564). รู้จักและเข้าใจ AIP. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.gistda.or.th/news_view.php?n_id=3212&lang=TH
- [4] บุญศิริ สุขพร้อมสรรพ.(2558). การวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่เพื่อรองรับการขยายตัวของชุมชนโดยรอบมหาวิทยาลัยพะเยา วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยา, 23(3) (432-445)
- [5] Ali, S., Techato, K., Taweenkun, J., & Gyawali, S. (2018). Assessment of land use suitability for natural rubber using GIS in the U-tapao River basin, Thailand. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 265 012021 [online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/265/1/012021>
- [6] คณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก. (2562). แผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดินและแผนผังการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและระบบสาธารณูปโภค เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2562/E/301/T_0001.PDF
- [7] กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2563). ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2562/2563).[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://tswc.idd.go.th/DownloadGIS/Index_Lu.html
- [8] กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2563). ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2562/2563).ขอบเขตเชิงภูมิศาสตร์หรือเชิงพื้นที่. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน.[ออนไลน์].แหล่งที่มา: https://tswc.idd.go.th/DownloadGIS/Index_Lu.html
- [9] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก.(2561). แผนภาพรวมเพื่อการพัฒนาเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก พ.ศ. 2560-2565. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://eeco.or.th/th/development-of-special-eastern-development-zones/contact-eeec>
- [10] กรมโยธาธิการและผังเมือง.(2552). เกณฑ์และมาตรฐานผังเมืองรวม. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://office.dpt.go.th/webupload/14xcc0f5638f262f918558abe1085de08b4/m_magazine/13908/1089/file_download/cdfe52d4246615ec45457d7177f5b661.pdf
- [11] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (สกพอ.).(2561).แผนที่ข้อมูลผังเมืองพื้นที่ชุมชนเมืองและย่านการค้าและพื้นที่อนุรักษ์และเขตพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์].แหล่งที่มา: <https://eecos.eeco.or.th/land-use/>
- [12] สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน).2566.ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) และแผนที่ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ EEC. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.dga.or.th/main-search/?q=ข้อมูลผังเมือง+EEC>
- [13] Saaty, T.L. (1980). The analytical hierarchy process, planning, priority. Resource allocation. McGraw-Hill, New York.

- [14] Saaty, T.L. (2003). Decision-making with the AHP, why is the principal eigenvector necessary. *European Journal Operations Research*, 145(1), 85–91
- [15] ประพัทธ์พงษ์ อุปลลา ซาญวาทย์ พงษ์ขวัญและกฤษณะ แพทย์จะเกร็ง.(2555). การวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่สำหรับการวางแผนพัฒนาที่อยู่อาศัย: กรณีศึกษา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *Asian Creative Architecture, Art and Design*, 8(1), 47–56. [ออนไลน์].แหล่งที่มา: <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/archkmitl/article/view/4204>
- [16] United Nations. Department of Economic and Social Affairs (DESA). (2022). The Sustainable Development Goals Report. [online]. Available: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022.pdf>
- [17] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2566). แนวทางปฏิบัติงานเพื่อขับเคลื่อนการจัดการพื้นที่สีเขียวอย่างยั่งยืน ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2566-2570) [ออนไลน์].แหล่งที่มา: <https://www.onep.go.th/ebook/urban/urban-publication-20230322-1.pdf>
- [18] สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติและสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. (2562). นโยบายและยุทธศาสตร์การอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม พ.ศ.2563-2570 และแผนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม พ.ศ.2563-2565. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : https://backend.tsri.or.th/files/trf/2 / docs/Policy_and_Strategy_of_Thailand_HESI_2 5 6 3 - 2570_and_Thailand_SRI_Plan_2563-2565.pdf
- [19] Alizadeh, R., Soltanisehat, L., Lund, P. D., & Zamanisabzi, H. (2020). Improving renewable energy policy planning and decision-making through a hybrid MCDM method. *Energy Policy*, 137. [online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111174>
- [20] A.M. Ponsiglione, F. Amato, S. Cozzolino, G. Russo, M. Romano, G. Improta. (2022). A Hybrid Analytic Hierarchy Process and Likert Scale Approach for the Quality Assessment of Medical Education Programs, *Mathematics* 10(9).1426. [online].Available: <https://doi.org/10.3390/math10091426>
- [21] Open Source Geographic Information System (QGIS).(2566). [ออนไลน์].แหล่งที่มา: <https://www.qgis.org/en/site/>
- [22] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).(2564).วิธีการคำนวณการลด/กักเก็บก๊าซเรือนกระจกภาคป่าไม้.กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.[ออนไลน์].แหล่งที่มา: <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/>
- [23] National Economic and Social Development Council. Land use change in the Eastern Economic Corridor (EEC). Bangkok: NESDC; 2021
- [24] Department of Public Works and Town & Country Planning. Analysis of urban development and land use in EEC. Bangkok: DPWTC; 2021
- [25] Ministry of Natural Resources and Environment. National policy on forest conservation and land use planning. Bangkok: MNRE; 2021
- [26] Natsuda K, Thoburn J. Industrial policy and the development of the automotive industry in Thailand. *J Southeast Asian Econ.* 2021;38(3):456-72.Natsuda K, Thoburn J. Industrial policy and the development of the automotive industry in Thailand. *J Southeast Asian Econ.* 2021;38(3):456-72
- [27] Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. Assessment of environmental impact in EEC land use change. Bangkok: ONEP; 2021

- [28] United Nations Development Programme. Sustainable development goals and land use in EEC. 2021. Available from: <https://doi.org/10.18356/9789210059478>
- [29] Kienast F, Ament S, Cramer W, et al. A multi-scale assessment of the role of ecosystem services in land use planning. *Ecol Econ.* 2012;74:29-40. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.12.011>
- [30] Chen W, Xu Y, Zhang X. Assessment of urban green space development based on spatial analysis and GIS. *Landsc Urban Plan.* 2016;148:55-65. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.001>

การพัฒนานวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานันทนาการเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง

A DEVELOPMENT OF DIGITAL MEDIA INNOVATIONS BASED ON EDUTAINMENT TO PROMOTE KNOWLEDGE, SUBJECT: CARING FOR BEDRIDDEN PATIENTS

นุชรรัตน์ นุชประยูร^{1*}

Nuchsharat Nuchprayoon^{1*}

¹สาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹Information Systems and Business Computer, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

*Corresponding Author E-mail: nuchsharat.n@rmutsb.ac.th

Received June 28, 2024; Revised August 28, 2024; Accepted September 1, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนานวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานันทนาการเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาวนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานันทนาการเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง 3) เพื่อศึกษาการยอมรับนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานันทนาการเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ที่พัฒนาขึ้น กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้ทำหน้าที่ดูแลผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีภาวะพึ่งพิงในกิจการให้บริการดูแลผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีภาวะพึ่งพิงที่ได้รับอนุญาตจากกระทรวงสาธารณสุขในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวน 40 คน ใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ แบบประเมินประสิทธิภาพและแบบประเมินการยอมรับนวัตกรรม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า นวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานันทนาการเพื่อส่งเสริมความรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยส่งเสริมความรู้ได้ดี ผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.36$, S.D. = 0.55) ผลการยอมรับนวัตกรรมของผู้ใช้ที่มีต่อนวัตกรรมสื่อดิจิทัล ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.56)

คำสำคัญ: นวัตกรรมสื่อดิจิทัล หลักศึกษานันทนาการ การดูแลผู้ป่วยติดเตียง

ABSTRACT

The objectives of this research are 1) to develop digital media innovations based on entertainment education principles to promote knowledge on caring for bedridden patients 2) to evaluate the effectiveness of digital media innovations based on entertainment education principles to promote knowledge on caring for bedridden patients. 3) to study the acceptance of digital media innovations according to the principles of entertainment education to promote knowledge regarding the care of bedridden patients developed. The sample group consisted of 40 people who take care of the elderly or dependent people in businesses that provide care for the elderly or dependent people that are licensed by the Ministry of Public Health in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province. Purposive sampling was used. Sampling tool used in the research is a questionnaire with a 5-level rating scale, including the performance evaluation form. and innovation acceptance assessment form Statistics used in data analysis are

mean, standard deviation. The results of the research found that digital media innovations follow entertainment education principles to promote knowledge on caring for bedridden patients. that has been developed can help promote knowledge well the results of the efficiency evaluation from 5 experts were overall at a good level ($\bar{X} = 4.36$, S.D. = 0.55) and the results of user acceptance of innovation towards digital media innovation. The overall picture is at the highest level ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.56).

Keywords: Digital Media Innovations, Edutainment, Caring for Bedridden Patients

1. บทนำ

ประเทศไทยก้าวเข้าสู่สังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์ ในปี พ.ศ. 2565 มีจำนวนผู้สูงอายุราวร้อยละ 20–30 เรียกได้ว่าประเทศไทยเป็นสังคมสูงอายุ (Aging Society) หรือมีสัดส่วนจำนวนประชากรที่อายุมากกว่า 65 ปีขึ้นไป หากจะเรียงลำดับว่าในภูมิภาคอาเซียนประเทศที่มีอัตราประชากรสูงอายุเรียงจากมากไปหาน้อย สรุปลดนี้ สิงคโปร์ ร้อยละ 19.5 ไทย ร้อยละ 17.1 เวียดนาม ร้อยละ 11.1 มาเลเซีย ร้อยละ 9.7 เมียนมาร์ ร้อยละ 9.5 อินโดนีเซีย ร้อยละ 8.6 บรูไน ร้อยละ 8.0 ฟิลิปปินส์ ร้อยละ 7.7 กัมพูชา ร้อยละ 7.0 และลาว ร้อยละ 6.3 จากคำนิยามของ องค์การสหประชาชาติ (UN) ในปี 2564 ประชากรไทยที่อายุ 65 ปีขึ้นไป มีจำนวนอยู่ที่ประมาณ 9 ล้านคน คิดเป็นสัดส่วนราวร้อยละ 12.8 เมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ ในอาเซียนแล้ว ไทยมีสัดส่วนประชากรสูงอายุต่อประชากรทั้งหมด มากเป็นอันดับ 2 รองจากสิงคโปร์ จากผลสำรวจสุขภาพผู้สูงอายุไทย พบว่า ผู้สูงอายุร้อยละ 1.5 อยู่ใน สภาวะ “ติดเตียง” ปัญหาด้านสุขภาพที่สูงที่สุด คือ การเคลื่อนไหวร่างกายร้อยละ 57.8 โรคเรื้อรังพบมากที่สุด คือ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวานและข้อเข่าเสื่อม ร้อยละ 41.4 18.2 และ 8.6 ตามลำดับ [1] สาเหตุของการติดเตียง ได้แก่ ความชราภาพ การเสื่อมถอยของอวัยวะ การได้รับอุบัติเหตุ การป่วยด้วยโรคหลอดเลือดสมอง ทำให้กลายเป็นผู้ป่วยที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองในการทำกิจวัตรประจำวันได้ จำเป็นต้องมีผู้ดูแลและได้รับการดูแลในระยะยาว ผู้ป่วยติดเตียงที่บ้านเป็นกลุ่มที่ส่วนใหญ่มีความยากลำบากต่อการเข้าไปรับบริการทางการแพทย์ และสาธารณสุขได้โดยตรง เนื่องจากมีปัญหาด้านการเคลื่อนไหว และต้องพึ่งพาผู้ดูแลตลอดเวลา ทั้งนี้ผู้ป่วยติดเตียงบางรายอาจต้องมีอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อช่วยเหลือติดตัวกลับไปดูแลที่บ้าน ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากในการดูแลเนื่องจากมีความซับซ้อนมากกว่าการดูแลเรื่องกิจวัตรประจำวันทั่วไป นอกจากนี้การนอนบนเตียงตลอดเวลาหรือนอนในท่าเดียวเป็นเวลานานๆ อาจส่งผลให้ผู้สูงอายุเกิดภาวะแทรกซ้อนทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจ เมื่อมีผู้ป่วยติดเตียงหน้าห้องของผู้ดูแลหลักที่ส่วนใหญ่จะเป็นสมาชิกในครอบครัวหรือมีความผูกพันทางเครือญาติกับผู้ป่วย และมักจะเป็นคนเดียวที่ทำหน้าที่ดูแลผู้ป่วยอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นผู้ดูแลหลักจึงมีปัญหาเนื่องจากขาดความรู้และทักษะในการดูแลที่ถูกต้อง

การระบาดครั้งใหญ่ของ COVID-19 ได้ปรับเปลี่ยนวิถีการใช้ชีวิตและการเรียนรู้ของคนในสังคมไปอย่างมาก เทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของทุกคนรวมถึงการเผยแพร่ความรู้ก็มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยนวัตกรรมสื่อดิจิทัลเป็นกระบวนการการบูรณาการของเทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ที่ดีขึ้นและถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ที่นิยมแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเรียนรู้ที่ดีเหมาะกับคนในยุคที่การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การพัฒนานวัตกรรมสื่อดิจิทัลที่ดีต้องเหมาะสมกับผู้รับชม เนื้อหาที่นำมาแสดงในสื่อดิจิทัลต้องกระชับ ระยะเวลาการนำเสนอต้องไม่นานจนเกินไปแต่ต้องได้ใจความที่ครบถ้วนตามที่ต้องการสื่อสารกับผู้ชม

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนานวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันถึงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง การพัฒนาสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันถึง เป็นการพัฒนาสื่อที่เน้นเนื้อหาที่มีความสนุกสนานเพลิดเพลิน และได้รับความรู้ควบคู่กันไป สื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันถึงยังช่วยกระตุ้นความสนใจให้แก่ผู้เรียนได้เป็นอย่างมาก ทั้งยังส่งเสริมการสร้างบรรยากาศการเรียนรู้อย่างสร้างสรรค์ เนื่องจากนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันถึงที่พัฒนาขึ้นนี้มีลักษณะเป็นการบอกเล่าเนื้อหาความรู้ที่เป็นภาพเคลื่อนไหวมีเสียงประกอบที่กระชับ เข้าใจง่าย น่าสนใจ สะดวกในการเข้าถึงข้อมูล

ช่วยกระตุ้นให้ผู้ชมเกิดความสนใจ มีความสนุกสนาน เอื้อให้เกิดการจดจำ ผู้ชมสามารถรับชมได้ทุกที่ทุกเวลา ประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากนำกลับมาชมซ้ำก็ทำได้ โดยนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ที่พัฒนาขึ้นจะเกิดประโยชน์ต่อสถานพยาบาลที่มีผู้ป่วยติดเตียง ผู้ทำหน้าที่ดูแลผู้ป่วยติดเตียง ญาติของผู้ป่วยติดเตียง และบุคคลที่ต้องดูแลผู้ป่วยติดเตียงซึ่งพักอาศัยในชุมชนต่างๆ ตลอดจนผู้ที่สนใจ ทั้งยังเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เจ้าหน้าที่สาธารณสุขนำมาใช้ประกอบการอธิบายให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลผู้ป่วยติดเตียงด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง
- 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง
- 3) เพื่อศึกษาการยอมรับของวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 กลุ่มประชากร

ประชากร ได้แก่ ผู้ทำหน้าที่ดูแลผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีภาวะพึ่งพิงในกิจการดูแลผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีภาวะพึ่งพิงที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่แสดงรายชื่อกิจการผ่านทางเว็บไซต์ของกระทรวงสาธารณสุขว่าได้ขึ้นทะเบียนกับกระทรวงสาธารณสุขในปี พ.ศ. 2565 เพื่อขอเป็นผู้ให้บริการในกิจการดูแลผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีภาวะพึ่งพิง พบว่า มีกิจการที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการดูแลผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีภาวะพึ่งพิง ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีจำนวน 4 แห่ง ได้แก่

- 1) ศูนย์ดูแลผู้สูงอายุหิรัญพร
- 2) ท็อป เอ็กซ์เพิร์ท เนอร์สซิงโฮมส์
- 3) บางปะอิน ซีเนียร์ แคร์
- 4) สบายใจโฮมแคร์

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้ทำหน้าที่ดูแลผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีภาวะพึ่งพิงในกิจการให้บริการดูแลผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีภาวะพึ่งพิงที่ได้รับอนุญาตจากกระทรวงสาธารณสุข ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากกิจการที่ได้รับอนุญาตแต่ละ 10 คน รวมเป็นจำนวน 40 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาสื่อ

การพัฒนาวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง มีรายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา ดังนี้

- 1) โปรแกรม Adobe animate และ Adobe After Effect สำหรับใช้ในการพัฒนาสื่อ
- 2) โปรแกรม Adobe Photoshop และ Adobe Illustrator สำหรับใช้ในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้

3.2.2 แบบประเมินประสิทธิภาพของวัตกรรมการสื่อดิจิทัล

แบบประเมินประสิทธิภาพของวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ที่พัฒนาขึ้น โดยมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยนำแบบประเมินคุณภาพที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาว่าข้อคำถามนั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ โดยการหาค่าความสอดคล้อง (Index of Item – Objective Congruence: IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญมีคุณสมบัติ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท

และดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ขึ้นไป มีประสบการณ์สอนในระดับปริญญาตรีทางด้านคอมพิวเตอร์ ระบบสารสนเทศ เทคโนโลยีการศึกษา แอนิเมชัน เกม และดิจิทัลมีเดีย หรือสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง อย่างน้อย 5 ปี

3.2.3 แบบประเมินการยอมรับนวัตกรรมสื่อดิจิทัล

แบบประเมินการยอมรับนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทิงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง สำหรับผู้ใช้นวัตกรรมทำการประเมินการยอมรับนวัตกรรมสื่อดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น มีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ นำแบบประเมินที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ตรวจสอบความเหมาะสมของข้อคำถาม โดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)

3.3 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

การดำเนินการพัฒนานวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทิงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง มีกระบวนการในการพัฒนา 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การวิเคราะห์ (Analysis)

1.1 การวิเคราะห์เนื้อหา ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา รวบรวมเนื้อหาเกี่ยวกับแนวทางการดูแลผู้ป่วยติดเตียง จากการศึกษาจากเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์จากผู้ปฏิบัติงานในสถานดูแลผู้สูงอายุ เกี่ยวกับทำทางในการดูแลผู้สูงอายุ เพื่อนำมาใช้ประกอบการพัฒนาสื่อ

1.2 ศึกษาหลักการ แนวคิด ทฤษฎีจากเอกสาร ตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างกรอบแนวคิดในการพัฒนานวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทิงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง

1.3 ศึกษาวิธีการสร้างสื่อ ตัวละครด้วยโปรแกรมประยุกต์ ดังนี้

- 1) Adobe Illustrator
- 2) Adobe Photoshop
- 3) Adobe Animate
- 4) Adobe After Effect

ขั้นที่ 2 การออกแบบ (Design)

เป็นขั้นตอนที่ออกแบบรายละเอียดต่าง ๆ ของนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทิงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ให้สอดคล้องกับกระบวนการรับรู้ ดังนี้

2.1 ขั้นตอนการกำหนดวัตถุประสงค์และเนื้อเรื่องของการดูแลผู้ป่วยติดเตียง ผู้วิจัยได้ออกแบบ ดังนี้

- 1) กำหนดวัตถุประสงค์การนำเสนอ
- 2) กำหนดเนื้อเรื่องของสื่อ โดยประเมินความสำคัญของเนื้อหาในการนำเสนอที่จะช่วยส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจ ความสามารถที่จะรับรู้ เข้าใจในเนื้อหาที่ต้องการสื่อสาร

2.2 ขั้นตอนการออกแบบนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทิงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ทำการวิเคราะห์เนื้อหาที่เกี่ยวข้องในการจัดทำ

ขั้นที่ 3 ขั้นตอนการพัฒนา (Development)

นำแผนผังเรื่องที่ได้ออกแบบไว้มาทำการพัฒนานวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทิงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง โดยมีขั้นตอนการพัฒนาสื่อ ดังนี้

3.1 ทำการสร้างนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทิงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง โดยใช้โปรแกรม Adobe Animate

3.2 สร้างตัวละครในการดำเนินเรื่อง โดยใช้โปรแกรม Adobe Illustrator และ Adobe Photoshop

3.3 ตกแต่งและสร้างภาพเคลื่อนไหว โดยใช้โปรแกรม Adobe Animate และ Adobe After Effect

3.4 ตัดต่อภาพและเสียงตาม Story Board

3.5 หลังจากทำการพัฒนาสื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำการตรวจสอบความถูกต้องและทดสอบการเข้าถึง วัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง

ขั้นที่ 4 การนำไปใช้ (Implementation)

การทดสอบและทดลองใช้งานวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน จากนั้นผู้วิจัยนำข้อเสนอแนะที่ได้มาทำการปรับปรุงสื่อให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น แล้วจึงนำวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ที่ผ่านการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเรียบร้อยแล้วไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างต่อไป

ขั้นที่ 5 การประเมินผล (Evaluation)

5.1 นำวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน

5.2 ทำการศึกษาการยอมรับนวัตกรรมจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้แบบประเมินการยอมรับนวัตกรรมไปให้ผู้ใช้งานการประเมินการยอมรับที่มีต่อนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ที่พัฒนาขึ้น แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

3.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้การหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) การประเมินประสิทธิภาพนวัตกรรมสื่อดิจิทัลและการประเมินการยอมรับนวัตกรรมของผู้ใช้ต่อนวัตกรรมสื่อดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) แล้วนำความคิดเห็นในแต่ละรายการประเมินมาพิจารณาแล้วแปลความหมายตามเกณฑ์ดังนี้ [2]

คะแนนเฉลี่ย	การแปลผล
4.51–5.00	หมายถึง มากที่สุด
3.51–4.50	หมายถึง มาก
2.51–3.50	หมายถึง ปานกลาง
1.51–2.50	หมายถึง น้อย
1.00–1.50	หมายถึง น้อยที่สุด

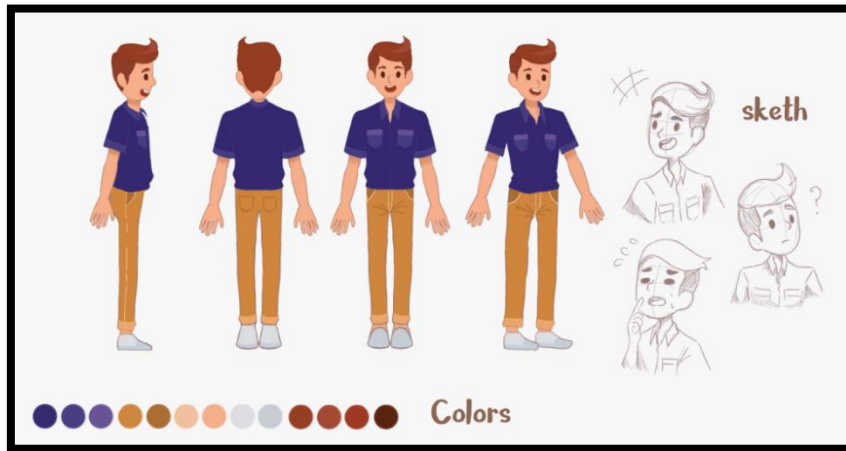
4. ผลการวิจัย

จากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษาความต้องการความรู้ของคนทั่วไปเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพ พบว่า การดูแลผู้ป่วยติดเตียง เป็นเรื่องที่น่าสนใจ เนื่องจากปัจจุบันมีผู้สูงอายุในชุมชนต่าง ๆ มีจำนวนเพิ่มขึ้น ในหลายชุมชนมักมีผู้ป่วยติดเตียง ทั้งที่มีสาเหตุมาจากความสูงวัยและเกิดจากอุบัติเหตุ ผู้วิจัยจึงนำหัวข้อ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียงมาเป็นหัวข้อใช้ในการพัฒนาวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ ซึ่งมีการสรุปเนื้อหาให้กระชับ เข้าใจง่าย จึงได้นำเสนอเนื้อหาเป็น 8 วิธี ในการดูแลผู้ป่วยติดเตียง ซึ่งเป็นเรื่องพื้นฐานที่คนดูแลผู้ป่วยติดเตียงควรมีความรู้ พัฒนาออกมาเป็น วัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงที่เป็นภาพเคลื่อนไหวพร้อมเสียงประกอบการอธิบายทำให้เกิดความน่าสนใจและเหมาะสมกับผู้ชมหลายช่วงวัยที่จะสามารถเข้าใจได้ง่าย

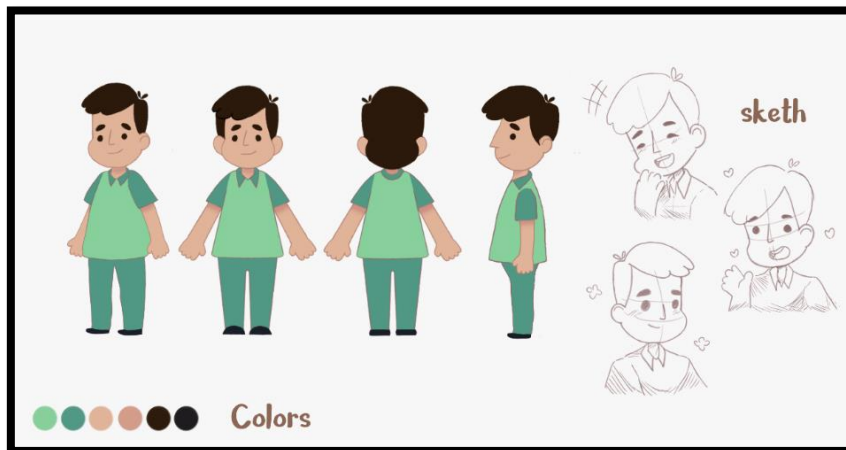
4.1 การพัฒนาวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้

ผลการพัฒนาวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง มีการดำเนินการตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ตามหลักการพัฒนาของ ADDIE Model

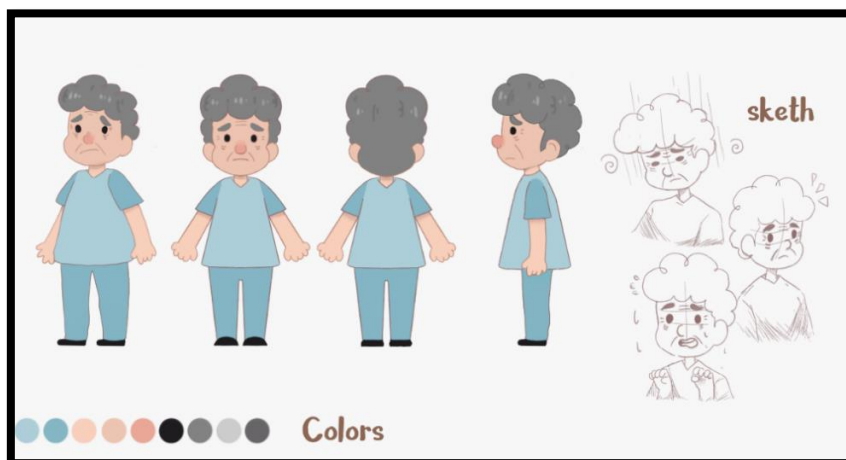
4.1.1 ออกแบบตัวละครในเรื่อง ดังแสดงในภาพที่ 1 – ภาพที่ 2



ภาพที่ 1 การออกแบบตัวละครดำเนินเรื่อง



ภาพที่ 2 การออกแบบตัวละครผู้ดูแลผู้ป่วยติดเตียง



ภาพที่ 3 การออกแบบตัวละครผู้ป่วยติดเตียง

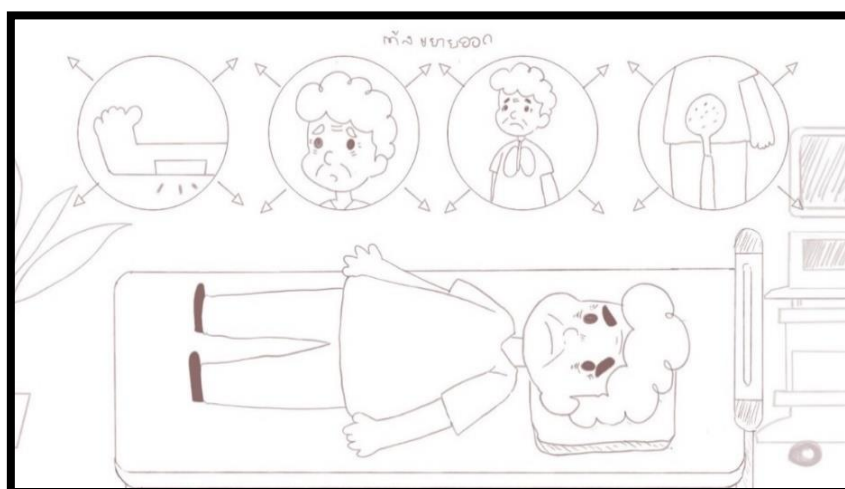
4.1.2 ออกแบบเค้าโครงเรื่องด้วยการเขียนแผนผังเรื่อง (Story Board) ดังแสดงในภาพที่ 4 – ภาพที่ 7



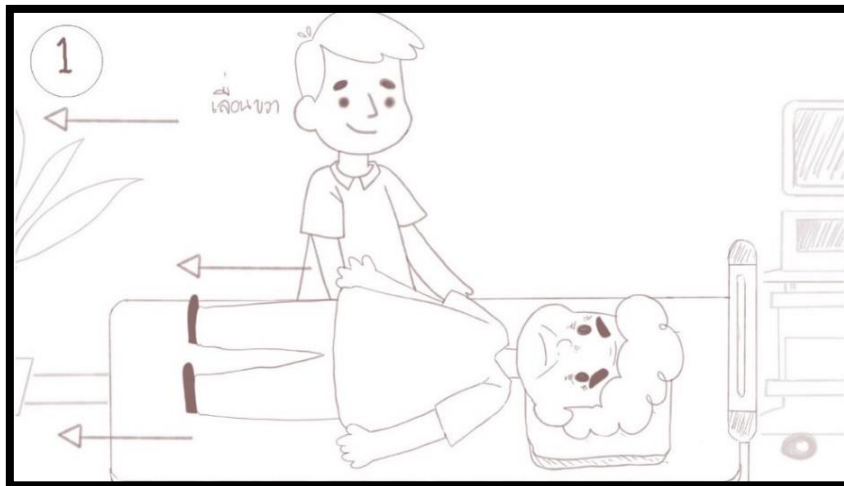
ภาพที่ 4 แสดงหัวข้อเรื่อง



ภาพที่ 5 ตัวละครดำเนินเรื่องเกริ่นนำ



ภาพที่ 6 สาเหตุการติดเตียง



ภาพที่ 7 การดูแลผู้ป่วยติดเตียง

4.1.3 ผลการพัฒนาวัตกรรมการสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ดังแสดงในภาพที่ 8 - ภาพที่ 10



ภาพที่ 8 ส่วนเริ่มต้นแสดงชื่อเรื่อง



ภาพที่ 9 ตัวละครกล่าวนำก่อนเข้าสู่เนื้อหา



ภาพที่ 10 วิธีการป้องกันแผลกดทับ

4.2 ผลการหาประสิทธิภาพของนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง

ผู้วิจัยดำเนินการหาประสิทธิภาพพัฒนานวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียงที่พัฒนาขึ้น โดยนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ผลการประเมินหาประสิทธิภาพของนวัตกรรมสื่อดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง

รายการการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. เนื้อหามีความสอดคล้องกับเรื่องที่น่าสนใจ	4.80	0.44	ดีมาก
2. เนื้อหาเหมาะสมที่จะนำไปใช้เรียนรู้ด้วยตนเอง	4.40	0.54	ดี
3. เนื้อหาช่วยส่งเสริมความรู้ได้ตามวัตถุประสงค์	4.60	0.89	ดีมาก
4. เนื้อหามีความสอดคล้องตามหลักวิชาการ	4.20	0.44	ดี
5. การออกแบบตัวละครและฉากเหมาะสม สวยงาม	4.00	0.70	ดี
6. เสียงดนตรีที่ใช้ประกอบเหมาะสม ชัดเจน	4.40	0.54	ดี
7. การลำดับภาพในแต่ละฉากมีความต่อเนื่อง	4.00	0.00	ดี
8. เสียงบรรยายกับภาพที่ใช้ประกอบสอดคล้องกัน	4.20	0.54	ดี
9. การพากย์เสียงบรรยายชัดเจนและใช้คำได้เหมาะสม	4.40	0.89	ดี
10. ระยะเวลารวมในการดำเนินเรื่องมีความเหมาะสม	4.60	0.54	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.36	0.55	ดี

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง จำนวน 10 รายการประเมิน พบว่า ผลของรายการประเมินที่มีค่ามากที่สุดลำดับแรก คือ เนื้อหา มีความสอดคล้องกับเรื่องที่น่าสนใจระดับดีมาก ค่าเฉลี่ย 4.80 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.44 ลำดับรองลงมา คือ ระยะเวลา รวมในการดำเนินเรื่องมีความเหมาะสม ระดับดีมาก ค่าเฉลี่ย 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.54 และลำดับสุดท้าย คือ การลำดับภาพแต่ละฉากมีความต่อเนื่อง ระดับดีมาก ค่าเฉลี่ย 4.00 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00 ในภาพรวมนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษานิเทศศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพในระดับดี ค่าเฉลี่ย 4.36 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.55

4.3 ผลการศึกษาการยอมรับนวัตกรรมของผู้ใช้ที่มีต่อนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง

ผลการศึกษาการยอมรับนวัตกรรมของผู้ใช้ที่มีต่อนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียงที่พัฒนาขึ้น ทำการประเมินจากกลุ่มตัวอย่าง รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาการยอมรับนวัตกรรมของผู้ใช้ที่มีต่อนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง

รายการประเมินการยอมรับ	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
การรับรู้ประโยชน์ (Perceived usefulness)			
1. การใช้นวัตกรรมสื่อดิจิทัลทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลผู้ป่วยติดเตียงได้ดี	4.65	0.57	มากที่สุด
2. การใช้นวัตกรรมสื่อดิจิทัลช่วยให้ข้อมูลการดูแลผู้ป่วยติดเตียงที่ได้รับถูกต้อง	4.55	0.55	มากที่สุด
3. การนำนวัตกรรมสื่อดิจิทัลมาช่วยลดขั้นตอนในการทำงานได้	4.40	0.49	มาก
4. นวัตกรรมสื่อดิจิทัลช่วยให้การถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้ร่วมงานภายในองค์กรได้เร็วขึ้น	4.42	0.50	มาก
5. นวัตกรรมสื่อดิจิทัลช่วยลดความเข้าใจในการปฏิบัติงานที่คลาดเคลื่อนให้ลดน้อยลงได้	4.47	0.55	มาก
ค่าเฉลี่ยด้านการรับรู้ประโยชน์	4.49	0.53	มาก
การรับรู้ว่าใช้งานง่าย (Perceived ease of use)			
1. ท่านไม่จำเป็นต้องใช้ความพยายามมากในการทำความเข้าใจการใช้งานนวัตกรรมสื่อดิจิทัล	4.67	0.52	มากที่สุด
2. นวัตกรรมสื่อดิจิทัลสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีการทำงานแบบดั้งเดิมได้ดี	4.62	0.62	มากที่สุด
3. นวัตกรรมสื่อดิจิทัลมีเนื้อหา ภาพ เสียงที่ชัดเจนเข้าใจง่าย	4.45	0.55	มาก
4. นวัตกรรมสื่อดิจิทัลช่วยให้ปฏิบัติงานง่าย ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน	4.42	0.54	มาก
5. ท่านสามารถเข้าใช้งานนวัตกรรมสื่อดิจิทัลได้ทุกที่ทุกเวลา	4.52	0.55	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยด้านการรับรู้ว่าใช้งานง่าย	4.53	0.55	มากที่สุด
ทัศนคติต่อการใช้ (Attitude toward using)			
1. นวัตกรรมสื่อดิจิทัลส่งผลให้การทำงานในสถานดูแลผู้สูงวัยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน	4.67	0.61	มากที่สุด
2. ท่านมีความเชื่อมั่นในการใช้งานนวัตกรรมสื่อดิจิทัล	4.35	0.69	มาก
3. การนำนวัตกรรมสื่อดิจิทัลเข้ามาใช้งานเป็นความคิดที่ดี	4.65	0.62	มากที่สุด
4. ท่านอยากแนะนำนวัตกรรมสื่อดิจิทัลนี้ให้กับผู้อื่นได้ใช้งาน	4.52	0.55	มากที่สุด
5. ท่านมีความพึงพอใจในการใช้งานนวัตกรรมสื่อดิจิทัล	4.70	0.60	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยด้านทัศนคติต่อการใช้	4.57	0.61	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน	4.53	0.56	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ผลการยอมรับนวัตกรรมของผู้ใช้ที่มีต่อนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเทงเพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง จากผลการประเมินการยอมรับนวัตกรรม 3 ด้าน ได้แก่ การรับรู้ประโยชน์ (Perceived

usefulness) การรับรู้ว่ายางานง่าย (Perceived ease of use) และทัศนคติต่อการใช้ (Attitude toward using) ด้านละ 5 รายการประเมิน รวมทั้งหมด 15 รายการประเมิน จากจำนวนผู้ใช้ 40 คน พบว่า รายการประเมินที่มีลำดับมากที่สุดเป็นลำดับแรก คือ ท่านมีความพึงพอใจในการใช้งานนวัตกรรมสื่อดิจิทัล ค่าเฉลี่ย 4.70 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.60 ลำดับรองลงมา คือ ท่านไม่ต้องใช้ความพยายามมากในการทำความเข้าใจการใช้งานนวัตกรรมสื่อดิจิทัล มีค่าเฉลี่ย 4.67 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.52 สำหรับผลประเมินรวมในแต่ละด้าน พบว่า การรับรู้ประโยชน์ (Perceived usefulness) มีระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.49 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.53 ด้านการรับรู้ว่ายางานง่าย (Perceived ease of use) มีระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.53 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.55 และทัศนคติต่อการใช้ (Attitude toward using) มีระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.61 สำหรับในค่าเฉลี่ยรวมในทุกด้านของรายการประเมินการยอมรับนวัตกรรมของผู้ใช้มีระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.53 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.56

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยสรุปผลที่ได้จากการดำเนินการวิจัย นวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเท็กซ์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ตามวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

นวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเท็กซ์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ส่งเสริมความรู้ในการดูแลผู้ป่วยติดเตียง เนื่องจากมีการใช้เทคนิคการนำเสนอที่น่าสนใจในการเล่าเรื่องผ่านตัวละครที่เป็นการ์ตูนให้เข้าใจง่าย เสียงพากษ์ข้อความบรรยายและดนตรีประกอบที่เหมาะสม ชัดเจน เนื้อหากระชับ สอดคล้องตามหลักวิชาการ ช่วยให้ผู้รับสารสามารถเข้าใจเนื้อหาที่ต้องการสื่อสารได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับงานวิจัยของระวีวรรณ ทรัพย์อินทร์ และญาติณี เคารพธรรม [3] กล่าวว่า กลุ่มผู้สูงวัยนั้นก็มีความต้องการในการใช้สื่อที่หลากหลายและแตกต่างกันไม่แพ้วัยเด็กและเยาวชน โดยสิ่งที่จำเป็นปัจจัยเงื่อนไขทั้งปัจจัยส่วนตัว เช่น ลักษณะบุคลิกภาพ ความชอบ ความถนัด ปัจจัยด้านการศึกษา ปัจจัยทางด้านสังคม สภาพครอบครัว และฐานะทางเศรษฐกิจ ตลอดจนปัจจัยทางกายภาพ

ผลการประเมินประสิทธิภาพของนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเท็กซ์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ภาพรวมอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ย 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.55 สอดคล้องกับงานวิจัยของสายสุนีย์ จับใจและคณะ [4] การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ออนไลน์สำหรับโต้ตอบกับผู้สูงอายุ ผลการประเมิน โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ผลความคิดเห็นโดยส่วนใหญ่อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.39$, S.D. = 0.62) เนื่องจากผลการประเมินรายด้าน ได้แก่ ตัวอักษร เนื้อหา รูปภาพประกอบ และเสียง มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน สอดคล้องกับงานวิจัยของอิงอร วงษ์ศรีรักษา และบรรเจิด ผลงาม [5] การพัฒนาสื่อการเรียนรู้อยู่ด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม เรื่อง ไหว้พระ 9 วัด อำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี พบว่า ผลการประเมินคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อสื่อการเรียนรู้ออนไลน์พัฒนาโดยความเป็นจริงเสริม เรื่อง ไหว้พระ 9 วัด อำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี ทั้ง 3 ด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านเนื้อหา 2) ด้านภาพและเสียง และ 3) ด้านเทคนิคการพัฒนาความเป็นจริงเสริม เฉลี่ยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.34$, S.D. = 0.47) สอดคล้องกับผลงานวิจัยของดาวฤดา วีระพันธ์และณัฐรติ อนุพงศ์ [6] การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ออนไลน์การ์ตูนมัลติมีเดีย 2 มิติ เรื่อง อยู่อย่างพอเพียง ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผลการวิจัย พบว่า ผลการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้ออนไลน์การ์ตูนมัลติมีเดีย 2 มิติ เรื่อง อยู่อย่างพอเพียง ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยรวม 4.31 ซึ่งระดับคุณภาพอยู่ในระดับดี 5.3 ผลการยอมรับนวัตกรรมของผู้ใช้ที่มีต่อนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเท็กซ์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ทำการประเมินการยอมรับนวัตกรรม 3 ด้าน คือ การรับรู้ประโยชน์ (Perceived usefulness) การรับรู้ว่ายางานง่าย (Perceived ease of use) และทัศนคติต่อการใช้ (Attitude toward using) ตามแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) สอดคล้องกับงานวิจัยของจุฬาลักษณ์ มณีเลิศ [7] การพัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการดูแลผู้สูงอายุกลุ่มติดเตียงด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม พบว่า ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันยอมรับระบบโดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด อาจเนื่องมาจากผู้พัฒนาได้สร้างแบบสอบถามการยอมรับด้านความง่ายต่อการใช้งาน ด้านการรับรู้ถึง

ประโยชน์ ด้านทัศนคติที่มีต่อการใช้งาน ตามแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี TAM เพื่อประเมินการยอมรับแอปพลิเคชันจากผู้ใช้งาน ผลการยอมรับระบบโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.59 ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานเท่ากับ 0.38

6. ข้อเสนอแนะ

- 1) การนำนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเท็กซ์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียงไปใช้ควรมีการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังการนำสื่อไปใช้ เพื่อให้ทราบถึงการพัฒนาการความรู้ที่เกิดขึ้นของผู้ใช้สื่อ
- 2) ก่อนนำนวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเท็กซ์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียงผู้วิจัยควรมีการชี้แจงวัตถุประสงค์ เพื่อให้ผู้ที่นำไปใช้ความเข้าใจถึงวัตถุประสงค์และแนวทางการใช้ที่ถูกต้อง
- 3) ควรนำเทคนิคที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลความต้องการความรู้ของผู้ดูแลผู้ป่วยที่มีความหลากหลายมาใช้รวบรวมความต้องการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพครอบคลุมความต้องการให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้การกำหนดหัวข้อเรื่องที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้สื่อมากที่สุด
- 4) ควรพัฒนานวัตกรรมสื่อดิจิทัลตามหลักศึกษามันเท็กซ์เพื่อส่งเสริมความรู้ เรื่อง การดูแลผู้ป่วยติดเตียง ในลักษณะที่สามารถปฏิสัมพันธ์กับผู้ชมได้ เพื่อกระตุ้นให้ผู้ชมเกิดความสนใจเพิ่มมากขึ้น
- 5) ควรมีช่องทางการกระจายสื่อที่หลากหลายเพื่อให้ผู้สนใจสามารถนำเอาวัตกรรมการสื่อดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นไปเผยแพร่ให้กับชุมชนหรือผู้ที่สนใจ ทำให้เกิดการกระจายความรู้ให้ครอบคลุมและเป็นการเพิ่มขอบเขตของกลุ่มเป้าหมายให้มากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากงบประมาณกองทุนส่งเสริมงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2566 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและคณะบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย (มส.ผส.). (2565). สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2565. นครปฐม: สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [2] บุญชม ศรีสะอาด. (2553). การวิจัยเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8 ฉบับปรับปรุงใหม่. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
- [3] ระวีวรรณ ทรัพย์อินทร์ และญาศิณี เคารพธรรม. (2560). สื่อกับผู้สูงอายุในประเทศไทย. วารสารนิเทศศาสตร์ธุรกิจบัณฑิต. ปีที่ 11 ฉบับที่ 2. กรกฎาคม - ธันวาคม 2560. หน้า 367-387
- [4] สายสุนีย์ จับใจ, สุดาใจ โล่ห์นิชชัย, ธิดานุช พุทธสิมมา และ เบญจกิต จงหมื่นไวย. (2563). การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ออนไลน์สำหรับโต้ตอบกับผู้สูงอายุ. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 เดือน. กรกฎาคม - ธันวาคม 2563. หน้า 47-58
- [5] อิงอร วงษ์ศรีรักษา และบรรเจิด ผลงาม. (2564). การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม เรื่อง ไหว้พระ 9 วัด อำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี. วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 2 ฉบับที่ 3. กรกฎาคม - กันยายน 2564. หน้า 25-37
- [6] ดารารดา วีระพันธ์และณัฐรดี อนุพงศ์. (2560). การพัฒนาสื่อการเรียนรู้การ์ตูนมัลติมีเดีย 2 มิติ เรื่อง อยู่อย่างพอเพียง ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต. วารสารวไลยอลงกรณ์ปริทัศน์ (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์). 7(3), 61-72.
- [7] จุฬาลักษณ์ มณีเลิศ. (2564). การพัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการดูแลผู้สูงอายุกลุ่มติดเตียงด้วยเทคโนโลยี ความเป็นจริงเสริม. วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ. ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2564. หน้า 83-94

การวิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการขนส่งสินค้า กรณีศึกษา บริษัท ภัทรพล ทรานสปอร์ต จำกัด

THE COMPARISON OF MODEL OF COST ANALYSIS IN THE TRANSPORTATION PROCESS. A CASE STUDY: PATTARAPOL TRANSPORT COMPANY LIMITED

พลกฤต กลิ่นแก้วดำรง^{1*} และ ฉมาธร กุยศรีกุล¹

Pholakrit Klunkaewdamrong^{1*} and Chamathon Kuisrikul¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

¹Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

*Corresponding Author E-mail : Chamathorn.ku@bsru.ac.th

Received June 30, 2024; Revised July 8, 2024; Accepted July 9, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาถึงข้อมูลค่าใช้จ่ายระหว่างการลงทุนซื้อรถบรรทุก 10 ล้อและลูกฟูก กับการจัดจ้างผู้รับเหมาขนส่งจากแหล่งภายนอก (2) เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการลงทุนซื้อรถบรรทุก 10 ล้อ และลูกฟูก เพื่อทดแทนการจ้างผู้รับเหมาขนส่งหรือรถร่วมจากแหล่งภายนอก (3) เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐาน สำหรับปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนในการตัดสินใจซื้อรถบรรทุก โดยบริษัทกรณีศึกษาซึ่งดำเนินธุรกิจขนส่งมากกว่า 10 ปี ต้องการแนวทางที่หลากหลายเพื่อพิจารณาการลงทุนให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพและไม่สะดุด เนื่องจากมีสัญญาจ้างงานระยะเวลา 3 ปีที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพและความเชื่อมั่นในการประมูลงานครั้งต่อไป การศึกษาได้ออกแบบแนวทางการตัดสินใจ 6 แนวทาง ประกอบด้วย 1) การลงทุนซื้อรถบรรทุกสิบล้อมือหนึ่ง 7 คัน 2) การลงทุนซื้อรถมือสอง 7 คัน 3) การจัดจ้างบริการขนส่งภายนอก 7 คัน 4) การผสมผสานระหว่างการซื้อรถมือหนึ่ง 4 คันกับการจ้างรถร่วม 3 คัน 5) การซื้อรถมือสอง 4 คันร่วมกับการจ้างรถภายนอก 3 คัน 6) การใช้รถบริษัททั้งหมดโดยจ้างขนส่งภายนอกเฉพาะวันที่รถไม่เพียงพอ โดยการวิเคราะห์ครอบคลุมทั้งด้านต้นทุนคงที่ ต้นทุนผันแปร ค่าเสื่อมราคา ค่าบำรุงรักษา และผลตอบแทนจากการลงทุนในระยะยาว

ผลการวิเคราะห์พบว่า แนวทางที่เหมาะสมที่สุดคือการลงทุนซื้อรถบรรทุกสิบล้อมือสองสภาพประมาณ 80% จำนวน 4 คัน โดยใช้รถของบริษัทเองเพิ่มเติมอีก 3 คัน เนื่องจากสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากร ซึ่งส่งผลให้บริษัทสามารถพลิกสถานการณ์จากการขาดทุนเฉลี่ย 67,976 บาทต่อเดือน เป็นมีกำไรเฉลี่ย 184,024 บาทต่อเดือน คิดเป็นผลตอบแทนการลงทุนที่ร้อยละ 15.3 ต่อปี นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการและสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันทางธุรกิจในระยะยาว

คำสำคัญ: การลงทุนซื้อรถบรรทุก ต้นทุนการขนส่ง การตัดสินใจลงทุน ประสิทธิภาพการดำเนินงาน

Abstract

This research aims to (1) examine the cost data associated with investing in the purchase of 10-wheel trucks and trailers compared to outsourcing transport services from external contractors, (2) assess the feasibility of investing in 10-wheel trucks and trailers to replace the use of external transport contractors or partner vehicles,

and (3) provide fundamental information on the factors involved in cost calculations for decision-making regarding truck purchases. The case study company, which has been operating in the logistics sector for over 10 years, seeks diverse investment strategies to ensure operational efficiency and continuity, given its 3-year contractual agreements that may affect efficiency and confidence in future bidding opportunities. The study designs six decision-making scenarios, as follows 1) Investing in the purchase of seven new 10-wheel trucks 2) Investing in the purchase of seven used trucks 3) Outsourcing transportation services for seven trucks 4) Combining the purchase of four new trucks with outsourcing three external trucks 5) Combining the purchase of four used trucks with outsourcing three external trucks 6) Using the company's existing trucks while outsourcing transportation only when internal fleet capacity is insufficient. The analysis encompasses fixed costs, variable costs, depreciation, maintenance expenses, and long-term investment returns.

The results reveal that the most suitable approach is to invest in the purchase of four used 10-wheel trucks in approximately 80% condition, supplemented by the company's existing three trucks. This approach effectively reduces operational costs and enhances resource management efficiency, enabling the company to shift from an average monthly loss of 67,976 THB to an average monthly profit of 184,024 THB. This represents an annual return on investment of 15.3%. Additionally, this strategy increases flexibility in resource management and provides a competitive advantage in the long-term business landscape.

Keywords: Investment in trucks, Transportation cost, Investment decisions, Operational efficiency

1. บทนำ

บริษัท ภัทรพล ทราฟฟิค จำกัด เป็นผู้ให้บริการด้านการขนส่งสินค้าทางถนนที่ก่อตั้งในปี พ.ศ. 2557 โดยมีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ให้บริการขนส่งสินค้าครอบคลุมทั้งภายในประเทศและประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ ลาว พม่า และกัมพูชา ด้วยรูปแบบการดำเนินธุรกิจในปัจจุบันที่เน้นการรับงานทั่วไปแบบไม่มีสัญญาระยะยาว ส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนของรายได้และความผันผวนในการใช้ทรัพยากรรถขนส่ง ในขณะที่บริษัทยังคงมีภาระค่าใช้จ่ายคงที่ อาทิ เงินเดือนพนักงาน ค่าเช่าสำนักงาน และค่าสาธารณูปโภคต่างๆ ทำให้เกิดความท้าทายในการบริหารเงินทุนหมุนเวียนและการวางแผนทางการเงินในระยะยาว

จากสถานการณ์ดังกล่าว บริษัทจึงมีแผนยุทธศาสตร์ในการขยายการดำเนินงานโดยการเข้าร่วมประมูลงานที่มีสัญญาระยะยาว 3 ปี เพื่อสร้างความมั่นคงด้านรายได้และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากร อย่างไรก็ตาม การขาดประสบการณ์ในการวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนเพื่อกำหนดราคาประมูลที่เหมาะสม รวมถึงความจำเป็นในการลงทุน จัดหารถบรรทุกเพิ่มเติมจำนวน 4-7 คัน เป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ โดยเฉพาะในด้านการตัดสินใจเลือกระหว่างการลงทุนซื้อรถใหม่หรือรถมือสอง ซึ่งแต่ละทางเลือกมีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดที่แตกต่างกันในด้านประสิทธิภาพการทำงาน มาตรฐานความปลอดภัย และต้นทุนการดำเนินงานระยะยาว

นอกจากนี้ การพิจารณาถึงปัจจัยด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมในอุตสาหกรรมขนส่งที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว รวมถึงแนวโน้มด้านพลังงานทางเลือกและความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม ล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ต้องนำมาวิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจลงทุน การศึกษานี้จึงมุ่งวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนด้านยานพาหนะสำหรับการขนส่ง เปรียบเทียบกับการจ้างผู้รับเหมาช่วง (Sub Contract) โดยคำนึงถึงปัจจัยด้านการเงิน การดำเนินงาน และความยั่งยืนทางธุรกิจ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการดำเนินธุรกิจอย่างมีประสิทธิภาพและสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันในระยะยาว ทั้งนี้ ผลการศึกษาจะเป็นแนวทางสำคัญในการกำหนดกลยุทธ์การลงทุนและการพัฒนาธุรกิจของบริษัทในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาถึงข้อมูลค่าใช้จ่ายระหว่างการลงทุนซื้อรถบรรทุก 10 ล้อและลูกฟุ้งกับการจัดจ้างผู้รับเหมาขนส่งจากแหล่งภายนอก
- 2) เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายซื้อรถบรรทุก 10 ล้อ และลูกฟุ้งกับการจ้างรถร่วมจากแหล่งภายนอก
- 3) เพื่อนำข้อมูลค่าใช้จ่ายต่างๆที่ได้จากการศึกษามาประกอบการตัดสินใจจัดซื้อรถบรรทุกมาดำเนินการเองหรือจ้างรถร่วมมาดำเนินการ

3. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1) ทราบถึงข้อมูลค่าใช้จ่ายระหว่างการลงทุนซื้อรถบรรทุก 10 ล้อและลูกฟุ้งกับการจัดจ้างผู้รับเหมาขนส่งจากแหล่งภายนอก
- 2) ได้รูปแบบในการลงทุนซื้อรถบรรทุก 10 ล้อและลูกฟุ้งเพื่อทดแทนการจ้างผู้รับเหมาขนส่งจากแหล่งภายนอก
- 3) ได้แนวทางเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายพื้นฐานต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนในการตัดสินใจซื้อรถบรรทุก

4. ขอบเขตการวิจัย

- 1) ขอบเขตด้านเนื้อหา ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลด้านเงินลงทุน ค่าใช้จ่าย กำไรสุทธิ มูลค่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้น และระยะเวลาต้นทุน
- 2) ขอบเขตด้านพื้นที่ การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะพื้นที่ในการดำเนินงานของบริษัท ภัทรพล ทรานสปอร์ต จำกัด เท่านั้น
- 3) ขอบเขตด้านเวลา ระยะเวลาในการศึกษางานวิจัยนี้ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึงเดือน ตุลาคม 2566

5. แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 แนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบต้นทุนขนส่ง [1]

การจัดการต้นทุนที่ดีทำให้การขนส่งมีประสิทธิภาพผลดีและสามารถควบคุมการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในการขนส่งได้ดี และรักษาระดับการให้บริการอยู่ในระดับที่ลูกค้าตั้งความหวังไว้ รวมถึงความสามารถในการพิจารณาตัดสินใจว่าจ้างผู้ให้บริการขนส่งจากภายนอกหรือไม่ หรือใช้ประเมินว่าจะใช้ยานยนต์ของตนเองหรือว่าจ้างจากภายนอก การบันทึกต้นทุนสามารถบันทึกต้นทุนจริงและสมรรถนะจริงเพื่อติดตาม และควบคุมปฏิบัติการขนส่ง และการวัดต้นทุนเพื่อระบุจำนวนเงินทุนและงบประมาณสำหรับงาน การคำนวณต้นทุนจะคำนวณจากแต่ละประเภทของทรัพยากรในการขนส่งอันประกอบไปด้วย แรงงานพนักงานขับรถที่เป็นผู้ขับขีรถยนต์ เครื่องจักรหรือตัวรถยนต์ วัสดุสิ้นเปลือง (ยางรถยนต์ น้ำมันเชื้อเพลิง) เงินลงทุนของทรัพยากรโดยพิจารณาจากเวลาที่ทรัพยากรนี้ถูกใช้ไปตามเป้าหมายต่างๆ หน่วยต้นทุน (Cost Unit) ที่ใช้แสดงเช่น ต้นทุนต่อระยะเดินทางได้ (กิโลเมตร) ต้นทุนต่อน้ำหนัก 1 ตันในระยะทาง 1 กิโลเมตร และต้นทุนต่อกล่องที่จัดส่ง โดยสามารถจัดทำเป็นศูนย์ต้นทุน (Cost Center) เช่นการคิดต้นทุนต่อรถยนต์ ต่อแผนขนส่ง ต่อพนักงานขับรถ เป็นต้น [2]

ต้นทุนทางตรง (Direct Cost) ต้นทุนที่เชื่อมโยงเข้ากับศูนย์ต้นทุนได้โดยตรงยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้รถยนต์เป็นศูนย์ต้นทุน ต้นทุนทางตรงก็จะรวมถึง น้ำมันเชื้อเพลิง ใบอนุญาตรถยนต์ และการประกันภัยสำหรับรถยนต์

ต้นทุนทางอ้อม (Indirect Cost) ต้นทุนทุกอย่างที่เกิดขึ้นในการดำเนินธุรกิจ ต้นทุนเหล่านี้ยังเป็นที่รู้จักในรูปของค่าดำเนินงาน (Overhead Cost) ซึ่งต้องถูกรวมเข้าไปหรือครอบคลุมอยู่ในอัตราต้นทุนที่คิดกับลูกค้า ดังนั้นต้นทุนเหล่านี้ต้องเฉลี่ยอย่างเท่าเทียมกันระหว่างรถยนต์แต่ละคันในฝ่ายขนส่ง เช่น ค่าจ้างพนักงานสำนักงาน ค่าโทรศัพท์ ค่าระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นต้น

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของเนื้อหาจากเอกสารวิชาการ งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อออกแบบรูปแบบการศึกษารวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่ออภิปรายผลการศึกษาโดยเชื่อมโยงกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เก็บรวบรวมจากเอกสารในการจัดซื้อรถบรรทุก 10 ล้อพร้อมลูกพ่วง และการจ้างเหมารถร่วมบริการ รวมถึงข้อมูลค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงประกอบการสรุปผลการศึกษา

7. ผลการวิจัย

ต้นทุนที่นำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด เพื่อให้บริษัททราบถึงต้นทุนที่แท้จริงจะประกอบไปด้วยต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน นำต้นทุนที่คำนวณได้แปลงเป็นกิโลเมตร และแปลงเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อเดือน

7.1 ต้นทุนซื้อรถบรรทุก 10 ล้อ พ่วงแม่-ลูก มือหนึ่ง จำนวน 1 คัน

7.1.1 ราคารถบรรทุก 10 ล้อ พ่วงแม่-ลูก มือหนึ่ง

ทางบริษัทตัดสินใจเลือกซื้อรถบรรทุกของฮิโน โดยราคารถบรรทุก 10 ล้อ รุ่น HINO-FL8 ปี 2023 มี 260 แรงม้า (ตัวแทนจำหน่าย บริษัท ชัยรัชการ (กรุงเทพ) จำกัด ข้อมูล ณ เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2566)

ราคา 10 ล้อพร้อมตู้ 10 บาน (ราคาเงินสด 2,584,112.15 บาท ภาษีมูลค่าเพิ่ม 180,887.85 บาท รวม 2,765,000 บาท)

ราคาลูกพ่วงพร้อมตู้ ประตู 10 บาน ยาว 7.5 เมตร (ราคาเงินสด 350,000 บาท ภาษีมูลค่าเพิ่ม 24,500 บาท รวม 374,500 บาท)

ราคารถ 10 ล้อและลูกพ่วงรวมภาษีมูลค่าเพิ่มทั้งสิ้น 3,139,500 บาท ดอกเบี้ยรายปีอยู่ที่ 3.30% ต่อปี แบ่งจ่าย 60 งวด ค่างวดจะอยู่ที่ ราคารถเงินสด (2,584,112.15 + 350,000) รวม 2,934,112.15 บาท อัตราดอกเบี้ย 3.30% ต่อปี ระยะเวลาผ่อน 60 งวด

การคำนวณค่างวดรถบรรทุก 10 ล้อและลูกพ่วง ยอดเงินที่ต้องกู้จากสถาบันการเงินอยู่ที่ 2,934,112.15 บาท เมื่อคำนวณรวมดอกเบี้ย 3.30% ต่อปี ตลอดระยะเวลาผ่อนชำระ 5 ปี จะได้ยอดผ่อนชำระทั้งหมดประมาณ 3.4 ล้านบาท หรือคิดเป็นค่างวดรายเดือน 60,959 บาท ซึ่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว

7.1.2 ราคารถบรรทุก 10 ล้อ พ่วงแม่-ลูก มือสอง

ราคารถบรรทุก 10 ล้อมือ 2 สภาพ 80% ขึ้นเลขไมล์ไม่เกิน 300,000 กิโลเมตรรวมตู้ 10 บาน ราคาจะอยู่ที่ประมาณ 1,600,000 – 1,700,000 บาท (เอกวัฒน์ เซอร์วิส ข้อมูล ณ เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566) ราคา 10 ล้อพร้อมตู้ 10 บาน (ราคาเงินสด 1,542,056 บาท ภาษีมูลค่าเพิ่ม 107,944 บาท รวม 1,650,000 บาท) ราคาลูกพ่วง พร้อมตู้ 10 บาน 7.5 เมตร (ราคาเงินสด 350,000 บาท ภาษีมูลค่าเพิ่ม 24,500 บาท รวม 374,500 บาท) ราคารถ 10 ล้อและลูกพ่วงรวมภาษีมูลค่าเพิ่มทั้งสิ้น 2,024,500 บาท ดอกเบี้ยรายปีอยู่ที่ 3.30% ต่อปี แบ่งจ่าย 60 งวด ค่างวดจะอยู่ที่ ราคารถเงินสด (1,542,056 + 350,000) รวม 1,892,056 บาท อัตราดอกเบี้ย 3.30% ต่อปี

การคำนวณค่างวดรถบรรทุก 10 ล้อมือสองพร้อมลูกพ่วง ยอดเงินที่ต้องกู้จากสถาบันการเงินอยู่ที่ 1,892,056 บาท เมื่อคำนวณรวมดอกเบี้ย 3.30% ต่อปี ตลอดระยะเวลาผ่อนชำระ 5 ปี จะได้ยอดผ่อนชำระทั้งหมดประมาณ 2.2 ล้านบาท หรือคิดเป็นค่างวดรายเดือน 39,310 บาท ซึ่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว

โดยสรุปค่าวงจรบรรทุกทั้ง 2 แบบที่ต้องชำระตามจำนวนรถดังตารางที่ 1
ตารางที่ 1 แสดงค่าวงจรบรรทุก มือหนึ่งและมือสองต่อเดือนตามจำนวนรถ

ประเภทรถ	จำนวนรถ		
	คันที่1	คันที่4	คันที่7
รถมือหนึ่งพร้อมลูกฟูก	60,959	243,836	426,713
รถมือสองพร้อมลูกฟูก	39,310	157,240	275,170

7.2 ค่าบำรุงรักษา

ค่าบำรุงรักษาประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ค่าบำรุงรักษาทั่วไป 2) ค่าเปลี่ยนยาง

7.2.1 ค่าบำรุงรักษาทั่วไป

ค่าบำรุงรักษาทั่วไป ได้แก่ น้ำมันเครื่อง กรองน้ำมันเครื่อง, กรองดักน้ำ, กรองน้ำมันโซล่า เปลี่ยนทุก 20,000 กิโลเมตร รวมค่าใช้จ่ายต่อครั้งอยู่ที่ 1,880.5 บาท คิดเป็นกิโลเมตร = $1,880.5 \div 20,000$ จะอยู่ที่ 0.09 บาทต่อกิโลเมตร ระยะทางวิ่งต่อ 1 เทียวอยู่ที่ 439 กิโลเมตร 1 เดือนวิ่ง 8 เทียวจะอยู่ที่ระยะทาง 3,512 กิโลเมตร ค่าใช้จ่ายต่อเดือนจะอยู่ที่ $3,512 \times 0.09 = 316$ บาทต่อเดือน [3]

7.2.2 ค่าเปลี่ยนยาง

ค่าเปลี่ยนยาง ยางรถบรรทุกมีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 2-3 ปี หรือ 100,000-120,000 กิโลเมตร ราคาขาย 8,100 บาท[4] ต่อ 1 เส้น เปลี่ยน 18 ล้อ ราคารวม 145,800 บาทต่อ 3 ปี หรือ 4,050 บาทต่อคันต่อเดือน

ตารางที่ 2 แสดงค่าใช้จ่ายเปลี่ยนถ่ายของเหลว

รายการ	จำนวนที่ใช้ต่อคัน	ราคาต่อหน่วย	ค่าใช้จ่ายต่อจำนวนรถ		
			1 คัน	4 คัน	7 คัน
น้ำมันเครื่อง	15 ลิตร	74.5	1,117.5	4,470	7,822.5
กรองเครื่อง	1 ชิ้น	430	430	1,720	3,010
กรองดักน้ำ	1 ชิ้น	143	143	572	1,001
กรองน้ำมันโซล่า	1 ชิ้น	190	190	760	1,330
ราคารวม			1,880.5	7,522	13,163.5

7.3 ค่าเสื่อมราคา

วิธีที่เหมาะสมสำหรับการคิดราคาค่าเสื่อมราคาสำหรับรถบรรทุก คือ วิธีเส้นตรง (Straight line method) เนื่องจากง่ายต่อการคำนวณ ซึ่งเหมาะสำหรับรถบรรทุกที่มีการเสื่อมสภาพ ไปตามเวลามากกว่าเสื่อมสภาพเพราะการใช้งาน เป็นการเสื่อมสภาพใกล้เคียงกันทุกปี [5] โดยอายุการใช้งานของรถบรรทุกใหม่จะอยู่ที่ 5-7 ปี หรือตามความเหมาะสม และค่าซากของรถบรรทุกไม่ได้ ถูกกำหนดไว้ตายตัว ส่วนใหญ่จะกำหนดไว้ประมาณร้อยละ 40 ถึงร้อยละ 50 ของมูลค่าเดิม [6]

การคำนวณค่าเสื่อมราคาของรถบรรทุกใช้ วิธีเส้นตรง (Straight Line Method) เนื่องจากคำนวณง่ายและเหมาะสมกับรถที่เสื่อมสภาพตามเวลา ซึ่งในกรณีนี้รถบรรทุกใหม่และรถบรรทุกมือสองจะมีอายุการใช้งาน 10 ปี และมูลค่าซากกำหนดที่ 50% ของมูลค่าเริ่มต้น

ตารางที่ 3 แสดงค่าเสื่อมราคาของรถบรรทุก

รายการ	ราคารวม (บาท)	มูลค่าซาก (บาท)	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเสื่อมราคา ต่อปี (บาท)	ค่าเสื่อมราคา ต่อเดือน (บาท)
รถบรรทุก 10 ล้อ มี หนึ่งพร้อมลูกฟูก	2,934,112	1,467,056	10	146,706	12,225
รถบรรทุก 10 ล้อ มี สองพร้อมลูกฟูก	1,892,056	946,028	10	96,402	8,033

หมายเหตุ: ค่าเสื่อมราคาต่อปีคำนวณโดยใช้สูตร (ราคารวม - มูลค่าซาก) ÷ อายุการใช้งาน

7.4 ค่าต่อภาษีและพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ (พ.ร.บ.) กรมการขนส่งทางบก. 2559 [7]

ตารางที่ 4 แสดงอัตราค่าภาษีรถบรรทุกประเภท 10 ล้อที่มีน้ำหนัก 7,001 ขึ้นไป

ประเภท	ค่าภาษีต่อปี (บาท)	ค่าภาษีต่อเดือน (บาท)
ตัวแม่ (ทะเบียนหัว)	4,350	362.50
ลูกฟูก	4,050	337.50
รวม	8,400	700

7.5 อัตราเบี้ยประกันพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ (พ.ร.บ.)

ตารางที่ 5 แสดงอัตราค่าภาษีรถบรรทุกประเภท 10 ล้อที่มีน้ำหนัก 7,001 ขึ้นไป

ประเภท	ค่า (พ.ร.บ.) ต่อปี (บาท)	ค่า (พ.ร.บ.) ต่อเดือน (บาท)
ตัวแม่ (ทะเบียนหัว)	2,718	226.50
ลูกฟูก	645	53.75
รวม	3,363	280.25

7.6 ค่าประกันภัยรถบรรทุก

บริษัท เมืองไทยประกันภัย ทุนประกันความเสียหายอยู่ที่ 2 ล้านบาท คลุมส่วนแม่และลูกฟูก ค่าเบี้ยอยู่ที่ 23,000 บาทต่อปี หรือ 1,917 บาทต่อเดือน (ข้อมูล ณ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566)

7.7 ค่าประกันสินค้า

ตารางที่ 6 แสดงค่าประกันสินค้า

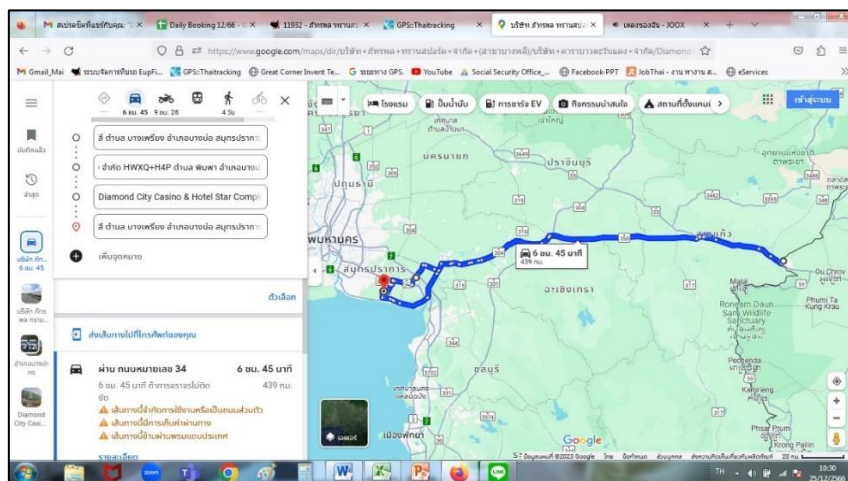
ประเภท	ค่าเบี้ยประกันสินค้านรายปี (บาท)	ค่าเบี้ยประกันสินค้านรายเดือน (บาท)
ตัวแม่ทะเบียนหัว	7,000	583.33
ลูกฟูก	7,000	583.33
รวม	14,000	1,167

ตารางที่ 7 แสดงรายการรวมค่าใช้จ่าย ค่าต่อภาณีและ พ.ร.บ ค่าประกันภัยรถบรรทุก ค่าประกันสินค้า ตามจำนวนรถ

รายการ	ค่าใช้จ่ายตามจำนวนรถรวมลูกฟ่วง ต่อเดือน		
	คันที่ 1	คันที่ 4	คันที่ 7
ค่าต่อภาณี	700	2,800	4,900
ค่า พ.ร.บ.	280.25	1,121	1,961.4
ค่าประกันภัย	1,917	7,668	13,419
ค่าประกันสินค้า	1,167	4,668	8,169
รวมค่าใช้จ่ายต่อเดือน	4,064.5	16,257	28,449.4

7.8 ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่บริษัทกำหนดไว้สำหรับรถ 10 ล้อพ่วงแม่-ลูก คือ 3.5 กิโลเมตรต่อลิตร หรือ กิโลเมตรละ 8.57 บาท (ราคาน้ำมันลิตรละ 30 บาท ณ วันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566) จะใช้น้ำมันอยู่ที่ ระยะทางไป-กลับ อยู่ที่ 439 กิโลเมตร 125 ลิตร ราคาลิตรละ 30 บาท จะมีค่าน้ำมันอยู่ที่ 3,750 บาทต่อคัน ต่อเที่ยว (วิ่งงานเดือนละ 8 เที่ยวต่อเดือน) หรือ 30,000 บาทต่อเดือน (ข้อมูลระยะทางตามโปรแกรม GPS ของบริษัท ตามรูปภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 เส้นทางและระยะทาง

ตารางที่ 8 แสดงต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่อเดือนตามจำนวนรถ

น้ำมัน	จำนวน(ลิตร)			จำนวนรถ		
	ปริมาณต่อ	จำนวน 8 รอบ	ราคาต่อลิตร	คันที่ 1	คันที่ 4	คันที่ 7
เชื้อเพลิง	รอบ	/เดือน				
ดีเซล	125	1,000	30	30,000	120,000	210,000

7.9 เงินเดือนพนักงาน

พนักงานดูแลสายงาน 1 คน เงินเดือน 18,000 บาท พนักงานคนขับ 7 คน อัตราเงินเดือนต่อคน 9,500 บาท ค่าเที่ยว 2,000 บาทต่อเที่ยว 1 เดือนวิ่งประมาณ 8 เที่ยวจะได้ 16,000 บาท รวม 25,500 บาทต่อเดือนต่อคนโดยประมาณ รวมเป็นเงิน $18,000 + (25,500 \times 7) = 196,000$ บาท หมายถึงที่ซื้อรถเพิ่มเท่านั้น

ตารางที่ 9 ต้นทุนค่าแรงพนักงานดูแลสายงาน และคนขับรถ

ตำแหน่ง	เงินเดือน	จำนวนรถ	
		4 คัน	7 คัน
พนักงานดูแลสายงาน	18,000	18,000	18,000
คนขับรถ	25,500	102,000	178,500
รวม		120,000	196,500

ตารางที่ 10 ต้นทุนคงที่การดำเนินการขนส่งในแต่ละเดือน

รายละเอียด	ราคา (บาทต่อเดือน)
ค่าบำรุงรักษาทั่วไป	316
ค่ายาง (ต่อคัน)	4,050
ค่าภาษี (ต่อคัน)	700
ค่า พ.ร.บ. (ต่อคัน)	280.05
ค่าประกันภัยอุบัติเหตุ (ต่อคัน)	1,917
ค่าประกันภัยสินค้า (ต่อคัน)	1,167
เงินเดือนและค่าเที่ยว	196,000
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (Fix rate)	30,000

7.10 ต้นทุนการจัดจ้างจากแหล่งภายนอก

บริษัททำการหารถร่วม โดยการแจ้งรายละเอียดการวิ่งงาน มีบริษัทที่ สนใจมาวิ่งร่วม 2 บริษัท อัตราค่าบริการของผู้รับเหมาขนส่งจากภายนอกคือ 10,500 บาทต่อเที่ยว มีรายละเอียดต้นทุนรวม ดังนี้

ตารางที่ 7 ต้นทุนรวมการจัดจ้างผู้รับเหมาขนส่งจากแหล่งภายนอก (รถร่วมบริการ)

รายชื่อบริษัท	ราคาต่อเที่ยว
บริษัท เอ็มเคไลน์ ทรานสปอร์ต จำกัด	10,500
บริษัท เอ็มเอสแอล ทรานสปอร์ต จำกัด	10,500

8. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมมา และประเมินจากสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน ทำให้เกิดความเสี่ยงในการลงทุน และการแข่งขันด้านราคาที่สูงขึ้น บริษัทขนส่งต่าง ๆ ลดราคาค่าจ้างจนไม่เหลือรายได้ ประกอบกับอัตราดอกเบี้ยที่สูง ซึ่งแนวทางที่บริษัทจะสามารถควบคุมต้นทุนได้ดีคือใช้แนวทางที่ 5 และ 6 ควบคู่กันไป เนื่องจากจะได้ไม่ต้องเอาเงินมาลงทุนเพิ่มเติม โดยตัดสินใจซื้อรถ 10 ล้อมือสอง จำนวน 4 คัน และเป็นรถบรรทุกที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซล จะมีความทนทานกว่ารถที่ใช้แก๊ส NGV และแรงขับก็มากกว่า และในบางวันที่รถในบริษัทว่างก็สามารถเอามาวิ่งงานเพื่อเพิ่มการใช้รถให้สูงมากขึ้นกว่าเดิม และในวันที่รถบริษัทไม่สามารถมารับงานได้ ก็พิจารณาใช้รถร่วมบริการแทนได้

ตารางที่ 8 แสดงเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละแนวทาง

แนวคิด	ค่างวด รถต่อ เดือน	ค่า บำรุงรักษา	ค่ายาง	ภาษี	พ.ร.บ	ประกัน อุบัติเหตุ	ประกัน สินค้า	เงินเดือน	ค่า เชื้อเพลิง	ค่าจ้าง รถรวม	รวม ค่าใช้จ่าย	รวมรายได้	คงเหลือ
ซื้อรถสิบล้อมือหนึ่งจำนวน 7 คัน	426,713	2,311	28,350	4,900	1,962	13,417	8,167	196,500	211,680		894,000	616,000	- 278,000
ซื้อรถสิบล้อมือสอง สภาพ ร้อยละ 70 จำนวน 7 คัน	275,170	2,311	28,350	4,900	1,962	13,417	8,167	196,500	211,680		742,457	616,000	- 126,457
จัดหารถสิบล้อจำนวน 7 คันโดยจ้างขนส่งภายนอก โรงงานแทน										588,000	588,000	616,000	28,000
ลงทุนซื้อรถสิบล้อมือหนึ่ง จำนวน 4 คัน จ้างรถสิบล้อ ภายนอก 3 คัน	243,836	1,321	16,200	2,800	1,121	7,667	4,667	120,000	120,960	252,000	518,572	616,000	- 154,572
สถานประกอบการ ลงทุน ซื้อรถสิบล้อมือสอง สภาพ ร้อยละ 80 จำนวน 4 คัน จ้างรถสิบล้อภายนอก 3 คัน	157,240	1,321	16,200	2,800	1,121	7,667	4,667	120,000	120,960	252,000	431,976	616,000	-67,976
ใช้รถบริษัทที่มีอยู่เดิม จ้าง ขนส่งภายนอกไว้เฉพาะ วันที่รถบริษัทไม่พอใช้งาน		2,311	28,350	4,900	1,962	13,417	8,167	196,500	211,680		467,287	616,000	148,713

9. สรุปผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมมา และประเมินจากสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน ทำให้เกิดความเสี่ยงในการลงทุน และการแข่งขันด้านราคาที่รุนแรง บริษัทขนส่งต่าง ๆ ลดราคาค่าจ้างจนไม่เหลือรายได้ ประกอบกับอัตราดอกเบี้ยที่สูง ซึ่งแนวทางที่บริษัทจะสามารถควบคุมต้นทุนได้ดีคือใช้แนวทางที่ 5 และ 6 ควบคู่กันไป เนื่องจากจะได้ไม่ต้องเอาเงินมาลงทุนเพิ่มเติม โดยตัดสินใจซื้อรถ 10 ล้อมือสอง จำนวน 4 คัน และเป็นรถบรรทุกที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซล จะมีความทนทานกว่ารถที่ใช้แก๊ส NGV และแรงขับก็มากกว่า และในบางวันที่รถในบริษัทว่างก็สามารถเอามาวางงานเพื่อเพิ่มการใช้รถให้สูงมากขึ้นกว่าเดิม และในวันที่รถบริษัทไม่สามารถมารับงานได้ ก็พิจารณาใช้รถร่วมบริการแทนได้

10. ข้อเสนอแนะ

การคำนวณต้นทุนสำหรับเตรียมตัวเข้าประมูลงาน จะต้องมีความละเอียดรอบครอบ เพราะจะเกิดความผิดพลาดไม่ได้เพราะผลเงินเมื่อประมูลงานได้แล้ว ถ้าราคาผิดไม่ตรงข้อมูลตามความเป็นจริงอาจเกิดความเสียหายได้อย่างมหาศาล นอกเหนือจากนั้นความไว้วางใจและความน่าเชื่อถือในการประมูลงานครั้งต่อไปอาจส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับบริษัท ควรมีการอบรมหรือมีหน่วยงานกลางที่สนับสนุนความรู้ทางด้านนี้ จะสามารถช่วยให้การบริหารงานในบริษัทขนส่งต่าง ๆ ที่ขาดความรู้ นี้จะได้เพิ่มในส่วนของการทักษะที่ควรต้องรู้

11. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยเรื่องนี้ด้วย

12. เอกสารอ้างอิง

- [1] คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2551). การจัดการต้นทุนโลจิสติกส์. กรุงเทพฯ: โฟกัสมีเดียแอนด์พับลิชชิง
- [2] อัศวิน พุ่มตระกูล. (2558). การศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการจ้างรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์และการจัดซื้อมาดำเนินการเองของ บริษัท ไทยันวู้ดเอ็กซ์พอร์ต จำกัด. วารสารบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ ราชชมงคลล้านนา, 3(2), 84-98

- [3] พงศธร ศิริพงษ์ชัย. (2559). การวิเคราะห์เปรียบเทียบการลงทุนระหว่างการจัดรถบรรทุกและการใช้บริการ Third Party ในธุรกิจขนส่งไม้ท่อน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน มหาวิทยาลัยบูรพา
- [4] กิจการยาง. (2563). ยางรถบรรทุกชลบุรี.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.kitkarnyang.com>
- [5] ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ. (2540). เศรษฐศาสตร์การวิเคราะห์โครงการ กรุงเทพมหานคร ภาควิชา เศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [6] คงเดช ทรงแสง. (2558). บทความโครงสร้างต้นทุนค่าขนส่งรถบรรทุกและค่าเสื่อม. งานนิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [7] กรมการขนส่งทางบก. (2559). อัตราภาษีรถตาม พ.ร.บ.รถยนต์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.dlt.go.th/th/dlt-knowledge/106/>

การประเมินและการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากภาคการขนส่ง ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

AN ASSESSMENT AND FORECASTING OF CARBON DIOXIDE (CO₂) EMISSIONS FROM THE TRANSPORTATION SECTOR USING REGRESSION ANALYSIS AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHODS

กฤษฎา เครือชาลี¹ โอภาส กิจกำแหง^{2*} และ วรณลักษณ์ อภินาวิน³

Krisada Khruachalee¹, Opas Kitkamhang^{2*} and Wannaluk Apinawin³

¹สาขาวิชาการจัดการธุรกิจระหว่างประเทศ คณะบริหารธุรกิจ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

¹International Business Management Program, Faculty of Business Administration, Siam Technology College

²หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

²Master of Business Administration Program, Faculty of Business Administration, Siam Technology College

³สาขาวิชาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

³Management Program, Faculty of Business Administration, Siam Technology College

*Corresponding author Email; opask@siamtechno.ac.th

Received August 26, 2024; Revised September 29, 2024; Accepted October 9, 2024

บทคัดย่อ

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและความหนาแน่นของประชากรนำไปสู่ปริมาณการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้สถานการณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นหัวข้อที่ทุกประเทศให้ความสนใจที่จะต้องเข้าไปบริหารจัดการให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสม เนื่องจากก๊าซ CO₂ เป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ มลพิษทางอากาศ และการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคการขนส่งที่มีแนวโน้มการเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการเข้าใจแนวโน้มและรูปแบบการปล่อยก๊าซ CO₂ ในอนาคตจะช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายสามารถพัฒนามาตรการและโครงการที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้อย่างเหมาะสม ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาตัวแบบในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง จำนวนพาหนะจดทะเบียน จำนวนประชากร ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ และดัชนีความเชื่อมั่นอนาคตเศรษฐกิจภูมิภาค เพื่อมาช่วยในการพยากรณ์ตามตัวแบบข้างต้นตั้งแต่ปีพ.ศ. 2550 ถึงปีพ.ศ. 2566 โดยพบว่าตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้แม่นยำและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอย โดยพิจารณาจากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และเมื่อทำการพยากรณ์ออกไปล่วงหน้าเป็นระยะเวลา 5 ปี โดยกำหนดให้ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง จำนวนพาหนะจดทะเบียน และผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 1 ในแต่ละเดือน จะมีผลทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อพิจารณาผลของการพยากรณ์จากตัวแบบทั้งสอง ณ จุดเวลาใดๆ จะพบว่าค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยจะมีค่าสูงกว่าค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม โดยรวมเฉลี่ยที่ 6,787,756 ตัน และเมื่อระยะเวลาในการพยากรณ์ยาวนานมากขึ้น ความแตกต่างจากการพยากรณ์ของทั้งสองตัวแบบจะยิ่งห่างมากขึ้นเช่นกัน ด้วยความสามารถในการพยากรณ์ของตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม ผู้กำหนดนโยบายและหน่วยงานกำกับดูแลสามารถนำมาสร้างนโยบายด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนยิ่งขึ้นได้

โดยสามารถใช้ติดตามแนวโน้มการปล่อยก๊าซ CO₂ และประเมินประสิทธิภาพของกลยุทธ์การลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้อย่างต่อเนื่อง

คำสำคัญ; การพยากรณ์ คาร์บอนไดออกไซด์ การขนส่ง การวิเคราะห์การถดถอย โครงข่ายประสาทเทียม

ABSTRACT

Economic growth and population density have led to a continuous increase in energy consumption, resulting in carbon dioxide (CO₂) emissions becoming a critical issue that all countries need to manage effectively and appropriately. CO₂ is a major contributor to climate change, air pollution, and adverse effects on human livelihoods, particularly in the transportation sector, which shows a significant upward trend. Thus, understanding the future trends and patterns of CO₂ emissions can assist policymakers in developing measures and initiatives that are responsive to these changes. This research aims to forecast CO₂ emissions from the transportation sector using regression analysis and neural network models. The study employs data on energy consumption, the number of registered vehicles, population size, gross domestic product (GDP), and regional economic confidence indices from 2007 to 2023. The results show that the neural network model provides more accurate and efficient CO₂ emission forecasts than the regression model, as indicated by the root mean square error. Additionally, a five-year forward forecast, assuming that energy consumption, the number of registered vehicles, and GDP increase at a rate of 1% per month, predicts a continuous rise in CO₂ emissions. When comparing the forecast results of the two models at any given time point, it is observed that the regression model consistently yields higher predicted values than the neural network model, with an average difference of 6,787,756 tons. As the forecast horizon extends, the disparity between the predictions from the two models becomes progressively larger. With the forecasting capabilities of the neural network model, policymakers and regulatory agencies can formulate more effective and sustainable environmental management policies. It can be utilized to continuously monitor CO₂ emission trends and evaluate the effectiveness of CO₂ emission reduction strategies.

Keywords; Forecasting, Carbon Dioxide, Transportation, Regression Analysis, Artificial Neural Network

1. บทนำ

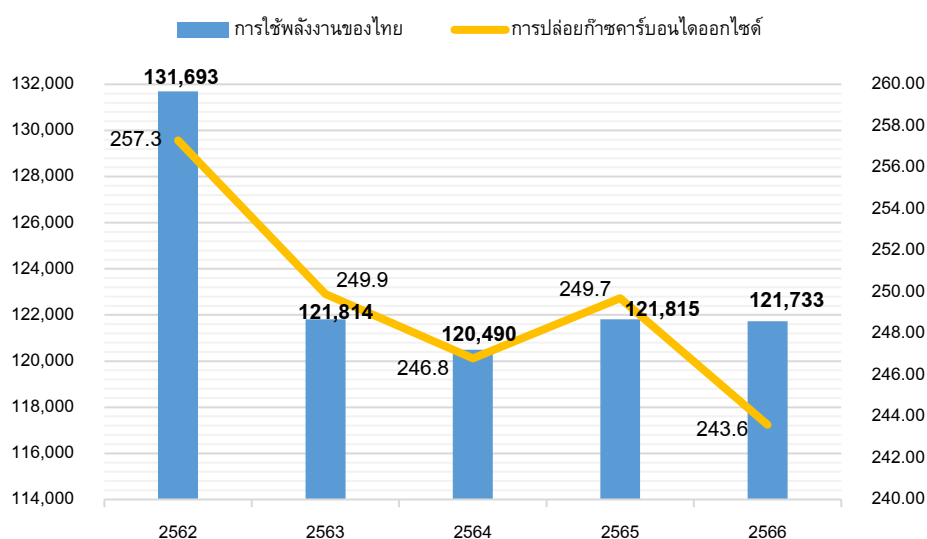
สถานการณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคพลังงานในประเทศไทยตั้งแต่ปีพ.ศ. 2542 จนถึงปัจจุบัน ได้รับการจับตามองอย่างใกล้ชิดจากหลายภาคส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สำนักงานนโยบายและแผน กระทรวงพลังงาน ที่ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นจากการขยายตัวของเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของประชากรได้มีผลผลักดันให้การปล่อยก๊าซ CO₂ ของโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1 แม้ว่าประเทศไทยจะได้มีการดำเนินการตามนโยบายและมาตรการต่างๆ เพื่อควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ก็สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้เพียงเล็กน้อย สถานการณ์ดังกล่าวยังคงเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องการการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อบรรลุเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามข้อตกลงปารีส (Paris Agreement) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปล่อยก๊าซ CO₂ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนทั่วโลก เพราะก๊าซ CO₂ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ทรัพยากรธรรมชาติ และการดำรงชีวิตของมนุษย์โดยตรง รวมถึงการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การเกิดพายุที่รุนแรงขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลที่ไม่แน่นอน ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นตัวอย่างหนึ่งของผลกระทบที่ชัดเจน นอกจากนี้ มลพิษทางอากาศจากก๊าซ CO₂ และก๊าซอื่น ๆ

ที่เกิดขึ้นพร้อมกัน ยังมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยเฉพาะในพื้นที่เมืองใหญ่ที่มีประชากรอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น กรุงเทพฯ เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน ที่มีปัญหาคุณภาพอากาศที่เลวร้ายในปัจจุบัน

ตารางที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการใช้พลังงานของไทย ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2562 – 2566

รายละเอียดข้อมูล	2562	2563	2564	2565	2566
การใช้พลังงานของไทย (KTOE)	131,693	121,814	120,490	121,815	121,733
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ล้านตัน CO ₂)	257.3	249.9	246.8	249.7	243.6

แหล่งข้อมูล: [1]

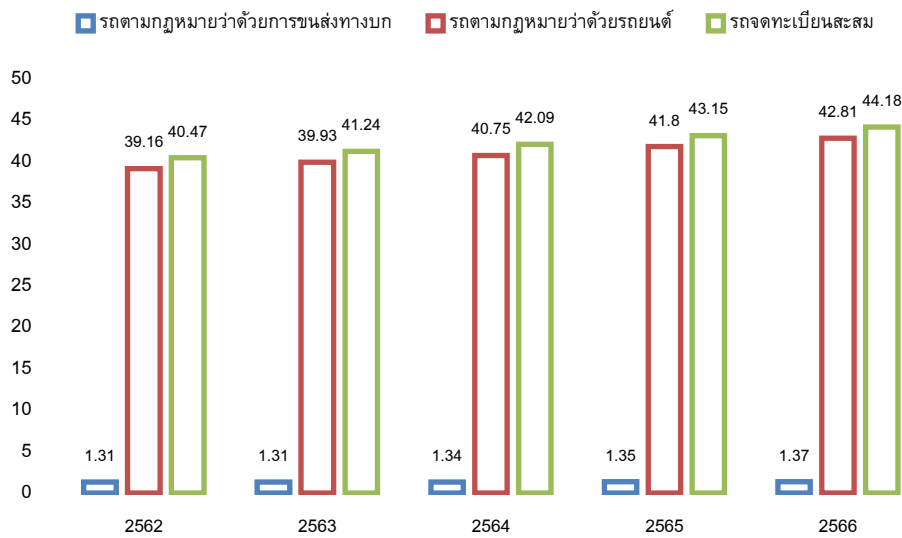


ภาพที่ 1 แนวโน้มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (หน่วย: ล้านตัน CO₂) และการใช้พลังงานของไทย (หน่วย: KTOE) ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2562 – 2566

แหล่งข้อมูล: [2]

ภาคการขนส่งถือว่าเป็นหนึ่งในภาคธุรกิจที่เป็นแหล่งปล่อยก๊าซ CO₂ ที่สำคัญในประเทศไทยรวมถึงทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เขตเมืองที่มีการจราจรที่หนาแน่นและมีประชากรอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น กรุงเทพฯ และ ปริมณฑล เป็นต้น โดยจากการสำรวจข้อมูลตั้งแต่ปีพ.ศ. 2562–2566 ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งพบว่าการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลและการขนส่งสินค้าได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [3] ซึ่งส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซ CO₂ ในภาคธุรกิจดังกล่าวเพิ่มขึ้นมากด้วยเช่นกัน จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติของ [3] แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มของอัตราการเติบโตของรถจดทะเบียนสะสม ณ วันที่ 30 กันยายน ปีพ.ศ. 2562–2566 ที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 1.77 หรือประมาณ 0.93 ล้านคันต่อปี ซึ่งเมื่อพิจารณาในแต่ละประเภท พบว่า รถเกือบทุกประเภทมีแนวโน้มอัตราที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถบรรทุกไม่ประจำทางที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมา คือ รถโดยสารส่วนบุคคล และรถบรรทุกส่วนบุคคล

การขนส่งทางบกยังคงเป็นช่องทางหลักในการขนส่งสินค้าและผู้คนในประเทศ แต่การใช้พลังงานจากน้ำมันฟอสซิลในยานพาหนะเหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นรถยนต์ รถบรรทุก หรือรถมอเตอร์ไซด์ กลับสร้างความกังวลในด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ส่วนการขนส่งทางอากาศและทางทะเลนั้นก็ยังมีส่วนร่วมในการเพิ่มการปล่อยก๊าซ CO₂ เช่นกัน แม้จะมีสัดส่วนน้อยกว่าการขนส่งทางบกก็ตาม



ภาพที่ 2 แนวโน้มจำนวนรถจดทะเบียนสะสม (หน่วย: ล้านคัน)

ตั้งแต่ 30 กันยายน ปีพ.ศ. 2562 – 30 กันยายน ปีพ.ศ. 2566

แหล่งข้อมูล: [2]

เพื่อตอบสนองต่อความท้าทายนี้ ประเทศไทยได้ดำเนินการหลากหลายมาตรการเพื่อควบคุมและลดการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่ง เช่น การส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles: EVs) การพัฒนาโครงข่ายขนส่งสาธารณะที่มีประสิทธิภาพ และการสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนในภาคการขนส่ง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างพื้นฐานและพฤติกรรมของผู้ใช้ยังคงเป็นสิ่งที่ท้าทายความพยายามในการสนับสนุนการขนส่งสาธารณะและการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในยานพาหนะยังต้องการการลงทุนและการสนับสนุนจากทั้งภาครัฐและเอกชนอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าจะมีการดำเนินการหลายอย่างเพื่อควบคุมการปล่อยก๊าซ CO₂ ในประเทศไทย แต่ความจำเป็นในการดำเนินการอย่างเร่งด่วนยังคงเป็นสิ่งที่สำคัญ ในระยะยาวการลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ในภาคการขนส่งจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงที่ยั่งยืนและต่อเนื่อง การสร้างนโยบายที่เข้มแข็งและการให้การสนับสนุนในการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนและเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ประเทศไทยสามารถลดผลกระทบจากการปล่อยก๊าซ CO₂ และก้าวสู่นาคตที่ยั่งยืนได้ การร่วมมือกันระหว่างทุกภาคส่วนในสังคมจะเป็นกุญแจสำคัญในการเผชิญหน้ากับความท้าทายนี้และสร้างอนาคตที่ดีขึ้นสำหรับคนรุ่นต่อไป

การพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากภาคการขนส่งจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมในระยะยาวนี้ เพราะการพยากรณ์ที่แม่นยำจะช่วยให้สามารถวางแผนและดำเนินการลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเข้าใจแนวโน้มและรูปแบบการปล่อยก๊าซ CO₂ ในอนาคตจะช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายสามารถพัฒนามาตรการและโครงการที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ การพยากรณ์ยังเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการประเมินผลกระทบของนโยบายและการดำเนินการต่าง ๆ ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการขนส่ง ซึ่งเป็นกุญแจสำคัญในการสร้างสังคมที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังจะเห็นจากการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านที่ได้นำประเด็นดังกล่าวมาพิจารณา [4,9] โดยผลงานดังกล่าวได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ในวิธีการต่าง ๆ อีกมากมาย

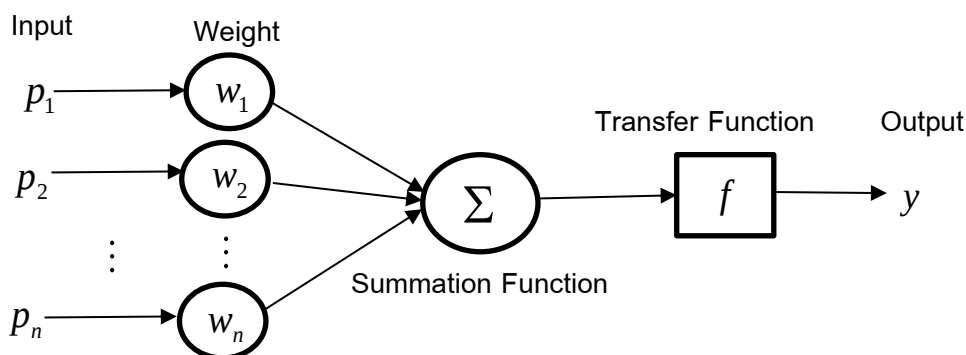
2. วัตถุประสงค์การวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอตัวแบบในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 จากภาคการขนส่งด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม พร้อมทั้งพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 ในแต่ละเดือนจากภาคการขนส่งในอีกปี 5 ปีล่วงหน้าด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

3. ทบทวนวรรณกรรม

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากการปล่อยก๊าซ CO_2 เป็นปัญหาที่ทำนายระดับโลกที่ต้องได้รับการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO_2 จากภาคการขนส่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการจัดการกับปัญหานี้ การศึกษาหลายผลงานได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์แบบต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทำนายตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพอากาศ ซึ่งรวมถึงการปล่อยก๊าซพิษชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ที่ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่โดดเด่นในหลายกรณี

จากการทบทวนวรรณกรรมจะพบว่ามีการใช้ตัวแบบ ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA) ที่ถูกเสนอโดย [10] หรือวิธี Exponential Smoothing ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการทางสถิติที่ได้รับความนิยมในการพยากรณ์ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น การคาดการณ์ปริมาณฝน หรือระดับมลพิษทางอากาศ เป็นต้น โดยตัวแบบ ARIMA เป็นตัวแบบที่สามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็นเชิงเส้นและต้องมีการแปลงข้อมูลเพื่อให้มีคุณสมบัติความนิ่ง (Stationary) ก่อนนำมาใช้ในการพยากรณ์ งานวิจัยที่ใช้ตัวแบบ ARIMA เพื่อพยากรณ์ระดับมลพิษทางอากาศในเมืองใหญ่แสดงให้เห็นว่าตัวแบบ ARIMA สามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ แต่ข้อจำกัดของตัวแบบนี้ คือ ไม่สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีลักษณะตามฤดูกาลหรือแนวโน้มที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดีเท่ากับตัวแบบที่มีความซับซ้อนที่มากขึ้น [11] การประยุกต์ใช้ตัวแบบ ARIMA นี้สามารถพบได้จากการศึกษาของ [12] และ [13] ที่ได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบ ARIMA ในการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO_2 ทั้งในจีนและอินเดียซึ่งได้ผลการพยากรณ์ที่ดี ส่วนในประเทศไทย พบว่าการศึกษาของ [14] ได้นำตัวแบบ ARIMA มาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO_2 จากการใช้น้ำมันสำเร็จรูป ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตัวแบบ ARIMA ให้ผลการพยากรณ์ที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ตัวแบบ ARIMA ในการพยากรณ์ข้อมูลทางการเงินด้วย เช่น [15] ที่ได้นำมาใช้ในการพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนซึ่งให้ผลการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีความผันผวนต่ำ ทั้งนี้ [16] ยังได้แสดงให้เห็นว่าตัวแบบ ARIMAX สามารถช่วยให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากกว่าการใช้เพียงแค่ตัวแบบ ARIMA และ [17] ยังได้นำตัวแบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในประเทศบังคลาเทศแล้วได้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำขึ้น



ภาพที่ 3 รูปแบบขั้นตอนของการประมวลผลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

แหล่งข้อมูล: [19]

นอกจากวิธีการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาข้างต้น ผู้วิจัยพบว่า การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งเช่นกัน เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างตัวแบบที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างชัดเจน จากการศึกษาของ [18] ที่ได้ใช้การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อคาดการณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ จากระถยนต์ที่ใช้งานทั่วไปในประเทศแคนาดา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลทางเทคนิคของรถยนต์สามารถทำนายการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้อย่างแม่นยำ โดยมีการนำเสนอตัวแบบที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง

นอกจากนี้ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมก็ยังเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ในปัจจุบัน รวมถึงการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ โดยตัวแบบดังกล่าวสามารถจำลองความซับซ้อนและแนวโน้มที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้เป็นอย่างดี โดยเห็นได้จาก [20] ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ในประเทศจีน โดยได้นำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างตัวแบบที่สามารถประเมินปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซ CO₂ และทำนายการเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ การศึกษาของ [21] ยังได้นำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ โดยใช้ตัวแบบโครงข่ายประสาทหลายแบบเพื่อทำนายการปล่อยก๊าซ CO₂ และพบว่ามีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงมาก ซึ่งจะเห็นได้ว่า การประยุกต์ใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมนั้นเป็นการเลียนแบบและพัฒนาจากการทำงานของสมอง ซึ่งจะมีการปรับเปลี่ยนตัวแบบต่อการตอบสนองของข้อมูลที่ได้มีการป้อนเข้าไปในตัวแบบตามการเรียนรู้ของเครื่อง โดยหลังจากที่โครงข่ายได้มีการเรียนรู้จากข้อมูลในอดีตแล้ว โครงข่ายนั้นจะสามารถทำการพยากรณ์ได้ตามที่กำหนด โดยองค์ประกอบสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียม ตามภาพที่ 3 ที่ [19] ได้ทำการเสนอไว้ว่าจะประกอบไปด้วย 5 ส่วน คือ การป้อนข้อมูลให้กับโครงข่าย (Input) การส่งกลับข้อมูล (Output) ค่าน้ำหนัก (Weight) ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) และฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function) ทั้งนี้ จะพบว่ามีการนำวิธีโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในการศึกษาวิจัยในหลากหลายด้าน เช่น [22] ที่ได้นำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในการจำแนกบริษัทจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์ตามความเสี่ยงทางเครดิต เป็นต้น จากความสามารถในการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพของทั้งวิธีการวิเคราะห์การถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม รวมถึงมีผลงานวิจัยที่ได้นำเอาวิธีการทั้งสองมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ อีกทั้งยังนำมาเปรียบเทียบผลการศึกษาให้เห็นเป็นประจักษ์ [23,26] ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำเอาวิธีการดังกล่าวมาศึกษาความสามารถในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งของประเทศไทย เพื่อเสนอเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำไปประยุกต์ใช้พยากรณ์เหตุการณ์ต่าง ๆ ในอนาคต

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณเพื่อเสนอตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งในประเทศไทย พร้อมทั้งประเมินผลจากการพยากรณ์ 5 ปีล่วงหน้า เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการด้านการบริหารการปล่อยก๊าซ CO₂ ในภาคการขนส่งอย่างยั่งยืน

4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลรายเดือนของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งของประเทศไทย จากฐานข้อมูลของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ตั้งแต่เดือน มกราคม ปีพ.ศ. 2550 ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2566 นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้สำรวจปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ โดยเฉพาะในภาคการขนส่ง ซึ่งพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง จำนวนพาหนะจดทะเบียน จำนวนประชากร ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ และดัชนีความเชื่อมั่นอนาคตเศรษฐกิจภูมิภาค โดยข้อมูลปัจจัยข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมจากทั้ง กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก และสำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และธนาคารแห่งประเทศไทย โดยทำการเก็บข้อมูลรายเดือนของปัจจัยดังกล่าว ตั้งแต่เดือน มกราคม ปีพ.ศ. 2550 ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2566 เช่นกัน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวต่อปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ก่อนนำมาทำการพยากรณ์โดยการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอย

และโครงข่ายประสาทเทียม ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลตั้งแต่เดือน มกราคม ปีพ.ศ. 2550 ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2561 เป็นชุดข้อมูลในการสร้างตัวแบบ (In Sample Fit Data) และข้อมูลตั้งแต่เดือน มกราคม ปีพ.ศ. 2552 ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2566 เป็นชุดข้อมูลทดสอบตัวแบบ (Out of Sample Fit Data)

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องข้างต้นทำให้พบว่า การวิเคราะห์การถดถอยและโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการจัดการกับความซับซ้อนและความไม่เป็นเชิงเส้นของข้อมูลที่มีพบในกระบวนการพยากรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์แบบดั้งเดิม เช่น ARIMA หรือ Exponential Smoothing ที่จะมีข้อจำกัดในเรื่องการกำหนดสมมติฐานเชิงเส้น โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและโครงข่ายประสาทเทียมนั้นสามารถเรียนรู้และจำลองความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่สามารถจำลองแนวโน้มและลักษณะเฉพาะของข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดี นอกจากนี้ โครงข่ายประสาทเทียมยังมีความสามารถในการปรับตัวและเรียนรู้จากข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการจัดการกับข้อมูลที่มีความหลากหลายและมีความไม่แน่นอนสูง ซึ่งแตกต่างกับวิธีการพยากรณ์แบบดั้งเดิมที่อาจมีข้อจำกัดในการจัดการกับข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนและความซับซ้อนสูง ในขณะที่วิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับตัวเพื่อเรียนรู้จากข้อมูลที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้ดีขึ้น การฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลที่มากขึ้นจะสามารถช่วยเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ได้อย่างมากด้วยเช่นกัน

ดังนั้น จะเห็นว่าการวิเคราะห์การถดถอยและโครงข่ายประสาทเทียมมีความยืดหยุ่นสูงในการประยุกต์ใช้กับปัญหาการพยากรณ์ต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์การถดถอยสามารถใช้ในการสร้างตัวแบบที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรที่สำคัญได้อย่างชัดเจน และง่ายต่อการตีความผลลัพธ์ ในขณะที่โครงข่ายประสาทเทียมสามารถสร้างแบบจำลองที่ซับซ้อนและมีหลายชั้นเพื่อจำลองความสัมพันธ์ที่ลึกซึ้งและซับซ้อนกว่าได้ การใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมยังช่วยให้สามารถรวมข้อมูลจากหลายแหล่งเข้าด้วยกันและสร้างตัวแบบที่ครอบคลุมความแตกต่างและความซับซ้อนของการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์แบบดั้งเดิม การพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการจัดการกับความท้าทายในการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ที่มีความซับซ้อนสูง

เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ของทั้งสองวิธี ผู้วิจัยได้พิจารณาจากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) ที่ได้จากประมาณค่ามาเปรียบเทียบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2} \quad (1)$$

กำหนดให้ A_t คือ ค่าจริงในช่วงเวลา t
 F_t คือ ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลา t
 n คือ จำนวนข้อมูลหรือช่วงเวลาทั้งหมด

4.2.1. วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์หรือเรียกว่าตัวแปรตามและตัวแปรที่จะช่วยในการพยากรณ์หรือเรียกว่าตัวแปรอิสระ โดยจำนวนตัวแปรอิสระนั้นจะขึ้นอยู่กับความสำคัญของตัวแปรที่จะนำมาช่วยให้การพยากรณ์มีความถูกต้องและเหมาะสมกับการพยากรณ์นั้น การวิเคราะห์การถดถอยสามารถช่วยผู้วิจัยระบุได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในตัวแปรอิสระจะมีผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงในตัวแปรตามอย่างไรบ้างโดย

อาศัยข้อมูลในอดีตที่มีอยู่แล้ว การวิเคราะห์การถดถอยจึงสามารถช่วยตรวจจับแนวโน้มในข้อมูลได้เป็นอย่างดี เช่น การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่ง เป็นต้น โดยสามารถแสดงได้ดังสมการ (2) ดังนี้

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad \text{โดยที่ } i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

กำหนดให้ y_i คือ ค่าสังเกตของตัวแปรตามของหน่วยที่ i หรือ ตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์
 β_0 คือ ค่าพารามิเตอร์คงที่ในสมการถดถอย
 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ คือ ค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรอิสระ $x_1, x_2, \dots, x_k$
 x_{ij} คือ ค่าสังเกตของตัวแปรอิสระที่ j ของหน่วยที่ i โดยที่ $j = 1, 2, \dots, k$ และตัวแปรเหล่านี้ต้องไม่มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นที่สมบูรณ์ต่อกัน $r_{x_p x_q} \neq 1, p, q = 1, 2, \dots, k$
 ε_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม โดยที่ $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ และ $E(\varepsilon_i \varepsilon_j) = 0$ สำหรับ $i \neq j$

ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบการถดถอยข้างต้น ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีวิธีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องการข้อสมมติเกี่ยวกับการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม นอกจากนี้ ยังสามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติต่าง ๆ ในการประมาณค่าได้ วิธีการดังกล่าวเป็นการใช้ข้อมูลจากค่าสังเกตของตัวแปรตาม โดย $y_{n \times 1}$ เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรตามที่มีขนาด $n \times 1$ และตัวแปรอิสระ โดยที่ $X_{n \times p}$ เป็นเมทริกซ์ของตัวแปรอิสระ ที่มีขนาด $n \times p$ เมื่อ $p = k + 1$ แล้วนำมาทำการประมาณค่าของพารามิเตอร์ โดย $\beta_{p \times 1}$ เป็นเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ของตัวแบบ ที่มีขนาด $p \times 1$ ภายใต้ข้อกำหนดให้ $\varepsilon_{n \times 1}$ เป็นเวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม ที่มีขนาด $n \times 1$ และมีการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และความแปรปรวน $\sigma^2 I$ นั่นคือ $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2 I)$ ดังนั้น ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบการถดถอยจึงสามารถทำได้ด้วยการพยายามหาค่าของ $\beta_{p \times 1}$ ในพจน์ของตัวแปรตาม $y_{n \times 1}$ และตัวแปรอิสระ $X_{n \times p}$ ที่ถูกใช้ในตัวแบบข้างต้น เพื่อที่จะทำให้ผลรวมของความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่มกำลังสองมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งก็คือทำให้ค่า $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$ หรือ $\varepsilon'_{n \times 1} \varepsilon_{n \times 1}$ ต่ำที่สุดนั่นเอง จากการประมาณค่าด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถได้แนวทางในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบดังสมการ (3) ดังนี้

$$\beta_{p \times 1} = (X'_{n \times p} X_{n \times p})^{-1} X'_{n \times p} y_{n \times 1} \quad (3)$$

4.2.2. วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN)

โครงข่ายประสาทเทียมถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่มีความสามารถและมีประสิทธิภาพสูงในการพยากรณ์ เนื่องจากมีความสามารถในการเรียนรู้และจำลองความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างแม่นยำ หนึ่งในข้อดีที่สำคัญของโครงข่ายประสาทเทียมคือความสามารถในการจำลองแนวโน้มที่ไม่เป็นเชิงเส้นและลักษณะของข้อมูลที่ไม่ชัดเจนในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งต่างจากวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบดั้งเดิม เช่น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ที่มักมีข้อจำกัดในการรับมือกับความซับซ้อนดังกล่าว ด้วยการปรับแต่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทและการเรียนรู้ที่ไม่จำกัด ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับตัวเพื่อเพิ่มความแม่นยำของการพยากรณ์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ โครงข่ายประสาทเทียมยังมีความสามารถในการจัดการกับข้อมูลที่มีลักษณะซับซ้อนและมีปริมาณมาก (Big Data) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความสามารถนี้เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในยุคดิจิทัลที่มีข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลจากหลากหลายแหล่ง ทั้งข้อมูลเชิงตัวเลข ข้อความ หรือภาพ เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มและรูปแบบที่ซ่อนอยู่ภายในข้อมูล อีกทั้ง โครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถปรับตัวเรียนรู้จากข้อมูลใหม่ๆ ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งช่วยให้การพยากรณ์เป็นไปอย่างทันสมัยและสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน ในด้านการใช้งาน

จริง โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรมและงานวิจัย เช่น การพยากรณ์ราคาหุ้น การทำนายปริมาณความต้องการสินค้า การคาดการณ์สภาพอากาศ การพยากรณ์การใช้พลังงาน เป็นต้น ทั้งนี้ เพราะโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำการคาดการณ์ได้โดยไม่ต้องมีสมมติฐานล่วงหน้าเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของข้อมูล การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์จึงสามารถสร้างความได้เปรียบในการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ที่ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและมีความไม่แน่นอนสูง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำวิธีโครงข่ายประสาทเทียม มาเป็นอีกหนึ่งวิธีที่จะใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งของการพยากรณ์

กระบวนการเริ่มต้นในการใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์ คือ การเตรียมข้อมูล โดยการเตรียมข้อมูลนั้นจะประกอบไปด้วยการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การทำความสะอาดข้อมูลเพื่อลบข้อมูลที่ไม่จำเป็นหรือข้อมูลที่มีข้อผิดพลาด รวมถึงการปรับแต่งข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ได้ในตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม ข้อมูลที่มีคุณภาพสูงและสอดคล้องกันจะเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเรียนรู้ของโครงข่าย หลังจากนั้น ผู้วิจัยจะเลือกโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมกับปัญหาที่ต้องการพยากรณ์ ซึ่งรวมถึงจำนวนชั้น (Layers) และจำนวนหน่วยประสาท (Neurons) ในแต่ละชั้น รวมถึงฟังก์ชันการเปิดใช้งาน (Activation Functions) ที่จะเลือกใช้ เพื่อให้สามารถจำลองความซับซ้อนของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขั้นตอนถัดไป ผู้วิจัยจะทำการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ข้อมูลฝึกสอน (Training Data) เพื่อให้โครงข่ายสามารถเรียนรู้รูปแบบและความสัมพันธ์ภายในข้อมูลได้ ในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการแบ่งข้อมูลเป็นชุดฝึกสอน (Training Set) และชุดทดสอบ (Test Set) เพื่อตรวจสอบความสามารถของตัวแบบในการทำนาย โดยการฝึกฝนจะใช้กระบวนการเรียนรู้ซ้ำๆ เช่น วิธีการถดถอยของค่าความผิดพลาดย้อนกลับ (Backpropagation) เป็นต้น เพื่อปรับปรุงน้ำหนักของโหนด (Nodes) ในโครงข่าย เพื่อให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด การปรับปรุงตัวแบบยังรวมไปถึงการปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยการกำหนดอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) และการนำเทคนิคการป้องกันการเรียนรู้เกิน (Overfitting) เช่น การใช้งาน Dropout หรือการนำ Early Stopping เข้ามาใช้ เป็นต้น และเมื่อโครงข่ายประสาทเทียมได้รับการฝึกฝนจนถึงระดับที่เหมาะสมแล้ว ผู้วิจัยจะทำการประเมินผลตัวแบบโดยใช้ข้อมูลที่ไม่ได้ถูกใช้ในการฝึกสอน (Validation Data หรือ Test Data) เพื่อวัดความแม่นยำและประสิทธิภาพของการพยากรณ์ ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้การหาค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Squared Error: RMSE) หลังจากการประเมินแล้ว หากผลลัพธ์มีความพึงพอใจและเหมาะสม ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อไป

5. ผลการวิจัย

สำหรับการเสนอตัวแบบในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่ง ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ผู้วิจัยได้เลือกใช้ฟังก์ชัน `cor()` และ `cor.test()` ในแพ็คเกจ `stat` ของโปรแกรม R Version 4.3.2 [27] เพื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัว แล้วคัดเลือกเฉพาะตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันและค่า *p-value* ของตัวสถิติทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2 จึงทำให้พบว่าจำนวนประชากร (x_3) ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่ง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพิจารณาไม่นำตัวแปรอิสระดังกล่าวเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์การถดถอย

จากการวิเคราะห์การถดถอยด้วยฟังก์ชัน `lm()` ในแพ็คเกจ `stat` ของโปรแกรม R Version 4.3.2 [27] ที่พิจารณาตัวแปรอิสระเพียง 4 ตัว ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง (x_1) จำนวนพาหนะจดทะเบียน (x_2) ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (x_4) และดัชนีความเชื่อมั่นอนาคตเศรษฐกิจภูมิภาค (x_5) พบว่าตัวแปรดัชนีความเชื่อมั่นอนาคตเศรษฐกิจภูมิภาค (x_5) ไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ผู้วิจัยจึงพิจารณาไม่นำตัวแปรดังกล่าวมาพิจารณา จนสามารถเหลือตัวแปรอิสระเพียงแค่ 3 ตัวแปรที่สามารถอธิบาย

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับไม่เกิน 0.05 ดังแสดงในสมการที่ (4) โดยค่าสถิติทดสอบ t ของแต่ละตัวแปรอิสระทั้ง 3 ได้ถูกแสดงไว้ในวงเล็บใต้สมการที่ (4) ซึ่งสมการถดถอยดังกล่าวสามารถอธิบายความแปรปรวนของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้ถึงร้อยละ 81.4 นอกจากนี้ สมการดังกล่าวยังมีค่า $RMSE$ เท่ากับ 231.103

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้พิจารณาวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งด้วยฟังก์ชัน `neuralnet()` ในแพ็คเกจ `neuralnet` ของโปรแกรม R Version 4.3.2 [28] โดยกำหนดส่วนป้อนข้อมูล (Input Layer) มีจำนวน 3 ตัวแปร คือ ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง จำนวนพาหนะจดทะเบียน และผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ ผู้วิจัยได้กำหนดให้ร้อยละ 70 ของข้อมูลถูกใช้เป็นข้อมูลชุดฝึกสอนซึ่งเป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม ปีพ.ศ. 2550 ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2561 และมีฟังก์ชันการฝึกสอน/ผลรวมเป็นฟังก์ชัน Hyperbolic Tangent ส่วนฟังก์ชันการแปลงเป็นฟังก์ชัน Identity มีค่าวนรอบซ้ำ 1,000 รอบ และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ 0.00001 โดยมีฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนเป็นผลรวมกำลังสอง จากการพิจารณาด้วยวิธีดังกล่าว ค่า $RMSE$ ของตัวแบบในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เท่ากับ 19.86 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยอย่างมาก

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปรที่ศึกษา

	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_1	0.834** (.0001)					
x_2	0.256* (.0300)	0.577** (.0001)				
x_3	-0.182 (.1260)	0.342** (.0030)	0.567** (.0001)			
x_4	0.663** (.0001)	0.559** (.0001)	0.245* (.0380)	-0.231 (.0510)		
x_5	0.513** (.0001)	0.624** (.0001)	0.643** (.0001)	0.122 (.3080)	0.547** (.0001)	

* มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

** มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

หมายเหตุ: ค่า p-value ของตัวสถิติทดสอบทีของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันแสดงภายในวงเล็บ

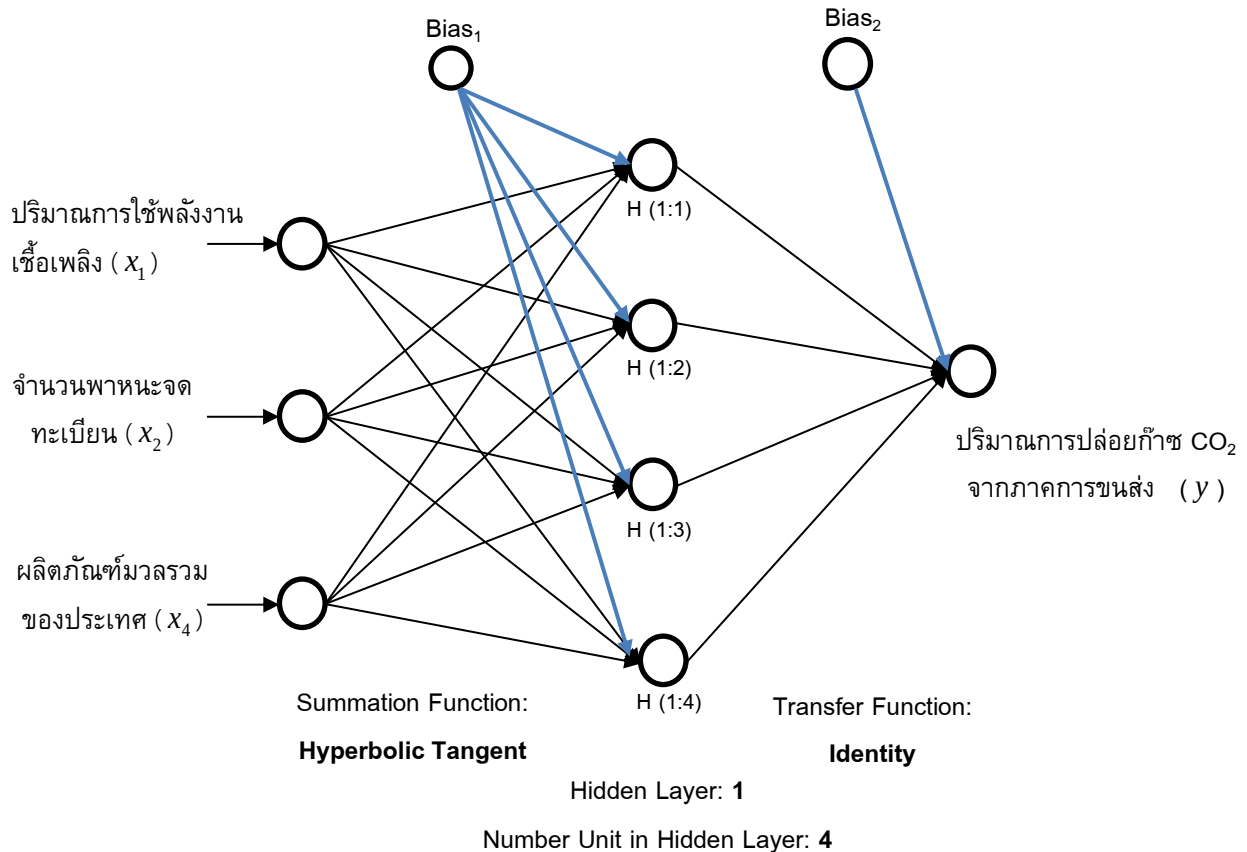
$$\hat{y} = -201.553 + 1.566x_1 - 0.011x_2 + 0.001x_4$$

$$(t_{\beta_0} = -0.416)(t_{\beta_1} = 11.560)(t_{\beta_2} = -4.795)(t_{\beta_4} = 3.962) \quad (4)$$

$$F = 99.272, R^2 = 0.814, RMSE = 231.103$$

กำหนดให้ y คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ (หน่วย: 1,000 ตัน)
 x_1 คือ ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง (หน่วย: KOTE)
 x_2 คือ จำนวนพาหนะจดทะเบียน (หน่วย: คัน)
 x_3 คือ จำนวนประชากร (หน่วย: คน)
 x_4 คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (หน่วย: ล้านบาท)
 x_5 คือ ดัชนีความเชื่อมั่นอนาคตเศรษฐกิจภูมิภาค

เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 จากภาคการขนส่งระหว่างวิธีการวิเคราะห์การถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมด้วยค่า $RMSE$ สามารถสรุปได้ว่า ตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 จากภาคการขนส่งได้แม่นยำและมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวแบบที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย โดยจะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักและค่าความเอนเอียงของแต่ละโหนดและแต่ละชั้นของโครงข่ายที่ประมาณค่าได้นั้นให้ค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุด โดยแสดงดังภาพที่ 4 และตารางที่ 3



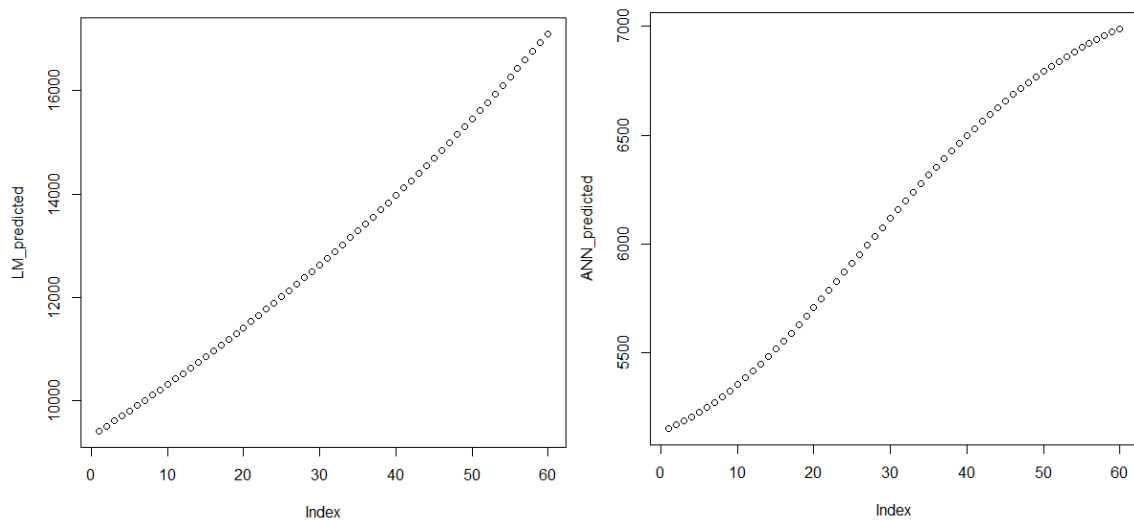
ภาพที่ 4 ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับใช้พยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 จากภาคการขนส่ง

ตารางที่ 3 ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแปรที่ศึกษาในตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม

Predictor		Predicted			
		Hidden Layer 1			
		H (1:1)	H (1:1)	H (1:1)	H (1:1)
					y
Input Layer	Bias ₁	-0.82286	0.28148	-1.71795	-0.03009
	X ₁	0.26781	1.25733	0.66791	0.08116
	X ₂	1.52271	-0.27642	-1.02528	-1.25358
	X ₄	-1.15205	-0.36309	7.40291	-0.50509
Hidden Layer 1	Bias ₂				-0.83774
	H (1:1)				-0.57488
	H (1:2)				1.17612
	H (1:3)				-0.18683
	H (1:4)				-0.89818

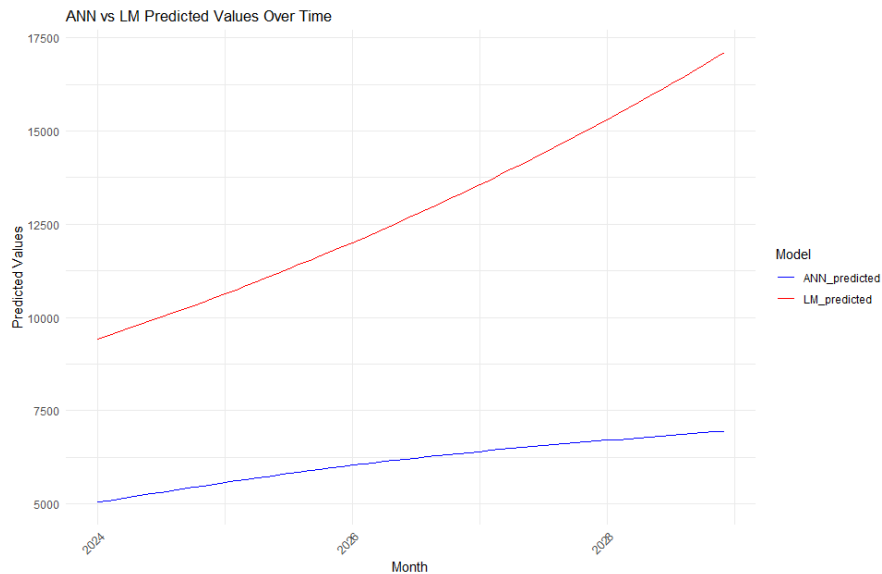
5.1 ผลการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่ง ด้วยตัวแบบการถดถอยและตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม ตั้งแต่ มกราคม ปีพ.ศ. 2567 ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2571

จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อผู้วิจัยได้กำหนดให้ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง (X_1) จำนวนพาหนะจดทะเบียน (X_2) และผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (X_4) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 1 ในแต่ละเดือน จะมีผลทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลา 5 ปีล่วงหน้าตามที่ได้พยากรณ์ด้วยตัวแบบการถดถอยและตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ประมาณค่าได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลของการพยากรณ์จากตัวแบบทั้งสอง ณ จุดเวลาใดๆ ดังแสดงในภาพที่ 6 จะพบว่า ค่าพยากรณ์ของปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งที่ได้จากตัวแบบการถดถอยจะมีค่าสูงกว่าค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม โดยรวมเฉลี่ยที่ 6,787,756 ตัน และเมื่อระยะเวลาในการพยากรณ์ยาวนานมากขึ้นความต่างจากการพยากรณ์ของทั้งสองตัวแบบจะยิ่งห่างกันมากขึ้น โดยค่าเฉลี่ยความต่างของค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยและตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมในปีที่ 1 2 3 4 และ 5 มีค่าเป็น 4,695,245 5,601,820 6,571,242 7,769,058 และ 9,301,418 ตัน ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ผลการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งด้วยตัวแบบการถดถอย (ซ้าย) และตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม (ขวา) ตั้งแต่ มกราคม ปีพ.ศ. 2567 ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2571

ทั้งนี้เกิดจากการถดถอยเชิงเส้นจะทำการขยายเส้นตรงออกไปอย่างต่อเนื่องตามทิศทางของสมการเชิงเส้นที่ได้จากการสร้างตัวแบบ หากพยากรณ์ในระยะไกลหรืออยู่นอกขอบเขตของข้อมูลที่ใช้ฝึก ตัวแบบจะมีแนวโน้มที่จะสร้างเส้นพยากรณ์ที่สูงกว่าความเป็นจริงได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าข้อมูลนั้นมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งที่มีทิศทางสูงขึ้น (Upward Trend) ในทางกลับกัน ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมจะพยายามปรับค่าพยากรณ์ให้อยู่ในกรอบของการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะที่เรียนรู้จากข้อมูลการฝึก ทำให้ค่าพยากรณ์ในระยะไกลมีความไม่สุดโต่ง (Less Extreme) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบการถดถอย นอกจากนี้ ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมสามารถจัดการกับ Noise ในข้อมูลได้ดีและสามารถปรับน้ำหนักเพื่อลดผลกระทบของข้อมูลที่ผิดปกติ (Outliers) หรือข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ได้ ส่วนตัวแบบการถดถอยจะถูกดึงค่าพยากรณ์ให้สูงขึ้นหรือต่ำลงตามความผิดปกติของข้อมูลได้ง่ายกว่า เนื่องจากความไวต่อ Outliers และ Noise ซึ่งส่งผลให้เกิด Bias ในค่าพยากรณ์เมื่อพยากรณ์ในช่วงที่อยู่ห่างออกไป



ภาพที่ 6 ผลการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งด้วยตัวแบบการถดถอยและตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม ณ จุดเวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ มกราคม ปีพ.ศ. 2567 ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2571

6. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ตัวแบบในการพยากรณ์ที่เหมาะสมและยืดหยุ่นไปตามคุณสมบัติของข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์จะสามารถช่วยให้วางแผนการบริหารจัดการ พร้อมทั้งการออกนโยบายป้องกันเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์มีประสิทธิภาพเป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปล่อยก๊าซ CO₂ จากภาคการขนส่งที่ข้อมูลมีความซับซ้อนและมีจำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ดังนั้น จะเห็นได้ว่าตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจึงมีความเหมาะสมกับข้อมูลดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ [19] ที่พบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO₂ ได้แม่นยำมากกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยถึง 6 เท่า นอกจากนี้ [26] ได้ยืนยันถึงความสามารถที่โดดเด่นของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO₂ ในประเทศจีน ทั้งนี้ โครงข่ายประสาทเทียมยังมีความสามารถในการเรียนรู้รูปแบบที่ซับซ้อนได้จากการปรับแต่งหลายชั้น (Multiple Layers) ทำให้เมื่อพยากรณ์ค่าที่อยู่ไกลออกไป ตัวแบบสามารถปรับค่าพยากรณ์ให้สัมพันธ์กับลักษณะข้อมูลต้นฉบับได้ดีขึ้น โดยไม่สร้างค่าที่สุดโตรงหรือเบี่ยงเบนมากเกินไป อีกทั้งยังสามารถลดปัญหา Underfitting ได้ ดังนั้น การใช้เทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดอย่างวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในการบริหารจัดการธุรกิจการขนส่งนั้นจะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้และทำนายรูปแบบข้อมูลของธุรกิจการขนส่งที่ซับซ้อนได้อย่างแม่นยำ ทำให้สามารถวางแผนและออกนโยบายที่มีประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นและสร้างความยั่งยืนให้แก่ธุรกิจ รวมถึงสิ่งแวดล้อม โดยเป็นการช่วยลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้เป็นอย่างดี

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติ

วิธีโครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถทำนายความต้องการขนส่งสินค้าในแต่ละช่วงเวลาได้ ทำให้สามารถจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้รถขนส่งที่ไม่จำเป็นและเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งในเส้นทางที่มีความต้องการสูง ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยลดการปล่อยก๊าซ CO₂ แต่ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของธุรกิจด้วย การใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายยังช่วยให้ธุรกิจสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตลาดและสภาพแวดล้อมได้อย่าง

รวดเร็ว ทำให้สามารถปรับตัวและวางแผนการขนส่งได้ตามสถานการณ์จริง ซึ่งส่งผลให้การขนส่งมีประสิทธิภาพมากขึ้นและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะยาว ถือเป็นการสร้างความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมในธุรกิจขนส่งได้อย่างยั่งยืน

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ผู้ที่สนใจพัฒนาตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมให้มีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นสามารถพัฒนาตัวแบบไฮบริดที่ผสมผสานตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมกับเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องอื่นๆ เช่น Support Vector Machines (SVM), Decision Trees หรือ Ensemble Methods เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาโดยใช้วิธีการหาปริมาณความไม่แน่นอนในการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ เช่น Bayesian Neural Networks หรือ Monte Carlo Dropout เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างวิธีการดังกล่าวเป็นทิศทางการวิจัยที่สามารถช่วยเพิ่มความแม่นยำ ความทนทาน และความสามารถในการใช้งานของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์การปล่อยก๊าซ CO₂ ซึ่งจะช่วยให้กลยุทธ์การลดภาวะโลกร้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้นอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

8. บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2566ก). การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂). แหล่งข้อมูล: <https://www.eppo.go.th/index.php/th/graph-analysis/item/19298-news-170366-01>. ค้นเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2567.
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2566ข). สถานการณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคพลังงานรายปี 2566. แหล่งข้อมูล: [https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?Orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1&limitstart=0](https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?Orders[publishUp]=publishUp&issearch=1&limitstart=0). ค้นเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2567.
- [3] กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก. (2566). รายงานสถิติการขนส่งปีงบประมาณ 2562 – 2566. แหล่งข้อมูล: <https://web.dlt.go.th/statistics/> ค้นเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2567.
- [4] ณภัทรจันทร์ ด่านสวัสดิ์. (2566). การพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 15(2), 408 – 422.
- [5] อุปริฎฐา อินทรสาด และนัสมล บุตรวิเศษ. (2565). ตัวแบบการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแผ่นรมควันของประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 24(1), 76 - 86.
- [6] การ์ตูนย์ ชัยวณิชย์. (2564). การประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษาเทศบาลตำบลภาชี. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 19(1), 65 - 75.
- [7] วรางคณา เรียนสุทธิ. (2563). ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการนำเข้ายางธรรมชาติ. วารสารวิทยาศาสตร์ มข., 48(1), 156 - 165.
- [8] พุทธิ อุลลศุข, ฉัตรแก้ว ชัยลือชา และสุรัตน์ เศษโพธิ์. (2563). การศึกษาและประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการกำจัดซากแพลงก์ตอนเซลล์: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา. วารสารวิชาการ
- [9] ชนิกานต์ ค่ายันต์. (2560). การประเมินและการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเทศบาลคาร์บอนต่ำ = Evaluation and forecasting of greenhouse gas emission from low carbon municipality / ชนิกานต์ ค่ายันต์. เชียงใหม่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
<https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:125909>.

- [10] Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C. & Ljung, G. M. (2016). Time Series Analysis: Forecasting and Control. 5th ed, John Wiley and Sons, New Jersey.
- [11] Singh, S., Parmar, K. S., Kumar, J. & Makkhan, S. J. S. (2020). Development of New Hybrid Model of Discrete Wavelet Decomposition and Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Models in Application to One Month Forecast the Casualties Cases of COVID-19. *Chaos, Solitons & Fractals*, 135(2020), 109866.
- [12] Thabani, N., Hapanyengwi, H. O. & Mutongi, C. (2019). Modeling and Forecasting Carbon Dioxide Emissions in China using Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Models. *International Journal of Multidisciplinary Research*, 5(4), 215 - 224.
- [13] Thabani, N. & Wellington, G. B. (2019). Prediction of CO₂ Emissions in India using ARIMA Models. *Journal of Economics and Finance*, 4(2), 1 - 10.
- [14] ยุพิน กาญจนะศักดิ์ดา, บุญหญิง สมสร้าง, สุณี ทวีสกุลวัชร และลักขณา เศรษฐะนันท์. (2563). การพยากรณ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปโดยวิธีบอซ-เจนกินส์ และวิธีการของวินเตอร์. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 12(24), 76 - 86.
- [15] Khruachalee, K., Vathana, M. & Phounnaly, P. (2020). On Prediction of Euro and Pound Sterling using Box-Jenkins Approach. *St. Theresa Journal of Humanities and Social Sciences*, 6(2), 51 – 69.
- [16] Khruachalee, K. (2017). Asian Currencies Forecasting Using a Time Series Analysis. *International Journal of the Computer, the Internet and Management*, 25(2), 59 – 67.
- [17] Rahman, A. & Hasan, M. M. (2017). Modeling and Forecasting of Carbon Dioxide Emissions in Bangladesh using Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Models. *Open Journal of Statistics*, 7(4), 560 - 566.
- [18] Natarajan, Y., Wadhwa, G., Preethaa, K. S. & Paul, A. (2023). Forecasting Carbon Dioxide Emissions of Light-Duty Vehicles with Different Machine Learning Algorithms. *Electronics*, 12(10), 2288
- [19] สริญา ศาลางาม. (2565). ตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การ ถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนัน ท์*, 10(2), 54 - 65.
- [20] Fournier, R., Wang, L., Yazyev, O. V. & Wu, Q. (2020). Artificial Neural Network Approach to the Analytic Continuation Problem. *Physical Review Letter*. 124(1), 056401.
- [21] Moayed, H., Mukhtar, A., Khedher, N. B., Badawi, I. A., Amara, M. B., Quynh, T. & Khalilpoor, N. (2024). Forecasting of Energy-Related Carbon Dioxide Emission using ANN Combined with Hybrid Metaheuristic Optimization Algorithms. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 18(1), 2322509.
- [22] Khruachalee, K. (2018). Classification of Company Credit Rating Using Artificial Neural Network with Data Factorization. *International Journal of the Computer, the Internet and Management*, 26(3), 52 – 59.
- [23] ยุทธชัย มิ่งขวัญ. (2566). การเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์สำหรับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากภาคการผลิตไฟฟ้า. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 32(2), 122 - 135.
- [24] ธิรยุทธ ลิมานนท์, อาทิตย์ ศรีแก้ว, สวลี อุดรา และชุตินา เจิมขุนทด. (2553). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ แบบจำลองการครอบครองยานพาหนะของครัวเรือนในประเทศไทย: โดยวิธีวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นแบบ พหุกับวิธีเครือข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้แบบแพร่กลับ. *รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ The 3rd*

ATRANS Symposium Student Chapter Session หัวข้อ Equity and Efficiency in Transportation หน้าที่ 21–27 ในวันที่ 27 สิงหาคม 2553 กรุงเทพฯ ประเทศไทย.

- [25] Alam, T. & AlArjani, A. (2021). A Comparative Study of CO2 Emission Forecasting in the Gulf Countries using Autoregressive Integrated Moving Average, Artificial Neural Network and Holt-Winters Exponential Smoothing Models. *Advances in Meteorology*, 2021, 1 - 9.
- [26] Bermúdez, J. D., Segura, J. V. & Vercher, E. (2006). Improving Demand Forecasting Accuracy using Non-Linear Programming Software. *Journal of the Operational Research Society*, 57(1), 94 - 100.
- [27] R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- [28] Fritsch, S., & Guenther, F. (2023). *neuralnet: Training of Neural Networks (Version 1.44.2) [R package]*. R Foundation for Statistical Computing. [https://CRAN.R-project.org/ package= neuralnet](https://CRAN.R-project.org/package=neuralnet)
- [29] Fournier, R., Wang, L., Yazyev, O. V. & Wu, Q. (2020). Artificial Neural Network Approach to the Analytic Continuation Problem. *Physical Review Letter*. 124(1), 056401.

การพัฒนากระบวนการแปรสภาพขานอ้อยด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมีเพื่อการสกัดเซลลูโลส

DEVELOPMENT OF SUGARCANE BAGASSE PRETREATMENT PROCESSES USING COMBINATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS FOR CELLULOSE EXTRACTION

อดุลย์สมาน สุขแก้ว¹ ศศมล ผาสุก^{1,2} และ ปันณรภัธ ทกมลภักดี^{1,2*}

Adulsman Sukkaew¹, Sasamol Phasuk^{1,2} and Pannraphat Takolpuckdee^{1,2*}

¹ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

² หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมเพื่อการพัฒนา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

¹ Doctor of Philosophy Program in Science Education, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani Province

² Doctor of Philosophy Program in Science and Innovation for Development, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani Province

*Corresponding Author E-mail: pannraphat@vru.ac.th

Received September 10, 2024; Revised October 7, 2024; Accepted October 20, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดเซลลูโลสจากกระบวนการแปรสภาพขานอ้อยด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมีโดยศึกษาอุณหภูมิ เวลา และปริมาณลิควิดเซลลูโลสที่ใช้ในกระบวนการแปรสภาพขานอ้อยเป็นเซลลูโลส การศึกษาด้วยการแปรสภาพโดยใช้ น้ำกลั่น กรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 0.1 ปริมาตรโดยปริมาตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.1 น้ำหนักโดยปริมาตร ณ อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่าการแปรสภาพที่อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลาเวลานานช่วยเพิ่มปริมาณเซลลูโลสได้ โดยเฉพาะการแปรสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 0.1 น้ำหนักต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที สามารถเพิ่มปริมาณเซลลูโลสได้สูงสุดถึง ร้อยละ 83.77 และลดปริมาณลิกนินและเฮมิเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการแปรสภาพดังกล่าวแสดงถึงความสามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้ ส่งผลให้โครงสร้างของขานอ้อยเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจนและสามารถทำสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น เมื่อนำตัวอย่างขานอ้อยที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการแปรสภาพที่คัดเลือกได้นำมาสองลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของขานอ้อยที่ผ่านกระบวนการแปรสภาพที่คัดเลือกได้ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าลักษณะโครงสร้างของขานอ้อยก่อนมีโครงสร้างของขานอ้อยที่ยังไม่ได้แปรสภาพมีลักษณะไม่มีการแตกหัก และเป็นแผ่นซ้อนทับกันหลายชั้น เมื่อผ่านการแปรสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าโครงสร้างเกิดการฉีกขาดและการแตกหักได้อย่างชัดเจน มีช่องว่างระหว่างชั้นของเส้นใยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เซลลูโลสที่ได้มีความเหมาะสมและบริสุทธิ์สามารถนำไปใช้งานต่อไป

คำสำคัญ: กระบวนการแปรสภาพ ขานอ้อย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน

Abstract

This research aimed to extract cellulose from bagasse pretreatment processes using physical and chemical methods by studying the effects of temperature, time, and lignocellulose content used in the process of converting bagasse into cellulose. The study of the processing was used distillation water, 0.1% V/V hydrochloric acid and 0.1 % W/V sodium hydroxide as catalytic pretreatment at ambient temperature and 120°C found that processing study at high temperature and long time increased the amount of cellulose, especially the processing with 0.1%W/V sodium hydroxide at 120°C for 15 minutes, which could increase the highest cellulose content 83.77% and reduce the amount of lignin and hemicellulose effectively. The results of the processing indicated the ability to remove hemicellulose and lignin, resulting in the structure of bagasse clearly changing and being able to extract purer cellulose. When the selected samples of unprocessed and processed bagasse were examined, the structure of the selected processed bagasse was analyzed using scanning electron microscopy. It was found that the structure of bagasse before the structure of unprocessed bagasse was not broken and was in multiple layers. When processed with sodium hydroxide, it was found that the structure was clearly torn and broken. There was an increase in the gap between the fiber layers, which showed that the removal of hemicellulose and lignin was effective, resulting in the cellulose obtained being suitable and pure, which could be further used.

Keywords: Pretreatment, Sugarcane Bagasse, Cellulose, Hemicellulose, Lignin

1. บทนำ

ในเขตพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ เป็นพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกและเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะการปลูกอ้อยและยางพารา ในแต่ละปีจะให้ผลผลิตทางการเกษตรในปริมาณมากและสร้างรายได้ในการเลี้ยงชีพในวิถีประจำวันได้ แต่ในช่วงเวลา 1-2 ปีที่ผ่านมาจะพบปัญหาราคายางพาราตกต่ำส่งผลให้เกษตรกรขาดทุนและมีความลำบากในการดำเนินชีวิตประจำวัน แต่ในขณะเดียวกันด้วยนโยบายของรัฐบาลให้มีการส่งเสริมการเพาะปลูกพืชแบบผสมผสานเพื่อให้เกษตรกรในพื้นที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ เช่น มันสำปะหลัง ถั่วลิสง ทุเรียน และอ้อย ซึ่งพืชแต่ละชนิดล้วนให้เกิดมูลค่าแก่เกษตรกร แต่มีพืชบางชนิดที่เพาะปลูกได้ตลอดทั้งปี และอ้อยเป็นหนึ่งในวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสซึ่งมีองค์ประกอบของเซลลูโลสประมาณ ร้อยละ 45-55 เฮมิเซลลูโลส ประมาณ ร้อยละ 20-25 และ ลิกนิน ร้อยละ 18-24 [1-3, 19] สามารถนำมาจำหน่ายในช่วงเดือนถือศีลอดหรือเดือนรอมฎอน ซึ่งประชาชนในพื้นที่นิยมบริโภคน้ำตาลที่คั้นจากอ้อยเป็นส่วนใหญ่ส่งผลให้มีปริมาณขานอ้อยเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์

ขานอ้อยจัดเป็นเศษเหลือของลำต้นอ้อยมีลักษณะเป็นเส้นใยที่หิบน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกจากท่อนอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ขานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการหีบอ้อย ขานอ้อยมีคุณสมบัติดี ไฟง่าย ประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน [4] การประยุกต์ใช้ขานอ้อยสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย อาทิ การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง การผลิตถ่านแท่ง การผลิตอิฐบล็อก และการผลิตคอนกรีต เป็นต้น ในขั้นตอนการสกัดเซลลูโลสจากขานอ้อยจึงมีความจำเป็นต้องมีการแยกเซลลูโลสออกจากเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของขานอ้อย ในกระบวนการสกัดที่ใช้กันทั่วไปส่วนใหญ่นิยมใช้กระบวนการสกัดด้วยวิธีทางเคมีซึ่งต้องใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงและอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การประยุกต์ใช้กระบวนการทางกายภาพร่วมกับกระบวนการทางเคมีจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดเซลลูโลส และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในการพัฒนากระบวนการแปรรูปเพื่อการสกัดเซลลูโลสจากขานอ้อยมีความสำคัญมากต่อการเพิ่มมูลค่าให้กับขานอ้อยและช่วยลดปริมาณของเสีย สามารถลดการพึ่งพาวัตถุดิบจากป่าไม้ ส่งผลต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและการทำงานสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้เซลลูโลสที่ได้จากขานอ้อยสามารถนำไปใช้ในเพื่อการพัฒนา

ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น วัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ และแผ่นกรอง ซึ่งสามารถพัฒนาให้เกิดเป็นนวัตกรรมใหม่ๆ ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการแพทย์และเครื่องสำอาง หรือ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง [5–7]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจประเด็นการพัฒนากระบวนการสกัดเซลลูโลสจากขานอ้อยซึ่งมีความสำคัญต่อการจัดการระบบแวดล้อมและทางด้านเศรษฐศาสตร์ และเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งในระดับประเทศและระดับนานาชาติ และการส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการแปรสภาพขานอ้อยเป็นเซลลูโลส
- 2) เพื่อศึกษาปริมาณลิกโนเซลลูโลสจากกระบวนการแปรสภาพขานอ้อย
- 3) เพื่อส่องลักษณะโครงสร้างของขานอ้อยที่ผ่านกระบวนการแปรสภาพที่คัดเลือกได้ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่างขานอ้อย

เก็บขานอ้อย จากอำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา นำมาตัดขนาด 2–3 เซนติเมตร แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 ไมครอน เพื่อให้มีขนาดเท่าๆ กัน จากนั้นแล้วผนึกถุงพลาสติกสุญญากาศ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความชื้นมาตรฐานเปียก ความชื้นมาตรฐานแห้ง ตามสมการที่ (1) และสมการที่ (2) [8–10]

$$\frac{\text{ความชื้นมาตรฐานเปียก } M_w}{w} = (w-d) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (ร้อยละ)
 w คือ มวลของวัสดุเปียก (กรัม)
 d คือ มวลของวัสดุแห้ง (กรัม)

$$\frac{\text{ความชื้นมาตรฐานแห้ง } M_d}{d} = (W-d) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (ร้อยละ)
 w คือ มวลของวัสดุเปียก (กรัม)
 d คือ มวลของวัสดุแห้ง (กรัม)

3.2 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการแปรสภาพขานอ้อยเป็นเซลลูโลส

นำขานอ้อย 20 กรัม เติมน้ำกลั่น เท่ากับ 300 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 และ 15 นาที กรองโดยการแยกกากออกแล้วอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [11] นำขานอ้อยที่ได้หลังการอบแห้งมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามสมการที่ (1) และ สมการที่ (2) ส่วนการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแปรสภาพขานอ้อยเป็นเซลลูโลสจากไฮโดรคลอริกร้อยละ 0.1 และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.1 ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับการแปรสภาพด้วยน้ำกลั่น [5, 12–14]

3.3 การศึกษาปริมาณลิกโนเซลลูโลสจากกระบวนการแปรรูปฟางข้าว

ในการวิเคราะห์ปริมาณลิกโนเซลลูโลส โดยนำตัวอย่างฟางข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการแปรรูป มาหาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ด้วยวิธี Detergent method โดยการวิเคราะห์ Neutral detergent fiber (NDF) การวิเคราะห์ Acid detergent fiber (ADF) และ การวิเคราะห์ Acid detergent lignin (ADL) [3] แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณจากสูตรตามวิธีของ Van Soest เพื่อหาปริมาณเซลลูโลส (สมการที่ 3) เฮมิเซลลูโลส (สมการที่ 4) ลิกนิน (สมการที่ 5) และผลผลิตที่ได้ (สมการที่ 6) [15–17]

หาปริมาณเซลลูโลสจากสูตร

$$\text{Cellulose (ร้อยละ)} = \frac{(\text{ADF (ร้อยละ)} - \text{น้ำหนักเยื่อใยหลังการย่อยและอบแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \quad (3)$$

หาปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากสูตร

$$\text{Hemicellulose (ร้อยละ)} = \text{NDF (ร้อยละ)} - \text{ADF (ร้อยละ)} \quad (4)$$

หาปริมาณลิกนินจากสูตร

$$\text{Lignin (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักเยื่อใยหลังการอบ} - \text{น้ำหนักเยื่อใยหลังการเผา}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \quad (5)$$

ร้อยละผลผลิตที่ได้

$$= (\text{ตัวอย่างฟางข้าวหลังอบ} / \text{ตัวอย่างฟางข้าวก่อนอบ}) \times 100 \quad (6)$$

3.5 ลักษณะโครงสร้างของฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการแปรรูปที่คัดเลือกได้ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เตรียมตัวอย่างก่อนการแปรรูปและหลังการแปรรูปที่คัดเลือกได้นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น 5800 โดยทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการเร่งอิเล็กตรอนให้มีความเร็วสูงเพื่อยิงไปยังตัวอย่าง ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ ใช้กำลังขยายของภาพที่แสดงบนหน้าจอ SEM 300 เท่า และความกว้างของภาพในแนวนอนที่แสดงบนหน้าจอ SEM 455.1 ไมโครเมตร

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลของการสกัดเซลลูโลสจากฟางข้าวด้วยวิธีการแปรรูปทางเคมีด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์

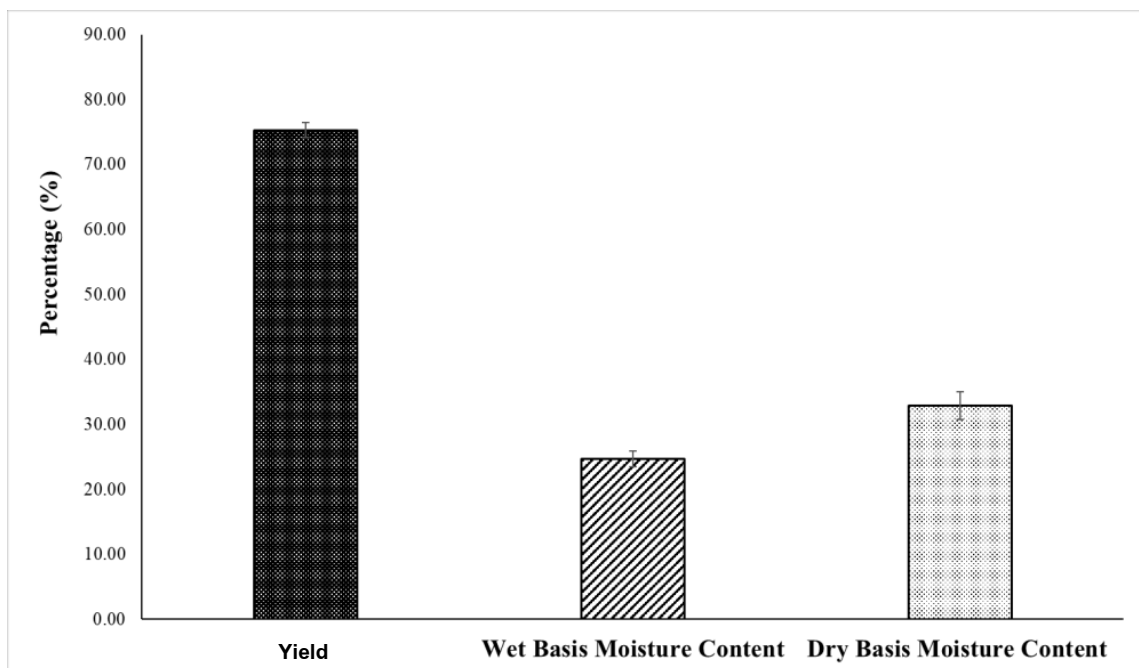
การสกัดเซลลูโลสจากฟางข้าวด้วยวิธีการแปรรูปทางเคมีด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตเซลลูโลสบริสุทธิ์ ซึ่งในกระบวนการนี้เริ่มจากการแปรรูปฟางข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบที่ไม่ต้องการในกลุ่มลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ทำให้ได้เซลลูโลสบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 (ก) ลักษณะขานอ้อยที่ไม่ถูกแปรรูป

(ข) ลักษณะขานอ้อยที่ถูกแปรรูปด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 0.1 น้ำหนักต่อปริมาตร

โดยเริ่มต้นของงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการสกัดเซลลูโลสจากขานอ้อยและการวิเคราะห์ความชื้นของตัวอย่างหลังการอบแห้ง พบว่ากระบวนการอบแห้งสามารถลดน้ำหนักของตัวอย่างได้ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยน้ำหนักเฉลี่ยของตัวอย่างก่อนการอบแห้งอยู่ที่ 10.42 ± 0.20 กรัม และหลัง การอบแห้งลดลงมาอยู่ที่ 7.85 ± 0.14 กรัม จะเห็นได้ว่าตัวอย่างขานอ้อยที่ได้หลังการอบแห้งที่ได้นี้ยังคง ผลผลิตที่ได้เท่ากับร้อยละ 75.29 ± 1.21 เมื่อศึกษาถึงปริมาณความชื้นฐานเปียกและฐานแห้งที่วัดได้ พบว่าปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกเท่ากับร้อยละ 24.72 ± 1.21 และปริมาณความชื้น มาตรฐานแห้งเท่ากับร้อยละ 32.84 ± 2.15 ดังแสดงในภาพที่ 2

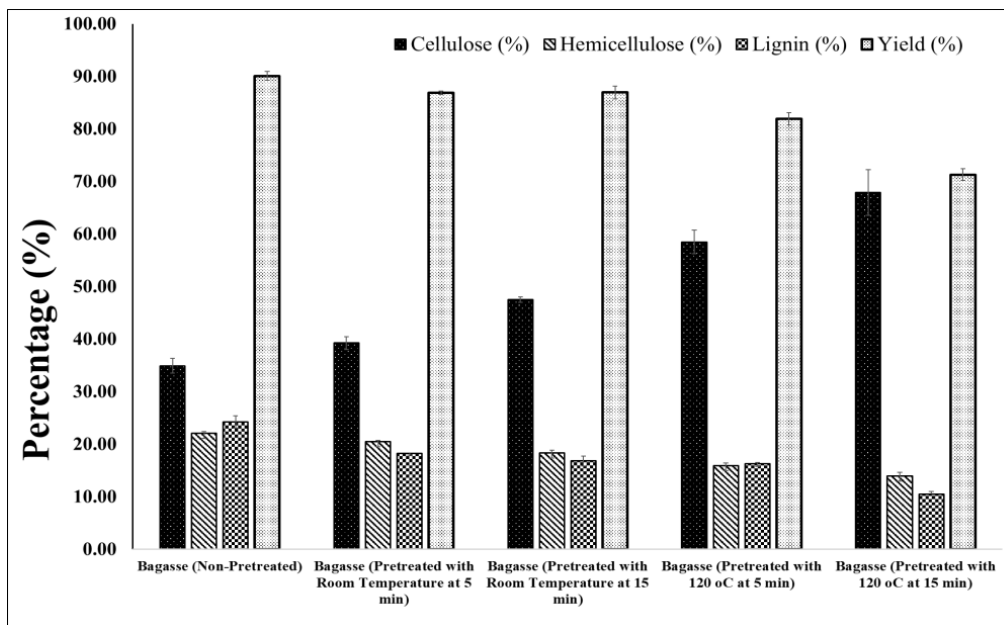


ภาพที่ 2 ผลผลิตที่ได้ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก และปริมาณความชื้นมาตรฐานฐานแห้งของขานอ้อย

4.2 ผลการแปรรูปขานอ้อยโดยใช้น้ำ

เมื่อนำขานอ้อยมาแปรรูปด้วยน้ำที่สภาวะแตกต่างกันแล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และผลผลิตที่ได้ โดยมีขานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการแปรรูปเป็นตัวแทนควบคุมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดเซลลูโลสที่มีอยู่ในขานอ้อย พบว่า ขานอ้อยที่ไม่ผ่านการแปรรูปมีปริมาณ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และผลผลิตที่ได้ เท่ากับร้อยละ 34.95 ± 2.14 , 22.13 ± 3.16 , 24.25 ± 4.63 และ 90.11 ± 1.68 ตามลำดับ หลังจากการแปรรูปที่

อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที พบปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 39.29±2.65 ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เท่ากับร้อยละ 20.54±1.99 และ 18.30±2.36 ตามลำดับ และมีผลผลิตที่ได้โดยรวมลดลงไม่สูงเท่ากับร้อยละ 86.93±1.22 เมื่อเพิ่มเวลาการแปรรูปที่อุณหภูมิห้องให้นานขึ้นเป็น 15 นาที ส่งผลปริมาณเซลลูโลส เพิ่มขึ้นร้อยละ 47.54±3.66 ส่วน เฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลงเท่ากับร้อยละ 18.36±1.55 และ 16.84±2.75 ตามลำดับ แต่ผลผลิตที่ได้ เท่ากับร้อยละ 86.98±1.25 เมื่อทำการแปรรูปที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่า ปริมาณเซลลูโลสที่สูงขึ้น เท่ากับ ร้อยละ 58.53±3.25 ส่วนเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลง เท่ากับร้อยละ 15.96±2.36 และ 16.27±2.7 ตามลำดับ และมีผลผลิต ที่ได้เท่ากับร้อยละ 81.99±3.66 เมื่อแปรรูปที่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทำให้ปริมาณเซลลูโลสสูงสุด เมื่อเทียบกับสภาวะอื่นๆจากข้างต้น เท่ากับร้อยละ 67.92±3.66 70 ขณะที่เฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลง เท่ากับ ร้อยละ 14.12±1.66 และ 10.54±2.56 ตามลำดับ และมีผลผลิตลดลงมาอยู่ที่ร้อยละ 71.32±2.65 ดังแสดงในภาพที่ 3 การแปรรูป ฟางข้าวที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มปริมาณเซลลูโลสโดยไม่ทำให้ผล ผลิตลดลงมากเกินไป



ภาพที่ 3 การแปรรูปฟางข้าวด้วยน้ำ

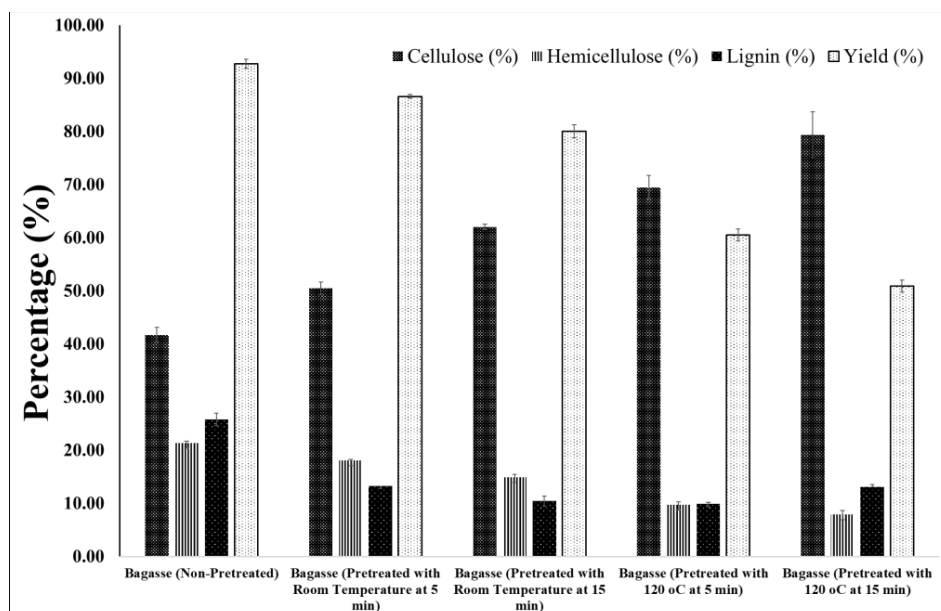
4.3 ผลการแปรรูปฟางข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 0.1

การสกัดเซลลูโลสจากฟางข้าวภายใต้สภาวะต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยการไม่ปรับสภาพ การแปรรูปที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที และ 15 นาที และการแปรรูปที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาทีและ 15 นาที โดยมี การวิเคราะห์ ปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และผลผลิตที่ได้ในแต่ละสภาวะ พบว่า ในสภาวะที่ไม่ได้ แปรรูป ฟางข้าว เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน มีปริมาณอยู่ที่ร้อยละ 41.76±2.66 21.40±1.25 และ 25.81±3.21 และมีผลผลิต ในสภาวะนี้สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 92.80±2.55 กระบวนการมากนัก เมื่อทำการแปรรูปที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 50.50±1.62 เฮมิเซลลูโลสลดลงเหลือเท่ากับร้อยละ 18.11±3.67 และลิกนิน ลดลง เหลือ เท่ากับร้อยละ 13.27 และมีผลผลิตที่ได้ เท่ากับร้อยละ 86.63±3.33 การปรับสภาพที่อุณหภูมิห้องเพียง 5 นาที เมื่อ เพิ่มระยะเวลาการแปรรูปที่ อุณหภูมิห้องเป็น 15 นาที ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 67.02±1.25 ขณะที่ เฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นร้อยละ 14.99±1.45 และ 10.48±0.78 ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้เท่ากับ ร้อยละ 80.09±1.65 เมื่อมีการแปรรูปที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ส่งผลให้ปริมาณ เซลลูโลสเพิ่มขึ้น อย่างเห็นได้ชัดเจนน้อยละ 69.53±1.25 เฮมิเซลลูโลสลดลงเหลือร้อยละ 9.80±2.65 และ ลิกนินลดลงเหลือร้อยละ 9.93±3.65

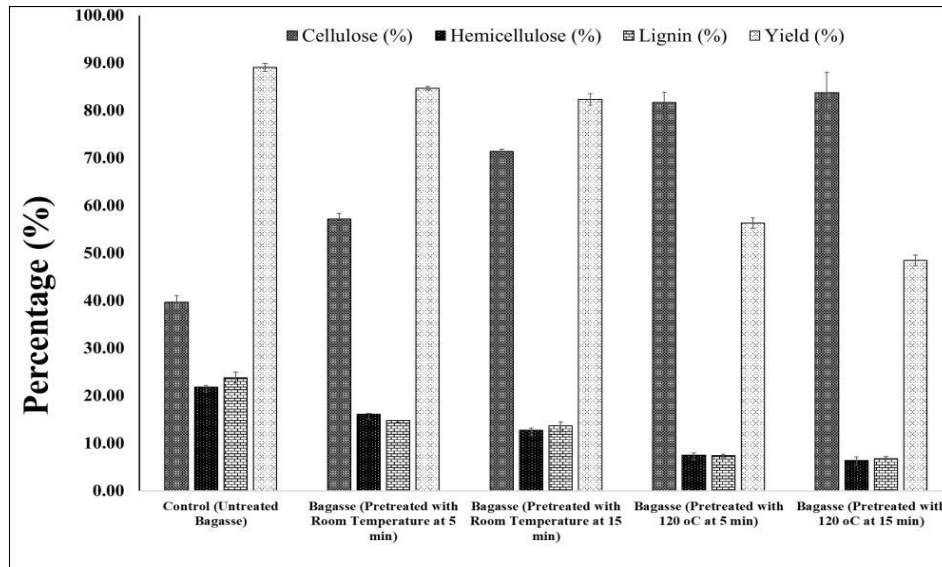
ผลผลิตที่ได้คงเหลือเท่ากับร้อยละ 60.56 ± 2.22 นอกจากนี้การแปรรูปที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที ทำให้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มสูงขึ้นสูงสุดถึงร้อยละ 79.42 ± 2.36 เฮมิเซลลูโลสลดลงเหลือร้อยละ 7.92 ± 2.65 และลิกนินเท่ากับร้อยละ 13.09 ± 1.02 ผลผลิตที่ได้เท่ากับร้อยละ 50.91 ± 2.98 ดังแสดงในภาพที่ 4

4.4 ผลการแปรรูปกากอ้อยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.1

การสกัดเซลลูโลสจากกากอ้อยในสภาวะต่าง ๆ โดยประกอบด้วยการไม่ปรับสภาพ การแปรรูปที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที และ 15 นาที และการแปรรูปที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที และ 15 นาที ผลของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และผลผลิตที่ได้ โดยสภาวะที่ไม่แปรรูปพบว่า เซลลูโลสมีปริมาณอยู่ที่ร้อยละ 39.68 ± 2.36 เฮมิเซลลูโลสที่ร้อยละ 21.83 ± 3.88 ลิกนินร้อยละ 23.81 ± 1.65 และผลผลิตที่ได้ร้อยละ 89.12 ± 1.98 เมื่อนำกากอ้อยมาแปรรูปที่อุณหภูมิห้อง ที่ 5 นาที ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.1 พบว่าปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 57.19 ± 2.75 เฮมิเซลลูโลสลดลงเหลือร้อยละ 16.15 ± 4.21 ลิกนินลดลงเหลือร้อยละ 14.83 ± 2.18 และผลผลิตที่ได้เท่ากับร้อยละ 84.69 ± 3.98 ซึ่งการแปรรูปที่อุณหภูมิห้องเพียง 5 นาที ส่งผลให้ได้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นได้ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่เฮมิเซลลูโลสและลิกนินถูกกำจัดออกไปบางส่วน ผลผลิตที่ลดลง เมื่อเพิ่มเวลาในการแปรรูปเป็น 15 นาที ที่ อุณหภูมิห้อง พบปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 71.38 ± 2.98 เฮมิเซลลูโลสลดลงเหลือร้อยละ 12.73 ± 3.75 ลิกนินลดลงเหลือร้อยละ 13.65 ± 1.09 และผลผลิตที่ได้เท่ากับร้อยละ 82.34 ± 2.98 เมื่อเพิ่มระยะเวลา การแปรรูปเป็น 15 นาที ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นอย่างมาก ขณะที่เฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อทำการแปรรูปโดยเพิ่ม อุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส ที่ 5 นาที พบว่า ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นมากถึงร้อยละ 81.67 ± 2.08 เฮมิเซลลูโลสลดลงเหลือร้อยละ 7.54 ± 1.65 ลิกนินลดลงเหลือร้อยละ 7.45 ± 3.65 แต่ผลผลิตที่ได้เหลือร้อยละ 56.36 ± 1.64 เมื่อเพิ่มเวลาในการแปรรูปที่ 15 นาที พบปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นสูงสุดถึงร้อยละ 83.77 ± 2.65 เฮมิเซลลูโลส ลดลงเหลือร้อยละ 6.44 ± 2.52 ลิกนินลดลงเหลือร้อยละ 6.73 ± 2.65 และผลผลิตที่ได้ร้อยละ 48.48 ± 1.58 ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 การแปรรูปกากอ้อยโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 0.1



ภาพที่ 5 การแปรรูปขานอ้อยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.1

การสกัดเซลลูโลสโดยวิธีแปรสภาพทางเคมีมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากขานอ้อย ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ระบุว่า การใช้กรดหรือเบสในการแปรรูปขานอ้อยช่วยในการสกัดเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการควบคุมเวลาและอุณหภูมิในการแปรรูปมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากการใช้ความร้อนสูงหรือนานเกินไปอาจทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสถูกทำลายและส่งผลให้ผลผลิตลดลง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ตรงกับงานวิจัยของ Sun et al. (2020) [18-19] ที่พบว่าการใช้กรดซัลฟริกที่เข้มข้นเกินไปสามารถทำลายโครงสร้างเซลลูโลสได้ ในส่วนของการแปรรูปขานอ้อยโดยใช้อุณหภูมิสูง ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที ซึ่งให้ปริมาณเซลลูโลสที่สูงและผลผลิตที่ยังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การใช้เวลานานขึ้นถึง 15 นาทีทำให้ได้ปริมาณเซลลูโลสที่สูงที่สุด แต่ต้องแลกกับการลดลงอย่างมากของผลผลิต ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li et al. (2019) [19] ที่รายงานว่าอุณหภูมิสูงเกินไปสามารถเพิ่มการสลายตัวของโครงสร้างเซลลูโลส ทำให้สูญเสียวัสดุที่สำคัญในกระบวนการผลิต

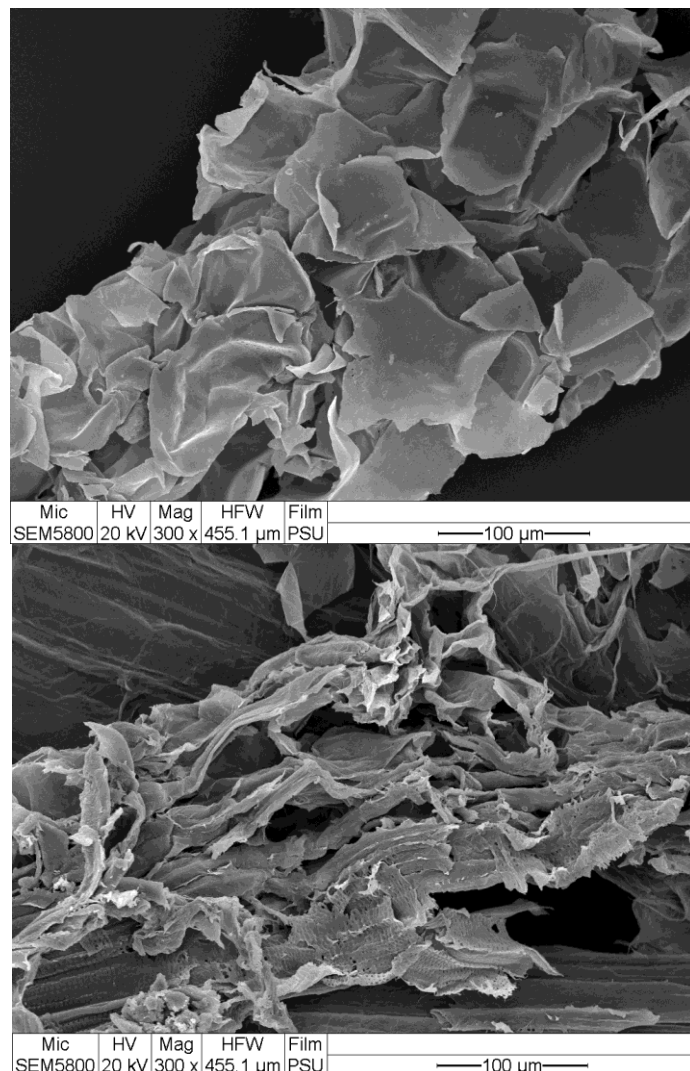
4.5 ลักษณะโครงสร้างของขานอ้อยที่ผ่านกระบวนการแปรสภาพที่คัดเลือกได้ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เมื่อนำตัวอย่างขานอ้อยที่ไม่ผ่านและผ่านการแปรสภาพนำมาถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างของขานอ้อย ที่ผ่านการแปรสภาพทางเคมีด้วยตัวโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.1 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากภาพที่ 6 (ก) แสดงให้เห็นว่าลักษณะโครงสร้างของขานอ้อยที่มีลักษณะเป็นแผ่นๆ ที่ซ้อนกัน ในหลายๆชั้น ดูเหมือนโครงสร้างที่มีความคงตัว ไม่มีการแตกหรือฉีกขาด ลักษณะโครงสร้างในภาพนี้ บ่งบอกถึงสภาพที่คงตัวของวัสดุ ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าลักษณะโครงสร้างเป็นโครงสร้างที่ยังผ่านถูก การแปรสภาพ ส่วนในภาพที่ 6 (ข) จะเห็นได้ว่าลักษณะโครงสร้างที่มีการแตกหักและฉีกขาดอย่าง ชัดเจน โครงสร้างดูไม่สม่ำเสมอ มีการเปิดช่องว่างระหว่างชั้นของวัสดุมากขึ้น ซึ่งลักษณะโครงสร้างใน ภาพนี้ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการแปรสภาพอย่างรุนแรง ซึ่งสามารถทำให้ลิกนินและเฮมิ เซลลูโลสถูกกำจัดออกไป และทำให้เซลลูโลสถูกแยกออกมาได้ดีขึ้น

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง ทางกายภาพของขานอ้อยที่ผ่านการแปรสภาพและไม่ผ่านการแปรสภาพ โดยภาพที่ 6 (A) โครงสร้างของขานอ้อยยังคงมีลักษณะที่เรียบและมีการซ้อนทับกันของชั้นต่างๆ แสดงถึงโครงสร้างที่ ยังคงคงตัวอยู่ ซึ่งบ่งบอกว่าอาจยังไม่ผ่านการแปรสภาพ หรือผ่านการแปรสภาพที่ไม่รุนแรง และภาพที่ 6 (B) โครงสร้างมีการแตกหักและฉีกขาดอย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้ถึงการแปรสภาพที่รุนแรง

จากการ เบส และการแปรรูปขานอ้อยที่อุณหภูมิสูง การเปลี่ยนแปลงนี้บ่งบอกว่าลิกนินและเฮมิเซลลูโลสถูกกำจัด ออกไป ส่งผลให้โครงสร้างของเซลลูโลสมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิม



(ก)

(ข)

ภาพที่ 6 (ก) ลักษณะโครงสร้างของขานอ้อยก่อน

(ข) ลักษณะโครงสร้างของขานอ้อยหลังแปรรูปด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.1

น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

5. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนากระบวนการแปรรูปขานอ้อยด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมีเพื่อการสกัดเซลลูโลสพบว่าการแปรรูปขานอ้อยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.1 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เป็นสภาวะที่ให้ปริมาณเซลลูโลสสูงสุดที่ ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นสูงสุดถึงร้อยละ 83.77 ± 2.65 เฮมิเซลลูโลส ลดลงเหลือร้อยละ 6.44 ± 2.52 ลิกนินลดลงเหลือร้อยละ 6.73 ± 2.65 และผลผลิตที่ได้ร้อยละ 48.48 ± 1.58 เมื่อตัวอย่างขานอ้อยที่ผ่านการแปรรูปคัดเลือกได้ไปส่งกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่ามีลักษณะโครงสร้างมีการแตกหักและฉีกขาดอย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้ถึงการแปรรูปที่รุนแรง

6. ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษาวิธีการแปรรูปกากอ้อยในรูปแบบอื่น เช่นการให้ความร้อนสูง การใช้เอนไซม์ย่อยสลายเฉพาะเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน
- 2) อาจมีการพัฒนาเครื่องสกัดเซลลูโลสให้บริสุทธิ์เฉพาะ
- 3) อาจใช้พืชชนิดอื่นที่มีศักยภาพนามาทดแทนกากอ้อยเพื่อเป็นแนวทางวิจัยและพัฒนาต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Li, J. Ye, Z. Jia, H. Yu, L. Li, H. Wang, E. Jiang, Y. Sun, and X. Xu, "The full utilization of bagasse via deep eutectic solvent pretreatment for low-condensed lignin and cellulose smart indicator film", *Chemical Engineering Journal*, 492, (2024). pp. 151-162.
- [2] G. Torres da Silva, L.M. Chiarello, E.M. Lima, and L.P. Ramos, "Sono-assisted alkaline pretreatment of sugarcane bagasse for cellulosic ethanol production", *Catalysis Today*, 269, (2016). pp. 21-28.
- [3] L.H.d.S. Martins, S.C. Rabelo, and A.C.d. Costa, "Effects of the pretreatment method on high solids enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation of the cellulosic fraction of sugarcane bagasse", *Bioresource Technology*, 191, (2015). pp. 312-321.
- [4] P. Tao, Y. Zhang, Z. Wu, X. Liao, and S. Nie, "Enzymatic pretreatment for cellulose nanofibrils isolation from bagasse pulp: Transition of cellulose crystal structure", *Carbohydrate Polymers*, 214, (2019). pp. 1-7.
- [5] อดุลย์สมาน สุขแก้ว ปรีดา จันทวงศ์ และปานทิพย์ บุญส่ง (2558) "ผลของอุณหภูมิและเวลาสำหรับการอบแห้งผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) ด้วยเครื่องอบลมร้อน." การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 เรื่อง "การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาท้องถิ่นสู่ประชาคมอาเซียน. มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ จังหวัดนราธิวาส, pp. 125-135.
- [6] C.E. de Araújo Padilha, C. da Costa Nogueira, M.A. Oliveira Filho, D.F. de Santana Souza, J.A. de Oliveira, and E.S. dos Santos, "Valorization of cashew apple bagasse using acetic acid pretreatment: Production of cellulosic ethanol and lignin for their use as sunscreen ingredients", *Process Biochemistry*, 91, (2020). pp. 23-33.
- [7] X. Zhao, J. Wen, H. Chen, and D. Liu, "The fate of lignin during atmospheric acetic acid pretreatment of sugarcane bagasse and the impacts on cellulose enzymatic hydrolyzability for bioethanol production", *Renewable Energy*, 128, (2018). pp. 200-209.
- [8] C. Sriwong, and P. Sukyai, "Simulated elephant colon for cellulose extraction from sugarcane bagasse: An effective pretreatment to reduce chemical use", *Science of The Total Environment*, 835, (2022). pp. 155-164.
- [9] J. Zeng, Z. Tong, L. Wang, J.Y. Zhu, and L. Ingram, "Isolation and structural characterization of sugarcane bagasse lignin after dilute phosphoric acid plus steam explosion pretreatment and its effect on cellulose hydrolysis", *Bioresource Technology*, 154 (2014). pp. 274-281.
- [10] Z. Qiu, X. Han, A. Fu, Y. Jiang, W. Zhang, C. Jin, D. Li, J. Xia, J. He, Y. Deng, N. Xu, X. Liu, A. He, H. Gu, and J. Xu, "Enhanced cellulosic d-lactic acid production from sugarcane bagasse by pre-fermentation of water-soluble carbohydrates before acid pretreatment", *Bioresource Technology*, 368, (2023). pp. 128-140.
- [11] Y. Fu, H. Gao, H. Yu, Q. Yang, H. Peng, P. Liu, Y. Li, Z. Hu, R. Zhang, J. Li, Z. Qi, L. Wang, L. Peng, and Y. Wang, "Specific lignin and cellulose depolymerization of sugarcane bagasse for maximum bioethanol

- production under optimal chemical fertilizer pretreatment with hemicellulose retention and liquid recycling", *Renewable Energy*, 200, (2022). pp. 1371-1381.
- [12] S. Nie, C. Zhang, Q. Zhang, K. Zhang, Y. Zhang, P. Tao, and S. Wang, "Enzymatic and cold alkaline pretreatments of sugarcane bagasse pulp to produce cellulose nanofibrils using a mechanical method", *Industrial Crops and Products*, 124, (2018). pp. 435-441.
- [13] Y. Liu, X. Zheng, S. Tao, L. Hu, X. Zhang, and X. Lin, "Process optimization for deep eutectic solvent pretreatment and enzymatic hydrolysis of sugar cane bagasse for cellulosic ethanol fermentation", *Renewable Energy*, 177, (2021). pp. 259-267.
- [14] G. Shen, X. Yuan, S. Chen, S. Liu, M. Jin, "High titer cellulosic ethanol production from sugarcane bagasse via DLCA pretreatment and process development without washing/detoxifying pretreated biomass", *Renewable Energy*, 186, (2022). pp 904-913.
- [15] K. Saelee, N. Yingkamhaeng, T. Nimchua, and P. Sukyai, "An environmentally friendly xylanase-assisted pretreatment for cellulose nanofibrils isolation from sugarcane bagasse by high-pressure homogenization", *Industrial Crops and Products*, 82, (2016). pp 149-160.
- [16] T.Q. Lan, S.R. Wang, H. Li, Y.Y. Qin, and G.J. Yue, "Effect of lignin isolated from p-toluenesulfonic acid pretreatment liquid of sugarcane bagasse on enzymatic hydrolysis of cellulose and cellulase adsorption", *Industrial Crops and Products*, 155, (2020). pp. 112-121.
- [17] R. Ling, W. Wei, and Y. Jin, "Pretreatment of sugarcane bagasse with acid catalyzed ethylene glycol–water to improve the cellulose enzymatic conversion", *Bioresource Technology*, 361 (2022). pp. 127-133.
- [18] Y., Sun, and J.C., Cheng, "Dilute acid pretreatment of rye straw and bermudagrass for ethanol production". *Bioresource Technology*, 96 (14), (2005). pp. 1599-1606.
- [19] อดุลย์สมาน สุขแก้ว และมุขามัตตคยรี หะยีบากา (2564) "กระบวนการแปรรูปสภาพขาน้อยที่เหมาะสมด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับเคมีเพื่อเป็นสับเสทในการผลิตเอทานอล". วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน, pp. 97-103.

การเปรียบเทียบปริมาณผลผลิต ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเปลือกและเมล็ด ลูกหยีที่ได้จากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน

COMPARATIVE OF YIELD AND TOTAL PHENOLIC CONTENT OF PEELS AND SEEDS OF VELVET TAMARIND EXTRACTS (*Dialium cochinchinense* Pierre) FROM DIFFERENT EXTRACTION METHODS

อดุลย์สมาน สุขแก้ว¹ ปันณรภัฏ ทกลกักดี^{1,2} และ ศศมล ผาสุก^{1,2*}

Adulsman Sukkaew¹, Pannraphat Takolpuckdee^{1,2} and Sasamol Phasuk^{1,2*}

¹หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลย
อลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

²หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมเพื่อการพัฒนา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

¹Doctor of Philosophy Program in Science Education, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn
Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani Province.

²Doctor of Philosophy Program in Science and Innovation for Development, Faculty of Science and Technology,
Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani Province.

*Corresponding Author E-mail: sasamol@vru.ac.th

Received September 12, 2024; Revised October 7, 2024; Accepted October 20, 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเปลือกและเมล็ด
ลูกหยี ที่สกัดด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน โดยนำเปลือกและเมล็ดลูกหยี มาหาปริมาณผลผลิต และสกัดด้วยวิธีการสกัดที่
แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 การสกัดแบบแช่หมัก วิธีที่ 2 การสกัดโดยการเขย่า และวิธีที่ 3 การสกัดด้วยไมโครเวฟ ผล
การทดลองพบว่า เปลือกและเมล็ดลูกหยีให้ผลผลิตเท่ากับ 92.07 ± 3.65 เปอร์เซ็นต์ 95.38 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
เมื่อศึกษาปริมาณสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดลูกหยีโดยใช้วิธีการสกัด 3 วิธี พบว่าวิธีที่ 3 การสกัดด้วยไมโครเวฟ ให้
ผลผลิตสารสกัดสูงสุดทั้งในส่วนเปลือกและเมล็ดลูกหยี โดยในส่วนเปลือกมีผลผลิตเท่ากับ 20.07 ± 3.65 เปอร์เซ็นต์
และในส่วนเมล็ดลูกหยีมีผลผลิตเท่ากับ 16.56 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ วิธีที่ 3 ยังให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด
สูงสุดในเปลือกและเมล็ดลูกหยี โดยในเปลือกลูกหยีมีค่าเท่ากับ 142.40 ± 2.32 mg GAE/g dry weight และในเมล็ดมีค่า
เท่ากับ 159.72 ± 5.32 mg GAE/g dry weight ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟในการ
สกัดสารฟีนอลิกจากเปลือกและเมล็ดลูกหยี ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์
อื่นๆ ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงได้ต่อไป

คำสำคัญ: ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เปลือกลูกหยี เมล็ดลูกหยี วิธีการสกัด

Abstract

The objectives of this research were to compare the yield and total phenolic content of extracts from Velvet tamarind of peels and seeds by using different extraction methods. The velvet tamarind peels and seeds were analyzed for yield and extracted using three different methods as 1) maceration extraction, 2) shaking extraction, and 3) microwave-assisted extraction. The results showed that the peels and seeds of velvet tamarind yielded $92.07 \pm 3.65\%$ and $95.38 \pm 1.65\%$, respectively. When examining the extracts from peels and seeds using the three extraction methods, the result was found that method 3, microwave-assisted extraction, provided the highest yield for both peels and seeds of velvet tamarind. The yield from the peels was $20.07 \pm 3.65\%$, and seeds was $16.56 \pm 1.65\%$. Additionally, method 3 also yielded the highest total phenolic content in both the peels and seeds, with the peels containing 142.40 ± 2.32 mg GAE/g dry weight and the seeds containing 159.72 ± 5.32 mg GAE/g dry weight. These findings demonstrate the efficiency of microwave-assisted extraction in extracting total phenolic compounds from velvet tamarind of peels and seeds, which can be utilized as active ingredients in cosmetic products and other products with high antioxidant properties.

Keywords: Total Phenolic Content, Peels Velvet Tamarind, Seeds Velvet Tamarind, Extraction Methods

1. บทนำ

ลูกหิเป็นผลไม้พื้นเมืองภาคใต้ชนิดหนึ่ง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Dialium cochinchinense* อยู่ในวงศ์ LEGUMINOSAE สามารถรับประทานได้เมื่อสุก ลักษณะผลเป็นพวง ผลดิบมีสีเขียว เมื่อสุกเปลือกจะมีสีดำ เนื้อในเป็นสีน้ำตาลแดงรสหวานอมเปรี้ยว แต่นิยมส่วนใหญ่เอามาแปรรูปมากกว่าการรับประทานแบบสด ในผลลูกหิสามารถแปรรูปได้หลากหลายผลิตภัณฑ์ เช่น ฉาบน้ำตาล กวน ทองเครื่อง และการแปรรูปเป็นแยม เป็นต้น ในลูกหิจะพบสารสำคัญในกลุ่ม ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ทั้งในส่วนของผล เปลือกและเมล็ดซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [1-2] จากการศึกษาวิจัยของ Tran *et al.* (2022) [3] ได้ศึกษาสารสำคัญขององค์ประกอบทางเคมีของเนื้อลูกหิพบสารสเตียรอยด์ เทอร์เพนอยด์ แอนทราควิโนน แทนนิน ซาโปนิน และฟีนอลิก สามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้ และสามารถลดจำนวนแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์ได้ [4] นอกจากนี้ในการแปรรูปลูกหิก็มีส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกหิได้แก่ เปลือกลูกหิและเมล็ดลูกหิจะทิ้งและไม่ได้ใช้ประโยชน์ จากการศึกษาพบว่าเปลือกและเมล็ดลูกหิมีรสฝาด ซึ่งสารที่มีรสฝาดส่วนใหญ่จะมีสารแทนนิน และสารฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ และเมื่อนำไปศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพจะพบว่าสารเหล่านี้จะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [5-8] การใช้ประโยชน์และการเพิ่มมูลค่าจากเปลือกและเมล็ดลูกหิ ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และเป็นการส่งเสริมเศรษฐกิจเหลือทิ้งจากการแปรรูปลูกหิให้มีมูลค่าได้ในอนาคต

ดังนั้นในงานวิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเปลือกและเมล็ดลูกหิด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางการใช้สารจากธรรมชาติมาเป็นสารออกฤทธิ์ในเครื่องสำอางและอุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งเป็นทางเลือกที่ปลอดภัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการสร้างมูลค่าเพิ่มและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าให้กับพืชพื้นเมืองในเขตพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณร้อยละผลผลิตของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดลูกหิด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน
- 2) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดลูกหิด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่างเปลือกและเมล็ดลูกหยี

นำเปลือกและเมล็ดลูกหยี จากกลุ่มวิสาหกรรมการชุมชนแปรรูปลูกหยี ตำบลยะรัง อำเภอยะรัง จังหวัดยะลา โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเดือน เมษายน - สิงหาคม พ.ศ. 2567 นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนแห้งสนิท จากนั้นนำมาบดละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 ไมครอน เพื่อให้มีขนาดเท่าๆ กัน แล้วผึ่งให้แห้งภายใต้แสงแดดในที่ร่ม คำนวณผลผลิตที่ได้ วิเคราะห์ความชื้นมาตรฐานเปียก และความชื้นมาตรฐานแห้ง ตามมาตรฐาน AOAC(1990) [9-11]

3.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและเมล็ดลูกหยี

3.2.1 วิธีที่ 1 การสกัดแบบแช่หมัก (Maceration Extraction)

ชั่งตัวอย่างเปลือกและเมล็ดลูกหยีอย่างละ 25 กรัม เติมน้ำเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 100 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมากรองด้วยผ้าขาวบางและกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 นำส่วนใสไประเหยในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งและได้สารสกัดหยาบ นำมาหาร้อยละผลผลิตที่ได้ เก็บสารสกัดหยาบในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ [12-14]

3.2.2 วิธีที่ 2 การสกัดโดยการเขย่า (Shaking Extraction)

ชั่งตัวอย่างเปลือกและเมล็ดลูกหยีอย่างละ 25 กรัม เติมน้ำเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 100 มิลลิลิตร เขย่าความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมากรองด้วยผ้าขาวบางและกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 นำส่วนใสไประเหยในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งและได้สารสกัดหยาบ นำมาหาร้อยละผลผลิตที่ได้ เก็บสารสกัดหยาบในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ [15,16]

3.2.3 วิธีที่ 3 การสกัดด้วยไมโครเวฟ (Microwave-Assisted Extraction (MAE))

ชั่งตัวอย่างเปลือกและเมล็ดลูกหยีอย่างละ 25 กรัม เติมน้ำเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟ ที่ 700 วัตต์ เวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำมากรองด้วยผ้าขาวบางและกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 นำส่วนใสไประเหยในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งและได้สารสกัดหยาบ แล้วนำมาหาร้อยละผลผลิตที่ได้ เก็บสารสกัดหยาบในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ [13, 17-19]

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

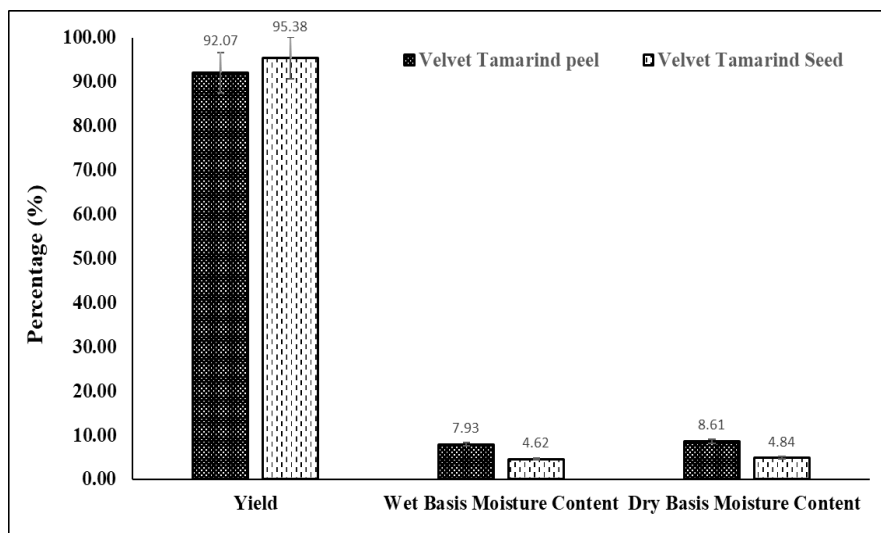
วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric ในรูปของกรดแกลลิกโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ กรดแกลลิกมาตรฐาน และรายงานผลเป็น น้ำหนัก มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสารสกัดเปลือกและเมล็ดลูกหยีแห้ง 1 กรัม (mg gallic acid equivalents/g dried velvet tamarind seeds/peels extract) โดยการดูดสารละลาย Gallic acid ปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยมี Blank เป็นน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ในปริมาตร 70 มิลลิลิตร เติมน้ำ Folin-ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 5 นาที เติมน้ำละลาย Na_2CO_3 จำนวน 15 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1.5 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร บันทึกค่าแล้วมาสร้างกราฟมาตรฐาน ส่วนตัวอย่างสารสกัดเปลือกและเมล็ดลูกหยีหาได้ตามวิธีข้างต้นโดยใช้แทน Gallic acid และมี Blank เป็นตัวทำละลายของสารสกัด [20, 22]

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลของปริมาณสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดลูกหยี

4.1.1 ผลของผลผลิตที่ได้ ความชื้นมาตรฐานเปียก ความชื้นมาตรฐานแห้งของเปลือกและเมล็ดลูกหยี

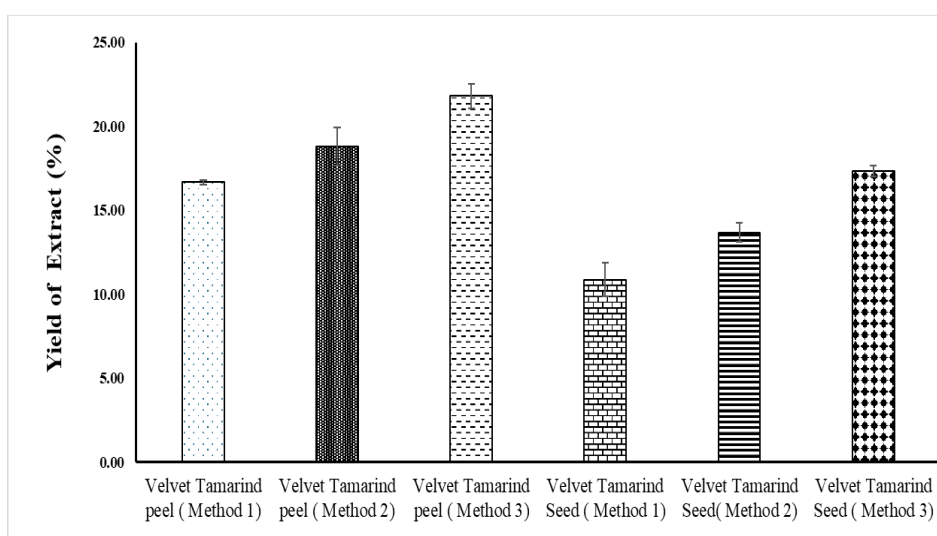
จากการศึกษาเปลือกและเมล็ดของลูกหิปปพบว่าเมล็ดลูกหิปปมีผลผลิตที่ได้เท่ากับ 95.38 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เปลือกมีผลผลิตเท่ากับ 92.07 ± 3.65 เปอร์เซ็นต์ โดยเปลือกของลูกหิปปีมีปริมาณความชื้นเปียกเท่ากับ 7.93 ± 3.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเมล็ดลูกหิปปที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 4.62 ± 1.09 เปอร์เซ็นต์ และเปลือกของลูกหิปปีมีปริมาณความชื้นแห้งเท่ากับ 8.61 ± 1.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเมล็ดลูกหิปปที่มีปริมาณความชื้นแห้งเท่ากับ 4.84 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลผลิตที่ได้ ความชื้นมาตรฐานเปียก ความชื้นมาตรฐานแห้ง ของเปลือกและเมล็ดลูกหิปป

4.1.2 ผลผลิตที่ได้ของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดลูกหิปปที่สกัดด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

ผลผลิตของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดของลูกหิปป โดยใช้วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี โดยผลผลิตที่ได้จากสารสกัดของเปลือกลูกหิปป วิธีที่ 1-3 เท่ากับ 16.68 ± 1.25 , 18.79 ± 2.65 และ 21.80 ± 1.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผลผลิตที่ได้จากสารสกัดของเมล็ดลูกหิปป วิธีที่ 1-3 เท่ากับ 10.86 ± 1.98 , 13.67 ± 1.41 และ 17.36 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2



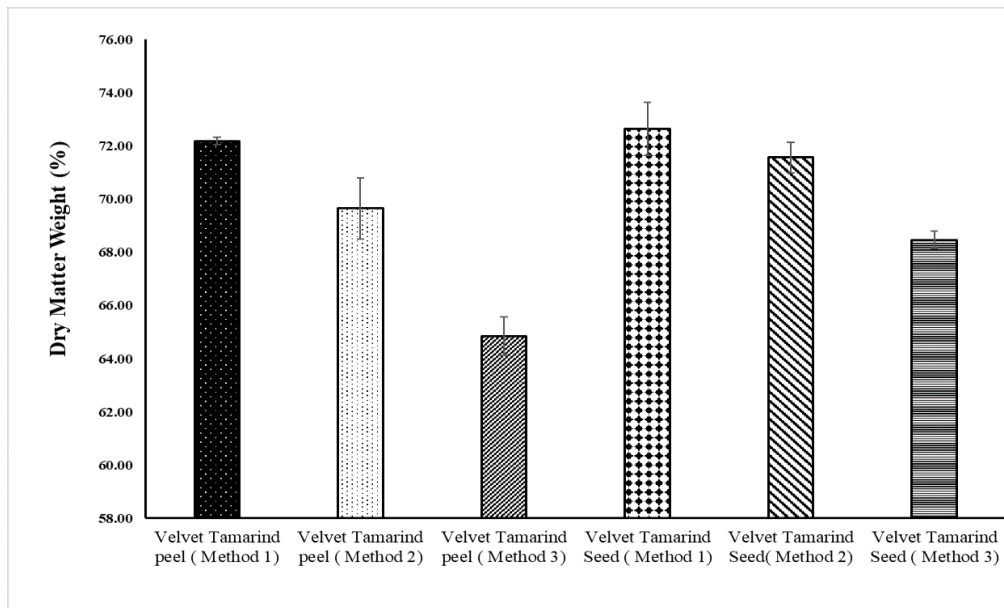
ภาพที่ 2 ผลผลิตที่ได้ของเปลือกและเมล็ดลูกหิปปที่สกัดด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

4.1.3 น้ำหนักของกากแห้งจากเปลือกและเมล็ดลูกหิยี่ที่สกัดด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

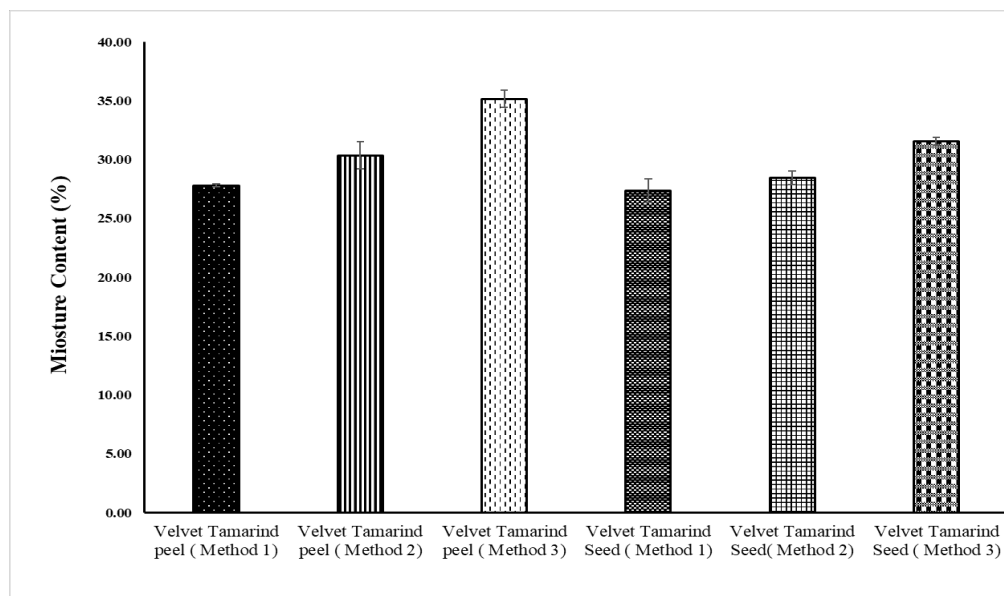
ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของกากแห้งจากเปลือกลูกหิยี่ที่มีการสกัดที่แตกต่างกัน พบว่าวิธีที่ 1 วิธีที่ 2 และวิธีที่ 3 เท่ากับ 72 ± 1.25 , 68.25 ± 4.48 และ 62.45 ± 3.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของกากแห้งจากเมล็ดลูกหิยี่ใน วิธีที่ 1 วิธีที่ 2 และวิธีที่ 3 เท่ากับ 74.36 ± 2.65 , 72.65 ± 1.98 และ 68.19 ± 2.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3

4.1.4 ปริมาณความชื้นของกากจากเปลือกและเมล็ดลูกหิยี่ที่สกัดด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

การศึกษาปริมาณความชื้นของสารสกัดแห้งจากเปลือกและเมล็ดลูกหิยี่ที่มีวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน พบว่า วิธีที่ 1 วิธีที่ 2 วิธีที่ 3 ของเปลือกลูกหิยี่เท่ากับ 28 ± 1.29 , 33 ± 2.65 และ 38 ± 3.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมล็ดลูกหิยี่ เท่ากับ 31.26 ± 4.33 , 34.58 ± 2.46 และ 36.58 ± 4.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4



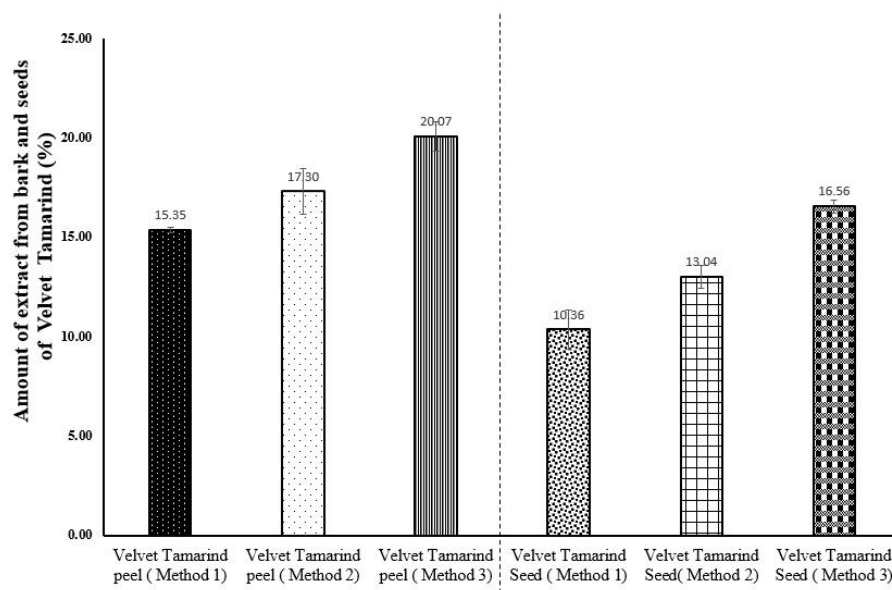
ภาพที่ 3 น้ำหนักของกากแห้งจากเปลือกและเมล็ดลูกหิยี่ที่มีวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4 ปริมาณความชื้นของกากจากเปลือกและเมล็ดลูกหิยี่ที่มีวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

4.1.5 ปริมาณร้อยละผลผลิตของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดลูกหูกหยีที่สกัดด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

การศึกษาปริมาณร้อยละผลผลิตของสารสกัดที่ได้จากเปลือกและเมล็ดของลูกหูกหยีที่ผ่านวิธีการสกัดสามวิธีที่แตกต่างกัน พบว่าวิธีการสกัดมีผลโดยตรงต่อปริมาณสารสกัดที่ได้รับ ในกรณีของเปลือกลูกหูกหยี พบว่าวิธีที่ 1 ให้ปริมาณสารสกัดต่ำสุด เท่ากับ 15.35 ± 1.25 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่วิธีที่ 3 ให้ปริมาณสารสกัดสูงสุด เท่ากับ 20.07 ± 3.65 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเมล็ดลูกหูกหยีก็มีแนวโน้มเดียวกัน โดยวิธีที่ 1 ให้ปริมาณสารสกัดต่ำสุด เท่ากับ 10.36 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ และวิธีที่ 3 ให้ปริมาณสารสกัดสูงสุด เท่ากับ 16.56 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบแต่ละวิธีของการสกัดของเปลือกและเมล็ดลูกหูกหยี พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ดังแสดงในภาพที่ 5 และตารางที่ 1



ภาพที่ 5 ร้อยละผลผลิตของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดลูกหูกหยีที่สกัดด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความแตกต่างกันปริมาณสารสกัดทางสถิติของเปลือกและเมล็ดลูกหูกหยี

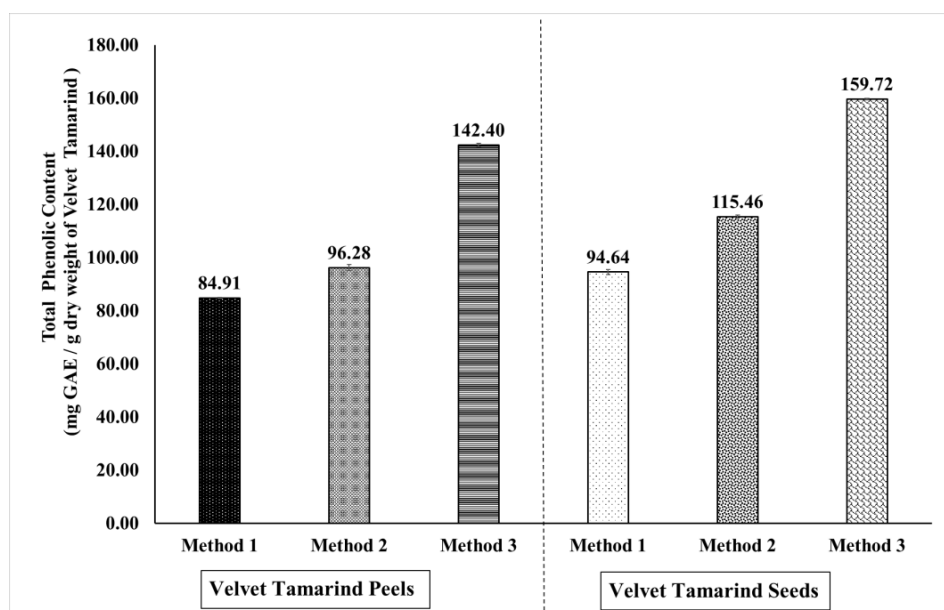
		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
วิธี 1	เปลือก - เมล็ด	4.990	.010	.006	4.965	5.015	864.293	2	.000
วิธี 2	เปลือก - เมล็ด	4.260	.260	.150	3.61	4.906	28.379	2	.001
วิธี 3	เปลือก - เมล็ด	3.543	.441	.255	2.448	4.639	13.918	2	.005

หมายเหตุ : ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างกันของปริมาณสารสกัดทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

4.1.6 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของเปลือกและเมล็ดลูกหูกหยีที่สกัดด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

เมื่อนำสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดลูกหูกหยี มาวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content) โดยแสดงในหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg GAE/g dry weight) ของสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดลูกหูกหยี ด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (Method 1, Method 2, Method 3) พบว่าวิธีการสกัดที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้จากเปลือกและเมล็ดของลูกหูกหยีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และในกรณีของเปลือก (Peels) พบว่าวิธีที่ 3 ให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดที่ 142.40 ± 2.32 mg GAE/g ขณะที่วิธีที่ 1 ให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดต่ำสุด เท่ากับ 84.91 ± 4.65 mg GAE/g สำหรับเมล็ด (Seeds) วิธีที่ 3 ก็ยังคงให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 159.72 ± 5.32

mg GAE/g ในขณะที่วิธีที่ 1 ให้ค่าต่ำสุด เท่ากับ 94.64 ± 2.65 mg GAE/g ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบทุกสภาวะของเปลือกและเมล็ดลูกหิ่ พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ดังแสดงในภาพที่ 6 และตารางที่ 2



ภาพที่ 6 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเปลือกและเมล็ดลูกหิ่ที่สกัดด้วยวิธีต่างกัน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเปลือกและเมล็ดลูกหิ่ที่สกัดด้วยวิธีต่างกัน

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
วิธี 1	เปลือก - เมล็ด	9.730	.270	.156	10.401	9.059	62.418	2	.000
วิธี 2	เปลือก - เมล็ด	19.180	.180	.104	19.627	18.733	184.560	2	.000
วิธี 3	เปลือก - เมล็ด	17.320	.320	.185	18.115	16.525	93.747	2	.000

หมายเหตุ : ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างกันของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเปลือกและเมล็ดลูกหิ่ที่สกัดด้วยวิธีต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเปลือกและเมล็ดลูกหิ่ พบว่า วิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีผลอย่างมากต่อการให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยผลการวิจัยพบว่าวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟ ให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดทั้งในส่วนที่เป็นเปลือกและเมล็ดลูกหิ่ ซึ่งเป็นไปตามที่สมมุติฐานที่ตั้งไว้ เนื่องจากการสกัดด้วยไมโครเวฟสามารถเพิ่มการเข้าถึงของตัวทำละลายเข้าสู่โครงสร้างโมเลกุลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการสกัดในรูปแบบอื่นๆ คือวิธีการสกัดแบบแช่หมัก และวิธีการสกัดโดยการเขย่า ส่งผลให้สามารถสกัดสารออกมาได้มากขึ้นและในเวลาที่ใช้สั้นกว่า สาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองเป็นเช่นนี้อาจเกิดจากความสามารถของการสกัดด้วยไมโครเวฟที่ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและพลังงานเข้าสู่เปลือกและเมล็ดลูกหิ่ ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างของผนังเซลล์เปิดออกและสารสำคัญสามารถถูกสกัดออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับ Borris *et al.* (2017) [20] โดยแสดงให้เห็นว่าสารฟีนอลิกทั้งหมดในพืชมีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระและลดการผลิตเมลานินใน

ผิวหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับ Kim *et al.* (2021) [21] พบว่าประเภทของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดเช่นกัน ในกรณีนี้ การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงสามารถให้ผลการทดลองที่ดีในการดึงสารฟีนอลิกออกมาได้มาก ซึ่งความสำคัญของการเลือกทั้งวิธีการสกัดและตัวทำละลายที่เหมาะสมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารสำคัญจากพืช นอกจากนี้การศึกษายังแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในเมล็ดลูกหยีมีสารฟีนอลิกทั้งหมดที่สูงกว่าในเปลือกลูกหยี ซึ่งอาจเป็นผลมาจากโครงสร้างและปริมาณสารชีวภาพในเมล็ดลูกหยีที่มีความเข้มข้นสูงกว่าเปลือกลูกหยี ส่งผลให้สารสำคัญถูกสกัดออกมาได้มากกว่า ทั้งนี้ผลการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่นำสารสกัดของพืชที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงไปพัฒนาเป็นเครื่องสำอางที่ช่วยลดริ้วรอย เช่น เซรัม [22] ซึ่งเป็นประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งจากการแปรรูปลูกหยีและใช้ประโยชน์จากพืชป่าและเป็นพืชที่เป็นอัตลักษณ์ในเขตพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้อย่างยิ่ง

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปริมาณสารสกัดกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจากเปลือกและเมล็ดลูกหยีด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน พบว่าผลผลิตจากเปลือกลูกหยี เท่ากับ 92.07 ± 3.65 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดลูกหยี เท่ากับ 95.38 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ โดยเปลือกมีความชื้นเปียกและแห้งที่สูงกว่าเมล็ดเล็กน้อย การใช้วิธีการสกัด 3 วิธี พบว่าวิธีที่ 3 การสกัดด้วยไมโครเวฟ ให้ผลผลิตสารสกัดสูงสุดทั้งในส่วนของเปลือกลูกหยีเท่ากับ 20.07 ± 3.65 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดลูกหยี เท่ากับ 16.56 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดในเปลือกและเมล็ดลูกหยี เท่ากับ 142.40 ± 2.32 และ 159.72 ± 5.32 mg GAE/g dry weight ตามลำดับ

6. ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการศึกษานิตของตัวทำละลายและสภาวะการสกัดในรูปแบบต่างๆ
- 2) ควรศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ ของสารสกัด เช่น ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส หรือ สารประกอบกลุ่มอื่นๆ
- 3) ควรนำสารสกัดที่มีปริมาณฟีนอลิกสูงไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบกลุ่ม ครีมบำรุงผิว เจลและโลชั่น เป็นต้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Li, J. Ye, Z. Jia, H. Yu, L. Li, H. Wang, E. Jiang, Y. Sun, and X. Xu, "The full utilization of bagasse via deep eutectic solvent pretreatment for low-condensed lignin and cellulose smart indicator film", *Chemical Engineering Journal*, 492, (2024). pp. 151-159.
- [2] S. Brown, M. K. Lee, and T. Nguyen, "Optimization of phenolic extraction from tamarind seeds using response surface methodology", *Journal of Food Science*, 86(5), (2021). pp. 1884-1892.
- [3] A. Kumar, R. Sharma, and S. Singh, "Comparative study of antioxidant potential in the peels and seeds of tropical fruits", *Antioxidants*, 9(3), (2020). pp. 214-228.
- [4] J. Park, H. Kim, and S. Lee, "Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from plant materials: A review", *Food Chemistry*, 278, (2019). pp. 328-336.
- [5] T. Tran, Q. Vu, and C. Nguyen, "Characterization of phenolic content in tamarind peel and seed extracts and their antioxidant activities", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(11), (2019). pp. 3025-3031.
- [6] M. A. Smith, L. Thompson, and R. C. Davis, "Efficiency of different solvents in extracting phenolic compounds from plant tissues", *Plant Science*, 234, (2015). pp. 95-102.

- [7] K. Johnson, D. Williams, and J. Green, "Impact of extraction methods on the antioxidant activity of fruit peels", *Food and Function*, 7(7), (2016). pp. 3223-3230.
- [8] P. Zhang, H. Li, and G. Wang, "Evaluation of phenolic profiles and antioxidant activities of different tamarind parts", *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), (2021). pp. 150-161.
- [9] B. Patel, R. Tiwari, and S. Singh, "Solvent extraction of phenolic compounds from fruit seeds and their utilization", *International Journal of Food Science and Technology*, 55(9), (2020). pp. 3339-3347.
- [10] M. Chen, L. Qiu, and Y. Zhang, "A comparative study on the extraction of phenolics from tamarind seeds using microwave-assisted, ultrasonic, and conventional methods", *Molecules*, 24(18), (2019). pp. 3353-3367.
- [11] D. Clark, P. White, and R. Robinson, "Phenolic content and antioxidant properties of tamarind seeds: Influence of extraction methods", *Journal of Food Biochemistry*, 43(6), (2019). pp. 128-138.
- [12] R. Borris, S. Chen, and A. A. Evans, "The role of phenolic compounds in plant defense: A focus on velvet tamarind", *Plant Physiology*, 184(3), (2020). pp. 1200-1210.
- [13] J. Kim, H. Park, and S. Lee, "Effect of extraction parameters on phenolic yield from tamarind seeds", *Food Science and Technology International*, 27(3), (2021). pp. 226-234.
- [14] M. C. Gonzalez, J. E. Martinez, and H. P. Lopez, "Antioxidant activity of phenolic extracts from tamarind seeds: A comparative study", *Journal of Medicinal Plants Research*, 10(23), (2016). pp. 344-350.
- [15] L. Wang, X. Lu, and Y. Zhang, "Phenolic extraction from fruit peels using novel solvents", *Food Chemistry*, 301, (2019). pp. 125-132.
- [16] H. Xu, T. Zhang, and W. Zhao, "Comparative analysis of phenolic content in fruit peels and seeds: Extraction techniques and antioxidant activities", *Journal of Food Science and Technology*, 56(10), (2019). pp. 4358-4367.
- [17] T. A. Nguyen, H. P. Pham, and D. H. Le, "Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tamarind seeds", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(4), (2021). pp. 1561-1568.
- [18] E. F. Santos, P. C. Souza, and L. D. Lima, "Phenolic extraction and antioxidant evaluation of tropical fruit seeds: A comparative study", *Food Research International*, 127, (2020). pp. 108-123.
- [19] N. Patel, P. Desai, and S. J. Ghosh, "Role of extraction methods on phenolic content and antioxidant properties of tamarind peel", *Journal of Food Science*, 85(12), (2020). pp. 4112-4120.
- [20] R. Borris, A. Chen, and J. Evans, "Phenolic compounds in plants: Antioxidant activity and potential for reducing melanin production in skin", *Journal of Natural Products*, 80(6), (2017). pp. 1203-1211.
- [21] J. Kim, H. Park, and S. Lee, "Impact of solvent choice on the extraction efficiency of phenolic compounds from plant materials", *Food Chemistry*, 340, (2021). pp. 127-137.
- [22] D., Wattanuruk, S. Phasuk, P. Nilsang, and P. Takolpuckdee, "Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activities of Khaow-Mak extracts from various colored rice". *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science*, 13(1) (2020). pp. 10-18.

การพัฒนาารูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยในอนาคต

THE DEVELOPMENT OF ELECTRICITY SAVING MANAGEMENT MODEL OF THAILAND UNIVERSITY IN THE FUTURE

ชรินทร์ มาประสม^{1*} อีลียะ สนิโซ² และ วิชิต เรืองแป้น¹

Charin Mapasom¹, Eleeyah Saniso² and Vichit Rueangpan³

¹ สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

¹ Department of Natural Resources and Environmental Management, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University

² สาขาวิชาพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

² Department of Renewable Energy Technology, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University

* Corresponding Author E-mail: 836342012@yru.ac.th

Received September 16, 2024; Revised November 12, 2024; Accepted November 16, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนารูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยในอนาคต ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการพลังงานไฟฟ้า สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาสังคม จำนวน 35 คน ที่ได้จากการเลือกแบบเจาะจง แบ่งเป็น 2 ชุด ตามระยะการวิจัย คือ 1) ระยะพัฒนารูปแบบ เพื่อให้แนวคิด หลักการและแนวทางการพัฒนารูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้า จำนวน 24 คน 2) ระยะประเมินรูปแบบ เพื่อวิพากษ์วิจารณ์และประเมินความเหมาะสมของรูปแบบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น จำนวน 11 คน โดยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ เครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบสัมภาษณ์ กึ่งโครงสร้างและแบบสอบถาม เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งเป็นระยะ คือ ระยะที่ 1 เก็บข้อมูล 3 รอบ โดย 1) เป็นการสัมภาษณ์กึ่งมีโครงสร้าง วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เนื้อหาและความถี่ 2) และ 3) เป็นการสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลด้วย มัธยฐาน ฐานนิยม ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์และความสอดคล้องของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ผลการวิจัยพบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันในระดับมากที่สุด ว่ารูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในอนาคต ประกอบด้วย 5 ด้าน คือ 1) สภาพทั่วไป เช่น การใช้เทคโนโลยีการเรียนการสอนด้วยสื่ออิเล็กทรอนิกส์และการใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน 2) การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อมและการพัฒนา มหาวิทยาลัย เช่น การส่งเสริมแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการร่วมเป็นเครือข่ายมหาวิทยาลัย ยั่งยืน 3) การนำแผนยุทธศาสตร์ระดับชาติไปปฏิบัติ เช่น แผน 20 ปี แผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 4) การประหยัดพลังงานและการบริหารจัดการ เช่น การใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 5) พฤติกรรมการมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า เช่น การส่งเสริมให้บุคลากรทุกระดับมีส่วนร่วมประหยัดพลังงานไฟฟ้าอย่างจริงจัง

คำสำคัญ: การพัฒนารูปแบบ การจัดการ การประหยัดพลังงานไฟฟ้า มหาวิทยาลัยในอนาคต

Abstract

This research aims to develop a model for energy saving management of universities in Thailand in the future. The key informants are 3 experts in electrical energy management, environment and social development who were selected by purposive sampling. They were divided into 2 groups according to the research phases: 1) 24 people for model development phase to provide ideas, principles and guidelines for developing an electrical energy saving model; 2) Model evaluation phase to critique and evaluate the appropriateness of the model developed by the researcher, 11 people, through an expert-based seminar. The research instruments were semi-structured interviews and questionnaires. Data were collected and analyzed in 3 phases: Phase 1, data were collected in 3 rounds: 1) semi-structured interviews, data were analyzed by content and frequency analysis; 2) and 3) questionnaires, data were analyzed by median, mode, interquartile range and consistency of experts' opinions. The results of the research found that experts were most consistent in their opinions that the future model for energy saving management of universities consisted of 5 aspects: 1) general conditions, such as the use of electronic media teaching technology and the use of energy-saving devices; 2) natural resource management; Environment and university development, such as promoting environmentally friendly sources of electricity and joining the network of sustainable universities 3) Implementation of national strategic plans, such as the 20-years plan, energy conservation plan, and carbon dioxide emission reduction plan 4) Energy saving and management, such as using renewable and alternative energy 5) Participatory behavior in saving electricity, such as encouraging personnel at all levels to seriously participate in saving electricity.

Keywords: Developmental Model, Management, Electricity energy Saving and University in the Future

1. บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาพบว่า ความต้องการใช้พลังงานมีมากขึ้นทุกปี โดยข้อมูลจากพลังงานโลกของสหรัฐอเมริกา (U.S. Energy Information Administration) ชี้ให้เห็นว่าแนวโน้มการบริโภคพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีปริมาณการบริโภคพลังงานที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากประเทศในกลุ่มทวีปเอเชีย [1] แม้ว่าต่อมาเมื่อมีการระบาดของเชื้อโควิด-19 จะมีการใช้พลังงานลดลง เนื่องจากหน่วยงานต่างๆ ได้มีการกำหนดนโยบายการกักขังและการกักกันโรคระบาดขึ้น ส่งผลให้ความต้องการพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนที่เกี่ยวข้องกับพลังงานลดลงประมาณ 2.4 พันล้านตันในปีพ.ศ. 2563 หรือ ปีค.ศ. 2020 แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การลดลงของการใช้พลังงานมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นเพียงช่วงสั้นๆ เท่านั้น (สภาวิทยาศาสตร์ระหว่างประเทศ (International science Council, ISC)) นอกจากนั้นรายงาน ISC-IIASA Rethinking Energy Solutions ระบุทบทวนเชิงลบและเชิงบวกที่ได้รับจากการระบาดใหญ่ของโควิด-19 ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ได้แนะนำการดำเนินการเร่งด่วนหลายประการเพื่อลดการใช้พลังงาน เช่น เมืองต่างๆ ควรได้รับการออกแบบใหม่ให้เป็น "หมู่บ้านในเมือง" ที่ยั่งยืนมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน วิธีหนึ่งในการทำเช่นนี้คือการออกแบบเมืองใหม่ให้กลายเป็นย่านที่มีขนาดกะทัดรัด ซึ่งสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งหมด เช่น ร้านค้า สำนักงาน โรงเรียนและอื่นๆ ล้วนอยู่ในระยะที่สามารถเดินถึงได้ ส่งเสริมพื้นที่ใกล้เคียงแบบพอเพียง โดยมีสิ่งอำนวยความสะดวกที่จำเป็นทั้งหมดอยู่ภายในรัศมี 15 นาที ปรับเปลี่ยนพื้นที่ในเมืองคือการจัดลำดับความสำคัญของการแก้ปัญหาตามธรรมชาติโดยใช้สวนสาธารณะ หลังคาสีเขียว กำแพงสีเขียว เพื่อต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเชื่อมโยงประชากรกลับคืนสู่ธรรมชาติ นอกจากนี้ยังหมายถึงการทำให้พื้นที่ส่วนกลางมีศูนย์กลางอยู่รอบๆ ผู้คน โดยการเปลี่ยนพื้นที่ถนนจากการใช้รถยนต์ไปเป็นทางเท้าและเลนจักรยาน และยกระดับคุณภาพและความปลอดภัยของโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการเดินและปั่นจักรยาน [2] สำหรับประเทศไทยได้กำหนดแนวทางการแก้ปัญหาการใช้พลังงานไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 13 (ปีพ.ศ. 2566 – 2570) โดยได้ให้ความสำคัญกับการขับเคลื่อนการพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพ

เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว โดยกำหนดให้มีการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สมัยใหม่ และความคิดสร้างสรรค์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ ควบคู่กับการรักษาความสมดุลระหว่างการอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติและ ความหลากหลายทางชีวภาพ รวมทั้งการบริโภคเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [3]

นอกจากนั้นสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานได้กำหนดยุทธศาสตร์ส่งเสริมการพัฒนากำลังการผลิตและ การใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง 2) การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์ 3) การแก้ไขกฎหมาย และกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนากำลังการผลิต 4) การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระบบสายส่ง สายจำหน่ายไฟฟ้ารวมทั้งการพัฒนาสู่ระบบ Smart Grid 5) การประชาสัมพันธ์ และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน 6) การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร [4] แต่อย่างไรก็ตามจากรายงานของกระทรวงพลังงานปีพ.ศ. 2566 พบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.4 จากปีพ.ศ. 2565 โดยมาจากการใช้ไฟฟ้าในส่วนของสาขาธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวและบริการ เนื่องจากมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องจากเศรษฐกิจที่ฟื้นตัว และเกิดจากสภาพอากาศที่ร้อนส่งผลให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบเครื่องปรับอากาศและเครื่องปรับอากาศเย็นเพิ่มขึ้น [5]

จากความสำคัญดังกล่าว เมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2565 คณะรัฐมนตรีจึงได้มีมติเห็นชอบให้หน่วยงานของรัฐทุกแห่งดำเนินการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 20 เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายและเป็นแบบอย่างที่ดีให้แก่ภาคเอกชนและประชาชน ตามแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอย่างเป็นระบบที่กระทรวงพลังงานเสนอ ได้แก่ 1. ให้หน่วยงานราชการจัดตั้ง “คณะทำงานลดใช้พลังงาน” ขึ้น เพื่อสร้างความตระหนักและความร่วมมือจากบุคลากรทุกระดับและทุกฝ่าย โดยมีหัวหน้าส่วนราชการเป็นประธาน เพื่อสะท้อนถึงความสำคัญของการลดใช้พลังงานในหน่วยงาน 2. ควรมีการตรวจสอบการใช้พลังงานในหน่วยงานราชการอย่างง่าย เพื่อทราบถึงจำนวนอุปกรณ์สำนักงานที่ใช้ไฟฟ้า สภาพและลักษณะการใช้งานที่เป็นอยู่ รักษาและบำรุงอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพดีพร้อมใช้งาน 3. จัดทำแผนปฏิบัติการลดการใช้พลังงานให้มีความชัดเจนทั้งวัตถุประสงค์ เป้าหมาย ขั้นตอน วิธีการและระยะเวลาในการปฏิบัติ รวมถึงการติดตามผลการดำเนินงาน เพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายตามข้อสั่งการของนายกรัฐมนตรี อย่างน้อยร้อยละ 20 4. ดำเนินการตามแผนปฏิบัติการลดการใช้พลังงาน 5. จัดกิจกรรมเสริมสร้างความเข้าใจ เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานได้ใช้อุปกรณ์ อย่างมีประสิทธิภาพและมีจิตสำนึกในการใช้พลังงานอย่างรู้คุณค่า เพื่อส่งเสริมบทบาทการมีส่วนร่วม ในการลดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็น 6. ติดตามและประเมินผล เพื่อทราบความก้าวหน้า และทิศทางการดำเนินงาน ของแผนงาน เปรียบเทียบกับเป้าหมาย และกรอบเวลาของแผน ทราบประสิทธิผลของการดำเนินงาน พัฒนามาตรการลดใช้พลังงานให้เข้มข้นขึ้นหรือยืดหยุ่นขึ้น ตามความเหมาะสมตามภารกิจงาน รวมถึงการวิเคราะห์ ข้อจำกัดเพื่อหาข้อแก้ไขสำหรับมาตรการนั้น หรือการยกเลิกในกรณี ที่ไม่เหมาะสมหรือไม่คุ้มค่า” [6]

มหาวิทยาลัยในฐานะเป็นสถาบันอุดมศึกษาที่มีบทบาทในการจัดการศึกษาให้ทรัพยากรมนุษย์มีความพร้อมเข้าสู่ระบบการทำงาน ให้มีความพร้อมเพื่อเป็นสมาชิกที่ดีของสังคมและรองรับการพัฒนาประเทศ โดยมีพันธกิจสำคัญได้แก่ การผลิตบัณฑิต การวิจัย การให้บริการวิชาการและการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม ควรเห็นความสำคัญของสถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าดังกล่าว และจากการทบทวนสถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในสถาบันอุดมศึกษาของประเทศไทยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา พบว่า มหาวิทยาลัยมีแนวโน้มในการใช้ไฟฟ้าในระดับที่สูงขึ้นมากอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าจะมีนโยบาย โครงการเกี่ยวกับการลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามาโดยตลอดก็ตาม ซึ่งแสดงถึงความจำเป็นที่ต้องแสวงหาแนวทางประหยัดที่เป็นระบบมีประสิทธิภาพให้มากขึ้น เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมให้การพัฒนาประเทศในทศวรรษหน้าและมีความมั่นคงในด้านการใช้พลังงาน นอกจากนี้มหาวิทยาลัยควรเป็นแบบอย่างที่ดีในเรื่องของการนำนโยบายด้านการประหยัดพลังงานของรัฐไปสู่การปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรม อย่างไรก็ตามมหาวิทยาลัยมีความจำเป็นหลายประการเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยประการที่ 1 คือ การสนับสนุนการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น ต้องมีระบบคอมพิวเตอร์

และอุปกรณ์ดิจิทัล โปรเจคเตอร์และเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ประการที่ 2 การวิจัยและพัฒนาต้องมีห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ หรืออุปกรณ์เฉพาะทางซึ่งต้องการพลังงานไฟฟ้าในการดำเนินงาน ประการที่ 3 สิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น ระบบให้แสงสว่าง ระบบทำความเย็น ระบบการรักษาความปลอดภัย เช่น กล้องวงจรปิด ระบบสัญญาณเตือนภัย และการควบคุมสภาพแวดล้อมซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น และประการสุดท้าย พบว่าการดำเนินการด้านการบริหารและการบริการ เช่น การใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน ห้องประชุม และระบบสารสนเทศต่างๆ ล้วนมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการจัดการการใช้พลังงานให้เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เป็นไปตามแผนระยะยาว ในด้านพลังงานของกระทรวงพลังงานและแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 13 และเป็นแบบอย่างที่ดีในฐานะเป็นสถานศึกษาระดับ “อุดมศึกษา” ผู้วิจัยในฐานะของบุคลากรของมหาวิทยาลัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนารูปแบบการจัดการการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยในอนาคตขึ้น และเพื่อเผยแพร่ผลการดำเนินการดังกล่าวจึงนำเสนอส่วนต่าง ๆ ของงานวิจัยไว้ในบทความนี้ ได้แก่ วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการ ผลการวิจัยและการอภิปรายผลรวมทั้งข้อเสนอแนะจากการวิจัย ดังรายละเอียดที่จะนำเสนอต่อไปนี้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยในอนาคต
- 2) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบการจัดการด้านพลังงานงานเพื่อความประหยัด

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินการโดยเลือกใช้การวิจัยอนาคต เทคนิคดีลฟีเอฟอาร์ (Ethnographic Delphi Futures Research: EDFR) เนื่องจากเป็นเทคนิคที่น่าเชื่อถือของเทคนิคดีลฟีเอฟอาร์ (Ethnographic Futures Research: EFR) และ Delphi มาผสมผสานกัน คือ EFR ช่วยให้ผู้วิจัยได้แนวโน้มที่เป็นไปได้และมากที่สุด และทุกแนวโน้มจะนำไปศึกษาต่อในรอบที่ 2 และ 3 และลดจุดอ่อนของเทคนิคเดลฟายเดิมที่ในช่วงสัมภาษณ์มักเป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยกำหนดประเด็นไปเองก่อน ซึ่งอาจทำให้เกิดการจำกัดข้อมูลที่จะได้จากผู้เชี่ยวชาญไปได้ ทำให้ได้ข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณที่เป็นระบบและน่าเชื่อถือ [7] โดยมีผู้ให้ข้อมูลหลักเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการพลังงานไฟฟ้า สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาสังคม จำนวน 35 คน ซึ่งได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง และแบ่งเป็น 2 ชุด โดยที่ชุดที่ 1 เป็นผู้ให้แนวคิด หลักการและแนวทางการพัฒนารูปแบบการจัดการการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยในอนาคต โดยการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม จำนวน 24 คน ชุดที่ 2 เป็นผู้ประเมินความเหมาะสม ความเป็นไปได้ของรูปแบบการจัดการการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยในอนาคตที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น จำนวน 11 คน โดยการวิพากษ์วิจารณ์รูปแบบที่พัฒนาขึ้น ผ่านวิธีการสัมมนาของผู้เชี่ยวชาญ (Connoisseurship) โดยใช้เกณฑ์ในการเลือก คือ เป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในด้านดังกล่าวมาแล้วอย่างน้อย 5 ปี และมีความยินดี ความพร้อมในการร่วมกิจกรรมของงานวิจัย ทั้งนี้แต่ละชุดจะมีองค์ประกอบของผู้เชี่ยวชาญครบทั้ง 3 ด้าน

เครื่องมือในการวิจัย ประกอบด้วย

- 1) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับรูปแบบการจัดการการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยในอนาคต ซึ่งใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในรอบที่ 1 ที่พัฒนามาจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญ และศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการพลังงานไฟฟ้า สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาสังคม จำนวน 3 คน เพื่อหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างประเด็นการสัมภาษณ์กับวัตถุประสงค์การสัมภาษณ์ (Index of item objective congruence, IOC) ได้ค่า IOC ระหว่าง 0.67-1.00 โดยใช้สูตร $SR = N$ เมื่อ SR = ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด และ N = จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด [8]

2) แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับรูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยในอนาคต ซึ่งใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในรอบที่ 2 เป็นแบบสอบถามประมาณค่า 5 ระดับ ตามแนวคิดของ Likert เนื่องจาก เป็นวิธีที่ใช้งานง่าย มีความน่าเชื่อถือสูง มีความยืดหยุ่นและสามารถประเมินผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว [9] ที่ได้จากการวิเคราะห์เนื้อหาที่ได้จากการสัมภาษณ์ ประกอบด้วยคำถาม 10 ประเด็นหลักเหมือนกับประเด็นหลักของแบบสัมภาษณ์เกี่ยวกับรูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยในอนาคต และข้อคำถามย่อยของแต่ละประเด็นๆ ละ 5 ข้อ และประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการพลังงานไฟฟ้า สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาสังคมจำนวน 3 คน เพื่อหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างประเด็นข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การสอบถามได้ค่า IOC ระหว่าง 0.67-1.00 และนำไปทดลองใช้กับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการโครงการมหาวิทยาลัยสีเขียว จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาความเชื่อมั่นของแบบสอบถามด้วยวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (α -Coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.78

3) แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับรูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยในอนาคต ซึ่งใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในรอบที่ 3 โดยมีประเด็นและข้อคำถามเหมือนกับการสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลในรอบที่ 2 แต่เพิ่มเติมคอลัมน์สรุปข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทุกคนในรอบที่ 2 ที่มีต่อแต่ละประเด็นและข้อคำถาม โดยแสดงด้วยค่าฐานนิยมและค่ามัธยฐาน เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 24 คน ได้เห็นแนวโน้มของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนอื่น ๆ โดยรวมและของตนเองด้วย เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจยืนยันระดับความคิดเห็นที่มีต่อแต่ละประเด็นและข้อคำถามอีกครั้ง เพื่อผู้วิจัยจะได้นำไปใช้เป็นฐานคิดในการพัฒนาแบบแผนการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยในอนาคตต่อไป

4) ประเด็นการสัมมนาของผู้เชี่ยวชาญ (Connoisseurship) สำหรับการประเมินรูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยในอนาคตที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญดังกล่าว โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 11 คน เพื่อประชุมวิพากษ์วิจารณ์และประเมินเกี่ยวกับความครอบคลุม ความถูกต้อง ความสอดคล้อง ความเป็นไปได้ และประโยชน์ที่จะได้รับจากรูปแบบ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยรอบที่ 1 ผู้วิจัยทำหนังสือขอความอนุเคราะห์สัมภาษณ์จากมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ขอให้ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องจำนวน 24 ท่าน และผู้วิจัยติดต่อกับตนเองเพื่อนัดหมายวันเวลาในการดำเนินการสัมภาษณ์ตนเอง อธิบายวัตถุประสงค์ของการวิจัย ระเบียบวิธีวิจัยที่ต้องเก็บข้อมูล รอบที่ 2 ดำเนินการโดยผู้วิจัยขอความร่วมมือจากผู้เชี่ยวชาญให้ตอบแบบสอบถาม เกี่ยวกับข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญ และระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวโน้มของประเด็นที่กำหนด รอบที่ 3 ดำเนินการโดยผู้วิจัยขอความร่วมมือจากผู้เชี่ยวชาญชุดเดิมจำนวน 24 คน ในการตอบแบบสอบถาม เกี่ยวกับ ข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญ และระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวโน้มของประเด็นที่กำหนดอีกครั้ง โดยมีข้อมูลผลการวิเคราะห์ค่าฐานนิยม และค่ามัธยฐานของความคิดเห็นโดยภาพรวมแต่ละข้อในรอบที่ 2 เพื่อประกอบการตัดสินใจว่าจะยืนยันระดับความคิดเห็นเดิมหรือจะขอเปลี่ยนแปลงเป็นค่าอื่น และ 4) การสัมมนาของผู้เชี่ยวชาญ (Connoisseurship) ดำเนินการโดยผู้วิจัยทำหนังสือขอความร่วมมือในการสัมมนาของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 11 ท่าน เพื่อวิพากษ์วิจารณ์และตรวจสอบรูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยในอนาคตที่ผู้วิจัยได้พัฒนาไว้ และพิจารณาความเหมาะสม ความถูกต้องครอบคลุม ระดับแนวโน้มความเป็นไปได้และความเป็นประโยชน์ในประเทศไทยในอนาคต

จากนั้นมีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยดำเนินการวิเคราะห์เป็นระยะ ตามระยะของการวิจัย ได้แก่

1) ข้อมูลจากการสัมภาษณ์รอบที่ 1 วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เนื้อหา และจัดเป็นกลุ่มตามประเด็นที่มีเนื้อหาคล้ายคลึงหรืออยู่ในกลุ่มเดียวกัน แล้วจัดทำเป็นความถี่ และนำไปสร้างเป็นข้อคำถามแบบประมาณค่า 5 ระดับ

2) ข้อมูลจากการสอบถามด้วยแบบสอบถามประมาณค่า 5 ระดับ (รอบที่ 2) วิเคราะห์ด้วยสถิติบรรยาย ได้แก่ ค่าฐานนิยมและค่ามัธยฐาน (Mode, Mo & Median, Mdn) โดยหาได้จาก

Mo = จุดบนมาตราการวัดที่มีความถี่สูงที่สุด = $3Mdn-2(\bar{X})$

Mdn = จุดบนมาตราการวัดซึ่งมีจำนวนครึ่งหนึ่งของข้อมูลอยู่เหนือและอีกครึ่งหนึ่งอยู่ใต้ [10]

3) ข้อมูลจากการสอบถามด้วยแบบสอบถามประมาณค่า 5 ระดับ (รอบที่ 3) วิเคราะห์ด้วยสถิติบรรยาย ได้แก่ ค่าฐานนิยมและค่ามัธยฐาน (Mode, Mo & Median, Med) และค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ (interquartile range, IQR) โดยใช้สูตรดังนี้ $IQR = Q3 - Q1$, $Q3 = (3(N+1))/4$, $Q1 = 1(N+1)/4$ เมื่อ N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด [10] แล้วนำผลที่ได้มาพัฒนาเป็นรูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในของประเทศไทยอนาคต

4) ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ (Connoisseurship) ที่มีต่อรูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยในของประเทศไทยอนาคตที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) และปรับปรุงตามคำแนะนำ

4. บทสรุป

จากการพัฒนาแบบแผนการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยอนาคต พบว่าได้รูปแบบที่ประกอบด้วยงานดำเนินการ 5 ด้าน ที่ผู้เชี่ยวชาญต่างมีความเห็นสอดคล้องกันในระดับมากที่สุดทุกด้าน ($Mdn=5.00$ ค่า $Mo=5.00$ ค่า $Mdn-Mo=0$ และค่า $IQR=1$) พลังงานไฟฟ้า การมีส่วนร่วม จิตสำนึกและความตระหนัก โดยมีรายละเอียดดังตารางและแผนภาพต่อไปนี้

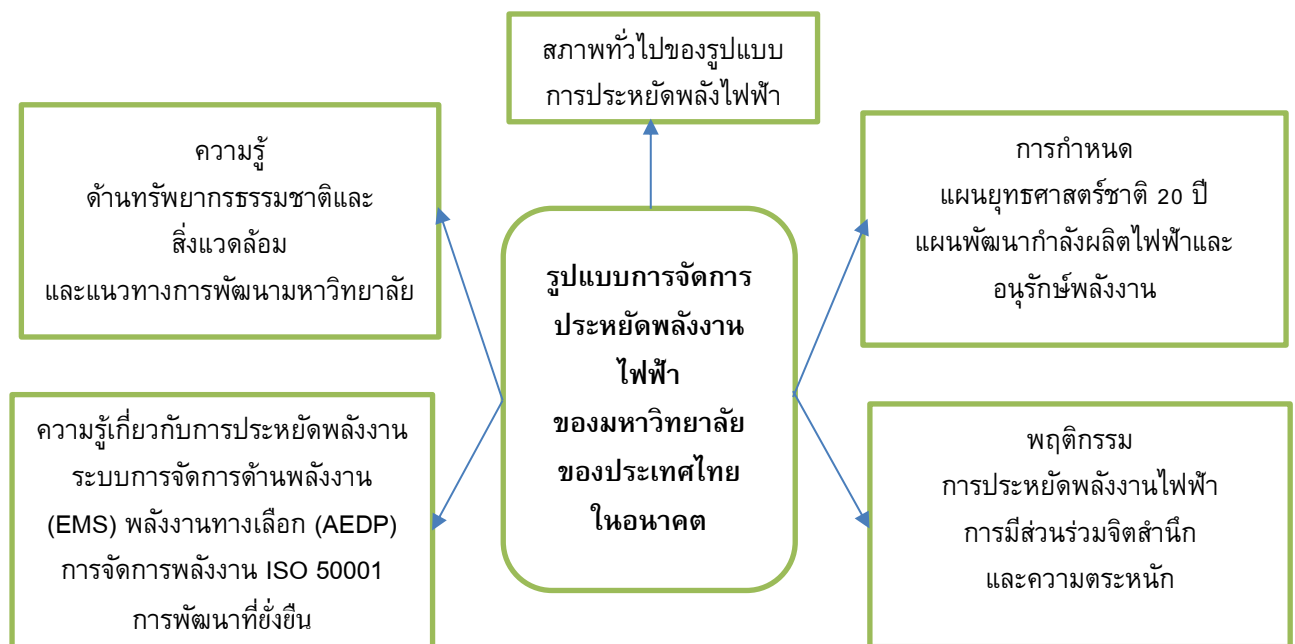
ตารางที่ 1 องค์ประกอบและแนวทางการดำเนินการของรูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยในอนาคต

องค์ประกอบ	แนวทางการดำเนินการ
1.สภาพทั่วไปของรูปแบบการประหยัดพลังงานไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยควรมีรูปแบบการดำเนินการ 9 แนวทาง ได้แก่ 1) ควรดำเนินงานให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี 2) ควรมีนโยบายประหยัดพลังงานไฟฟ้า 3) ควรมีการใช้สื่อเทคโนโลยีการเรียนการสอนด้วยสื่ออิเล็กทรอนิกส์ 4) ควรมีการพัฒนาจิตสำนึกในการประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า 5) ควรมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบประหยัดให้เหมาะสม 6) ควรจัดให้บุคลากรมหาวิทยาลัยมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า 7) ควรมีการบูรณาการอนุรักษ์ด้านพลังงานมหาวิทยาลัยสีเขียว 8) ควรมีการศึกษาที่มีความรวดเร็วทันสมัยและทันต่อเหตุการณ์ของโลก และ 9) ควรให้บุคลากรมหาวิทยาลัยมีพฤติกรรมการประหยัดไฟฟ้า
2.ความรู้เกี่ยวกับการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และการพัฒนามหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยควรพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความเข้าใจอย่างน้อย 4 ประเด็น ได้แก่ 1) การจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้า 2) การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ชีวภาพ ทางคุณค่าและการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 3) บริบทของกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์วิจัย และนวัตกรรม และ 4) หลักการและแนวทางการพัฒนามหาวิทยาลัยที่ยั่งยืน สำหรับการพัฒนาด้านความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ผู้เชี่ยวชาญได้เสนอไว้สรุปได้ 5 แนวทาง ได้แก่ 6) การส่งเสริมให้มีแหล่งผลิตพลังงานกระแสไฟฟ้าโดยการใช้พลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 7) การเข้าร่วมเครือข่ายมหาวิทยาลัยยั่งยืน 8) การปฏิบัติตามแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าและอนุรักษ์พลังงาน เช่น การยึดกรอบนโยบายการบริหารจัดการ การอนุรักษ์พลังงาน และการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทย 4) การประหยัดพลังงานและการบริหารจัดการด้านพลังงาน เช่น การใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก โดยมหาวิทยาลัยต้องกำหนดการเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีมาตรการประหยัดพลังงาน ซึ่งมีฉลากผลิตภัณฑ์ประหยัดไฟเบอร์ 5 และ 5) การพัฒนาพฤติกรรมมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า เช่น การส่งเสริมให้บุคลากรมีส่วนร่วม การสร้างจิตสำนึก และความตระหนักในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ

องค์ประกอบ	แนวทางการดำเนินการ
3.ด้านการนำแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าและอนุรักษ์พลังงานไปปฏิบัติ	มหาวิทยาลัยควรคำนึงถึง 6 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) บริบทของแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี เช่น การใช้พลังงานตามธรรมชาติ พลังงานลม แสงอาทิตย์ และพลังน้ำ การมีนโยบายในการบริหารพลังงานที่ชัดเจน การกำจัดขยะเพื่อผลิตไฟฟ้า การสร้างโรงไฟฟ้าชุมชนเพื่อเศรษฐกิจฐานราก การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานโดยไม่ต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ และการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงาน 2) นโยบาย Energy 4.0 เช่น การยกระดับและพัฒนาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การผสมผสานการใช้พลังงานสะอาดและรักษาสิงแวดล้อม การให้กระทรวงพลังงานควบคุมการใช้พลังงาน การไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้พลังงานอย่างประหยัดคุ้มค่า การลดการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศ การนำเอาสินค้าเกษตรมาแปรรูปให้เป็น พลังงาน การส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า การใช้พลังงานรูปแบบใหม่มาใช้ทดแทนน้ำมัน 3) การใช้พลังงานในอนาคต เช่น การใช้พลังงานให้เหมาะสม การใช้พลังงานที่มีปริมาณความสอดคล้องกับเศรษฐกิจ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การใช้พลังงานหมุนเวียนสู่แหล่งไฟฟ้า การใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ การใช้พลังงานไอน้ำ และการใช้พลังงานชีวมวล 4) การบริหารทรัพยากรเพื่อตอบสนองการใช้พลังงาน เช่น การจัดการทรัพยากรพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การประหยัดพลังงานเป็นนโยบายหลักของหน่วยงาน การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและทรัพยากร อนุรักษ์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม การเสริมสร้างสภาพแวดล้อมในการทำงานด้านทรัพยากรธรรมชาติ การช่วยประเทศชาติในการประหยัดงบประมาณ และการส่งเสริมบุคลากรในทุกส่วนงานให้มีความตื่นตัวในการประหยัดพลังงาน 5) แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าและอนุรักษ์พลังงาน เช่น การใช้พลังงานตามธรรมชาติ พลังงานลม แสงอาทิตย์ และพลังน้ำ การมีนโยบายที่ชัดเจนในการบริหารพลังงาน การกำจัดขยะเพื่อผลิตไฟฟ้า การสร้างโรงไฟฟ้าชุมชนเพื่อเศรษฐกิจฐานราก การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไม่ต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงาน และการมีส่วนร่วม และ 6) แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (AEDP 2018, ช่วง พ.ศ. 2561-2580) และ (PDP 2018 Rev.1)
4.ด้านความรู้เกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน	มหาวิทยาลัยควรจะมีการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้หลัก 4 ด้าน ได้แก่ 1) ระบบบริหารจัดการด้านพลังงาน (Electric Management system, EMS) 2) แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Electric Development Plan, AEDP) 3) การจัดการพลังงานสู่มาตรฐาน ISO 50001 4) การพัฒนาที่ยั่งยืน โดยมีประเด็นความรู้ย่อยๆ ที่ต้องได้รับการพัฒนาอย่างน้อย 12 ประเด็น ได้แก่ 1) การประหยัดพลังงานไฟฟ้าขั้นต้น 2) การกำหนดมาตรการประหยัดพลังงาน 3) การบริหารจัดการด้านอนุรักษ์ 4) การจัดตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน 5) การกำหนดนโยบาย เป้าหมาย แผนด้านการจัดการและการอนุรักษ์พลังงาน 6) การกำหนดแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 7) การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ 8) การจัดระบบข้อมูลข่าวสาร 9) การจัดการเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ลิฟท์ เครื่องปรับอากาศ พัดลม ไฟฟ้าและแสงสว่าง เครื่องทำความร้อนไฟฟ้า ตู้เย็น/ตู้แช่ เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร 10) การจัดระบบการจัดการพลังงานและประโยชน์ ISO 50001 11) การกำหนดนโยบายพลังงาน 12) การใช้พลังงานที่สะอาด
5.ด้านพฤติกรรม	มหาวิทยาลัยควรมีรูปแบบการดำเนินการ 6 ด้าน ได้แก่ 1) การพัฒนาบุคลากรแบบมีส่วนร่วม 2) การให้ความสำคัญกับการจัดการทรัพยากรมนุษย์ให้มีความตระหนักในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า การมีส่วนร่วมและความร่วมมือกันในการพัฒนาองค์กร 3) การจัดทำแนวทางหรือ

องค์ประกอบ	แนวทางการดำเนินการ
มีส่วนร่วม จิตสำนึก และความตระหนัก	คู่มือการปฏิบัติในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ 4) การกำหนดพฤติกรรมบ่งชี้และเป้าหมายการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของบุคลากร 5) การจัดให้รับรู้ข้อมูลข่าวสารเพื่อการสร้างความเข้าใจการปฏิบัติการประหยัดพลังงาน 6) การสร้างการมีส่วนร่วมของบุคลากรและนักศึกษาในการแสดงความคิดเห็นหรือเสนอแนะแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งการกำหนดแผนและปฏิทินการดำเนินการ

จากรายละเอียดของรูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยในอนาคตในตารางที่ 1 สามารถเขียนเป็นภาพได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รูปแบบการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยในอนาคต

5. การอภิปรายผล

การวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบแผนการจัดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยอนาคต พบว่ารูปแบบการประหยัดไฟฟ้าที่ได้ประกอบด้วยการดำเนินงาน 5 ด้าน ที่ผู้เชี่ยวชาญต่างมีความเห็นสอดคล้องกันในระดับมากที่สุดทุกด้าน โดยอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ด้านสภาพทั่วไป พบว่าผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับจริยา มหาเทียร (2559) ที่ว่า “การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมนั้น ภาครัฐจะต้องกำหนดนโยบาย ออกกฎหมายและมาตรการในการส่งเสริม กำกับติดตามประเมินผลการจัดการ รวมทั้งสร้างจิตสำนึกและการมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน เพื่อให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืน และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนามหาวิทยาลัยที่ยั่งยืน ที่มีเป้าหมายหลักของการพัฒนา คือ มุ่งสร้างให้เกิดดุลยภาพใน 3 มิติได้แก่ มิติเชิงเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อมและสังคม ซึ่งควรเริ่มต้นจากการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวที่มีการบริหารจัดการภายใต้แนวคิดการมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมและการประหยัดพลังงาน เพื่อการมีคุณภาพชีวิตที่ดี [11]

2. ด้านความรู้เกี่ยวกับการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และการพัฒนามหาวิทยาลัย พบว่าผลการวิจัยที่ได้ สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนามหาวิทยาลัยที่ยั่งยืน ของมหาวิทยาลัยคอนเนตทิคัต ประเทศสหรัฐอเมริกาที่ได้รับการจัดอันดับจาก UI Green Matric World University Ranging ให้เป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวอันดับ 1

ของโลก โดยมีการดำเนินการด้านพลังงานที่สำคัญ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ให้แสงสว่างในอาคารให้เป็นชุดอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน การใช้พลังงานทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [11] และสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนพัฒนาพลังงานไฟฟ้าและอนุรักษ์พลังงานที่มุ่งพัฒนาคนให้มีคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยการจัดการระบบการอนุรักษ์ฟื้นฟูและป้องกันการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [12] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุชีรา นวลกำแหง และพิศุทธิ์ บัวเปรม (2559) ที่ได้ศึกษาเรื่องการมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของชุมชนจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วม ในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านแสงสว่าง ด้านพลังงานความร้อน และด้านพลังงานความเย็น เช่น ถอดปลั๊ก เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดเมื่อไม่มีการใช้งาน ปิดเครื่องปรับอากาศก่อนเลิกใช้งาน 30 นาที และเปิดไฟเพื่อให้แสงสว่างในส่วนที่ใช้งาน เท่านั้น เป็นต้น ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของชุมชนจังหวัดเพชรบูรณ์ ลดลง เพื่อนำไปสู่การจัดการ สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนของมหาวิทยาลัยต่อไป และสอดคล้องกับ เชนนิจจารีย์ สารพันธ์, นกมล พุ่มประภาและขวัญชัย ชัยอุดม [13] ที่ทำการวิจัย เรื่องการมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีจังหวัดลพบุรี และพบว่า การมีส่วนร่วมในการประเมินผลอยู่ในระดับสูง ปัจจัยอายุชั้นปีที่ศึกษาและคณะที่ศึกษามีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยที่เพศและทัศนคติเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษามีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 รวมทั้งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนามหาวิทยาลัยที่ยั่งยืน ของมหาวิทยาลัยคอนเนตทิคัต ประเทศสหรัฐอเมริกาที่ได้รับการจัดอันดับจาก UI Green Matric World University Ranging ให้เป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวอันดับ 1 ของโลก โดยมีการดำเนินการด้านพลังงานที่สำคัญ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ให้แสงสว่างในอาคารให้เป็นชุดอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน การใช้พลังงานทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [11] และสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนพัฒนาพลังงานไฟฟ้าและอนุรักษ์พลังงานที่มุ่งพัฒนาคนให้มีคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยการจัดการระบบการอนุรักษ์ฟื้นฟูและป้องกันการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [12]

3. ด้านการนำแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนพัฒนาพลังงานไฟฟ้าและอนุรักษ์พลังงานไปปฏิบัติ พบว่า ควรคำนึงถึง 6 องค์ประกอบ ได้แก่ 1. บริบทของแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี 2. นโยบาย Energy 4.0 3. การใช้พลังงานในอนาคต 4. การบริหารทรัพยากรเพื่อตอบสนองการใช้ 5. แผนพัฒนาพลังงานไฟฟ้าและอนุรักษ์พลังงาน และ 6. แผนพัฒนาพลังงานไฟฟ้า (AEDP 2018) และ (PDP 2018 Rev.1) ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 7 ของสหประชาชาติ ที่ว่า “พลังงานสะอาดโดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียนเป็นทางเลือกในการยกระดับประสิทธิภาพในการบริหารจัดการพลังงานไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล ให้ประชาชนสามารถเข้าถึงและหาซื้อพลังงานหมุนเวียนได้ง่ายขึ้น สามารถยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในภาคพลังงาน การเพิ่มบทบาทของเทคโนโลยีดิจิทัล และการเปลี่ยนผ่านสู่ยุคแห่งการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า” และเป้าหมายที่ 7.2 ที่ว่า “เพิ่มสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนพลังงานของโลก (global energy mix) ภายในปี พ.ศ. 2573 และ เป้าหมายที่ 7.3 ที่ว่า “เพิ่มอัตราการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโลกให้เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ภายในปี พ.ศ. 2573” [14]

4. ด้านความรู้เกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน พบว่า ควรจะมีการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้หลัก 4 ด้านได้แก่ 1) ระบบบริหารจัดการด้านพลังงาน (EMS) 2) แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) 3) การจัดการพลังงาน ISO 50001 4) การพัฒนาที่ยั่งยืน โดยมีประเด็นความรู้ย่อยๆ อย่างน้อย 12 ประเด็น ได้แก่ 1) การประหยัดพลังงานไฟฟ้าขั้นต้น 2) การกำหนดมาตรการประหยัดพลังงาน 3) การบริหารจัดการด้านอนุรักษ์ 4) การจัดตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน 5) การกำหนดนโยบาย เป้าหมาย แผนด้านการจัดการและการอนุรักษ์พลังงาน 6) การกำหนดแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 7) การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ 8) การจัดระบบข้อมูลข่าวสาร 9) การจัดการเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ลิฟท์ เครื่องปรับอากาศ พัดลม ไฟฟ้าและแสงสว่าง เครื่องทำความร้อนไฟฟ้า ตู้เย็น/ตู้แช่ เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร 10) การจัดการระบบการจัดการพลังงานและประโยชน์ ISO 50001 11) การ

วางแผนกำหนดนโยบายพลังงาน และ 12) การใช้พลังงานที่สะอาด สอดคล้องกับวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตามคำแนะนำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่ (2562) และสอดคล้องกับ งานวิจัยของสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษา นราธิวาส [15] ที่ได้ศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของสถานศึกษา และพบว่า มีแนวทางดังนี้

- 1) กำหนดมาตรการข้อปฏิบัติในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานศึกษา ที่ชัดเจน ทั้งด้วยวาจาและลายลักษณ์อักษร รวมถึงกำหนดระเบียบปฏิบัติสำหรับการใช้ ห้องปฏิบัติการต่าง ๆ
- 2) การมีส่วนร่วมดำเนินการตามมาตรการ/ข้อปฏิบัติลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของ สถานศึกษา ทั้งผู้บริหารสถานศึกษา ครูและบุคลากร ภารโรง และนักเรียนทุกคน ตามบทบาทหน้าที่ ของตนเอง
- 3) สร้างข้อตกลงร่วมกัน ในการร่วมปฏิบัติ ร่วมรับผิดชอบ และมีมาตรการลงโทษ หากพบการปล่อยประละเลยจนเป็นเหตุให้สิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น รวมถึงการให้นักเรียน มีส่วนร่วมคิด แสวงหาวิธีการแก้ไขปัญหา
- 4) สร้างความตระหนักถึงความสำคัญของการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างรู้คุณค่า โดยมีกิจกรรมการณรงค์และทำซ้ำผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคนในสถานศึกษา เช่น การบอกกล่าว หน้าเสาธงของทุกเช้า ประชาสัมพันธ์ทางเสียงตามสายโรงเรียน เป็นต้น
- 5) ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้โดยใช้แหล่งเรียนรู้นอกห้องเรียน เช่น การศึกษา แหล่งเรียนรู้ในชุมชน การทำกิจกรรมร่วมกับชุมชน เป็นต้น
- 6) การตรวจสอบความเรียบร้อยของวัสดุ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และความสะอาด ของห้องเรียน/ห้องปฏิบัติการทุกครั้งหลังเลิกเรียน หรือช่วงพักเที่ยง โดยการโรง ครูเวรประจำวัน หรือตัวแทนสภานักเรียน
- 7) ติดตามผลการดำเนินการตามข้อปฏิบัติการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ของสถานศึกษาอย่างเป็นประจำและต่อเนื่อง
- 8) การใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy) โดยนาระบบโซลาร์เซลล์มาใช้ และสอดคล้องกับมติคณะรัฐมนตรี เมื่อ วันที่ 22 มีนาคม 2565 เรื่องแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานรัฐ เมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2565 ที่คณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบให้หน่วยงานของรัฐทุกแห่งดำเนินการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 20 เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายและเป็นแบบอย่างที่ดีให้แก่ภาคเอกชนและประชาชน ตามแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอย่างเป็นระบบ ที่กระทรวงพลังงานเสนอ ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทนำข้างต้น

5. ด้านพฤติกรรมกรประหยัดพลังงานไฟฟ้า การมีส่วนร่วม จิตสำนึกและความตระหนัก พบว่าควรมีการดำเนินการ 6 ด้าน ได้แก่ 1) การพัฒนาบุคลากรแบบมีส่วนร่วม โดยมุ่งเน้นให้ความสำคัญกับการจัดการทรัพยากรมนุษย์ให้มีความตระหนักในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า มีส่วนร่วม มีจิตสำนึกและมีความตระหนักที่จะร่วมมือกันในการพัฒนาองค์กร 2) การจัดทำแนวทางหรือคู่มือการปฏิบัติในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ 3) การกำหนดพฤติกรรมบ่งชี้และเป้าหมายการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของบุคลากร 4) การจัดให้รับรู้ข้อมูลข่าวสารเพื่อสร้างความเข้าใจการปฏิบัติการประหยัดพลังงาน 5) การสร้างการมีส่วนร่วมของบุคลากรและนักศึกษาในการแสดงความคิดเห็นหรือเสนอแนะแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และ 6) การกำหนดแผนและปฏิทินการดำเนินการ ซึ่งสอดคล้องกับ เขมนิจารีย์ สาริพันธ์, นฤมล พุ่มประภาและขวัญชัย ชัยอุดม [13] ที่ทำการวิจัย เรื่องการมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีจังหวัดลพบุรี และพบว่า การมีส่วนร่วมในการประเมินผลอยู่ในระดับสูง บัณฑิตอายุ ชั้นปีที่ศึกษาและคณะที่ศึกษามีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยที่เพศและทัศนคติเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษามีความสัมพันธ์ กับการมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้พบว่าทัศนคติเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและการมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี มีผลสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีทัศนคติ ความรู้และพฤติกรรมเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอยู่ในระดับสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของตุลาภรณ์ จินเฮง [16] ที่ศึกษาเรื่อง การมีส่วนร่วมการจัดการน้ำชลประทานเพื่อการเกษตร: กรณีศึกษา ตำบลโพธิ์ไก่ตัน อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี ที่ผลการวิจัยพบว่า ทัศนคติต่อการจัดการทรัพยากรน้ำมีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วม การจัดการทรัพยากรน้ำชลประทานเพื่อการเกษตร การมีความคิดเห็นในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่ดีและถูกต้องก็จะมีผลต่อการมีส่วนร่วมในการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน นอกนั้นยังสอดคล้องกับวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตามคำแนะนำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่ [17] ที่ว่า “การประหยัดไฟง่ายๆ ทำ

ได้ด้วยตัวเอง เช่น 1) การเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าประหยัดไฟเบอร์ 5 ติดดาว 2) ปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 26-27 องศาเซลเซียส และเปิดพัดลมช่วยกระจายความเย็น 3) การซักผ้าหรือรีดผ้าควรทำครั้งละมาก ๆ" รวมทั้งสอดคล้องกับผลการศึกษาของฮาซีเยะ วรณมาตร และนาดียะห์ อิทธิพลสกุล [15] บุคลากรสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษา นราธิวาส ที่ได้ศึกษา เรื่อง พฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่ การศึกษามัธยมศึกษา นราธิวาส และพบว่า พฤติกรรมที่เป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงเรียนมีดังนี้ 1) ปิด ไฟและถอดปลั๊กทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จ กำหนดช่วงเวลาของการเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศ มีการปรับอุณหภูมิ เครื่องปรับอากาศให้เหมาะสม เปิดเครื่องปรับอากาศ 23 องศาเซลเซียสเฉพาะเวลาที่อยู่ในห้องหลายๆ คน 2) ใช้พัดลม แทนการใช้เครื่องปรับอากาศเมื่อทำงานอยู่คนเดียว 3) กำหนดแนวปฏิบัติของการใช้ไฟฟ้า 4) เปิดไฟเฉพาะที่จำเป็น 5) เปิดหน้าต่างทุกบานเพื่อให้อากาศถ่ายเท 6) ทำงานนอกห้อง เช่น โต๊ะใต้ต้นไม้ หรือใต้อาคารที่มีลมโกรก 7) ตรวจสอบ จุดที่ชำรุดและแก้ไขอยู่เสมอ 8) เปลี่ยนหลอดไฟให้เป็นหลอด LED 9) ลดการใช้เครื่องปรับอากาศในห้องทำงานโดยเปิดพัด ลมแทนเครื่องปรับอากาศ และปิดเครื่องปรับอากาศก่อนเลิกงาน 30 นาที 10) ครูประจำชั้นและครูที่ปรึกษา เดินสำรวจทุก ครั้งก่อนกลับบ้าน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maldonado & Saunders [18] ได้ศึกษาวิจัยและได้รายงานผลลัพธ์ของ การจัดการและจัดทำระบบอนุรักษ์พลังงานที่พบว่า หากนโยบายพลังงานและโครงสร้างการจัดการด้านพลังงานไม่ชัดเจน ก็ส่งผลต่อการบริหารที่มีประสิทธิภาพต่ำตามไปด้วย

6. ข้อเสนอแนะ

จากการผลการวิจัยและการอภิปรายผลข้างต้นผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

- มหาวิทยาลัยควรจัดตั้ง “คณะกรรมการลดการใช้พลังงาน” ขึ้น เพื่อสร้างความตระหนักและความร่วมมือจากบุคลากรทุกระดับและทุกฝ่าย โดยมีหัวหน้าส่วนราชการเป็นประธาน เพื่อสะท้อนถึงการให้ความสำคัญของการลดการใช้พลังงานใน หน่วยงาน
- คณะกรรมการที่ได้รับมอบหมายควรจัดให้ส่วนราชการงานต่าง ๆ มีการตรวจสอบการใช้พลังงานในหน่วยงานราชการ อย่างเป็นระบบ เพื่อทราบถึงจำนวนอุปกรณ์สำนักงานที่ใช้ไฟฟ้า สภาพและลักษณะการใช้งานที่เป็นอยู่ และดำเนินการรักษา ซ่อมแซมบำรุงอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพดีพร้อมใช้งาน
- คณะกรรมการที่ได้รับมอบหมายควรจัดทำแผนปฏิบัติการลดการใช้พลังงานให้มีความชัดเจน ทั้งวัตถุประสงค์ เป้าหมาย ขั้นตอน วิธีการและระยะเวลาในการปฏิบัติ โดยการมีส่วนร่วมของบุคลากร
- คณะกรรมการที่ได้รับมอบหมายควรจัดให้มีกิจกรรมเสริมสร้างความเข้าใจ เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานได้ใช้อุปกรณ์ อย่างมีประสิทธิภาพและมีจิตสำนึกในการใช้พลังงานอย่างรู้คุณค่า เพื่อส่งเสริมบทบาทการมีส่วนร่วมในการลดการสูญเสีย พลังงานที่ไม่จำเป็น
- คณะกรรมการที่ได้รับมอบหมายควรกำกับ ติดตามให้มีการดำเนินการตามแผนอย่างเคร่งครัดและต่อเนื่อง
- คณะกรรมการที่ได้รับมอบหมายควรจัดให้มีการรายงานผลการดำเนินการเป็นระยะ ๆ เพื่อทราบความก้าวหน้า และ ประสิทธิภาพของการดำเนินงานตามแผน โดยเปรียบเทียบกับเป้าหมาย และกรอบเวลาของแผน
- คณะกรรมการที่ได้รับมอบหมายควรจัดให้มีการปรับปรุงและพัฒนามาตรการลดใช้พลังงานให้เข้มข้นขึ้นหรือยืดหยุ่นขึ้น โดยให้เหมาะสมตามภารกิจของหน่วยงาน
- คณะกรรมการที่ได้รับมอบหมายควรจัดให้มีการมีวิเคราะห์ ข้อจำกัดเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการตาม มาตรการต่าง ๆ หรือการยกเลิกการดำเนินการตามมาตรการที่เห็นว่าไม่เหมาะสมหรือไม่คุ้มค่า
- มหาวิทยาลัยควรจัดให้มีการเผยแพร่งานวิจัยให้กับหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อสร้างการรับรู้ ให้ข้อคิด และสร้างความตระหนักในการนำแนวทางที่ค้นพบไปประยุกต์ใช้เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนกฤต วิชัยวงษ์. (2557). พฤติกรรมการมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของบุคลากรและนักศึกษา สังกัด คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 1(2), 44-49.
- [2] International science Council. (2021, Feb. 25). Using the COVID-19 pandemic to transform the energy sector, [Online] Available: <https://th.council.science/blog/using-the-covid-19-pandemic-to-transform-the-energy-sector/>
- [3] ประกาศ เรื่อง แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบสาม พ.ศ. 2566 – 2570. (2565, 1, พฤศจิกายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 139 ตอนพิเศษ 258 ง, หน้า 12-15.
- [4] กระทรวงพลังงาน. (2559, กุมภาพันธ์ 20). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 (AEDP2015), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.eppo.go.th/epposite/>
- [5] กระทรวงพลังงาน. (2567, มีนาคม 15). สถานการณ์พลังงานปี 2566 และแนวโน้มปี 2567. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.eppo.go.th/images/EnergyStatistics/energyinformation/Forecast//EnergyForecast2023.pdf>
- [6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2565 ม ธันวาคม 18). มติคณะรัฐมนตรีเกี่ยวกับมาตรการลดการใช้พลังงานในหน่วยงานภาครัฐ. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.eppo.go.th/>
- [7] วิมลพร สุวรรณแสนทวี และเมือง สุวรรณแสนทวี. (2563). “พื้นฐานการวิจัยอนาคตศึกษาแบบ EDFR”. วารสารพุทธปรัชญาวิวัฒน์, 4(1), 2563, หน้า 91-102.
- [8] อรุณ ศรีสะอาด. (2018) . การตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดผลโดยผู้เชี่ยวชาญ. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://so02.tcithaijo.org/index.php/jemmsu/article/view/154007>
- [9] SerwayMonkey. (2024, May 25). What are the Advantages and Limitations of a Likert Scale?, [Online] Available: <https://uk.surveymonkey.com/mp/likert-scale-pros-cons/>
- [10] สุศักดิ์ อมรรัตนศักดิ์, เตือนใจ เกตุษา และบุญมี พันธุ์ไทย. (2543) วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางการศึกษา 1 (พิมพ์ครั้งที่ 3), กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- [11] เสาวรัตน์ แสงสว่าง. (2560). ถอดบทเรียนการดำเนินงานมหาวิทยาลัยยั่งยืนของมหาวิทยาลัยในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- [12] สำนักงานเลขาธิการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติและสำนักงานพัฒนาการ. (2561). แผนยุทธศาสตร์ 20 ปี. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://sdgs.nesdc.go.th>
- [13] เขมณิจจรรย์ สาริพันธ์ นฤมล พุ่มประภา และขวัญชัย ชัยอุดม. (2564). การมีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี. วารสารวิจัยรำไพพรรณี, 15(3), 24.
- [14] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.(2556, มีนาคม 10). แนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนเป้าหมายที่ 7 ของสหประชาชาติ. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://sdgs.nesdc.go.th>
- [15] ฮาซียะ วรรณมาตร และนาตียะห์ อิทธิพลสกุล (2564) รายงานวิจัย เรื่อง พฤติกรรมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาสกลนคร. นราธิวาส: สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาสกลนคร.
- [16] ตูลาภรณ์ จินเฮงและขวัญฤทัย ชัยอุดม. (2566, July 5). รายงานวิจัยเรื่อง การมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำชลประทานเพื่อการเกษตร: กรณีศึกษา ตำบลโพธิ์ไก่ด้น อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี. , [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://ph03.tcithaijo.org/index.php/smt/article/view/419>
- [17] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่. (2567, Feb. 20). วิธีการประหยัดไฟฟ้า., [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.pea.co.th>
- [18] Maldonado, R., & Saunders, A. (2024, Jan 17). Foreign Exchange Restrictions and the Law of One Price : Financial Management. [Online] Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Foreign-Exchange-Restrictions-and-the-Law-of-One-MaldonadoSaunders>

การประยุกต์ใช้ท่อลมนวัตกรรมใหม่เพื่อเพิ่มศักยภาพการทำงานของระบบปรับอากาศ

APPLICATION OF INNOVATIVE AIR DUCT SYSTEM FOR ENERGY SAVING IN AIR-CONDITIONING SYSTEM

ภัทรมนตร์ ธนเดชา^{1*}

Pattaramon Tanadecha^{1*}

^{1*}สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

^{1*}Energy Engineering and Logistic Program, Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College

*Corresponding Author E-mail: pattaramont@siamtechno.ac.th

Received September 29, 2024; Revised November 6, 2024; Accepted November 8, 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้มนุษย์มีพฤติกรรมการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่ามนุษย์ส่วนใหญ่นิยมทำกิจกรรมอยู่ภายในอาคารเพิ่มมากขึ้น การใช้ระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นเพื่อให้เกิดความสบายจึงเป็นสิ่งสำคัญ สำหรับอาคารขนาดใหญ่วิศวกรผู้ออกแบบนิยมใช้ระบบปรับอากาศร่วมกับระบบท่อลมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งกระจายอากาศเข้าสู่พื้นที่ได้อย่างครอบคลุม การออกแบบท่อลมแบบดั้งเดิมมักผลิตจากวัสดุเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี แต่จากการใช้งานพบว่าท่อลมมีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการถ่ายเทความร้อน ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีท่อลมนวัตกรรมใหม่ คือ ท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน งานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในรูปของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีความร้อนของระบบท่อลม ผลการวิเคราะห์พบว่าท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูปมีการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีความร้อนคิดเป็น 0.6 วัตต์ต่อตารางเมตร สามารถลดการสูญเสียพลังงานได้มากกว่าการใช้ท่อลมแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีคิดเป็นร้อยละ 35.29

คำสำคัญ: ระบบปรับอากาศ ระบบท่อลม พลังงาน การถ่ายเทความร้อน เอ็กเซอร์ยี

Abstract

Nowadays, people have changed their lifestyle behaviors. Most people increasingly prefer to do activities indoors, with using HVAC systems to achieve comfort is important. For large buildings, engineers often design the air-conditioning system with air ductwork to increase the efficiency of air distribution throughout the air-conditioned area. Traditional air ductworks are designed with galvanized steel sheets. But it has an energy loss due to the heat transfer. For this reason, there has been the development of innovative air duct technology called the Pre-insulated duct, which is an outstanding feature of heat insulation. This research analyzed the energy loss in terms of thermal exergy loss. The result shows that the Pre-insulated duct has thermal exergy losses of 0.6 W/m². It can reduce an energy consumption more than the use of the Galvanized steel duct, accounting for 35.29 percent.

Keywords: air-conditioning system, air ductworks, energy, heat transfer, exergy

1. บทนำ

พลังงานมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก จากสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2562 ถึงปีพ.ศ. 2567 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยปีละ 10,155.46 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [1] เนื่องจาก ปัจจุบันมนุษย์มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ชีวิตอยู่ภายในอาคารมากขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มของการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น หากพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารพบว่า ระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 53 รองลงมาคือระบบแสงสว่างคิดเป็นร้อยละ 30 และระบบอื่นๆคิดเป็นร้อยละ 17 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด [2] การออกแบบและการใช้งานระบบปรับอากาศเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร วิศวกรผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงการปรับลดการใช้พลังงาน โดยที่ระบบยังคงประสิทธิภาพการทำงานได้ตามที่ต้องการ

การปรับสภาวะอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความสะอาด และภาวะเสียงรบกวนบริเวณพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งที่เรียกว่าพื้นที่ปรับอากาศ [3] หากพิจารณาตามวัตถุประสงค์การใช้งาน สามารถจำแนกระบบปรับอากาศออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) ระบบปรับอากาศเพื่อความเย็นสบาย มีวัตถุประสงค์เพื่อให้อากาศในพื้นที่ปรับอากาศมีความเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยและดำเนินกิจกรรม เช่น การปรับอากาศภายในบ้าน สำนักงาน ร้านค้า 2) ระบบปรับอากาศเพื่อการอุตสาหกรรม มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมสภาวะอากาศให้มีความเหมาะสมสำหรับ กระบวนการผลิต การเก็บรักษา การทำงานวิจัย หรือกิจกรรมที่เฉพาะเจาะจง เช่น การปรับอากาศในโรงเรือนเพาะปลูก ห้องปฏิบัติการวิจัย สำหรับการปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่ที่มีผู้คนอยู่อาศัยเป็นจำนวนมากนิยมใช้ระบบปรับอากาศร่วมกับระบบท่อลม ตามมาตรฐานของสมาคมปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers; ASHRAE) และสมาคมผู้รับเหมาโลหะแผ่นและเครื่องปรับอากาศแห่งชาติ (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association; SMACNA) กำหนดให้ใช้ท่อลมที่ผลิตจากวัสดุเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel Duct; GI Duct) [4-5] แต่จากใช้งานพบว่าวัสดุประเภทนี้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง มีการสิ้นเปลืองพลังงาน การลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศและระบบท่อลม ได้มีนักวิจัยนำเสนอวิธีการไว้อย่างมากมาย อาทิ Hlanze และคณะ (2022) ทดลองนำวัสดุเปลี่ยนเฟส (Phase change materials; PCMs) ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับและคายความร้อน มาติดตั้งไว้ในระบบท่อส่งลมเพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ ผลการทดลองพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 31.5 [6] Zhang และคณะ (2022) ได้ออกแบบช่องของท่อลมที่ติดตั้งพร้อมใบพัดพัดลมไอออนช่วยลดความต้านทานบริเวณช่องและลดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลของอากาศภายในท่อลม [7] Kabbara และคณะ (2023) ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการออกแบบท่อลมตั้งแต่พื้นฐานการเลือกอุปกรณ์ การออกแบบขนาดและทิศทางการเดินท่อ เพื่อให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้สูงสุดร้อยละ 52 [8]

งานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการศึกษาท่อลมที่ผลิตจากวัสดุเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีซึ่งเป็นวัสดุดั้งเดิม การจะทำให้ท่อลมสามารถประหยัดพลังงานได้จำเป็นต้องมีการออกแบบที่ซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงศึกษาการประยุกต์ใช้ท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูป (Pre-Insulated Duct; PID Duct) ซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ และวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในรูปของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการถ่ายเทความร้อน ของระบบท่อลมในระบบปรับอากาศ เพื่อให้วิศวกรผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ท่อลมให้เหมาะสมกับการใช้งานทางวิศวกรรม มีประสิทธิภาพ และอนุรักษ์พลังงาน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

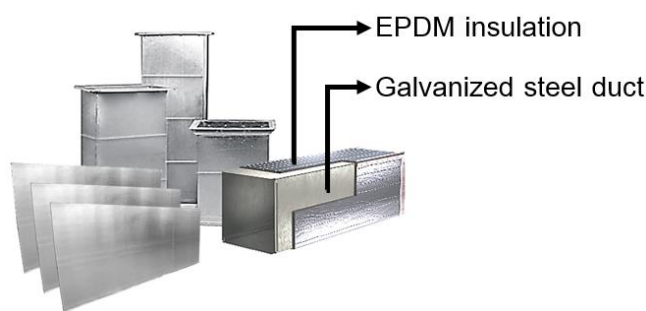
เพื่อศึกษาการสูญเสียความร้อนและการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีของระบบท่อส่งลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูป เปรียบเทียบกับระบบท่อส่งลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี

3. ระเบียบวิธีวิจัย

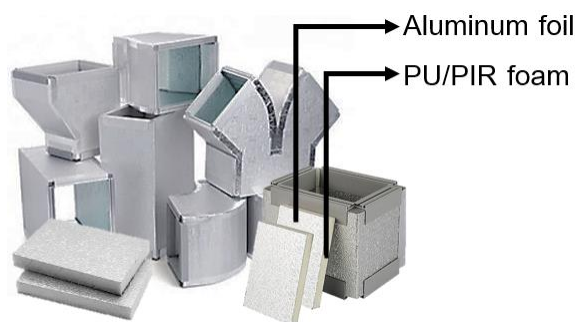
3.1 ระบบท่อลมและวัสดุ

ระบบท่อลม (Air ductworks) ทำหน้าที่เป็นเส้นทางการเดินของลม โดยทั่วไปสามารถแบ่งตามลักษณะการนำไปใช้งานได้ 4 ประเภท ได้แก่ 1) ท่อส่งจ่ายอากาศ (Supply air duct) ทำหน้าที่ส่งกระจายอากาศที่ถูกปรับสถานะแล้วเข้าสู่บริเวณพื้นที่ปรับอากาศ 2) ท่อดึงลมกลับ (Return air duct) ทำหน้าที่ดึงอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน 3) ท่อลมระบายอากาศ (Exhaust air duct) ทำหน้าที่ระบายอากาศเสียภายในพื้นที่ปรับอากาศทิ้ง 4) ท่อเติมอากาศ (Fresh air duct) ทำหน้าที่ดึงอากาศสะอาดภายนอกเติมเข้าสู่ระบบปรับอากาศ [9] ระบบท่อลมมักใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ ดังนั้นการออกแบบท่อลมให้สามารถส่งกระจายลมได้ตามวัตถุประสงค์ต้องคำนึงถึง ประเภทการใช้งานของพื้นที่ปรับอากาศ โครงสร้างอาคารที่ทำการติดตั้ง ความปลอดภัยในการใช้งาน ราคาก่อสร้าง และการประหยัดพลังงาน

การออกแบบท่อลมส่วนมากวิศวกรนิยมมักใช้ท่อลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี แสดงตามภาพที่ 1(ก) ซึ่งนิยมติดตั้งพร้อมกับฉนวนยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน (Ethylene-Propylene Diene Rubber; EPDM) [10] เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในท่อลมและลดเสียงที่เกิดจากการสั่นของท่อเนื่องจากแรงลมปะทะ ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้มีการคิดค้นนวัตกรรมเกี่ยวกับวัสดุประกอบสมัยใหม่ ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้เป็นท่อส่งลมในระบบปรับอากาศ เรียกว่าท่อลมแผ่นฉนวนสำเร็จรูป (Pre-Insulated Duct; PID duct) แสดงตามภาพที่ 1(ข) ท่อลมประเภทนี้ผลิตจากโพลียูรีเทนโฟม (Polyurethane Foam; PU) หรือโพลีไอโซไซยานูเรตโฟม (Polyisocyanurate Foam; PIR) และหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum foil) สำหรับการเลือกใช้งานท่อลมทั้ง 2 ประเภท ผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องพิจารณาและเลือกประเภทของท่อลมอย่างเหมาะสม เนื่องจากท่อลมมีข้อดีและข้อเสียทางวิศวกรรมแตกต่างกัน แสดงตามตารางที่ 1



(ก)



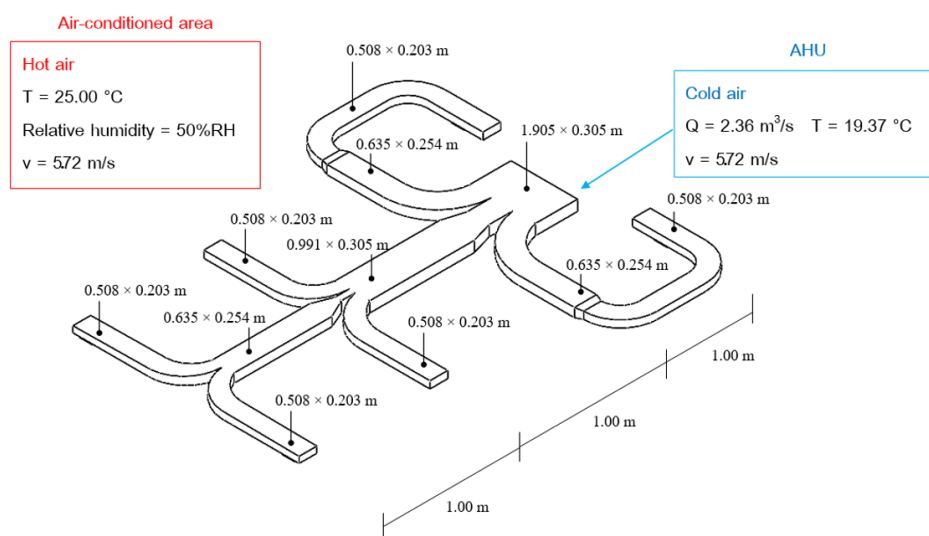
(ข)

ภาพที่ 1 ท่อลม

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อเสียทางวิศวกรรมของทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีเปรียบเทียบกับทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูป

	ทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี	ทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูป
ข้อดี	- มีมาตรฐานสากลรองรับการออกแบบและการใช้งาน - แข็งแรง ทนทานต่อทุกสภาพแวดล้อม - อายุการใช้งานนาน - ติดตั้งภายนอกอาคารได้ - เป็นเทคโนโลยีเก่า วิศวกรมีความเชี่ยวชาญในการออกแบบ	- รักษาคุณภาพอากาศภายในห้องได้ดี - ไม่ต้องหุ้มฉนวนกันความร้อน - ทอมนไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางเสียง - น้ำหนักเบา - การก่อสร้างทำได้ง่าย - ราคาถูก - ทอมนมีความสวยงาม
ข้อเสีย	- จำเป็นต้องหุ้มฉนวนกันความร้อน - มีแรงลมปะทะภายในทอมน - น้ำหนักมาก - การก่อสร้างมีความซับซ้อน และอาจก่อให้เกิดสารพิษจากสังกะสี - ราคาสูง	- ไม่มีมาตรฐานสากลรองรับ - เกิดการรั่วซึมของอากาศได้ง่าย - ไม่เหมาะสำหรับใช้งานภายนอกอาคาร - เมื่อเกิดการเผาไหม้อาจก่อให้เกิดก๊าซพิษ เช่น CO, CO₂ และ NOx

งานวิจัยนี้ศึกษาการการส่งจ่ายอากาศผ่านทางระบบทอมนที่ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้งานของอาคารออกกำลังกายแห่งหนึ่ง ในประเทศไทย ขนาดของพื้นที่ปรับอากาศ 101.68 ตารางเมตร มีภาระความร้อน (Heat load) ที่เกิดขึ้นภายในห้องรวม 35.62 กิโลวัตต์ ประกอบไปด้วยภาระความร้อนจากผู้คนที่มีกิจกรรมออกกำลังกาย เครื่องออกกำลังกาย และแสงสว่างจากหลอดไฟ วิศวกรผู้ออกแบบระบบปรับอากาศกำหนดให้เครื่องส่งจ่ายอากาศเย็น (Air Handling Unit; AHU) ส่งจ่ายอากาศอุณหภูมิ 19.37 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 5.72 เมตรต่อวินาที อัตราการไหลของอากาศ 2.36 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พื้นที่ปรับอากาศถูกควบคุมให้มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 50 ของความชื้นสูงสุดที่สามารถรับรู้ได้ ความเร็วลม 0.50 เมตรต่อวินาที เนื่องจากเป็นสภาวะที่ผู้ดำเนินการรู้สึกสบาย [11] ทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีมีความหนา 0.70 มิลลิเมตร หุ้มฉนวนกันความร้อนหนา 25.40 มิลลิเมตร เมื่อทดลองออกแบบทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปให้มีประสิทธิภาพการทำงานเทียบเท่ากับทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี จะได้ทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปความหนา 30 มิลลิเมตร แสดงแผนภาพการออกแบบระบบทอมนตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพการออกแบบระบบทอมน

3.2 หลักการทางอุณหพลศาสตร์

หลักการทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics principles) เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์กันของพลังงานภายใน (Internal energy) พลังงานศักย์ (Potential energy) พลังงานจลน์ (Kinetic energy) งาน (Work) และความร้อนของสารทำงาน (Heat of working fluid) [12] ซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามกฎข้อที่ 2 ของอุณหพลศาสตร์ แสดงตามสมการที่ (1)

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W \quad (1)$$

เมื่อ ΔU คือการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในของระบบ หน่วยกิโลวัตต์ ΔQ คือการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของระบบในสถานะคงตัว หน่วยกิโลวัตต์ ΔW คือการเปลี่ยนแปลงงานสุทธิของระบบ หน่วยกิโลวัตต์

ระบบที่มีการควบคุมสถานะ เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล จะเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า การเกิดขึ้นได้เองของกระบวนการ มีความสัมพันธ์กับกระบวนการกระบวนการสมมูลเอนโทรปี (Entropy equivalence process) และกฎข้อที่ 2 ของอุณหพลศาสตร์ แสดงตามสมการที่ (2) ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ โดยวิศวกรสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบให้สามารถลดการเกิดขึ้นของความสูญเสีย (Heat losses) และนำพลังงานมาใช้ประโยชน์ตามกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ (irreversible process) พลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสามารถเปลี่ยนเป็นแรงขับเคลื่อนของระบบ เรียกว่า เอ็กเซอร์ยี (Exergy)

$$\Delta S_{\text{tot}} = \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{surr}} \quad (2)$$

เมื่อ ΔS_{tot} คือเอนโทรปีทั้งหมด หน่วยจูลต่อเคลวิน ΔS_{sys} คือผลรวมของเอนโทรปีทั้งระบบ หน่วยจูลต่อเคลวิน ΔS_{surr} คือผลรวมของเอนโทรปีในสิ่งแวดล้อม หน่วยจูลต่อเคลวิน

3.3 การถ่ายเทความร้อนของระบบทออลม

เมื่อระบบผลิตลมเย็นมีการส่งจ่ายอากาศเย็นเข้าสู่ทออลม ระหว่างการเดินทางของอากาศภายในทออลมเพื่อไปส่งกระจายยังพื้นที่ปรับอากาศ จะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนบริเวณผนังทออลม ในรูปแบบของการนำความร้อน (Heat conduction) และการพาความร้อน (Heat Convection) อากาศภายในทออลมจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากมีความร้อนสูญเสียออกจากระบบ มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient; U-value) คุณสมบัติของวัสดุทออลม พื้นที่ผิวที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกทออลม แสดงตามสมการที่ (3)

$$Q_{\text{out}} = UA\Delta T \quad (3)$$

เมื่อ Q_{out} คือความร้อนที่สูญเสียออกจากระบบทออลมในสถานะคงตัว หน่วยกิโลวัตต์ U คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม หน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส A คือพื้นที่ผิวที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน หน่วยตารางเมตร ΔT คือผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายในทออลมและอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศ หน่วยองศาเซลเซียส

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบทออลมสามารถแสดงความสามารถในการส่งผ่านความร้อนจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง ผ่านตัวกลางจำนวน 1 ชั้นขึ้นไปที่มีการต้านทานความร้อนภายในตัวกลางนั้น เมื่ออากาศเกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นของไหล การต้านทานความร้อนจะขึ้นอยู่กับส่วนกลับของ

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient; h) ส่วนเมื่ออากาศเกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นของแข็ง การต้านทานความร้อนจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความหนาของชั้นตัวกลาง (Thickness) และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity; k) ที่มีค่าแตกต่างกันตามประเภทของวัสดุตัวกลาง แสดงตามสมการที่ (4)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{k_i} \right) + \frac{1}{h_o}} \quad (4)$$

เมื่อ h_i และ h_o คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศภายในและภายนอกทอมน ตามลำดับ หน่วยวัตต์ต่อเมตรองศาเซลเซียส l คือความหนาของชั้นตัวกลาง หน่วยเมตร k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุตัวกลาง หน่วยวัตต์ต่อเมตรองศาเซลเซียส n คือจำนวนชั้นของตัวกลางทั้งหมด

การใช้งานทอมนต่างประเภทกันจะมีวัสดุตัวกลางและจำนวนชั้นไม่เท่ากัน แสดงตามตารางที่ 2 ส่งผลให้ทอมนแต่ละประเภทมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนต่างกัน

ตารางที่ 2 วัสดุตัวกลางและจำนวนชั้นของทอมน

ทอมน	วัสดุตัวกลาง	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) (วัตต์ต่อเมตรองศาเซลเซียส)	จำนวนชั้น
ทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี	เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี	52.00	2
	ฉนวนยาง EPDM	0.038	
ทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูป	แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์	0.029	3
	โพลีไอโซไซยานูเรตโฟม	0.022	

3.4 การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนของระบบทอมน

หากพิจารณาการสูญเสียความร้อนของระบบทอมนเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเป็นการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างภายในและภายนอกทอมน สามารถคำนวณในรูปของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อน (Thermal exergy losses) แสดงตามสมการ (5) ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการควบคุมสภาวะแวดล้อมของพื้นที่ปรับอากาศให้มีอุณหภูมิตามที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนของระบบทอมนสร้างภาระการทำงานของเครื่องส่งจ่ายลมเย็นมากขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและยากต่อการรักษาคุณภาพอากาศภายในทอมน ผู้ออกแบบงานระบบทอมนจึงควรคำนึงถึงปัจจัยการลดการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน

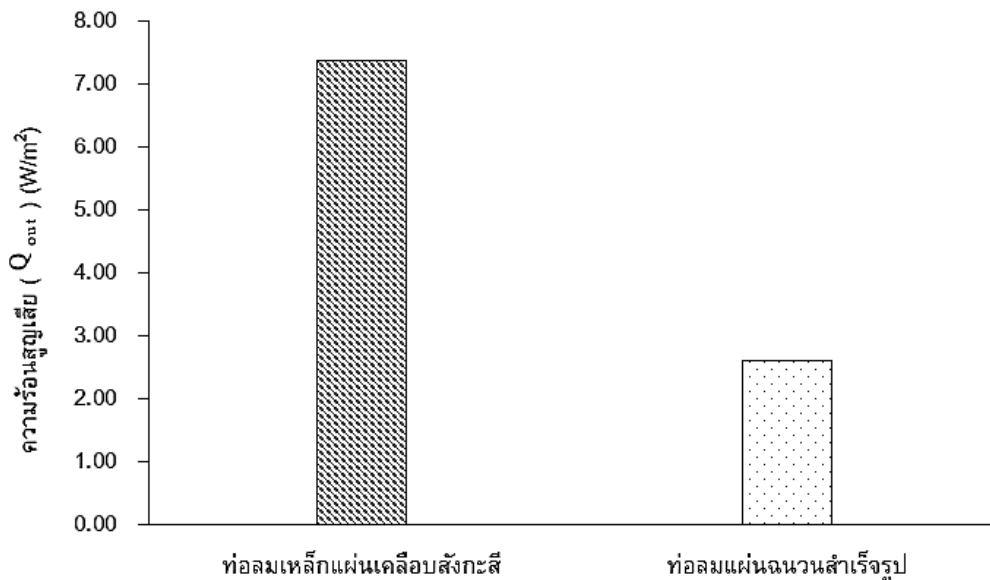
$$Ex_{thermal} = \left(1 - \frac{T_o}{T_i} \right) \times \left(\frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{k_i} \right) + \frac{1}{h_o}} A (T_i - T_o) \right) \quad (5)$$

เมื่อ $Ex_{thermal}$ คือการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนของระบบ หน่วยกิโลวัตต์ T_i และ T_o คืออุณหภูมิภายในและภายนอกทอมนตามลำดับ หน่วยองศาเซลเซียส

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ความร้อนสูญเสียของระบบทอมน

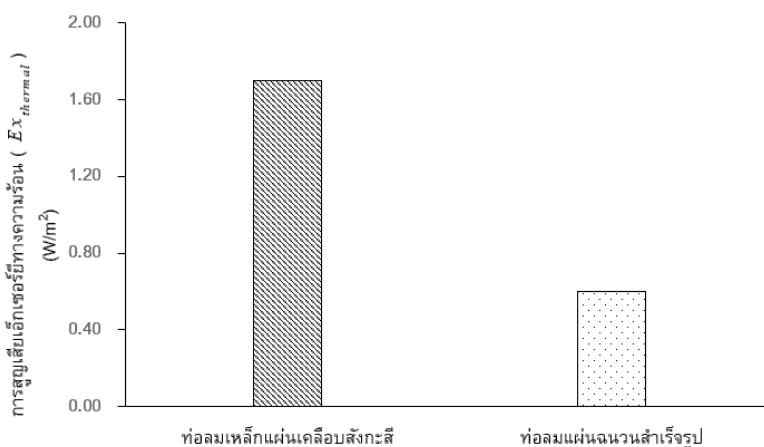
การใช้งานทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีและทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปจะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นบริเวณผนังทอมน พิจารณาทอมนทั้ง 2 ประเภทส่งจ่ายอากาศเย็นภายในทอมนมีอุณหภูมิ 19.37 องศาเซลเซียส บริเวณพื้นที่ปรับอากาศภายนอกทอมนมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สำหรับทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมคิดเป็น 1.76 วัตต์ต่อองศาเซลเซียส-ตารางเมตร สำหรับทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปผลิตจากวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ประกอบไปด้วยชั้นผนังของแผ่นฉนวนและแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมคิดเป็น 0.46 วัตต์ต่อองศาเซลเซียส-ตารางเมตร จากผลการคำนวณตามสมการที่ (3) แสดงให้เห็นว่าทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีมีการสูญเสียความร้อนออกจากทอมน 7.39 วัตต์ต่อตารางเมตร และทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปมีการสูญเสียความร้อนออกจากทอมน 2.61 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี คิดเป็น 4.78 วัตต์ต่อตารางเมตร แสดงตามภาพที่ 3 เนื่องจากทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปมีความหนาของผนังทอมนมากและผลิตจากโพลีไอโซไซยานูเรตโฟมที่เคลือบผิวด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ ส่งผลให้อากาศภายในทอมนมีการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอกน้อย



ภาพที่ 3 ความร้อนสูญเสียของระบบทอมน

4.2 การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนของระบบทอมน

พิจารณาการสูญเสียความร้อนของระบบทอมนในรูปของการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีเนื่องจากการถ่ายเทความร้อน ผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้งานทอมนทั้ง 2 ประเภทมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในทอมนและอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศมาก เมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบทำให้เกิดการสูญเสีย จากผลการคำนวณตามสมการที่ (5) เมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของทอมนทั้ง 2 ประเภท ภายใต้สภาวะแวดล้อมการทำงานของทอมนที่มีอุณหภูมิภายในและภายนอกแตกต่างกัน 5.63 องศาเซลเซียส พบว่าทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีมีการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อน 1.70 วัตต์ต่อตารางเมตร และทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปมีการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อน 0.60 วัตต์ต่อตารางเมตร แสดงให้เห็นว่าทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปสามารถลดการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีทางความร้อนและสามารถประหยัดพลังงานได้เท่ากับร้อยละ 35.29 แสดงตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การสูญเสียเชิงความร้อนของระบบทอมน

จากการศึกษาระบบทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปซึ่งเป็นทอมนวัตกรรมใหม่ แสดงให้เห็นว่าทอมนประเภทนี้มีคุณสมบัติพิเศษที่โดดเด่นกว่าคือ มีน้ำหนักเบา การขนส่งและติดตั้งไม่ก่อให้เกิดมลพิษ มีความแข็งแรงทนทานสูง สามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ หากพิจารณาในด้านความคุ้มค่าในการลงทุนและการใช้งานพบว่า ทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปมีประสิทธิภาพสูง สามารถลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ลดความถี่ในการซ่อมบำรุง และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ส่งผลต่อมูลค่าอาคารในระยะยาวคือช่วยเพิ่มมูลค่าของอาคารเนื่องจากการลงทุนที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

5. สรุปและอภิปรายผล

การออกแบบและการใช้งานระบบทอมนในระบบปรับอากาศตามมาตรฐานของ ASHRAE และ SMACNA แนะนำให้ใช้ทอมนเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีซึ่งมีการสิ้นเปลืองพลังงานสูง เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคาร วิศวกรจำเป็นต้องพิจารณาการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุนวัตกรรมใหม่ในการก่อสร้างระบบทอมนอย่างเหมาะสมทดแทนการใช้วัสดุแบบดั้งเดิม โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงานและการประหยัดพลังงานควบคู่กัน ผลการวิเคราะห์การสูญเสียเชิงความร้อนของระบบทอมน พบว่าทอมนแผ่นฉนวนสำเร็จรูปสามารถลดการสูญเสียความร้อนออกจากระบบทอมนได้ ส่งผลให้มีการสูญเสียเชิงความร้อนของระบบน้อย นอกจากนี้ทอมนยังมีข้อได้เปรียบในการเลือกใช้งานหลายประการ มีความเหมาะสมกับระบบปรับอากาศของประเทศไทยเนื่องจากสามารถรักษาอุณหภูมิภายในทอมนได้ดี ช่วยประหยัดพลังงานแม้ในสภาพอากาศร้อนชื้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นทอมนของระบบปรับอากาศภายในอาคาร ได้เหมาะสม

6. ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียเชิงความร้อนของระบบทอมนในงานวิจัยนี้ ศึกษาในกรณีทอมนขนาดสั้นๆ จึงถือว่าทอมนไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดความยาวท่อ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีทอมนที่มีความยาวมากโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในทอมนแต่ละตำแหน่งเพื่อเพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์
2. ควรมีการจำลองการส่งกระจายลมโดยใช้ทอมนทั้ง 2 ประเภทเปรียบเทียบกันเพื่อแสดงพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในท่อ และควรมีการศึกษาผลกระทบของทอมนเมื่อทำงานในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันเพื่อให้ครอบคลุมการทำงานได้อย่างเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ
3. ระบบทอมนสามารถปรับใช้กับเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) โดยสามารถติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพแบบเรียลไทม์ และปรับปรุงการทำงานอัตโนมัติเพื่อประหยัดพลังงาน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ministry of Energy. (2024, Sep. 27). Energy statistics report of Thailand, [Online] Available: <https://www.eppo.go.th/index.php/th/information/services/ct-menu-item-56>
- [2] M. Kong, B. Dong, R. Zhang and Z. O'Neill. "HVAC energy savings, thermal comfort and air quality for occupant-centric control through a side-by-side experimental study." *Applied Energy*, 306, 2022.
- [3] N. O. Bell, J. I. Bilbao, M. Kay and A. B. Sproul. "Future climate scenarios and their impact on heating, ventilation and air-conditioning system design and performance for commercial buildings for 2050." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 2022.
- [4] Z. Kabbara, S. Jorens, E. Ahmadian and I. Verhaert. "Improving HVAC ductwork designs while considering fittings at an early stage." *Building and environment*, 237, 2023.
- [5] K. Tawackolian and K. Martin. "Validation of computational fluid dynamics simulations for determining pressure loss coefficients of ventilation components." *Building Services Engineering Research & Technology*, 44(3), 2023, pp. 269-283.
- [6] P. Hlanze, A. Elhefny, Z. Jiang, J. Cai and H. Shabgard. "In-duct phase change material-based energy storage to enhance building demand flexibility." *Applied Energy*, 310, 2022.
- [7] C. Zhang, A. Li, J. Che, Y. Li, Q. Liu and Y. Zhao. "A low-resistance elbow with a bionic sawtooth guide vane in ventilation and air conditioning systems." *Building Simulation*, 15(1), 2022.
- [8] Z. Kabbara, S. Jorens, E. Ahmadian and I. Verhaert. "Improving HVAC ductwork designs while considering fittings at an early stage." *Building and environment*, 237, 2023.
- [9] M. Amir, A. H. H. Ali, and I. M. Ismail. "Performance and Environmental Impact Assessment of Industrial Ventilation System for Internal Contamination Sources." *Assiut University Bulletin for Environmental Researches*, 27(1), 2024, pp. 163-176.
- [10] H. Bergsdal, J. Tønnesen, A. Borg and C. Solli. "Life cycle inventory library for embodied emissions in ventilation components." *Building and Environment*, 262, 2024.
- [11] M. Shin, Y. Shin, Y. Kim and H. Cho. "Investigation of drivers' thermal comfort based on selective cooling seats with air conditioner in summer using biosignals and subjective survey." *Building and Environment*, 250, 2024.
- [12] A. Karoyo, G. Ge and P. Le Poudre. "A Review of the Thermophysical Properties and Recent Development Trends on Liquid Desiccants for HVAC Applications." *Journal of Chemical & Engineering Data*, 69(8), 2024, pp. 2655-2675.

ระบบจ่ายน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลักดันความเค็มในดินสำหรับการปลูกผัก A SOLAR ENERGY WATER SUPPLY SYSTEM FOR DRIVING SOIL SALINITY FOR GROWING VEGETABLES

ประสิทธิ์ ภูสมมา^{1*} สถาพร เจริญสุขโชคกุล¹ ชัยยุทธ มั่นสมุทร¹ และ วัฒนา สمانจิต¹

Prasit Phoosomma^{1*}, Sathaphon Charernsuphachokkul¹, Chaiyut Mansamut¹ and Wattana Samanjit¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการระบบราง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

¹ Railway System Management Engineering, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

*Corresponding Author E-mail: prasit.p@dru.ac.th

Received October 11, 2024; Revised November 22, 2024; Accepted November 26, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมระบบจ่ายน้ำและหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ วิธีดำเนินงานโดยการออกแบบเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1080 วัตต์ 96 โวลต์ เลือกเครื่องสูบน้ำเป็นแบบปั๊มบาดาลขนาด 600 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าดีซี 45 - 150 โวลต์ ควบคุมระบบสูบน้ำโดยเลือกใช้อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้า (Inverter) เพื่อนำไปทดลองที่ความลึกของบ่อน้ำ 2 เมตร ผลการทดลองพบว่าขณะไม่มีโหลด ในสภาพอากาศแดดจัด ทำการทดลองสองครั้ง ใช้เวลาครั้งละ 1 นาที วัดค่าความเข้มแสงได้ 947 วัตต์/ตร.ม กระแสมอเตอร์ 3.2 แอมป์ ค่าแรงดันไฟฟ้าดีซี 92.8 โวลต์ ค่ากำลังไฟฟ้า 757 วัตต์ และค่าความเร็วรอบ 3,200 รอบต่อนาที ทดลองต่อโหลด ในสภาพอากาศแดดจัดได้ค่าความเข้มแสง 764 วัตต์/ตร.ม กระแสมอเตอร์ 7 แอมป์ ค่าแรงดันไฟฟ้าดีซี 81.2 โวลต์ ค่ากำลังไฟฟ้า 640 วัตต์ และความเร็วรอบ 2,844 รอบต่อนาที อัตราการไหลของน้ำที่ได้คิดเป็น 100 ลิตรต่อนาที ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ร้อยละ 67.75

คำสำคัญ: ระบบจ่ายน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ การผลักดันความเค็มในดิน การปลูกผัก

Abstract

This research aims to designed control the water supply system and find the efficiency of the solar water pump. The research methods is designed by using a 1080-Watt, 96-Volt solar panel. The water pump is selected as a 600-Watt deep well pump with a DC voltage of 45-150 Volts. The water pumping system is controlled by using an inverter. The experiment is conducted at a depth of 2 meters. The results show that when there is no load (the deep well pump has not been in water) in sunny weather conditions, the experiment is conducted twice. It takes 1 minute each time. The light intensity is 947 W/m², the motor current is 3.2 Amps, the DC voltage is 92.8 Volts, the power is 757 W, and the speed is 3,200 rpm. The load is tested in sunny weather conditions and the light intensity is 764 W/m², the motor current is 7 Amps, the DC voltage is 81.2 Volts, the power is 640 Watts, and the speed is 2,844 rpm. The water flow rate is 100 liters per minute. The solar water pump has an efficiency of 67.75 percent.

Keywords: Water supply system, Solar energy, Driving soil salinity, Growing vegetables

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนและยังเป็นปัจจัยพื้นฐานทางด้านการผลิตต่างๆทั้งในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม ทำให้ความต้องการในการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนส่งผลให้พลังงาน ถ่านหิน น้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ หรือเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ใกล้เคียงหมดไปจากโลกนี้ จึงทำให้ทั่วโลกเริ่มหันมาใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียนกันมากขึ้น ซึ่งก็คือ พลังงานที่ได้จากไม้ แกลบ กากอ้อย ชีวมวล น้ำ ลม แสงอาทิตย์ และพลังงานจากคลื่นมหาสมุทร เป็นต้น โดยพลังงานทดแทนที่ดีจะต้องเป็นพลังงานสะอาดเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ มีจำนวนไม่จำกัดในช่วงชีวิตของโลกสามารถสร้างขึ้นใหม่ได้อย่างต่อเนื่องสามารถใช้งานได้หลากหลายวัตถุประสงค์ และควรมีต้นทุนที่ไม่สูงจากต้นทุนเดิมอีกด้วย โดยพลังงานทดแทนที่กำลังเป็นที่สนใจในช่วงนี้ก็คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ (Solar Energy) [1,2] ซึ่งนับว่าเป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ และมีศักยภาพสูง อีกทั้งยังสามารถใช้งานได้โดยไม่มีการสิ้นเปลือง การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) PV หรือโฟโตวอลเทอิก (Photovoltaic Effect) ที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าโซลาร์เซลล์ (Solar cell) เป็นเครื่องมือในการแปลงแสงอาทิตย์ให้เป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยมีหลักการทำงานจากที่แสงแดดประกอบด้วยโฟตอนหรืออนุภาคของพลังงานแสงอาทิตย์ [3] โฟตอนเหล่านี้มีปริมาณพลังงานที่แตกต่างกันซึ่งสอดคล้องกับความยาวคลื่นที่แตกต่างกันของสเปกตรัมของแสง

การนำพลังงานจากแสงอาทิตย์ มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าอาจจำแนกได้ 2 ประเภทหลักๆได้แก่ การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) และการผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับประเทศไทย [4,5] เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนชื้นมีแสงอาทิตย์ส่องสว่างตลอดทั้งปี พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นพลังงานที่มีศักยภาพค่อนข้างสูง นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายเช่น เครื่องคิดเลข ระบบไฟสัญญาณจราจร ไปจนถึงการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำได้อีกด้วย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงทำให้เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรที่อยู่ในพื้นที่ชนบทที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึงเป็นอย่างมาก เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีอยู่ในทุกที่ที่ทำการเกษตรจึงทำให้เป็นการประหยัดพลังงานที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำอีกด้วย

การเลือกใช้เครื่องสูบน้ำในการทำงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกชนิดของเครื่องสูบน้ำซัมเมอร์ส [6,7] เนื่องจากเครื่องสูบน้ำแบบซัมเมอร์สมีขายตามท้องตลาด มีราคาค่อนข้างต่ำและเป็นชนิดที่มีกำลังในการสูบน้ำสูงเหมาะสำหรับการสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงหรือบ่อน้ำที่มีความลึกมากซึ่งก็ขึ้นอยู่กับขนาดของมอเตอร์ และต้องมีตัวควบคุมเพื่อให้เกิดการสมดุลระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์
- 2) เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

3. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำงานของเครื่องสูบน้ำและหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการผลักดันความเค็มของดินสำหรับการปลูกผักของเกษตรกรในชุมชนศูนย์การเรียนรู้ หมู่ 18 ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ โดยการเลือกอุปกรณ์เครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีดังนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยดังนี้

1. เครื่องสูบน้ำงานแสงอาทิตย์รุ่น Lebento Model: 4BT8.0/55-60/600W โดยพิกัดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ชั้ขนาด 600 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 45-150 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ ความเร็วรอบ 500 - 4000 รอบต่อนาที เลือกแบบกันน้ำ IP 68

2. การเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

แผงโซลาร์เซลล์ใช้ขนาดพิกัด 540 วัตต์ 48 โวลต์ จำนวน 2 แผง โดยนำมาต่ออนุกรมกันได้ขนาดพิกัดรวม 1080 วัตต์ ที่แรงดันไฟฟ้า 96 โวลต์

3. เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter)

การเลือกเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับหรือ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ใช้สำหรับปั้มน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากการเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของปั้มน้ำและลดการสูญเสียพลังงานได้ ต่อไปนี้คือข้อพิจารณาหลักๆ ในการเลือกอินเวอร์เตอร์สำหรับปั้มน้ำ โดยเลือกอินเวอร์เตอร์ รุ่น Lebento Model: 4BT8.0/55-60/600W ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 45 – 150 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 15 แอมป์

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยดังนี้

1. เครื่องวิเคราะห์คุณภาพพลังงานไฟฟ้า (Power quality analyzer)

เครื่องวิเคราะห์คุณภาพพลังงานไฟฟ้า (Power quality analyzer) ใช้สำหรับวัดและวิเคราะห์คุณภาพปริมาณการใช้ไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า โดยเลือกใช้รุ่น HT Solar-V400 1000V/15A I-V Curve Tracer compatible

2. เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar meter) ยี่ห้อ HT รุ่น SOLAR-02 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในหน่วยวัดพลังงานแสง (วัตต์ต่อตารางเมตร, W/m²)

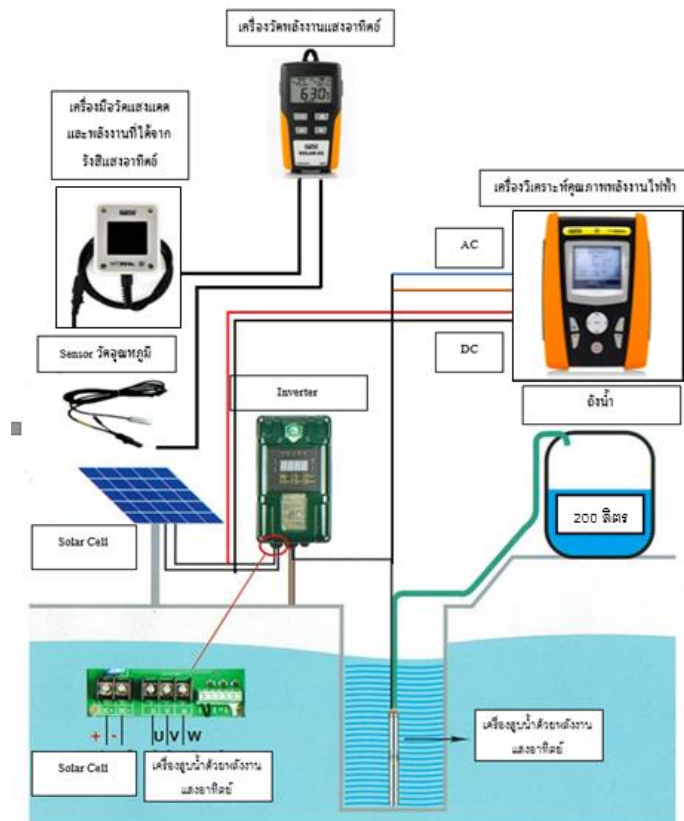
3. เครื่องมือวัดความเข้มแสงและพลังงานที่ได้จากรังสีแสงอาทิตย์

เครื่องมือวัดความเข้มแสงและพลังงานที่ได้จากรังสีแสงอาทิตย์ Solar meter รุ่น HT 304k เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดความเข้มแสงและพลังงานที่ได้จากรังสีแสงอาทิตย์ที่มีความแม่นยำสูง โดยมีความสามารถในการวัดอัตราการไหลของพลังงานที่ได้จากรังสีแสงอาทิตย์ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m²) รวมถึงค่าอินดิเคเตอร์ (Indicator) และวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m²) ในช่วงความถี่ที่กว้างของแสงแดดที่มีอยู่ในช่วงการมองเห็นของมนุษย์

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการทดลองโดยติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในภาพที่ 1 ประกอบด้วย

1. แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 540 วัตต์ 48 โวลต์ จำนวน 2 แผงต่อแบบอนุกรมได้ขนาด 1080 วัตต์ 96 โวลต์
2. เครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงสุด 45 – 150 โวลต์ ความเร็วรอบ 500-4000 รอบต่อนาที 1 เครื่อง
3. อินเวอร์เตอร์ ที่มีค่าของแรงดัน 45-150 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ติดตั้งกับเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 1 เครื่อง
4. เครื่องวิเคราะห์คุณภาพพลังงานไฟฟ้า HT Solar-V400 1000V/15A I-V Curve 1 เครื่อง
5. เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar meter) ยี่ห้อ HT รุ่น SOLAR-02 1 เครื่อง
6. เครื่องมือวัดแสงแดดและพลังงานที่ได้จากรังสีแสงอาทิตย์ รุ่น HT 304k 1 เครื่อง
7. เซ็นเซอร์อุณหภูมิ (Temperature Sensor) 1 เส้น



ภาพที่ 1 การทดลองเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการหาประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ หาได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ (PV) ต่อกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$\eta_{PV} = \frac{P_{dc}}{GA} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ η_{PV} หมายถึง ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ (%)

P_{dc} หมายถึง กำลังไฟฟ้ากระแสตรงแผงโซลาร์เซลล์ (W)

G หมายถึง ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ (W/m^2)

A หมายถึง พื้นที่รวมแผงโซลาร์เซลล์ (m^2)

วิธีการหาประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ หาได้จากกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตต่อกำลังไฟฟ้าอินพุต สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ η หมายถึง ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (%)

P_{out} หมายถึง กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (W)

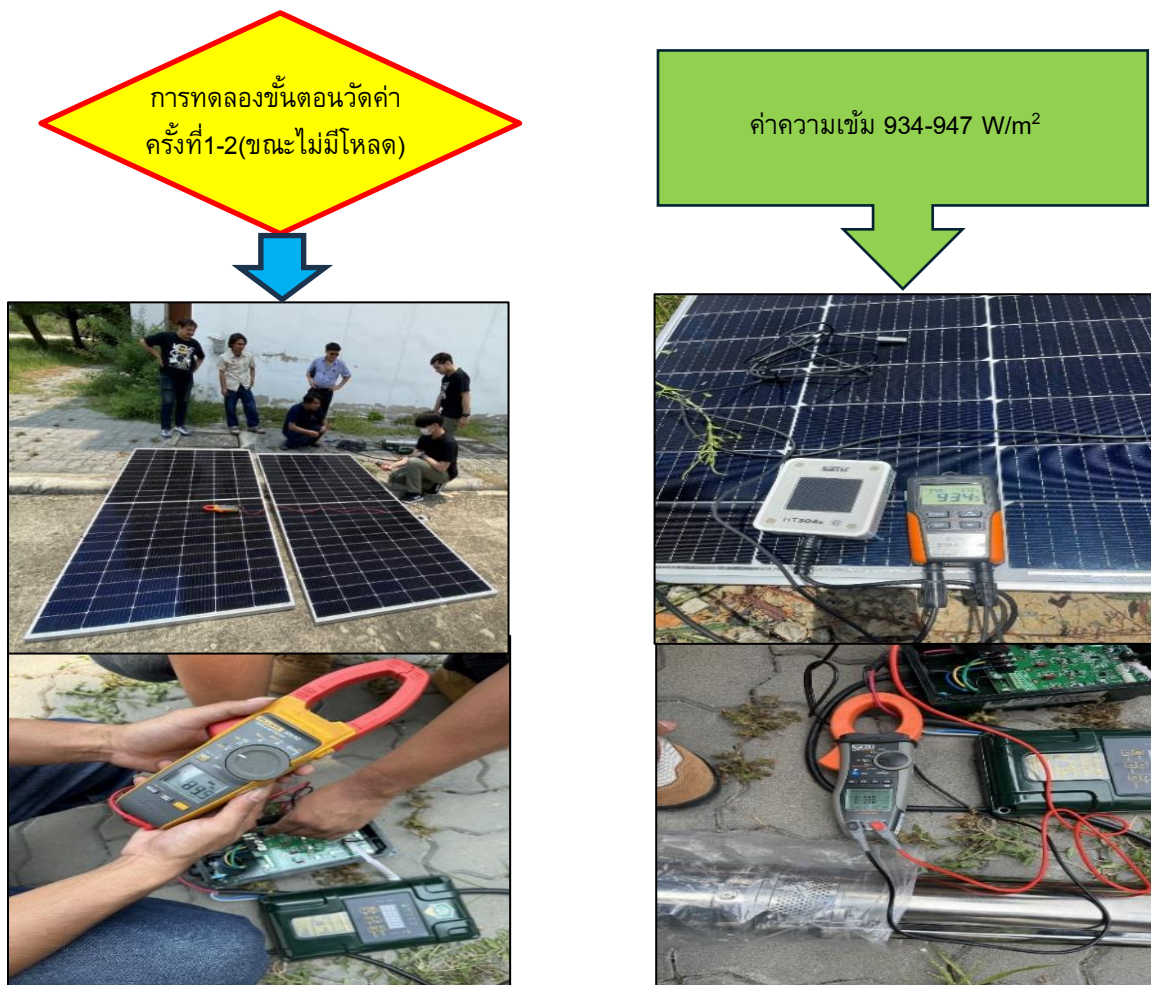
P_{in} หมายถึง กำลังไฟฟ้าอินพุต (W)

4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องสูบน้ำและหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลักดันความเค็มของดินโดยใช้น้ำจืดจากเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยวัดค่าความเข้มแสง วัดค่ากระแสไฟฟ้า วัดค่าแรงดันไฟฟ้า วัดค่าความเร็วรอบของมอเตอร์

4.1 การทดลองขณะไม่มีโหลด

จากผลการทดลองปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ขณะไม่มีโหลด ทำการทดลองจำนวนสองครั้ง ใช้เวลาครั้งละ 1 นาที รวมเป็น 2 นาที ดังแสดงในภาพที่ 2 ได้ค่าความเข้มแสง 934 - 947 วัตต์ต่อตารางเมตร กระแส 3.0 - 3.2 แอมป์ แรงดันไฟฟ้า 89.9 - 92.6 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 709 - 757 วัตต์ และความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 3000 - 3200 รอบต่อนาที



ภาพที่ 2 การทดลองเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (ขณะไม่มีโหลด)

ผลการทดลองขณะไม่มีโหลด

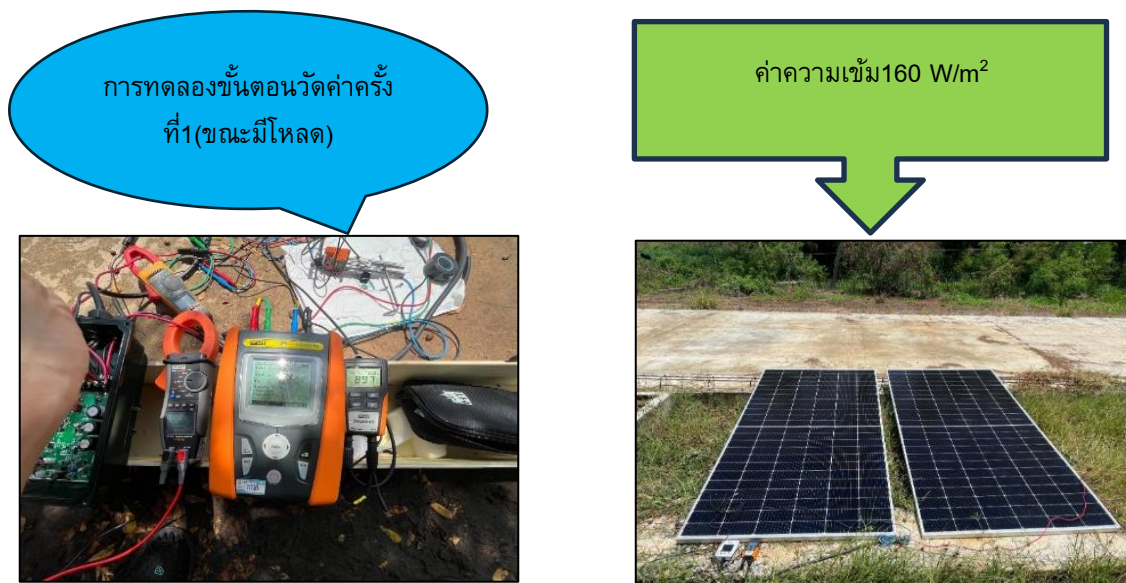
ตารางที่ 1 ผลการทดลองขณะไม่มีโหลดสภาพอากาศแดดจัด เวลา 13.30 น. วันที่ 12/5/2567

ครั้งที่	ค่าความเข้มแสง (W/m ²)	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กำลังไฟฟ้า (W)	ความเร็วรอบ (rpm.)
1	934	3.0	89.9	709	3,000
2	947	3.2	92.8	757	3,200

ผลการทดลองขณะไม่มีโหลด พบว่าสภาพอากาศแดดจัด ช่วงเวลา 13.30 น. ค่าความเข้มแสงยิ่งสูงจะทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงกว่าที่ความเข้มแสงต่ำ และค่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะสูงตามค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์

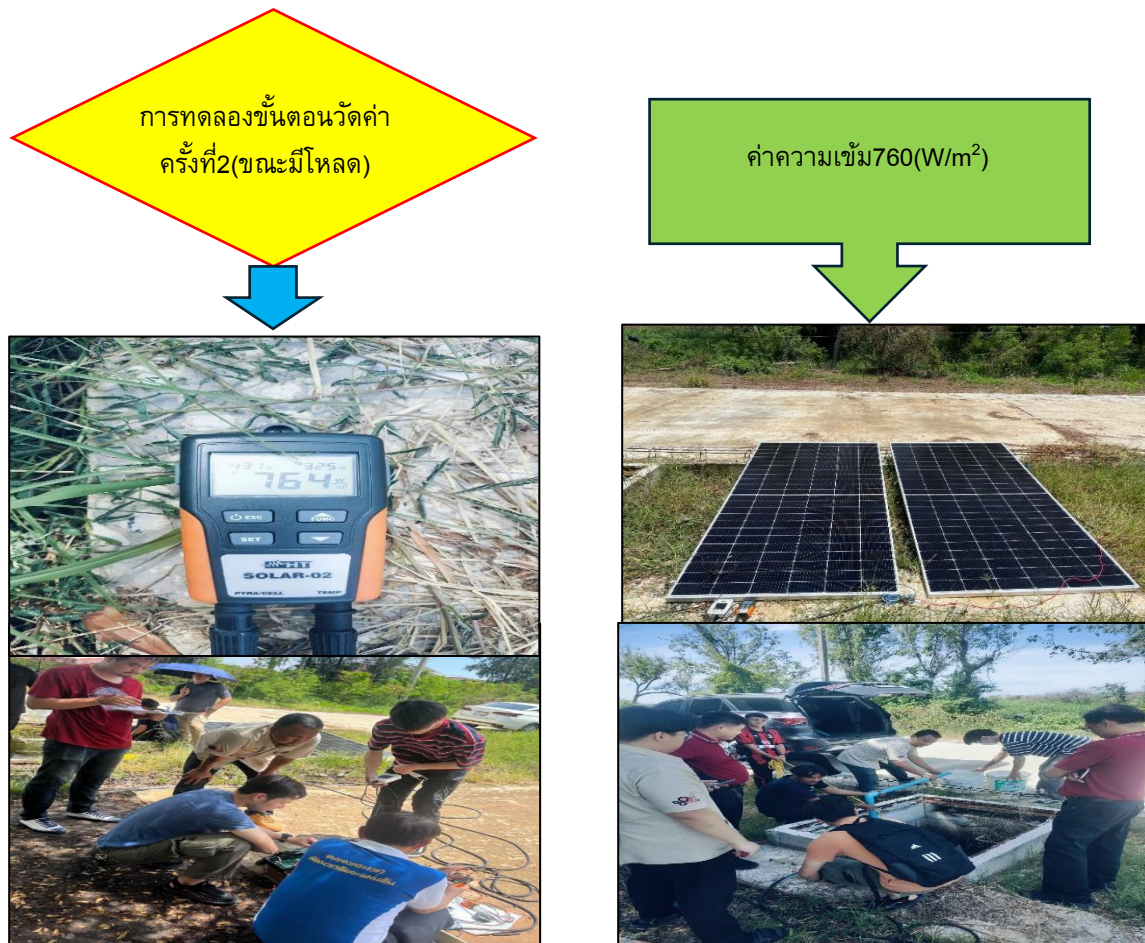
4.2 การทดลองขณะมีโหลด

จากผลการทดลองปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ขณะมีโหลด ทำการทดลองจำนวนสองครั้ง ใช้เวลาครั้งละ 1 นาที รวมเป็น 2 นาที ได้ค่าความเข้มแสง 160 - 764 วัตต์ต่อตารางเมตร กระแสไฟฟ้า 5.4 - 7.0 แอมป์ แรงดันไฟฟ้า 79.0 - 81.2 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 426.6 - 568.4 วัตต์ และความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 2,716 - 2,844 รอบต่อนาที ปริมาณน้ำที่ได้ในการทดลอง 80 - 100 ลิตร รวมทั้งสิ้น 180 ลิตร



ภาพที่ 3 การทดลองเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งที่ 1

ผลการทดลองขณะมีไหลด



ภาพที่ 5 การทดลองเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งที่ 2

ผลการทดลองขณะมีไหลด

ตารางที่ 2 ผลการทดลองขณะมีไหลดสภาพอากาศแดดจัด เวลา 10.30 น. วันที่ 16/6/2567

ครั้งที่	ค่าความเข้มแสง (W/m ²)	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กำลังไฟฟ้า (W)	ความเร็วรอบ (rpm)	ปริมาณน้ำ Lite/minute
1	660	5.4	79.0	624	2,716	80
2	764	7.0	81.2	640	2,844	100

ผลการทดลองขณะมีไหลด พบว่าสภาพอากาศแดดจัด ช่วงเวลา 10.30 น. ค่าความเข้มแสงยิ่งสูงจะทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าได้มาก และค่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะสูงตามค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ และทำให้ปริมาณน้ำที่ได้จากเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่า 100 ลิตรต่อนาที

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมระบบจ่ายน้ำและหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ วิธีดำเนินการโครงการโดยการออกแบบเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1080 วัตต์ 96 โวลต์ เลือกเครื่องสูบน้ำเป็นแบบปั๊มบาดาลขนาด 600 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าดีซี 45 - 150 โวลต์ ควบคุมระบบสูบน้ำโดยเลือกใช้อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้า (Inverter) นำไปทดลองที่ความลึกของบ่อน้ำ 2 เมตร ทดลองต่อไหลในสภาพอากาศแดดจัดได้ค่าความเข้มแสง 764 วัตต์ต่อตารางเมตร กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ 7 แอมป์ ค่าแรงดันไฟฟ้าดีซี 81.2 โวลต์ ค่ากำลังไฟฟ้า 640 วัตต์ และความเร็วรอบของมอเตอร์ 2,844 รอบต่อนาที อัตราการไหลของน้ำที่ได้คิดเป็น 100 ลิตรต่อนาที ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์คิดเป็นร้อยละ 67.75 ซึ่งสามารถนำน้ำประปาสะอาดที่ได้จากการสูบน้ำไปผลักดันความเค็มของดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Herbert Wade. Design, Selection and Installation of Solar Water Pumping Systems. World Back Group. 2019.
- [2] V.S.Korpale ,D.H.Kokate ,S.P.Deshmukh. Performance Assessment of Solar Agricultural Water Pumping System. Energy Procedia, pp. 518 – 524. 2016.
- [3] Birinchi Bora, Basudev Prasad, O.S. Sastry, Atul Kumar, Manander Bangar. ptimum sizing and performance modeling of Solar Photovoltaic (SPV) water pumps for different climatic conditions. Solar Energy, Volume 155, , pp. 1326-1338, 2017.
- [4] ประสิทธิ์ ภูสมมา กิตติ กอบัวแก้ว. นวัตกรรมพลังงานทดแทนสู่ภูมิปัญญาท้องถิ่นสำหรับอุตสาหกรรม การเลี้ยงกุ้งในชุมชนพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ. วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม. ปีที่ 8 เล่มที่ 2, หน้า 1-22. 2567.
- [5] ธวัชชัย สอนสนาม ประสิทธิ์ ภูสมมา ประยุทธ์ นิสกุล ชาลี อินทรชัย. เครื่องเติมอากาศในน้ำชนิดกังหันพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. ปีที่ 1 ฉบับที่ 3, หน้า 57-66, 2565.
- [6] วัศพล หมายชัย อมรเทพ ยศวรงค์เจริญ. การศึกษาความเป็นไปได้ในการสูบน้ำบาดาลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ . ปรินญาณพนธ์ . มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2558.
- [7] นฤตย์ จันทรน้อย กล้าหาญ ศรีคำผ่อง. การศึกษาการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก. โครงการนวัตกรรมชลประทาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2563.

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม

Journal of Energy and Environment Technology

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ: บทความควรมีความยาวไม่เกิน 9 หน้า กระดาษ A4 การตั้งค่าหน้ากระดาษ ขอบด้านบน 3 ซม. และด้านล่าง 1.5 ซม. ขอบด้านขวาและซ้าย 2.25 ซม. พิมพ์ด้วย ตัวอักษร "Browallia New" ขนาด 14 โดยหัวข้อต่างๆ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดาและพิมพ์ชิดขอบ ทั้งสองด้าน การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่อง ให้ใช้เลขกำกับ บทหน้าเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย เช่น 2.1 ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา

คำแนะนำในการเรียงลำดับเนื้อหา: ให้เรียงลำดับตามหัวข้อต่อไปนี้

ชื่อเรื่อง (Title): ควรกระชับ ชัดเจน ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ ชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 18 ตัวหนา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ชื่อผู้เขียน: ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของชื่อผู้เขียนให้ครบทุกคน และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับท้ายรายชื่อสำหรับผู้ประสานงาน ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ที่อยู่หรือหน่วยงาน: ระบุชื่อหน่วยงานหรือสถาบันใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวเอียง และ E-mail address ที่ติดต่อ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย

บทคัดย่อ (Abstract): ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้นำบทคัดย่อภาษาไทยขึ้นก่อนภาษาอังกฤษ ซึ่งต้องมีเนื้อหาตรงกัน ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว บรรทัดแรกเว้น 1 Tab เนื้อหาในบทคัดย่อควรระบุวัตถุประสงค์โดยย่อ ผลการวิจัย และบทสรุปโดยย่อ หัวข้อบทคัดย่อใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด 14 และพิมพ์ชิดขอบทั้งสองด้าน

คำสำคัญ (Keyword): ให้มีคำสำคัญเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่คนละหน้า ใต้บทคัดย่อ (Abstract) หัวข้อคำสำคัญใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดา

เนื้อหา (Text): บทความวิจัยประกอบด้วย

บทนำ (Introduction): บอกความสำคัญ หรือที่มาของปัญหาที่นำไปสู่การศึกษาวัตถุประสงค์ และอาจรวมการทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods): กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์ และการทดลองที่กระชับและชัดเจน

ผลการทดลอง (Results): บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน อาจมีรูปภาพหรือตารางที่ชัดเจนประกอบคำอธิบายได้

อภิปรายผลและสรุปผล (Discussion and Conclusion): อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมินการตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ควรมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผลและอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์ กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี): ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง

ตารางและรูป: ต้องมีความคมชัดและให้แทรกไว้ในบทความ มีคำอธิบายสั้นๆ แต่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า "ตารางที่..." และมีคำอธิบายไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า "รูปที่..."

ภาคผนวก (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง (References): บทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงเอกสารในบทความโดยเอกสารอ้างอิงระบบ Vancouver ดังตัวอย่างต่อไปนี้

[หนังสือ] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. ชื่อเมืองที่พิมพ์. ชื่อสำนักพิมพ์; ปีพิมพ์.

[วารสาร] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อย่อของวารสาร. ปีพิมพ์; เล่มที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

[วิทยานิพนธ์และการศึกษาค้นคว้าอิสระ] ชื่อผู้เขียน. ชื่อเรื่อง [ประเภทหรือระดับปริญญา]. เมืองที่พิมพ์: ชื่อมหาวิทยาลัย; ปีพิมพ์.

[หนังสือรวมเรื่อง] ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อบรรณาธิการ (บรรณาธิการ), ชื่อหนังสือ (ครั้งที่พิมพ์ตั้งแต่พิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป, หน้า). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

[หนังสือพิมพ์] ชื่อผู้แต่ง. (วันที่ เดือน ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์. เลขหน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

[สื่ออิเล็กทรอนิกส์] ชื่อโฮมเพจ/เว็บไซต์ [อินเทอร์เน็ต]. ชื่อเมืองที่พิมพ์: ชื่อสำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์ [ปรับปรุงเมื่อปี เดือน วันที่; เข้าถึงเมื่อปี เดือน วันที่]. เข้าถึงได้จาก: URL.

เกณฑ์การพิจารณา: บทความจะต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชานั้น 2-3 คน ซึ่งกองบรรณาธิการ อาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และทรงไว้ ซึ่งสิทธิในการตัดสินใจตีพิมพ์หรือไม่ก็ได้

“บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

แรงบันดาลใจ
สู่งานวิจัย
เพื่อโอกาสใหม่
ให้โลกใบนี้



ISSN (Print): 2392-5781