

วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม

Journal of Energy and Environment Technology
of Graduate School SiamTechnology College

ISSN 2392 – 5701

ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2568

Vol. 12 , No.1, January – June 2025



บัณฑิตวิทยาลัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม



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

ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2568): Vol. 12 No. 1 (January – June 2025)

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. รับต้นฉบับบทความที่เป็นไปตามเกณฑ์ รูปแบบ มาตรฐาน และแนวปฏิบัติที่วารสารกำหนดไว้โดยผ่านความเห็นชอบจากวารสารแล้วเท่านั้น (ไม่รับต้นฉบับบทความที่ไม่เป็นไปตามที่ระบุไว้) 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. รุกฤต 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.ศิระ สายสร รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ ดวงเดือน รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปรการเจริญ รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ด่วงทองสุข รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ รองศาสตราจารย์ ดร.สายพิน ไชยนั้นท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุโกศล วโนทยาพิทักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา สำราญพันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิธ แท่งศรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ ติรอต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา เครือชาลี ดร.สุทธิลักษณ์ ชุนประวัติ ดร.กฤติเดช ดวงใจบุญ ดร.กนกอร รจนากิจ ดร.ดิณณภพ จุ่มอิน ดร.กวินเวทย์ พิพิธนันทนธร ดร.ทรงพล นครศรีเรืองศักดิ์ อาจารย์วิชญ์ บุญมาก อาจารย์ปิยะนัฐ ใจตรง อาจารย์เฉลิมพล เมืองลือ อาจารย์จิรวัดน์ กรุณา อาจารย์สงกรานต์ ภารกุล อาจารย์กัญญ์ สุริยันต์ อาจารย์วิศิษฐ์ รัตนมิตร อาจารย์ปัญญ์พัชรกร บุญพร้อม อาจารย์สารสิน โคตรธาดา มหาวิทยาลัยปทุมธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มหาวิทยาลัยธนบุรี มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก มหาวิทยาลัยธนบุรี มหาวิทยาลัยธนบุรี มหาวิทยาลัยปทุมธานี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม	

หน้าที่

1. ให้ข้อคิด แนวทาง คำปรึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะในการดำเนินการจัดทำวารสารให้มีคุณภาพ เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้การดำเนินงานจัดทำวารสารสำเร็จลุล่วงด้วยดี
2. พิจารณาและประเมินบทความที่ส่งเข้าสู่กระบวนการของวารสารตามความเหมาะสม

ฝ่ายประสานงานและเลขานุการกองบรรณาธิการ

อาจารย์ชลิดา โปะมา

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อาจารย์สารสิน โคตรธาดา

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Reviewers) ปีที่ 12 ฉบับที่ 1

รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา ส้าราษฎร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐกฤต ปานชลธิ

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล คูพิมาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ภูเกล้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ภูสมมา

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูวดล โพธิ์แดง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญา มุขดา

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิสุทธิพงศ์ คงรุ่งโชค

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

ดร.ชยพล ผู้พัฒน์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ดร.จุฑารัตน์ แก้วบุญชู

มหาวิทยาลัยมหิดล

ดร.ทรงพล นครศรีเรืองศักดิ์

มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก

ดร.กวินเวทย์ พิพิธนันทนัยธร

มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก

ดร.กฤษฎา เครือชาลี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ดร.ธนเสฏฐ์ อัคคัญญ์ภูติส

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ดร.สุทธิลักษณ์ ชุนประวัต

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ดร.กฤติเดช ดวงใจบุญ

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ดร.ไพโรจน์ หอมอ่อน

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ดร.ติณณภาพ จุ่มอิน

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ดร.วิศวะ มาลากรณ์

นักวิจัยอิสระ

อาจารย์วิษณุ บุญมาก

มหาวิทยาลัยธนบุรี

อาจารย์จิรวัดน์ กรุณา

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อาจารย์สงกรานต์ ภารกุล

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อาจารย์กำจัด ใจตรง

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อาจารย์ภัทรมนตร์ ธนเดชา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

อาจารย์เฉลิมพล เมืองลือ

มหาวิทยาลัยปทุมธานี

อาจารย์วัชรินทร์ รัตนมิตร

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อาจารย์ปัญญ์พัชรกร บุญพร้อม

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

อาจารย์สารสิน โคตรธาดา

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

บทบรรณาธิการ

ในบริบทของการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในระดับโลก การพัฒนาเทคโนโลยีได้ปรับเปลี่ยนทิศทางไปสู่แนวทางที่ให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการลดผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ อันเป็นพื้นฐานสำคัญของการพัฒนาที่ยั่งยืน ทั้งนี้ เทคโนโลยีพลังงานสะอาดนับเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทในการขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรม เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันและอนาคต ด้วยเจตนารมณ์ของวิทยาลัยเทคโนโลยีสยามที่มุ่งมั่นส่งเสริมและพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 1 ประจำปีที่ 12 ได้รับการจัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย และบทความวิชาการที่มีคุณภาพ ซึ่งครอบคลุมหลากหลายสาขาวิชา ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ และตอบสนองต่อความท้าทายของการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามตระหนักถึงความสำคัญของการบูรณาการองค์ความรู้จากหลากหลายศาสตร์ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาแนวคิด นวัตกรรม และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่สอดคล้องกับบริบทของสังคมในยุคปัจจุบัน วารสารฉบับนี้จึงเป็นเวทีหนึ่งในการส่งเสริมการสร้างสรรค์ทางวิชาการที่มีคุณภาพต่อการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานสะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

กองบรรณาธิการขอเชิญชวนนักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจ ส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้ โดยขอความร่วมมือในการปฏิบัติตามข้อกำหนด และแนวทางที่วารสารกำหนดไว้อย่างเคร่งครัด ทั้งนี้เพื่อรักษามาตรฐานทางวิชาการ และสร้างความน่าเชื่อถือในระดับสากล

สุดท้ายนี้ ขอแสดงความขอบคุณอย่างจริงใจต่อคณะกรรมการที่ปรึกษา ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้อ่านทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด ทั้งนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม จะยังคงเป็นแหล่งบ่มเพาะองค์ความรู้ทางวิชาการ และเป็นแรงผลักดันให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนในทุกมิติ



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุกฤต ปานชลธิ

บรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
1. การออกแบบและสร้างระบบไอโอทีสำหรับโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ พัฒน ดุรงค์ดำรงชัย ศรารุช โพธิยา กิตติพันธ์ นวเกียรติกร กิตติศักดิ์ ดียา และ ชัยพร อัดโตดต	1
2. การศึกษาเชิงตัวเลขของการถ่ายโอนความร้อนแบบคอนจูเกตในครีประบายความร้อนที่ใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ชาติชาย ลีลาสิริวิไล จงจิตร หิรัญลาก ชัยพร สุภาหิตานุกุล สุขเมธ สถิตบุญอนันต์ และ โจเซฟ เคนดารี	15
3. การพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และหลักการทำธุรกิจที่ยั่งยืน (ESG) ภราดร เพ็งแจ่ม ชัยพร สุภาหิตานุกุล จงจิตร หิรัญลาก และโจเซฟ เคนดารี	28
4. การลดอุณหภูมิในห้องใต้หลังคาที่มีหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทหล่อเย็นด้วย CLOHP นพรัตน์ สีหะวงษ์ นินนาท ราชประดิษฐ์ และปิยะนันท์ เจริญสวรรค์	41
5. การประเมินการใช้พลังงานและศักยภาพพลังงานทดแทน กรณีศึกษา เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา จังหวัดเชียงใหม่ ธนาวัฒน์ ไชยโย รจพรณ นริฐศิลป์ ภคมน ปินตานา และธนศ ไชยชนะ	51
6. การศึกษามาตรการที่เหมาะสมในการจัดการพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาคเกษตรกรรมเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน : กรณีศึกษาการปลูกและแปรรูปกล้วย เสกสรร นันทเขต จุกฤต ปานชลธิ และจุฑารัตน์ แก้วบุญชู	62
7. การสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแขวนใต้ฝ้าเพื่อควบคุมการใช้พลังงานให้เหมาะสมในห้องเรียนวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม สงกรานต์ การกุล และกำจัด ใจตรง	72
8. การออกแบบระบบชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับขยายอัตโนมัติสำหรับรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง ศรายุทธ โรหิตเสถียร อุดมศักดิ์ โชติมงคล และสมบุญ โคกผา	81
9. การประยุกต์ใช้ Generative AI เพื่อลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากกระบวนการจัดทำเอกสารในสถาบันการศึกษา : กรณีศึกษา NotebookLM สุทธิลักษณ์ ชุนประวัติ วุฒิชัย เกษพานิช และชลิดา โป๊ะมา	91
10. การประยุกต์เครื่องมือวิศวกรรมอุตสาหการในการปรับปรุงกระบวนการผลิตตัวอ่างล้างหน้าอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กรณีศึกษา : บริษัทผลิตตัวอ่างล้างหน้าในอำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี ประหยัด มีบุญเกิด และสุนทร แสงเพชร	100

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย

หน้า

- 11 การใช้อาหารวันที่ไม่นั่งฆ่าเชื้อเพื่อประหยัดพลังงานในการขยายพันธุ์พืชโดยวิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเชิงอุตสาหกรรม 116
สุเทพ ทองแพ และเพชรรัตน์ จันทรทิณ

บทความวิชาการ

- 12 การพยากรณ์การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นต์ (CFO) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) 124
ในการขนส่งของบริษัทรถพ่วงขนาดเล็กในประเทศไทยตามปัจจัยการวัดประสิทธิภาพยานยนต์
ธนิตศักดิ์ พุฒิพัฒน์โมษิต เปรมพร เขมาวุฒม์ อานันท์ บุตรรัตน์ กวินเวทย์ พิพิธนาชนยธร และอัสริยากร สง่าอารีย์กุล
- 13 การวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์เพื่อการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในอุตสาหกรรมขนส่งของ 134
ประเทศไทยสู่ความยั่งยืน
กวินเวทย์ พิพิธนาชนยธร ศักดิ์ กองสุวรรณ ชลิดา โปะมา และณรงค์ฤทธิ์ ยัมเจริญพรสกุล

การออกแบบและสร้างระบบไอโอทีสำหรับโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN AUTOMATIC IoT SYSTEM FOR OUTDOOR LAMP CONTROLLED BY A MICROCONTROLLER

พิพัฒน์ ดรุงดุมรงชัย¹ สราวุธ โพธิยา^{2*} กิตติพันธ์ นวเกียรติกร¹ กิตติศักดิ์ ดียา¹ และชัยพร อัดโดดดร¹

Pipat Durongdumrongchai¹ Saravuth Pothiya^{2*} Kittipan Nawakiattikorn¹ Kittisak Deeya¹ and Chaiporn Addoddorn¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Northeastern University, Khon Kaen

² บริษัทโปรดักชั่น โซลูชั่นส์ จำกัด ระยอง

² Production Solutions (Thailand) Company Limited, Rayong

* Corresponding, E-mail: Saravuth.joey.pothiya@gmail.com

Received: December 4, 2024

Revise: June 19, 2025

Accepted: June 19, 2025

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบไอโอทีสำหรับโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ วัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างไม่ต่ำกว่า 50 ลักซ์ ภายในบริเวณพื้นที่ 16 ตารางเมตร ใช้สำหรับพื้นที่กลางแจ้ง สามารถใช้ได้ทั้งในสวน ทางเดิน หรือลานกิจกรรมต่างๆ โดยมีหลักการทำงาน ดังนี้ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ประมวลผลค่าแสงที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับแสงแอลดีอาร์ ถ้ากรณีค่าแสงมีความส่องสว่างต่ำกว่า 100 ลักซ์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้โคมไฟสนามทำงานแบบอัตโนมัติ ในส่วนของโคมไฟจะเป็นโคมไฟที่ติดตั้งหลอดไฟฟ้านิรภัยแอลอีดีเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสง สามารถเปิดใช้งานต่อเนื่องได้เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 4 ชั่วโมง ส่วนระบบไอโอทีที่ได้ออกแบบไว้ สามารถสั่งการเปิดปิดการทำงาน พร้อมทั้งยังสามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าค่ากระแสไฟฟ้า และค่าความส่องสว่างผ่านสมาร์ตโฟนด้วยแอปพลิเคชัน Blynk ได้ ในส่วนของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังไฟฟ้า 20 วัตต์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ที่มีวงจรแสดงสถานะแบตเตอรี่ด้วยหลอดแอลอีดี 5 ระดับจากผลการทดสอบโคมไฟสนามที่นำเสนอนี้ สามารถให้ค่าความส่องสว่างสูงสุดที่ค่า 1,000 ลักซ์ และค่าความส่องสว่างต่ำสุด 60 ลักซ์ ภายในบริเวณพื้นที่ที่กำหนด ซึ่งค่าความส่องสว่างต่ำสุดเป็นไปตามขอบเขตที่ได้ตั้งไว้ และสามารถเปิดใช้งานได้ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง 20 นาที การสั่งเปิดปิดการทำงาน การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าค่ากระแสไฟฟ้า และค่าความส่องสว่างผ่านสมาร์ตโฟนด้วยแอปพลิเคชัน Blynk สามารถทำได้ดี ดังนั้น โคมไฟสนามที่ได้ออกแบบไว้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการ และสามารถนำไปใช้งานได้จริงตามสถานที่ต่างๆ ทำให้ช่วยอำนวยความสะดวกเป็นอย่างมาก

คำสำคัญ: ระบบไอโอที โคมสนาม อัตโนมัติ ไมโครคอนโทรลเลอร์ สมาร์ตโฟน

Abstract

This article presents the design and construction of an IoT system for an automatic field lamp controlled by a microcontroller. The purpose is to achieve an illumination of not less than 50 Lux within an area of 16 square

meters. It is used for outdoor areas, whether in gardens, walkways, or activity areas. The working principle is as follows: It uses a NodeMCU ESP8266 microcontroller as a processor, which processes the light value obtained from the LDR light detector. If the illumination value is less than 100 Lux, the microcontroller will command the field lamp to operate automatically. The lamp is equipped with an LED light bulb as a light source. It can be used continuously for at least 4 hours. The IoT system designed can be turned on and off, and can also read voltage, current, and illumination values via a smartphone using the Blynk application. As for the voltage source, a 20 Watts, 12 Volt DC solar cell is used as the power source for charging the battery, which has a 5 level LED battery status indicator circuit. From the test results of the field lamp presented here, It can provide a maximum illumination of 1,000 Lux and a minimum illumination of 60 Lux within a specified area. The minimum illumination is within the set range and can be used continuously for 4 hours and 20 minutes. The on/off command, reading voltage, current, and illumination values via a smartphone with the Blynk application can also be done well. Therefore, it can be concluded that the designed outdoor lamp achieves its intended purpose and can also be used in various places, providing great convenience.

Keywords: IoT System, Outdoor lamp, Automatic, Microcontroller, Smartphone

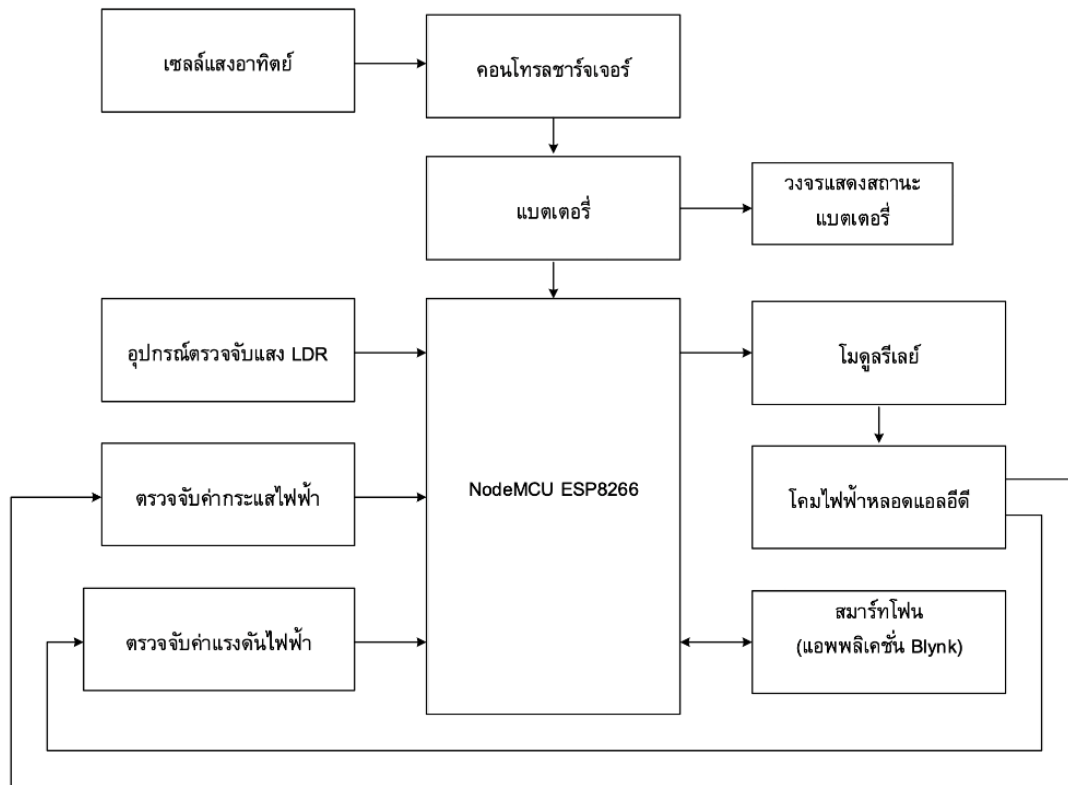
1. บทนำ

การใช้โคมไฟสนามเริ่มต้นจากความต้องการในการสร้างความส่องสว่างในพื้นที่กลางแจ้ง โดยมีต้นกำเนิดจากการใช้ความส่องสว่างจากธรรมชาติ เช่น ความส่องสว่างจากฟืนหรือเทียน ก่อนที่จะพัฒนาเป็นโคมไฟฟ้าในยุคอุตสาหกรรม ในสมัยก่อนผู้คนใช้ความส่องสว่างจากฟืนหรือหลอดไฟน้ำมันเพื่อให้แสงสว่างในยามค่ำคืน เมื่อมีการพัฒนาไฟฟ้าและเทคโนโลยีการผลิตโคมไฟ [1] ทำให้โคมไฟสนามเริ่มมีความหลากหลายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ปัจจุบันมีการพัฒนาโคมไฟสนามที่ใช้พลังงานจากโซลาร์เซลล์ [2] ซึ่งจะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและช่วงประหยัดพลังงาน การใช้โคมไฟสนามจึงไม่เพียงแต่ตอบสนองความต้องการพื้นฐานในการให้ความส่องสว่าง แต่ยังช่วยส่งเสริมความปลอดภัยและความสะดวกสบายในชีวิตประจำวันได้อีกด้วย และในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์เราเป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เครื่องมือ เครื่องใช้ภายในบ้านไม่ว่าจะเป็นเตาอบไมโครเวฟ เครื่องชงกาแฟ เครื่องปั๊มน้ำอัตโนมัติ เครื่องซักผ้า และอื่นๆ อีกมากมาย ล่าสุดมีเทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่าระบบไอโอที หรือ (Internet of Things : IoT) หรือ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง [3,4] เป็นยุคที่น่าทุกอย่างเชื่อมเข้าหากันหมดด้วยเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าแทบทุกอย่างกลายเป็นอุปกรณ์ที่ชาญฉลาด (Smart Device) อย่างสมบูรณ์แบบ ซึ่งจะส่งผลให้มนุษย์เราสามารถสื่อสารและสั่งการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ นับล้านชิ้นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรในโรงงาน ต่างๆ รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในภายนอกบ้าน และอื่นๆ อีกมากมายที่เข้ามาช่วยทำให้การใช้ชีวิตของคนเราเปลี่ยนไปในทิศทางที่ดีขึ้น สะดวกขึ้น และปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โคมไฟสนามอัตโนมัติก็เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่เริ่มสร้างขึ้นมาเพื่อช่วยให้พื้นที่กลางแจ้งเกิดความส่องสว่างเพิ่มขึ้น ทำให้ลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุและเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การโจรกรรม ช่วยให้เราสามารถทำกิจกรรมต่างๆ ได้ในเวลาากลางคืน เช่น การออกกำลังกาย งานสังสรรค์ หรือกิจกรรมกลางแจ้ง ใช้ในการตกแต่งและสร้างบรรยากาศที่น่าสนใจในสวน ลานกิจกรรม หรือพื้นที่สาธารณะ โดยโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้นำเสนอนี้ใช้หลอดแอลอีดีติดตั้งกับดวงโคมฉาย มีการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ โคมไฟสนามอัตโนมัติยังสามารถสั่งการด้วยสมาร์ตโฟน (Smart Phone) ผ่านแอปพลิเคชันได้ [5,6] ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ได้เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาเพื่อช่วยเพิ่มความสะดวกสบายให้กับมนุษย์ในการใช้ชีวิตประจำวัน ในยุคที่มีแต่ความเร่งรีบและการแข่งขันการทำงานเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดที่จะสร้างโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติเพื่อใช้ในการศึกษา และทำการทดสอบเกี่ยวกับระบบไอโอทีในการ

ใช้งานเกี่ยวกับระบบแสงสว่างในพื้นที่กลางแจ้งผ่านสมาร์ทโฟน และสามารถควบคุมการทำงานผ่านสมาร์ทโฟนได้อีกด้วย

2. การออกแบบและสร้างระบบไอโอทีสำหรับโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติ

2.1 แผนภาพการทำงาน



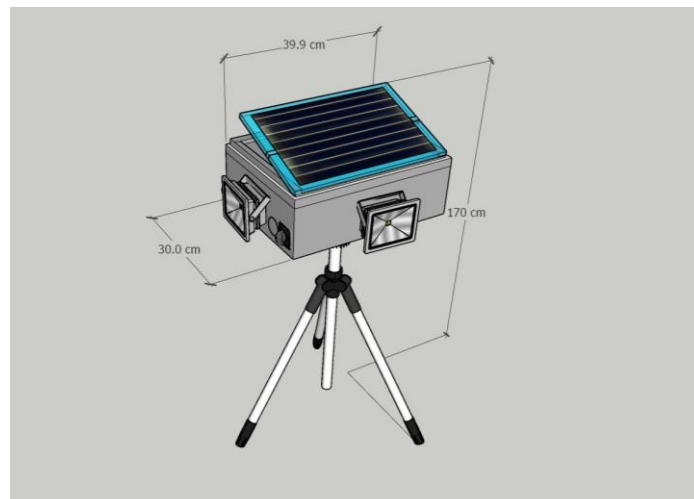
รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานของระบบไอโอทีสำหรับโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติ

จากแผนภาพการทำงานในรูปที่ 1 มีหลักการทำงาน ดังนี้ เริ่มต้นจากเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วป้อนค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไปที่คอนโทรลชาร์จเจอร์ เพื่ออัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ที่เชื่อมต่อกับวงจรแสดงสถานะแบตเตอรี่ด้วยหลอดแอลอีดี สีแดง เหลือง และเขียว จากนั้นแบตเตอรี่ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับ NodeMCU ESP8266 [7] โดย NodeMCU ESP8266 เป็นส่วนประมวลผลหลักในการควบคุมการเปิดและปิดชุดโคมไฟหลอดแอลอีดีที่ได้รับสัญญาณอินพุตจากอุปกรณ์ตรวจจับแสง LDR (Light Dependent Resistor) กรณีในสภาวะที่มีความเข้มแสงน้อย ระบบก็จะรับรู้ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับแสง LDR ส่วนประมวลผลหลักก็จะส่งสัญญาณเอาต์พุตเพื่อสั่งการให้ชุดโคมไฟหลอดแอลอีดีทำงาน แต่ถ้ากรณีในสภาวะที่มีความเข้มแสงมาก ส่วนประมวลผลหลักก็จะส่งสัญญาณเอาต์พุตเพื่อสั่งการให้ชุดโคมไฟหลอดแอลอีดีไม่ทำงาน ในส่วนของระบบไอโอทีได้ทำการเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนผ่านแอปพลิเคชัน Blynk [8] เพื่อการควบคุมการเปิดและปิดชุดโคมไฟหลอดแอลอีดี และสามารถแสดงผลของค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทำงานของหลอดไฟฟ้าแอลอีดีได้ด้วย โดยได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์ตรวจจับค่าแรงดันไฟฟ้ากับชุดโคมไฟหลอดแอลอีดี จึงทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบได้

2.2 การออกแบบโครงสร้างโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติ โดยการประยุกต์ใช้ตู้ควบคุมกันน้ำที่มีความกว้าง 20 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร และความสูง 10 เซนติเมตร ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 20 วัตต์ ที่มีความกว้าง 25 เซนติเมตร ความยาว 25 เซนติเมตร และความสูง 25 เซนติเมตร ใช้ขาตั้งแบบสำเร็จรูปที่แข็งแรงและสามารถปรับความสูงต่ำได้ที่ระยะความสูง 1 ถึง 1.6 เมตร โดยส่วนประกอบของโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติ มีดังนี้

1) เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 12 โวลต์	1 แผง
2) คอนโทรลเลอร์จเจอร์	1 ตัว
3) แบตเตอรี่ 12 วัตต์ ขนาด 7 แอมแปร์ต่อชั่วโมง	2 ก้อน
4) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266	1 ชุด
5) ขาตั้งสามขา	1 ชุด
6) โคมไฟหลอดแอลอีดี ชุดละ 10 วัตต์	4 ชุด
7) หลอดแอลอีดี สีแดง เหลือง เขียว	6 หลอด
8) LDR	1 ตัว
9) อุปกรณ์ตรวจจับค่าแรงดันไฟฟ้า	1 ตัว
10) อุปกรณ์ตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้า	1 ตัว
11) ตู้ควบคุมกันน้ำ	1 กล่อง

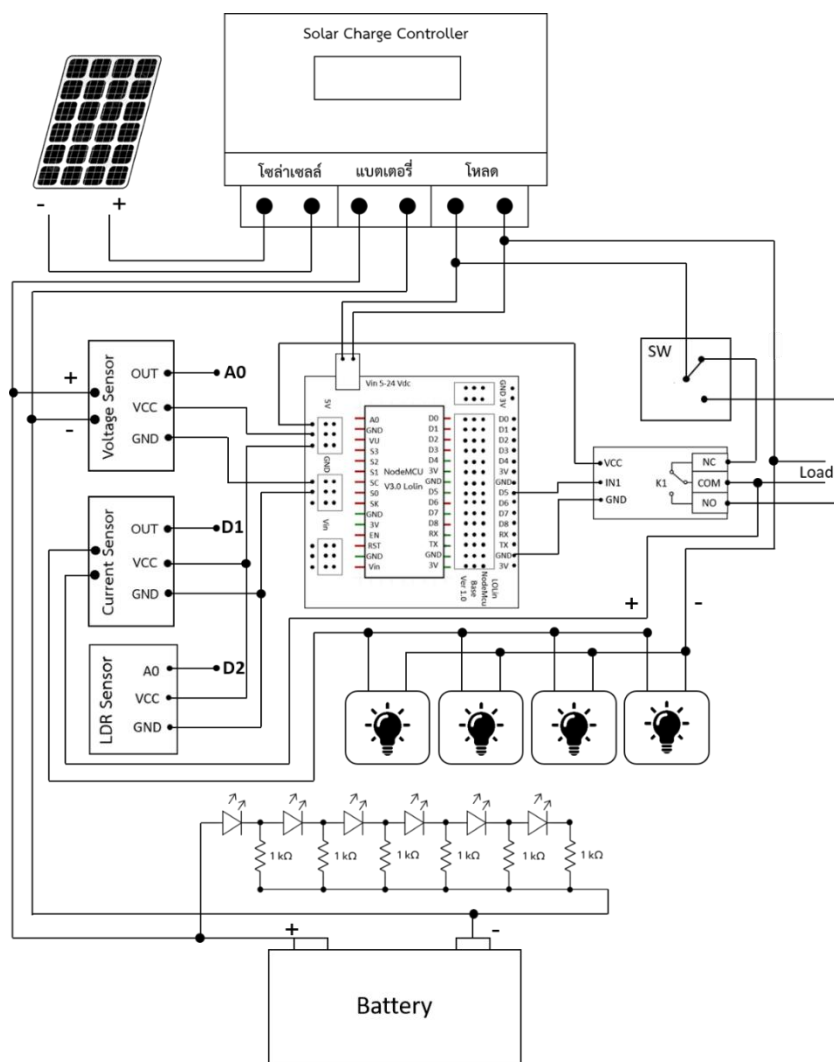


รูปที่ 2 โครงสร้างโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติ

2.3 วงจรควบคุมการทำงาน

จากวงจรควบคุมการทำงานในรูปที่ 3 จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ เริ่มจากส่วนแรกเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับคอนโทรลเลอร์จเจอร์ เพื่ออัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ที่เชื่อมต่อกับวงจรแสดงสถานะแบตเตอรี่ด้วยหลอดแอลอีดี สีแดง เหลือง และเขียว มีจำนวน 6 ตัว ที่ต่อเป็นวงจรวัดแรงดันไฟฟ้า กรณีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 70 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ หลอดแอลอีดีสีเขียวทำงาน กรณีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 50 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ หลอดแอลอีดีสีเหลืองทำงาน และ กรณีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ต่ำกว่า

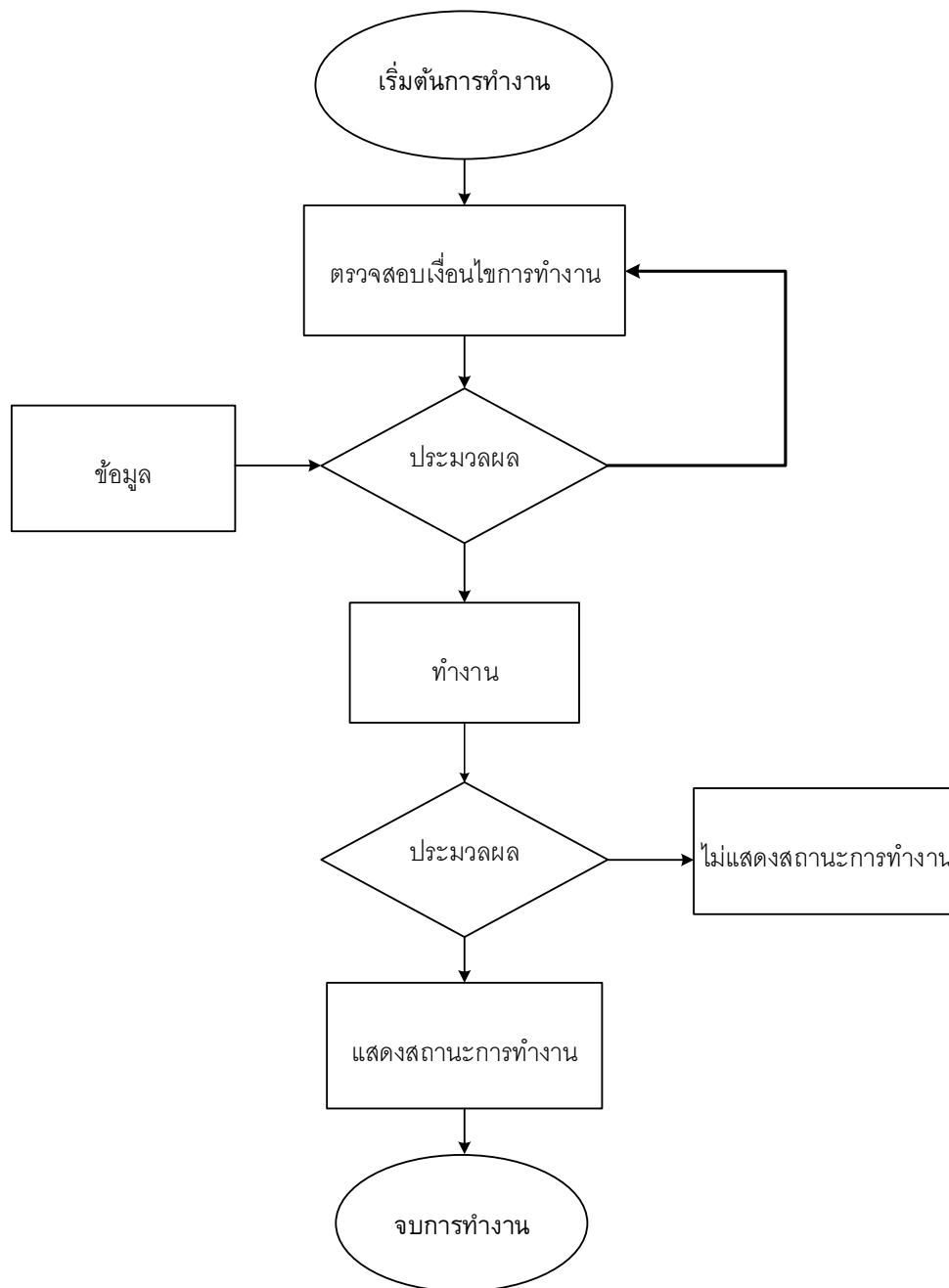
50 เปอร์เซ็นต์ หลอดแอลอีดีสี่ดวงทำงาน เมื่อแบตเตอรี่เต็มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายให้กับ NodeMCU ESP8266 ซึ่ง NodeMCU ESP8266 เป็นส่วนประมวลผลหลักในการควบคุมการเปิดและปิดชุดโคมไฟหลอดแอลอีดี โดยจะรับสัญญาณอินพุตจากอุปกรณ์ตรวจจับแสง LDR (Light Dependent Resistor) กรณีในสภาวะที่มีความเข้มแสงน้อยส่งผลทำให้ค่าความส่องสว่างในพื้นที่ต่ำกว่า 100 ลักซ์ ส่วนประมวลผลหลักก็จะส่งสัญญาณเอาต์พุตเพื่อสั่งการให้ชุดโคมไฟหลอดแอลอีดีทั้ง 4 ชุด ทำงาน โดยมีโมดูลรีเลย์มาช่วยในการตัดต่อวงจรควบคุมอัตโนมัติ แต่ถ้ากรณีในสภาวะที่มีความเข้มแสงมากส่งผลทำให้ค่าความส่องสว่างในพื้นที่สูงกว่า 100 ลักซ์ ส่วนประมวลผลหลักก็จะส่งสัญญาณเอาต์พุตเพื่อสั่งการให้ชุดโคมไฟหลอดแอลอีดีทั้ง 4 ชุด หยุดทำงานในส่วนของระบบไอโอทีได้ทำการเชื่อมต่อกับสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชัน Blynk เพื่อการควบคุมการเปิดและปิดชุดโคมไฟหลอดแอลอีดี และสามารถแสดงผลของค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทำงานของหลอดไฟฟ้าแอลอีดีได้ด้วย โดยได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์ตรวจจับค่าแรงดันไฟฟ้ากับชุดโคมไฟหลอดแอลอีดี จึงทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบได้ โหมดการทำงานของระบบ คือ แบบแมนนวลและแบบอัตโนมัติ โดยสามารถเลือกโหมดการทำงานได้จากปรับสวิตช์



รูปที่ 3 วงจรควบคุมการทำงานโคมไฟสนาม

2.4 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

จากรูปที่ 4 เริ่มต้นการใช้งานด้วยการเลือกโหมดการทำงานของระบบโดยการสวิตช์ ซึ่งจะเป็นการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานที่ของโคมไฟสนามในโหมดการทำงานแบบแมนนวลหรือโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ กรณีเลือกโหมดการทำงานแบบแมนนวล ผู้ใช้จะสามารถทำการเปิดปิดโคมไฟสนามได้ตลอดเวลา รวมถึงการควบคุมการทำงานผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ด้วย แต่ถ้ากรณีเลือกโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติมีเงื่อนไขการทำงานเข้ามาร่วมควบคุมด้วยกรณีในสภาวะที่มีความเข้มแสงน้อยส่งผลทำให้ค่าความส่องสว่างในพื้นที่ต่ำกว่า 100 ลักซ์ ส่วนประมวลผลหลักส่งสัญญาณเอาต์พุตเพื่อสั่งการให้ชุดโคมไฟหลอดแอลอีดีทั้ง 4 ชุด ทำงาน แต่ถ้ากรณีในสภาวะที่มีความเข้มแสงมากส่งผลทำให้ค่าความส่องสว่างในพื้นที่สูงกว่า 100 ลักซ์ ส่วนประมวลผลหลักส่งสัญญาณเอาต์พุตเพื่อสั่งการให้ชุดโคมไฟหลอดแอลอีดีทั้ง 4 ชุด หยุดทำงาน



รูปที่ 4 โปรแกรมควบคุมการทำงานโคมไฟสนาม

3. ผลการทดสอบ

การทดสอบระบบไอโอทีสำหรับโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีดังนี้ มีการทดสอบการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันผ่านสมาร์ทโฟน และมีการทดสอบการทำงานของโคมไฟสนามในเรื่องของความส่องสว่างว่าได้ตามขอบเขตที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ คือ โคมไฟสนามสามารถให้ค่าความส่องสว่างได้ไม่ต่ำกว่า 50 ลักซ์ ภายในบริเวณพื้นที่ 16 ตารางเมตร การทดสอบก็จะวัดค่าความส่องสว่างภายในพื้นที่ที่กำหนดที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงคือโคมไฟสนามทั้ง 4 ด้าน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทดสอบการทำงานของโคมไฟสนามที่ถ่ายจากภาพจริง

3.1 การวัดค่าความส่องสว่างด้านที่ 1

เพื่อทดสอบวัดค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจากปริมาณแสงที่ได้จากโคมไฟสนามต่อพื้นที่ที่กำหนด ซึ่งใช้ลักซ์มิเตอร์ในการวัดค่าความส่องสว่างภายในพื้นที่ได้ทดสอบ โดยทำการวัดค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในด้านที่ 1 ที่ความสูงของโคมไฟสนาม 1 เมตร และ 1.6 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1 เมตร

ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความส่องสว่าง (ลักซ์)
0.3	1,042
0.6	351
0.9	158
1.2	96
1.5	67

ตารางที่ 2 ค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1.6 เมตร

ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความส่องสว่าง (ลักซ์)
0.3	305
0.6	203
0.9	133
1.2	82
1.5	60

3.2 การวัดค่าความส่องสว่างด้านที่ 2

เพื่อทดสอบวัดค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจากปริมาณแสงที่ได้จากโคมไฟสนามต่อพื้นที่กำหนด ซึ่งใช้ลักซ์มิเตอร์ในการวัดค่าความส่องสว่างภายในพื้นที่ได้ทดสอบ โดยทำการวัดค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในด้านที่ 2 ที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1 เมตร และ 1.6 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1 เมตร

ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความส่องสว่าง (ลักซ์)
0.3	1,059
0.6	350
0.9	156
1.2	99
1.5	69

ตารางที่ 4 ค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1.6 เมตร

ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความส่องสว่าง (ลักซ์)
0.3	303
0.6	206
0.9	129
1.2	80
1.5	65

3.3 การวัดค่าความส่องสว่างด้านที่ 3

เพื่อทดสอบวัดค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจากปริมาณแสงที่ได้จากโคมไฟสนามต่อพื้นที่กำหนด ซึ่งใช้ลักซ์มิเตอร์ในการวัดค่าความส่องสว่างภายในพื้นที่ได้ทดสอบ โดยทำการวัดค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในด้านที่ 3 ที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1 เมตร และ 1.6 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 ค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1 เมตร

ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความส่องสว่าง (ลักซ์)
0.3	1,040
0.6	350

ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความส่องสว่าง (ลักซ์)
0.9	161
1.2	98
1.5	66

ตารางที่ 6 ค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1.6 เมตร

ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความส่องสว่าง (ลักซ์)
0.3	300
0.6	201
0.9	131
1.2	85
1.5	61

3.4 การวัดค่าความส่องสว่างด้านที่ 4

เพื่อทดสอบวัดค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจากปริมาณแสงที่ได้จากโคมไฟสนามต่อพื้นที่กำหนด ซึ่งใช้ลักซ์มิเตอร์ในการวัดค่าความส่องสว่างภายในพื้นที่ได้ทดสอบ โดยทำการวัดค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในด้านที่ 4 ที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1 เมตร และ 1.6 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 ค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1 เมตร

ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความส่องสว่าง (ลักซ์)
0.3	1045
0.6	358
0.9	159
1.2	96
1.5	66

ตารางที่ 8 ค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1.6 เมตร

ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความส่องสว่าง (ลักซ์)
0.3	306
0.6	200
0.9	131
1.2	80
1.5	64

ในการออกแบบคาดหวังว่าค่าความส่องสว่างของทั้ง 4 ด้าน ที่เกิดขึ้นจากปริมาณแสงที่ได้จากโคมไฟสนาม ตกกระทบบต่อพื้นที่กำหนดมีค่าเท่ากันทั้งหมด แต่จากผลลัพธ์ของการทดสอบ พบว่า ค่าความส่องสว่างของโคมไฟสนามในแต่ละด้านมีค่าความส่องสว่างใกล้เคียงกันในทุกด้าน ถึงแม้ว่าค่าความส่องสว่างที่ได้ออกมาไม่เท่ากันแบบ 100 เปอร์เซ็นต์

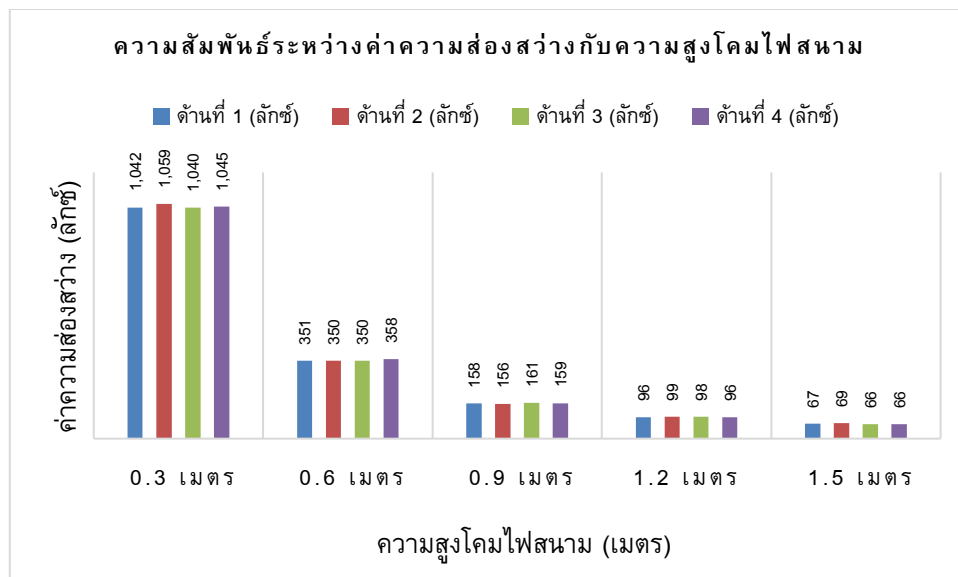
แต่ถือว่าเป็นความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยที่อาจจะเกิดขึ้นได้ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะทางหรือความคลาดเคลื่อนจากความไม่นิ่งของมือที่จับลักซ์มิเตอร์ในขณะที่ทำการวัดค่าความส่องสว่าง

3.5 ค่าเฉลี่ยจากการวัดค่าความส่องสว่างทั้ง 4 ด้าน

เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของการวัดค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1 เมตร และ 1.6 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10

ตารางที่ 9 ค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1 เมตร

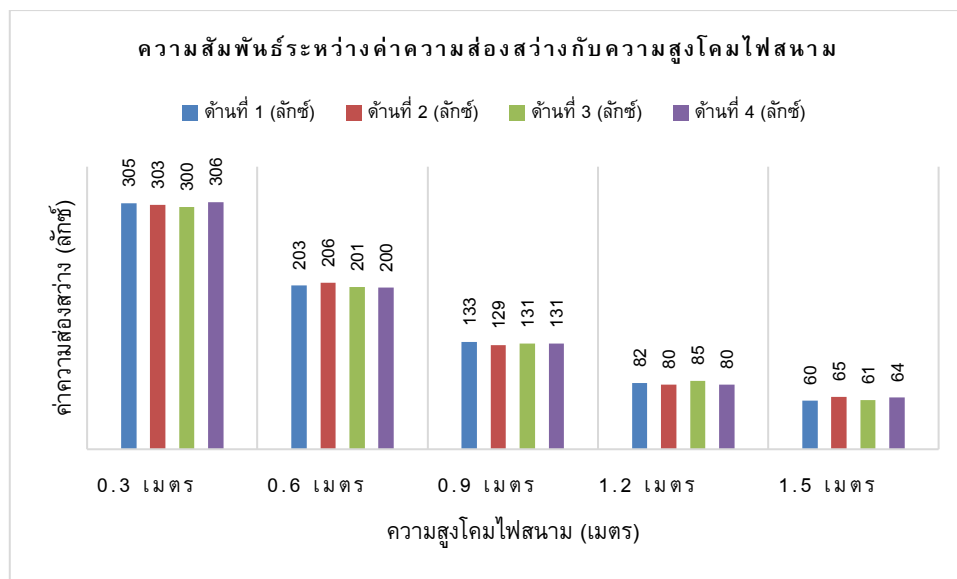
ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความ ส่องสว่าง ด้านที่ 1 (ลักซ์)	ค่าความ ส่องสว่าง ด้านที่ 2 (ลักซ์)	ค่าความ ส่องสว่าง ด้านที่ 3 (ลักซ์)	ค่าความ ส่องสว่าง ด้านที่ 4 (ลักซ์)	ค่าเฉลี่ยของการ วัดค่าความ ส่องสว่าง (ลักซ์)
0.3	1,042	1,059	1,040	1,045	1,047
0.6	351	350	350	358	352
0.9	158	156	161	159	159
1.2	96	99	98	96	97
1.5	67	69	66	66	67



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1 เมตร

ตารางที่ 10 ค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1.6 เมตร

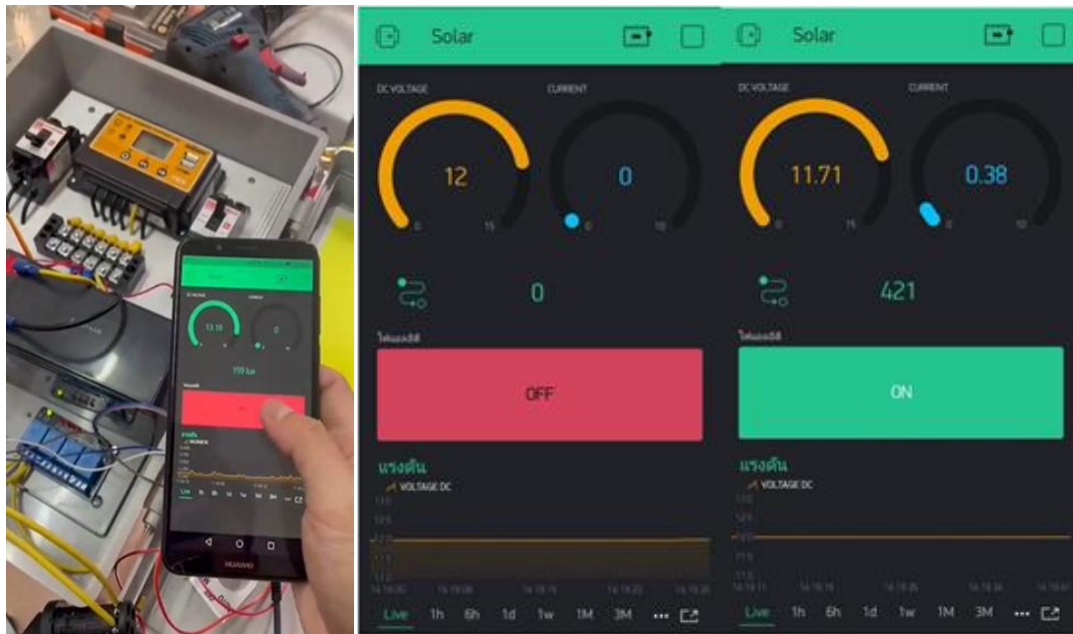
ระยะความสูง (เมตร)	ค่าความ ส่องสว่าง ด้านที่ 1 (ลักซ์)	ค่าความ ส่องสว่าง ด้านที่ 2 (ลักซ์)	ค่าความ ส่องสว่าง ด้านที่ 3 (ลักซ์)	ค่าความ ส่องสว่าง ด้านที่ 4 (ลักซ์)	ค่าเฉลี่ยของการ วัดค่าความ ส่องสว่าง (ลักซ์)
0.3	305	303	300	306	304
0.6	203	206	201	200	203
0.9	133	129	131	131	131
1.2	82	80	85	80	82
1.5	60	65	61	64	63



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่างที่ความสูงของเสาโคมไฟสนาม 1.6 เมตร

3.6 ระบบไอโอทีสำหรับโคมไฟสนาม

เพื่อใช้แอปพลิเคชันที่มีในสมาร์ทโฟนควบคุมการทำงานของโคมไฟสนาม โดยทำการทดสอบเชื่อมต่อแอปพลิเคชันกับอุปกรณ์โคมไฟสนาม เพื่อการควบคุมการทำงานผ่านแอปพลิเคชัน Blynk โดยการออกแบบให้หน้าจอของสมาร์ทโฟนแสดงสถานะของการทำงานด้วย ปุ่ม เปิด-ปิด ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าความส่องสว่างของพื้นที่ผ่านแอปพลิเคชัน แสดงดังแสดงรูปที่ 8 และผลลัพธ์การทดสอบการทำงานได้แสดงดังตารางที่ 11



รูปที่ 8 ระบบไอโอทีของโคมไฟสนามที่ได้รับการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Blynk

ตารางที่ 11 การทดสอบการทำงานอัตโนมัติ

ค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติ (ลักซ์)	สถานะการทำงานอัตโนมัติ
120	ไม่ทำงาน
100	ไม่ทำงาน
80	ทำงาน
60	ทำงาน
40	ทำงาน
20	ทำงาน

ผลลัพธ์การทดสอบการทำงาน พบว่า กรณีในสภาวะที่มีความเข้มแสงมากส่งผลทำให้ค่าความส่องสว่างในพื้นที่สูงกว่า 100 ลักซ์ ชุดโคมไฟฟ้าหลอดแอลอีดีทั้ง 4 ชุด ไม่ทำงาน แต่ถ้ากรณีในสภาวะที่มีความเข้มแสงน้อยส่งผลทำให้ค่าความส่องสว่างในพื้นที่ต่ำกว่า 100 ลักซ์ โคมไฟฟ้าหลอดแอลอีดีทั้ง 4 ชุด ทำงาน ซึ่งผลลัพธ์การทดสอบก็เป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานที่ได้กำหนดไว้ และสามารถเปิดใช้งานได้ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง 20 นาที

4. บทสรุป

จากการทดสอบการทำงานของระบบไอโอทีสำหรับโคมไฟสนามแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้นำเสนอ จะได้ว่าผลลัพธ์ของการวัดค่าความส่องสว่างทั้ง 4 ด้าน ที่ความสูง 2 ระดับ คือ

กรณีเสาโคมไฟสนามสูง 1 เมตร ระยะทางของการวัดค่าความส่องสว่างคิดจากเสาโคมไฟสนามถึงจุดวัดวัดด้วยลักซ์มิเตอร์

ที่ระยะทาง 0.3 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,047 ลักซ์

ที่ระยะทาง 0.6 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 352 ลักซ์

ที่ระยะทาง 0.9 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 159 ลักซ์

ที่ระยะทาง 1.2 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 97 ลักซ์

ที่ระยะทาง 1.5 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67 ลักซ์

กรณีเสาโคมไฟสนามสูง 1.6 เมตร ระยะทางของการวัดค่าความส่องสว่างคิดจากเสาโคมไฟสนามถึงจุดวัดด้วยลักซ์มิเตอร์

ที่ระยะทาง 0.3 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 304 ลักซ์

ที่ระยะทาง 0.6 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 203 ลักซ์

ที่ระยะทาง 0.9 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 131 ลักซ์

ที่ระยะทาง 1.2 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82 ลักซ์

ที่ระยะทาง 1.5 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63 ลักซ์

โดยจากผลลัพธ์ของการวัดค่าความส่องสว่างทั้ง 4 ด้าน ที่ความสูงทั้ง 2 ระดับ ในระยะที่กำหนดพบว่าในระยะทางที่ใกล้ค่าความส่องสว่างจะมีค่าสูง แต่ถ้าในระยะทางที่ไกลมากขึ้นค่าความส่องสว่างจะมีค่าต่ำลงตามระยะทาง ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของระบบแสงสว่าง

ส่วนการทดสอบการทำงานอัตโนมัติ นั้น ผลลัพธ์การทดสอบการทำงานก็จะเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานที่ได้กำหนดไว้ คือ กรณีในสภาวะที่มีความเข้มแสงมากส่งผลทำให้ค่าความส่องสว่างในพื้นที่สูงกว่า 100 ลักซ์ ชุดโคมไฟฟ้าหลอดแอลอีดีทั้ง 4 ชุด ไม่ทำงาน แต่ถ้ากรณีในสภาวะที่มีความเข้มแสงน้อยส่งผลทำให้ค่าความส่องสว่างในพื้นที่ต่ำกว่า 100 ลักซ์ โคมไฟฟ้าหลอดแอลอีดีทั้ง 4 ชุด ทำงาน และโคมไฟสนามสามารถเปิดใช้งานได้นาน 4 ชั่วโมงต่อการอัดประจุไฟฟ้าเต็ม 1 ครั้ง

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 การติดตั้งใช้แบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักมากเกินไป จึงทำให้น้ำหนักโดยรวมมีมาก ถ้าสามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักเบาขึ้น สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกกว่าเดิม

5.2 การอัดประจุไฟฟ้าโดยรับจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้เวลานานในการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม ควรเพิ่มฟังก์ชันการอัดประจุไฟฟ้าผ่านระบบการจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย เพื่อเพิ่มช่องทางในการอัดประจุไฟฟ้า

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bung Wai Kit, Ezutah Udoncy Olugu and Zuliani Zulkoffli. Redesigning of Lamp Production Assembly Line. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bandung, Indonesia, March 6-8, 2018. pp. 3439-3457.
- [2] Somsanguan Passago, Chonlada Yodying, Wiroon Monatrakul and Toansakul Tony Santiboon. Research and development of renewable energy: Prototype of LED street lighting from solar energy. A multifaceted review journal in the field of pharmacy. Vol 11, Issue 2, Feb-Mar 2020. pp. 765-776.
- [3] Yusuf Perwej, Kashiful Haq, Firoj Parwej and Mumdouh M. Mohamed Hassan. The Internet of Things (IoT) and its Application Domains. International Journal of Computer Applications. Volume 182 – No. 49, April 2019. pp. 36-49.
- [4] B.B. Gupta and Megha Quamara. An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols. National Institute of Technology Kurukshetra, Kurukshetra, India. Special Issue Paper. 2018. pp. 1-24.
- [5] พิพัฒน์ ดุรงค์ดำรงชัย และชัยพร อัดโดดดร. แบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์, วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม, ISSN 2392-5701, JEET 2020; 7(2): 73-86.

- [6] นิตินม อริยพิมพ์ และชัยพร อัตโตตร. การออกแบบและสร้างระบบไอโอทีสำหรับราวตากผ้าแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์, วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม, ISSN 2392-5701, JEET 2022; 9(1): 70 – 81.
- [7] ข้อมูลเกี่ยวกับ ESP8266 NodeMCU คืออะไร? และการติดตั้ง ESP8266 NodeMCU บนArduino IDE. เข้าถึงได้จาก: <https://embeddedsystem2558.wordpress.com/esp8266-nodemcuคืออะไร-และการติดตั้ง-e/> [เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2567]
- [8] ข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่สำคัญในยุคดิจิทัล: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง Tech Series: Internet of Things (IoTs). เข้าถึงได้จาก: <https://www.depa.or.th/th/article-view/tech-series-internet-things-iots> [เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2567]

การศึกษาเชิงตัวเลขของการถ่ายโอนความร้อนแบบคอนจูเกตในครีบบระบายความร้อนที่ใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

Numerical Study of Conjugate Heat Transfer in Heat Sink Fins for Thermoelectric Modules

ชาติชาย ลีลาสิริวิไล¹ จงจิตร์ หิรัญลาภ^{2*} ชัยพร สุภาหิตานุกูล¹ สุเมธ สติตบุญอนันต์¹ และ โจเซฟ เคะดารี³
Chatchai Leelasiriwilai¹, Jongjit Hirunlabh^{2*}, Chaiporn Suphahitanukool¹, Sumate Sathitbun-anan¹
and Joseph Khedari³

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

¹Faculty of Engineering and Technology, Pathumthani University

²บริษัท ซันซีย์ จำกัด

²Sunsyr Co., Ltd.

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

³Faculty of Sciences and Technology, Bangkok Thonburi University

*Corresponding author, Email: jongjit.hirunlabh@hotmail.com

Received: January 21, 2025

Revise: February 25, 2025

Accepted: March 25, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ และใช้เทคนิคการถ่ายโอนความร้อนแบบคอนจูเกต เพื่อหาสมรรถนะทางความร้อนของครีบบระบายความร้อน ที่นำไปใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในสภาวะคงตัว (steady state) ครีบบระบายความร้อน มีขนาด 140 x 300 x 37 mm มีครีบบระบายความร้อนจำนวน 20 ครีบ พื้นที่รับความร้อน ขนาด 40 X 300 mm แบบจำลองถูกกำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้รับความร้อนลักษณะอุณหภูมิคงที่ 3 ระดับ ที่ 80 °C 90 °C และ 100 °C การพาความร้อนเป็นแบบบังคับควบคุมอัตราการไหลทางออกของท่อลม ที่อัตราการไหล 0.04 m³/s 0.05 m³/s 0.06 m³/s 0.07 m³/s และ 0.08 m³/s ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิแตกต่างของอากาศ และความเร็วมวลอากาศ มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ครีบบระบายความร้อนถ่ายเทได้ การไหลไหลดังกล่าวเป็นการไหลแบบปั่นป่วน มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 5,300 ถึง 10,600 สมประสิทธิ์การพาความร้อน มีค่าใกล้เคียงกัน ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากัน ในขณะที่อุณหภูมิ 100 °C มีค่าไบโอตันัมเบอร์สูงสุด ทุกช่วงอัตราการไหล

คำสำคัญ: การถ่ายโอนความร้อนแบบคอนจูเกต, ครีบบระบายความร้อน, เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

Abstract

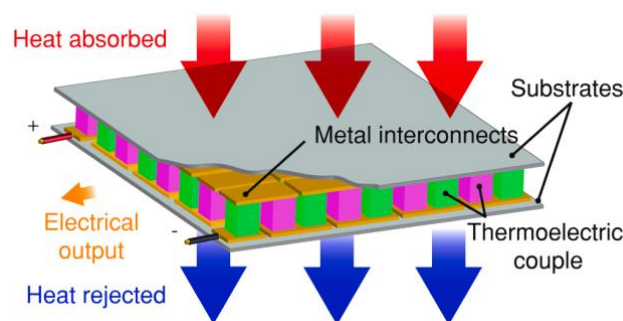
This research presents a numerical study using computational fluid dynamics (CFD) and conjugate heat transfer techniques to evaluate the thermal performance of a heat sink designed for thermoelectric modules under steady-state conditions. The heat sink has dimensions of 140 x 300 x 37 mm, with 20 fins and a heat-receiving area of 40 x 300 mm. The model was subjected to constant temperature boundary conditions at three levels: 80 °C, 90 °C, and 100 °C. Forced convection was applied with outlet air flow rates of 0.04 m³/s, 0.05 m³/s,

0.06 m³/s, 0.07 m³/s, and 0.08 m³/s. The study found that the air temperature difference and air velocity significantly influenced the heat transfer rate of the heat sink. The specified flow rates resulted in turbulent flow, with Reynolds numbers ranging from 5,300 to 10,600. The heat transfer coefficients were similar at identical Reynolds numbers, while at 100 °C, the Biot number reached its maximum across all flow rates.

Keywords: Conjugate Heat Transfer, Heat Sink Fins, Thermoelectric modules

1. บทนำ

ในช่วงเวลาหลายปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีการแปลงพลังงานด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (TEM) ได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ด้วยสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า และเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้ วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจะแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงผ่านปรากฏการณ์ ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ซีเบก ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล มีลักษณะเป็นอุปกรณ์แบบโซลิดสเตต มีขนาดเล็ก ไม่มีชิ้นส่วนกลไกที่เคลื่อนไหว ทำให้ไม่เกิดเสียงรบกวน และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ ไม่ปลดปล่อยมลพิษที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงอายุการใช้งานที่ยาวนาน [1-2] จากลักษณะการทำงานดังกล่าว หากมีการระบายความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลอย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล [2]

วิธีการที่ใช้ในการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน คือ การเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนร่วมกับสร้างการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) ครีประบายความร้อน (Heat sinks) จึงเป็นอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ควบคุมไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินความต้องการ [3] การเลือกใช้การพาความร้อนแบบอิสระและแบบบังคับ จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายความร้อนของครีประบายความร้อน มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับรูปร่างของครีและช่องของแผงระบายความร้อน รวมถึงลักษณะการไหลของของไหลผ่านครีระบายความร้อน Lertsatitthanakorn และคณะ [4] ได้นำเสนอผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเทอร์โมอิเล็กทริก (TEAC) แบบพาความร้อนธรรมชาติชนิดติดเพดานในระดับห้องปฏิบัติการ แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีสี่เหลี่ยมพาความร้อนธรรมชาติด้านเย็น และแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีแผ่นบางที่บังคับการพาความร้อนด้านร้อนของโมดูล การทดสอบดำเนินการภายใต้สภาวะการทำงานที่หลากหลาย โดยใช้ห้องทดลองที่มีฉนวนกันความร้อนอย่างดีสองขนาด คือ 0.024 และ 1 m³ ทั้งระบบถูกตั้งเอียงเล็กน้อย (5°) จากระนาบแนวนอนเพื่อรวมน้ำควบแน่นที่ครีเย็นและเร่งการไหลของอากาศลงด้านล่าง ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายและอัตราการไหลของอากาศร้อน เช่นเดียวกับเครื่อง TEAC แบบบังคับการพาความร้อน สำหรับเงื่อนไขการออกแบบในงานนี้

พบว่าสภาวะการทำงานที่เหมาะสมคือการจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A และอัตราการไหลของมวลอากาศร้อน 0.027 kg/s ต่อมา มีการศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นระบายความร้อนชนิดใหม่ที่มีการจัดเรียงครีบริบสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยพิจารณาระยะห่างระหว่างพัดลมกับครีบริบ ผลที่ได้พบว่าการติดตั้งพัดลมที่ระดับความสูง 30 mm จากครีบริบเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้อุณหภูมิด้านร้อนต่ำที่สุด จากนั้นจึงออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องลดความชื้นเทอร์โมอิเล็กทริก (TED) ขนาดเล็กเพื่อทดลองเบื้องต้น โดยให้ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกถูกระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศ ในขณะที่การไหลของอากาศด้านเย็นเป็นแบบการพาความร้อนตามธรรมชาติ ผลของตำแหน่งของพัดลมได้รับการตรวจสอบโดยการทดลอง การทดสอบเบื้องต้นยืนยันประสิทธิภาพที่ดีของการออกแบบแผงระบายความร้อนสำหรับการใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกตามที่ต้องการ [5] จากการศึกษาครีบริบายความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้กันโดยทั่วไป หากมีการเพิ่มพื้นที่ด้วยการบีบูน จะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้น [6] มีการศึกษาแผงระบายความร้อนโครงตาข่ายลูกบาศก์แบบกลางตัว (Body centered cubic, BCC) เส้นผ่านศูนย์กลางของโครงตาข่ายที่ลดลง ส่งผลกระทบบังคับต่อการถ่ายเทความร้อนแบบการนำและการแผ่รังสี เนื่องจากพื้นที่ผิวลดลง [7] การปรับปรุงครีบริบายความร้อน มีการนำไปใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ (Double pipe heat exchanger หรือ DPHE) ประสิทธิภาพโดยรวมของ DPHE ได้รับอิทธิพลจากจำนวนและรูปแบบของครีบริบ [8] การแลกเปลี่ยนความร้อนของครีบริบายความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนในของไหลและการนำความร้อนในของแข็งควบคู่กันไป ซึ่งลักษณะการถ่ายเทความร้อนดังกล่าว เรียกว่า การถ่ายเทความร้อนแบบคอนจูเกต (Conjugate heat transfer) Rostami และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบคอนจูเกตในไมโครแชนแนล ที่มีผนังเป็นคลื่น โดยใช้การจำลองเชิงตัวเลขแบบ 3 มิติ ศึกษาการไหลและการถ่ายเทความร้อน เพื่อหารูปทรงที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่า Nusselt number สูงสุด รูปทรงคลื่นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน เมื่อเทียบกับผนังเรียบ การเพิ่มความลึกของช่องในกรณีผนังคลื่นไม่ได้ช่วยเพิ่มค่า Nusselt number เหมือนกรณีผนังเรียบ ต่อมา Tian และคณะ [10] ได้นำเสนอวิธีการออกแบบครีบริบายความร้อนหรือฮีตซิงก์ (Heat sink) แบบใหม่ โดยใช้เทคนิคการสร้างช่องไหลแบบอิสระหน้าตัดสี่เหลี่ยม และ หน้าตัดวงกลม ที่อาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบ Conjugate heat transfer (CHT) ผลลัพธ์ของการศึกษา การออกแบบช่องการไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีกว่า แต่มีค่าความต้านการไหลสูงกว่า ช่องการไหลหน้าตัดวงกลม

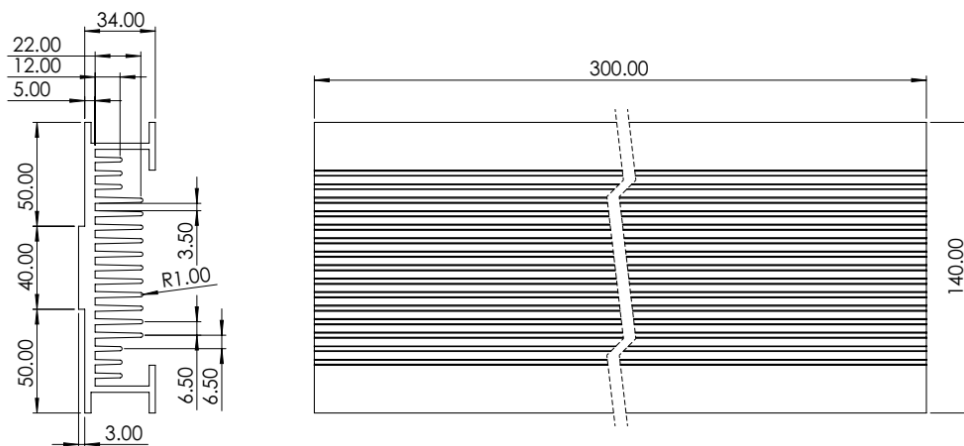
จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา สำหรับการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาครีบริบายความร้อน ในปัจจุบันนิยมศึกษาด้วยวิธีทางตัวเลข โดยอาศัยแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามรูปร่างที่ได้ออกแบบไว้ พร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขขอบเขต วิธีดังกล่าวมีความยืดหยุ่น ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายมากกว่าการทำการทดสอบจริง งานวิจัยนี้ จึงได้มุ่งเน้นศึกษาสมรรถนะการทำงานของครีบริบายความร้อนด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamics, CFD) [11] ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลด้วยวิธีทางตัวเลข ที่อาศัยความสามารถของคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ โดยศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนแบบคอนจูเกตของครีบริบายความร้อนที่มีอยู่ ซึ่งถูกสร้างขึ้นสำหรับใช้งานกับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษามาออกแบบและพัฒนาครีบริบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

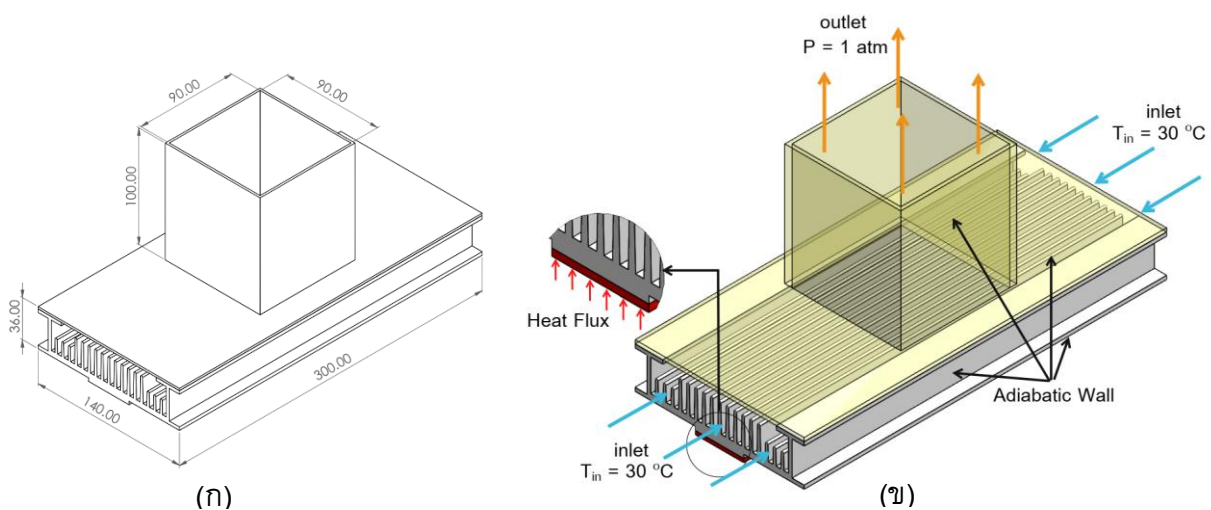
- 1) เพื่อศึกษาเกรเดียนต์ของอุณหภูมิของครีบริบายความร้อนภายใต้การถ่ายเทความร้อนแบบคอนจูเกต
- 2) เพื่อศึกษาอัตราการไหลของอากาศที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของครีบริบายความร้อน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของครีประบายความร้อนด้วยวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การศึกษาเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ (3D model) ครีประบายความร้อนมีรายละเอียด มิติ รูปร่าง และขนาดตามรูปที่ 2 พื้นที่ผิวด้านล่างรับฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ขนาด $40 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ ในลักษณะอุณหภูมิคงที่ โดยควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 80°C 90°C และ 100°C ตามลำดับ พร้อมทั้งควบคุมอัตราการไหลของอากาศด้านออกที่ $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$ อากาศด้านเข้าอุณหภูมิ 30°C มีแผ่นครอบด้านบนครีประบายความร้อนสำหรับควบคุมการไหลของอากาศ ครีประบายความร้อนอยู่ภายใต้ความดันบรรยากาศ (1 atm) และกำหนดไม่ให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนผ่านผนังโดยรอบ (Adiabatic wall) อากาศที่อุณหภูมิแวดล้อมจะไหลเข้าทางด้านหน้าและด้านหลัง ออกทางด้านบนของแบบจำลอง ดังแสดงใน รูปที่ 3

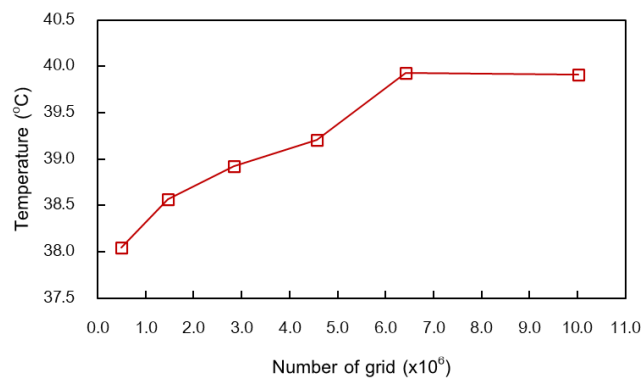


รูปที่ 2 รูปร่างและมิติครีประบายความร้อน



รูปที่ 3 มิติรูปร่างของแบบจำลอง (ก) และ เงื่อนไขขอบเขตของการคำนวณ (ข)

จากข้อมูลที่น่าประกอบการศึกษาดังกล่าวมีความแตกต่างของอุณหภูมิ 3 รูปแบบ และอัตราการไหลที่แตกต่างกัน 5 อัตราการไหล ทำให้เกิดกรณีศึกษาทั้งหมด 15 กรณี กรณีศึกษาทั้งหมดจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตเดียวกัน กำหนดให้ ครีบริบายความร้อนมีสมบัติตามอลูมิเนียม เกรด A 384.0-F [17] มีค่าการนำความร้อน 96.0 W/m.K ท่อลม และแผ่นครีบริบายความร้อนใช้วัสดุอีพ็อกซีไยแก้ว เกรด G-10 [18] มีค่าการนำความร้อน 0.28 W/m.K ใช้อากาศเป็นของไหลแลกเปลี่ยนความร้อน ของไหลสามารถอัดตัวได้ การจำลองหาค่าที่ได้เมื่อของไหลอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state) การไหลเป็นแบบปั่นป่วน ใช้แบบจำลอง standard $k-\epsilon$ turbulence model ในการคำนวณ กริดที่ใช้เป็นแบบสี่เหลี่ยม การทดสอบความเป็นอิสระของกริดจะดำเนินการภายใต้ภาวะความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ 100 °C อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านครีบริบายความร้อน 0.08 m³/s จำนวนกริดที่เพิ่มขึ้นถูกนำมาประเมินความเป็นอิสระของกริด ผลลัพธ์ของการคำนวณที่อุณหภูมิอากาศออกของกริด จำนวน 6.42x10⁶ กริด มีความใกล้เคียงกับกริดจำนวน 10.06x10⁶ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.076% และจำนวนกริดที่ลดลงให้ความคลาดเคลื่อนสูงเกินกว่าที่ยอมรับได้ สำหรับแบบจำลองในงานวิจัยนี้จึงเลือกกริดจำนวน 6.42x10⁶ กริด สำหรับนำมาคำนวณทั้งหมด ผลสรุปของการศึกษาความเป็นอิสระของกริดแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เปรียบเทียบจำนวนกริด

สมการที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ที่อธิบายปรากฏการณ์การไหล สามารถวิเคราะห์ด้วย 3 สมการหลัก คือ สมการความต่อเนื่อง สมการอนุรักษ์โมเมนตัม และสมการอนุรักษ์พลังงาน [12]

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

สมการอนุรักษ์พลังงาน

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + s \quad (5)$$

สมการความปั่นป่วน (Turbulence kinetic energy, k) [13]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + (G_k + G_b) - (\rho \varepsilon + T_M) + S_k \quad (6)$$

สมการการแพร่ (Turbulence kinetic energy dissipation, ε)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (7)$$

โดยที่ μ_t คือความหนืดของของไหลคำนวณได้จาก

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (8)$$

G_k คือผลของพลังงานจลน์หาได้จาก

$$G_k = 2\mu_t S_{ij} S_{ij} \quad (9)$$

และ G_b แทนพลังงานที่มีต่อของไหลหาได้จาก

$$G_b = -g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (10)$$

และค่าตัวแปรของแบบจำลองที่มีค่าคงที่ได้แก่ $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_{3\varepsilon} = 1.3$

ความร้อนที่ถ่ายโอนจากครีบบระบายความร้อนทำให้อากาศที่ไหลผ่านครีบบมีอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ [14]

$$Q = \dot{m}c(T_{out} - T_{in}) \quad (11)$$

โดยที่

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

c คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/kg. °C)

T_{out} คือ อุณหภูมิอากาศออกจากท่อลม (°C)

T_{in} คือ อุณหภูมิอากาศทางเข้า (°C)

ลักษณะการไหลของของไหลที่แตกต่างกันสามารถทราบได้จากเลขเรย์โนลด์ (Re) คำนวณได้จากสมการ [3]

$$Re = \frac{\rho_a V_a D_h}{\mu_a} \quad (12)$$

โดยที่

Re คือ เลขเรย์โนลด์

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

V_a คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านครีบบระบายความร้อน (m/s)

D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)

μ_a คือ ความหนืดพลวัตของอากาศ (kg/m.s)

เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกจะคำนวณได้จากสมการ [5]

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (13)$$

โดยที่

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่อากาศไหลผ่าน (m²)

P คือ เส้นรอบวงของหน้าตัด (m)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยถูกกำหนดให้เป็นดังสมการ [15]

$$h_{ave} = \frac{q}{T_{ave,fin} - T_m} \quad (14)$$

โดยที่

h_{ave} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

q คือ ฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)

$T_{ave,fin}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวครีประบายความร้อน ($^\circ C$)

T_m คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่ไหลผ่านครีประบายความร้อน ($^\circ C$)

อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ T_m หาได้จาก

$$T_m = \frac{T_{in} - T_{out}}{2} \quad (15)$$

ค่าไบโอต์นัมเบอร์ (Bi) คืออัตราส่วนของความต้านทานการถ่ายเทความร้อน อันเนื่องมาจากการนำความร้อนภายในเทียบกับการพาความร้อนบนพื้นผิว [16]

$$Bi = \frac{h_{ave} L}{k} \quad (16)$$

โดยที่

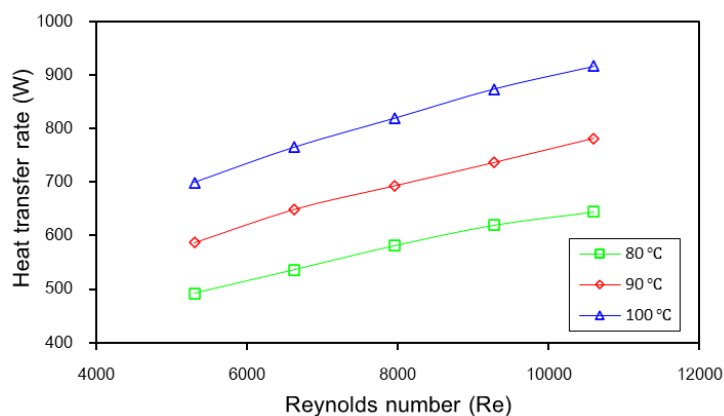
h_{ave} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย ($W/m^2 \cdot K$)

L คือ ความยาวลักษณะเฉพาะ (m)

k คือ การนำความร้อนของวัตถุ ($W/m \cdot K$)

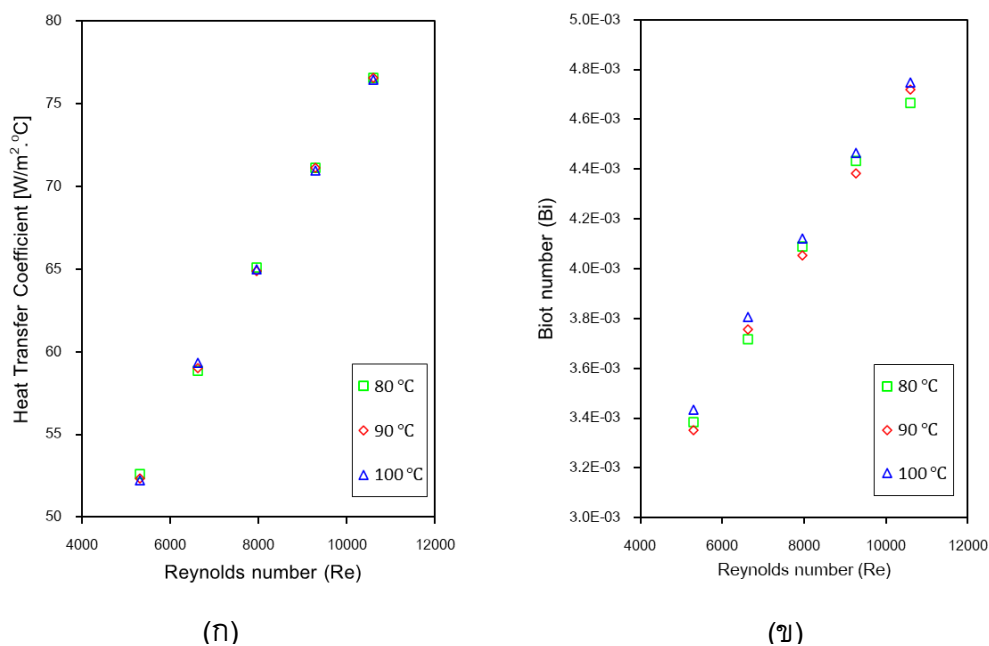
4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาด้วยวิธีทางตัวเลขด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) จากผลที่ได้การถ่ายเทความร้อนแบบคอนจูเกต ภายใต้การพาความร้อนแบบบังคับอัตราการไหลที่นำมาเป็นเงื่อนไขทั้งหมด เมื่อนำมาคำนวณหาค่าเรย์โนลด์ โดยใช้คุณสมบัติของอากาศจะทราบได้ว่าการไหลแบบปั่นป่วน โดยมีค่าเรย์โนลด์เริ่มต้น 5300 เมื่อเพิ่มอัตราการไหลส่งผลให้ค่าเรย์โนลด์สูงขึ้น อัตราการไหลและค่าเรย์โนลด์ เป็นอัตราส่วนโดยตรงต่อกัน อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าทุกภาระทางความร้อนที่ให้กับครีประบายความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ทั้ง 3 ระดับ ค่าเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ 916.3 W เกิดขึ้นที่ค่าเรย์โนลด์สูงสุดที่ 10600



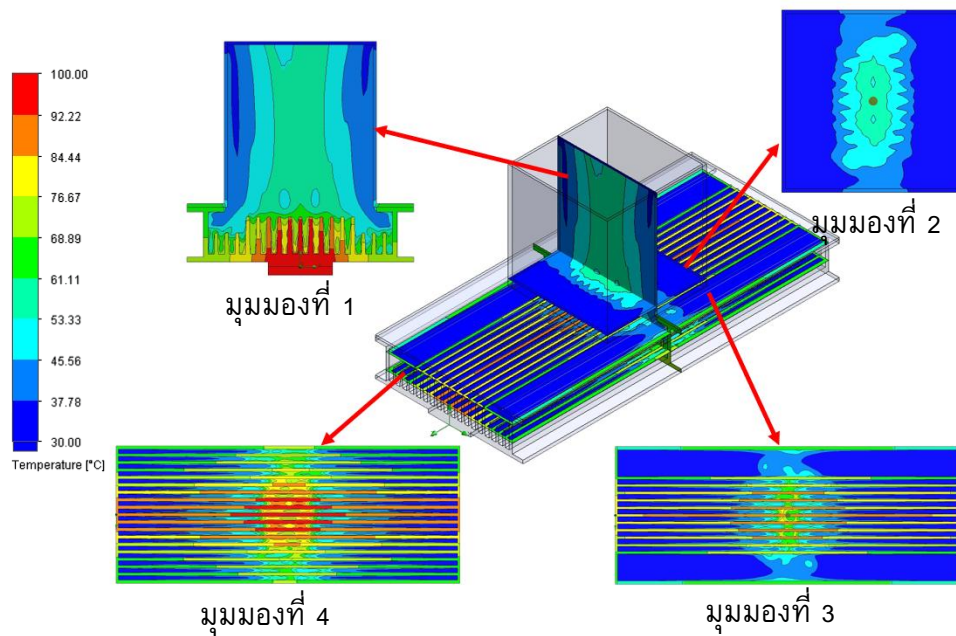
รูปที่ 5 ผลกระทบของค่าเรย์โนลด์ (Reynolds number) ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน

ในขณะเดียวกันอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่างกัน เมื่อนำมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน พบว่า ความร้อนที่ให้กับครีประบายความร้อนที่ต่างกัน 3 ระดับ มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนใกล้เคียงกันที่ค่าเรย์โนลด์ เท่ากัน ความร้อนที่ให้กับครีประบายความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ยังไม่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงสุดที่ $76.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ เกิดขึ้นที่ค่าเรย์โนลด์สูงสุด ในส่วนของค่าไบโอดันัมเบอร์ ที่แสดงถึงอัตราส่วนของความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของการนำความร้อนภายในวัตถุต่อความต้านทานความร้อน ภายนอกของของไหลจากการพาความร้อนบนพื้นผิว ภาวะความร้อนสูงสุดส่งผลให้ค่าไบโอดันัมเบอร์สูงสุดเช่นกัน ค่าไบโอดันัมเบอร์สูงสุด เท่ากับ 0.00474 แสดงตามรูปที่ 5 (ข) จากค่าไบโอดันัมเบอร์ดังกล่าว จะเห็นได้ว่ามีค่าน้อยกว่า 0.1 มาก จึงถือได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการนำความร้อนภายในครีประบายความร้อน มีค่ามากกว่าการพาความร้อน ที่ผิวครีเป็นอย่างมาก แสดงให้เห็นถึงวัสดุของครีประบายความร้อนมีค่าการนำความร้อนที่เพียงพอ หากค่าไบโอดันัมเบอร์มีค่ามากกว่า 1 จะมีค่าการพาความร้อนที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและของไหลมากกว่าการนำความร้อนภายในของวัตถุ



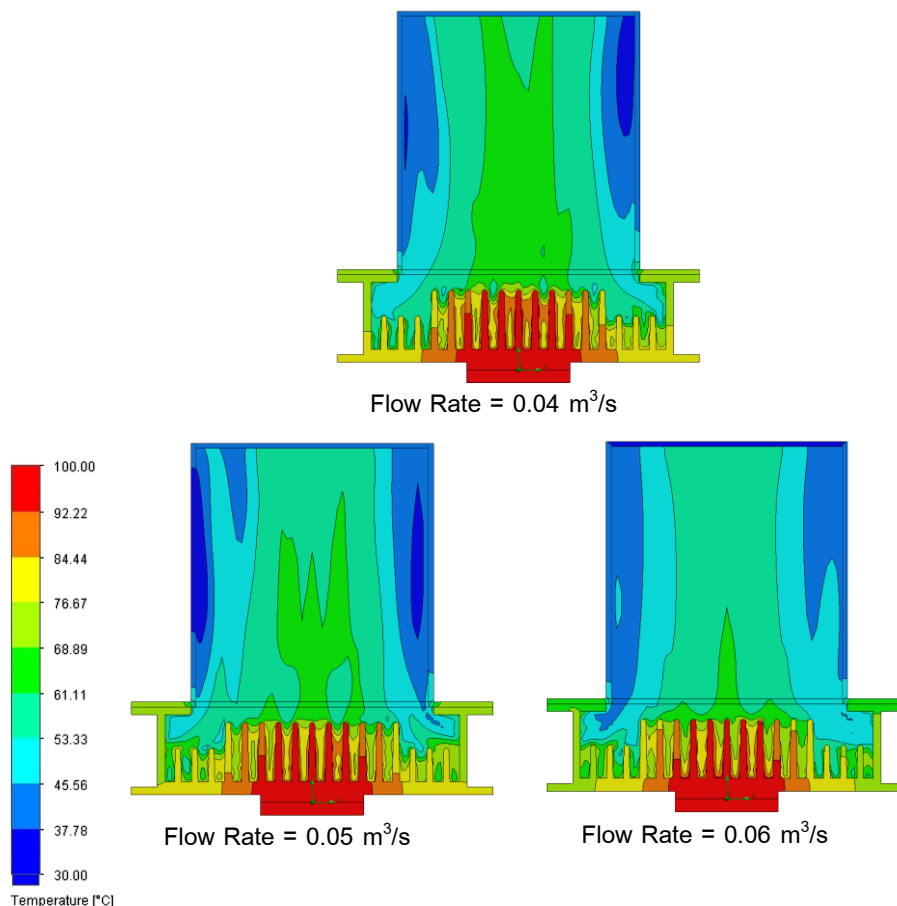
รูปที่ 6 ผลกระทบของค่าเรย์โนลด์ (Reynolds number) ต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (ก) และค่าไบโอดันัมเบอร์ (ข) ภายใต้ภาวะความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่

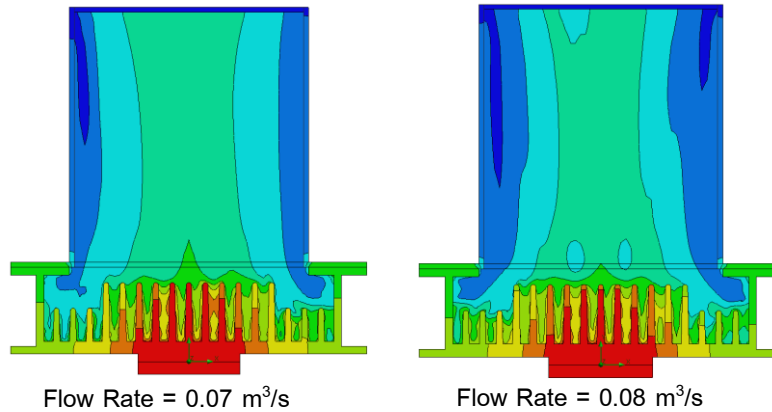
กลไกการถ่ายเทความร้อนของครีประบายความร้อนจะเริ่มจากการนำความร้อนภายในครีจากบริเวณรับความร้อนออกสู่บริเวณผิวครีและถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อนระหว่างผิวครีกับอากาศที่ไหลผ่านครี ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นในขณะเดียวกันครีประบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำลง ซึ่งสามารถดูการกระจายตัวของอุณหภูมิครีประบายความร้อนและอากาศผ่าน มุมมอง ทั้ง 4 มุมมอง ตามรูปที่ 6 ที่แสดงถึงอุณหภูมิของครีประบายความร้อนที่รับความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ 100 °C และอัตราการไหล $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$



รูปที่ 7 การกระจายอุณหภูมิของครีประบายความร้อนและอากาศ 4 มุมมอง

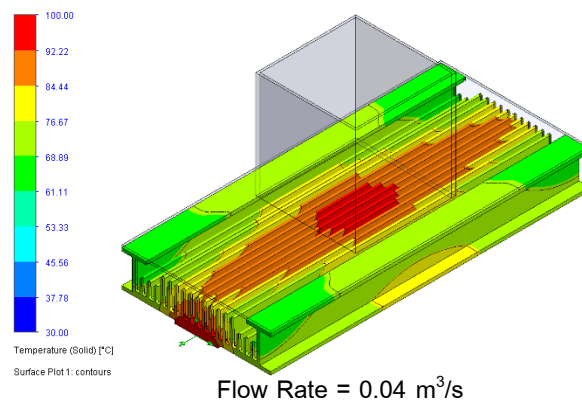
เมื่อพิจารณามุมมองการกระจายตัวของอุณหภูมิ มุมมองที่ 1 เป็นมุมมองที่แสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิครีประบายความร้อนและอากาศที่มีความร้อนสูงสุด จะสังเกตได้ว่ามีอากาศบางส่วนที่มีอุณหภูมิแตกต่างระหว่างอากาศเข้าและออกน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับครีประบายความร้อนยังไม่มากเพียงพอ

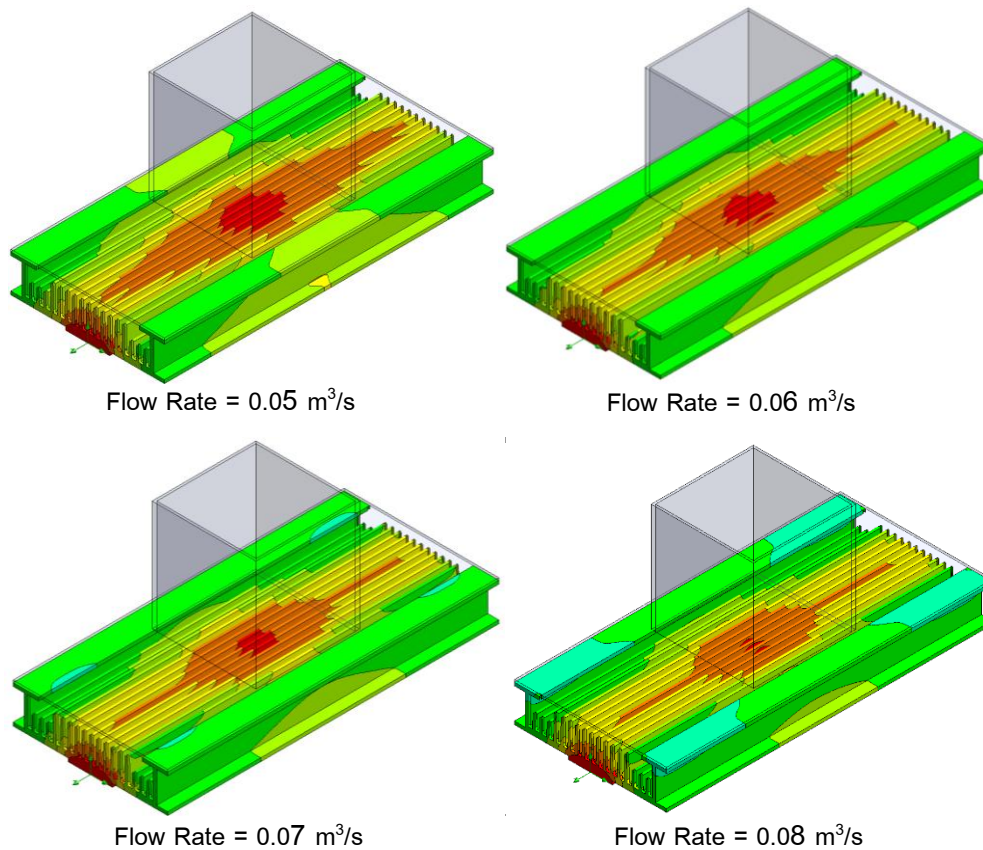




รูปที่ 8 การกระจายอุณหภูมิครีบริบายความร้อนและอากาศ กรณีศึกษาให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ 100 °C ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

จากรูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิครีบริบายความร้อนและอากาศ ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน โดยได้รับความร้อนสูงสุดที่อุณหภูมิคงที่ 100 °C จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหลต่ำสุด 0.04 m³/s มีการกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศมากที่สุด เป็นผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศด้านนอกท่อลมเท่ากับ 45.15 °C เป็นค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุด ทุกอัตราการไหลของแบบจำลอง ซึ่งเป็นผลจากความเร็วของอากาศที่ผ่านครีบริบายความร้อนต่ำ ทำให้มีระยะเวลาการถ่ายเทความร้อนมาก ในขณะที่เดียวกันผลของความเร็วอากาศที่สูงจะส่งผลต่อระยะเวลาการถ่ายเทความร้อนระหว่างครีบริบายความร้อนกับอากาศที่มีน้อยลงตามไปด้วย อุณหภูมิของอากาศด้านนอกท่อลมที่อัตราการไหลสูงจะมีค่าต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของครีบริบายความร้อน พบว่า ครีบริบายความร้อนที่มีอัตราการไหลของอากาศที่สูง จะมีการสะสมของความร้อนที่น้อยกว่า ครีบริบายความร้อนที่มีอัตราการไหลของอากาศที่ต่ำ สามารถดูได้จากเกรเดียนท์ของอุณหภูมิ หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ผิวครีบริบายความร้อนตามรูปที่ 8





รูปที่ 9 การกระจายอุณหภูมิของครีประบายความร้อนกรณีศึกษาที่ให้ความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

จากรูปที่ 8 อุณหภูมิผิวครีแสดงถึงเกรเดียนท์ของอุณหภูมิ ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ซึ่งจะพบว่าบริเวณกึ่งกลางของครีประบายความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากเป็นบริเวณอากาศออก ซึ่งอากาศที่ผ่านครีบริเวณดังกล่าวมีการรับความร้อนมาบางส่วน ส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิครีและอากาศมีค่าน้อยกว่าบริเวณอากาศด้านเข้า อัตราการไหลที่สูงขึ้นก็สามารถส่งผลต่อความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิครีและอากาศได้มากขึ้นเช่นกัน โดยจะสังเกตได้ว่า ที่อัตราการไหล $0.08\text{ m}^3/\text{s}$ มีอุณหภูมิผิวครีเฉลี่ย $77.98\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่าต่ำสุดภายใต้เงื่อนไขการรับความร้อนเดียวกัน

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของครีประบายความร้อนที่นำไปใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลด้วยวิธีเชิงตัวเลข อัตราการไหลของอากาศที่ส่งผลต่อพฤติกรรมกรไหลโดยแสดงออกมาด้วยค่าเรย์โนลด์ (Reynolds number) จะส่งผลต่ออัตราการระบายความร้อน ครีประบายความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เป็นผลจากมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง สมบัติการพาความร้อนที่ได้จากการศึกษามีความใกล้เคียงกัน เมื่อมีอัตราการไหลเท่ากัน ทำให้ทราบได้ว่าอุณหภูมิของครีประบายความร้อนที่มีความแตกต่างกัน $10\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ไม่ส่งผลต่อสมบัติการพาความร้อนมากนัก เมื่อเทียบกับความเร็วของของไหลที่ผ่านครีประบายความร้อน การกระจายตัวของอุณหภูมิมบนครีประบายความร้อนยังแสดงให้เห็นว่า มีบางส่วนที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก ซึ่งเป็นผลจากขนาดและรูปร่างของครีประบายความร้อน ค่าไบโอตันัมเบอร์ที่ได้น้อย

กว่า 1 เป็นอย่างมาก แสดงให้เห็นถึงครีประบายความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนภายในเนื้อวัสดุมากกว่าการพาความร้อนที่ผิวด้านนอกของครีประบายความร้อนทำให้ครีประบายความร้อนสามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของของไหลที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiale Shen และคณะ [19]

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปริมาณความร้อนและสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ได้จากการศึกษาอาจมีความแตกต่างจากค่าจริง ซึ่งเป็นผลจากค่าความร้อนจำเพาะและค่าความหนาแน่นของอากาศเพราะเป็นคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ อุณหภูมิเฉลี่ยของครีประบายความร้อน สามารถนำเป็นข้อมูลปรับปรุงและพัฒนาครีประบายความร้อนรูปแบบใหม่ เพื่อให้มีการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมถึงการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากการเพิ่มอัตราการไหล เพื่อให้อัตราส่วนความต้านทานการนำความร้อนต่อความต้านทานการพาความร้อนที่แสดงออกมาเป็นค่าไบโอต์นัมเบอร์ อัตราส่วนใกล้เคียงกัน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Ding, W. Ruochen, Y. Wei, and Z. Weiqi, "A Numerical Study on the Performance of a Converging Thermoelectric Generator System Used for Waste Heat Recovery," *Applied Energy*, 2020, 207.
- [2] P. Fernandez-Y, V. Romero, O. Armas, and G. Cerretti, "Thermal Management of Thermoelectric Generators for Waste Energy Recovery," *Applied Thermal Engineering*, 2021, 196.
- [3] G. Ayush, K. Manoj, and K. Anil, "Enhanced Heat Transfer in Plate Fin Heat Sink with Dimples and Protrusions," *Heat and Mass Transfer*, 2019, 55, pp. 2247–2260.
- [4] C. Lertsatitthanakorn, J. Hirunlabh, J. Khedari, and M. Daguenet, "Experimental Performance of a Ceiling-Type Free Convected Thermoelectric Air Conditioner," *International Journal of Ambient Energy*, 2002, Volume 23, Issue 2, pp. 453-457.
- [5] C. Udomsakdigool, J. Hirunlabh, J. Khedari, and B. Zeghmami, "Design Optimization of a New Hot Heat Sink with a Rectangular Fin Array for Thermoelectric Dehumidifiers," *Heat Transfer Engineering*, 2007, 28, pp. 645-655.
- [6] H. Joel, and K. B. Yogesh, "Finite Element Analysis (FEA) and Thermal Gradient of a Solid Rectangular Fin with Embossing's for Aerospace Applications," *Advances in Aerospace Science and Technology*, 2018, 3, pp. 49-60.
- [7] P. Keuntae, K. Beom-soo, and K. Sangwoo, "Influence of Design Parameters on Natural Convection Heat Transfer in Additively Manufactured Body Centered Cubic Lattice Structures," *International Journal of Thermal Sciences*, 2024, 205.
- [8] H. Haya, F. Basim, and S. Qasim, "Investigation the Influence of the Number and Configuration of Fins on the Hydrothermal Behavior of a Double-Pipe Heat Exchanger," *Journal of Engineering Research*, 2023.
- [9] R. Javad, A. Abbas, and S. A. Majid, "Optimization of conjugate heat transfer in wavy walls microchannels," *Applied Thermal Engineering*, 2015, 82, pp. 318 – 328.

- [10] T. Xi-Wei, W. Wei, Z. Shu-Zhen, and Q. Si-Hao, "A Novel Design Method of Heat Sink with Conjugate Heat Transfer by Free-Shape Channel Modeling," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2021, 176.
- [11] ชันยบูรณ์ ถาวรวรรณ และเชาวฤทธิ์ วันเสาร์. "การศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแถวทรงกระบอกตันในอุโมงค์ลมความเร็วลมต่ำ ด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ," *วารสารวิชาการ มทร.สุวรรณภูมิ*, Volume 4, Issue 1, January-June 2016, pp. 32-45.
- [12] R.C. Adhikari, D.H. Wood, and M. Pahlevani, "An Experimental and Numerical Study of Forced Convection Heat Transfer from Rectangular Fins at Low Reynolds numbers," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2020, 163.
- [13] กฤษฎา ศุภระมูล, ภาควิชา วิศวกรรม และอุษา โพธิ์สุวรรณ. "การพัฒนาเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลาสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบทด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรม," *Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College*, Volume 10, Issue 1, January - June 2023, pp. 1-15.
- [14] Z. Changshuang, D. Shunkai, Z. Fufeng, L. Jinbo, and L. Yingwen, "Prediction and Analysis of Thermal-Hydraulic Performance with Slit Fins in Small Diameter (3 mm to 4 mm) Heat Exchangers," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2021, 129.
- [15] I. Mohammad, "Experimental and Numerical Analysis of Heat Sink Using Various Patterns of Cylindrical Pin-Fins," *International Journal of Thermofluids*, 2024, 23.
- [16] Yunus A. Cengel, and Afshin J. Ghajar. *Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications*, 5th ed., New York: McGraw-Hill Education; 2015.
- [17] MatWeb. (10 พฤศจิกายน 2567). คุณสมบัติของอลูมิเนียม, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=187e3cd51c934d3e9b118ddeb343066c&n=1&ckck=1>
- [18] MatWeb. (10 พฤศจิกายน 2567). คุณสมบัติของอีพ็อกซีไยแก้ว, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=8337b2d050d44da1b8a9a5e61b0d5f85>
- [19] J. Shen, Q. Zhang, and Z. Wang, "Conjugate study on heat transfer enhancement of a TPMS-based hybrid heat sink design," *Applied Thermal Engineering*, vol. 257, p. 124350, Sep. 2024. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2024.124350.

การพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และหลักการทำธุรกิจที่ยั่งยืน (ESG)

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE HOUSING ESTATE PROJECTS IN BANGKOK AND ITS VICINITY IN ACCORDANCE WITH THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGs) AND ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AND GOVERNANCE (ESG) PRINCIPLES

ภราดร เพ็งแจ่ม^{1*} ชัยพร สุภาพิตานุกูล¹ จงจิตร หิรัญลาภ² และ โจเซฟ เคดารี²

Paradorn Pengjaem^{1*} Chaiporn Suphahitanukool² Jongjit Hirunlabh³ and Joseph Khedari⁴

¹สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

¹ Department of Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Pathumthani University

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร

² Faculty of Science and Technology, Bangkok Thonburi University, Bangkok Province

*Corresponding author E-mail: 2pk.paradorn@gmail.com

Received: February 3, 2025

Revise: May 15, 2025

Accepted: June 20, 2025

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบันและปัญหา ในการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล 2) เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมภายนอกที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และ 3) เพื่อนำเสนอแนวทางการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยเชิงคุณภาพ และการวิจัยเชิงเอกสาร โดยอาศัยแนวคิดกระบวนการในการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรร แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) แนวคิดการทำธุรกิจที่ยั่งยืน (ESG) ประกอบกับการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอก (PESTEL) เป็นกรอบการวิจัย มีผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการสัมภาษณ์เชิงลึก ได้แก่ ผู้แทนองค์กรธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ประเภทที่อยู่อาศัย ผู้เชี่ยวชาญและนักวิชาการ ผู้แทนหน่วยงานภาครัฐและสมาคม จำนวน 26 คน และผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการสนทนากลุ่ม ในกลุ่มผู้มีส่วนได้เสียในห่วงโซ่มูลค่าธุรกิจ 7 กลุ่ม ได้แก่ 1) นักลงทุนและผู้ถือหุ้น 2) ผู้บริหารและพนักงาน 3) ลูกค้า ผู้เช่า และผู้อาศัย 4) ชุมชนและสังคม 5) คู่ค้า และพันธมิตร 6) หน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง และ 7) ผู้เชี่ยวชาญ หรือนักวิชาการ จำนวน 18 คน ใช้วิธีคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสัมภาษณ์เชิงลึกแบบกึ่งโครงสร้าง แนวคำถามและแบบบันทึกประเด็นการสนทนากลุ่ม การวิเคราะห์เนื้อหา แล้วเขียนบรรยายเชิงพรรณนา ทำการสรุป การวิเคราะห์ และสังเคราะห์ ให้ได้มาซึ่งแนวทางการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ดังนี้

ผลการวิจัย พบว่า 1) ความสัมพันธ์ของกระบวนการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรกับแนวคิด SDGs ได้แก่ SDG 11 การออกแบบที่อยู่อาศัยต้องเข้าถึงได้ ปลอดภัย ทนทาน และยั่งยืน SDG 12 การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพในกระบวนการพัฒนา SDG 13 การใช้มาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2) ความเชื่อมโยงกับแนวคิด ESG ในการพัฒนาธุรกิจที่ยั่งยืน มิติด้านสิ่งแวดล้อม การออกแบบโครงการต้องลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มิติด้านสังคม มีการสร้างชุมชนให้มีคุณภาพชีวิตดี มีการออกแบบที่ตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มเปราะบาง มิติด้านธรรมาภิบาลขององค์กร องค์กรดำเนินโครงการด้วยความโปร่งใส และคำนึงถึงการมีส่วนร่วมของชุมชน 3) สภาพแวดล้อมภายนอก ควรมีการ

มุ่งเน้นในหลายด้าน อาทิ นโยบายภาครัฐเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม การประเมินความสามารถในการซื้อของผู้บริโภค แนวโน้มความต้องการที่อยู่อาศัยแบบยั่งยืน การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ และข้อกำหนดทางกฎหมาย และ 4) แนวทางการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ควรคำนึงถึงผู้มีส่วนได้เสียในห่วงโซ่คุณค่าธุรกิจ

คำสำคัญ: การพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรร, เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, หมู่บ้านจัดสรรในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล, การพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs), การทำธุรกิจที่ยั่งยืน (ESG)

Abstract

This research article aims to: 1) Examine the current conditions and challenges in developing environmentally friendly housing estate projects in Bangkok and its metropolitan areas, 2) Analyze the external environment influencing these projects, and 3) Propose guidelines for environmentally friendly housing estate development. The study employs qualitative and document-based research methodologies, using frameworks on real estate project development processes, sustainable development (SDGs), sustainable business practices (ESG), and external environmental analysis (PESTEL). Data collection tools include semi-structured interviews, guiding questions, and focus group discussion notes, involving 26 key informants from residential real estate organizations, experts, academics, and government officials, as well as 18 stakeholders across seven value chain groups, including investors, executives, customers, communities, partners, government agencies, and academics

The findings highlight: 1) The relationship between housing project development and SDGs: SDG 11 (designing accessible, safe, durable, and sustainable housing), SDG 12 (efficient resource use), and SDG 13 (reducing greenhouse gas emissions); 2) Alignment with ESG concepts: reducing environmental impacts, fostering community well-being, addressing vulnerable groups' needs, and ensuring transparency and community participation in governance; 3) Key external factors such as environmental policies, consumer purchasing power, demand trends, technology applications, site suitability, and legal requirements; and 4) The study proposes actionable guidelines for developing environmentally friendly housing estate projects, emphasizing stakeholder engagement across the business value chain.

Keywords: Development of housing estate projects, Environmentally friendly, Housing estates in Bangkok and its metropolitan areas, Sustainable Development Goals (SDGs), Environmental, Social, and Governance (ESG)

1. บทนำ

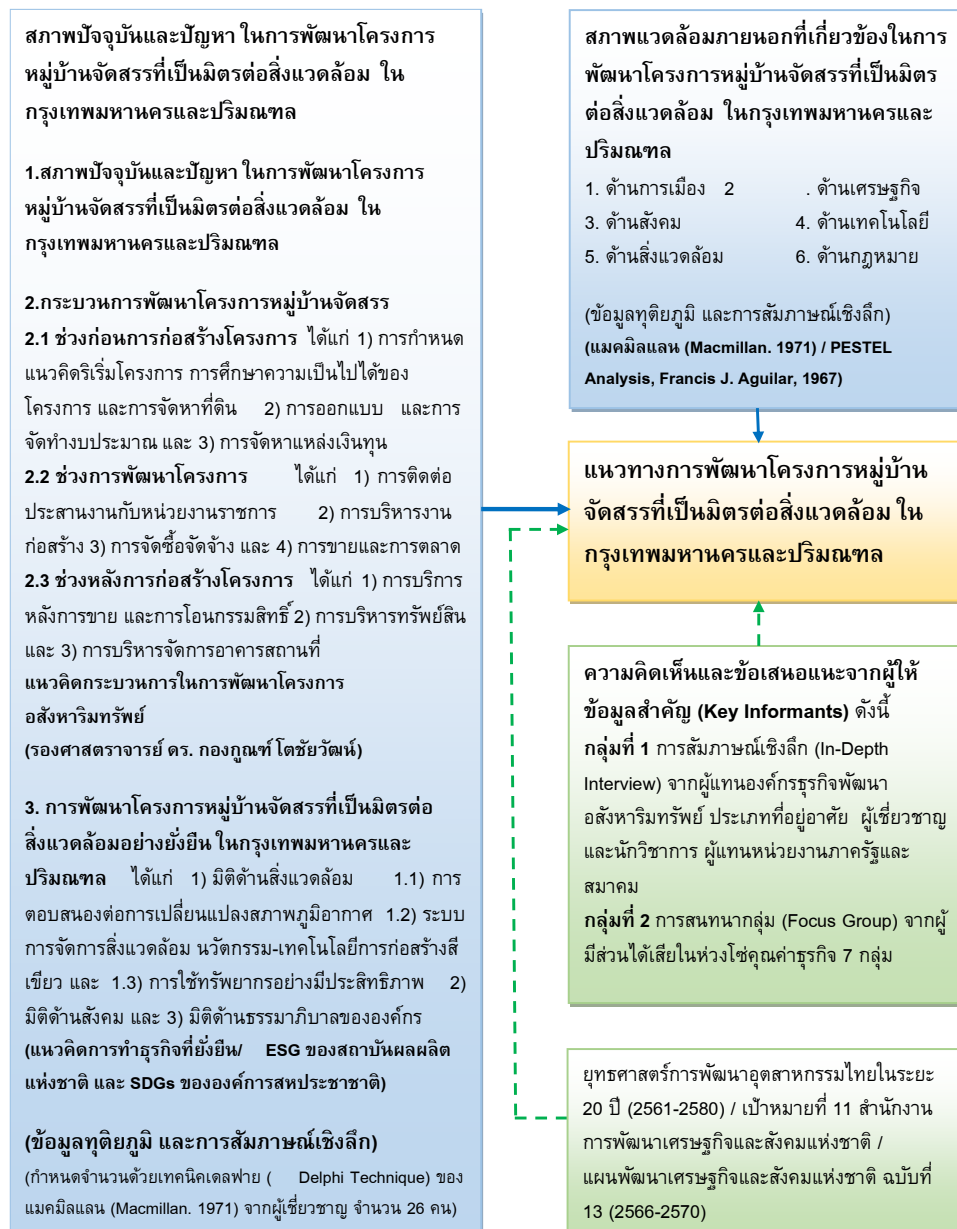
แนวคิดการพัฒนาโครงการที่อยู่อาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco-Friendly Housing) ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องทั้งในระดับประเทศและระดับสากล โดยเฉพาะในเขตเมืองที่ขยายตัวอย่างรวดเร็วซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง หลายประเทศจึงเริ่มนำแนวทางดังกล่าวมาปรับใช้ในการออกแบบและวางแผนพัฒนาโครงการที่อยู่อาศัย โดยมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การลดพลังงาน และการควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด [1] ซึ่งระดับนโยบายระหว่างประเทศให้การสนับสนุนผ่านองค์กรสำคัญ เช่น โครงการโครงการเพื่อการตั้งถิ่นฐานมนุษย์อย่างยั่งยืนแห่งสหประชาชาติ (UN-Habitat) และความตกลงปารีสภายใต้กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Paris Agreement) ที่เน้นเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปัจจัยที่มุ่งเน้น คือ การจัดการทรัพยากรน้ำ การส่งเสริมพลังงานหมุนเวียน และการลดของเสียและคาร์บอนจากการพัฒนาเมือง [1] สอดคล้องกับวาระการประชุมสมัชชาสหประชาชาติ ครั้งที่ 70 ซึ่งได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ค.ศ. 2030 (Sustainable Development Goals: SDGs) ให้เป็นแนวทางร่วมกันของประเทศสมาชิกทั้ง 193 ประเทศ เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนทั้ง

17 ข้อของ SDGs ถูกจัดกลุ่มตาม 5 มิติหลัก (5P's) ได้แก่ 1) การพัฒนาคน (People) โดยการลดความยากจนและความเหลื่อมล้ำ 2) สิ่งแวดล้อม (Planet) ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์ทรัพยากรและภูมิอากาศ 3) เศรษฐกิจและความมั่งคั่ง (Prosperity) ส่งเสริมให้ประชาชนมีความเป็นอยู่ที่ดีและยั่งยืน 4) สันติภาพและความยุติธรรม (Peace) ยึดหลักสังคมที่สงบและเป็นธรรม และ 5) ความเป็นหุ้นส่วนการพัฒนา (Partnership) ความร่วมมือจากทุกภาคส่วนในการขับเคลื่อน [2] จากกรอบแนวทางเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) หลายเป้าหมายเกี่ยวข้องโดยตรงกับการพัฒนาโครงการที่อยู่อาศัย ได้แก่ SDG 7 ส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้ เช่น การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และวัสดุประหยัดพลังงาน SDG 11 ส่งเสริมเมืองและชุมชนที่ยั่งยืน เช่น การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและระบบโครงสร้างพื้นฐานที่ยืดหยุ่น SDG 12 มุ่งให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและลดของเสีย เช่น การเลือกวัสดุก่อสร้างที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และ SDG 13 เน้นการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น การจัดการน้ำฝนและการออกแบบอาคารที่ทนทานต่อภัยพิบัติ [1] ในบริบทของประเทศไทย แนวคิดการพัฒนาที่อยู่อาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลซึ่งเป็นศูนย์กลางของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง ส่งผลให้เกิดแรงกดดันต่อระบบโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งแวดล้อมในระดับวิกฤต ทั้งในด้านคุณภาพอากาศ การจัดการน้ำ และมลภาวะจากกิจกรรมเมือง ภาครัฐจึงได้กำหนดกรอบนโยบายด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืนผ่านกลยุทธ์ต่าง ๆ เช่น แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 ซึ่งมีเป้าหมายหลักในการส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจควบคู่ไปกับการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน การส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานสะอาด และการยกระดับคุณภาพชีวิตในภาคเมือง โดยเฉพาะการพัฒนาโครงการที่อยู่อาศัยที่สนับสนุนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสนับสนุนโครงสร้างชุมชนที่ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ [4]

ในปัจจุบัน การพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง ผู้ประกอบการหลายรายเริ่มประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การใช้วัสดุก่อสร้างที่มีคุณสมบัติยั่งยืน การออกแบบระบบจัดการน้ำเสียและน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพ ตลอดจนการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองและยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัย [5] การดำเนินงานเหล่านี้สอดคล้องกับนโยบายภาครัฐที่มุ่งส่งเสริมการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะการยกระดับมาตรฐานการก่อสร้างให้สอดคล้องกับเกณฑ์อาคารสีเขียว (Green Building) และแนวทางการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ที่เน้นการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและทรัพยากร [6] อย่างไรก็ตาม ความก้าวหน้าในการพัฒนาโครงการยังคงเผชิญกับข้อจำกัดสำคัญ เช่น ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นที่สูงของเทคโนโลยีสีเขียว และราคาวัสดุก่อสร้างที่ยั่งยืน ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการ [7] ปัญหาดังกล่าวยังซับซ้อนขึ้นด้วยข้อจำกัดด้านองค์ความรู้ โดยเฉพาะความเชี่ยวชาญในการออกแบบและการก่อสร้างที่รองรับระบบพลังงานหมุนเวียน การจัดการน้ำ และการเลือกวัสดุที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม [8] ในขณะเดียวกัน กระแสความตระหนักรู้ในกลุ่มผู้บริโภคและชุมชนเมืองก็เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะประเด็นที่เกี่ยวข้องกับภาวะโลกร้อน มลพิษทางอากาศ และปัญหาน้ำท่วม ผู้บริโภคเริ่มให้ความสำคัญกับคุณสมบัติของที่อยู่อาศัยที่ประหยัดพลังงาน มีระบบจัดการสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพ และมีส่วนช่วยลดต้นทุนระยะยาว [5] ปัจจัยเหล่านี้ทำให้โครงการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเริ่มกลายเป็นที่ต้องการในตลาดอสังหาริมทรัพย์

ด้วยสถานการณ์และความท้าทายดังกล่าว จึงเกิดความจำเป็นในการประสานความร่วมมือระหว่างผู้มีส่วนได้เสียทุกภาคส่วน ได้แก่ ภาครัฐ ผู้ประกอบการ นักลงทุน ชุมชน และผู้อยู่อาศัย เพื่อขับเคลื่อนการพัฒนาโครงการอย่างยั่งยืนภายใต้กรอบแนวคิดของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และหลักการดำเนินธุรกิจที่ยั่งยืนตาม ESG Framework (Environmental, Social, and Governance) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขข้อจำกัดทางทรัพยากร ปรับปรุงแนวทางการออกแบบ และส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ที่สมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในระยะยาว [8] ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเรื่อง “การพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และหลักการดำเนินธุรกิจที่ยั่งยืน (ESG)” ซึ่งเป็นพื้นที่ศูนย์กลางของการ

ขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคมที่สำคัญ อีกทั้งยังเป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรสูงและมีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบันและปัญหา ในการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล 2) เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมภายนอกที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และ 3) เพื่อนำเสนอแนวทางการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

3. การทบทวนวรรณกรรม

3.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ประเภทพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความต้องการที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของประชากรและการพัฒนาเมือง การพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรเป็นหนึ่งในรูปแบบของการลงทุนด้านอสังหาริมทรัพย์ที่ได้รับความนิยม โดยเฉพาะโครงการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มโลกที่มุ่งเน้นการพัฒนาที่ยั่งยืนและการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ตัวอย่าง โครงการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ประเภทหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ขององค์กรชั้นนำ สามารถพิจารณาได้จากโครงการต่อไปนี้

ชื่อองค์กร	ชื่อโครงการ และแนวคิดการพัฒนาโครงการฯ
1. บริษัท พวกษา เรียลเอสเตท จำกัด (มหาชน)	โครงการ Wellness Residences (เดอะ ปาล์ม เรสซิเดนเซส พัฒนาการ) และ BAAN GREENHAUS (บ้านกรีนแฮร์ส รังสิต สเตชั่น) ได้นำแนวคิดการออกแบบที่ยั่งยืนมาใช้ โดยติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell) และเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่ช่วยลดการใช้พลังงาน เช่น ฉนวนกันความร้อนในผนังบ้าน รวมถึงการจัดภูมิสถาปัตย์โดยเน้นพื้นที่สีเขียว เพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัยและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว
2. บริษัท แสนสิริ จำกัด (มหาชน)	โครงการบ้านแสนสิริ อาทิ BuGaan Exclusive Modern Residence, NARASIRI, NARINSIRI, ELSE และ SETTHASIRI ได้กำหนดเป้าหมายเป็นองค์กร Net Zero ภายในปี 2593 โดยดำเนินกลยุทธ์ 3 ด้าน ได้แก่ Green Procurement, Green Architecture and Design และ Green Construction ภายใต้แนวคิด Sansiri Green Living Design ซึ่งให้ความสำคัญกับการออกแบบที่อยู่อาศัยที่ประหยัดพลังงาน เช่น ระบบน้ำรีไซเคิล การใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และการปลูกต้นไม้ในบ้านและพื้นที่ส่วนกลาง เพื่อสนับสนุนการลดการใช้พลังงานและส่งเสริมการอยู่อาศัยอย่างยั่งยืน
3. บริษัท แลนด์ แอนด์ เฮาส์ จำกัด (มหาชน)	โครงการบ้านมณฑนา อาทิ Lake Watcharapol ซึ่งได้รับรางวัลบ้านจัดสรรอนุรักษ์พลังงานดีเด่นด้านนวัตกรรม ดำเนินงานภายใต้แนวทางการบริหารจัดการเพื่อลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดกระบวนการพัฒนา แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะก่อนก่อสร้าง ระหว่างก่อสร้าง และหลังการก่อสร้าง โดยมีมาตรการเด่น เช่น การออกแบบบ้านที่ประหยัดพลังงาน การใช้หลังคาสะท้อนความร้อนเพื่อลดการใช้เครื่องปรับอากาศ และการติดตั้งระบบจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพในพื้นที่ส่วนกลางของโครงการ
4. บริษัท ออริจิ้น พร็อพเพอร์ตี้ จำกัด (มหาชน)	บ้านออริจิ้น ภายใต้แบรนด์ BRITANIA เช่น แกรนด์ บริทาเนีย และบริทาเนีย มีนโยบายมุ่งสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี 2587 โดยมุ่งเน้นการออกแบบบ้านที่ประหยัดพลังงาน การจัดสร้างพื้นที่สีเขียวที่หลากหลาย และการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ
5. บริษัท เอพี (ไทยแลนด์) จำกัด (มหาชน)	บ้านกลางเมือง (Baan Klang Muang) - โครงการออกแบบพื้นที่ภายในบ้านให้ประหยัดพลังงานและใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการจัดการน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพ และการสร้างพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ส่วนกลาง
6. บริษัท เสนาดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน)	โครงการเสนา เวล่า ดำเนินการภายใต้แนวคิดบ้านพลังงานเป็นศูนย์ (Net Zero) โดยมีเป้าหมายพัฒนาธุรกิจสู่ความยั่งยืนตามกรอบแนวคิด "The Essential Lifelong Trusted Partner" เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัยในระยะยาว เสนาได้นำแนวคิด "SMART CITY" มาประยุกต์ใช้ในโครงการ ทั้งในด้าน Smart Energy, Smart Mobility, Smart Living

ชื่อองค์กร	ชื่อโครงการ และแนวคิดการพัฒนาโครงการฯ
	และ Smart Environment เพื่อลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพ ตอบสนองต่อเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมและสร้างสังคมที่ยั่งยืนในทุกมิติ

3.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการในการพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ ประเภทโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ได้แก่ 1) ช่วงก่อนการก่อสร้าง มุ่งเน้นการวางแผนเชิงกลยุทธ์ โดยเริ่มจากการกำหนดแนวคิดและศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการผ่านการเลือกพื้นที่ที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศต่ำ ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างยั่งยืน [9] ถัดมา คือ การออกแบบและวางแผนงบประมาณที่สอดคล้องกับหลักวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยเน้นการเพิ่มพื้นที่สีเขียว การนำระบบพลังงานหมุนเวียน เช่น โซลาร์เซลล์ มาใช้ และการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่มีค่าคาร์บอนต่ำ เพื่อช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจัดสรรงบประมาณเพื่อสนับสนุนระบบอาคารประหยัดพลังงานและระบบจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ [10] และสุดท้าย คือ การเข้าถึงแหล่งเงินทุนที่สนับสนุนโครงการสีเขียว เช่น กองทุนเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนหรือสินเชื่อดอกเบี้ยต่ำที่ช่วยลดต้นทุนการลงทุนในเทคโนโลยีสะอาดและเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาโครงการสีเขียว [11] 2) ช่วงระหว่างการพัฒนาโครงการ เป็นช่วงของการดำเนินงานจริง โดยเริ่มจากการติดต่อกับหน่วยงานรัฐเพื่อขอใบอนุญาตที่เกี่ยวข้อง รวมถึงรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลาและมีความซับซ้อน [12] ในด้านการบริหารงานก่อสร้างควรใช้แนวทางก่อสร้างสีเขียว เช่น การออกแบบแบบโมดูลาร์ และการเลือกใช้วัสดุรีไซเคิล ซึ่งช่วยลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการก่อสร้าง [13] สำหรับการจัดซื้อจัดจ้าง ต้องพิจารณาวัสดุที่ได้ รับการรับรองด้านสิ่งแวดล้อม และระบบโลจิสติกส์ที่ลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่สะท้อนถึงความโปร่งใสของโครงการ [14] ในด้านการตลาดและการขาย ควรเน้นการสื่อสารคุณค่าด้านสิ่งแวดล้อมของโครงการ เช่น การประหยัดพลังงาน ความคุ้มค่าในระยะยาว และการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ [15] 3) ช่วงหลังการก่อสร้าง ให้มีความสำคัญกับการส่งมอบและการบริหารจัดการในระยะยาว โดยเริ่มจากการบริหารหลังการขายและการโอนกรรมสิทธิ์ที่โปร่งใสและมีประสิทธิภาพ เช่น การดูแลซ่อมแซมพื้นที่ใช้สอยและการรักษามาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่สีเขียว [12] การบริหารทรัพยากรสินต้องพิจารณาในมิติของความยั่งยืน เช่น การบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐาน การใช้พลังงานทดแทน และการบริหารจัดการของเสียอย่างเป็นระบบ [13] และในมิติของการบริหารจัดการอาคาร ต้องใช้ระบบอัตโนมัติสำหรับการควบคุมการใช้พลังงาน ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ และการบูรณาการเทคโนโลยีเพื่อให้สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานและทรัพยากรในระยะยาว [14] ซึ่งทั้งหมดนี้ล้วนเป็นกระบวนการที่ส่งเสริมการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ในรูปแบบที่ยั่งยืนทั้งในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

3.3 แนวคิดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ในบริบทของการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สะท้อนให้เห็นถึงการบูรณาการระหว่างมิติของพลังงาน สิ่งแวดล้อม และความเป็นธรรมทางสังคมใน 5 ด้านหลัก ได้แก่ 1) การลดความยากจนและสร้างความเสมอภาค (SDG 1, SDG 10) โดยผ่านการออกแบบระบบพลังงานหมุนเวียน เช่น โซลาร์เซลล์ การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ และการใช้วัสดุก่อสร้างที่มีต้นทุนการดำเนินงานต่ำ เพื่อช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายของผู้อยู่อาศัยในระยะยาว ทั้งยังสนับสนุนการตั้งถิ่นฐานใกล้ระบบคมนาคมและบริการสาธารณสุขเพื่อเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงทรัพยากรพื้นฐานอย่างเท่าเทียม ส่งเสริมความเป็นธรรมในเชิงพื้นที่ [16] 2) การเข้าถึงพลังงานสะอาดและราคาไม่แพง (SDG 7) โดยเน้นการนำพลังงานทางเลือก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้ในระบบอาคาร ทั้งระบบผลิตไฟฟ้าและแสงสว่างสาธารณะ ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก พร้อมทั้งการออกแบบเชิงพาสซีฟ เช่น การจัดวางอาคารให้รับลมและแสงอย่างเหมาะสม การเลือกวัสดุที่ลดการถ่ายเทความร้อน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในระดับครัวเรือนและชุมชน [17][18] 3) การสร้างเมืองและชุมชนที่ยั่งยืน (SDG 11) มุ่งเน้นการพัฒนาที่อยู่อาศัยในลักษณะ Low-Carbon Housing ผ่านการใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การเพิ่มพื้นที่สีเขียว และการเชื่อมโยงกับโครงสร้างพื้นฐาน เช่น

ระบบขนส่งมวลชนที่ลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์ [18] 4) การบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ (SDG 12) ได้แก่ การวางระบบบำบัดน้ำเสีย การกักเก็บและนำน้ำฝนกลับมาใช้ใหม่ การใช้ระบบพลังงานแบบ Decentralized Energy Systems ที่เน้นการประหยัดพลังงานและลดการสูญเสียพลังงานระหว่างการใช้งาน [17] และ 5) การดำเนินการด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (SDG 13) โดยการพัฒนาโครงการต้องคำนึงถึงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกผ่านการใช้พลังงานทดแทน ระบบการจัดการของเสียแบบเศรษฐกิจหมุนเวียน และการออกแบบที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่มีคาร์บอนฟุตพริ้นต์ต่ำ และสามารถดูดซับคาร์บอนจากสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Low-Emission Development Strategy (LEDS) ที่ช่วยเสริมสร้างความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ [18][19]

3.4 แนวคิดการทำธุรกิจที่ยั่งยืนหรือ Environmental, Social, and Governance (ESG) ของสถาบันผลผลิตแห่งชาติ (National Productivity Institute) การพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจำเป็นต้องใช้แนวทางการทำธุรกิจที่ยั่งยืน (Sustainable Business Practices) ซึ่งไม่เพียงแต่คำนึงถึงผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ แต่ยังเน้นการดูแลสิ่งแวดล้อม สังคม และการบริหารจัดการที่โปร่งใสตามกรอบแนวคิด ESG (Environmental, Social, and Governance) ทั้งนี้ แนวคิดเหล่านี้เชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ขององค์การสหประชาชาติ ซึ่งเป็นกรอบเป้าหมายที่ทั่วโลกใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาที่ยั่งยืนในระยะยาว [20] ได้แก่ 1) **ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental)** มีการใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้วัสดุรีไซเคิลได้และการออกแบบที่ช่วยลดการใช้พลังงาน การใช้พลังงานทดแทนในโครงการหมู่บ้านจัดสรร เช่น พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลมเพื่อเพิ่มความยั่งยืน [21] 2) **ด้านสังคม (Social)** มีการให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของชุมชนและการสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีให้กับผู้ที่อาศัยอยู่ในโครงการ มีการพัฒนาชุมชนที่สนับสนุนการมีส่วนร่วม และความร่วมมือระหว่างผู้อยู่อาศัย เพื่อสร้างสังคมที่ยั่งยืน [21] และ 3) **การกำกับดูแลที่ดี (Governance)** มีการจัดการระบบการบริหารจัดการที่โปร่งใสและตรวจสอบได้ เพื่อให้การดำเนินธุรกิจและโครงการหมู่บ้านจัดสรรเป็นไปอย่างมีความรับผิดชอบ มีการกำกับดูแลให้สอดคล้องกับกฎหมายและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง [21]

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และหลักการการทำธุรกิจที่ยั่งยืน (ESG) เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ พื้นที่วิจัย คือ องค์กรธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ประเภทที่อยู่อาศัย ที่จดทะเบียนนิติบุคคลและยังดำเนินกิจการอยู่ทั่วประเทศ ซึ่งมีการดำเนินการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรร ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมทั้งสิ้น 1,100 ราย (ที่มา: กรมพัฒนาธุรกิจการค้า ข้อมูล, ณ วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2566) ประชากร คือ ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ มีทั้งหมด 2 กลุ่ม ได้แก่ **กลุ่มที่ 1** การเก็บข้อมูลโดยการเก็บข้อมูลการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) จากผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informants) โดยการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง พิจารณาจากคุณสมบัติของผู้ที่มีความรับผิดชอบด้านงานก่อสร้าง ส่วนงานธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ประเภทที่อยู่อาศัย และมีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญโครงการก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรร ไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 26 คน ประกอบด้วย ผู้แทนองค์กรธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ประเภทที่อยู่อาศัย จำนวน 18 คน ผู้เชี่ยวชาญและนักวิชาการ จำนวน 4 คน ผู้แทนหน่วยงานภาครัฐและสมาคม จำนวน 4 คน โดยใช้หลักการกำหนดกลุ่มตัวอย่างขั้นต้นที่ใช้กับเทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) ของ แมคมิลแลน [22] ซึ่งควรใช้ไม่น้อยกว่า 17 คน เก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึก โดยใช้เครื่องมือแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และ **กลุ่มที่ 2** การเก็บข้อมูลโดยการเก็บข้อมูลการสนทนากลุ่ม (Focus Group) จากผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informants) โดยการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง ในกลุ่มผู้มีส่วนได้เสียในห่วงโซ่คุณค่าธุรกิจ 7 กลุ่ม จำนวน 18 คน ประกอบด้วย 1) นักลงทุนและผู้ถือหุ้น จำนวน 2 คน 2) ผู้บริหารและพนักงาน จำนวน 4 คน 3) ลูกค้า ผู้เช่า และผู้อาศัย จำนวน 3 คน 4) ชุมชนและสังคม จำนวน 2 คน 5) คู่ค้า และพันธมิตร จำนวน 4 คน 6) หน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง จำนวน 2 คน และ 7) ผู้เชี่ยวชาญ หรือนักวิชาการ จำนวน 2 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มี 2 ชนิด ได้แก่ แบบสัมภาษณ์เชิงลึก และแบบสนทนากลุ่ม โดยเครื่องมือชิ้นนี้สร้างตามแนวคิดข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ประเภทพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบันและปัญหา แนวคิดกระบวนการในการพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ สำหรับแนวคิดการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน อาศัยแนวคิดการทำธุรกิจที่ยั่งยืน (ESG) ของสถาบันผลผลิตแห่งชาติ และ SDGs ขององค์การสหประชาชาติ ประกอบกับแนวคิดการศึกษาสภาพแวดล้อมภายนอกที่เกี่ยวข้อง 6 ด้าน วิเคราะห์ด้วยตัวแบบ PESTEL Model ของ อากีลาร์ [23]

การออกแบบเครื่องมือวิจัย มีดังนี้ 1) ใช้คำถามแบบ ปลายเปิดกว้าง (Open-Ended Questions) เพื่อลดโอกาสการชี้นำทิศทางคำตอบ และหลีกเลี่ยงคำถามที่เป็นภาวะคำถามนำ (Leading Questions) หรือมีอคติแฝง เช่น ใช้คำกลางที่ไม่ชี้ทางเชิงบวก หรือเชิงลบ 2) มีการใช้การบันทึกเสียง (Audio Recording) เพื่อป้องกันความลำเอียงจากการจดบันทึกตามความเข้าใจของผู้วิจัยเท่านั้น โดยมีการแจ้งและขอความยินยอมอย่างเป็นทางการจากผู้ให้ข้อมูล 3) ตรวจสอบข้อมูลโดยวิธี Triangulation เปรียบเทียบข้อมูลจากหลายแหล่ง (ผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐ เอกชน และสมาคมวิชาชีพ) เพื่อลดความเบี่ยงเบนจากกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง โดยใช้วิธีการตรวจสอบความถูกต้องจากผู้ให้ข้อมูล (Member Checking) โดยส่งสรุปสาระสำคัญให้ตรวจสอบความตรงของความหมาย และ 4) การวิเคราะห์ข้อมูลอย่างรอบด้าน เน้นการตีความจากเนื้อหาที่ปรากฏจริงโดยไม่ใส่ความเห็นส่วนตัว และมีการระบุแหล่งที่มาของคำพูดโดยตรง ประกอบการ Coding โดยพิจารณาหลายรอบเพื่อให้ได้แก่นร่วมที่แท้จริง ไม่อิงความคิดเห็นของผู้วิจัยแต่เพียงผู้เดียว

การตรวจสอบความตรงของเนื้อหา (Content Validity) ใช้เทคนิคดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence: IOC) จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ จำนวน 5 ท่าน แบบสัมภาษณ์เชิงลึกแบบกึ่งโครงสร้าง โดยรวมมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.90 ถือว่าแบบสอบถามชุดนี้มีคุณภาพในด้านความตรงของเนื้อหาในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ มีการปรับแก้ไขเครื่องมือได้ดำเนินการตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิก่อนนำไปใช้จริงในการสัมภาษณ์ นอกจากนี้ ได้ดำเนินการทดลองใช้ (Pilot Interview) กับกลุ่มตัวอย่างจำลองจำนวน 2 ราย ซึ่งมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลัก เพื่อตรวจสอบความเข้าใจในแนวคำถามและความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ก่อนเก็บข้อมูลจริงกับกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด 26 คน

แนวทางการสนทนากลุ่ม เป็นการสนทนากลุ่มแบบกลุ่มเดี่ยว (Single Focus Group) อภิปรายเชิงโต้ตอบในประเด็นที่กำหนดของกลุ่มผู้เข้าร่วมสนทนาทั้งหมด จากผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informants) โดยการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง ในกลุ่มผู้มีส่วนได้เสียในห่วงโซ่คุณค่า 7 กลุ่ม เพื่อศึกษาความคิดเห็น ทศนคติ การรับรู้หรือแนวคิด ในประเด็นที่เกี่ยวกับการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวบรวมข้อมูลโดยผู้วิจัย ระหว่างเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2567 นำข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึก และการสนทนากลุ่ม ร่วมกับข้อมูลเอกสารจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง มาประกอบในการวิจัยเอกสารวิเคราะห์เนื้อหา แล้วเขียนบรรยายเชิงพรรณนา ทำการสรุปการวิเคราะห์ และสังเคราะห์ ให้ได้มาซึ่งแนวทางการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 1 ผลการศึกษาสภาพปัจจุบันและปัญหา ในการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล สามารถสรุปได้ 2 ปัจจัย จากการวิจัยเอกสาร การสัมภาษณ์เชิงลึก และการสนทนากลุ่ม ดังนี้

5.1.1 ปัจจัยด้านกระบวนการในการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล สามารถจำแนกออกเป็น 3 ช่วงหลัก ได้แก่ ช่วงก่อนการก่อสร้าง ช่วงระหว่างการพัฒนา และช่วงหลังการก่อสร้าง โดยในช่วงแรกมีบทบาทเชิงยุทธศาสตร์ในการวางรากฐานของโครงการ อาทิ การเลือกพื้นที่ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ การออกแบบโดยเน้นระบบพลังงานหมุนเวียน พื้นที่สีเขียว และวัสดุก่อสร้างลดการปล่อย

คาร์บอน ตลอดจนการเข้าถึงแหล่งทุนจากกองทุนสีเขียวหรือสินเชื่อดอกเบี้ยต่ำ อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดด้านข้อมูลเชิงพื้นที่ ราคาวัสดุสีเขียวสูง และการสนับสนุนจากภาคการเงินที่ยังจำกัด ช่วงที่สอง เป็นกระบวนการนำแผนไปสู่การปฏิบัติจริง โดยเน้น 4 กิจกรรม ได้แก่ การประสานงานกับหน่วยงานราชการซึ่งมักมีขั้นตอนซับซ้อน การบริหารงานก่อสร้างที่เน้นเทคโนโลยีสะอาด เช่น Modular Construction และวัสดุรีไซเคิล การจัดซื้อจัดจ้างที่คำนึงถึงมาตรฐานสิ่งแวดล้อม เช่น มาตรฐานการรับรองไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ (FSC) และการตลาดที่สื่อสารจุดเด่นของโครงการต่อผู้บริโภค ทั้งนี้ยังเผชิญกับข้อจำกัด เช่น วัสดุมีต้นทุนสูง ผู้เชี่ยวชาญท้องถิ่นมีจำกัด ผู้จัดจำหน่ายวัสดุที่ได้รับรองมาตรฐานมีน้อย และการสร้างการรับรู้ด้านสิ่งแวดล้อมในตลาดยังต้องใช้งบประมาณและเวลาสูง ช่วงสุดท้ายคือหลังการก่อสร้าง เน้นการส่งมอบ การบำรุงรักษา และการเพิ่มมูลค่าโครงการผ่านการให้บริการหลังการขายที่มีคุณภาพ การบริหารทรัพย์สินที่คำนึงถึงการจัดการพลังงาน น้ำฝน และของเสียอย่างยั่งยืน รวมถึงการจัดการอาคารสถานที่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีข้อจำกัด เช่น ความล่าช้าในการโอนกรรมสิทธิ์ การซ่อมแซมไม่เป็นไปตามมาตรฐาน และขาดทรัพยากรบุคคลในโครงการขนาดใหญ่ ทั้งหมดนี้สะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนาโครงการสีเขียวจำเป็นต้องมีการวางแผนรอบด้าน ประสานความร่วมมือจากหลายภาคส่วน และสร้างกลไกสนับสนุนทั้งในเชิงนโยบาย เศรษฐกิจ และเทคนิคเพื่อผลักดันการพัฒนาอย่างยั่งยืนอย่างแท้จริง

5.1.2 ปัจจัยด้านการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน มีความเชื่อมโยงอย่างเด่นชัดกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และหลัก ESG โดยเฉพาะในเป้าหมาย SDG 1, 7, 10, 11, 12 และ 13 ซึ่งเน้นการลดความยากจน การเข้าถึงพลังงานสะอาด การสร้างเมืองที่ยั่งยืน การบริหารทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ต้นทุนวัสดุและเทคโนโลยีสีเขียวที่สูง การขาดนโยบายสนับสนุนจากภาครัฐ และการขาดความรู้ความเข้าใจของประชาชน เช่น SDG 4, SDG 11, SDG 12 และ SDG 13) ขณะเดียวกัน การดำเนินงานตามหลัก ESG ซึ่งประกอบด้วย มิติสิ่งแวดล้อม (Environmental) มุ่งใช้พลังงานหมุนเวียนและวัสดุที่ยั่งยืน มิติสังคม (Social) ส่งเสริมคุณภาพชีวิตและความปลอดภัยของชุมชน และมิติด้านธรรมาภิบาล (Governance) ยึดหลักความโปร่งใสและปฏิบัติตามกฎหมาย ล้วนเป็นกลไกที่ส่งเสริมเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในระยะยาว อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของการนำ ESG ไปใช้ในภาคธุรกิจไทย คือ การขาดแรงจูงใจจากภาครัฐ ความไม่เข้าใจในประโยชน์ของ ESG จากนักลงทุนหรือผู้พัฒนา รวมถึงต้นทุนการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้นจากการใช้เทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืน ทั้งหมดนี้ยังเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการขับเคลื่อนโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 2 ผลการศึกษาสภาพแวดล้อมภายนอกที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยอ้างอิงกรอบแนวคิด PESTEL ของ Aguilar [23] พบว่า **ในด้านการเมือง (Political)** การพัฒนาที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างรัฐ เอกชน และชุมชน โดยมีกรอบนโยบาย เช่น แผนยุทธศาสตร์ BCG กฎหมายผังเมือง และการมีส่วนร่วมของชุมชนเป็นองค์ประกอบสำคัญ **ด้านเศรษฐกิจ (Economics)** ปัจจัยทางเศรษฐกิจสามารถเป็นได้ทั้งแรงสนับสนุนและข้อจำกัด โดยการเข้าถึงแหล่งเงินทุนสีเขียวและสิทธิประโยชน์ทางภาษีช่วยส่งเสริมการพัฒนา แต่ต้นทุนการพัฒนาและกำลังซื้อของผู้บริโภคยังคงเป็นอุปสรรค **ด้านสังคม (Social)** วิถีชีวิตและทัศนคติของผู้บริโภคเปลี่ยนไปในทิศทางที่เอื้อต่อโครงการสีเขียว อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จยังคงขึ้นกับการสร้างการรับรู้และการสนับสนุนจากชุมชน **ด้านเทคโนโลยี (Technology)** เป็นหัวใจสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนาโครงการ เช่น การใช้เทคโนโลยีสีเขียว ระบบอัตโนมัติ และ Smart Grid แต่ยังคงมีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานและต้นทุน **ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental)** การพัฒนาโครงการต้องตอบสนองต่อความท้าทายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยมาตรการลดการใช้พลังงาน การเลือกใช้วัสดุที่ยั่งยืน การบริหารจัดการพื้นที่สีเขียว และการจัดการขยะอย่างเป็นระบบ สุดท้าย **ด้านกฎหมาย (Legal)** กฎหมายและข้อกำหนดเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม เช่น LEED, ISO 14001 และการใช้สิทธิประโยชน์ทางภาษี มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมความยั่งยืนของโครงการ แม้จะมีความซับซ้อนในขั้นตอนอนุมัติและต้นทุนที่เพิ่มขึ้นก็ตาม โดยสรุปแล้วทุกมิติของ PESTEL มีความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกันในการส่งเสริมหรือเป็นข้อจำกัดต่อการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

5.3 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 3 แนวทางการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า ควรดำเนินการอย่างเป็นระบบในสามช่วงหลัก ได้แก่ ช่วงก่อนการก่อสร้าง ควรมีฐานข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติที่แม่นยำ พร้อมสนับสนุนมาตรการจูงใจทางภาษีและสินเชื่อสีเขียว ตลอดจนพัฒนาศักยภาพบุคลากรด้านการออกแบบและก่อสร้างอย่างยั่งยืน ขณะที่ช่วงระหว่างก่อสร้างควรพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อยื่นเอกสารและติดตามผลอนุมัติ ส่งเสริมการใช้วัสดุก่อสร้างที่ได้รับการรับรองมาตรฐานสิ่งแวดล้อม เช่น FSC รวมถึงการควบคุมฝุ่นและมลพิษอย่างเป็นระบบ และช่วงหลังการก่อสร้างควรส่งเสริมการบริหารอาคารอย่างยั่งยืน เช่น การจัดการขยะ น้ำเสีย และพลังงานผ่านระบบอัจฉริยะ ทั้งนี้ แนวทางดังกล่าวควรเชื่อมโยงกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ได้แก่ SDG 1, 7, 10, 11, 12, และ 13 เพื่อส่งเสริมการลดความยากจน การใช้พลังงานสะอาด การพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน และการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยลดการปล่อยคาร์บอนและมุ่งสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างยั่งยืน สำหรับบริบทของ ESG ควรเน้นการสร้างความรู้ความเข้าใจในประโยชน์ระยะยาวของการพัฒนาอย่างยั่งยืน การส่งเสริมจากภาครัฐ เช่น สิทธิประโยชน์ทางภาษี และการออกแบบข้อบังคับที่เอื้อต่อการดำเนินการ ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับปัจจัยภายนอกตามกรอบ PESTEL ได้แก่ ด้านการเมืองที่มีนโยบาย BCG และกฎหมายผังเมือง, ด้านเศรษฐกิจ ที่สนับสนุนเงินทุนสีเขียว ด้านสังคมที่ผู้บริโภคมีแนวโน้มใส่ใจสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ด้านเทคโนโลยีที่ใช้ระบบอัตโนมัติและ 3D Printing ด้านสิ่งแวดล้อมที่เน้นการใช้วัสดุเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน และด้านกฎหมายที่สนับสนุนการใช้มาตรฐานสากล เช่น LEED และ ISO 14001 เพื่อเสริมสร้างความยั่งยืนของโครงการในระยะยาว

6. อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ สภาพปัจจุบันและปัญหา ในการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ปัจจัยด้านกระบวนการในการพัฒนาโครงการ พบว่า มีความท้าทายเชิงระบบในทุกช่วงกระบวนการของโครงการ โดยในช่วงก่อนการก่อสร้าง การเลือกพื้นที่ก่อสร้างที่ลดผลกระทบเชิงนิเวศ และการออกแบบที่เน้นลดการปล่อยคาร์บอนผ่านการใช้วัสดุที่มีค่าการปล่อยต่ำ (Low-Carbon Materials) และเพิ่ม Biophilic Design เช่น พื้นที่สีเขียว เป็นองค์ประกอบสำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม การเข้าถึงแหล่งทุนสีเขียว (Green Finance) ยังจำกัด โดยเฉพาะในมิติของฐานข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและราคาวัสดุสีเขียวที่สูง ซึ่งต่างจากกรณีศึกษาในประเทศ เช่น Eco-Districts เยอรมนี [24] และ Green Mark สิงคโปร์ [25] ที่มีระบบสนับสนุนจากรัฐทั้งในรูปแบบภาษีและสินเชื่อดอกเบี้ยต่ำ สอดคล้องกับ กนกวรรณ. (2566). [10] ที่เน้นความสำคัญของการออกแบบเชิงนิเวศและการเข้าถึงทุนอย่างครอบคลุม ขณะที่งานของ รัตติกาล. (2566). [26] ชี้ว่า เทคโนโลยีการออกแบบสถาปัตยกรรมที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม (Environmental-Conscious Architecture) ช่วยยกระดับมูลค่าโครงการและตอบโจทย์ลูกค้าที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อม ในช่วงก่อสร้าง พบว่า การประสานงานกับภาครัฐโดยเฉพาะกระบวนการ EIA มีความสำคัญ ขณะที่การนำเทคโนโลยีก่อสร้างสีเขียว เช่น Modular Construction และวัสดุที่ได้รับการรับรอง FSC ช่วยลดของเสียจากการก่อสร้างและลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ข้อจำกัดที่สำคัญ ได้แก่ ราคาสูงของวัสดุและจำนวนผู้ผลิตที่ผ่านมาตรฐานยังจำกัด ซึ่งแนวโน้มเหล่านี้ต่างจากแนวปฏิบัติของเนเธอร์แลนด์ที่มีระบบ Circular Construction Label [27] ซึ่งช่วยลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของวัสดุจากแหล่งผลิตโดยตรง สอดคล้องกับ สมชาย และนพดล. (2567). [13] ที่เน้นว่าการใช้เทคโนโลยีสีเขียวในงานก่อสร้างช่วยลดต้นทุนในระยะยาว และยังเสริมความน่าเชื่อถือให้กับโครงการอย่างยั่งยืน ช่วงหลังการก่อสร้างมุ่งเน้นการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ระบบบริหารจัดการน้ำฝนและของเสีย (On-site Stormwater Management and Waste Segregation) การติดตั้งระบบควบคุมพลังงานอัจฉริยะ (Smart Energy Control Systems) และระบบระบายอากาศที่ใช้พลังงานต่ำ ทั้งนี้การบริการหลังการขายที่มีประสิทธิภาพยังคงเป็นกุญแจสำคัญในการรักษาคุณภาพและภาพลักษณ์โครงการ สอดคล้องกับ พิรัช. (2567). [18] และสอดคล้องกับแนวทาง Smart Community Management ของ UN-Habitat. (2021). [28] ที่ส่งเสริมให้มีการใช้ระบบดิจิทัลในการจัดการแบบมีส่วนร่วมร่วมกับภาคเอกชนผ่าน PPP Model เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในระยะยาว

ในบริบทของ SDGs และ ESG งานวิจัยนี้ พบว่า โครงการหมู่บ้านจัดสรรสามารถส่งเสริมเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้หลายด้าน ได้แก่ SDG 1 (ลดความยากจน), SDG 7 (พลังงานสะอาด), SDG 11 (เมืองยั่งยืน), SDG 12 (การใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน), และ SDG 13 (การแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) ผ่านกลยุทธ์ด้านพลังงานทดแทน การเพิ่มพื้นที่สีเขียว และการลดคาร์บอน ทั้งนี้มีข้อจำกัดจากต้นทุนวัสดุและเทคโนโลยี (SDG 12, 13), การขาดนโยบายสนับสนุนที่ชัดเจน (SDG 16), และการรับรู้ของประชาชนที่ยังไม่ทั่วถึง (SDG 4, 11) ซึ่งแตกต่างจากยุโรปที่ได้รับการสนับสนุนจากรัฐอย่างเข้มแข็ง [29] สำหรับด้าน ESG พบว่า การดำเนินการครอบคลุมมิติดังนี้ 1) Environmental – ใช้วัสดุที่มีค่า Embodied Energy ต่ำและพลังงานหมุนเวียน 2) Social – พัฒนาชุมชนอย่างมีส่วนร่วมและปลอดภัย และ 3) Governance – มีธรรมาภิบาลและความโปร่งใสตามหลักกฎหมาย อย่างไรก็ตาม อุปสรรคที่พบ ได้แก่ การรับรู้ที่ต่ำต่อ ESG, ต้นทุนเทคโนโลยีและวัสดุที่ยั่งยืนที่สูง, และขาดแรงจูงใจทางการคลัง ซึ่งสอดคล้องกับ ทิวารี และปิยะ. (2566). [17] ที่ระบุถึงความจำเป็นในการออกแบบระบบ ESG แบบองค์รวม และแตกต่างจากประเทศอย่างญี่ปุ่นที่มีมาตรการภาษีรองรับโครงการสีเขียวอย่างเป็นระบบตามที่ สมชาย และนพดล. (2567). [13] กล่าวไว้

ส่วนสภาพแวดล้อมภายนอกที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล สามารถจัดแบ่งได้เป็น 6 มิติหลักตามกรอบ PESTEL ดังนี้ 1) มิติด้านการเมือง (Political) พบว่า นโยบายภาครัฐ เช่น แผนยุทธศาสตร์ BCG (Bio-Circular-Green Economy) และการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชน เป็นกลไกสำคัญในการสร้างสมดุลระหว่างประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจและความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ความร่วมมือเชิงบูรณาการระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องยังไม่เพียงพอ ส่งผลให้การควบคุมและตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อมเกิดข้อจำกัด ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ กนกวรรณ. (2566). [10] ที่ระบุว่ากรอบนโยบายภาครัฐและกฎระเบียบที่ชัดเจนสามารถลดอุปสรรคของโครงการสีเขียว ทั้งนี้ เมื่อเทียบกับประเทศพัฒนาแล้ว เช่น สวีเดน พบว่ารัฐมีบทบาทเชิงรุกมากกว่า โดยสนับสนุนโครงการผ่านเงินอุดหนุนและกลไกภาษีเพื่อสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน [29] 2) มิติด้านเศรษฐกิจ (Economic) การสนับสนุนจากภาครัฐผ่านมาตรการจูงใจทางการเงิน เช่น การลดหย่อนภาษีสำหรับการลงทุนในเทคโนโลยีสะอาด และการเข้าถึงกองทุนสีเขียว (Green Financing Mechanisms) ช่วยเพิ่มศักยภาพของโครงการ อย่างไรก็ตาม ราคาวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและระบบพลังงานทดแทนยังคงเป็นข้อจำกัด โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับกำลังซื้อของผู้บริโภค สอดคล้องกับ สมชาย และนพดล. (2567). [13] ที่ชี้ว่าประเทศญี่ปุ่นมีมาตรการลดภาษีสำหรับการใช้วัสดุสีเขียว ขณะที่ประเทศไทยยังขาดสิทธิประโยชน์ทางเศรษฐกิจที่เพียงพอ 3) มิติด้านสังคม (Social) แนวโน้มพฤติกรรมของผู้บริโภคในกรุงเทพฯ และปริมณฑลเริ่มเปลี่ยนแปลงไปในทางบวกต่อโครงการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การสร้างความตระหนักและการมีส่วนร่วมของชุมชนยังต้องได้รับการสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับ ทิวารี และปิยะ. (2566). [17] ที่เสนอว่าความสำเร็จของชุมชนสีเขียวในอินเดียมาจากการสนับสนุนขององค์กรสังคมและการเสริมสร้างองค์ความรู้แก่ประชาชน 4) มิติด้านเทคโนโลยี (Technology) เทคโนโลยีด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เช่น ระบบพิมพ์สามมิติ (3D Printing) ระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) และระบบจัดการของเสียแบบอัตโนมัติ (Intelligent Waste Management Systems) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม แต่ต้นทุนโครงสร้างพื้นฐานและความซับซ้อนในการประยุกต์ใช้ยังเป็นอุปสรรค สอดคล้องกับ สมิธ และคณะ. (2022). [29] ที่ชี้ว่าประเทศพัฒนาแล้ว เช่น เยอรมนี สามารถลดต้นทุนได้ผ่านการลงทุนร่วมระหว่างรัฐและเอกชนในระบบเทคโนโลยีสีเขียว (Green Technology Innovation) 5) มิติด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental) แนวทางการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน ได้แก่ การออกแบบพื้นที่สีเขียว (Green Landscape Design) การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่ยั่งยืน (Sustainable Building Materials) และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการก่อสร้าง (GHG Mitigation in Construction) ช่วยเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัยและลดภาระต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว อย่างไรก็ตาม มาตรการควบคุมมลพิษ เช่น ฝุ่น PM และเสียงจากการก่อสร้างยังไม่เข้มงวดเพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับ พิรัช. (2567). [18] ที่เสนอว่าการใช้มาตรฐาน LEED ในสหรัฐอเมริกาเป็นเครื่องมือสำคัญในการควบคุมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม 6) มิติด้านกฎหมาย (Legal) การใช้มาตรฐานสากล เช่น ISO 14001 และ LEED ช่วยยกระดับคุณภาพโครงการให้มีความยั่งยืนทั้งในด้านโครงสร้างและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม

อย่างไรก็ตาม กระบวนการอนุมัติที่ล่าช้า และข้อจำกัดด้านสิทธิประโยชน์ทางกฎหมาย เช่น การลดหย่อนภาษีหรือเงินกู้เพื่อสิ่งแวดล้อม ยังคงเป็นข้อจำกัดสำคัญ แตกต่างจากประเทศญี่ปุ่นที่มีระบบการให้สิทธิประโยชน์ทางกฎหมายอย่างเป็นระบบเพื่อสนับสนุนโครงการสีเขียวตามที่ สมชาย และนพดล. (2567). [13] กล่าวไว้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ภาคเอกชน ควรส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีและวัสดุที่ยั่งยืน เช่น แผงโซลาร์เซลล์และระบบ Smart Grid ควบคู่กับการสร้างความร่วมมือกับชุมชน พัฒนาศักยภาพบุคลากร และบูรณาการหลัก ESG เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน ความโปร่งใส และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

7.2 ภาครัฐ ควรสนับสนุนโครงการที่ยั่งยืนผ่านกองทุนสิ่งแวดล้อม สินเชื่อดอกเบี้ยต่ำ และมาตรการลดหย่อนภาษี ควบคู่กับการปรับปรุงกฎหมาย เช่น ผังเมือง มาตรฐาน LEED และ ISO 14001 รวมถึงการพัฒนาระบบดิจิทัลสำหรับการอนุมัติโครงการ สนับสนุนการผลิตวัสดุสีเขียวในประเทศ และส่งเสริมการรับรู้และมีส่วนร่วมของชุมชนในด้านสิ่งแวดล้อม

7.3 ภาคประชาชน ควรมีบทบาทเชิงรุกในการเสนอความคิดเห็นต่อการออกแบบชุมชนและการจัดการทรัพยากร เพื่อสร้างความรู้สึกเป็นเจ้าของร่วม ควบคู่กับการปรับพฤติกรรมให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ประหยัดพลังงาน ใช้พลังงานหมุนเวียน รวมถึงการจัดตั้งเครือข่ายชุมชนสีเขียว เพื่อผลักดันแนวทางการอยู่อาศัยอย่างยั่งยืนในระดับครัวเรือน

8. บรรณานุกรม

- [1] United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. Accessed 14 Feb. 2024. <https://sdgs.un.org>.
- [2] สุนิดา เกียรติวัฒนวิศาล. (2565). *ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน*. วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์แห่งรัตนโกสินทร์, 4(3): 1-18.
- [3] United Nations. (2024). *Sustainable Development Goals (SDGs)*. Accessed 1 Feb. 2024. <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>.
- [4] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2560). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.
- [5] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2563). *รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [6] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2562). *มาตรฐานการพัฒนาโครงการที่อยู่อาศัยที่ยั่งยืน*. กรุงเทพฯ: กระทรวงมหาดไทย.
- [7] Chen, W., & Thorne, D. (2020). *Sustainable housing development in Southeast Asia: Challenges and opportunities*. Journal of Housing and the Built Environment, 35(4): 723-740.
- [8] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). *แผนปฏิบัติการด้านสิ่งแวดล้อมในเขตกรุงเทพฯ*. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [9] โชติกา กาญจนพิทักษ์ และศรีธัญญา วงศ์สวัสดิ์. (2565). *การพัฒนาที่ดินอย่างยั่งยืนในประเทศไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [10] กนกวรรณ ระเบียบนาวิณักษ์. (2566). *การจัดการงบประมาณสำหรับโครงการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม*. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [11] สมชาย รัตนพงษ์ และประภัสสร พุเกียรติ. (2567). *แหล่งเงินทุนสำหรับโครงการอสังหาริมทรัพย์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยการเงินแห่งประเทศไทย.
- [12] ประพันธ์ พิชัยศรี และวราวุธ สุวรรณกุล. (2566). *การบริหารโครงการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ในประเทศไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

- [13] สมชาย รัตนพงษ์ และนพดล ดีประเสริฐ. (2567). เทคโนโลยีสีเขียวในการก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [14] จุฬามาศ พัฒนวิจิตร และอนุสรณ์ ทรัพย์เกษม. (2566). การจัดการจัดซื้อจัดจ้างในโครงการพัฒนาที่ยั่งยืน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยการพัฒนาเศรษฐกิจ.
- [15] พีรวิทย์ สมบูรณ์สกุล และชลลดา พงษ์นวล. (2566). การตลาดในโครงการอสังหาริมทรัพย์สีเขียว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
- [16] รายงานเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน. (2566). ผลกระทบของการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อชุมชนเมือง. สหประชาชาติ: คั่นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2567. <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>.
- [17] ทิวารี พงษ์เจริญ และปิยะ สมานฉันท์. (2566). การพัฒนาที่อยู่อาศัยในกรุงเทพมหานคร. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [18] พิรัช พงษ์สวัสดิ์. (2567). การจัดการทรัพยากรในโครงการอสังหาริมทรัพย์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ธนาคารไทยพาณิชย์.
- [19] ศิริวรรณ วิเศษกุล และกิตติศักดิ์ สมานคุณ. (2566). แนวทางการพัฒนาที่อยู่อาศัยที่ยั่งยืนในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [20] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. (2565). แนวคิด ESG และการพัฒนาโครงการที่ยั่งยืน.
- [21] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. (2566). แนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืน. สืบค้นเมื่อ 17 ธันวาคม 2566, จาก <https://www.thairealestate.org>.
- [22] Macmillan, T. T. (1971). *The Delphi technique*. Paper presented at the annual meeting of the California Junior College Associations Committee on Research and Development, Monterey, California.
- [23] Aguilar, Francis J. (1967). *PESTEL Analysis Overview: PESTEL Technique*. Retrieved November 3, 2021, from <http://www.tacitintellect.co.za/wp-content>.
- [24] Müller, F., & Schwarz, T. (2021). *Eco-Districts in Germany: A Model for Sustainable Urban Housing Development*. Berlin: Federal Environment Agency.
- [25] BCA. (2020). *BCA Green Mark Scheme: Sustainable Built Environment*. Building and Construction Authority Singapore. Retrieved from <https://www1.bca.gov.sg>
- [26] รัตติกาล โสวะภาส. (2566). แนวทางการพัฒนาองค์กรสู่ความเป็นเลิศของกลุ่มพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ประเภทที่อยู่อาศัย. ดุษฎีนิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ.
- [27] Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management. (2021). *Circular Construction Economy Report*. The Hague, Netherlands.
- [28] UN-Habitat. (2021). *People-Centered Smart Cities: Building Sustainable Communities Through Technology*. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme.
- [29] Smith, J., Brown, A., & Green, T. (2022). *Sustainable urban development in Europe: Policies and practices*. London: Green Urban Press.

การลดอุณหภูมิในห้องใต้หลังคาที่มีหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทหล่อเย็นด้วย CLOHP

Temperature Reduction in Attic with Flat Metal Sheet Roof Cooled by CLOHP

นพรัตน์ สีหะวงษ์¹ นินนาท ราชประดิษฐ์¹ และ ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ^{1*}

Nopparat Seehawong¹ Ninnart Rachapradit¹ and Piyanun Charoensawan^{1*}

Received: February 20, 2025

Revise: June 22, 2025

Accepted: June 28, 2025

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 99 หมู่ 9 ถนนพิษณุโลก-นครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Naresuan University 99 Moo 9, Phitsanulok-Nakhon Sawan Road Muang District, Phitsanulok 65000

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สร้างต้นแบบหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเพื่อระบายความร้อนออกจากห้องใต้หลังคา โดยศึกษาหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทรูปแบบต่างๆ และผลกระทบของความเข้มแสงซึ่งใช้เครื่องจำลองแสงอาทิตย์ที่มีหลอดไฟฮาโลเจน จากการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาสูงขึ้น และหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมมีการระบายความร้อนดีที่สุด ทำให้อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคามีค่าต่ำสุดคือ 38.3°C ณ ความเข้มแสงสูงสุด 600 W/m² ดังนั้นท่อความร้อนสามารถดึงความร้อนออกจากพื้นผิวของหลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทและถ่ายเทไปสู่บรรยากาศก่อนถ่ายเทเข้าสู่ห้องใต้หลังคา

คำสำคัญ: ห้องใต้หลังคา หลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีท ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ การลดลงของอุณหภูมิ

Abstract

This research developed a prototype of a flat metal sheet roof utilizing closed-loop oscillating heat pipe (CLOHP) to dissipate heat from the attic. The study examined various types of flat metal sheet roofs and the effects of solar intensity, using a solar simulator equipped with halogen lamps to replicate solar energy. Experimental results revealed that as solar intensity increased, the attic temperature also rose. The flat metal sheet roof equipped with closed-loop oscillating heat pipe, with forced heat convection via a fan, exhibited the best heat transfer efficiency. The attic temperature was reduced to a minimum of 38.3°C at a maximum solar intensity of 600 W/m². This indicates that the heat pipes effectively draw heat from the metal sheet roof surface and transfer it to the atmosphere before it enters the attic.

Keywords: Attic, Flat metal sheet roof, Closed-loop oscillating heat pipe, Temperature reduction

1. บทนำ

เนื่องจากความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะส่งไปยังภายในอาคารโดยผ่านหลังคา ดังนั้นหลังคาจึงเป็นส่วนที่รับความร้อนหลัก เมื่อหลังคาได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ทำให้อุณหภูมิห้องใต้หลังคาและภายในตัวอาคารมีอุณหภูมิสูงขึ้นตาม จึงส่งผลให้เกิดสภาวะความไม่สบายเชิงความร้อน ดังนั้นจึงต้องพัฒนาระบบระบาย

ความร้อนจากห้องใต้หลังคา เพื่อลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาและภายในตัวอาคาร ซึ่งสามารถลดภาวะความร้อนของระบบปรับอากาศ จึงเป็นการประหยัดพลังงานและค่าไฟฟ้าได้อีกด้วย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายความร้อนจากหลังคา เช่น การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของกระเบื้องหลังคา เพื่อลดอุณหภูมิและลดการใช้พลังงานภายในอาคาร [1] โดยศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ประกอบด้วย องค์ประกอบ สี พื้นผิว และรูปร่างของหลังคา ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า กระเบื้องหลังคาที่ทำจากดินเผาชนิดเคลือบผิว รูปร่างโรมัน และสีอิฐดินเผา มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนดีที่สุด และกระเบื้องหลังคาที่ทำจากคอนกรีตชนิดเคลือบผิวด้าน รูปร่างฝรั่งเศส และสีดำ มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนน้อยที่สุด นอกจากการเปรียบเทียบตัวแปรดังกล่าวแล้วยังพบว่า กระเบื้องคอนกรีตมีความคงทนแข็งแรงมากกว่ากระเบื้องชนิดอื่นๆ กระเบื้องสีดำมีอัตราการเสื่อมสภาพน้อยกว่ากระเบื้องที่มีสีโทนอ่อน เช่น สีอิฐดินเผาหรือสีเทา และกระเบื้องที่เคลือบด้วยอะคริลิกและเคลือบด้านมีการสึกกร่อนน้อยที่สุด รวมถึงกระเบื้องรูปร่างฝรั่งเศสมีอายุทางสถาปัตยกรรมน้อยกว่ากระเบื้องรูปร่างโคโลเนียลและรูปร่างโรมัน อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เลือกใช้หลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีท เนื่องจากมีน้ำหนักเบาซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านโครงสร้างฐานล่างของอาคาร ติดตั้งง่าย และราคาถูก จึงเป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทยกันอย่างแพร่หลาย

เนื่องจากท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP) เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่มีสมรรถนะสูง โดยสร้างขึ้นจากท่อคาปิลลารียาวขดเป็นโค้งเลี้ยวแบบสลับระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนและแหล่งระบายความร้อน ภายในท่อเป็นสารถ่ายถ่ายเทความร้อนทำงานด้วยอัตราการเติมที่เหมาะสม กลไกพื้นฐานในการถ่ายเทความร้อนคือการเคลื่อนที่แบบสั่นของสารทำงานภายในท่อ เนื่องจากผลต่างความดันไอของสารทำงานระหว่างส่วนที่ระเหยและส่วนควบแน่นร่วมกับการเปลี่ยนสถานะของสารทำงาน ตัวแปรที่มีผลต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ คือ จำนวนโค้งเลี้ยว เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ ความยาวส่วนที่ระเหย อัตราส่วนการเติมสารทำงาน ชนิดของสารทำงาน มุมเอียงการทำงาน อุณหภูมิการทำงาน และความร้อนป้อนเข้าสู่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ [2-4] เนื่องจากสามารถสร้างท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบได้ง่าย และท่อความร้อนมีการตอบสนองทางความร้อนที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูง จึงถูกนำมาใช้ในระบบระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบกะทัดรัด Li และคณะ (2023) [5] ได้พัฒนาท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามมิติใช้ R1336MZZ เป็นของไหลทำงานที่อัตราส่วนการเติมเชิงปริมาตร 40% ระบบสามารถรักษาอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของชิปจำลองไว้ที่ 75.5°C ภายใต้ภาระความร้อน 600 W ซึ่งต่ำกว่ากรณีที่ไม่มีการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบถึง 9.7°C Maydanik และคณะ (2009) [6] ได้สรุปการพัฒนาและศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ระบายความร้อนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ โดยตัวอุปกรณ์ถูกสร้างจากท่อทองแดงยาว 5.6 m มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.2 mm ถูกจัดเรียงเป็นเกลียวสามมิติที่มี 17 โค้งเลี้ยว อุปกรณ์นี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงภาระความร้อน 5-250 W

สำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ Arab และคณะ (2012) [7] ได้ออกแบบ สร้าง และติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีความยาวพิเศษในเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไฮฟอน โดยใช้ท่อทองแดงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.0 mm และมี จำนวนโค้งเลี้ยวเป็น 6 รอบ ของไหลทำงานที่ใช้คือน้ำกลั่น ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีอัตราส่วนการเติม 70% ให้การทำงานที่เสถียรที่สุดและสามารถใช้งานได้นานที่สุด Charoensawan และคณะ (2021) [8] ได้สร้างและศึกษาระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ซึ่งตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบนี้ประกอบด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจำนวน 10 ท่อ และครอบคลุมพื้นที่ 1.5×1 m² โดยแต่ละท่อทำจากท่อคาปิลลารีทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.8 mm นำมาขดให้มี 20 โค้งเลี้ยว ของไหลทำงานที่ใช้คือน้ำกลั่น โดยมีอัตราส่วนการเติม 50% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ 67% ภายใต้ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์สูง 947-1086 W/m²

สำหรับการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการอนุรักษ์พลังงานเพื่อลดภาวะความร้อนของระบบปรับอากาศ ประหยัดพลังงานและค่าไฟฟ้า ได้มีการวิจัยโดย Yang และคณะ (2019) [9] ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

(Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP) แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศบริสุทธิ์ก่อนเข้าระบบปรับอากาศให้มีอุณหภูมิลดลงด้วยความเย็นที่เหลือนอกจากอากาศเสียที่ปล่อยออกจากระบบปรับอากาศ เพื่อการลดภาระของอากาศเย็นและประหยัดพลังงาน โดยท่อความร้อนแบบสั่นมีความยาว 21.6 m เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.0 mm และจำนวนโค้งเลี้ยวเป็น 40 สารทำงานที่ใช้ในท่อความร้อนคือ R-134a ด้วยอัตราส่วนการเติมคงที่ 50% ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด อุณหภูมิของอากาศภายนอกถูกควบคุมอยู่ในช่วง 30-45°C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในอาคารคงที่เท่ากับ 26°C ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ท่อความร้อนแบบสั่นสามารถทำงานได้ในรูปแบบการติดตั้งแนวระดับและแบบให้ความร้อนด้านล่าง ประสิทธิภาพโดยรวมของท่อความร้อนแบบสั่นอยู่ในช่วงประมาณ 30% ถึง 50% นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศบริสุทธิ์จะทำให้ประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

นอกจากนี้ได้มีการนำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมาติดตั้งให้หลังคาโดยตรงเพื่อระบายความร้อนออกจากหลังคา ก่อนส่งเข้าสู่ห้องใต้หลังคาและห้องปรับอากาศ แต่ยังมีการศึกษาค่อนข้างน้อยโดยสามารถพบได้จากงานวิจัยของ Saw และคณะ (2021) [10] ได้ออกแบบและทดสอบระบบหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาและภายในอาคาร ที่ส่งผลต่อความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) ของผู้ใช้งานภายในอาคาร โดยทำการเปรียบเทียบระบบหลังคา 2 ระบบคือ ระบบหลังคาโลหะแบบเปลือยและระบบหลังคาหล่อเย็นด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ท่อความร้อนสร้างจากท่อคาปิลลารีทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.35 mm หนา 1.5 mm ความยาวรวม 2460 mm ใช้เอทานอลเป็นสารทำงานที่อัตราส่วนการเติม 80% ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนจะติดตั้งด้านล่างกับหลังคาโลหะและส่วนควบแน่นของท่อความร้อนจะอยู่ภายในกล่องที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านเพื่อระบายความร้อนออกจากสารทำงานที่รับความร้อนมาจากหลังคา ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระบบหลังคาหล่อเย็นด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามารถลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาได้ 13% เมื่อเทียบกับแบบเปลือย อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้ระบุจำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนและความเข้มแสงซึ่งมีผลอย่างมากในการทำงานของระบบ และในการใช้งานจริงการระบายความร้อนออกที่ส่วนควบแน่นโดยอาศัยน้ำหล่อเย็นไหลผ่านกล่องครอบส่วนควบแน่นของท่อความร้อนนั้นกระทำไต่ยากและต้องเพิ่มปั้มน้ำในการทำงานของระบบ อีกทั้งต้องมีระบบระบายความร้อนออกจากน้ำหล่อเย็นหรือปล่อยน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบ

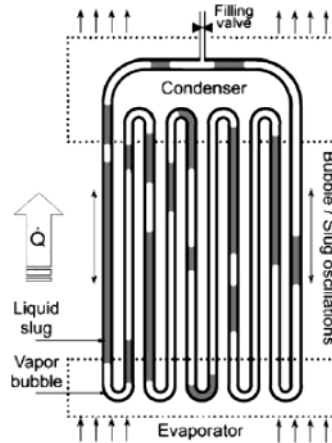
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างต้นแบบห้องใต้หลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีทที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบภายใต้หลังคาโดยมีการระบายความร้อนออกโดยอาศัยอากาศไหลผ่านที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อน และทำการศึกษาลักษณะ 4 รูปแบบคือ หลังคาแบบเปลือย หลังคาแบบติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ใช้โดยทั่วไปตามท้องตลาด หลังคาแบบติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศแบบธรรมชาติ และหลังคาแบบติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศแบบบังคับโดยใช้พัดลม อีกทั้งยังศึกษาผลของความเข้มแสงที่ 200, 400 และ 600 W/m² ที่มีต่อการทำงานของระบบ

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีลักษณะดังรูปที่ 1 สร้างขึ้นจากท่อคาปิลลารียาวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก ๆ นำมาขดเป็นโค้งเลี้ยวระหว่างส่วนทำระเหย (Evaporator) และส่วนควบแน่น (Condenser) กลไกพื้นฐานในการถ่ายเทความร้อนคือ สารทำงานภายในท่อจะเรียงตัวอยู่ในรูปแท่งของเหลว (Liquid slug) และฟองไอ (Vapor bubble) สลับกันไปตลอดความยาวท่อดังแสดงในรูป เมื่อส่วนทำระเหยได้รับความร้อน สารทำงานเหลวจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ทำให้ฟองไอในส่วนทำระเหยมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความดันไอเพิ่มขึ้น จึงเกิดแรงดันสารทำงานในรูปแท่งของเหลวและฟองไอให้ไหลไปยังส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เรียกแรงนี้ว่า แรงขับ (Driving force) หลังจากนั้นฟองไอจะเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวที่ส่วนควบแน่นและช่วยเพิ่มผลต่างความดันระหว่างสองส่วนนี้ เนื่องจากท่อคาปิลลารีเป็นท่อเดี่ยวที่ขดไปมาระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวต่อเนื่องกันไป ดังนั้นการเคลื่อนที่ของแท่งของเหลวและฟองไอจำนวนหนึ่งจากส่วนทำระเหยมายังส่วนควบแน่น จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแท่งของเหลวและฟองไออีกจำนวนหนึ่งผ่านโค้งเลี้ยว

มายังส่วนทำระเหยและเกิดการระเหยของสารทำงานเช่นกัน จึงทำให้ความดันไอเพิ่มสูงขึ้นและเกิดแรงย้อนกลับ (Restoring force) ซึ่งจะดันสารทำงานให้ไหลย้อนกลับไปยังส่วนควบแน่นอีกครั้ง จากผลของแรงขับและแรงย้อนกลับที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาหรือแบบสั่นของสารทำงานตามแนวแกนท่อ (Oscillation) และสารทำงานสามารถส่งถ่ายความร้อนจากส่วนทำระเหยมายังส่วนควบแน่นได้



รูปที่ 1 ท่อความร้อนแบบสั่นวรอบ [11]

2.2 หลังคาแผ่นเรียบเมทัลชีท

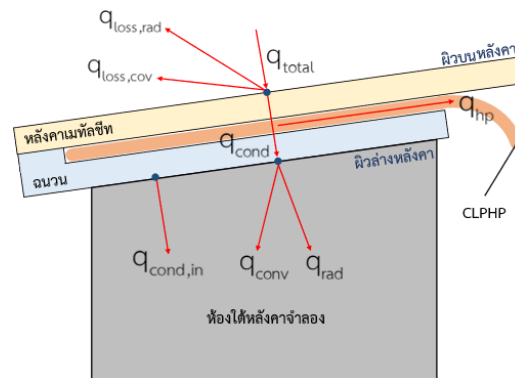
เป็นกลุ่มหลังคาที่ผลิตจากเหล็ก แบ่งเป็นเมทัลชีท และสังกะสี จะมีจุดเด่นคือน้ำหนักเบา สามารถผลิตแผ่นที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่จึงช่วยลดรอยต่อ นอกจากนี้โลหะยังมีความแข็งแรงทนทานมาก แต่ยังมีปัญหาที่เหี่ยวยุบที่ ทำให้สามารถนำมาติดตั้งเป็นรูปทรงต่างๆ ที่หลังคาประเภทอื่นไม่สามารถที่จะทำได้ หลังคาเมทัลชีทเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีประเภทของแผ่นเมทัลชีทให้เลือกใช้หลายรูปแบบ โดยจะมีแบบเป็นลอนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเครื่องรีด และแบบแผ่นเรียบ นอกจากนี้ยังมีความหนาให้เลือกมากมาย โดยปกติจะมีความหนาที่ 0.30, 0.35 และ 0.40 mm

2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา

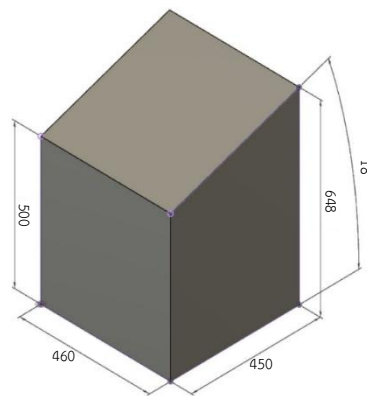
จากทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน [12] เมื่อหลังคาได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ หลังคาจะดูดกลืนพลังงานของแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน ทำให้พื้นผิวภายนอกของหลังคามีอุณหภูมิที่สูงขึ้น สำหรับหลังคาแบบเปลือยและแบบติดฉนวนกันความร้อน ความร้อนทั้งหมดจากการแผ่รังสีจะถูกดูดซับโดยพื้นผิวบนของหลังคา ความร้อนบางส่วนจะเกิดการสูญเสียโดยการพาและแผ่รังสีความร้อนให้กับอากาศภายนอก ความร้อนที่เหลือจะไหลเข้าสู่ห้องใต้หลังคาจำลอง ทำให้อุณหภูมิห้องใต้หลังคาจำลองเพิ่มขึ้น ส่วนหลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวรอบดังรูปที่ 2 ความร้อนบางส่วนที่จะไหลเข้าสู่ห้องใต้หลังคาจำลองจะถูกถ่ายเทออกด้วยท่อความร้อน โดยเมื่อความร้อนไหลผ่านท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหยซึ่งติดอยู่ด้านล่างหลังคาและปิดทับด้วยฉนวนกันความร้อนจะเกิดการส่งถ่ายความร้อนให้แก่สารทำงาน หลังจากนั้นสารทำงานจะเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นของท่อความร้อนซึ่งอยู่ด้านนอกห้องใต้หลังคาจำลอง แล้วถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศที่ไหลผ่านผิวท่อส่วนควบแน่นนี้โดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติหรือแบบบังคับด้วยพัดลมดูดอากาศ ทำให้ภายในห้องใต้หลังคาจำลองมีอุณหภูมิลดลง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการอนุรักษ์ได้ดังนี้

$$q_{\text{total}} = q_{\text{loss, conv}} + q_{\text{loss, rad}} + q_{\text{cond, in}} + q_{\text{hp}} \quad (1)$$

โดยที่ q_{total} คือค่าความร้อนทั้งหมดจากแหล่งกำเนิดความร้อนจากการแผ่รังสีที่ถูกดูดซับโดยพื้นผิวบนของหลังคา $q_{\text{loss, conv}}$ คือค่าความร้อนสูญเสียโดยการพาความร้อนจากหลังคา $q_{\text{loss, rad}}$ คือค่าความร้อนสูญเสียโดยการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคา $q_{\text{cond, in}}$ คือค่าความร้อนที่ถูกส่งไปยังห้องใต้หลังคาจำลองประกอบด้วยพาความร้อน q_{conv} รวมกับการแผ่รังสีความร้อน q_{rad} และ q_{hp} คือค่าความร้อนที่ถูกระบายออกจากหลังคาด้วย CLOHP



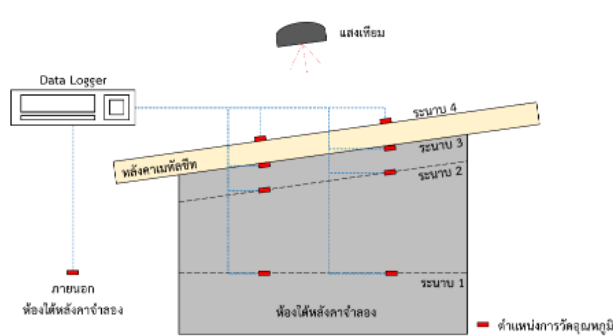
รูปที่ 2 การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคามายังห้องใต้หลังคา



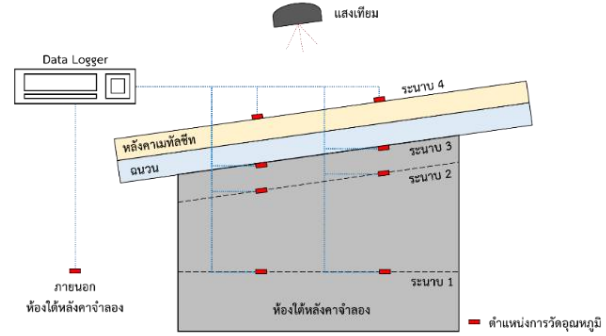
รูปที่ 3 ขนาดห้องใต้หลังคาจำลองในหน่วย mm

2.4 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

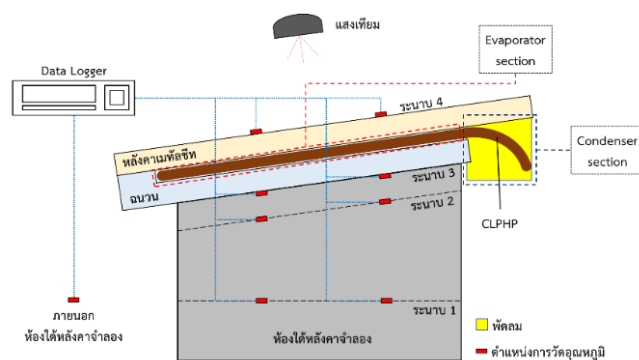
สร้างต้นแบบห้องใต้หลังคาจำลองโดยมีขนาดดังรูปที่ 3 และรูปแบบของหลังคาแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งกำหนดขนาดให้สอดคล้องงานวิจัยของ Saw และคณะ (2021) [10] แต่มีมุมเอียงแตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมกับทิศทางการรับแสงอาทิตย์ของประเทศไทย ประกอบด้วย หลังคาแบบเปลือย หลังคาแบบติดฉนวนกันความร้อน หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศแบบธรรมชาติและแบบบังคับโดยใช้พัดลม ชุดทดสอบประกอบไปด้วย ห้องใต้หลังคาสร้างจากผ้าเเมอราเบอร์ดีโปรหนา 40 mm หลังคาเมทัลชีทปิดด้านบนห้องใต้หลังคามีสีน้ำตาลซึ่งเป็นสีที่นิยมใช้โดยทั่วไป ขนาด 540×600 mm² หนา 0.3 mm ผิวเรียบ (ค่าการนำความร้อน 211 W/m.K ค่าการดูดซับรังสีความร้อน 0.9) ฉนวนกันความร้อน PE สีขาว-เงิน มีขนาดเท่ากับหลังคาเมทัลชีทและหนา 10 mm (ค่าการนำความร้อน 0.029 W/m.K ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน 0.86 ค่าความต้านทานความร้อน 1.563 K/W) ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ สร้างจากท่อคาปิลลารีทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.3 mm มีจำนวนโค้งเลี้ยว 42 โค้งเลี้ยว ความยาวรวม 53.4 m มีปริมาตรภายในทั้งหมด 97.85 cm³ และใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงานที่อัตราส่วนการเติม 50% ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมดซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับน้ำกลั่น [3] มีลักษณะดังรูปที่ 5



(ก) หลังคาแบบเปลือย



(ข) หลังคาแบบติดฉนวนกันความร้อน



(ค) หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ

รูปที่ 4 รูปแบบของหลังคาแบบต่างๆ



รูปที่ 5 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่สร้างขึ้น

ชุดจำลองแสงอาทิตย์เทียม (Solar simulator) ทำจากหลอดไฟฮาโลเจน (Halogen) จำนวน 2 หลอด แต่ละหลอดมีขนาดกำลังไฟฟ้า 1,500 W ปรับค่าความเข้มแสงด้วยตัวปรับแรงดันไฟฟ้า (Dimmer) 2 ตัว และพัดลมดูดอากาศขนาด 120 mm แรงดันไฟฟ้าเข้า 220-240 Volts ความเร็วรอบ 2,550 rpm อัตราการไหลของอากาศ 2.3 m³/min ขณะทำการทดสอบจะวัดค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) และวัดค่าความเข้มแสงด้วยไพรานอมิเตอร์ (ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 10\%$)

เริ่มต้นจะทำการเปิดใช้งานแสงเทียม (แหล่งกำเนิดความร้อน) และปรับค่าความเข้มแสงไปที่ 200 W/m² โดยอ่านค่าจากไพรานอมิเตอร์ และทำการวัดค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 4 ตั้งแต่เวลาเริ่มต้นจนถึง 30 min ซึ่งระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว ทำการทดสอบเหมือนเดิมที่ความเข้มแสง 400 W/m² และ 600 W/m² โดยทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง สำหรับแต่ละ

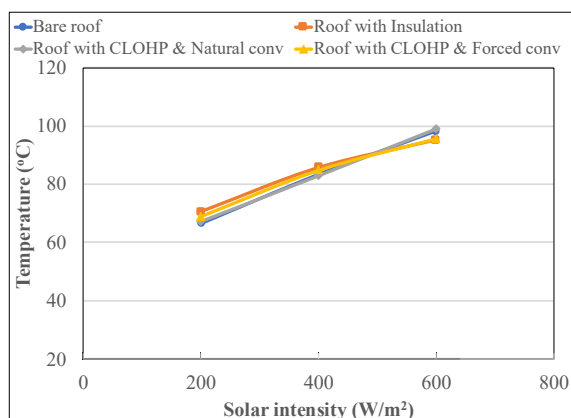
ความเข้มแสง แล้วนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผล ในกรณีหลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสัณหะรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลม จะเพิ่มการเปิดพัดลมเพื่อดูดอากาศผ่านส่วนควบแน่นของท่อความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นการทดสอบ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

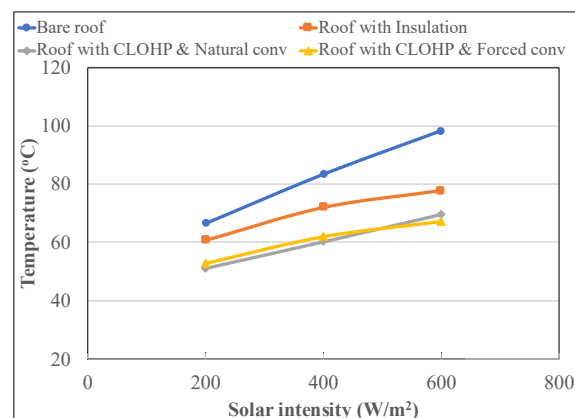
ตัวแปรที่ต้องการศึกษาประกอบไปด้วย ค่าความเข้มแสงและหลังคารูปแบบต่างๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการระบายความร้อนในห้องใต้หลังคา

ผลจากการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งตามรูปที่ 4 (ก-ค) พบว่า ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง 0 ถึง 30 min การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งผิวบนของหลังคา ผิวล่างของหลังคาหรือฉนวน และอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาจำลองของหลังคาแต่ละแบบมีลักษณะเหมือนกันคือ อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของหลังคาจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) ที่เวลาประมาณ 30 min ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่สภาวะคงที่มาพิจารณาดังรูปที่ 6-8

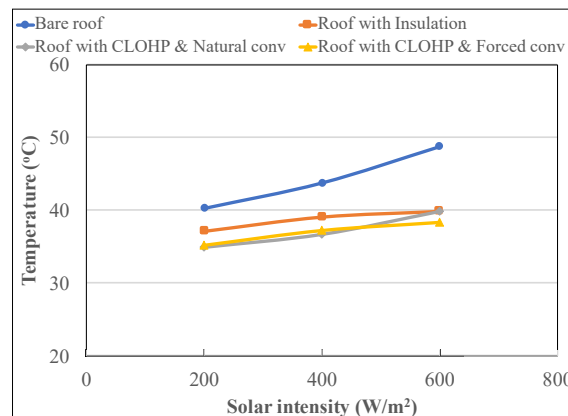
รูปที่ 6-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิเฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ของหลังคา โดยรูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิผิวบนของหลังคา รูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิผิวล่างของหลังคาหรือฉนวน และรูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาจำลอง โดยในแต่ละรูปประกอบด้วยหลังคารูปแบบต่างๆ คือ แบบเปลือย แบบติดฉนวนกันความร้อน แบบติดท่อความร้อนแบบสัณหะรอบที่มีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติและแบบติดท่อความร้อนแบบสัณหะรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลม กรณีที่ผิวบนของหลังคาในรูปที่ 6 จะเห็นว่าเมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 200 W/m^2 ไปยัง 600 W/m^2 หลังคาทั้ง 4 แบบจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามความเข้มแสงที่สูงขึ้นเนื่องจากได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ณ ความเข้มแสงเดียวกัน อุณหภูมิบนหลังคาทั้ง 4 แบบ ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจน นั่นคือ ณ ความเข้มแสง 200 W/m^2 อุณหภูมิเฉลี่ยผิวบนของหลังคาอยู่ในช่วง $67-70^\circ\text{C}$ ณ ความเข้มแสง 600 W/m^2 อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง $96-99^\circ\text{C}$ สาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิตำแหน่งผิวบนของหลังคาแตกต่างกัน เกิดจากการทดลองในแต่ละครั้งอุณหภูมิห้องทดลองไม่คงที่โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 33°C ถึง 37°C



รูปที่ 6 อุณหภูมิผิวบนของหลังคา



รูปที่ 7 อุณหภูมิผิวล่างของหลังคา/ฉนวน



รูปที่ 8 อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคา

พิจารณารูปที่ 7 และ 8 ในกรณีหลังคาแบบเปลือย เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 200 W/m² ไปยัง 600 W/m² ค่าอุณหภูมิที่ผิวล่างของหลังคาและอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นั่นคือ อุณหภูมิผิวล่างและในห้องใต้หลังคาจะเพิ่มขึ้นอย่างมากจาก 67.0°C ไปเป็น 98.6°C และจาก 40.3°C ไปเป็น 48.8°C ตามลำดับ จะเห็นว่าอุณหภูมิผิวล่างของหลังคาจะไม่แตกต่างจากผิวบนของหลังคาเนื่องจากความหนาของหลังคาน้อยมากคือ 0.3 mm เท่านั้น และเมื่อพิจารณาทุกค่าความเข้มแสงจะพบว่า หลังคาอีก 3 แบบที่เหลือจะมีอุณหภูมิผิวล่างของหลังคาและอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาต่ำกว่าหลังคาแบบเปลือยอย่างชัดเจน ดังนั้นที่ความเข้มแสง 200 W/m², 400 W/m² และ 600 W/m² อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมจะมีค่าลดลงคิดเป็น 13%, 15% และ 22% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับหลังคาแบบเปลือยซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saw และคณะ (2021) [10] ที่ความเข้มแสง 200 W/m² ดังนั้นหลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมในงานวิจัยนี้สามารถระบายความร้อนได้เช่นเดียวกับการระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น อาจเนื่องมาจากท่อความร้อนที่สร้างขึ้นมีจำนวนโค้งเลี้ยวที่มากถึง 42 โค้งเลี้ยวและใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงานซึ่งมีผลทำให้ส่งถ่ายความร้อนได้มากขึ้น อีกทั้งได้ศึกษาผลของความเข้มแสงและพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มแสง สมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบในการระบายความร้อนจากห้องใต้หลังคาจะเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งจะสอดคล้องกับผลของตัวแปรที่มีต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ [2-4]

ในรูปที่ 7 อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนในหลังคาแบบติดฉนวนกันความร้อน แบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติ และแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลม จะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มแสง โดยที่ความเข้มแสงเดียวกัน อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนในหลังคาแบบติดฉนวนกันความร้อน จะมีค่าสูงกว่าแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบทั้งสองรูปแบบ นั่นคือเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 200 W/m² ไปยัง 600 W/m² อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 60.7°C ไปเป็น 77.8°C ตามลำดับ ขณะที่กรณีหลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติและแบบบังคับจะมีอุณหภูมิผิวล่างของฉนวนต่ำกว่าในหลังคาแบบติดฉนวนกันความร้อนอย่างเดียว โดยการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบจะให้ค่าอุณหภูมิแตกต่างกันเล็กน้อยและมีค่าสูงต่ำสลับกัน ณ ความเข้มแสงเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิห้องทดลองไม่คงที่ตามที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ นั่นคือ เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 200 W/m² ไปยัง 600 W/m² อุณหภูมิผิวล่างของฉนวนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากประมาณ 52°C ไปเป็น 68°C ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากท่อความร้อนถูกติดไว้ใต้หลังคาและปิดทับด้วยฉนวนกัน

ความร้อน เมื่อท่อความร้อนถ่ายเทความร้อนออกจากหลังคาไประบายให้แก่อากาศแวดล้อม ทำให้ความร้อนถูกส่งผ่านจนวนน้อยลงและจึงทำให้อุณหภูมิผิวล่างของจนวนต่ำกว่ากรณีหลังคาแบบติดจนวนอย่างเดียว

รูปที่ 8 ที่ความเข้มแสง 200 W/m^2 และ 400 W/m^2 จะพบว่าอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาแบบติดจนวนกันความร้อนคือ 37°C และ 39°C ตามลำดับ โดยจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาแบบติดท่อความร้อนทั้ง 2 แบบ และหลังคาแบบติดท่อความร้อนทั้ง 2 แบบยังมีอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาแทบไม่ต่างกันเท่ากับ 35°C และ 37°C ที่ความเข้มแสง 200 W/m^2 และ 400 W/m^2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่ความเข้มแสง 600 W/m^2 หลังคาแบบติดจนวนกันความร้อนและหลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติจะมีอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาเท่ากันคือ 40°C ในขณะที่หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมจะมีอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาต่ำกว่าอยู่ที่ 38.3°C ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มแสงสูง การระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นของท่อความร้อนโดยการพาความร้อนด้วยอากาศแบบธรรมชาติอาจไม่เพียงพอที่จะลดอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาลงได้ทันทำให้การติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบให้ผลการถ่ายเทความร้อนออกจากหลังคาเทียบเท่ากับการติดจนวนเพียงอย่างเดียว

4. บทสรุป

จากผลการทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของหลังคาทั้ง 4 รูปแบบจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย
- สำหรับหลังคาแบบเปลือย อุณหภูมิผิวบนและล่างของหลังคาจะมีค่าไม่ต่างกัน และให้ค่าอุณหภูมิภายในห้องใต้

หลังคาสูงสุดทุกความเข้มแสง

- ที่ความเข้มแสง 200 W/m^2 และ 400 W/m^2 หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติและแบบบังคับจะมีอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาต่ำกว่าหลังคาแบบเปลือยและแบบหุ้มจนวน แต่ที่ความเข้มแสง 600 W/m^2 หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมจะสามารถระบายความร้อนจากหลังคาได้ดีที่สุดจึงมีอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาต่ำสุดเท่ากับ 38.3°C

- ที่ความเข้มแสง 200 W/m^2 , 400 W/m^2 และ 600 W/m^2 อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาแบบติดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการระบายความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลมจะมีค่าลดลงคิดเป็น 13%, 15% และ 22% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับหลังคาแบบเปลือย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Noelia, C. Erica, and C.M. Alicia, "Urban Passive Cooling. Aging Effects on Optical Properties of Roof Tiles", *Energy Procedia*, 57, 2014, pp. 3181-3190.
- [2] P. Charoensawan, S. Khandekar, M. Groll, and P. Terdtoon, "Closed Loop Pulsating Heat Pipes Part A: Parametric Experimental Investigations", *Applied Thermal Engineering*, 23, 2003, pp. 2009–2020.
- [3] S. Khandekar, P. Charoensawan, M. Groll, and P. Terdtoon, "Closed Loop Pulsating Heat Pipes Part B: Visualization and Semi-Empirical Modeling", *Applied Thermal Engineering*, 23, 2003, pp. 2021–2033.
- [4] P. Charoensawan, and P. Terdtoon, "Thermal Performance of Horizontal Closed-Loop Oscillating Heat Pipes", *Applied Thermal Engineering*, 28, 2008, pp. 460-466.

- [5] C. Li, and J. Li, "Thermal Characteristics of A Flat Plate Pulsating Heat Pipe Module For Onsite Cooling of High Power Server CPUs", *Thermal Science and Engineering Progress*, 37, 2023, 101542.
- [6] Y.F. Maydanik, V.I. Dmitrin, and V.G. Pastukhov, "Compact Cooler For Electronics on The Basis of A Pulsating Heat Pipe", *Applied Thermal Engineering*, 29, 2009, pp. 3511-3517.
- [7] M. Arab, M. Soltanieh, and M.B. Shafii, "Experimental Investigation of Extra-Long Pulsating Heat Pipe Application in Solar Water Heaters", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 42, 2012, pp. 6-15.
- [8] P. Charoensawan, P. Wilaipon, and N. Seehawong, "Flat Plate Solar Water Heater With Closed-Loop Oscillating Heat Pipes", *Thermal Science*, 25, 2021, pp. 3607-3614.
- [9] H. Yang, J. Wang, N. Wang, and F. Yang, "Experimental Study on A Pulsating Heat Pipe Heat Exchanger for Energy Saving in Air-Conditioning System in Summer", *Energy & Buildings*, 197, 2019, pp. 1-6.
- [10] L.H. Saw, M.C. Yew, M.K. Yew, W.T. Chong, H.M. Poon, W.S. Liew, and W.H. Yeo, "Development of The Closed Loop Pulsating Heat Pipe Cool Roof System for Residential Buildings", *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 2021, pp. 1-11.
- [11] P. Charoensawan, *Heat pipe technologies*. Focus Printing, Phitsanulok, 2012.
- [12] F.P. Incropera, D.P. Dewitt, T.L. Bergman, and A.S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6th Edition, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 2007.

การประเมินการใช้พลังงานและศักยภาพพลังงานทดแทน กรณีศึกษา เทศบาลเมือง เมืองแกนพัฒนา จังหวัดเชียงใหม่

The Assessment of Household Energy Consumption and Renewable Energy Potential : A Case Study in Mueang Gaen Municipality, Chiang Mai Province

ธนาวัฒน์ ไชยโย¹ รจพรรณ นิรันดร์ศิลป์¹ ภกมน ปินตานา¹ และธเนศ ไชยชนะ^{1*}

Tanawat Chaiyo¹ Rotjapun Nirunsin¹ Pakamon Pintana¹ and Tanate Chaichana^{1*}

Received: March 3, 2025

Revise: June 22, 2025

Accepted: June 28, 2025

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Renewable Energy Engineering, College of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding Author E-mail: tanawat10022540_@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการใช้พลังงานระดับครัวเรือน และประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนของชุมชนรวมถึงเสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงานโดยการนำเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสมกับชุมชน ทำการศึกษาในพื้นที่ เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ในปี 2565 โดยการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานจริงจากครัวเรือนโดยใช้แบบสอบถาม ผลการศึกษาพบว่า เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนามีการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 4,506.83 toe/ปี แบ่งเป็นพลังงานกลุ่มไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง และ เชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มเท่ากับ 907.22 toe 2,427.33 toe และ 1,172.28 toe ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 14,890.58 tonCO₂eq และพบว่าครัวเรือนมีค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานคิดเป็นร้อยละ 26.24 ของรายได้ครัวเรือน ด้านศักยภาพทางด้านพลังงานทดแทนพบว่าในพื้นที่ที่มีปริมาณแกลบเท่ากับ 180,782.11 kg/ปี ชังข้าวโพด 6,211.92 kg/ปี คิดเป็นศักยภาพพลังงานทดแทนจากชีวมวลเท่ากับ 2,691,823.84 MJ/ปี และยังพบอีกว่าในพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ทั้งหมดเท่ากับ 1,145.38 m³/ปี เทียบเท่าพลังงาน 418,064.36 MJ/ปี สำหรับแนวทางในการลดการใช้พลังงานของชุมชนที่เหมาะสมคือ การนำวัสดุเหลือทิ้งจากการปลูกข้าว และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รวมถึงการนำมูลสัตว์มาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ และใช้เป็นพลังงานความร้อนแทนการใช้ LPG

คำสำคัญ: พลังงานทดแทน, การใช้พลังงาน, ศักยภาพพลังงาน, ก๊าซเรือนกระจก, เทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสม

Abstract

This objective of this study was to assessment the household's energy consumption and renewable energy potential, as well as propose guidelines for reducing energy consumption by introducing energy technologies. The study area is Muang Kan Phatthana Municipality, Mae Taeng District, Chiang Mai Province. The actual energy consumption data in 2022 was collected by using a questionnaire. The results of the study found that a total energy consumption of 4,506.83 toe/year, it divided into electricity, fuel, and cooking fuel groups of 907.22 toe, 2,427.33 toe, and 1,172.28 toe, respectively. A greenhouse gas emission from energy used is 14,890.58 tonCO₂eq. Households had energy expenses accounting for 26.24% of household income. In terms of renewable energy potential, it was found that the area has rice husks equal to 180,782.11 kg/year and corn cobs 6,211.92 kg/year, which is equivalent to renewable energy potential from biomass of 2,691,823.84 MJ/year. It was also found that

the area has the potential to produce biogas from animal waste of 1,145.38 m³/year, equivalent to energy of 418,064.36 MJ/year. The appropriate approach to reduce energy use in the community is to use leftover materials from rice cultivation and animal feed, including using animal waste to produce biogas and use it as heat energy instead of using LPG.

Keywords: Renewable Energy, Energy Consumption, Energy Potential, Greenhouse gas emission, Appropriate Energy Technology

1. บทนำ

เพื่อตอบสนองต่อสถานการณ์พลังงานที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นในระดับประเทศ ซึ่งเป็นผลมาจากการเติบโตของประชากรและการพัฒนาเศรษฐกิจที่รวดเร็ว ทำให้ความต้องการพลังงานเพิ่มสูงขึ้นในทุกภาคส่วน ทั้งภาคอุตสาหกรรมและการดำเนินชีวิตประจำวัน ขณะเดียวกัน ประเทศไทยยังคงพึ่งพาแหล่งพลังงานฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรงไม่ว่าจะเป็น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) หรือปัญหามลพิษทางอากาศด้วยเหตุนี้กระทรวงพลังงานจึงได้กำหนดแผนพลังงานหลัก 5 แผนภายใต้กรอบ Thailand Integrated Energy Blueprint (TIEB) ได้แก่ แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (PDP) แผนอนุรักษ์พลังงาน (EEP) แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) แผนการจัดหาก๊าซธรรมชาติ (Gas Plan) และแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง (Oil Plan) [1] เพื่อลดผลกระทบและส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน การสำรวจการใช้พลังงานระดับชุมชนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อใช้ประกอบการวางแผนและนโยบายให้เหมาะสมกับบริบทท้องถิ่น

การศึกษาที่ผ่านมา เช่นงานวิจัยของ ธเนศ ไชยชนะ และคณะ ที่ศึกษาการใช้พลังงานในตำบลนาสัก อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง พบว่าชุมชนมีการใช้พลังงานรวม 1,450.0 toe โดยแบ่งเป็นพลังงานไฟฟ้า 141.8 toe พลังงานเชื้อเพลิง 374.7 toe และน้ำมันเชื้อเพลิง 933.4 toe และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 4,373.6 tonCO₂eq คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานร้อยละ 22.7 ของรายได้ครัวเรือน [2] งานวิจัยของ ประภากร เล่าเรื่อง และคณะ ได้ศึกษาการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในพื้นที่ หมู่ที่ 6 บ้านวังบึง ตำบลเหมืองแก้ว อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการเก็บข้อมูลจำนวน 127 ครัวเรือน ข้อมูลที่เก็บประกอบด้วย ชนิด กำลังไฟฟ้า จำนวน และเวลาการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ชนิดและปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะ ชนิดและปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ใช้ในการต้มในครัวเรือน และทำการคำนวณเป็นค่าพลังงานเทียบเท่าและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ในการคำนวณ และในการวิเคราะห์ได้แบ่งการพิจารณาเป็น 5 กรณีศึกษา คือ C1-C5 ตามลักษณะการใช้พลังงานและฐานะของครัวเรือน ผลการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานรวม 7.20, 38.44 127.46, 131.88 และ 220.89 KOE/เดือน สำหรับครัวเรือนกลุ่ม C-1 ถึง C-5 ตามลำดับ และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.21, 173.05, 434.65, 470.57 และ 732.16 kgCO₂eq/เดือน สำหรับครัวเรือนกลุ่ม C-1 ถึง C-5 ตามลำดับ [3]

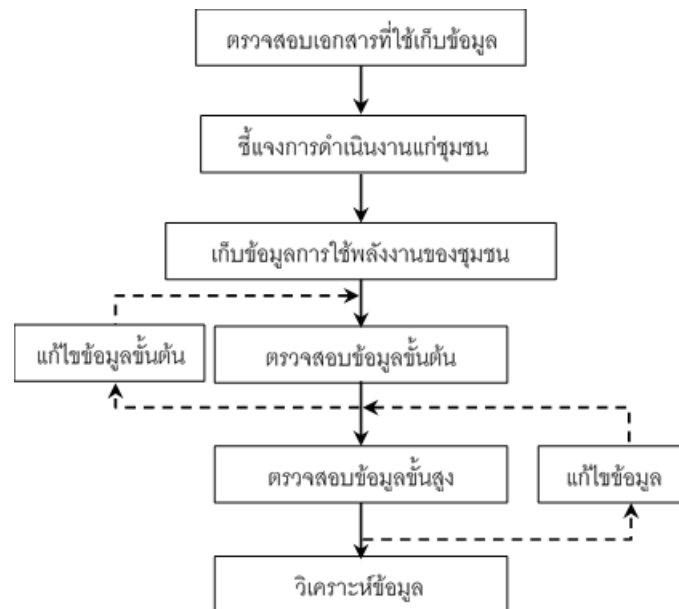
งานวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นถึงความหลากหลายของพฤติกรรมการใช้พลังงานในแต่ละครัวเรือน จากพื้นฐานดังกล่าว การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์การใช้พลังงานในระดับครัวเรือน และหาแนวทางในการส่งเสริมการผลิตและใช้พลังงานทดแทนในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการจัดทำแผนพลังงานท้องถิ่นที่มีประสิทธิภาพ ตอบสนองความต้องการของชุมชน และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาพลังงานอย่างยั่งยืนของประเทศ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณการใช้พลังงานในระดับครัวเรือน ในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา
2. เพื่อหาแนวทางการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา

3. วิธีขั้นตอนการดำเนินงาน

รูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลระดับครัวเรือน ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงลึก และต้องเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง และแม่นยำ ในการดำเนินการศึกษาจึงต้องประสานงานในพื้นที่เพื่อชี้แจงรายละเอียด ควบคู่กับขั้นตอนทางด้านวิทยาศาสตร์ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) แบบสอบถาม

แบบสอบถามที่นำมาใช้ในการเก็บข้อมูลจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักประกอบคือ

- ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป
- ส่วนที่ 2 ข้อมูลการใช้พลังงานของครัวเรือน แบ่งเป็น พลังงานไฟฟ้า เชื้อเพลิงหุงต้ม และน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ
- ส่วนที่ 3 ข้อมูลศักยภาพพลังงานทดแทนในพื้นที่ที่จะประกอบด้วย พลังงานชีวมวลและเชื้อเพลิงชีวภาพ

2) จำนวนแบบสอบถาม

จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลกำหนดโดยใช้สูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างตามหลักสถิติ จากสมการที่ 1[4] โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95 และระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.05 เมื่อพิจารณาจากจำนวนครัวเรือนในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนาทั้งหมด 5,694 ครัวเรือน พบว่าควรเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 374 ครัวเรือนซึ่งเพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือตามหลักการทางสถิติ ในขั้นตอนและวิธีการกรอกแบบสอบถาม จากนั้นจึงดำเนินการเก็บข้อมูลจริงโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ดีของประชากรเป้าหมาย เมื่อนำข้อมูลที่ได้เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ จะมีการตรวจสอบความครบถ้วนและความถูกต้องก่อนนำเข้าสู่วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น Microsoft Excel เพื่อการจัดการข้อมูลเบื้องต้น

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (1)$$

- เมื่อ e คือ ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่าง (0.05)
 N คือ ขนาดของประชากร (จำนวนครัวเรือนทั้งหมด)
 n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนครัวเรือนที่ทำการเก็บข้อมูล)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

- วิเคราะห์ข้อมูลจะดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานโดยการเปลี่ยนหน่วยพลังงานจากหน่วยที่ได้จากการเก็บข้อมูลเช่น kg, kWh, Liter เป็นหน่วยของพลังงานเทียบเท่า toe (Tone Oil Equivalent) โดยใช้ค่าพลังงานเทียบเท่า ดังแสดงในตารางที่ 1
- วิเคราะห์การปลดปล่อยเรือนกระจก (Emission Factor)[6] โดยใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วย tonCO₂eq ของไฟฟ้า 0.4999 kgCO₂eq/kWh น้ำมันเบนซิน 2.3116 kgCO₂eq/liter น้ำมันดีเซล 2.9793 kgCO₂eq/liter LPG 3.1134 kgCO₂eq/kg และถ่านกับฟืน เท่ากับ 0.0304 kgCO₂eq/kg
- วิเคราะห์ศักยภาพทางด้านพลังงานของชุมชน ที่ประกอบด้วยพลังงานชีวมวล และก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ โดยใช้ค่าคงที่ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ในการพิจารณา

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยใช้ราคาพลังงานที่ได้จากแบบสอบถาม ซึ่งเป็นค่าพลังงานจริงที่ขายภายในชุมชน

ตารางที่ 1 ค่าพลังงานเทียบเท่า [5]

ชนิด	Unit	toe/unit
ไฟฟ้า	kWh	0.00008521
เบนซิน	liter	0.00074507
ดีเซล	liter	0.00086198
LPG	kg	0.00116693
ถ่าน	kg	0.00068364
ไม้ฟืน	kg	0.00037848
แกลบ	kg	0.0003002

ตารางที่ 2 สัดส่วนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ชนิด	วัสดุเหลือใช้	อัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต [7,8,9]	แฟคเตอร์ของการใช้เป็นพลังงาน [8,9]	แฟคเตอร์วัสดุเหลือใช้ที่ยังไม่มีการใช้ [9,10]	ค่าความร้อน (MJ/kg) [11]
อ้อย	ชานอ้อย	0.291	0.793	0.207	14.40
	ยอด, ใบ	0.302	0.0	0.986	17.39
ข้าว	แกลบ	0.230	0.507	0.493	14.27
	ฟาง	0.447	0.0	0.684	10.24
ข้าวโพด	ซัง	0.273	0.193	0.670	18.04
กิ่งไม้	กิ่งไม้พิจารณาที่ 50 กก/ตัน/ครั้งการตัดแต่ง, 25 ต้น/ไร่, 1 ครั้งการตัดแต่ง/ปี ความชื้นเริ่มต้น 15% มาตรฐานเปียก และความชื้นที่พิจารณาปริมาณที่ 10% มาตรฐานเปียก				

ตารางที่ 3 สัดส่วนการเกิดก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ [12]

ประเภท	ปริมาณ มูลสด (kg/ตัว/วัน)	อัตราการ เก็บมูลได้	อัตราส่วนของ แข็งทั้งหมด (%)	อัตราส่วนของ แข็งที่ระเหยได้ (%)	อัตราส่วนก๊าซที่ผลิตได้ (m ³ /kg ของแข็งที่ระเหยได้)
สุกร	2.00	0.80	35.22	24.84	0.22
กระบือ	8.00	0.50	17.77	13.64	0.29
โคเนื้อ	5.00	0.50	17.44	13.37	0.31
โคนม	15.00	0.80	17.44	13.37	0.31
ไก่	0.03	0.80	33.99	22.34	0.24

5. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 การใช้พลังงานไฟฟ้า

การประเมินปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยการจำแนกประเภทอุปกรณ์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า ขนาดกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวนของเครื่องใช้ไฟฟ้า ระยะเวลาการใช้งาน เป็นหน่วย กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

การศึกษาจำแนกอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าออกเป็น 5 ประเภท ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ให้แสงสว่าง อุปกรณ์ให้ความร้อน อุปกรณ์มอเตอร์ อุปกรณ์ที่ให้ความเย็น และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

จากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยครัวเรือนมีการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 155.82 kWh/เดือน/ครัวเรือน หรือเท่ากับ 0.01328 toe/เดือน/ครัวเรือน เมื่อพิจารณาเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.07789 tonCO₂eq/เดือน/ครัวเรือน ดังแสดงในตารางที่ 4

จากค่าเฉลี่ยต่อครัวเรือนเมื่อนำมาพิจารณาทั้งชุมชนพบว่าภาคครัวเรือนในเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนามีการใช้ไฟฟ้ารวม 10,646,868.96 kWh/ปี คิดเป็นพลังงานเท่ากับ 907.40 toe และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 5,322.07 tonCO₂eq

5.2 การใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล โดยพบว่าครัวเรือนมีการใช้น้ำมันเบนซินเฉลี่ย 22.3 liter/เดือน และมีการใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 21.9 liter/เดือน และเมื่อใช้ค่าพลังงานเทียบเท่ามาคำนวณคิดเป็นปริมาณพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 0.03552 toe/เดือน มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันเท่ากับ 0.11690 tonCO₂eq/เดือน ดังแสดงในตารางที่ 5

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาในภาพรวมของชุมชนพบว่า มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงรวม 3,020,097.60 liter/ปี คิดเป็นมูลค่ารวม 112.00 ล้านบาท/ปี และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงรวมเท่ากับ 7,987.54 tonCO₂eq

5.3 การใช้พลังงานกลุ่มเชื้อเพลิงหุงต้ม

ในส่วนของการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มในครัวเรือนพบว่าครัวเรือนมีการใช้ LPG ในปริมาณเฉลี่ย 7.3 kg/เดือน และมีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลคือ ฟืนและถ่าน 12.5 kg/เดือน และ 5.8 kg/เดือน ตามลำดับ ดังแสดงค่าในตารางที่ 6 คิดเป็นพลังงานรวมเท่ากับ 1,172.51 toe/เดือน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มเท่ากับ 1,581.11 tonCO₂eq

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าของครัวเรือน

ประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า	ปริมาณการใช้ (kWh/เดือน/ครัวเรือน)	ค่าใช้จ่าย (บาท/เดือน/ครัวเรือน)	พลังงาน (toe/เดือน/ครัวเรือน)	ปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tonCO ₂ eq/เดือน/ครัวเรือน)
แสงสว่าง	18.10	72.40	0.00154	0.00905
ความร้อน	28.50	114.00	0.00243	0.01425
มอเตอร์	23.60	94.42	0.00201	0.01180
ความเย็น	76.27	305.09	0.00650	0.03813
อิเล็กทรอนิกส์	9.34	37.37	0.00080	0.00467
รวม	155.82	623.28	0.01328	0.07789
รวมทั้งชุมชน (ต่อปี)	10,646,868.96	42,587,475.84	907.40	5,322.07

ตารางที่ 5 ปริมาณการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ

ชนิดน้ำมัน	ปริมาณการใช้ (liter/เดือน/ครัวเรือน)	ค่าใช้จ่าย (บาท/เดือน/ครัวเรือน)	พลังงาน (toe/เดือน/ครัวเรือน)	ปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tonCO ₂ eq/เดือน/ครัวเรือน)
น้ำมันเบนซิน	22.3	938.29	0.01665	0.05164
น้ำมันดีเซล	21.9	700.89	0.01888	0.06525
รวม	44.2	1,639.18	0.03552	0.11690
รวมทั้งชุมชน (ต่อปี)	3,020,097.60	112,001,891.04	2,427.01	7,987.54

ตารางที่ 6 ปริมาณการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้ม

ประเภทของเชื้อเพลิง	ปริมาณการใช้ (kg/เดือน/ครัวเรือน)	ค่าใช้จ่าย (บาท/เดือน/ครัวเรือน)	พลังงาน (toe/เดือน/ครัวเรือน)	ปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tonCO ₂ eq/เดือน/ครัวเรือน)
LPG	7.3	239.34	0.00846	0.02258
ถ่าน	5.8	69.58	0.00396	0.00018
ฟืน	12.5	12.49	0.00473	0.00038
รวม	25.5	321.42	0.01716	0.02314
รวมทั้งชุมชน (ต่อปี)	1,742,364.00	21,961,985.76	1,172.51	1,581.11

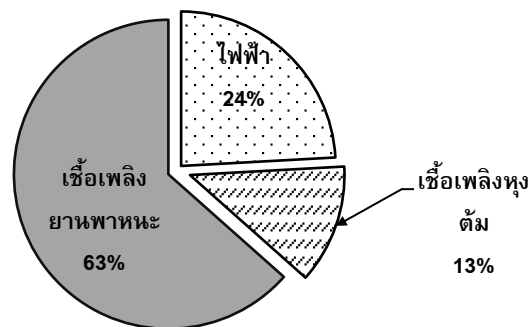
5.4 ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4, 5 และ 6 พบว่า ครัวเรือนในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนามีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 2,583.88 บาท/เดือน โดยแบ่งเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับไฟฟ้า 623.28 บาท/เดือน ค่าใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ 1,639.18 บาท/เดือน และค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงหุงต้ม 321.42 บาท/เดือน เมื่อเปรียบเทียบกับรายได้เฉลี่ยของครัวเรือนในพื้นที่ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งอยู่ที่ 9,847.22 บาท/เดือน จะพบว่า ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานคิดเป็นร้อยละ 26.24 ของรายได้ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าครัวเรือนต้องใช้รายได้มากกว่า 1 ใน 4 เพื่อรองรับค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ซึ่งถือเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการใช้จ่ายในด้านอื่นและชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการจัด

การพลังงานภายในครัวเรือนอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนหรือการอนุรักษ์พลังงานเพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายในระยะยาว

ตารางที่ 7 สัดส่วนรายได้เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา

รายได้หลักครัวเรือนต่อเดือน	จำนวนครัวเรือน	ร้อยละ
ต่ำกว่า 5000	160	43
5,001-10,000	91	24
10001-15000	42	11
15001-20000	38	10
20001-25000	26	7
มากกว่า 25000	17	4
รวม	374	100



รูปที่ 2 สัดส่วนค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน

5.5 ศักยภาพพลังงานของชุมชน

จากรูปที่ 2 พบว่า ค่าใช้จ่ายด้านน้ำมันเชื้อเพลิงคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 63 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมดของครัวเรือน ขณะที่ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 24 และค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 13 ดังนั้น หากต้องการลดภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของครัวเรือนอย่างมีนัยสำคัญ แนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือการลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตามการดำเนินการดังกล่าวในระดับครัวเรือนอาจทำได้ยาก ด้วยข้อจำกัดด้านทางเลือกและเทคโนโลยี ในทางกลับกัน วิธีการที่ครัวเรือนสามารถดำเนินการได้ง่าย และเห็นผลได้ในระยะสั้นคือ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า และการส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในการหุงต้ม ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ในระดับหนึ่งและสอดคล้องกับบริบทของครัวเรือน

ทั้งนี้จากข้อมูลการเพาะปลูกพืชของ สำนักงานเกษตรอำเภอแม่แตง [13] พบว่าในพื้นที่เขตเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา มีปริมาณแกลบเท่ากับ 180,782.11 kg/ปี คิดเป็นพลังงานเทียบเท่า 2,579,760.77 MJ/ปี มีขี้ข้าวโพดทั้งหมด 6,211.92 kg/ปี เทียบเท่าพลังงานเท่ากับ 112,063.07 MJ/ปี รวมแล้ว เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา มีศักยภาพพลังงานชีวมวลเท่ากับ 2,691,823.84 MJ/ปี หรือเทียบเท่าแก๊สหุงต้มเท่ากับ 53,601 kg/ปี ดังแสดงในตารางที่ 7

ศักยภาพพลังงานชีวภาพของเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา ประเมินจากจำนวนสัตว์เลี้ยงที่มีในชุมชน เมื่อพิจารณาพบว่าปริมาณแก๊สที่ผลิตได้จากมูลสัตว์ทั้งหมดเท่ากับ $1,628.50 \text{ m}^3/\text{เดือน}$ หรือ $19,813.48 \text{ m}^3/\text{ปี}$ เทียบเท่าพลังงานเท่ากับ $418,064.36 \text{ MJ}/\text{ปี}$ หรือ เทียบเท่าเทียบเท่าแก๊สหุงต้ม เท่ากับ $8,325 \text{ kg}/\text{ปี}$ ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ศักยภาพพลังงานชีวมวลของชุมชน

ชนิด	พื้นที่ (ไร่)	ผลผลิต (kg)	วัสดุเหลือใช้		เทียบเท่าพลังงาน (MJ/ปี)
			ประเภท	ปริมาณ (kg/ปี)	
ข้าว	5,384.68	3,144,653.12	แกลบ	180,782.11	2,579,760.77
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	235.25	175,967	ซัง	6,211.92	112,063.07
รวม					2,691,823.84

ตารางที่ 9 ศักยภาพพลังงานชีวภาพของชุมชน

ชนิด	จำนวน (ตัว)	มูล (kg/วัน)	ปริมาณแก๊ส ($\text{m}^3/\text{วัน}$)	เทียบเท่าพลังงาน	
				(MJ/วัน)	(MJ/ปี)
โคเนื้อ	123	307.50	12.74	268.92	98,155.25
กระบือ	28	112.00	4.43	93.48	34,119.74
สุกร	20	32.00	1.75	36.90	13,467.89
ไก่	27,479	659.50	35.36	746.09	272,321.48
รวม		1,111.00	54.28	1,145.38	418,064.36

*ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ $21.1 \text{ MJ}/\text{m}^3$

5.6 การประเมินแนวทางลดใช้พลังงาน

จากข้อมูลการใช้พลังงาน และศักยภาพพลังงานทดแทนในพื้นที่เขตเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา จึงได้เสนอแนวทางการลดการใช้พลังงานโดยเน้นการลดใช้แก๊สหุงต้ม โดยพิจารณาเทคโนโลยี 2 ชนิดคือ เตาเผาถ่านแบบ 200 ลิตร เตาแก๊สเชื้อเพลิงแกลบ



เตาเผาถ่าน 200 ลิตรแบบตั้ง



เตาแก๊สเชื้อเพลิงแกลบ

รูปที่ 3 เทคโนโลยีพลังงานทดแทน

การประเมินศักยภาพชีวมวลจะไม่คิดในส่วนของชีวมวลที่ใช้ในครัวเรือน เพราะเป็นวัสดุที่มีการใช้ภายในชุมชน การประเมินผลพบว่า

5.6.1 เตาเผาถ่าน 200 ลิตร

พิจารณาได้เป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 นำถ่านมาใช้แทนแก๊สหุงต้ม และขายน้ำส้มควันไม้

กรณีที่ 2 ขายถ่านและน้ำส้มควันไม้

การใช้เตาเผาถ่าน 200 ลิตร จำนวน 1 เตา สามารถลดการใช้แก๊สหุงต้มลงได้ 19.5 kg/เดือน เมื่อเผาถ่านเป็นเวลา 1 เดือน ต่อการเผาถ่าน 4 ครั้ง จากปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มตารางที่ 6 ครัวเรือนมีการใช้แก๊สหุงต้ม 495,573.7 kg/ปี ดังนั้น หากต้องการผลิตถ่านเพื่อใช้แทนแก๊สหุงต้มทั้งหมด ซึ่งต้องใช้ปริมาณซังข้าวโพด 4,066,245.37 kg/ปี แต่ชุมชนมีศักยภาพ ไม่เพียงพอในการดำเนินการ จึงต้องพิจารณาตามศักยภาพในชุมชน จากตารางที่ 8 โดยชุมชนมีปริมาณซังข้าวโพด 6,211.92 kg/ปี สามารถทดแทน LPG ได้ 757.08 kg/ปี และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 2.36 tonCO₂eq/ปี ดัง ตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ประเมินการใช้เตาเผาถ่าน 200 ลิตร

รายการ	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
ราคาเตาเผาถ่าน (บาท/เตา)	2,800	2800
จำนวนครั้งของการเผาถ่าน (ครั้ง/เดือน)	4	4
จำนวนเตาเผาถ่าน 200 ลิตร (ตัว)	3	3
ปริมาณไม้ที่ใช้ (kg/เดือน) (40 kg/ครั้ง)	517.66	517.66
ปริมาณถ่านที่ได้ (kg/เดือน) (8 kg/ครั้ง)	103.53	103.53
น้ำส้มควันไม้ (liter/เดือน) (1.2 ลิตร/ครั้ง)	14.40	14.40
รายได้จากการขายถ่าน (บาท/ครั้ง) (20 บาท/kg)	-	2,070.64
รายได้จากการขายน้ำส้มควันไม้ (บาท/ครั้ง) (70 บาท/liter)	1,008	1,008
รายได้จากการใช้ถ่านแทนแก๊สต้ม (บาท/เดือน)	1,930.50	-
รายได้รวม (บาท/เดือน)	2,938.50	3,078.64
ต้นทุนเตาเผาถ่าน 200 ลิตร (บาท)	8,400.00	8,400.00
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	0.24	0.23

5.6.2 เตาแก๊สเชื้อเพลิงแกลบ

จากตารางที่ 11 แสดงผลการประเมินการใช้เตาแก๊สเชื้อเพลิงแกลบ โดยเตา 1 ตัว ใช้ปริมาณแกลบ 1.5 kg/ครั้ง ใช้งาน 3 ครั้ง/วัน ซึ่งใช้ปริมาณแกลบที่ 135 kg/เดือน สามารถแทนการใช้แก๊สหุงต้มได้ 11.1 kg จากตารางที่ 6 ปริมาณ การใช้แก๊สหุงต้มของครัวเรือน 495,573.7 kg/ปี ซึ่งต้องใช้แกลบในปริมาณ 6,027,247.70 kg/ปี แต่ปริมาณแกลบในชุมชน มีเพียง 180,782.11 kg/ปี จากปริมาณแกลบที่มีหากต้องนำมาใช้ทั้งหมดจะต้องใช้เตาจำนวน 111 ตัว ซึ่งสามารถทดแทน LPG ได้ 14864.31 kg/ปี และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 46.28 tonCO₂eq/ปี

ตารางที่ 11 ประเมินการใช้เตาแก๊สเชื้อเพลิงแกลบ

รายการ	ปริมาณ
ราคาเตา (บาท/เตา)	2,800
จำนวนครั้งที่ใช้เตา (ครั้ง/เดือน)	90
จำนวนเตาแก๊สเชื้อเพลิงแกลบ (ตัว)	111
ปริมาณแกลบที่ใช้ (kg/เดือน) (1.5 kg/ครั้ง)	15,065.18
ค่าใช้จ่ายกรณีการใช้แก๊สหุงต้ม (บาท/เดือน)	40,659.30
ค่าใช้จ่ายกรณีการใช้แกลบ (บาท/เดือน)	1,597.94
รายได้รวม (บาท/เดือน)	39,061.36
ต้นทุนเตาแก๊สเชื้อเพลิงแกลบ (บาท)	310,800.00
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	0.66

6. สรุปผล

การศึกษาปริมาณการใช้พลังงานของครัวเรือนในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแมง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าชุมชนมีการใช้พลังงานรวม 4,506.83 toe/ปี แบ่งเป็นพลังงานไฟฟ้า 907.22 toe พลังงานเชื้อเพลิงยานพาหนะ 2,427.33 toe และพลังงานเชื้อเพลิงหุงต้ม 1,172.28 toe คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวม 176.55 ล้านบาท/ปี หรือประมาณร้อยละ 26.24 ของรายได้ชุมชน และปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 14,890.58 tonCO₂eq/ปี โดยในด้านศักยภาพพลังงานทดแทน ชุมชนมีศักยภาพพลังงานชีวมวลจากแกลบและซังข้าวโพดรวม 2,691,823.84 MJ/ปี และศักยภาพพลังงานชีวภาพจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากมูลสัตว์รวม 418,064.36 MJ/ปี รวมศักยภาพพลังงานทดแทนทั้งสิ้น 3,109,888.20 MJ/ปี ซึ่งสามารถใช้ทดแทนพลังงานหุงต้มได้บางส่วนโดยเสนอแนวทางส่งเสริมการนำเทคโนโลยีเหมาะสม เช่น เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร และเตาชีวมวลเชื้อเพลิงแกลบมาใช้ในระดับครัวเรือน ซึ่งสามารถคืนทุนได้ในเวลาเพียง 0.23 – 0.66 ปี ทั้งนี้เพื่อขยายผลอย่างเป็นระบบควรพัฒนาต้นแบบ ชุมชนพลังงานทดแทนผ่านการจัดตั้งวิสาหกิจชุมชนผลิตถ่านชีวภาพ รวมถึงสนับสนุนจากเทศบาลในรูปแบบกองทุนหรือเงินสนับสนุนอุปกรณ์พลังงานทดแทน และยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 185 tonCO₂eq/ปี เพิ่มรายได้ชุมชนจากการแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และสร้างความเข้มแข็งของชุมชนในด้านพลังงานอย่างยั่งยืน โดยแนะนำให้มีการวิจัยต่อยอดด้านเศรษฐศาสตร์พลังงาน ออกแบบอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่ และศึกษาการยอมรับของชุมชนผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมเพื่อให้สามารถนำผลวิจัยไปประยุกต์ใช้ได้จริง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนการวิจัยเพื่อการศึกษาในครั้งนี้ โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีการศึกษา 2565

8. เอกสารอ้างอิง

- [1]. กระทรวงพลังงาน “แผนบูรณาการพลังงานระยะยาว,” [ออนไลน์]. <https://www.eppo.go.th> (เข้าถึงเมื่อ: 5 ธันวาคม 2567)
- [2]. ธเนศ ไชยชนะ และคณะ, “การศึกษาการใช้พลังงานระดับชุมชน: กรณีศึกษา ตำบลนาสัก อำเภอมะแมง จังหวัดลำปาง,” การประชุมวิชาการการถ่ายทอดพลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน (ครั้งที่ 8), โพธิ์วิลโลว์ สอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดเชียงราย, 2 -13 มีนาคม 2552,

- [3]. ประภากร เลาเรือง, "การประเมินอัตราส่วนพลังงานและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ระดับชุมชนกรณีศึกษา บ้านวังป๋อง อำเภอแม่ริมจังหวัด เชียงใหม่," วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (พลังงานทดแทน), มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2562.
- [4]. Yamane, Taro.1967. Statistics, An Introductory Analysis, 2nd Ed., New York : Harper and Row
- [5]. ศูนย์วิชาการและบริการข้อมูลพลังงานที่ 10 เชียงใหม่, กระทรวงพลังงาน "การจัดทำแผนพลังงานชุมชน 162 ชุมชนเพื่อชุมชนสีเขียว" รายงานฉบับสมบูรณ์, 2550.
- [6]. องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, "ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)," 2565.
- [7]. Bhattacharya S.C., Shrestha R.M. and Suchitra Ng., Potential of Biomass Residue Availability : The Case of Thailand, *Energy Sources*, Vol.11, 1989
- [8]. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, การศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูก, 2535
- [9]. Black & Veatch (Thailand), Thailand Biomass-Based Power Generation and Cogeneration within Small Rural Industries (Progress report), 1999
- [10]. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, รายงานผลการสำรวจวัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมัน, 2538
- [11]. รายงานพลังงานของประเทศไทย 2543, "แฟกเตอร์ของการใช้เป็นพลังงาน" สำหรับแกลบ: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2544
- [12]. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย, 2552, <http://www.dede.go.th> (เข้าถึงเมื่อ: 5 ธันวาคม 2567)
- [13]. สำนักงานเกษตรอำเภอแม่แตง "ข้อมูลพื้นฐาน," [ออนไลน์]. <https://chiangmai.doae.go.th> (เข้าถึงเมื่อ: 8 ธันวาคม 2567)

การศึกษามาตรการที่เหมาะสมในการจัดการพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาคเกษตรกรรมเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน : กรณีศึกษาการปลูกและแปรรูปกล้วย

TOWARDS SUSTAINABLE AGRICULTURE: STRATEGIES FOR ENERGY EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL CONSERVATION IN BANANA CULTIVATION AND PROCESSING

เสกสรร นันท์เขต¹ ฐกฤต ปานขลิบ¹ จุฑารัตน์ แก้วบุญชู^{2*}
Seksan Nanthakhet¹ Thakrit Panklib¹ Jutarat Keawboonchu^{2*}

Received: April 4, 2025

Revise: June 18, 2025

Accepted: June 20, 2025

¹ สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม กรุงเทพมหานคร 10600

¹ Program of Energy and Environmental Management, Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College, Bangkok 10600

² กลุ่มสหวิทยาการและการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

² I-Grad, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400

* Corresponding author: E-mail: Jutarat.kea@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและทางเลือกในระดับท้องถิ่นสามารถนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพพลังงานทดแทนของชาติควบคู่ไปกับการกระจายความมั่นคงด้านพลังงานสู่ชุมชน ซึ่งแนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาชาติในหลายระดับ โดยประเทศไทยได้ตั้งเป้าหมายในการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและทางเลือกต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายขึ้นร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2580 ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์วิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดหนองคาย ให้สะท้อนข้อมูลด้านพลังงานของกลุ่มและสูญเสียเงินไปกับการบริโภคพลังงานประเภทต่าง ๆ ข้อมูลเหล่านี้คาดว่าจะช่วยกระตุ้นให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเป้าหมายตระหนักถึงวิธีการในการลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานที่ได้ผลเป็นอย่างดี เพื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับรูปแบบของเทคโนโลยีพลังงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน การวิจัยนี้ได้ดำเนินการโดยเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการปลูกกล้วยและการแปรรูปกล้วย โดยใช้วิธีสอบถาม/สัมภาษณ์กลุ่มผู้แทนการปลูกกล้วย พบว่ามีการใช้พลังงานจากการปลูกกล้วยเฉลี่ยคิดเป็น 54,000 บาท/ปี หรือเทียบเท่าปริมาณการใช้พลังงาน 1.92 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ/ปี และการแปรรูปกล้วยเฉลี่ยคิดเป็น 421,228.20 บาท/ปี หรือเทียบเท่าปริมาณการใช้พลังงาน 8.40 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ/ปี จากข้อมูลดังกล่าว การออกแบบมาตรการด้านพลังงานทดแทนสำหรับการปลูกกล้วยด้วยระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่แบบลากจูงจึงมีความเหมาะสม ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3,200 วัตต์ ซึ่งจะนำมาใช้ทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในการรดน้ำได้ 100% ในส่วนของการแปรรูปกล้วย การใช้เทคโนโลยีพลังงานระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดม ขนาด 6.0 x 8.2 เมตร จึงเหมาะสม ซึ่งทำให้กลุ่มสามารถเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนได้เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 86,109.30 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี และสามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานลงได้เทียบเท่าประมาณ 361,659.06 บาท/ปี และการใช้เทคโนโลยีข้างต้นก็สามารถเป็นต้นแบบอันจะนำไปสู่การตอบสนองต่อนโยบายของทางรัฐบาล

คำสำคัญ: การจัดการพลังงาน การอนุรักษ์พลังงาน เทคโนโลยีพลังงานทดแทน การมีส่วนร่วมของประชาชน

Abstract

Promotion of renewable and alternative energy usage on a local level can effectively lead to increased national renewable energy potential, along with distributing energy security towards communities. This scheme aligns with national development goals on various levels. Thailand aimed to increase the proportion of renewable and alternative energy usage to final energy consumption to 30% by 2037. This research was conducted through collecting data of energy usage in banana cultivation and banana processing. A questionnaire/interview was used for a selected group of banana farmers. The data of banana processing was gathered with another questionnaire/interview for banana drying and frying processes. It was found that energy consumption for banana cultivation amounted average to 54,000 baht per year, or an equivalent of 1.92 toe per year. Energy consumption for banana process was equal average to 421,228.20 baht per year, or an equivalent of 8.40 toe per year. In light of the findings, the renewable energy measure of implementing 3,200-watt solar-powered mobile water pump system for banana cultivation was considered suitable. Which can be used to replace diesel oil for watering 100%. On the other hand, for banana processing, the use of 6.0x8.2 m² parabola dome solar dryer was appropriate. This allowed the group to increase the proportion of renewable energy use equivalent to 86,109.30 kWh per year and reduce energy costs by approximately 361,659.06 baht per year. The aforementioned implementations of renewable energy measures serve as prototypes which can be further perpetuated, fulfilling the policies of the government.

Keywords: Energy management, energy conservation, renewable energy technology, public participation

1. บทนำ

ประเทศไทยมีเป้าหมายในการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2580 [1] โดยในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคมปี 2565 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย 84,178 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบโดยพบว่ามีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจากพลังงานทดแทนปริมาณ 11,260 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนร้อยละ 13.38 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายโดยมีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.0 จากช่วงเดียวกันของปีก่อน เมื่อจำแนกการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายตามสาขาเศรษฐกิจ ประจำปี พ.ศ. 2565 เห็นว่ามีการใช้พลังงานรวม 84,178 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ โดยภาพรวมมีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในทุกสาขา โดยสาขาเกษตรกรรมมีการใช้พลังงานรวม 2,360 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 2.8 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย และมีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.6 จากช่วงเดียวกันของปีก่อน [2]

ยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี [3] ได้กำหนดแนวทางการพัฒนาประเทศโดยใช้หลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง เพื่อให้ก้าวไปสู่ประเทศที่มีความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน โดยได้กำหนดแนวทางการพัฒนาด้านการเกษตรไว้เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขัน โดยให้ความสำคัญกับการผลิตสินค้าเกษตรด้วยการสร้างมูลค่าเพิ่ม เน้นการเกษตรคุณภาพสูง และขับเคลื่อนการเกษตรด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ให้ความสำคัญกับการเพิ่มผลผลิตการผลิตทั้งเชิงปริมาณ มูลค่า และความหลากหลายของสินค้าเกษตร เพื่อรักษารฐานรายได้เดิมและสร้างฐานรายได้ใหม่ในอนาคตที่สูงขึ้น [1] และหมุดหมายของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 ยังมุ่งกำหนดทิศทางพัฒนาประเทศให้สอดคล้องกับปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ผ่านการสร้างสมดุลในการกระจายผลประโยชน์จากการพัฒนาแก่ทุกภาคส่วนเศรษฐกิจและสังคมอย่างเป็นธรรม นอกจากนี้ กรอบแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 13 ยังคงให้ความสำคัญกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในการเสริมสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชนทุกกลุ่ม และส่งต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ดีไปยังคนรุ่นต่อไป [3]

จังหวัดหนองคายมีแผนปฏิบัติราชการ [4] เพื่อเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันภาคการผลิตสินค้าเกษตร โดยการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนจึงเป็นหนึ่งในทางเลือกที่สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานจากการผลิต การแปรรูปสินค้า การเพิ่มมูลค่าทางการเกษตรให้กับกลุ่มเป้าหมาย เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและทำให้คุณภาพ

ชีวิตความเป็นอยู่ของเกษตรกรดีขึ้น ซึ่งที่ผ่านมาการวิจัยการประเมินการใช้พลังงานยังมีไม่แพร่หลาย ซึ่งการใช้ประโยชน์และการวิจัยของการส่งเสริมวิสาหกิจชุมชนทั้งภาครัฐและเอกชนก็มีข้อเสนอแนะที่ควรกำหนดนโยบายเสริมสร้างวิสาหกิจชุมชน ส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้นำและสมาชิกวิสาหกิจชุมชน สร้างเครือข่ายวิสาหกิจชุมชน ควรศึกษาประเด็นต่างๆ เพื่อให้เข้าใจหลักการและเป้าหมายของวิสาหกิจชุมชนได้ชัดเจน [5] ดังนั้น เพื่อส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืนในภาคเกษตรกรรม การศึกษาและศึกษาการใช้พลังงานและมาตรการจัดการพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการปลูกและแปรรูปกล้วยเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่สินค้าเกษตร โดยการลดต้นทุนทางพลังงานและเพิ่มรายได้จากการดำเนินงาน นอกจากนี้ การศึกษาและพัฒนาที่ยังมีเป้าหมายในการเสริมสร้างองค์ความรู้และทักษะการผลิต การแปรรูปสินค้าให้แก่เกษตรกรและองค์กรต่าง ๆ รวมถึงวิสาหกิจชุมชนและเครือข่ายการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การดำเนินการดังกล่าวจะสอดคล้องกับนโยบายสำคัญของรัฐบาลในการพัฒนาภาคเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน และยังมีบทบาทในการสร้างคุณค่าทางเศรษฐกิจและสังคมให้แก่ชุมชนอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานจากการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย
- 2) เพื่อเสนอแนะเทคโนโลยีพลังงานและมาตรการใช้พลังงานทดแทนในการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเลือกพื้นที่ศึกษาวิจัย

เนื่องจากจังหวัดหนองคายเป็นจังหวัดชายแดนตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย จัดอยู่ในกลุ่มจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ลักษณะของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ค่อนข้างราบ เป็นคลื่นลอนลาด ด้านตะวันตกของจังหวัดในเขตอำเภอสังคมเป็นพื้นที่ภูเขาสูงชันสลับซับซ้อน และเนื่องจากแม่น้ำโขงไหลผ่านอำเภอต่างๆ เกือบทุกอำเภอ จึงก่อให้เกิดประโยชน์ในการเกษตรกรรม ประชาชนได้อาศัยแม่น้ำโขงเป็นแหล่งน้ำที่ใช้เพื่อการเกษตรและอุปโภคบริโภค โดยเฉพาะที่อาศัยอยู่ริมแม่น้ำโขง จะได้รับประโยชน์มากกว่าที่อยู่ลึกเข้าไป นอกจากนี้ยังมีสถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าเพื่อทำการสูบน้ำจากแม่น้ำโขงและแหล่งน้ำอื่นๆ ขึ้นมาใช้เพื่อการเกษตรกรรม โดยเฉพาะพื้นที่อำเภอสังคม เป็นการปลูกกล้วยที่ปลูกบนเขา ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปแม่อาร์ภักดิ์ ตำบลสังคม อำเภอสังคม จังหวัดหนองคาย ในการเก็บข้อมูลและทำวิจัย ดังรูปที่ 1 เนื่องจาก กลุ่มดังกล่าวเป็นกลุ่มวิสาหกิจที่ได้รับการคัดเลือกเป็นผลิตภัณฑ์ระดับ 5 ดาว ประเภท ผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูป กล้วยตาก ตามโครงการคัดสรรสุดยอดหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ไทย ปี พ.ศ. 2565 รวมถึงได้รับหนังสืออนุญาตให้ใช้ตราสัญลักษณ์สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทย (Permission of Use of Thai Geographical Indication Symbol; GI) เพื่อเป็นต้นแบบให้กลุ่มอื่นๆ ภายในจังหวัด หรือพื้นที่ใกล้เคียงได้ดำเนินการขยายผลต่อไปได้ แต่เนื่องด้วยพื้นที่แปรรูปกล้วยของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปแม่อาร์ภักดิ์ ตำบลสังคม อำเภอสังคม จังหวัดหนองคาย ส่วนใหญ่จะเน้นเรื่องของการแปรรูปเป็นหลัก ซึ่งมีการปลูกกล้วยไม่มากเนื่องจากเป็นภูเขา และจะเน้นการรับซื้อกล้วยจากชาวบ้านในพื้นที่ใกล้เคียง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกพื้นที่ปลูกกล้วยเป็นพื้นที่แปลงเกษตรของคุณฤดี พวงจำปา ตำบลพานพร้าว อำเภอศรีเชียงใหม่ จังหวัดหนองคาย เป็นต้นแบบจำลองเพื่อที่จะเป็นตัวแทนของกลุ่มเกษตรกรของพื้นที่จังหวัดหนองคาย ในการปลูกกล้วยในพื้นที่อีกแห่งหนึ่ง ดังรูปที่ 2



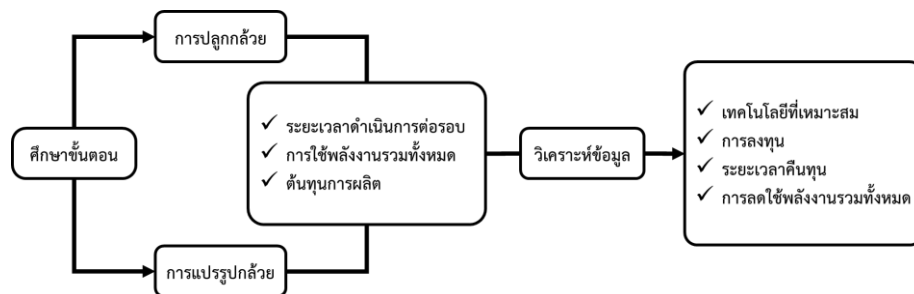
รูปที่ 1 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปแม่อาร์กซ์



รูปที่ 2 พื้นที่แปลงเกษตรของคุณฤดี พวงจำปา

3.2 การเก็บข้อมูล

จะดำเนินการเก็บข้อมูลจากกระบวนการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย โดยวิธีสอบถาม/สัมภาษณ์ จากกลุ่มผู้แทนการปลูกกล้วย จำนวน 20 ไร่ ที่ขายให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และเก็บข้อมูลการแปรรูปกล้วยโดยวิธีสอบถาม/สัมภาษณ์ ในขั้นตอนการตากกล้วย การทอดกล้วยในอบ 1 เดือน โดยใช้กรอบแนวคิดในการวิจัย ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของกระบวนการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานรวมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ให้สะท้อนข้อมูลด้านพลังงานของกลุ่มว่ามีปริมาณเท่าใด และสูญเสียเงินไปกับการบริโภคพลังงานประเภทต่าง ๆ เป็นมูลค่าเท่าใด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นสิ่งกระตุ้นให้กลุ่มตระหนักถึงวิธีการในการลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานได้เป็นอย่างดี เพื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับรูปแบบของเทคโนโลยีพลังงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของกระบวนการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย

กระบวนการ	หน่วย
1. การปลูกกล้วยน้ำว้า	
1.1 การปลูกกล้วย	
- พื้นที่ในการเพาะปลูก	ไร่
- ปริมาณของน้ำที่ต้องการ	ลูกบาศก์เมตร
- ระยะเวลาสูบน้ำ	วัน/เดือน
- น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้	ลิตร/เดือน
- ผลผลิตกล้วยที่ได้	กิโลกรัม/เดือน
- รายรับจากการขายกล้วย	บาท/เดือน
1.2 การขนส่ง	
- ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	ลิตร/เดือน
2. การแปรรูปกล้วย	
2.1 กล้วยตาก	
- ผลผลิตที่ตาก	กิโลกรัม/เดือน
- ระยะเวลาในแต่ละรอบการผลิต	วัน/เดือน
- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เกิดขึ้น	กิโลวัตต์ชั่วโมง/เดือน
- รายรับจากการขายกล้วยตาก	บาท/เดือน
2.2 กล้วยทอด (กล้วยเบรคแตก)	
- ผลผลิตที่ทอด	กิโลกรัม/เดือน
- ระยะเวลาในแต่ละรอบการผลิต	วัน/เดือน
- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เกิดขึ้น	กิโลวัตต์ชั่วโมง/เดือน
- รายรับจากการขายกล้วยตาก	บาท/เดือน

3.3 การวิเคราะห์การใช้พลังงานจากการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย

3.3.1 การวิเคราะห์การใช้พลังงานจากการปลูกกล้วย

ขนาดพื้นที่ประมาณ 20 ไร่ โดยการปลูกกล้วยจะปลูกเป็นแถว และมีร่องน้ำระหว่างแถวขนาดกว้าง 2.5 เมตร ลึก 1.5 เมตร ยาว 150 เมตร จำนวน 13 ร่อง หรือสามารถเก็บน้ำได้ประมาณ 7,312.50 ลูกบาศก์เมตร หรือ 7,312,500 ลิตร โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชน/กลุ่มเกษตรกรที่ปลูกกล้วย เดิมใช้เรือดน้ำในระบบน้ำร่อง ซึ่งใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทดีเซลในการสูบน้ำจากแหล่งน้ำให้กับต้นกล้วย ประมาณ 8 เดือน จนกว่าจะมีการออกปลี และเก็บผลผลิตของกล้วย รวมไปถึงการขนส่งเพื่อแปรรูป โดยการหาค่าปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและรายจ่ายด้านพลังงานทั้งหมด

3.3.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงานจากการแปรรูปกล้วย

ซึ่งการแปรรูปกล้วยจะมีอยู่ 2 ผลิตภัณฑ์คือ กล้วยตากและกล้วยทอด ซึ่งจะมีต้นทุนทางด้านพลังงานไม่ว่าจะเป็นการใช้ก๊าซ LPG ในการแปรรูปกล้วยทอด โดยจะเก็บข้อมูล 1 เดือน ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อหาต้นทุนทางด้านพลังงานไม่ว่าจะเป็นด้านพลังงานไฟฟ้า ด้านพลังงานความร้อน เพื่อวิเคราะห์รายจ่ายด้านพลังงานทั้งหมดของกระบวนการแปรรูป

3.3.3 การประเมินค่าดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากกระบวนการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย

วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระดับรายผลผลิต คืออัตราส่วนการใช้พลังงานต่อปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตที่ได้ ดังสมการที่ 1

$$SEC = \frac{\sum E}{\sum P} \quad (1)$$

เมื่อ $\sum E$ คือ ผลรวมของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดของกระบวนการปลูกกล้วยและแปรรูปกล้วย มีหน่วยเป็นเมกะจูล (MJ)

$\sum P$ คือ ผลรวมของปริมาณผลผลิต (หน่วยผลิตภัณฑ์)

วิเคราะห์ดัชนีความเข้มข้นการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายต่อผลิตภัณฑ์ (Energy Intensity; EI) คืออัตราส่วนระหว่างการใช้พลังงานในการก่อให้เกิดผลผลิตและมูลค่าผลผลิตที่ได้ โดยมูลค่าผลิตภัณฑ์ได้อ้างอิงจากมูลค่าการส่งออกหรือการขายในแต่ละเดือน ดังสมการที่ 2

$$EI = \frac{\sum E}{\sum Exp} \quad (2)$$

เมื่อ $\sum E$ คือ ผลรวมของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดของกระบวนการปลูกกล้วยและแปรรูปกล้วย มีหน่วยเป็นเมกะจูล (MJ)

$\sum Exp$ คือ ผลรวมของมูลค่าการส่งออกหรือการขาย (บาท)

3.4 การออกแบบมาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน

การออกแบบมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานของการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย แนะนำแบบมาตรฐานของเทคโนโลยีพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงานให้เหมาะสมต่อความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน รวมถึงวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้ได้ถึงระยะเวลาคืนทุน เพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจลงทุนของเทคโนโลยีพลังงาน ซึ่งปัจจุบันการดำเนินงานของกลุ่มแสดงได้ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การดำเนินงานของกลุ่มในปัจจุบัน

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานจากการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย โดยใช้วิธีสอบถาม/สัมภาษณ์กลุ่มผู้แทนการปลูกกล้วย และเก็บข้อมูลการแปรรูปกล้วยโดยใช้วิธีสอบถาม/สัมภาษณ์ ในขั้นตอนการตากกล้วย การทอดกล้วยในอบ 1 เดือน โดยแสดงรายละเอียดได้ตามตารางที่ 2 พบว่ามีการใช้พลังงานจากการปลูกกล้วยโดยใช้น้ำมันดีเซลคิดเป็น 180 ลิตร เทียบเท่าปริมาณความร้อน 6,879.74 เมกะจูล หรือเทียบเท่าปริมาณการใช้พลังงาน 0.16 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และการแปรรูปกล้วยเทียบเท่าปริมาณความร้อน 29,853.18 เมกะจูล หรือเทียบเท่าปริมาณการใช้พลังงาน 0.70 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ โดยแสดงรายละเอียดได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายในการดำเนินกิจกรรม

ข้อมูล/กิจกรรม*	ราคาขายผลผลิต (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (กิโลกรัม/เดือน)	รายจ่าย (บาท/เดือน)	รายรับ (บาท/เดือน)
1. การปลูกกล้วยน้ำว้า	33.00	135	6,644.10	4,500.00
2. การแปรรูปกล้วยตาก	160.00	285.79	5,283.70	45,760.00
3. การแปรรูปกล้วยทอด (เบรคแตก)	178.12	308.00	29,818.65	54,860.00

* หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินกิจกรรมทางด้านพลังงาน

ตารางที่ 3 ตารางแสดงการใช้พลังงานจากการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย

ข้อมูล/กิจกรรม	การใช้ พลังงาน (MJ)	เทียบเท่าน้ำมันดิบ (toe)	SEC (MJ/หน่วย)	EI (MJ/บาท)
1. การปลูกกล้วยน้ำว้า	6,879.74	0.16	15.29	1.53
- น้ำมันดีเซล (ลิตร)	6,879.74	0.16	15.29	1.53
2. การแปรรูปกล้วย	29,853.18	0.70	-	-
- กล้วยตาก (กิโลกรัม)	137.70	0.00	0.48	0.003
- กล้วยทอด (เบรคแตก) (กิโลกรัม)	29,715.48	0.70	48.24	0.54

4.2 การออกแบบมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานของการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วย

ปัจจุบันระบบ Internet of Things (IoT) มีบทบาทสำคัญและมีการใช้เพิ่มมากขึ้นโดยเข้ามามีส่วนร่วมในการปรับปรุงชีวิตประจำวันและภาคธุรกิจต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ภาคครัวเรือน อุตสาหกรรม เกษตรกรรมและอื่นๆ ให้สามารถติดต่อ รับส่งข้อมูล รับคำสั่งเพื่อควบคุมอุปกรณ์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งการเชื่อมต่อนั้นสามารถเก็บและรวบรวมข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ อีกทั้งยังมีระบบที่จัดการประมวลผลข้อมูลผ่านทางออนไลน์ ช่วยให้เราสามารถควบคุมและเข้าถึงข้อมูลได้ตลอดเวลา โดยภาคเกษตรกรรมเองก็มีการนำ IoT และเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้บริหารจัดการ ไม่ว่าจะเป็นการเพาะปลูกหรือการเลี้ยงสัตว์ รวมไปถึงกระบวนการดูแลและควบคุมการผลิตให้มีประสิทธิภาพ เพื่อแก้ปัญหาผลผลิตไม่ได้คุณภาพและปริมาณ ลดต้นทุนการผลิต ลดความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อการผลิตได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามระบบ IoT ก็ไม่ได้เหมาะสมกับทุกสภาพพื้นที่และอุปกรณ์ เนื่องจากกลุ่มเกษตรกรหรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ผู้วิจัยทำการวิจัยนั้นส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ภูเขาซึ่งบางจุดเป็นแหล่งอับเครือข่ายสัญญาณ ประกอบกับสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนส่วนใหญ่จะเป็นผู้สูงอายุที่ไม่ค่อยเชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่ และระบบ IoT ยังมีความซับซ้อนในการติดตั้งและการบำรุงรักษา ซึ่งอาจจะทำให้เป็นข้อจำกัดในการใช้งานระบบดังกล่าว ดังนั้น จากเหตุผลดังกล่าวและจากข้อมูลการวิเคราะห์การใช้พลังงานจากการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วยผู้วิจัยจึงเสนอแนะเทคโนโลยีพลังงานและมาตรการใช้พลังงานทดแทนในการปลูกกล้วย และการแปรรูปกล้วยที่เหมาะสมสำหรับชุมชนด้วยกันจำนวน 3 เทคโนโลยี ได้แก่ ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เคลื่อนที่แบบลากจูงกำลังการผลิตติดตั้ง 3,200 วัตต์ [6] ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดมขนาด 6.0 x 8.2 เมตร [7] และหั่วครอบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง ดังรูปที่ 5 เพื่อเป็นการส่งเสริมและเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานแทน รวมไปถึงการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละขั้นตอนด้วย โดยผลการออกแบบมาตรการมีรายละเอียดได้ตามตารางที่ 4



รูปที่ 5 เทคโนโลยีพลังงานระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เคลื่อนที่แบบลากจูง
ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 6.0 x 8.2 เมตร และหัวครอบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง

ตารางที่ 4 ตารางแสดงรายละเอียดการออกแบบมาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน

เทคโนโลยี	เทียบเท่าลด พลังงาน ไฟฟ้า (kWh/ปี)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	ลดการใช้ พลังงาน (MJ/ปี)	ต้นทุน เทียบเท่า น้ำมันดิบ (toe/ปี)	การลงทุน เทคโนโลยี (บาท)**	ระยะเวลา คืนทุน (ปี)
1. ระบบสูบน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ เคลื่อนที่แบบลากจูง	4,792.32	92,682.14*	17,252.35	0.41	220,000	2.37
2. ระบบอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 6.0 x 8.2 เมตร	86,109.30	361,659.06	309,993.48	7.34	319,500	0.88
3. หัวครอบเตาแก๊ส ประสิทธิภาพสูง	15,972.00	2,787.10	106,480.00	2.52	15,000	5.38

* ผลประหยัดรวมค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและเทียบเท่าค่าพลังงานไฟฟ้า

** ราคากลางของงบประมาณจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าถ้าตัดสินใจใช้เทคโนโลยีทั้ง 3 เทคโนโลยีแล้ว จะสามารถลดต้นทุนทางด้านพลังงาน น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลลงได้ 2,160 ลิตรต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่า 72,554.70 บาทต่อปี โดยคิดอัตราค่าน้ำมันดีเซล 33.59 บาทต่อลิตร และเทียบเท่าลดพลังงานไฟฟ้าลงได้ 106,873.62 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่า 448,869.20 บาทต่อปี โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.2 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และเมื่อคิดอัตราการลงทุนเทคโนโลยีพลังงานสำหรับชุมชนแล้ว ซึ่งคิดจากราคากลางของงบประมาณจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้การสนับสนุนกลุ่มเกษตรกร กลุ่มวิสาหกิจชุมชนอยู่ปัจจุบัน โดยการคิดมูลค่าเงินลงทุนทั้งหมดต่อผลประหยัดที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าถ้ากลุ่มจะขอรับการสนับสนุน หรือมีความพร้อมที่จะลงทุน ควรตัดสินใจเลือกกระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6.0 x 8.2 เมตร ก่อนเป็นลำดับแรก เนื่องจากการดำเนินในปัจจุบันนั้น ความเสียหายจากการแปรรูปกล้วยตากยังมีให้เห็นพอสมควร ไม่ว่าจะเป็นจากสัตว์ต่างๆ เช่น นก แมลงวัน เป็นต้น ความเสียหายจากฝุ่นละออง การปนเปื้อนข้ามสายพันธุ์ (Cross Contamination) ที่อาจอันตรายต่อผู้บริโภคจากสิ่งแปลกปลอมหรือสิ่งที่เป็นอันตราย รวมถึงความเสียหายจากสภาพอากาศหากมีหมอกลงหรือฟ้าครึ้ม มีฝนตก ซึ่งต้องใช้เวลาดตากกล้วยที่นานขึ้น ทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ดังนั้นการใช้ระบบ

อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้กลุ่มวิสาหกิจสามารถลดระยะเวลาการแปรรูปลงได้ ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตต่อรอบได้ รวมไปถึงสินค้าทางการเกษตรที่แปรรูปถูกสุขลักษณะ ได้มาตรฐาน สามารถขออนุญาตรับรองจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ให้ผลิตภัณฑ์มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้นไป ซึ่งทำให้ผลผลิตของกลุ่มสามารถเพิ่มมูลค่าขึ้นได้ รวมทั้งระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่ส่วนราชการให้การสนับสนุนอยู่เสมอ มีช่องทางการขอรับสนับสนุนที่ชัดเจน โดยสามารถคืนทุนให้กับกลุ่มได้ 0.88 ปี หรือประมาณ 11 เดือน

5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลผลการศึกษาดังกล่าว การออกแบบมาตรการด้านพลังงานทดแทนสำหรับการปลูกกล้วยด้วยระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่แบบลากจูงจึงมีความเหมาะสม ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3,200 วัตต์ ซึ่งจะนำมาใช้ทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในการรดน้ำได้ 100% และยังสามารถส่งน้ำได้ตามระยะของพื้นที่การปลูกกล้วย ซึ่งสามารถคิดเป็นการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนได้เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 4,792.32 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือเทียบเท่าปริมาณการลดใช้พลังงาน 0.57 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ทำให้กลุ่มสามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานลงได้เทียบเท่าประมาณ 20,127.75 บาท/ปี ในส่วนของการแปรรูปกล้วยประเภทกล้วยตาก ควรใช้เทคโนโลยีพลังงานระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบพาราโบลาโดม ขนาด 6.0 x 8.2 เมตร จึงเหมาะสมต่อการดำเนินงาน เนื่องจากปัจจุบันความเสียหายของกล้วยตากและการผลิตที่ไม่ถูกสุขลักษณะของการผลิตกล้วยตากแบบดั้งเดิม ทำให้มีระยะเวลาการตากที่นานกว่า ผู้วิจัยจึงได้ทำการเสนอมาตรการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการเผยแพร่เทคโนโลยีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการผลิตกล้วยตากแบบดั้งเดิมมาเป็นการผลิตแบบสมัยใหม่ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเพิ่มรายได้ เกิดการจ้างงานในชุมชนและการ ซึ่งทำให้กลุ่มสามารถเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนได้เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 86,109.30 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือเทียบเท่าปริมาณการลดใช้พลังงาน 7.34 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ทำให้กลุ่มสามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานลงได้เทียบเท่าประมาณ 361,659.06 บาท/ปี ส่วนการแปรรูปกล้วยประเภทกล้วยทอด (เบรคแตก) ควรใช้หั่วครอบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง เพื่อลดการสูญเสียความร้อนของก๊าซปิโตรเลียมเหลว อย่างน้อย 30% ของการใช้งานเดิม [2] สามารถการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนได้เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 15,972.00 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือเทียบเท่าปริมาณการลดใช้พลังงาน 2.52 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ทำให้กลุ่มสามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานลงได้เทียบเท่าประมาณ 67,082.40 บาท/ปี

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนจากกองทุนเงินอุดหนุนจากสัญญาโรงกลั่นปิโตรเลียม กระทรวงพลังงานที่พิจารณาให้ผู้วิจัยได้รับสนับสนุนทุนการศึกษา ตลอดจนข้าราชการและเจ้าหน้าที่ของสำนักงานพลังงานจังหวัดหนองคาย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล รวมไปถึงบุคคลในครอบครัว ญาติ เพื่อน ทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ รวมถึงกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปแม่อาร์ักษ์ ตำบลสังคม อำเภอสังคม จังหวัดหนองคาย และพื้นที่ปลูกกล้วยแปลงเกษตรของคุณฤดี พวงจำปา ตำบลพานพร้าว อำเภอศรีเชียงใหม่ จังหวัดหนองคาย ที่อำนวยความสะดวกและสนับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยอย่างดีเสมอมา และที่สำคัญขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา คณะกรรมการทุกท่าน ที่ช่วยเสนอแนะ แนะนำแนวทางให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีตามวัตถุประสงค์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเลขาธิการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ. (2561). ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561 - 2580. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.
- [2] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2565). รายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

- [3] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2565). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่สิบสาม พ.ศ. 2566 – 2570. กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี.
- [4] สำนักงานจังหวัดหนองคาย. (2566). แผนพัฒนาจังหวัดหนองคาย ปี พ.ศ. 2566 – 2570 (รอบปี พ.ศ. 2566). หนองคาย: จังหวัดหนองคาย.
- [5] Apichart Jai-aree. (2023). Lesson Learned and Success Factors on Dried Banana Product Community Enterprise Management In Ratchaburi Province, Thailand. *International Journal Of Arts Humanities And Social Sciences Studies* Volume 8 Issue 3, 13-24.
- [6] กิตติยาพร พงศ์พีระ และคณะ, “การศึกษาสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กสำหรับครัวเรือน”, *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 8(2), 2022, pp. 157–168.
- [7] วีระศักดิ์ จุลภักดิ์ และคณะ, “การออกแบบและทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลา”, *Life Sciences and Environment Journal* 22(2), 2021, pp. 297-307.
- [8] Muhammad Usman Khan, Muhammad Waseem, Umair Zahid, Faisal Mahmood, Faizan Majeed, Muhammad Sultan, Ali Raza Yaqoob Majeed. (2023). Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Reports*, 344–359.

การสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแขวนใต้ฝ้าเพื่อควบคุมการใช้พลังงานให้เหมาะสมในห้องเรียนวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

The development of a temperature and humidity control system in a split-type ceiling-suspended air conditioner to optimize energy usage in classrooms at Siam Technology College

Received: May 8, 2025

Revise: June 27, 2025

Accepted: June 27, 2025

สงกรานต์ ภารกุล^{1*} และ กำจัด ใจตรง¹

Songkran Parakul^{1*} and Kumjat Jaitrong¹

^{1*} คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

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

* Corresponding author E-mail: songkranp@siamtechno.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแขวนใต้ฝ้าเป็นระบบทำความเย็นที่มีความสะดวกในการติดตั้ง การเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ ลักษณะการใช้งาน และความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิ โดยปกติเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดความเร็รรอบคงที่จะติดตั้งมากกว่าหนึ่งเครื่องในพื้นที่ปรับอากาศ อาทิเช่น ห้องเรียนอาคาร 7 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามห้อง 7201 ทำให้การควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นของเครื่องปรับอากาศไม่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งาน จากผลการทดลองพบว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง 7201 คือ 25 °C และความชื้นน้อยกว่า 60 % ค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 4,250 วัตต์ต่อชั่วโมง ซึ่งค่าดังกล่าวเหมาะสมกับค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเพื่อเป็นการป้องกันการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ในเครื่องปรับอากาศและยังเป็นการใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน, พลังงาน, ประสิทธิภาพ

ABSTRACT

A split-type air conditioner, specifically the ceiling-suspended model, is a cooling system that offers convenient installation. The selection of a split-type air conditioner depends on the size of the area, the nature of usage, and the ability to control temperature. Typically, fixed-speed split-type air conditioners are installed in multiple units within an air-conditioned space, such as classroom 7201 in Building 7 of Siam Technology College. This setup often results in inefficient temperature and humidity control, leading to excessive electricity consumption. Therefore, this research aims to develop a temperature and humidity control system to optimize energy consumption for practical use. Experimental results indicate that the optimal temperature and relative humidity for room 7201 are 25 °C and humidity below 60%. The average power consumption is 4,250 watts per hour, which aligns with the appropriate energy usage for air conditioning. This optimization helps prevent equipment deterioration and ensures efficient electricity consumption.

Keywords: Split-type air conditioner, Energy, Efficiency

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนสูงขึ้นเนื่องจากสภาวะโลกร้อน (global warming) มนุษย์ส่วนใหญ่จึงมีการหันมาใช้เครื่องปรับอากาศมากขึ้นโดยหลักการทำงานคือคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ดูดและอัดสารทำความเย็นเพื่อเพิ่มความดันของสารทำความเย็นส่งต่อเข้าคอยล์ร้อน (Condenser) สารทำความเย็นจะไหลผ่านแผงคอยล์ร้อนเพื่อระบายความร้อนด้วยพัดลมช่วยลดอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์จากนั้นส่งต่อไปกับอุปกรณ์ลดความดัน (Expansion valve) สารทำความเย็นไหลผ่านอุปกรณ์จะมีความดันและอุณหภูมิลดลงแล้วไหลเข้าสู่คอยล์เย็น (Evaporator) สารทำความเย็นจะไหลผ่านแผงคอยล์เย็นโดยมีพัดลมเป่าเพื่อดูดซับความร้อนภายในห้องทำให้อุณหภูมิภายในห้องลดลงซึ่งทำให้สารทำความเย็นที่ออกจากคอยล์เย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากนั้นจะถูกส่งกลับเข้าคอมเพรสเซอร์เพื่อทำงานเป็นวัฏจักร [1]

เครื่องปรับอากาศได้เข้ามามีบทบาทสำคัญทั้งในอุตสาหกรรม ที่พักอาศัย และอาคารต่างๆ โดยมีรูปแบบที่หลากหลายขึ้นอยู่กับการใช้งานในการใช้งานเช่นเครื่องปรับอากาศชนิดหน้าต่างเครื่องปรับอากาศชนิดติดผนัง และเครื่องปรับอากาศชนิดตั้งพื้น นอกจากนี้ยังมีเครื่องปรับอากาศชนิดพกพาที่สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้ [2] เพื่อให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพด้านพลังงาน วงจรการทำความเย็นและคอมเพรสเซอร์จึงเป็นหัวข้อที่ถูกวิจัยเพื่อใช้สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านพลังงาน[3] ระบบปรับอากาศมีบทบาทสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิความชื้นและคุณภาพอากาศภายในอาคาร การทำงานที่มีประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศช่วยให้ประหยัดพลังงาน[4] อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในการใช้งานเครื่องปรับอากาศมักเกิดจากการติดตั้งที่ไม่เหมาะสมเช่น การติดตั้งชุดระบายความร้อนในตำแหน่งที่โดนแสงแดดตลอดเวลาหรือการติดตั้งในตำแหน่งที่การถ่ายเทของอากาศไม่สะดวก ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงและอาจทำให้เครื่องปรับอากาศเสียหายเร็วกว่าที่ควร [5] นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เกิดขึ้นภายในระบบปรับอากาศเอง เช่น การเสื่อมสภาพของตัวเก็บประจุในคอมเพรสเซอร์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศอย่างมาก และการบำรุงรักษาเกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศ [6] กระบวนการจัดการอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทั่วไปใช้เซ็นเซอร์ควบคุมอุณหภูมิเป็นอุปกรณ์ในการส่งสัญญาณควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเห็นได้ว่าเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจะไม่สามารถควบคุมค่าความชื้นหากความชื้นมีมากหรือน้อยไปจะส่งผลกระทบต่อความรู้สึกไม่สบายตัว [7, 8, 9] จากการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแวนได้นิยมติดตั้งมากกว่า 1 เครื่องทำให้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในห้องได้อย่างเหมาะสม

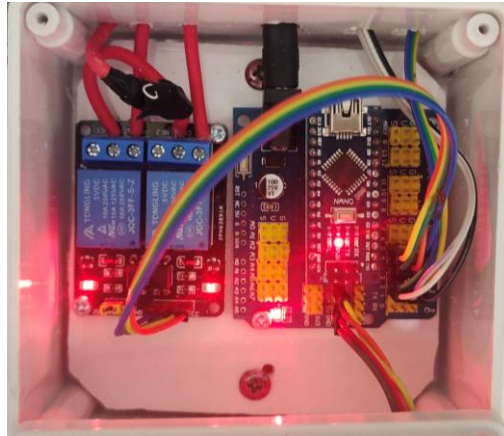
ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแวนได้นี้เพื่อควบคุมการใช้พลังงานให้เหมาะสมในห้องเรียน 7201 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามเพื่อเป็นการอนุรักษ์การใช้พลังงานและยังสามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 30,000 btu ให้เริ่มทำงานพร้อมกันและหยุดการทำงานพร้อมกันจำนวน 2 เครื่อง
2. เพื่อหาจุดเหมาะสมในการควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นในห้องเรียน 7201 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

3. การดำเนินการวิจัย

1. สร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแวนได้นี้ขนาด 30,000 BTU จำนวน 2 เครื่องให้หยุดการทำงานและเริ่มการทำงานพร้อมกัน ดังแสดงในรูปที่ 1- 4



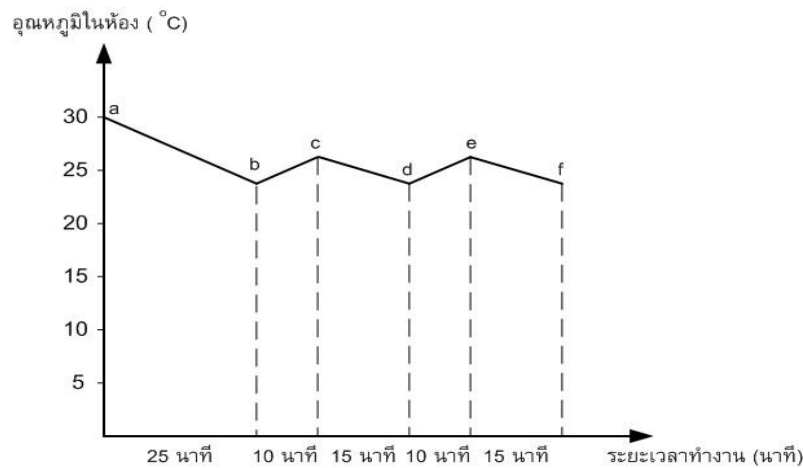
รูปที่ 1 ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 2 ชุดแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 3 เซ็นเซอร์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

2. ออกแบบการทดลอง

- ทำการทดลองโดยตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิและวัดค่าพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยไม่ต่อชุดควบคุมอุณหภูมิและค่าความชื้นโดยตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศชุดที่ 1 ที่ 25 °C และตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศชุดที่ 2 ที่ 25 °C วัดค่าพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 30,000 BTU จำนวน 2 เครื่อง
- ทำการทดลองโดยตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนให้เริ่มทำงานและหยุดการทำงานพร้อมกันโดยมีเงื่อนไขดังนี้
 - ตั้งค่าอุณหภูมิ 25 °C ค่าความชื้นน้อยกว่า 60 % และวัดค่าพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 30,000 BTU จำนวน 2 เครื่อง
 - ตั้งค่าอุณหภูมิ 23 °C ค่าความชื้นน้อยกว่า 60 % และวัดค่าพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 30,000 BTU จำนวน 2 เครื่อง
- บันทึกค่าพลังงาน กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิและความชื้นในห้อง 7201 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
- สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น COP (Coefficient of Performance)

$$COP = Q/W \quad (1)$$

โดยที่ Q คือ พลังงานที่ระบบนำออกในรูปของความเย็น (หน่วยเป็น kW หรือ BTU/hr)
W คือ พลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้ในการทำงาน (หน่วยเป็น kW)

7. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio) EER

$$EER = 3.142 COP \quad (2)$$

4. ผลการวิจัยและอภิปราย

การทดลองนี้ถูกออกแบบเพื่อทดสอบผลกระทบของการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแชนแนลไต้ฟ้าขนาด 30,000 btu จำนวน 2 เครื่องในห้องเรียน 7201 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม โดยการทดลองควบคุมอุณหภูมิ 23-25 °C วัดค่าพลังงานที่ใช้ใน 2 ชั่วโมง ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C โดยไม่มีชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจากตารางการทดลองที่ 1 การทำงานเครื่องปรับอากาศจะหยุดการทำงานและเริ่มการทำงานไม่พร้อมกันทำให้การควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามค่าอุณหภูมิที่กำหนดต้องใช้ค่าพลังงานที่ใช้ 4,850 วัตต์ต่อชั่วโมง จากผลการทดลองใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยกำหนดค่าอุณหภูมิ 25 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 % จากตารางการทดลองที่ 2 ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 2 เครื่องหยุดทำงานและเริ่มทำงานพร้อมกันวัดค่าพลังงานที่ใช้ 4,250 วัตต์ต่อชั่วโมง ผลการทดลองใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยกำหนดค่าอุณหภูมิ 23 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 % จากตารางการทดลองที่ 3 ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 2 เครื่องหยุดทำงานและเริ่มทำงานพร้อมกันวัดค่าพลังงานที่ใช้ 4,700 วัตต์ต่อชั่วโมง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C โดยไม่มีชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

เวลา	เครื่องปรับอากาศ 1	เครื่องปรับอากาศ 2	พลังงานไฟฟ้า (kwh)	สถานะชุด คอยล์ร้อน เครื่องปรับอากาศ 1	สถานะชุด คอยล์ร้อน เครื่องปรับอากาศ 2
	อุณหภูมิ(C)	อุณหภูมิ(C)			
9.00	30	30	0	NO	NO
9.20	26	24	2.0	NO	OFF
9.35	27	26	2.2	NO	NO
9.50	26	24	3.7	NO	OFF
9.55	26	26	3.9	NO	NO
10.05	25	24	5.4	OFF	OFF
10.10	26	26	5.6	NO	NO
10.20	25	24	6.6	OFF	OFF
10.25	26	26	6.8	NO	NO
10.35	25	24	7.8	OFF	OFF
10.40	26	26	8.0	NO	NO
10.50	26	25	9.0	NO	OFF
10.55	26	26	9.2	NO	NO
11.00	26	26	9.7	NO	NO

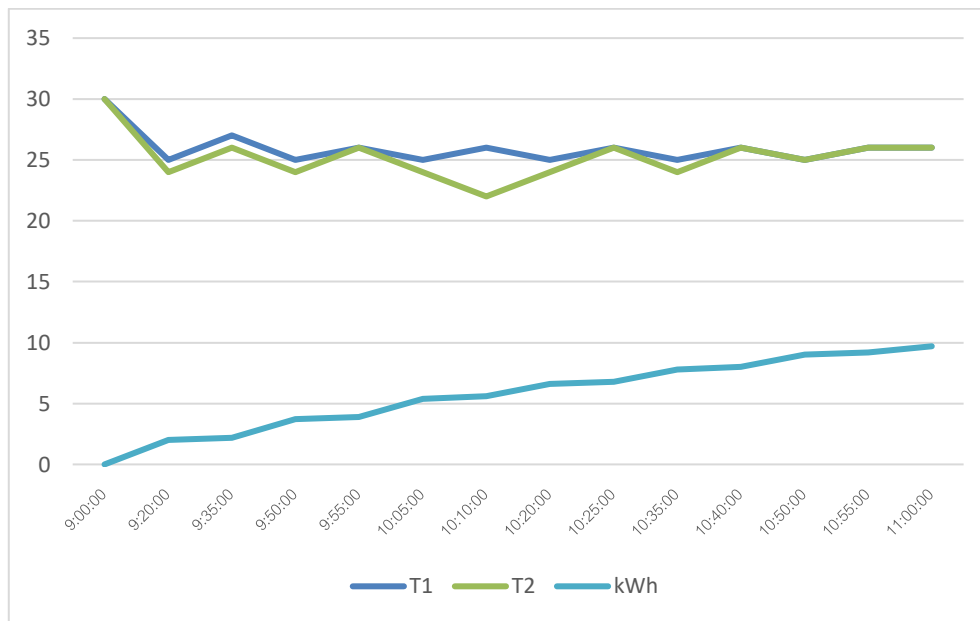
ตารางที่ 2 ผลการทดลองใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น 25 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 %

เวลา	เครื่องปรับอากาศ 1		เครื่องปรับอากาศ 2		พลังงานไฟฟ้า (kwh)	สถานะชุด คอยล์ร้อน เครื่องปรับอากาศ 1	สถานะชุด คอยล์ร้อน เครื่องปรับอากาศ 2
	อุณหภูมิ (C)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C)	ความชื้น (%)			
9.00	30	69	30	69	0	NO	NO
9.20	25	60	25	58	2.0	OFF	OFF
9.30	27	68	27	67	2.3	NO	NO
9.45	25	60	25	56	3.8	OFF	OFF
9.55	26	66	26	65	4.1	NO	NO
10.05	25	61	25	58	5.1	OFF	OFF
10.15	26	65	26	65	5.4	NO	NO
10.25	25	60	25	57	6.4	OFF	OFF
10.35	26	67	26	68	6.7	NO	NO
10.45	25	60	25	59	7.7	OFF	OFF
10.55	26	66	26	65	8	NO	NO
11.00	25	60	25	60	8.5	NO	NO

ตารางที่ 3 ผลการทดลองใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น 23 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 %

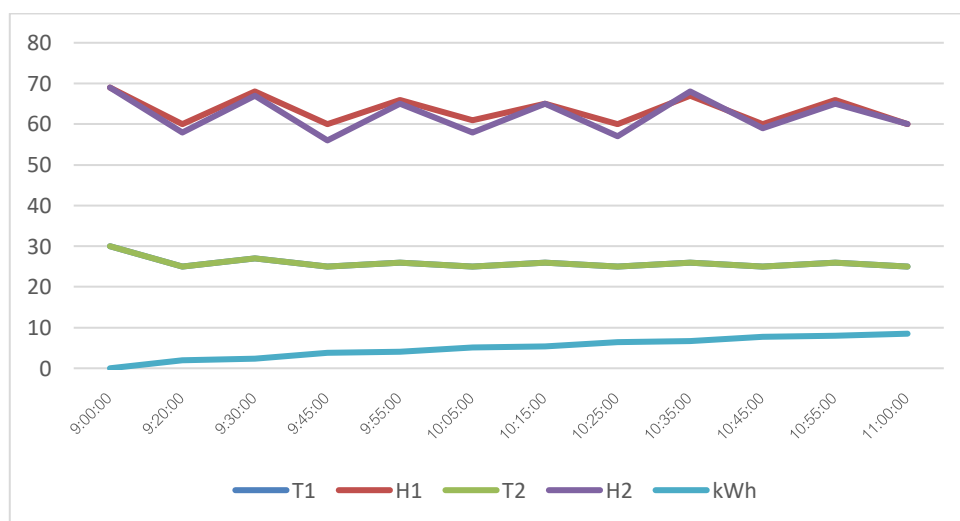
เวลา	เครื่องปรับอากาศ 1		เครื่องปรับอากาศ 2		พลังงานไฟฟ้า (kwh)	สถานะชุด คอยล์ร้อน เครื่องปรับอากาศ 1	สถานะชุด คอยล์ร้อน เครื่องปรับอากาศ 2
	อุณหภูมิ (C)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (C)	ความชื้น (%)			
9.00	30	69	30	69	0	NO	NO
9.25	23	57	24	55	2.5	OFF	OFF
9.35	25	65	25	62	2.8	NO	NO
9.55	23	58	23	56	4.8	OFF	OFF
10.05	24	65	24	63	5.1	NO	NO
10.20	23	62	23	59	6.8	OFF	OFF
10.30	24	65	24	64	7.1	NO	NO
10.45	23	61	23	58	8.6	OFF	OFF
10.55	24	64	24	63	8.9	NO	NO
11.00	23	60	23	60	9.4	NO	NO

จากผลการทดลองตารางที่ 1-3 พบว่าค่าการใช้พลังงานที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 25 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 % มีค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงอยู่ที่ 4,250 วัตต์ต่อชั่วโมง



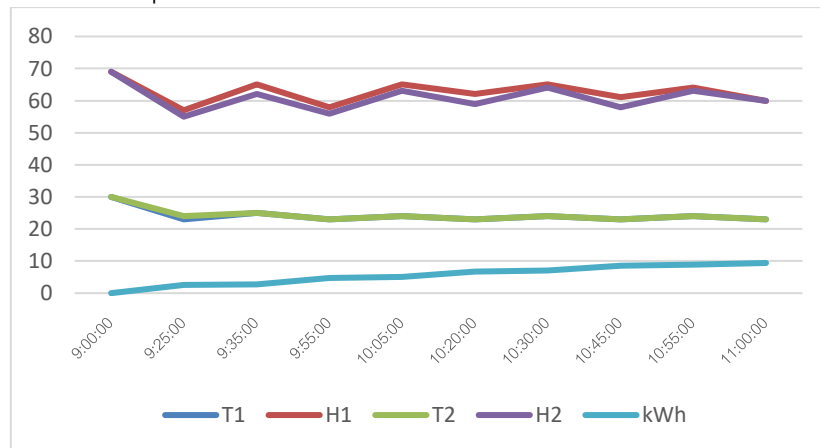
รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาและอุณหภูมิที่ 25 °C เทียบกับการใช้ค่าพลังงาน

จากรูปที่ 5 แสดงกราฟผลการทดลองจากตารางที่ 1 กำหนดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 25 °C โดยไม่มีชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาและอุณหภูมิที่ 25 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 % เทียบกับการใช้ค่าพลังงาน

จากรูปที่ 6 แสดงกราฟผลการทดลองจากตารางที่ 2 กำหนดอุณหภูมิที่ 25 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 % เมื่อใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาและอุณหภูมิที่ 23 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 % เทียบกับการใช้ค่าพลังงาน

จากรูปที่ 7 แสดงกราฟผลการทดลองจากตารางที่ 3 กำหนดอุณหภูมิที่ 23 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 % เมื่อใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

5. บทสรุป

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสมกับการใช้ค่าพลังงานโดยสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศขนาด 30,000 btu จำนวน 2 เครื่องในห้องเรียน 7201 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามให้มีการหยุดการทำงานและเริ่มการทำงานของเครื่องปรับอากาศพร้อมกันโดยสามารถกำหนดค่าอุณหภูมิและความชื้น 23-25 °C และค่าความชื้นน้อยกว่า 60% ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40-60 % จากผลการทดลองตารางที่ 1 กำหนดค่าอุณหภูมิ 25 °C ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า 4,850 วัตต์ต่อชั่วโมง จากผลการทดลองตารางที่ 2 กำหนดค่าอุณหภูมิ 25 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 % ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า 4,250 วัตต์ต่อชั่วโมง จากผลการทดลองตารางที่ 3 กำหนดค่าอุณหภูมิ 23 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 % ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า 4,700 วัตต์ต่อชั่วโมงค่าการใช้พลังงานที่เหมาะสมคือ เมื่อใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 25 °C ความชื้นน้อยกว่า 60 % เป็นค่าที่มีการใช้พลังงาน 4,250 วัตต์ต่อชั่วโมงเป็นค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมที่ใช้กับห้องเรียน 7201 และยังเป็นยึดอายุการเสื่อมสภาพตามการใช้งานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จากผลงานวิจัยนี้สามารถนำชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไปติดตั้งในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป เพื่อที่จะสามารถควบคุมการทำงานให้เริ่มทำงานและหยุดการทำงานพร้อมกันตามอุณหภูมิและความชื้นที่กำหนด

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] wechillmart. (2020).How does the air conditioning system work, Retrieved September 16, 2019, form <https://www.wechillmart.com/blog/air-conditioning-system-work/>
- [2] J. Fang, X. Li, and K. Wang, "Optimization of Air Conditioning Energy Consumption Based on Indoor Comfort Degree," *34th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Hefei, China, 2022, pp. 3791-3796.

- [3] J. -H. Kim, D. -M. Kim, Y. -H. Jung and M. -S. Lim, "Design of Ultra-High-Speed Motor for FCEV Air Compressor Considering Mechanical Properties of Rotor Materials," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 36, no. 4, pp. 2850-2860, Dec. 2021, doi: 10.1109/TEC.2021.3062646.
- [4] W. Xue, H. Wang and K. Li, "PMV inverse model-based indoor thermal environment control for thermal comfort and energy saving," *41st Chinese Control Conference (CCC)*, Hefei, China, 2022, pp. 5294-5299, doi: 10.23919/CCC55666.2022.9902322.
- [5] D. Wu, W. Wei, J. Bai, and S. Mei, "Energy and Exergy Efficiency Analysis of Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage Based Trigenation Energy Hub," in *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 9, no. 6, pp. 2409-2422, November 2023.
- [6] S. Parakul, K. Jaitong, P. Songsri, and T. Trongtirakul, "Determination of Motor Efficiency in Air Condensing Unit Using Thermal Image Analytics in case the Degradation of Capacitance," *Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College*, vol. 9, no. 2, pp. 50-61.
- [7] John C. Fischer and Charlene W. Bayer, Humidity Control in School Facilities, *ASHRAE Journal*, 2002
- [8] John Murphy, Temperature & Humidity Control In Surgery Rooms, *ASHRAE Journal*, June 2006
- [9] Mark Hydeman and David E. Swenson, Humidity Controls For Data Centers, *ASHRAE Journal*, March 2010

การออกแบบระบบชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับขยายอัตโนมัติสำหรับรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง

DESIGN OF AN AUTOMATICALLY EXPANDABLE SOLAR BATTERY CHARGING SYSTEM FOR A 6-SEATER ELECTRIC GOLF CART

ศรายุทธ โรหิตเสถียร^{1*} อุดมศักดิ์ โชติมงคล¹ และสมบุญ โภกผา¹

Sarayut Rohitsathian^{1*}, Udomsak Chotimongkol¹ and Somboon Kokpha¹

Received: June 10, 2025

Revise: June 24, 2025

Accepted: June 27, 2025

¹สาขาเทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

¹Department of Modern Automotive Technology, Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College

*Corresponding author Email: Sarayutr@siamtechno.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพของระบบชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับขยายอัตโนมัติสำหรับรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง โดยเปรียบเทียบกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบคงที่ เพื่อศึกษาความแตกต่างด้านพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระยะเวลาชาร์จแบตเตอรี่ การทดลองดำเนินการระหว่างเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2568 ณ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร โดยเก็บข้อมูลสัปดาห์ละ 4 วัน (วันอังคารถึงวันศุกร์) ตั้งแต่เวลา 08.00 – 16.00 น. ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 2 ระบบ ได้แก่ 1) ระบบแบบคงที่ ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ Mono Half Cells ขนาด 550 วัตต์ จำนวน 1 แผง และ 2) ระบบแบบปรับขยายอัตโนมัติ ซึ่งใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ Mono Half Cells ขนาด 550 วัตต์ จำนวน 1 แผง ร่วมกับแผงขนาด 100 วัตต์ จำนวน 2 แผง ซึ่งสามารถกางขยายเพื่อเพิ่มพื้นที่รับแสงอัตโนมัติ โดยทั้งสองระบบจ่ายไฟให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต (LiFePO₄) ขนาด 48 โวลต์

ผลการทดลองพบว่า ระบบแบบปรับขยายอัตโนมัติสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าระบบแบบคงที่เฉลี่ย 870 วัตต์ชั่วโมงต่อวัน และสามารถลดระยะเวลาการชาร์จแบตเตอรี่ได้เฉลี่ย 1.5–2.0 ชั่วโมง ความเข้มของแสงอาทิตย์มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยพบว่าทั้งสองระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดในวันที่มีแสงแดดจัด และลดลงในวันที่มีเมฆมาก จากผลการวิจัยจึงสรุปได้ว่า ระบบชาร์จแบตเตอรี่แบบปรับขยายอัตโนมัติมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน และเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานจริงในรถกอล์ฟไฟฟ้าหรือยานพาหนะไฟฟ้าขนาดเล็กประเภทอื่น ๆ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

คำสำคัญ: ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับขยายอัตโนมัติ รถกอล์ฟไฟฟ้า ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ABSTRACT

This research was conducted to design and evaluate the performance of an automatic expandable solar charging system for a 6-seat electric golf cart, in comparison with a conventional fixed solar charging system. The study aimed to analyze the differences in electrical energy output and battery charging duration. The experiment was carried out from January to May 2025 at Siam Technology College, Bangkok Yai District, Bangkok, Thailand.

Data were collected four days per week (Tuesday to Friday) between 08:00 and 16:00. Two photovoltaic (PV) systems were tested: (1) the fixed system, which utilized a single 550-watt Mono Half Cell solar panel, and (2) the automatic expandable system, which employed one 550-watt Mono Half Cell panel along with two 100-watt panels that automatically extended to increase sunlight exposure. Both systems charged a 48V lithium iron phosphate (LiFePO_4) battery.

The results indicated that the automatic expandable system generated, on average, 870 watt-hours more energy per day than the fixed system, and reduced the charging time by approximately 1.5 to 2.0 hours. Solar irradiance was found to have a direct effect on system performance, with both systems operating most efficiently on sunny days and less effectively under cloudy conditions. In conclusion, the automatic expandable solar charging system demonstrated significant potential for enhancing energy production efficiency. It is particularly well-suited for practical applications in electric golf carts and other small electric vehicles, especially in areas where installation space for solar panels is limited.

Keywords: Automatic Expandable Solar System, Electric Golf Cart, Electrical Energy Production Efficiency

1. บทนำ

การเปลี่ยนผ่านสู่การใช้พลังงานสะอาดและยานพาหนะไฟฟ้า (Electric Vehicles: EVs) กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางทั่วโลก เนื่องจากเป็นแนวทางสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูง มีความยั่งยืน ปลอดภัย และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายรูปแบบ [2], [3] หนึ่งในทางประยุกต์ใช้ที่น่าสนใจคือการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการชาร์จยานพาหนะไฟฟ้า ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และลดมลพิษทางอากาศในระยะยาว [4] สำหรับประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อนมีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงมาก โดยมีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 18–20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [5] ทำให้ประเทศไทยมีความเหมาะสมในการลงทุนและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ทั้งในระดับอุตสาหกรรมและระดับครัวเรือน

ในปัจจุบันรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาดเล็กแบบ 6 ที่นั่ง ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในสถานที่ต่าง ๆ เช่น สนามกอล์ฟ รีสอร์ท โรงพยาบาล และหมู่บ้านจัดสรร เนื่องจากสามารถใช้งานได้สะดวกในพื้นที่จำกัด และมีต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำเมื่อเทียบกับรถที่ใช้น้ำมัน [6] อย่างไรก็ตามการใช้กระแสไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าหลักเพื่อชาร์จรถกอล์ฟไฟฟ้ายังคงมีต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ต้องพิจารณา แม้ว่ารถกอล์ฟไฟฟ้าจะมีข้อได้เปรียบหลายประการ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการที่อาจส่งผลต่อการใช้งานจริง เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ค่อนข้างต่ำ (เฉลี่ยไม่เกิน 25 กม./ชม.) ทำให้เหมาะสำหรับใช้งานในระยะใกล้เท่านั้น [7] อีกทั้งระยะทางในการวิ่งต่อการชาร์จหนึ่งครั้งมีระยะทางจำกัด โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 40–60 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับแบตเตอรี่และน้ำหนักบรรทุก [8] นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ยังอาจเป็นอุปสรรค โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ไม่มีจุดจ่ายไฟฟ้าอย่างเพียงพอ หรือในช่วงที่มีความต้องการใช้รถต่อเนื่องซึ่งทำให้เกิดความไม่สะดวกในการใช้งาน จากผลการศึกษา [9] พบว่าการพัฒนาระบบโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งบนหลังการถยนต์ไฟฟ้าสามารถเพิ่มระยะทางในการวิ่งได้เฉลี่ย 10–15% ต่อการชาร์จเต็มหนึ่งครั้ง โดยไม่มีการเพิ่มภาระโหลดต่อแบตเตอรี่หลักอย่างมีนัยสำคัญ และช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้ารวมได้ 12–18% ภายในเวลาไม่เกิน 5 ปีของการใช้งาน นอกจากนี้การใช้แผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับระบบปรับทิศทางอัตโนมัติสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 25–30% เมื่อเทียบกับแผงคงที่ [10] อีกทั้งการพัฒนาระบบไฮบริดระหว่างแผงโซลาร์เซลล์กับแบตเตอรี่สำหรับใช้งานในรถกอล์ฟพบว่าสามารถลดการ

พึ่งพาไฟฟ้าจากภายนอกและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่หลักได้อย่างมีนัยสำคัญ [11] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของผู้ใช้งานเมื่อมีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนตัวรถ พบว่าช่วยลดความถี่ในการชาร์จไฟจากระบบไฟฟ้าภายนอกได้อย่างต่อเนื่อง [12]

ดังนั้นการออกแบบระบบแผงโซลาร์เซลล์แบบปรับขยายอัตโนมัติ ที่สามารถเพิ่มพื้นที่รับแสงได้ในขณะจอดรถ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานและชาร์จแบตเตอรี่ได้มากขึ้นโดยไม่เพิ่มขนาดตัวรถในขณะเคลื่อนที่ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาาระบบชาร์จแบตเตอรี่ด้วยโซลาร์เซลล์ที่สามารถปรับขยายพื้นที่แผงได้โดยอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มความสะดวกและประสิทธิภาพในการชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบระบบชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติสำหรับรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพระบบชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติสำหรับรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น การออกแบบระบบและสร้างต้นแบบ และการวิเคราะห์ผล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

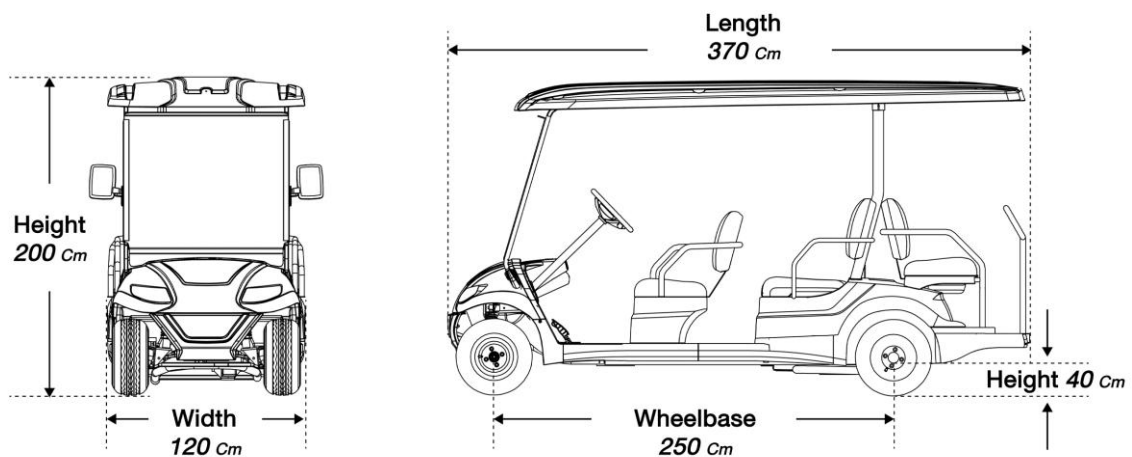
3.1 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

3.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง

ในการศึกษาอ้างอิงข้อมูลรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง ยี่ห้อ GRANADA II โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง ยี่ห้อ GRANADA II

รายการ	รายละเอียด
กำลังมอเตอร์	48V 4kW (AC)
แบตเตอรี่	Lithium 48V 105 Ah
น้ำหนักรถ	585 kg
รองรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด	500 kg
ระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จ 1 ครั้ง	90 km
ความเร็วสูงสุด	35 km/h



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของรถกอล์ฟไฟฟ้า 6 ที่นั่ง

3.1.2 ศึกษาเทคโนโลยีโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสม

จากข้อมูลของขนาดพื้นที่หลังคาของรถกอล์ฟ 6 ที่นั่ง ผู้วิจัยได้นำมาศึกษาอ้างอิงเพื่อคัดเลือกขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการออกแบบ พบว่าแผงขนาด 550 วัตต์ มีความเหมาะสมในการนำมาติดตั้งเป็นแผงหลัก และขนาด 100 วัตต์ เป็นแผงเสริมสำหรับระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 550W และ 100W ชนิด Mono Half Cells

รายการ	รายละเอียด	
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pmax)	550W	100W
แรงเคลื่อนไฟฟ้าใช้งานสูงสุด (Vmp)	42.05V	20.88V
กระแสไฟฟ้าใช้งานสูงสุด (Imp)	13.08A	4.79A
ขนาดแผงโซลาร์เซลล์	2279 × 1134 × 35 (mm)	1080 × 450 × 25 (mm)
น้ำหนักแผงโซลาร์เซลล์	27.80 kg	5.50 kg
ประสิทธิภาพ	21.3%	21.50%

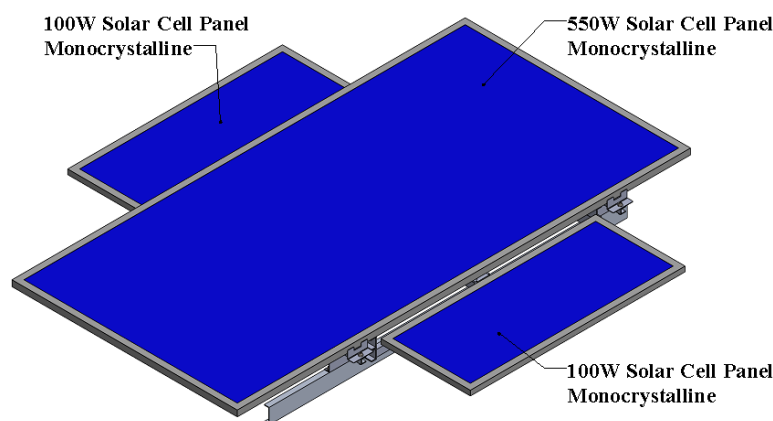


รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Mono Half Cells

3.2 การออกแบบระบบ

3.2.1 การออกแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของรถกอล์ฟไฟฟ้า 6 ที่นั่ง

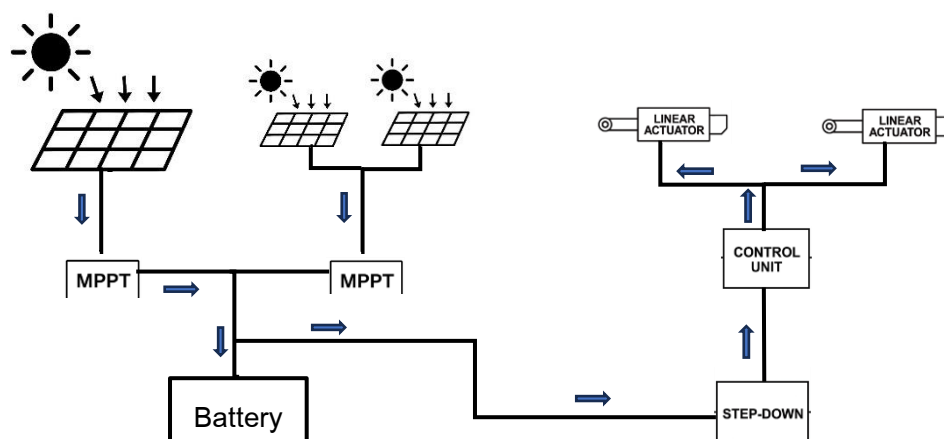
จากข้อมูลรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง พบว่ามีพื้นที่หลังคาที่มีความกว้าง 1.2 เมตร ความยาว 3.2 เมตร จากการศึกษาข้อมูล พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดเหมาะสมกับพื้นที่หลังคา คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ขนาด 550 วัตต์ โดยมีความกว้าง 1.134 เมตร ความยาว 2.279 เมตร และผู้วิจัยได้ออกแบบเพิ่มพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 2 แผงไว้ด้านล่างโดยสามารถเลื่อนขยายออกโดยใช้มอเตอร์ก้านชัก (Linear Actuator) ในขณะรถจอดเมื่อต้องการชาร์จ ทำให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยรวมมีขนาด 750 วัตต์ และสามารถเลื่อนเก็บในขณะรถเคลื่อนที่ ทำให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยรวมมีขนาด 550 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงลักษณะการออกแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของรถกอล์ฟไฟฟ้า 6 ที่นั่ง

3.2.2 การออกแบบระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของรถกอล์ฟไฟฟ้า 6 ที่นั่ง

ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับติดตั้งบนหลังคาของรถกอล์ฟ 6 ที่นั่ง โดยแยกเป็น 2 ชุด ดังนี้ ชุดที่ 1 ขนาด 550 วัตต์ ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 550 วัตต์ จำนวน 1 แผง และ ชุดที่ 2 ขนาด 200 วัตต์ ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 2 แผง โดยทั้ง 2 ระบบนำมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการออกแบบอุปกรณ์ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของรถกอล์ฟไฟฟ้า 6 ที่นั่ง

จากรูปที่ 4 การควบคุมการทำงานของระบบชาร์จแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติสำหรับรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่งแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ 1) ขณะรถจอดอยู่กับที่ พลังงานไฟฟ้าจากกล่อง

Control Unit จะจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ก้านชักยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 วัตต์ ทั้ง 2 แผงให้เคลื่อนที่ขยายออกด้านข้างทำให้พื้นที่รับแสงเพิ่มขึ้นจาก 550 วัตต์เป็น 750 วัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชุดจะถูกส่งผ่านชุดอุปกรณ์ MPPT ก่อนชาร์จลงแบตเตอรี่ 2) ขณะรถเคลื่อนที่ พลังงานไฟฟ้าจากกล่อง Control Unit จะจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ก้านชักดึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 วัตต์ ทั้ง 2 แผงให้เคลื่อนที่หดเข้าเก็บด้านล่างทำให้พื้นที่รับแสงลดลงเหลือ 550 วัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกส่งผ่านชุดอุปกรณ์ MPPT ก่อนชาร์จลงแบตเตอรี่หรือจ่ายให้กับชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนต่อไป และผู้วิจัยได้แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของรถกอล์ฟไฟฟ้า 6 ที่นั่ง ดังนี้

ตารางที่ 3 รายละเอียดอุปกรณ์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่รถกอล์ฟไฟฟ้า 6 ที่นั่ง

อุปกรณ์	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2
อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าแบตเตอรี่	แบบ MPPT Boost 18V-48V LiFePO4 48V 100Ah	
อุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้า	DC to DC 48V to 12V	
อุปกรณ์ควบคุมการปรับขยายแผงเซลล์แสงอาทิตย์	DC 12V 40A	
อุปกรณ์ปรับขยายแผงเซลล์แสงอาทิตย์	Linear Actuators DC 12V 500mm	

หลังจากทำการออกแบบระบบผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างชุดอุปกรณ์ต้นแบบระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติ และนำมาติดตั้งกับรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่งดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงชุดอุปกรณ์ต้นแบบที่ติดตั้งบนหลังคาของรถกอล์ฟไฟฟ้า 6 ที่นั่ง

3.3 การวิเคราะห์ผล

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบจะดำเนินการโดยติดตั้งต้นแบบระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติบนรถกอล์ฟไฟฟ้าขนาด 6 ที่นั่ง และวัดค่าต่าง ๆ ภายใต้สภาพแวดล้อมกลางแจ้งในช่วงเวลาที่กำหนด โดยมุ่งเน้นวิเคราะห์ดังนี้

3.2.1 การวัดค่าทางไฟฟ้า [13]

ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า โดยค่าทางไฟฟ้าแต่ละค่ามีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$P = V \times I \quad (1)$$

P = กำลังไฟฟ้า (W)

V = แรงดันไฟฟ้า (V)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

3.2.2 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวัน [13]

ในการทดสอบพลังงานรวมที่ผลิตได้ในช่วงเวลา 1 วัน ใช้ระยะเวลา 8 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 8.00-16.00 น. โดยได้ทำการทดสอบในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2568 โดยใน 1 สัปดาห์จะทำการทดสอบ 4 วัน คือ วันอังคาร ถึงวันศุกร์ สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร

$$E = \sum_{t=1}^n P_t \times \Delta t \quad (2)$$

E = พลังงานไฟฟ้ารวม (Wh)

P_t = กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ t (W)

Δt = ช่วงเวลาระหว่างการวัด (h)

n = จำนวนช่วงเวลาทั้งหมดในการวัด

3.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผงโซลาร์เซลล์แบบคงที่ และแบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติ [14]

ในการทดสอบได้ทำการวัดค่าพลังงานของระบบโซลาร์เซลล์แบบคงที่ และระบบโซลาร์เซลล์แบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติมาทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้นโดยใช้สมการดังนี้

$$\% \text{ Efficiency Gain} = \frac{E_{\text{auto}} - E_{\text{fixed}}}{E_{\text{fixed}}} \times 100 \quad (3)$$

% Efficiency Gain = ค่าร้อยละของการเพิ่มขึ้นของพลังงานที่ผลิตได้

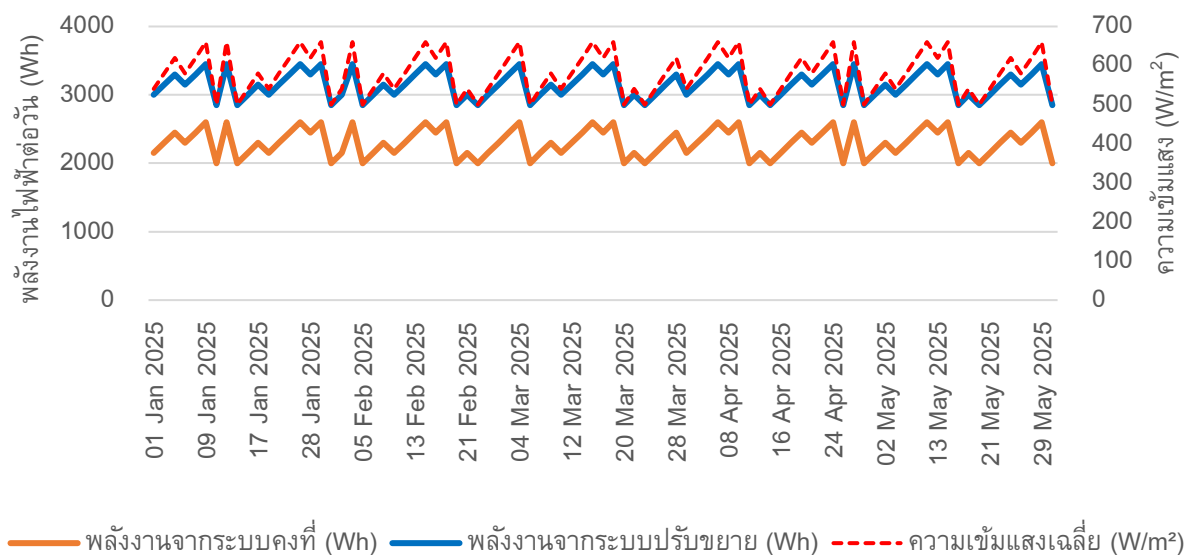
E_{auto} = พลังงานที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์แบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้ (Wh)

E_{fixed} = พลังงานที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์แบบคงที่ (Wh)

4. ผลการวิจัย

การทดสอบได้ดำเนินการระหว่างเดือนมกราคม ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2568 ณ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร ในวันอังคารถึงวันศุกร์ ระหว่างเวลา 08.00 – 16.00 น. ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 ผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบแบบคงที่และแบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติ



รูปที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบแบบคงที่และแบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติ

จากรูปที่ 6 ผลการทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2568 พบว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าระบบแบบคงที่ในทุกเดือน โดยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลรายเดือนได้ดังนี้

1) เดือนมกราคม 2568 ระบบคงที่ผลิตพลังงานเฉลี่ยประมาณ 2,250 Wh/วัน ขณะที่ระบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้ผลิตได้เฉลี่ย 3,150 Wh/วัน ซึ่งมากกว่าประมาณ 40% ความเข้มแสงเฉลี่ยในเดือนนี้อยู่ที่ ประมาณ 500–540 W/m² เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว แสงแดดไม่แรงมาก และมีความยาวช่วงกลางวันน้อย

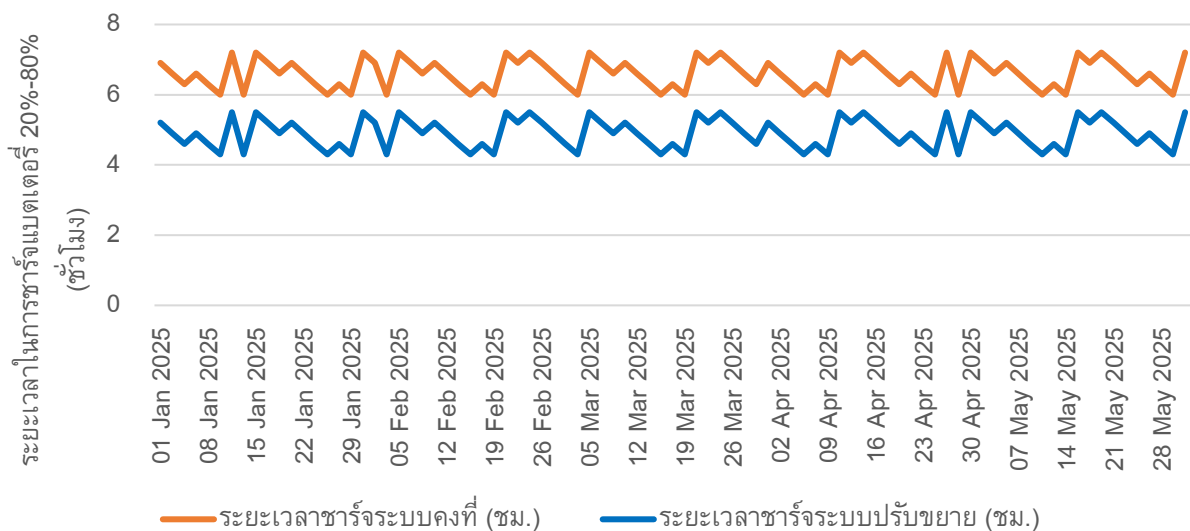
2) เดือนกุมภาพันธ์ 2568 ระบบคงที่เฉลี่ย 2,400 Wh/วัน ส่วนระบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้เฉลี่ย 3,250 Wh/วัน เพิ่มขึ้นประมาณ 35% ความเข้มแสงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 520–570 W/m² สะท้อนถึงระยะเวลาแสงแดดที่ยาวนานขึ้นทำให้ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น

3) เดือนมีนาคม 2568 ทั้งสองระบบมีการเพิ่มขึ้นของพลังงานผลิตเนื่องจากแสงแดดยาวนานขึ้น ระบบคงที่เฉลี่ย 2,500 Wh/วัน ขณะที่ระบบปรับขยายอยู่ที่ 3,350 Wh/วัน คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 34% ความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ที่ 530–590 W/m² ส่งผลให้ปริมาณพลังงานผลิตต่อวันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในระบบแบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้

4) เดือนเมษายน 2568 เป็นเดือนที่มีการผลิตพลังงานสูงสุดจากทั้งสองระบบ โดยระบบคงที่เฉลี่ย 2,600 Wh/วัน และระบบปรับขยายเฉลี่ยสูงถึง 3,500 Wh/วัน เพิ่มขึ้นราว 35% ความเข้มแสงเฉลี่ยสูงสุดในช่วงนี้อยู่ที่ 600–660 W/m² เนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อน แสงแดดมีความเข้มสูงและสม่ำเสมอในแต่ละวัน

5) เดือนพฤษภาคม 2568 มีการลดลงเล็กน้อยของพลังงานที่ผลิตได้เนื่องจากมีเมฆมากขึ้นในบางวัน ระบบคงที่ลดลงเหลือ 2,350 Wh/วัน ส่วนระบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อยู่ที่ 3,200 Wh/วัน เพิ่มขึ้นประมาณ 36% ความเข้มแสงเฉลี่ยในเดือนนี้ลดลงเล็กน้อยเหลือ 500–580 W/m² เนื่องจากเริ่มเข้าสู่ฤดูฝน มีบางวันที่แสงแดดไม่สม่ำเสมอ แต่ระบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้ยังสามารถรักษาระดับการผลิตที่สูงกว่าได้

4.2 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาการชาร์จแบตเตอรี่ของทั้งสองระบบ



รูปที่ 7 แสดงผลการเปรียบเทียบระยะเวลาการชาร์จแบตเตอรี่ของทั้งสองระบบ

จากรูปที่ 7 พบว่า ระบบชาร์จแบบคงที่ (เส้นสีส้ม) มีระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6-7 ชั่วโมง ส่วนระบบชาร์จแบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติ (เส้นสีน้ำเงิน) มีระยะเวลาในการชาร์จเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 4.5-5.5 ชั่วโมง จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ระบบแบบปรับขยายอัตโนมัติสามารถลดระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ได้เฉลี่ยประมาณ 1.5-2 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการเพิ่มอัตราการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของรถกอล์ฟไฟฟ้า

5. อภิปรายผลการวิจัย

จากข้อมูลรายละเอียดดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า "ความเข้มแสง" เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวัน โดยพบว่าค่าความเข้มแสงที่สูงมักจะสอดคล้องกับพลังงานที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ระบบแบบปรับขยายพื้นที่แผงรับแสงได้อัตโนมัติมีข้อได้เปรียบที่สามารถรักษาระดับการผลิตได้ดี แม้ในวันที่มีความเข้มแสงไม่สูงมากนัก เนื่องจากสามารถเพิ่มพื้นที่รับแสงและปรับมุมให้เหมาะสมกับทิศทางแสงแดดในแต่ละช่วงเวลา ผลการวิจัยนี้สนับสนุนข้อค้นพบจากงานของ Kelly และคณะ [15] ที่ระบุว่าระบบติดตามแสงสามารถเพิ่มปริมาณพลังงานได้ถึง 25-35% และยังสอดคล้องกับ Mekhilef และคณะ [16] ที่เน้นว่าการปรับมุมรับแสงหรือขยายพื้นที่รับแสงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในพื้นที่จำกัดได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ยังตรงกับข้อเสนอของ Chong และ Wong [17] ที่พบว่าแม้ในวันที่มีเมฆบางส่วน ระบบที่สามารถปรับทิศทางหรือขยายพื้นที่รับแสงจะยังสามารถรักษาระดับการผลิตได้ดีกว่าระบบทั่วไป นอกจากนี้ [13] ยังระบุว่า การออกแบบระบบชาร์จแบบปรับขยายสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงพลังงานในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสงได้ดีกว่าแบบคงที่อย่างชัดเจน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press; 2022.

- [2] Sovacool BK, Ryan SE, Stern PC, Janda K, Rochlin G. The clean energy revolution: A review of energy and climate policy in sustainability transitions. *Energy Res Soc Sci.* 2020;68:101512.
- [3] International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2023. Paris: IEA; 2023. Available from: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- [4] International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Energy Statistics 2022. Abu Dhabi: IRENA; 2022.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รายงานศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ประเทศไทย ปี 2566. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน; 2566.
- [6] Smith T, Jones M. Electric Golf Carts and Sustainable Mobility in Small Communities. *J Clean Transport.* 2020;5(2):45–52.
- [7] Huang Y, Zhang Z, Wei J. Energy efficiency analysis of low-speed electric vehicles in urban mobility. *J Adv Transp.* 2019;2019:1–9.
- [8] Li X, Chen J, Zhao Y. Battery performance and energy management in electric utility vehicles. *Energy Storage.* 2021;3(3):e212.
- [9] Fathabadi H. Novel high accurate maximum power point tracking technique with low computational load and fast convergence for photovoltaic systems under rapidly changing shading conditions. *Sol Energy.* 2017;157:785–795.
- [10] A. Ellobaid, M. A. Abido, and S. R. A. Rahman, "A review of solar photovoltaic systems integration into power grids," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 42, no. 3, pp. 703–722, Mar. 2017.
- [11] M. A. Hannan, M. M. Hoque, A. Mohamed, and A. Ayob, "Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 771–789, Mar. 2017.
- [12] A. Khaligh and Z. Li, "Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 6, pp. 2806–2814, Jul. 2010.
- [13] Markvart T, Castaner L. Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation. 2nd ed. Amsterdam (Netherlands): Elsevier; 2013.
- [14] Kumar A, Singh S. Solar-powered battery charging systems for electric vehicles: A review. *J Clean Prod.* 2019 Mar;223:618–30.
- [15] Kelly N, Gibson T, Lloyd AE. Improving photovoltaic energy yield with tracking systems: A comparative analysis. *Renew Energy.* 2009 Apr;34(4):1041–7.
- [16] Mekhilef S, Saidur R, Safari A. A review on solar energy use in industries. *Renew Sustain Energy Rev.* 2011 May;15(4):1777–90.
- [17] Chong K, Wong CS. General formula for on-axis sun-tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector. *Sol Energy.* 2009 Mar;83(3):298–305.

การประยุกต์ใช้ Generative AI เพื่อลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์

จากกระบวนการจัดทำเอกสารในสถาบันการศึกษา : กรณีศึกษา NotebookLM

Application of Generative AI to Reduce Carbon Footprint from Document Processing in Educational Institutions: A Case Study of NotebookLM

สุทธิลักษณ์ ชูนประวัต^{1*} วุฒิชัย เกษพานิช¹ ชลิดา โปะมา¹

Suttilug Choonprawat^{1*} Vutichai Kespianich¹ Chalida Poma¹

Received: June 27, 2025

Revise: June 28, 2025

Accepted: June 28, 2025

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

¹Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College

*Corresponding author E-mail: suttilugc@siamtechno.ac.th

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้กลายเป็นประเด็นระดับโลก ส่งผลให้สถาบันการศึกษาต่างตระหนักถึงความสำคัญในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผ่านการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของบุคลากรหลังการอบรมการใช้ NotebookLM ซึ่งเป็นเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ในกลุ่ม Generative AI เพื่อประเมินความคิดเห็นของผู้ใช้งานต่อประสิทธิภาพของ AI ในการลดภาระงานด้านเอกสาร และวิเคราะห์แนวโน้มการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการลดการใช้กระดาษและพลังงานไฟฟ้า การวิจัยดำเนินการในรูปแบบเชิงทดลอง โดยใช้กลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 44 คน จากบุคลากรทางการศึกษาในระดับอุดมศึกษา โดยใช้เครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบทดสอบก่อนและหลังอบรม แบบสอบถามความคิดเห็น และเครื่องมือเชิงประมาณการลดการปล่อยคาร์บอน ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้หลังการอบรมมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าก่อนอบรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้านความคิดเห็น พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เห็นว่า NotebookLM ช่วยลดเวลาในการจัดทำเอกสาร ลดความซ้ำซ้อนในการค้นหาข้อมูล และเพิ่มความคล่องตัวในการทำงานได้ในระดับมาก สำหรับผลการประเมินเชิงประมาณ พบว่าผู้ใช้งานลดการใช้กระดาษเฉลี่ยคนละ 10 แผ่นต่อเดือน และลดเวลาใช้คอมพิวเตอร์ลงเฉลี่ย 12 ชั่วโมงต่อเดือน เมื่อนำมาคำนวณเป็นการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ พบว่ากลุ่มตัวอย่างทั้งหมดสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้รวมประมาณ 372.29 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งแสดงให้เห็นว่า AI ไม่เพียงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน แต่ยังสามารถสนับสนุนเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมของสถานศึกษาได้อย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: ปัญญาประดิษฐ์ การลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การจัดการเอกสาร NotebookLM การพัฒนาอย่างยั่งยืน

Abstract

Climate change and greenhouse gas emissions have become critical global concerns, prompting educational institutions to recognize the importance of reducing their carbon footprint through more efficient resource management. This study aimed to investigate (1) the learning achievement of educational personnel after training in the use of NotebookLM, a Generative AI tool, (2) their opinions regarding its effectiveness in reducing document-related workload, and (3) the potential reduction in carbon footprint resulting from decreased usage of paper and electricity. The research employed a quasi-experimental design with purposive sampling, involving 44 participants

from higher education institutions. Research instruments included pre- training and post-training achievement tests, a structured opinion questionnaire, and a carbon footprint estimation tool based on reductions in paper usage and computer operating time. The findings revealed that post-training learning achievement scores were significantly higher than pre-training scores at the .05 level. Regarding user opinions, most respondents agreed that NotebookLM helped reduce the time required for document preparation, minimized duplication in information searches, and increased overall work efficiency. In terms of environmental impact, the participants reported an average reduction of 10 sheets of paper and 12 hours of computer usage per person per month. These behavioral changes contributed to an estimated total reduction of 372.29 kilograms of CO₂ emissions per year for the entire group. The study demonstrates that the integration of AI technologies in educational administrative tasks not only enhances work efficiency but also offers tangible benefits in supporting institutional sustainability goals.

Keywords: Artificial Intelligence, Carbon Footprint Reduction, Document Management, NotebookLM, Sustainable Development

1. บทนำ

ปัจจุบันภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศได้กลายเป็นประเด็นสำคัญในระดับโลก โดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) และเวิลด์อีโคโนมิคฟอรัม (WEF) รายงานว่า ปี พ.ศ. 2568 เป็นปีที่โลกร้อนที่สุดเป็นประวัติการณ์ สาเหตุหลักมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการใช้พลังงาน การขนส่ง การเกษตร โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งส่งผลให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซมีเทน (CH₄) ในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1]

แม้ว่าสถาบันการศึกษาจะไม่ใช่อะกาศส่วนที่ปล่อยคาร์บอนสูงเช่นภาคอุตสาหกรรม แต่ก็มีการใช้ทรัพยากรจำนวนมาก เช่น ไฟฟ้า กระดาษ หมึกพิมพ์ และอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศในการดำเนินงาน โดยเฉพาะในกระบวนการจัดการเอกสาร การประชุม และการบริหารทั่วไป ซึ่งส่งผลให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์เช่นกัน ตัวอย่างเช่น มหาวิทยาลัยพะเยาได้รายงานผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหัวในปี พ.ศ. 2565 พบว่า การใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดถึง 65.03% (รวมพลังงานจากแผงโซลาร์รูฟท็อป) และแนวโน้มในปีถัดไปยังคงสอดคล้องกัน [2] จึงเกิดแนวทางในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหัวโดยการลดการใช้พลังงานและส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดควบคู่ไปกับการใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ

ในขณะเดียวกัน เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เชิงกำเนิด (Generative AI) ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [3] โดยสามารถสร้าง สรุป และจัดโครงสร้างข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงถูกนำมาใช้สนับสนุนการทำงานด้านเอกสารดิจิทัล ลดภาระงานซ้ำซ้อน และช่วยลดการใช้ทรัพยากรได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะ NotebookLM ซึ่งเป็นหนึ่งในเครื่องมือ Generative AI ที่ Google พัฒนาให้รองรับการจัดการความรู้จากไฟล์เอกสารหลายรูปแบบ เช่น PDF, Google Docs และโน้ตที่ผู้ใช้เพิ่มเข้าไปในระบบ เพื่อใช้ในการสรุปข้อมูล วิเคราะห์เปรียบเทียบ และสร้างเนื้อหาใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้บุคลากรในสถาบันการศึกษาสามารถลดระยะเวลาในการจัดทำเอกสาร ลดการพิมพ์ และลดการใช้ไฟฟ้าจากการทำงานหน้าคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีนัยสำคัญ NotebookLM มีความโดดเด่นที่สำคัญ ดังนี้

NotebookLM เป็นเครื่องมือ AI ของ Google ที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการเรียนรู้และการทำงานกับเอกสาร โดยสามารถสรุปเนื้อหา อธิบายข้อมูลที่ซับซ้อน และตอบคำถามจากเอกสารที่ผู้ใช้อัปโหลดได้อย่างชาญฉลาด จุดเด่นคือสามารถเชื่อมโยงข้อมูลจากหลายแหล่ง (เช่น Google Docs, PDF, หรือ Text) มาวิเคราะห์และสังเคราะห์เป็นข้อมูลใหม่ที่มีความหมาย โดยผู้ใช้สามารถสนทนาและโต้ตอบกับ AI ในรูปแบบที่เหมือนมีผู้ช่วยวิชาการส่วนตัว ช่วยประหยัดเวลาในการอ่านเอกสารจำนวนมาก เหมาะสำหรับนักศึกษา นักวิจัย ครู หรือบุคลากรทางการศึกษาที่ต้องการจัดการความรู้และทำงานเอกสารอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นระบบ

จากแนวโน้มดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของบุคลากรภายหลังการอบรมการใช้ NotebookLM ประเมินความคิดเห็นของผู้ใช้งานต่อประสิทธิภาพของเครื่องมือดังกล่าวในการลดภาระงานเอกสาร และประเมินการแนวโน้มการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นจากการลดการใช้ทรัพยากร เช่น กระดาษและพลังงานไฟฟ้า ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการขับเคลื่อนสถาบันการศึกษาสู่การเป็นสำนักงานดิจิทัลไร้กระดาษ (Paperless Office) เพื่อสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้หลังการอบรมการใช้ NotebookLM ของบุคลากร
- 2) เพื่อประเมินความคิดเห็นของบุคลากรต่อประสิทธิภาพของการใช้ NotebookLM ในการลดภาระงานเอกสาร
- 3) เพื่อประเมินการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้ NotebookLM

3. สมมติฐานงานวิจัย

บุคลากรที่ผ่านการอบรมการใช้ NotebookLM จะมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และมีความคิดเห็นเชิงบวกต่อการลดภาระงานเอกสารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4. ขอบเขตงานวิจัย

การทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้

4.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ บุคลากรทางการศึกษาที่เข้าร่วมโครงการอบรมการใช้ **NotebookLM** เพื่อการจัดการเอกสารในระดับอุดมศึกษา รวมจำนวนทั้งสิ้น **50 คน** โดยประชากรทั้งหมดถูกนำมาใช้ในการประเมินผลรวมถึงการวิเคราะห์แนวโน้มการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากพฤติกรรมการใช้งานหลังการอบรม

4.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้คือบุคลากรทางการศึกษา ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยพิจารณาจากความสมัครใจในการเข้าร่วมอบรมและมีความพร้อมในการตอบแบบสอบถามและทำแบบทดสอบก่อนและหลังการอบรมตามเกณฑ์ของผู้วิจัย อ้างอิงหลักการของ Krejcie & Morgan [4] จำนวน 44 คน

5. วิธีการดำเนินการวิจัย

5.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

5.1.1 แบบทดสอบก่อนและหลังเรียนเกี่ยวกับการใช้ NotebookLM

เป็นแบบทดสอบความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ NotebookLM จำนวน 20 ข้อ แบบปรนัย 4 ตัวเลือก โดยพัฒนาขึ้นจากวัตถุประสงค์ของการอบรม ครอบคลุมเนื้อหา ดังนี้ แนวคิดและหลักการทำงานของ NotebookLM การสร้างและจัดการ Note การสรุปเนื้อหา การประยุกต์ใช้ NotebookLM ในงานเอกสารของบุคลากรทางการศึกษา ทั้งนี้ การประยุกต์ใช้ NotebookLM ในงานเอกสารของบุคลากรทางการศึกษา สามารถช่วยลดภาระงานซ้ำซ้อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลได้อย่างชัดเจน โดยครูและอาจารย์สามารถใช้เครื่องมือนี้ในการสรุปบทเรียนหรือเนื้อหาเอกสารประกอบการสอนได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องเสียเวลาดำเนินเอกสารจำนวนมากด้วยตนเอง อีกทั้งยังสามารถใช้ในการรวบรวมและจัดระบบข้อมูลจากงานวิจัย เอกสารแผนงาน หรือรายงานผลการประเมินที่ต้องใช้ในการบริหารงานในระดับสถานศึกษาได้อย่างมีระบบ NotebookLM ยังสามารถช่วยวิเคราะห์ข้อมูลจากไฟล์เอกสารหลากหลายรูปแบบเพื่อนำไปสังเคราะห์เป็นรายงานหรือข้อเสนอเชิงนโยบายได้โดยง่าย รวมถึงสามารถใช้ร่างคำชี้แจง รายงานการประชุม หรือเอกสาร

ราชการเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดระยะเวลาในการจัดเตรียมเอกสารและเพิ่มความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูล ซึ่งถือเป็นการส่งเสริมการทำงานอย่างชาญฉลาดในระบบการศึกษายุคใหม่

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

แบบทดสอบก่อนและหลังเรียนเกี่ยวกับ NotebookLM ได้รับการตรวจสอบความตรงของเนื้อหา (Content Validity) โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องของคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษาและการวิจัยทางการศึกษา พบว่าดัชนีมีความสอดคล้อง ระหว่าง 0.67-1.00 จำนวน 20 ข้อ มีค่าเฉลี่ย 0.85 ซึ่งมากกว่า 0.50 แสดงว่าข้อสอบมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้

5.1.2 แบบสอบถามความคิดเห็นของบุคลากรต่อประสิทธิภาพของการใช้ NotebookLM ในการลดภาระงานเอกสาร เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมอบรมตามมาตราส่วนแบบ Likert Scale 5 ระดับ จำนวน 3 ด้าน ได้แก่ ความเข้าใจในการใช้งาน NotebookLM ความพึงพอใจต่อการอบรมและการนำไปประยุกต์ใช้ในการลดภาระงาน แบบสอบถามมีจำนวน 10 ข้อ โดยได้รับการตรวจสอบเชิงเนื้อหา (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษาและการวิจัยทางการศึกษา พบว่าดัชนีมีความสอดคล้อง ระหว่าง 0.67 – 1.00 จำนวน 10 ข้อ มีค่าเฉลี่ย 0.87 ซึ่งมากกว่า 0.50 แสดงว่าแบบสอบถามมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้

5.1.3 ประเมินแนวโน้มการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้ NotebookLM

เครื่องมือประเมินเชิงประมาณ (Estimation Tool) ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นแบบสอบถามกึ่งโครงสร้าง (Semi-structured Questionnaire) ซึ่งผู้วิจัยออกแบบขึ้นเอง เพื่อวัดแนวโน้มการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดจากพฤติกรรมการใช้ทรัพยากรของกลุ่มตัวอย่าง ก่อนและหลังการใช้เครื่องมือ NotebookLM โดยแบบสอบถามประกอบด้วยคำถามปลายปิด ซึ่งตอบเป็นตัวเลข เช่น จำนวนแผ่นกระดาษที่ใช้ และจำนวนชั่วโมงในการใช้คอมพิวเตอร์ต่อเดือน รวมถึงคำถามปลายเปิดเพื่อให้ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมได้ โดยผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามไปตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ด้วยวิธีดัชนีความสอดคล้องของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (Index of Item-Objective Congruence: IOC) จากผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม จำนวน 3 ท่าน ผลการตรวจสอบพบว่าดัชนีความสอดคล้องของแบบสอบถามอยู่ในช่วง 0.67 – 1.00 ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 0.50 แสดงว่าเครื่องมือที่ใช้มีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้ได้

5.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล การเก็บรวบรวมข้อมูลจะดำเนินการตามลำดับขั้นตอนดังนี้

5.2.1 เตรียมเครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบทดสอบก่อนและหลังเรียนเกี่ยวกับ NotebookLM แบบสอบถามความคิดเห็นต่อการลดภาระงานเอกสารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และ แบบประเมินการลดการปล่อยคาร์บอนเชิงประมาณ โดยผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษาและสิ่งแวดล้อมจำนวน 3 คน

5.2.2 การจัดกิจกรรม ผู้วิจัยได้ดำเนินการอบรมการใช้งาน NotebookLM ให้แก่กลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เวลาในการอบรม 1 วัน (6 ชั่วโมง) ภายในสถานศึกษา

5.2.3 การเก็บข้อมูลก่อนและหลังอบรม

การเก็บข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ก่อนการอบรม (Pre-Test) และ หลังการอบรม (Post-Test)

ก่อนการอบรม ผู้วิจัยได้ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ให้กลุ่มตัวอย่างทราบ และได้รับความยินยอมในการเข้าร่วมการวิจัยโดยสมัครใจ และดำเนินการทดสอบวัดความรู้ด้วยแบบทดสอบ (Pre-Test) จำนวน 20 ข้อ เพื่อวัดความรู้และความเข้าใจของกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับการใช้ NotebookLM และแนวคิดเรื่องการลดการใช้ทรัพยากรในการจัดทำเอกสาร

หลังการอบรม ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลซ้ำเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางการเรียนรู้และการรับรู้เกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนี้

1. ทำแบบทดสอบชุดเดิมอีกครั้ง (Post-Test) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ก่อนและหลังการอบรมและวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียน โดยใช้ t-test

2. ทำแบบสอบถามแบบสอบถามความคิดเห็นของบุคลากรต่อประสิทธิภาพของการใช้ NotebookLM ในการลดภาระงานเอกสาร

3. ทำแบบประเมินแนวโน้มการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้ NotebookLM (หลังจากทดลองใช้ 1 เดือน) โดยประเมินการใช้ทรัพยากร และการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในงานเอกสาร ซึ่งจะสะท้อนถึงการนำ NotebookLM ไปประยุกต์เพื่อความยั่งยืน

5.2.4 การรวบรวมแบบสอบถามและข้อมูลคะแนน

ข้อมูลทั้งหมดจะถูกรวบรวมในรูปแบบตารางโดยใช้ google Sheet เพื่อการวิเคราะห์ผล

5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องมือโดยใช้วิธีการทางสถิติดังนี้

5.3.1 การวิเคราะห์คะแนนแบบทดสอบก่อนและหลังการอบรม (Pre-Test / Post-Test)

- ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างก่อนและหลังการอบรม

- ใช้สถิติ t-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนก่อนและหลังการอบรม

5.3.2 การวิเคราะห์แบบสอบถามความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่าง

- ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อแสดงระดับความเข้าใจในการใช้งาน ความพึงพอใจและความตั้งใจในการนำไปใช้งานจริง

5.3.3 วิเคราะห์แนวโน้มการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้ NotebookLM

- วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินการลดทรัพยากร โดยเปรียบเทียบจำนวนกระดาษและเวลาที่ใช้ในการจัดทำเอกสารก่อนและหลังการอบรม

คำนวณ

1. คำนวณการผลิตกระดาษ 1 รีม (500 แผ่น) ปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุของโลกร้อน ถึง 5.26 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบ [5]

2. คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง จากเวลาที่ใช้ในการจัดทำเอกสารโดยใช้สมมติฐานที่ว่า การใช้คอมพิวเตอร์ 1 ชั่วโมง ปล่อย CO₂ ประมาณ 50 – 100 กรัม โดยเฉลี่ยทั่วไปคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Desktop) = 100 – 200 วัตต์/ชม. โน้ตบุ๊ก (Laptop) = 20 – 50 วัตต์/ชม [6]

6. ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างบุคลากรทางการศึกษา ก่อนและหลังการอบรมการใช้ NotebookLM เพื่อวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้และผลกระทบต่อการลดภาระงานเอกสาร ดังนี้

6.1 แบบทดสอบก่อนและหลังเรียนเกี่ยวกับการใช้ NotebookLM

ตารางที่ 1.1 ผลการทดสอบก่อนและหลังเรียนเกี่ยวกับการใช้ NotebookLM

การทดสอบ	N	$\bar{X}$	t
คะแนนทดสอบก่อนเรียน	44	6.11	13.91
คะแนนทดสอบหลังเรียน	44	15.60	

จากตารางที่ 1.1 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังการอบรมเกี่ยวกับการใช้ NotebookLM ของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 44 คน พบว่า คะแนนเฉลี่ยก่อนการอบรมอยู่ที่ 6.11 คะแนน ขณะที่คะแนนเฉลี่ยหลังการอบรมเพิ่มขึ้นเป็น 15.60 คะแนน ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของระดับความรู้ความเข้าใจหลังการเข้าร่วมอบรมอย่างชัดเจน เมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติ t-test สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่สัมพันธ์กัน (Dependent Samples t-test) พบว่าค่า t เท่ากับ 13.91 ซึ่งสูงกว่าค่าที่กำหนดในระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างมาก แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของคะแนนก่อนและหลังการอบรมมี นัยสำคัญทางสถิติ อย่างชัดเจน ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า การอบรมและการใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ NotebookLM ช่วยส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของผู้เข้าร่วมอบรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและเอกสารของบุคลากรในสถาบันการศึกษาได้อย่างเป็นรูปธรรม

6.2 แบบสอบถามความคิดเห็นต่อการลดภาระงานเอกสารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากผลการวิเคราะห์แบบสอบถามความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับการใช้ NotebookLM เพื่อลดภาระงานเอกสารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพบว่า

ตารางที่ 1.2 ผลการสอบถามความคิดเห็นต่อการลดภาระงานเอกสารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. เข้าใจวิธีการใช้งาน NotebookLM ในการจัดการเอกสารอย่างมีประสิทธิภาพ	4.43	0.73	มาก
2. การใช้ NotebookLM ช่วยลดเวลาที่ใช้ในการค้นหาและสรุปเอกสารได้จริง	4.39	0.72	มาก
3. NotebookLM ช่วยลดเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมเอกสารหรือรายงาน	4.36	0.72	มาก
4. ท่านสามารถใช้ NotebookLM รวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งได้อย่างรวดเร็ว	4.32	0.71	มาก
5. การใช้ ท่าน NotebookLM ช่วยลดจำนวนขั้นตอนในการจัดทำเอกสาร	4.25	0.78	มาก
6. ท่านรู้สึกว่า NotebookLM ช่วยให้การจัดการเอกสารดิจิทัลมีระบบมากขึ้น	4.23	0.83	มาก
7. การใช้ NotebookLM ลดความซ้ำซ้อนและประหยัดเวลาจัดเก็บข้อมูล	4.23	0.74	มาก
8. การใช้ NotebookLM สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการทำงานลงได้อย่างชัดเจน	4.20	0.85	มาก
9. ท่านเห็นว่า NotebookLM ช่วยให้การตัดสินใจจากข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น	4.11	0.81	มาก
10. โดยรวมการใช้ NotebookLM ในการลดระยะเวลาการทำงานเอกสาร	4.11	0.81	มาก

จากตารางที่ 1.2 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามความคิดเห็นต่อการลดภาระงานเอกสารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ NotebookLM จำนวน 10 ข้อ พบว่า โดยภาพรวม ผู้เข้าอบรมมีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากในทุกข้อ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการรับรู้และความพึงพอใจในศักยภาพของเครื่องมือดังกล่าวในการสนับสนุนการทำงานด้านเอกสาร และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ผู้เข้าร่วมอบรมเข้าใจวิธีการใช้งาน NotebookLM ในการจัดการเอกสารอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.73 แสดงให้เห็นว่าผู้เข้าอบรมมีความเข้าใจในการใช้เครื่องมือ AI ดังกล่าวได้อย่างชัดเจน รองลงมาคือ การใช้ NotebookLM ช่วยลดเวลาที่ใช้ในการค้นหาและสรุปเอกสารได้จริง ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 4.39 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.72 สะท้อนถึงประโยชน์ในการลดขั้นตอนและเวลาในการสืบค้นข้อมูล อีกทั้ง “NotebookLM ช่วยลดเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมเอกสารหรือรายงาน” ก็ได้รับค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับสามที่ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.72 แสดงถึงความสามารถของเครื่องมือในการช่วยเร่งกระบวนการจัดทำเอกสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ รายการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการรวบรวมข้อมูล การลดขั้นตอนการทำงาน การลดการใช้ทรัพยากร และการเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ก็ได้รับคะแนนเฉลี่ยในระดับมากทั้งหมด ซึ่งชี้ให้เห็นว่า NotebookLM ได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานว่าเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพสูงในการลดภาระงาน และยังสามารถส่งเสริมการทำงานอย่างยั่งยืนในด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรม

6.3 แบบประเมินการลดการปล่อยคาร์บอนเชิงประมาณ

จากแบบประเมินการลดการปล่อยคาร์บอนเชิงประมาณ พบว่า ลดการใช้กระดาษ (แผ่น A4) ปริมาณที่ลดการใช้กระดาษต่อคนต่อเดือนอยู่ที่ 10 แผ่น และ NotebookLM ช่วยลดระยะเวลาในการจัดการเอกสารได้เฉลี่ย 45 นาทีต่อสัปดาห์ต่อคน และลดขั้นตอนการทำงานที่ต้องใช้ทรัพยากร โดยประเมินได้ว่า กลุ่มตัวอย่างสามารถลดการจัดทำเอกสารซ้ำซ้อนได้ประมาณ 40% ของงานทั้งหมด

ตารางที่ 1.3 ผลประเมินการลดการปล่อยคาร์บอนเชิงประมาณ

รายการ	ปริมาณที่ลดต่อคน/เดือน	ปริมาณที่ลดทั้งกลุ่ม (44 คน) (12 เดือน)	การลดการปล่อย CO2 โดยประมาณ
ลดการใช้กระดาษ (แผ่น A4)	10 แผ่น	5,280 แผ่น (10.56 ริ่ม)	55.49 กิโลกรัม
ลดการใช้คอมพิวเตอร์ (ชม.ต่อเดือน)	12 ชั่วโมง	6,336 ชั่วโมง	316.80 กิโลกรัม
รวมการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมด	-	-	372.29 กิโลกรัม

จากตารางที่ 1.3 ผลจากการใช้ NotebookLM เพื่อช่วยในการจัดการเอกสารของบุคลากรทางการศึกษาพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรมที่ส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรหลักได้แก่กระดาษและเวลาในการใช้คอมพิวเตอร์ ในแต่ละเดือนบุคลากร 1 คน สามารถลดการใช้กระดาษลงไปได้ประมาณ 10 แผ่น ซึ่งเมื่อคำนวณรวมกันทั้งกลุ่มตัวอย่างในระยะเวลา 12 เดือน พบว่ามีการลดใช้กระดาษรวม 5,280 แผ่น (10.56 ริ่ม) ส่งผลให้ลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยประมาณ 55.49 กิโลกรัม CO₂ ต่อปี (อ้างอิงอัตราการปล่อย CO₂ จากกระดาษ A4 ประมาณ 4.2 กรัม/แผ่น)

ในด้านการใช้พลังงานจากคอมพิวเตอร์ พบว่าแต่ละคนสามารถลดระยะเวลาในการใช้งานลงเฉลี่ย 12 ชั่วโมงต่อเดือน หรือคิดเป็น 144 ชั่วโมงต่อปีต่อคน เมื่อรวมจำนวนชั่วโมงที่ลดลงของทั้งกลุ่มตัวอย่างพบว่าเท่ากับ 6,336 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งเทียบเท่ากับการลดการปล่อยคาร์บอนประมาณ 316.80 กิโลกรัม CO₂ ต่อปี (โดยใช้อัตราเฉลี่ย 50 กรัม CO₂ ต่อชั่วโมงของการใช้คอมพิวเตอร์)

7. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่า การอบรมการใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ NotebookLM ส่งผลต่อการพัฒนาความรู้ความเข้าใจของผู้เข้าร่วมอบรมอย่างมีนัยสำคัญ โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนการอบรมอยู่ที่ 6.11 คะแนน และเพิ่มขึ้นเป็น 15.60 คะแนนหลังการอบรม เมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติ t-test สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กัน (Dependent Samples t-test) พบว่าค่า t เท่ากับ 13.91 ซึ่งสูงกว่าค่าที่กำหนดในระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของคะแนนก่อนและหลังการอบรมเป็นความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยที่ระบุว่า การอบรมและการใช้ NotebookLM สามารถส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ เครื่องมือ NotebookLM ยังมีศักยภาพในการช่วยพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและเอกสาร ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในบริบทของงานทางวิชาการและการบริหารของบุคลากรในสถาบันการศึกษาได้อย่างเป็นระบบและยั่งยืน

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์เชิงประมาณด้านสิ่งแวดล้อมแสดงให้เห็นว่า การใช้ NotebookLM ช่วยลดการใช้กระดาษและพลังงานจากการใช้คอมพิวเตอร์ได้จริง โดยสามารถคำนวณเป็นการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมได้มากถึง 338.98 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของการใช้เทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Technology) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่คล้ายกัน พบว่าผลการวิจัยนี้สนับสนุนข้อเสนอของหลายแหล่งที่ชี้ว่า AI สามารถลดภาระงานซ้ำซ้อนในระบบการศึกษา และยังมีผลดีต่อสิ่งแวดล้อม หากมีการส่งเสริมการใช้อย่างแพร่หลายและต่อเนื่อง จากผลที่ได้

ยืนยันว่า NotebookLM ไม่เพียงแต่เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในเชิงการจัดการความรู้ แต่ยังเป็นเครื่องมือที่สนับสนุนการลดการใช้ทรัพยากรสิ้นเปลือง ซึ่งมีความสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน SDG ข้อที่ 12 [7] (การบริโภคและการผลิตอย่างยั่งยืน) และข้อที่ 13 (การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ)

8. สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของบุคลากรทางการศึกษาหลังการอบรมการใช้ NotebookLM ซึ่งเป็นเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ในกลุ่ม Generative AI โดยมุ่งประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือนี้ในการลดภาระงานเอกสาร และวิเคราะห์แนวโน้มการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการลดการใช้กระดาษและพลังงานไฟฟ้า การวิจัยใช้ระเบียบวิธีแบบกึ่งทดลองกับกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจงจำนวน 44 คน โดยใช้แบบทดสอบก่อนและหลังอบรมแบบสอบถามความคิดเห็น และเครื่องมือประเมินเชิงประมาณ ผลการวิจัยพบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังอบรมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (จาก 6.11 เป็น 15.60 คะแนน, $t = 13.91$) และผู้เข้าร่วมอบรมมีความคิดเห็นเชิงบวกต่อประสิทธิภาพของ NotebookLM ในการลดเวลาและขั้นตอนการทำงานเอกสาร นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมสามารถลดการใช้กระดาษเฉลี่ยคนละ 10 แผ่นต่อเดือน และลดเวลาการใช้คอมพิวเตอร์ลงเฉลี่ย 12 ชั่วโมงต่อเดือน ส่งผลให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมประมาณ 372.29 กิโลกรัมต่อปี สะท้อนให้เห็นว่า AI ไม่เพียงส่งเสริมประสิทธิภาพการทำงาน แต่ยังสนับสนุนเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนในสถาบันการศึกษาได้อย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Inie และคณะ (2025) นำเสนอเครื่องมือที่ชื่อว่า HCI GenAI CO₂ST Calculator [8] ซึ่งออกแบบขึ้นเพื่อช่วยให้นักวิจัยด้าน Human-Computer Interaction สามารถประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดจากการใช้ Generative AI ในกระบวนการวิจัย โดยเครื่องมือนี้สามารถคำนวณการใช้พลังงานและคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้งาน AI ได้อย่างครอบคลุมทั้งในขั้นตอนการวางแผน ทดลอง และเผยแพร่ผลวิจัย ช่วยให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจเลือกแนวทางการใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งยังส่งเสริมความโปร่งใสในการรายงานผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และงานวิจัยของ Trivedi และคณะ (2024) มุ่งเน้นการพัฒนาแนวทางการใช้งาน Generative AI โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผ่านแนวคิด "Carbon-Friendly Generation" ซึ่งเป็นการปรับพฤติกรรมการประมวลผลของโมเดลภาษาใหญ่ (Large Language Models: LLMs) ให้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลง โดยผู้วิจัยได้พัฒนาเฟรมเวิร์กที่ชื่อว่า *Sprout* ซึ่งสามารถควบคุมและแนะนำรูปแบบการใช้งาน AI ให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของผลลัพธ์มากนัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สามารถลดการปล่อยคาร์บอนได้มากกว่า 40% เมื่อเทียบกับการประมวลผลแบบเดิม งานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของสุทธิลักษณ์ ชุนประวัติ ที่มุ่งประยุกต์ใช้ Generative AI โดยเฉพาะเครื่องมือ NotebookLM เพื่อลดการใช้ทรัพยากรในการจัดทำเอกสารในสถาบันการศึกษา ซึ่งรวมถึงการลดการใช้กระดาษและพลังงานจากการใช้คอมพิวเตอร์ โดยทั้งสองงานวิจัยต่างมุ่งหวังให้การใช้งาน AI สนับสนุนเป้าหมายด้านความยั่งยืนและลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างมีระบบ [9]

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] จิราภพ ทวีสูงส่ง. สภาวะโลกรวนกำลังตามมา [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: ไทยพีบีเอส; 2568 [เข้าถึงเมื่อ 23 มิ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.thaibps.or.th/now/content/2836>
- [2] มหาวิทยาลัยพะเยา. ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหัวประชากรของมหาวิทยาลัยพะเยา [อินเทอร์เน็ต]. พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา; 2565 [เข้าถึงเมื่อ 25 มิ.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.up.ac.th/NewsReadBlog2.aspx?itemID=29323>
- [3] จิกร ฐาวรัตน์. AI กับการศึกษา : ตัวช่วยสุดอัจฉริยะ เพื่อพัฒนาการเรียนรู้. วารสารสังคมศึกษาปริทรรศน์. 2568 ม.ค.-ก.พ.;13(1):98-108.

- [4] วัลลภ รัฐฉัตรานนท์. (มกราคม-มิถุนายน 2562). การหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับนักวิจัยมาภาคติในการใช้สูตรของ ทาโร ยามาเน่ และเครทซี-มอร์แกน. วารสารสหวิทยาการวิจัย: ฉบับบัณฑิตศึกษา, 11-28.
- [5] มาลดการใช้กระดาษกันเถอะ! (30 มิถุนายน 2566). เข้าถึงได้จาก ห้องเรียนสีเขียว การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย: <https://gls.egat.co.th/>
- [6] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2546). *อุปกรณ์สำนักงาน*. เข้าถึงได้จาก https://www.eppo.go.th/:https://www.eppo.go.th/images/Infomation_service/Publication/Publication/Pubication_1/3.pdf
- [7] SDG Move team. (3 ตุลาคม 2023). *Goal 12: Responsible Consumption and Production*. เข้าถึงได้จาก <https://www.sdgmovement.com/:https://www.sdgmovement.com/2016/10/07/goal-12-responsible-consumption-and-production/>
- [8] Inie N, Falk J, Selvan R. The HCI GenAI CO₂ST Calculator: A Tool for Calculating the Carbon Footprint of Generative AI Use in Human-Computer Interaction Research [Internet]. arXiv preprint arXiv:2504.00692; 2025 [cited 2025 Jun 28]. Available from: <https://arxiv.org/abs/2504.00692>
- [9] Trivedi R, Chen E, Ermon S, Hashimoto T, Wang W. Toward Sustainable GenAI using Generation Directives for Carbon-Friendly LLM Inference [Internet]. arXiv preprint arXiv:2403.12900; 2024 [cited 2025 Jun 28]. Available from: <https://arxiv.org/abs/2403.12900>

การประยุกต์เครื่องมือวิศวกรรมอุตสาหการในการปรับปรุงกระบวนการผลิตตู้วางอ่างล้างหน้าอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กรณีศึกษา : บริษัทผลิตตู้วางอ่างล้างหน้าในอำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี

The application of Industrial Engineering Tools to improve the Production process of Environmentally Friendly for Washbasin Cabinet. Case Study : Washbasin Cabinet Company in BangbuaThong District, Nonthaburi Province.

ประยัต มีบุญเกิด¹ สุนทร แสงเพ็ชร¹

Received: April 29, 2025

Prayat Meeboongirt¹ Soonthorn Saengpetch¹

Revise: June 28, 2025

Accepted: June 28, 2025

¹ สาขาเทคโนโลยีจัดการอุตสาหกรรมและพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

¹ Department of Industrial and Energy Management Technology, Faculty of Science and Technology, Bangkok Thonburi University, Bangkok

* Corresponding author E-mail: prayat.mee@bkkthon.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตตู้วางอ่างล้างหน้าให้เป็นระบบและมีมาตรฐาน ลดเวลาในกระบวนการผลิต และเป็นเพื่อเป็นโรงงานต้นแบบด้านกระบวนการผลิตและรักษาสิ่งแวดล้อม ให้สามารถส่งชิ้นส่วนที่มีคุณภาพไปจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศได้ โดยจากการศึกษาเบื้องต้นในบริษัทผลิตตู้วางอ่างล้างมือ ในอำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี พบปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่ล่าช้า ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตลดลง เช่น ขั้นตอนกระบวนการทำงานยังไม่เป็นระบบ มีขั้นตอนในการปฏิบัติงานที่ไม่จำเป็นมากเกินไป กระบวนการผลิตไม่เป็นไปตามขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง คณะผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงโดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ (IE Technique) ได้แก่ การใช้เทคนิคการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Process Improvement) การใช้เทคนิคการปรับปรุงงาน (Work Improvement) การใช้เทคนิคการวิเคราะห์และระบุปัญหาโดยใช้แนวคิดแผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เทคนิคการวิเคราะห์แก้ไขปัญหาคือ 5W1H และ ECRS ผลการศึกษาค้นคว้าพบว่า สามารถลดขั้นตอนการผลิตตู้วางอ่างล้างหน้าจาก 238 ขั้นตอน ลงเหลือ 217 ขั้นตอน ลดลง 21 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 8.82 ลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายในกระบวนการจาก 485.00 เมตร เหลือ 458.50 เมตร ลดลง 26.50 เมตร คิดเป็นร้อยละ 5.46 และลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตลงจาก 173.26 นาที เหลือ 144.25 นาที ลดลง 29.01 นาที คิดเป็นร้อยละ 16.73 นอกจากนี้ยังเพิ่มกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ สามารถจัดทำคู่มือมาตรฐานในการทำงาน และคู่มือการบริหารจัดการคุณภาพได้ มีการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ทำให้โรงงานนี้เป็นต้นแบบในการผลิตตู้วางอ่างล้างหน้าได้

คำสำคัญ: ตู้วางอ่างล้างหน้า, เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ

ABSTRACT

The objectives of this research is to improve the production process of Washbasin Cabinet to be systematic and standardized, reducing the production time and to be a prototype factory in terms of production processes and environmental conservation, so that we can distribute the quality parts to both domestic and overseas countries. From a preliminary study in the Washbasin Cabinet manufacturing company in BangBuaThong District, Nonthaburi Province, it was found that there were some problems in the production process caused the

delayed, resulting in reduced production efficiency, such as production process is not systematic, too many unnecessary steps in the production process, the production process does not follow the steps continuously. The researchers therefore proposed an improvement by applying the Industrial Engineering Techniques (IE Techniques), including Process Improvement Techniques, Work Improvement Techniques, Problem Analysis and Identification Techniques using the concept of Cause and Effect Diagrams, Problem Analysis and Solution Techniques with 5W1H and ECRS. The research results found that the production steps of Washbasin cabinet could be reduced from 238 steps to be 217 steps, reducing of 21 steps or 8.82 percent. The distance for moving during the assembly process could be reduced from 485.00 Meters to be 458.50 Meters, reducing of 26.50 Meters or 5.46 percent. The operating time for production could be reduced from 173.26 minutes to be 144.25 minutes, reducing of 29.01 minutes or 16.73 percent. Besides, we have established the Working Standards, the Inspection Standards for Quality Management, and also Environmental Conservation makes this factory to become a prototype for producing Washbasin Cabinet.

Keywords: Washbasin Cabinet, Industrial Engineering Technique

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการแข่งขันด้านธุรกิจมากขึ้น จากสภาพการณ์วิกฤติทางเศรษฐกิจในช่วงปี พ.ศ. 2540 และพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2529 ทำให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรม เห็นความสำคัญเกี่ยวกับการประหยัดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้น เพื่อทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ และมีผลกำไรมากขึ้น (สมนึก ธีรกุลพิสุทธิ์. 2529 : 26) จึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการในการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตมากขึ้น

บริษัทกรณีศึกษาในอำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี เพิ่งดำเนินธุรกิจมาได้เพียง 1 ปีเศษ มีการผลิตตู้อลูมิเนียมวางอ่างล้างหน้า โดยสั่งซื้อวัตถุดิบมาแปรรูปประกอบเข้ากับชิ้นส่วนสำเร็จรูป เช่น อ่างล้างหน้า คลิปยึด แล้วแพ็คบรรจุกล่องเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (Semi-Knock down) ส่งจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าในประเทศหลายแห่ง แต่ปัจจุบันพบปัญหากำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดจากกระบวนการผลิตที่ล่าช้า ไม่ต่อเนื่อง มีขั้นตอนปฏิบัติงานมาก มีการเคลื่อนย้ายและใช้เวลาในกระบวนการผลิตมาก เสียเวลารอคอยวัตถุดิบและส่วนประกอบบริเวณจุดปฏิบัติงาน ทำให้เสียเวลาในกระบวนการผลิตมาก

จากปัญหาดังกล่าว จึงได้มีแนวคิดในการนำ เทคนิควิศวกรรมอุตสาหการ (Industrial Engineering Technique) ซึ่งเป็นวิศวกรรมศาสตร์สาขาที่เกี่ยวกับการออกแบบ พัฒนา วางแผน ควบคุม การวิจัยดำเนินงาน จัดการและประเมินผลระบบโดยรวม ครอบคลุมปัจจัยต่างๆ ทุกด้านมาพัฒนาปรับปรุง แก้ไข เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้คุ้มค่าที่สุด [1] โดยได้นำเทคนิคด้านนี้ มาใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต (Process Improvement) [2]

การใช้เทคนิคดังกล่าวในการปรับปรุงกระบวนการนั้น เป็นเทคนิควิธีที่มุ่งขจัดความสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและปรับปรุงกระบวนการให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตโดยรวมได้จากการใช้ทรัพยากรได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ [3] โดยทั่วไปจะเป็นเรื่อง การบริหารการทำงาน (Work Management) โดยมีการศึกษาการทำงาน (Work Study) [4] ซึ่งจะประกอบไปด้วยเทคนิคการปรับปรุงวิธีการทำงาน โดยวิธีการศึกษารูปแบบวิธีการทำงาน (Method Study) เทคนิคการวัดผลงานโดยการศึกษาเวลา (Time Study) และวิธีการวัดผลงาน (Work Measurement) [5] นอกจากนี้ ยังมีเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานโดยใช้ 5W1H (What, Where, When, Who, Why and How) [6], ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) [7], ฯลฯ

ในการวิจัยนี้ จะเน้นไปที่การวิเคราะห์ปรับปรุงกระบวนการผลิต การจัดทำมาตรฐานในการทำงาน ตลอดจนการมุ่งเน้นจัดการด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงงาน (Work Improvement) และวิเคราะห์ผลการ

ดำเนินงานด้วยเทคนิค 5W1H, ECRS โดยหวังว่าจะสามารถปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตให้มีคุณภาพ สามารถเป็นต้นแบบของโรงงานผลิตตู้วางอ่างล้างหน้าที่เป็นที่ยอมรับของลูกค้าทั้งในและต่างประเทศได้

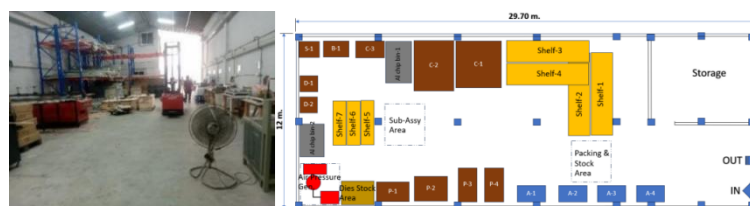
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตตู้วางอ่างล้างหน้าให้เป็นระบบและมีมาตรฐาน ลดเวลาในกระบวนการผลิต
- 2.2 เพื่อเป็นโรงงานต้นแบบด้านกระบวนการผลิตและรักษาสภาพแวดล้อม ให้สามารถส่งชิ้นส่วนที่มีคุณภาพไปจำหน่ายทั้งใน และต่างประเทศได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

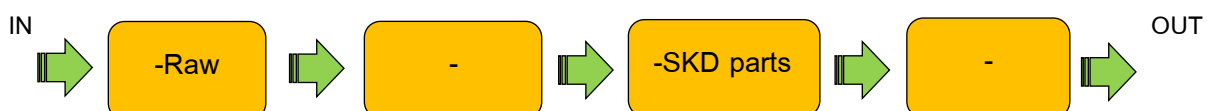
3.1 ศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบันในบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ (Industrial Engineering Technique)

สภาพปัจจุบัน บริษัทฯ มีการผลิตตู้อลูมิเนียมวางอ่างล้างหน้าตามระบบการผลิตแบบช่วงตอน (Intermittent Production System) ไม่เป็นไปตามสายการผลิต โดยเริ่มจากการสั่งซื้อวัตถุดิบที่เป็นอลูมิเนียมแผ่นและกล่องมาตัดแปรรูป พร้อมทั้งสั่งซื้อชิ้นส่วนประกอบสำเร็จรูป เช่น อ่างล้างหน้า ชิ้นส่วนที่ใช้ยึดเสริมความแข็งแรงต่างๆ แล้วนำมาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (Semi-Knock down) มีเครื่องจักรและกระบวนการผลิตที่ยืดหยุ่น สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบ การผลิตที่เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะงานแต่ละชิ้น ตู้วางอ่างล้างหน้าที่ผลิต มี 4 รุ่น ได้แก่ รุ่นตั้งพื้น และแขวนผนัง แต่ละรุ่นมีความยาว 800 มม. และ 600 มม. มียอดการผลิตต่อวันประมาณ 180 ตู้ ด้วยพนักงาน 15 คน สินค้าส่งจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าในประเทศหลายแห่ง เช่น King Power, Dohome, SCG & Others ราคาจำหน่ายตั้งแต่ 5,500-7,500 บาท ปัญหาคือการเคลื่อนย้ายของงานจะไม่ต่อเนื่องกัน มีการรอคอยวัตถุดิบและส่วนประกอบ ณ บริเวณ Shelf เก็บของและจุดปฏิบัติงาน มีการจัดกลุ่มกิจกรรมที่มีความต่อเนื่องกันไว้ในสถานประกอบการผลิตที่ค่อนข้างห่างกัน ทำให้เสียเวลาในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานแต่ละ Station มาก การจัดวางเครื่องจักรและสถานประกอบการตามกลุ่มลักษณะการ Machining ดังแสดงตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการจัดวางผังกระบวนการผลิตตู้วางอ่างล้างหน้า

บริษัทกรณีศึกษา มีกระบวนการผลิตตู้วางอ่างล้างหน้าหลักๆ 4 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการรับวัตถุดิบและชิ้นส่วนสำเร็จรูปมาประกอบ (Raw Material & Knock Down Parts Receiving Process) กระบวนการแปรรูปวัตถุดิบ (Machining Process) กระบวนการประกอบชิ้นส่วนแบบกึ่งสำเร็จรูป (Semi-Knock Down Parts sub-assembly Process) และกระบวนการบรรจุสินค้า (Packaging Process) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังกระบวนการหลักในการผลิตตู้วางอ่างล้างหน้า

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลแต่ละสถานงาน จะใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการที่เป็น Check Sheet จากการตรวจวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้น พบว่าชิ้นส่วนตัวอ่างล้างหน้าชนิดตั้งพื้นที่มีความยาว 800 มม. เป็นรุ่นที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและเกิดปัญหามากที่สุด โดยปัญหาเกิดจากความล่าช้าใน 2 กระบวนการหลัก ได้แก่กระบวนการแปรรูปวัตถุดิบ และกระบวนการประกอบชิ้นส่วน จึงนำผลิตภัณฑ์ชนิดดังกล่าวมาเป็นกลุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์การศึกษาที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยได้ทำการเฝ้าสังเกตกระบวนการและวิธีการทำงานของพนักงาน เพื่อหาเวลามาตรฐานของแต่ละขั้นตอนการทำงาน



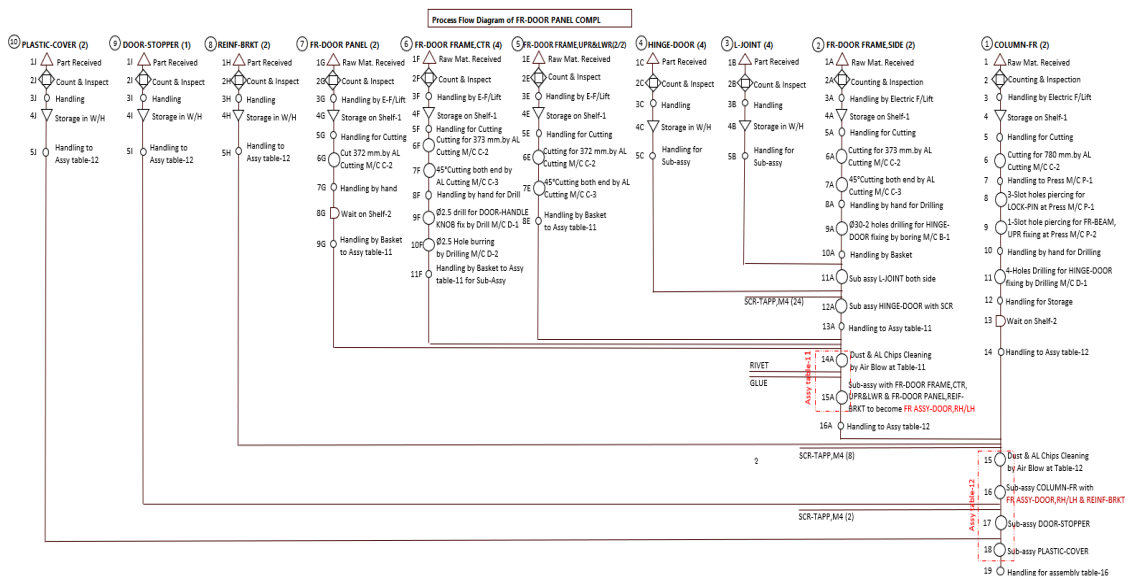
รูปที่ 3 แสดงตัวอ่างล้างหน้าชนิดตั้งพื้น

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตัวอ่างล้างหน้าชนิดตั้งพื้นที่มีความยาว 800 มม. โดยอาศัยเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการเข้ามาช่วย

3.2 เขียนขั้นตอนกระบวนการทำงาน

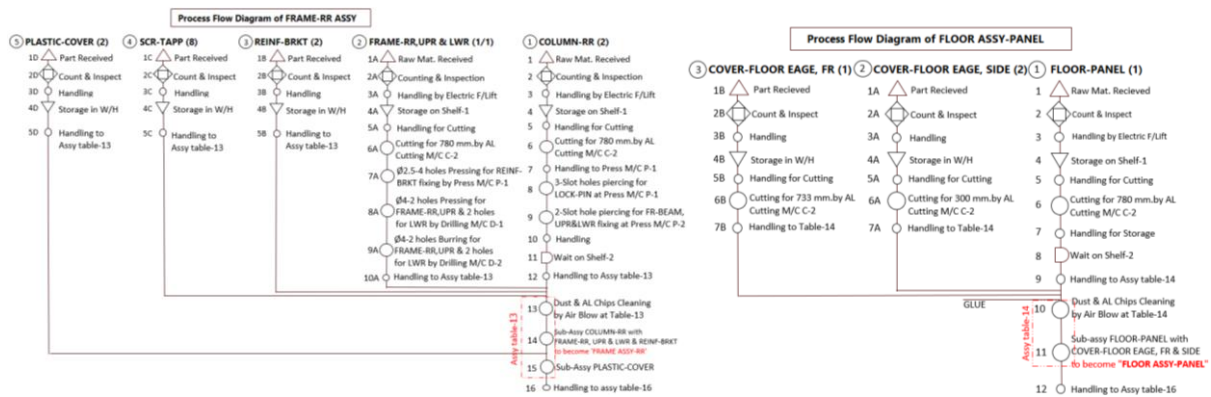
ในการวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis) นั้น เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ใช้ คือแผนภูมิกระบวนการไหล (Process Flow Diagram) ของการผลิตตัวอ่างล้างหน้า ตั้งแต่เริ่มจนจบกระบวนการของแต่ละสถานงาน ที่เป็นกระบวนการปฏิบัติจริงก่อนการปรับปรุง มีขั้นตอนทั้งสิ้น 238 ขั้นตอน โดยมีขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนย่อยถึงสำเร็จรูป (Semi-Knock Down-SKD Parts) จำนวน 7 สถานงานหลัก ได้แก่

- 1) สถานงานการประกอบ FR-DOOR PANEL COMPL มี 88 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 4



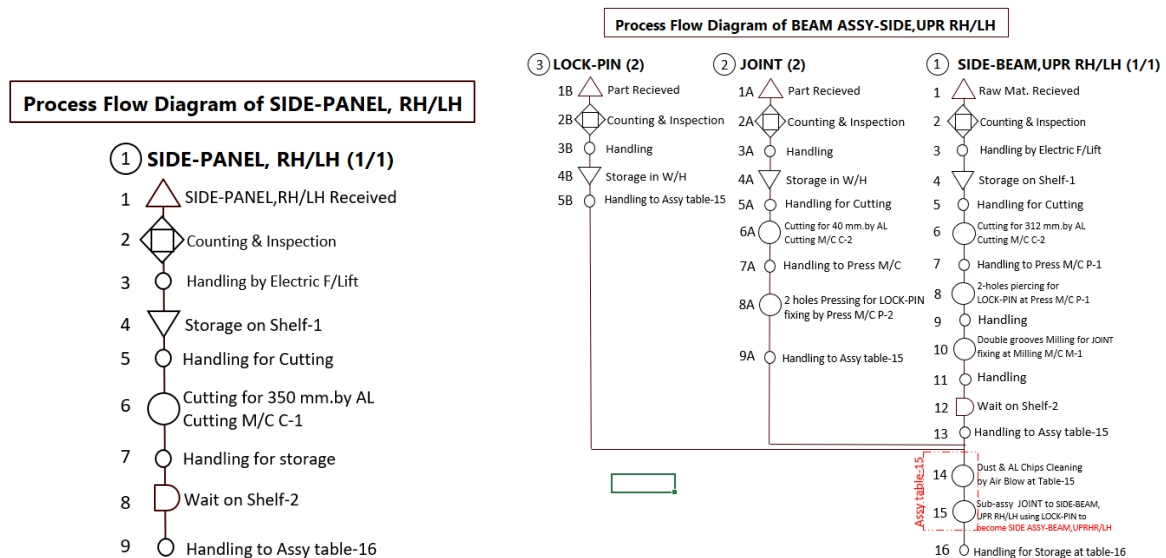
รูปที่ 4 แผนผังกระบวนการไหลของกระบวนการประกอบชุด FR-DOOR PANEL COMPL

- 2) สถานีงานการประกอบ FRAME-RR ASSY มี 41 ขั้นตอน และสถานีงานการประกอบ FLOOR ASSY-PANEL มี 26 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 5



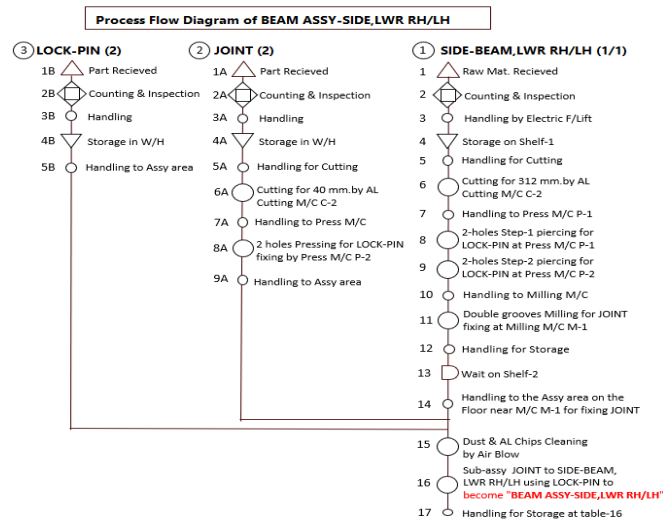
รูปที่ 5 แผนผังกระบวนการไหลของกระบวนการประกอบชุด FRAME-RR ASSY และ FLOOR ASSY-PANEL

- 3) สถานีงานการประกอบ SIDE-PANEL,RH/LH มี 9 ขั้นตอน และการประกอบ BEAM ASSY-SIDE,UPR RH/LH มี 30 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 6



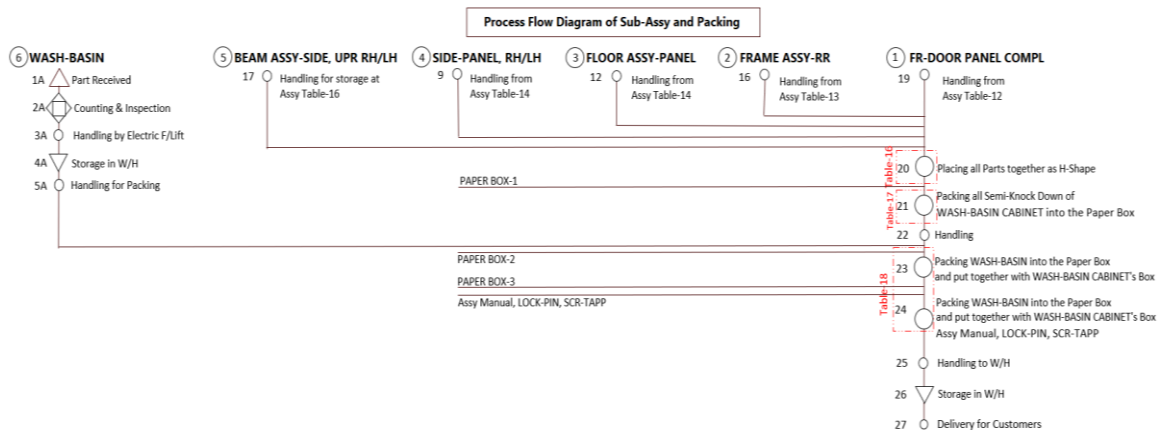
รูปที่ 6 แผนผังกระบวนการไหลของกระบวนการประกอบชุด SIDE-PANEL,R/L และ BEAM ASSY-SIDE, UPR R/L

4) สถานีงานการประกอบ BEAM ASSY-SIDE,LWR RH/LH มี 31 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนผังกระบวนการไหลของกระบวนการประกอบชุด BEAM ASSY-SIDE,LWR RH/LH

5) สถานีงานการบรรจุผลิตภัณฑ์ (Semi-Parts Packaging) มี 13 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนผังกระบวนการไหลของกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ (Parts Packaging)

ตารางที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำงานแต่ละสถานีของกระบวนการผลิตชุดเฟรมหลัง (FRAME-RR ASSY) และชุดผนังด้านข้างขวา-ซ้าย (SIDE-PANEL, RH/LH) ของตัวถังอ่างล้างหน้า ก่อนการปรับปรุง

[illegible]

ตารางที่ 4 แสดงขั้นตอนการทำงานแต่ละสถานีของกระบวนการผลิตชุดคานด้านข้างบนขวา-ซ้าย (BEAM ASSY-SIDE, UPR RH/LH) และ ชุดคานด้านข้างล่างขวา-ซ้าย (BEAM ASSY-SIDE, LWR RH/LH) ของตัววางอ่างล้างหน้า ก่อนการปรับปรุง

[illegible]

ตารางที่ 5 แสดงขั้นตอนการทำงานแต่ละสถานีของกระบวนการประกอบชิ้นส่วนกึ่งสำเร็จรูปและบรรจุหีบห่อ (Semi-Knock Down Parts Packing) ของตู้วางอ่างล้างหน้า ก่อนการปรับปรุง

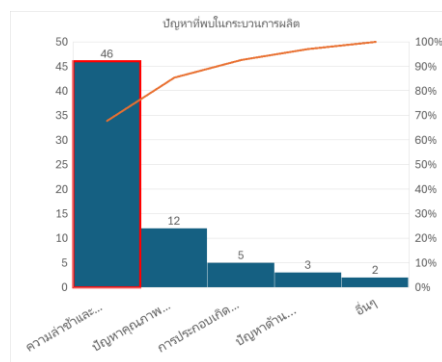
แผนภูมิกระบวนการไหล	กิจกรรม	สรุปผล		
		ปัจจุบัน	ปรับปรุง	ลดลง
พนักงาน Packing Process	ปฏิบัติงาน			
	การเคลื่อนย้ายตู้วางอ่างล้างหน้า	5	5	0
	ตรวจสอบ	1	1	0
	จัดเก็บ	2	2	0
	รวม	8	8	0
วิธีการทำงาน : ปัจจุบัน	ระยะทาง (เมตร)	20.50	20.50	0
สถานที่ : บล็คตู้วาง	เวลา (นาที)	9.12	9.12	0
เข้าที่โดย : ประยัด มีบุญเกิด	ค่าแรง-ค่า	-	-	-
วันที่ : 25/12/2025	เครื่องมือ คำนวณ	-	-	-
ค่าเฉลี่ย		ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	หมายเหตุ
20. Placing all Parts together as H-Shape		0	1.52	
21. Packing all Semi-Knock Down of WASH-BASIN CABINET into the Paper Box		0	1.15	
22. Handling		5.00	0.50	
1A. WASH-BASIN Received		0	1.25	
2A. Counting & Inspection		0	0.50	
2A. Handling by Electric FILM		5.00	0.50	
4A. Storage in WH		0	0	
5A. Handling for Packing		5.50	0.40	
23. Packing WASH-BASIN into the Paper Box and put together with WASH-BASIN CABINET's Box		0	1.32	
24. Packing WASH-BASIN into the Paper Box and put together with WASH-BASIN CABINET's Box Away Manual, LOCKPIN, SCOT-TAP		0	1.50	
25. Handling to WH		5.00	0.40	
26. Storage in WH		0	0	
27. Delivery for Customers		0	0	
รวม		20.5	9.12	5 5 1 0 2

จากการสร้างแผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการผลิตของสายการผลิตตู้วางอ่างล้างหน้า ก่อนการปรับปรุง ได้ข้อมูลดังนี้

- กระบวนการทำงาน รวมทั้งสิ้น 238 กระบวนการ เป็นการปฏิบัติงาน 84 การเคลื่อนย้าย 94 การตรวจนับ/ตรวจสอบ 26 การรอคอย 7 และการจัดเก็บในคลัง 27 กระบวนการ
- ระยะทางรวมในการทำงานทั้งสิ้น 485.00 เมตร
- เวลาที่ใช้ในการทำงานรวมทั้งสิ้น 173.26 นาที

3.3 รวบรวมปัญหาและข้อบกพร่องของแต่ละกระบวนการ

จาก Process Flow Diagram ในขั้นตอนที่ 3.3 ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ ด้านการศึกษางาน (Work Study) ซึ่งจะประกอบไปด้วยเทคนิคการปรับปรุงวิธีการทำงาน โดยวิธีการศึกษารูปแบบวิธีการทำงาน (Method Study) เทคนิคการวัดผลงานโดยการศึกษาเวลา (Time Study) และวิธีการวัดผลงาน (Work Measurement) แล้วจัดทำผังพาเรโต (Pareto Diagram) [8] เพื่อเรียงลำดับปริมาณของปัญหาที่ตรวจพบจากมากไปหาน้อย



รูปที่ 9 การเลือกปัญหาที่พบมาวิเคราะห์โดยใช้ผังพาเรโต (Pareto Diagram)

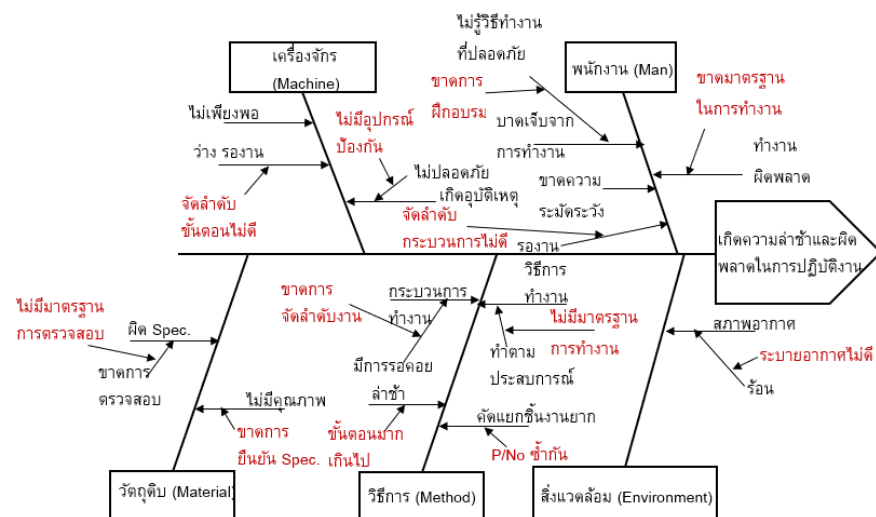
3.4 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ (Industrial Engineering Technique)

3.4.1 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แนวคิดแผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

จากการรวบรวมปัญหาในขั้นตอน 3.3 พบว่าปัญหาและสาเหตุของกิจกรรมในกระบวนการผลิต ได้แก่ “ความล่าช้าและความผิดพลาดในการปฏิบัติงาน” โดยได้ทำการการศึกษาสาเหตุที่ก่อให้เกิดความล่าช้าและมีข้อผิดพลาดต่างๆ ด้วยวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เคยเกิดขึ้นในอดีตที่ผ่านมา จากการสังเกตจากการปฏิบัติงานในสถานที่และสถานการณ์จริง และจากการสนทนากับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วยผู้บริหารสูงสุดของโรงงาน หัวหน้างาน และระดับปฏิบัติการ เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตดูว่าอย่างล่างหน้า โดยการสนทนาร่วมกันเพื่อเข้าใจภาพรวมของกระบวนการผลิต ระดมความคิด และวิเคราะห์แต่ละกิจกรรม เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา โดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ผังแสดงเหตุและผล หรือเรียกว่า ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) [9] เป็นแผนผังที่ใช้ในการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุต่างๆ ว่า มีอะไรบ้างที่มามีเกี่ยวข้องกัน สัมพันธ์ต่อเนื่องกันอย่างไรจึงทำให้ปรากฏผลตามมาในขั้นสุดท้าย โดยการระดมความคิดอย่างเป็นอิสระของทุกคนในกลุ่มกิจกรรมด้านการควบคุมคุณภาพ ถามทำไมๆ จนกระทั่งเป็นเหตุผลสุดท้ายที่เป็นเชิงวิธีการที่สามารถแก้ไขถึงรากเหง้าของปัญหาได้ ก็จะนำเอาสาเหตุหลักที่เป็นรากเหง้าของปัญหานั้น มาทำการแก้ไข

ในการวิเคราะห์ปัญหา ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 5 ปัจจัย คือ ปัจจัยด้านพนักงาน ด้านเครื่องจักร ด้านวัตถุดิบ ด้านวิธีการกระบวนการ และด้านสิ่งแวดล้อม รายละเอียดแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

จากแผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นการหาสาเหตุของปัญหาจากการเกิดความล่าช้าและความผิดพลาดในการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตชั้นวางอย่างล่างหน้า จากแผนผัง จึงสรุปปัญหาและสาเหตุตลอดจนวิธีการแก้ไข ได้ดังตารางที่ 8 สำหรับปัจจัยด้านพนักงาน ตารางที่ 9 สำหรับปัจจัยด้านเครื่องจักร ตารางที่ 10 สำหรับปัจจัยด้านวัตถุดิบ ตารางที่ 11 สำหรับปัจจัยด้านวิธีการ และตารางที่ 12 สำหรับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 8 ปัญหาและสาเหตุในกระบวนการผลิตตัวอ่างล้างหน้าจากการวิเคราะห์แผนผังแสดงสาเหตุและผล ปัจจัยด้านพนักงาน

กิจกรรม	กระบวนการ	ปัญหา	สาเหตุ
ทุกกิจกรรมในกระบวนการ	การทำงานของพนักงาน	ทำงานผิดพลาด	ขาดมาตรฐานในการทำงาน
การบีบเจาะรูชิ้นส่วนที่เครื่อง Press	บีบรูที่ชิ้นส่วน	เกิดอุบัติเหตุในการทำงานกับเครื่องจักร	ไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน
การประกอบชิ้นส่วน	การทำงานของพนักงาน	ว่างงาน	จัดลำดับกระบวนการไม่ดี

ตารางที่ 9 ปัญหาและสาเหตุในกระบวนการผลิตตัวอ่างล้างหน้าจากการวิเคราะห์แผนผังแสดงสาเหตุและผล ปัจจัยด้านเครื่องจักร

กิจกรรม	กระบวนการ	ปัญหา	สาเหตุ
ทุกกิจกรรมในกระบวนการ	การทำงานของพนักงาน	ว่าง, รongาน	จัดลำดับขั้นตอนไม่ดี
การบีบเจาะรูชิ้นส่วนที่เครื่อง Press	การทำงานของพนักงาน	เกิดอุบัติเหตุในการทำงานกับเครื่องจักร	ไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน

ตารางที่ 10 ปัญหาและสาเหตุในกระบวนการผลิตตัวอ่างล้างหน้าจากการวิเคราะห์แผนผังแสดงสาเหตุและผล ปัจจัยด้านวัตถุดิบ

กิจกรรม	กระบวนการ	ปัญหา	สาเหตุ
ทุกกิจกรรมในกระบวนการ	รับวัตถุดิบ	ไม่มีคุณภาพ	ขาดการยืนยัน Spec.
ทุกกิจกรรมในกระบวนการ	รับวัตถุดิบ	ผิด Spec.	ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบ

ตารางที่ 11 ปัญหาและสาเหตุในกระบวนการผลิตตัวอ่างล้างหน้าจากการวิเคราะห์แผนผังแสดงสาเหตุและผล ปัจจัยด้านวิธีการปฏิบัติงาน

กิจกรรม	กระบวนการ	ปัญหา	สาเหตุ
การประกอบย่อยชิ้นส่วน	การทำงานของพนักงาน	การประกอบล่าช้า	มีขั้นตอนรอคอยนาน
ทุกกิจกรรมในกระบวนการ	การทำงานของพนักงาน	มีการรอคอย	ขาดการจัดลำดับงาน
การประกอบย่อยชิ้นงาน	การทำงานของพนักงาน	เกิดอุบัติเหตุการทำงาน	ไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน
การประกอบย่อยชิ้นส่วน	การทำงานของพนักงาน	ทำตามประสบการณ์	ไม่มีมาตรฐานในการทำงาน

ตารางที่ 12 ปัญหาและสาเหตุในกระบวนการผลิตตัวอ่างล้างหน้าจากการวิเคราะห์แผนผังแสดงสาเหตุและผล ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

กิจกรรม	กระบวนการ	ปัญหา	สาเหตุ
ทุกกิจกรรมในกระบวนการ	การทำงานของพนักงาน	สภาพอากาศร้อน	ระบายอากาศไม่ดี

เมื่อทราบถึงปัญหาและสาเหตุในการประกอบตัวอ่างล้างหน้าจากแผนผังแสดงเหตุและผลที่แสดงในรูปที่ 10 แล้ว ก็จะเลือกสาเหตุที่เป็นรากเหง้าของแต่ละปัญหาที่สามารถแก้ไขได้ก่อนมาทำการปรับปรุง ซึ่งได้แก่ มีขั้นตอนรอคอยนาน ขาดมาตรฐานในการทำงาน ขาดการฝึกอบรม รองาน จัดลำดับขั้นตอนในการทำงานไม่ดี ไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน ขาดการยืนยัน Spec. P/No. ซ้ำกัน และการระบายอากาศในที่ทำงานไม่ดี จากนั้นใช้หลักการ ECRS เข้ามาช่วยในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน ได้ดังนี้

3.4.2 ใช้เทคนิคการลดความสูญเปล่า ด้วยหลักการ ECRS

1) **E (Eliminate)** หมายถึง การพิจารณาการทำงานปัจจุบัน และพยายามกำจัดความสูญเปล่า (Waste) ที่พบออกไป ความสูญเปล่า หมายถึง สิ่งที่ไม่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่สินค้า มีอยู่ 7 ประการ คือ การผลิตมากเกินไป (Overproduction) การรอคอย (Waiting) การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น (Transporting) การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ (Processing) การเก็บสินค้าที่มากเกินไป (Inventory) การเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น (Motions) และของเสีย (Defect) ในการยกเลิกหรือกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นนั้น ได้มีการดำเนินการดังนี้

สถานีงาน	กระบวนการ	การปรับปรุงแก้ไข		ระยะทาง ลดลง (ม.)	เวลาลด ลง(นาที)
		ก่อน	หลัง		
FR-DR PNL COMPL	-13, COLUMN-FR Wait	มีการรอคอยที่ Shelf-2	ยกเลิกการรอคอย	0	5.10
	-12, Handling	มีการเคลื่อนย้ายที่ Shelf-2	ยกเลิกการเคลื่อนย้าย	4.00	0.40
FR-DOOR PANEL COMPL	-8G FR-DOOR PNL	มีการรอคอยที่ Shelf-2	ยกเลิกการรอคอย	0	5.42
	-7G Handling	มีการเคลื่อนย้ายที่ Shelf-2	ยกเลิกการเคลื่อนย้าย	5.00	0.50
FRAME-RR ASSY	-11, COLUMN-RR	มีการรอคอยที่ Shelf-2	ยกเลิกการรอคอย	0	2.15
	-10, Handling	มีการเคลื่อนย้ายที่ Shelf-2	ยกเลิกการเคลื่อนย้าย	7.50	0.76
FR-DOOR PANEL	-8, FLOOR-PANEL	มีการรอคอยที่ Shelf-2	ยกเลิกการรอคอย	0	2.42
	-7, Handling	มีการเคลื่อนย้ายที่ Shelf-2	ยกเลิกการเคลื่อนย้าย	5.00	0.60
SIDE-PANEL, R/L	-8, SIDE-PANEL, R/L	มีการรอคอยที่ Shelf-2	ยกเลิกการรอคอย	0	2.42
	-7, Handling	มีการเคลื่อนย้ายที่ Shelf-2	ยกเลิกการเคลื่อนย้าย	5.50	0.60
BEAM ASSY-SIDE UPR, R/L	-12, SIDE-BEAM, UPR R/L	มีการรอคอยที่ Shelf-2	ยกเลิกการรอคอย	0	2.42
	-11, Handling	มีการเคลื่อนย้ายที่ Shelf-2	ยกเลิกการเคลื่อนย้าย	5.50	0.60
BEAM ASSY-SIDE LWR, R/L	-13, SIDE-PANEL, R/L	มีการรอคอยที่ Shelf-2	ยกเลิกการรอคอย	0	2.42
	-12, Handling	มีการเคลื่อนย้ายที่ Shelf-2	ยกเลิกการเคลื่อนย้าย	5.50	0.60

2) **C (Combine)** โดยพิจารณาว่า สามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น จากเดิมเคยทำ 5 ขั้นตอน ก็รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกัน ทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลงจากเดิม ในการรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงนั้น ได้ดำเนินการดังนี้

สถานีงาน	กระบวนการ	การปรับปรุงแก้ไข		ระยะทาง ลดลง (ม.)	เวลาลด ลง(นาที)
		ก่อน	หลัง		
FR-DOOR PANEL COMPL	-15, Dust & AI Chips	เป่าลมทำความสะอาด	ย้ายไปรวมที่กระบวนการ	0	0.50
	Clean by Air blow	เศษ AL ที่กระบวนการ 15	ที่ 11 จะระบุพร้อมเป่าลม		
FR-DOOR PANEL COMPL	-14A, Dust & AI Chips	เป่าลมทำความสะอาด	ย้ายไปรวมที่กระบวนการ	0	0.50
	Clean by Air blow	เศษ AL ที่กระบวนการ 14A	ที่ 7A จะระบุพร้อมเป่าลม		
FR-DOOR PANEL	-10F, Ø2.5 Hole Burr	Ø2.5 Hole Burr หลังเจาะ	ย้ายไปรวมที่กระบวนการ	0	1.28

COMPL	Clean by Air blow	รู Ø2.5 ที่ 9F	เจาะรูพร้อม Burr ที่ 9F		
FRAME-RR ASSY	-9A, Ø4-2Holes Burr	Ø4-2Holes Burr หลังเจาะ รู Ø4 ที่ 8A แล้ว	ย้ายไปรวมที่กระบวนการ เจาะรูพร้อม Burr ที่ 8A	0	1.16
FLOOR ASSY-PANEL	-10, Dust & AI Chips	เป่าลมทำความสะอาด	ย้ายไปรวมที่กระบวนการ ที่ 6 ตัดพร้อมเป่าลม	0	0.56
	Clean by Air blow	เศษ AL ที่กระบวนการ 10			
สถานีงาน	กระบวนการ	การปรับปรุงแก้ไข		ระยะทาง ลดลง (ม.)	เวลาลด (นาท.)
		ก่อน	หลัง		
BEAM ASSY-SIDE	--14, Dust & AI Chips	เป่าลมทำความสะอาด	ย้ายไปรวมที่กระบวนการ ที่ 10 กัดร่องพร้อมเป่าลม	0	0.62
UPR, R/L	Clean by Air blow	เศษ AL ที่กระบวนการ 14			
BEAM ASSY-SIDE	-15, Dust & AI Chips	เป่าลมทำความสะอาด	ย้ายไปรวมที่กระบวนการ ที่ 11 กัดร่องพร้อมเป่าลม	0	0.62
LWR, R/L	Clean by Air blow	เศษ AL ที่กระบวนการ 15			
FR-DOOR PANEL	-9, COLUMN-FR	เจาะรู Slot 1 รูที่ FR	เจาะรู Slot 2 รูทั้ง FR	0	0.38
COMPL		และเจาะ 2 รูที่ RR	และ RR เพื่อใช้ร่วมกันได้ ทั้ง FR และ RR		

3) R (Rearrange) คือ การจัดเรียงขั้นตอนการผลิตใหม่ หรือสลับลำดับในการทำงานเพื่อลดการเคลื่อนที่ หรือ การรอคอย ซึ่งได้มีการจัดเรียงขั้นตอนในการปฏิบัติงาน และสลับลำดับในการทำงานเพื่อลดขั้นตอน ลดเวลา และลดการเคลื่อนที่ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว

4) S (Simplify) หมายถึง การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยอาจจะออกแบบ jig หรือ fixture ช่วยในการทำงาน ในที่นี้ได้มีการจัดทำมาตรฐานในการปฏิบัติงาน แล้วจัดอบรมพนักงานตามมาตรฐานงานที่ได้จัดทำขึ้น แล้วนำวิธีการทำงานแบบใหม่ไปใช้และกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงาน ตลอดจนรักษาวิธีการทำงานให้คงสภาพอยู่ (Maintain)

3.4.3 การใช้เทคนิคการปรับปรุงงาน (Work Improvement) ได้แก่ การกำหนดวิธีการใหม่ๆ มาปรับปรุงงาน รวมถึงสภาพการทำงานและกระบวนการทำงาน เพื่อลดความผันแปรที่เกิดขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต โดยจัดเตรียมความพร้อมทั้งที่ใช้ในการปฏิบัติงานให้ได้มาตรฐาน ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและวิธีการทำงาน มีการกำหนดมาตรฐานในการทำงาน เพื่อลดเวลาในการทำงาน ลดกระบวนการผลิตลง ลดการปฏิบัติงานที่ซ้ำซ้อน ปรับเปลี่ยนการปฏิบัติงานให้ง่ายขึ้น ฯลฯ

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตนั้น ได้จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบชิ้นส่วน จัดทำแบบชิ้นงาน และกำหนดหมายเลขชิ้นส่วน (Part Numbering) เพื่อให้เกิดความสะดวกในการจัดเตรียม และคัดแยกชิ้นส่วนในกระบวนการประกอบ จากการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุที่ได้จากการวิเคราะห์แผนผังแสดงสาเหตุและผล ได้มีแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ดังนี้

ปัจจัยด้านต่าง ๆ	ปัญหา	แนวทางการปรับปรุงแก้ไข
ด้านพนักงาน	-ทำงานผิดพลาด	-จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน (Operation Manual, WI)
	-เกิดอุบัติเหตุในการทำงานกับเครื่องจักร	-จัดฝึกอบรมวิธีการทำงานให้พนักงาน
	-ว่างงานจากการรองาน	-กำจัด หรือลดกระบวนการรอคอยในกระบวนการโดยใช้หลัก ECRS
ด้านเครื่องจักร	-ว่าง รอาน	-กำจัด หรือลดกระบวนการรอคอยในกระบวนการโดยใช้หลัก ECRS
	-เกิดอุบัติเหตุในการทำงาน	-ออกแบบอุปกรณ์ Safety บนเครื่องจักร

กับเครื่องจักร

ด้านวัตถุดิบ	-ไม่มีคุณภาพ (ตรวจด้วยตา) -ชิ้นส่วนผิด Spec.	-จัดทำคู่มือมาตรฐานการตรวจสอบ (Inspection Standard) -จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบ และเพิ่มตรวจสอบ
--------------	---	--

ปัจจัยด้านต่างๆ	ปัญหา	แนวทางการปรับปรุงแก้ไข
ด้านการปฏิบัติงาน	-การประกอบล่าช้า -มีกระบวนการรอคอยนาน -เกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน -ทำงานตามประสบการณ์	-ปรับปรุงกระบวนการจากแผนผังกระบวนการไหล -ปรับปรุงกระบวนการจากแผนผังกระบวนการไหล -จัดฝึกอบรมวิธีการทำงานให้พนักงาน -ทำคู่มือมาตรฐานการทำงานแล้วฝึกอบรม OJT -สร้างระบบ Parts Numbering System
ด้านสิ่งแวดล้อม [10]	-ทำงานผิดพลาด	-ปรับปรุงระบบระบายอากาศในโรงงาน โดยเพิ่มช่องลม พัดลมระบายอากาศ -ปรับปรุงระบบแสงสว่างให้เพียงพอในการปฏิบัติงาน -ลดการใช้พลังงานจากการลดกระบวนการผลิต -ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ -เพิ่มพื้นที่สีเขียว

4. ผลการวิจัย

จากการศึกษากระบวนการผลิตตัวอย่างข้างล่างนี้ เพื่อนำมาวิเคราะห์และแก้ไขปรับปรุง โดยนำเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการมาใช้ในการปรับปรุงนั้น มีผลการวิจัยดังนี้

หัวข้อการปรับปรุง	รายละเอียด			
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง	% ที่ลดลง
1. ขั้นตอนปฏิบัติงาน	238 ขั้นตอน	217 ขั้นตอน	21 ขั้นตอน	8.82
2. ระยะทางเคลื่อนย้ายในกระบวนการผลิต	485.00 เมตร	458.50 เมตร	26.50 เมตร	5.46
3. เวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต	173.26 นาที	144.25 นาที	29.01 นาที	16.73
4. กระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์	ตรวจ Appearance	เพิ่มตรวจสอบ Dimension ตามคู่มือตรวจสอบ		
5. มาตรฐานในการทำงาน	มี แต่ไม่เหมาะสม	จัดทำมาตรฐานการทำงานขึ้นใหม่		
6. คู่มือบริหารจัดการคุณภาพ	ไม่มี	จัดทำขึ้นใหม่		
7. ระบบ Parts Numbering System	ไม่มี	จัดทำขึ้นใหม่		
8. การปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมในโรงงาน	ไม่มีการจัดการที่ดี	เพิ่มจัดการสิ่งแวดล้อม เช่น ระบบระบายอากาศ, ระบบแสงสว่าง, เพิ่มฝึกอบรมพนักงาน		

หัวข้อการปรับปรุง	รายละเอียด			
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง	% ที่ลดลง
		งาน, ลดใช้พลังงานจากลดขั้นตอนการผลิต, ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย, เพิ่มพื้นที่สีเขียว		

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 จากผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตตัวอ่างล้างหน้า สามารถลดขั้นตอนในกระบวนการผลิตขึ้นส่วนตัวอ่างล้างหน้าลงได้ 21 ขั้นตอน หรือคิดเป็น 8.82% ลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายในกระบวนการผลิตได้ 26.50 เมตร หรือคิดเป็น 5.46% และลดเวลาในกระบวนการผลิตได้ 29.01 นาที หรือคิดเป็น 16.73% ซึ่งจะเห็นว่า แม้จะยังมีการลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ หรือชิ้นส่วนประกอบต่างๆ แล้ว แต่ก็ยังลดได้ไม่มากเท่าที่ควร แต่หลักๆ ของการลดระยะเวลาและขั้นตอนการปฏิบัติงานนี้ จะอยู่ที่ การกำจัดขั้นตอนที่ไม่เกิดประโยชน์ เช่น การรอคอย (Waiting) ออกไป และรวมกระบวนการขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน หรือไม่จำเป็นให้น้อยลง

5.2 จากการใช้หลักเทคนิคการปรับปรุงงาน (Work Improvement) ตามหลักวิศวกรรมอุตสาหการ สามารถปรับปรุงกระบวนการ วิธีการต่างๆ ที่จะนำมาช่วยพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ เช่น จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน (Operation Manual, WI) การออกแบบอุปกรณ์ Safety บนเครื่องจักร จัดทำคู่มือมาตรฐานการตรวจสอบ (Inspection Standard) และเพิ่มการตรวจสอบ การสร้างระบบ Parts Numbering System การฝึกอบรมพนักงานให้ปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานและมีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน และช่วยปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมที่ดีในโรงงานให้กับพนักงาน เป็นต้นแบบของโรงงานผลิตตัวอ่างล้างหน้าได้

5.3 ผลจากการวิจัยนี้ ผู้ประกอบการจะได้รับประโยชน์จากการเพิ่มผลผลิต (Production Capacity) จากการลดขั้นตอนกระบวนการผลิต ลดค่าล่วงเวลา ลดค่าซ่อมแซมผลิตภัณฑ์จากของเสียในกระบวนการ ทำงานได้ถูกต้องตามมาตรฐาน มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน และมีผลกำไรเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มผลผลิตและขยายตลาดทั้งในและต่างประเทศ

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ในการวิจัยนี้ ทำการศึกษาด้านการปรับปรุงกระบวนการผลิต ที่วิเคราะห์ด้านการลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็น ส่งผลให้สามารถลดระยะทางและเวลาในการปฏิบัติงานลงได้ ถึงแม้จะไม่มากนัก แต่ส่งผลให้สามารถเพิ่มอัตราการผลิตขึ้นได้

6.2 ในงานวิจัยนี้ ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาวิธีการจัดวาง Layout ตำแหน่งเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตให้เหมาะสม มีพื้นที่ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นส่วนที่เหมาะสม

6.3 การทำแผนผังกระบวนการไหล (Process Flow Diagram) นี้ เป็นผังที่มีความละเอียดมาก เนื่องจากมีกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจริงๆ ในกระบวนการ ซึ่งใช้สัญลักษณ์ วงกลมเล็ก จึงทำให้มีขั้นตอนกระบวนการมาก และมีความละเอียดในการวิเคราะห์มากขึ้น

6.4 ผลจากการวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ปรับใช้ได้กับบริษัทที่มีการดำเนินธุรกิจที่คล้ายกันนี้ได้

6.5 ในงานวิจัยนี้ ไม่ได้ดำเนินการวิเคราะห์ด้านผลกำไรที่จะได้รับเป็นเงินจากการทำกิจกรรมต่างๆ แต่หวังว่าจะสามารถนำไปเป็นแนวทางศึกษาต่อยอดได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากงบประมาณกองทุนส่งเสริมงานวิจัยปี 2567 จากสำนักวิจัยมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ในการจัดงานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้จากประสบการณ์ในการทดลองทำจริงและด้วยความร่วมมือของผู้

ร่วมวิจัยอีก 1 ท่าน ที่ได้ร่วมมือกันวิเคราะห์และปฏิบัติจนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ได้ผลออกมาใช้อ้างอิงสำหรับการพิจารณายึดถือเป็นแนวปฏิบัติในโรงงานต่างๆ ได้ต่อไป

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.บงกช เบญจมาภรณ์ อธิการบดีมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ที่ได้มีนโยบายในการพัฒนาบุคลากรอาจารย์ในมหาวิทยาลัยโดยสนับสนุนอนุมัติงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งคณาบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณาจารย์และนักวิจัยประจำสำนักมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรีทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ และเกิดประโยชน์ในการนำไปใช้ประโยชน์ในการปฏิบัติงานปรับปรุงกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมพอสมควร

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] บทความจากวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2568, เมษายน 18). วิศวกรรมอุตสาหการ, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/วิศวกรรมอุตสาหการ>
- [2] Sarah Laoyan. (2025, Jan. 11). 7 types of process improvement methodologies you should know about, [online] Available : <https://asana.com/resources/process-improvement-methodologies.Defects>
- [3] Seminar DD. (2025, Apr. 20). การบริหารการผลิตด้วยหลักวิศวกรรมอุตสาหการ Industrial Engineering Techniques (IE), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : <https://seminardd.com/s/66217>
- [4] U.S. Bureau of Labor Statistics. (2025, Apr. 23). Industrial Engineers, [online] Available : <https://www.bls.gov/ooh/architecture-and-engineering/industrial-engineers.htm>
- [5] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. (2562). *Industrial Work Study การศึกษางานอุตสาหกรรม*, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป.
- [6] เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ. (2562). *การศึกษางาน Work Study*, พิมพ์ครั้งที่ 4, ธ.ค. 2539 : กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ประกอบเมโทร.
- [7] ประเวศ อัครดากร และกิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2534). *หลักสูตรการเพิ่มผลผลิตด้วย IE เทคนิค*, เล่ม ที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [8] บทความจากวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2568). แผนภูมิพาเรโต, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_chart
- [9] Technical Center Team. (2023, Dec. 21). แผนภูมิแก๊งปลา (Fishbone Diagram) ใช้งานอย่างไร, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : <https://misumitechnical.com/technical/industrial-standard/get-to-know-about-fishbone-diagram/>
- [10] Siam Okura International Co., Ltd. (2024, May. 20). สภาพแวดล้อมการทำงานที่ดีเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : <https://www.okamura.co.th/article/good-work-environment/>

การใช้อาหารวุ้นที่ไม่พึ่งฆ่าเชื้อเพื่อประหยัดพลังงานในการขยายพันธุ์พืชโดยวิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเชิงอุตสาหกรรม

The Use of non-Autoclave Agar Media as for Energy Saving on Industrial Plant Propagation by Plant Tissue Culture Method

สุเทพ ทองแพ^{1*} และเพชรรัตน์ จันทรัตน์¹

Suthep Thongpae^{1*} and Petcharat Chuntarat¹

Received: May 16, 2025

Revise: June 28, 2025

Accepted: June 29, 2025

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีจัดการอุตสาหกรรมและพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

¹Department of Industrial and Energy Management Technology, Faculty of Science and Technology, Bangkok Thonburi University, Bangkok

*Corresponding author, E-mail :Suthep.tho@bkkthon.ac.th

บทคัดย่อ

การขยายพันธุ์พืชในเชิงอุตสาหกรรมด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีการลงทุน ใช้แรงงานและพลังงานสูง เนื่องจากต้องใช้เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อในการนึ่งฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายโดยใช้สารฟอกขาวที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 6% เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แทนการใช้เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ การศึกษาเริ่มจากการหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารฟอกขาวโดยใช้ความเข้มข้นของสารฟอกขาวในอาหารวุ้น 0 0.3 0.5 และ 1.0 มล./ล. แล้วเลือกความเข้มข้นที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารวุ้นได้หมด เมื่อได้ความเข้มข้นของสารฟอกขาวที่เหมาะสมแล้ว ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชในอาหารวุ้นที่ใส่สารฟอกขาว โดยศึกษาการวางพักอาหารวุ้นที่ใส่สารฟอกขาวเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ก่อนที่จะนำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช มี 7 ระยะคือ 0 (ไม่มีการวางพัก) 5 10 15 20 25 และ 30 วัน เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อพืชที่เพาะเลี้ยงในอาหารวุ้นที่ไม่ใส่สารฟอกขาวแต่มีการนึ่งฆ่าเชื้อ การทดลองจะใช้ชิ้นส่วนยอดของบีโกเนียที่มีใบเริ่มต้น 3 ใบ ผลการทดลองพบว่า อาหารวุ้นที่ใส่สารฟอกขาวเข้มข้น 0 และ 0.3 มล./ล. มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เมื่อตั้งอาหารทิ้งไว้นาน 4 สัปดาห์ ส่วนอาหารวุ้นที่ใส่สารฟอกขาวความเข้มข้น 0.5 และ 1 มล./ล. ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เลือกความเข้มข้นของสารฟอกขาว 0.5 มล./ล. เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่จะใช้ฆ่าเชื้อ เมื่อนำอาหารวุ้นที่ใส่สารฟอกขาวความเข้มข้นนี้ไปศึกษาระยะเวลาการวางพักอาหารวุ้นก่อนที่จะนำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบีโกเนีย พบว่า การวางพักอาหารวุ้นที่ใส่สารฟอกขาวนาน 10 วัน จะทำให้บีโกเนียมีการเจริญเติบโตดีที่สุดคือ มีจำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุด 15.00 ± 2.16 ใบ และมีความสูงยอดเฉลี่ยมากที่สุด 3.25 ± 0.28 ซม. เมื่อเทียบกับการเจริญเติบโตของ บีโกเนียในอาหารที่นึ่งฆ่าเชื้อซึ่งมีจำนวนใบเฉลี่ย 6.75 ± 1.50 ใบ และความสูงยอดเฉลี่ย 2.25 ± 0.28 ซม. แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งแสดงว่าการใช้สารฟอกขาวใส่ลงในอาหารวุ้นเข้มข้น 0.5 มล./ล. และพักอาหารไว้ 10 วัน สามารถแทนการนึ่งฆ่าเชื้อในอาหารวุ้นได้ และจากการประเมินการประหยัดพลังงาน พบว่า การเตรียมอาหารวุ้น 200 ลิตร ถ้าไม่พึ่งฆ่าเชื้อจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 250-300 KW หรือเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายจะประมาณ 1,125-1,350 บาท ซึ่งในการใช้สารฟอกขาวแทนจะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 3.40-5.80 บาทเท่านั้น

คำสำคัญ: สารฟอกขาว เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ประหยัดพลังงาน

ABSTRACT

According to high investment and high energy consumption on the autoclaving agar media for industrial plant propagation by plant tissue culture method, the research was done to use bleach that contains 6% of sodium hypochlorite (NaOCl) instead of using autoclaving as for energy saving. The first step of the research was done to find the appropriate concentration of bleach that can prevent microbial contamination in agar media. The bleach concentration of 0, 0.3, 0.5, and 1.0 ml/l were used. Then, the agar media with the appropriate concentration of bleach was used for the studying on the proper duration of resting before using for plant tissue culture. The resting periods were 0 (no resting), 5, 10, 15, 20, 25 and 30 days compared with the autoclaving agar media as for the growth of begonia. The results of the first step showed that after 4 weeks, the microbial contamination in agar media with bleach concentration at 0 and 0.3 ml/l can be found but at 0.5 and 1.0 ml/l can not be found. Therefore, the bleach concentration at 0.5 ml/l is an appropriate concentration that was used for the studying on the proper duration of resting period. The results found that the agar media with bleach at resting period 10 days gave the best growth of begonia. The average leaf number and shoot height were 15.00 ± 2.16 and 3.25 ± 0.28 cm. respectively. Whereas, the average leaf number and shoot height from the autoclaved agar media were 6.75 ± 1.50 and 2.25 ± 0.28 cm. respectively. The growth of begonia were highly significantly different. So, the used of bleach at concentration of 0.5 ml/l and keep resting agar media for 10 days can be used instead of the autoclaving agar media. As for the estimation of energy saving on non-autoclaving, the preparation of 200 liter of agar media can save the electric power about 250-300 KW that can be calculate as the expense about 1,125-1,350 baht. While the expense on the use of bleach is about 3.40-5.80 baht.

Keywords: bleach, plant tissue culture, energy saving

1. บทนำ

ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชส่วนใหญ่จะเพาะเลี้ยงในอาหารวันที่บรรจุในขวดแก้ว แล้วทำการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ซึ่งโดยการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูง โดยเริ่มจากต้องใช้ขวดแก้วและเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อซึ่งมีราคาสูงมาก มีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับไฟฟ้าหรือก๊าซที่ใช้ในการนึ่ง ผู้ที่ทำการนึ่งต้องมีความรู้เกี่ยวกับการควบคุมความร้อนและความดันในการนึ่ง นอกจากนี้การนึ่งฆ่าเชื้อแต่ละครั้งจะทำได้จำนวนจำกัดตามขนาดหม้อนึ่ง การนึ่งฆ่าเชื้อมีข้อดีตรงที่อาหารที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว เมื่อปล่อยให้เย็นสามารถนำไปใช้ได้ทันที และขวดแก้วที่ใช้เพาะเลี้ยงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ก็ต้องนำมาล้างทำความสะอาด ซึ่งถ้าใช้แรงงานในการล้าง ก็จะมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลาในการล้างมากเช่นกัน ปัจจุบันมีรายงานการนำสารเคมีหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ มาเติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชแทนการนึ่งฆ่าเชื้ออาหารด้วยการใช้เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อเพื่อให้อาหารอยู่ในสภาพปลอดเชื้อแล้วนำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช จากรายงานของกิตติศักดิ์ (2556) [1] ได้มีการใช้ ไฮเตอร์ความเข้มข้น 0.5 % ใส่ลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชแทนการใช้เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ Sookruksawong (2022) [2] รายงานการใช้ไฮเตอร์ที่ระดับความเข้มข้น 2, 4 และ 6 มล./ล. ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมันหนึบ ไม่พบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ Cardoso และ Imthurn (2018) [3] ใช้คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) ความเข้มข้น 0.0035-0.0105% สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเพาะเลี้ยงเยอบีร่าได้ ชนกานต์และคณะ (2566) [4] ศึกษาประสิทธิภาพของสารกันเสียและโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในการฆ่าเชื้อในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชแพนดรา ซึ่งเป็นไม้พุ่มชนิดหนึ่งพบว่า สารกันเสียมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในขณะที่โซเดียมไฮโปคลอไรท์ 0.10-0.50% มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ ราสีมา และคณะ (2564) [5] นุชรรัฐ และคณะ (2565) [6] พบว่า การเติม Haiter® 0.5 มล./ล. ลงในอาหารเพาะเลี้ยงต้นอ่อนพิโลเดนดรอน “เซอร์รีเรด” ส่งผลให้ต้นอ่อนมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด นอกจากนี้ยังมีสารกลุ่ม plant preservative mixture (PPM) ซึ่งเป็นสารที่สามารถควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เชื้อราและแบคทีเรียในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โดยใน PPM ประกอบไปด้วยสารหลายชนิด คือ

5-chloro 2-methyl 3 (2H) isothiazolone, 2-methyl-3 (2H) isothiazolone, magnesium chloride, magnesium nitrate, potassium sorbate และ sodium benzoate isothia แต่สาร PPM มีราคาค่อนข้างสูง (ชนากานต์และคณะ, 2566) [4]

ดังนั้นเพื่อให้การเตรียมอาหารวันในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเชิงอุตสาหกรรมทำได้สะดวก รวดเร็วและเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย จากการไม่ใช้พลังงานจึงเริ่มมีการใช้วิธีที่ไม่ต้องนึ่งฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ แต่จะใช้สารที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี สารที่มีจำหน่ายทั่วไปและมีราคาไม่แพง ได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite : NaOCl) ซึ่งสารนี้มีการผลิตในรูปสินค้าหลายชนิด เช่น ไฮเตอร์ คลอโรกซ์ มาร์วิน โปรแมกซ์ เป็นต้น (กรมอนามัย, มปป., 2567) [7] ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ผลิตภัณฑ์สารฟอกขาวไฮเตอร์

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้สารฟอกขาวเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารวันแทนการนึ่งอาหารในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

3. ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาความเข้มข้นของสารฟอกขาวที่เหมาะสมที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารวันรวมทั้งศึกษาระยะเวลาในการวางพักอาหารวันที่เติมสารฟอกขาวลงไป ก่อนที่จะนำอาหารวันไปใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เพื่อให้ทราบระยะเวลาในการวางพักอาหารวันที่เหมาะสมที่จะทำให้เนื้อเยื่อพืชมีการเจริญเติบโตดีที่สุด ทั้งนี้จะใช้เนื้อเยื่อส่วนยอดของ บีโกเนียที่มีใบ 3 ใบ เป็นพืชทดลอง

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมตัวอย่างพืช

ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการทดลอง คือ บีโกเนียที่เลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ นำมาขยายพันธุ์ในอาหารสูตร MS (Murashige and Skoog, 1962) [8] ที่เติม BA 0.2 mg/l เพื่อเพิ่มจำนวนต้นสำหรับการใช้ในการทดลอง

4.2 ศึกษาการใช้สารฟอกขาวในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารวันแทนการนึ่งฆ่าเชื้อ

การศึกษาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ

ขั้นตอนที่ 1: ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารฟอกขาวในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ทำโดยเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่ใส่สารฟอกขาวความเข้มข้น 4 ระดับคือ 0 0.3 0.5 และ 1 มล./ล. ตามวิธีการของกิตติศักดิ์ (2556) [1] หลังจากนั้นวางทิ้งไว้และสังเกตว่ามีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารที่ใส่สารฟอกขาวความเข้มข้นต่าง ๆ ดังกล่าวหรือไม่ บันทึกผลทุกสัปดาห์ เมื่อครบ 4 สัปดาห์จะได้อาหารที่ใส่สารฟอกขาวเข้มข้นต่ำสุดที่ไม่มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อ

ขั้นตอนที่ 2: ศึกษาการเจริญเติบโตของบีโกเนียในอาหารที่ใส่สารฟอกขาวความเข้มข้นที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนแรก โดยศึกษาการเจริญเติบโตในอาหารที่ใส่สารฟอกขาวแล้ววางพักไว้เป็นระยะเวลาต่าง ๆ ก่อนนำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบีโกเนีย 7 ระยะคือ 0 (ไม่มีการวางพัก) 5 10 15 20 25 และ 30 วัน เปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของบีโกเนียที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ไม่ใส่สารฟอกขาวแต่มีการนึ่งฆ่าเชื้อ การทดลองจะใช้ชิ้นส่วนยอดของบีโกเนียที่มีใบเริ่มต้น 3 ใบ เก็บข้อมูลความสูงของยอด และจำนวนใบ หลังจากเพาะเลี้ยงไว้ครบ 2 เดือน ในสภาพห้องที่มีอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส แสง 3000 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน การทดลองวางแผนแบบ Completely Randomized Design จำนวน 4 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS

4.3 การประเมินการประหยัดพลังงาน

การประเมินการประหยัดพลังงาน จะจำกัดขอบเขตเฉพาะเครื่องนั่งฆ่าเชื้อที่มีความจุในการนั่งอาหารวันครั้งละประมาณ 2 ลิตร ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งเครื่องนั่งฆ่าเชื้อแบบนี้มีการผลิตหลายยี่ห้อ และใช้ไฟฟ้ามากน้อยแตกต่างกันบ้าง นอกจากนี้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ยังขึ้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการนั่งฆ่าเชื้อแต่ละครั้งด้วย สำหรับกรณีที่ไม่มีเครื่องนั่งฆ่าเชื้อก็จะมีค่าใช้จ่ายจากการใช้สารในการฆ่าเชื้อแทน

5. ผลการวิจัย

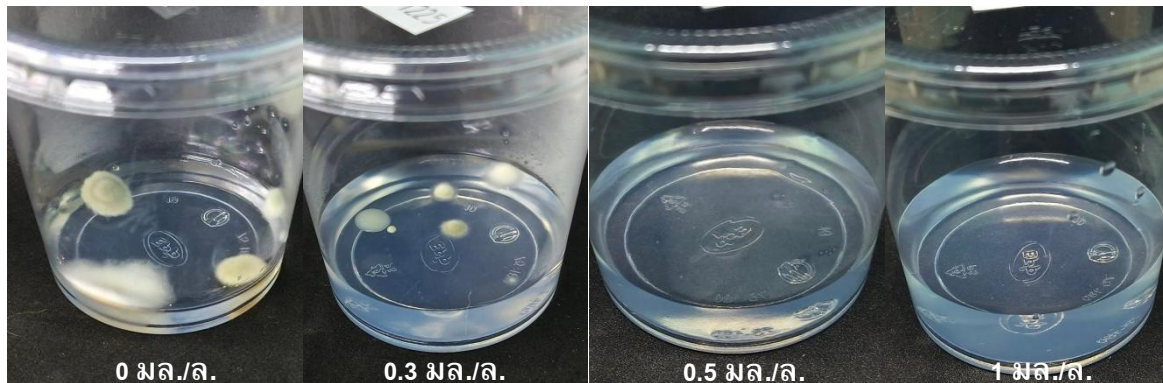
5.1 ศึกษาการใช้สารฟอกขาวในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารวันแทนการนั่งฆ่าเชื้อ

การศึกษาในขั้นตอนที่ 1: ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารฟอกขาวในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ผลการทดลองพบว่า ในภาชนะที่ใส่อาหารวันที่ได้เติมสารฟอกขาวเข้มข้น 0 และ 0.3 มล./ล. เมื่อวางภาชนะทิ้งไว้ 4 สัปดาห์ จะมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ แต่ในภาชนะที่ใส่อาหารวันที่ได้เติมสารฟอกขาวเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มล./ล. ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ แสดงว่าความเข้มข้นของสารฟอกขาวระดับ 0.5 และ 1.0 มล./ล. สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกการใช้สารฟอกขาวระดับ 0.5 มล./ล. เป็นระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อ ส่วนที่ระดับ 1.0 มล./ล. แม้จะสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด แต่ความเข้มข้นของสารฟอกขาวจะสูงเกินไป ซึ่งถ้านำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช สารฟอกขาวส่วนเกินจะไปทำลายเนื้อเยื่อพืช ผลการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารวันที่ได้เติมสารฟอกขาวความเข้มข้นระดับต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 1

การศึกษาในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งศึกษาการเจริญเติบโตของบีโกเนียในอาหารที่ได้ใส่สารฟอกขาวเข้มข้น 0.5 มล./ล. แล้ววางพักไว้เป็นระยะเวลาต่าง ๆ 7 ระยะคือ 0 (ไม่มีการพัก) 5 10 15 20 25 และ 30 วัน ก่อนที่จะนำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบีโกเนียเปรียบเทียบกับผลการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อบีโกเนียที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ไม่ใส่สารฟอกขาวแต่มีการนั่งฆ่าเชื้อแทน ผลการทดลองพบว่า การวางพักอาหารเป็นเวลา 5 10 และ 15 วัน เนื้อเยื่อบีโกเนียมีการเจริญเติบโตดีกว่าการเพาะเลี้ยงบีโกเนียในอาหารที่ไม่นั่งฆ่าเชื้อ โดยการวางพักอาหารเป็นเวลา 10 วันจะทำให้บีโกเนียมีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยมีจำนวนใบเฉลี่ย 15.00 ± 2.16 ใบ และมีความสูงยอดเฉลี่ย 3.25 ± 0.28 ซม. ซึ่งมีความแตกต่างจากการเพาะเลี้ยงในตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 1 รูปที่ 2 และ 3

5.2 การประเมินการประหยัดพลังงาน

เนื่องจากเครื่องนั่งฆ่าเชื้อที่มีจำหน่ายทั่วไป จะมีความแตกต่างกันที่ความจุ ชนิดของพลังงานที่ใช้ (ก๊าซหรือไฟฟ้า) ระยะเวลาที่ใช้ในการนั่ง เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างการประเมินการใช้เครื่องนั่งฆ่าเชื้อที่มีความจุประมาณ 2 ลิตร ใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งเครื่องนั่งฆ่าเชื้อประเภทนี้ ส่วนใหญ่จะใช้ไฟฟ้า (Power consumption) ประมาณ 2.5- 3.0 KW การนั่งฆ่าเชื้อแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จะอยู่ในช่วง 2.5-3.0 KWh ถ้ากำหนดให้ค่าไฟฟ้ามีราคาเท่ากับ 4.5 บาท/KWh ดังนั้นการนั่งฆ่าเชื้อแต่ละครั้ง (ได้อาหาร 2 ลิตร) จะมีค่าใช้จ่ายเป็นเงินประมาณ 11.25-13.50 บาท ซึ่งถ้าไม่มีการนั่งฆ่าเชื้อก็จะมีค่าใช้จ่ายในการใช้สารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งก็จะแตกต่างกันตามชนิดของสาร ขนาดบรรจุและสถานที่จำหน่าย จากการสำรวจราคาสารฟอกขาวไฮเตอร์ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2568 ที่ห้างโลตัสพบว่า ขนาดบรรจุ 600 มล. มีราคา 35 บาท ส่วนขนาดบรรจุ 2,500 มล. มีราคา 85 บาท ซึ่งถ้าคำนวณปริมาณสารฟอกขาวชนิดนี้ในการเตรียมอาหารวัน 2 ลิตร จะใช้สารนี้เพียง 0.5 มล./ล. x 2 เท่ากับ 1 มล. เมื่อคิดเป็นเงินจะได้ประมาณ 0.0340-0.0583 บาท ซึ่งเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เป็นค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการใช้สารฟอกขาวจะมีมูลค่าเพียง 0.30 - 0.43% ของค่าไฟฟ้า จะเห็นว่าในสถานประกอบการขยายพันธุ์พืชโดยวิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ถ้ามีการเตรียมอาหารวันละ 200 ลิตร ก็จะใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 250-300 KW คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 1,125- 1,350 บาท ซึ่งถ้าไม่มีการนั่งฆ่าเชื้อจะประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่ายส่วนนี้ โดยจะจ่ายค่าสารฟอกขาวเป็นเงินประมาณ 3.40-5.80 บาทเท่านั้น

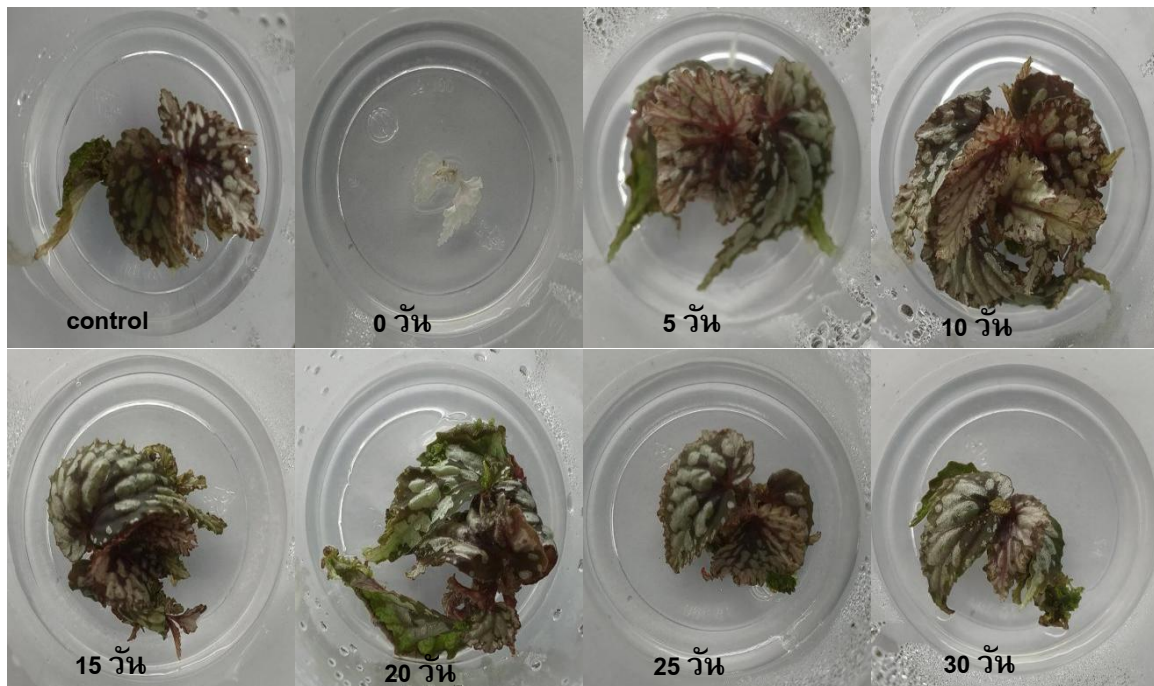


รูปที่ 1 แสดงการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารที่เติมสารฟอกขาวความเข้มข้น 0 0.3 0.5 และ 1 มล./ล.

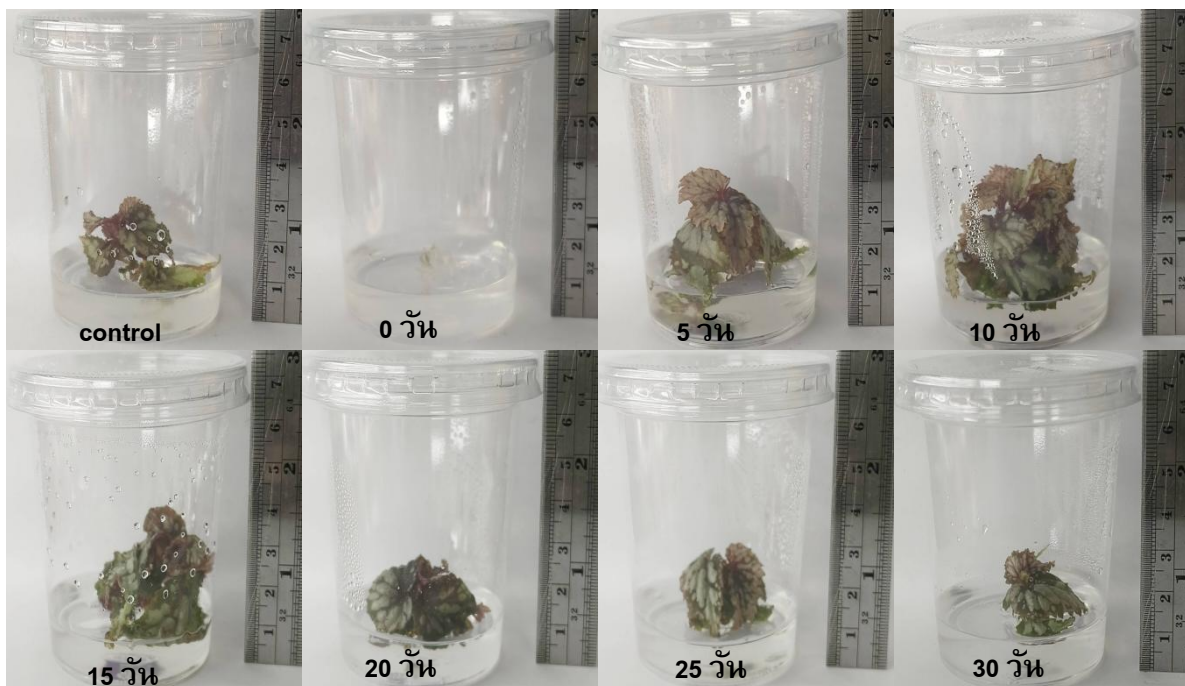
ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบ และความสูงของยอด (ซม.) ภายหลังการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนที่เป็นยอดของ ปักเณยเป็นระยะเวลา 2 เดือน บนอาหารที่ใส่สารฟอกขาว 0.5 มล./ล. ที่มีการพักอาหารก่อนใช้เป็นเวลา 0 5 10 15 20 25 และ 30 วัน เปรียบเทียบกับอาหารที่หนึ่งฆ่าเชื้อ

Treatments	จำนวนใบ	ความสูงยอด (cm.)
1.อาหารหนึ่งฆ่าเชื้อ	6.75±1.50cd	2.25±0.28bc
2.อาหารวันใส่สารฟอกขาว ไม่พักอาหาร (0 วัน)	4.25±0.96e	1.50±0.41d
3.อาหารวันใส่สารฟอกขาว พักอาหารก่อนใช้ 5 วัน	9.25±1.50b	2.50±0.41b
4.อาหารวันใส่สารฟอกขาว พักอาหารก่อนใช้ 10 วัน	15.00±2.16a	3.25±0.28a
5.อาหารวันใส่สารฟอกขาว พักอาหารก่อนใช้ 15 วัน	8.50±1.29bc	1.87±0.25cd
6.อาหารวันใส่สารฟอกขาว พักอาหารก่อนใช้ 20 วัน	6.75±0.50cd	1.87±0.47cd
7.อาหารวันใส่สารฟอกขาว พักอาหารก่อนใช้ 25 วัน	5.50±0.58de	2.0±0.0bcd
8.อาหารวันใส่สารฟอกขาว พักอาหารก่อนใช้ 30 วัน	5.25±0.50de	1.87±0.25cd
F-test	**	**
%CV	44.57	27.10

Means follow by different letters in the same column are significantly difference ($P<0.05$) by DMRT



รูปที่ 2 การเจริญเติบโตจากเนื้อเยื่อยอดของบีโกเนียบนอาหารวันที่ไม่ฆ่าเชื้อโดยเติมสารฟอกขาวเข้มข้น 0.5 มล./ล. ที่มีการพักอาหารก่อนใช้เป็นเวลา 0 5 10 15 20 25 และ 30 วัน เปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตในอาหารนั่งฆ่าเชื้อภายหลังการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นระยะเวลา 2 เดือน



รูปที่ 3 แสดงความสูง (ซม.) ของยอดบีโกเนียบนอาหารวันที่ไม่ฆ่าเชื้อโดยเติมสารฟอกขาวเข้มข้น 0.5 มล./ล. ที่มีการพักอาหารก่อนใช้เป็นเวลา 0 5 10 15 20 25 และ 30 วัน เปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตในอาหารนั่งฆ่าเชื้อภายหลังการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นระยะเวลา 2 เดือน

6. อภิปรายผล

จากการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารฟอกขาวในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารวันซึ่งพบว่า ความเข้มข้นของสารฟอกขาว 0 และ 0.3 มล./ล. ไม่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้หมด ยังมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้บ้างทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณของสารฟอกขาวที่มีสารโซเดียมไฮโปคลอไรท์มีปริมาณน้อยเกินไป ซึ่งโซเดียมไฮโปคลอไรท์จะเป็นตัวปลดปล่อย active chlorine เข้าไปทำลายโปรตีนของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ถูกทำลาย (นุชรัฐและคณะ, 2565) [6] เมื่อปริมาณสารนี้มีน้อยก็ไม่เพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้หมด ทำให้ยังมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้บ้างส่วนที่มีความเข้มข้นของสารฟอกขาว 0.5 และ 1.0 มล./ล. นั้น แสดงว่า มีปริมาณของสารโซเดียมไฮโปคลอไรท์มากพอที่จะปลดปล่อย active chlorine ออกมาทำลายโปรตีนของเยื่อหุ้มเซลล์ได้หมด ทำให้จุลินทรีย์ถูกทำลายตายทั้งหมด อย่างไรก็ตามการใช้ความเข้มข้นของสารฟอกขาว 1.0 มล./ล. น่าจะมากเกินไป ซึ่งจะทำให้ไปทำลายเซลล์ของเนื้อเยื่อพืชได้ ถ้านำอาหารวันที่มีสารฟอกขาวเข้มข้นขนาดนี้ไปทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ดังนั้นจึงเลือกใช้อาหารวันที่มีความเข้มข้นของสารฟอกขาว 0.5 มล./ล.

ในการทดลองการเจริญเติบโตของบีโกเนียในอาหารวันที่ใช้สารฟอกขาวเข้มข้น 0.5 มล./ล. แล้ววางพักไว้เป็นระยะเวลาต่าง ๆ ก่อนนำไปเพาะเลี้ยงบีโกเนีย เปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงบีโกเนียในอาหารที่ไม่ใส่สารฟอกขาวแต่มีการนึ่งฆ่าเชื้อ ซึ่งพบว่า อาหารวันที่ใช้สารฟอกขาวแล้วนำไปเพาะเลี้ยงบีโกเนียทันทีโดยไม่มีการวางพัก บีโกเนียจะมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะเนื้อเยื่อของบีโกเนียบางส่วนจะถูกทำลายโดย active chlorine เช่นเดียวกับเซลล์จุลินทรีย์ แต่เมื่อวางพักไว้ 5 10 และ 15 วัน จะทำให้การเจริญเติบโตของบีโกเนียดีขึ้นเพราะ active chlorine ที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้ถูกใช้ในการทำลายเซลล์จุลินทรีย์ในอาหารรวมทั้งน่าจะเข้าไปทำลายสารอินทรีย์ที่เป็นวัณบางส่วนด้วย

นอกจากปริมาณ active chlorine จะมีผลต่อการทำลายเซลล์จุลินทรีย์และเนื้อเยื่อพืชบางส่วนแล้ว โซเดียมไฮโปคลอไรท์ในสารฟอกขาวซึ่งมีโซเดียมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย จะมีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของอาหารวันเปลี่ยนแปลงด้วย โดยทั่วไปอาหารวันที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ที่มีสภาพเป็นกรดปานกลาง (pH~5.6) ซึ่งเป็นสภาวะที่ธาตุอาหารในอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพที่พืชดูดใช้ได้ดี (คณาจารย์ปฐพีวิทยา, 2544) [9] เมื่อวางพักอาหารที่ใช้สารฟอกขาวนานขึ้น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ในสารฟอกขาวจะค่อยๆทำให้ pH ของอาหารวันสูงขึ้นจนสุดท้ายจะมีสภาพเป็นด่าง (Estrela *et al.*, 2002) [10] ส่งผลให้ธาตุอาหารหลายธาตุในอาหารวันเปลี่ยนรูป ทำให้พืชดูดใช้ได้น้อยลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวางพักอาหารวันนาน 25 และ 30 วันก่อนที่จะนำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบีโกเนีย จะทำให้การเจริญเติบโตของบีโกเนียลดลง ทั้งๆที่ในช่วงนี้อิทธิพลของ active chlorine น่าจะมีน้อยหรือไม่มีแล้ว ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเป็นเพราะเนื้อเยื่อบีโกเนียดูดใช้ธาตุอาหารได้น้อย การพักอาหารวันหลังใส่สารฟอกขาวนาน 10 วัน ทำให้บีโกเนียมีการเจริญเติบโตดีที่สุดเพราะในช่วงนี้ปริมาณ active chlorine น่าจะเหลือน้อยมากหรือไม่มีแล้ว ประกอบกับ pH ของอาหารวันน่าจะถูปรับให้สูงขึ้นอยู่ในระดับที่เป็นกรดอ่อนๆ ซึ่งส่งเสริมให้บีโกเนียมีการดูดกินธาตุอาหารต่างๆในอาหารวันได้ดี

สำหรับการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อบีโกเนียในอาหารวันที่มีการนึ่งฆ่าเชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตน้อยกว่าอาหารที่ใช้สารฟอกขาวและวางพักไว้ 5 10 และ 15 วัน น่าจะเป็นเพราะการนึ่งอาหาร ใช้ความร้อนสูงมากถึง 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ซึ่งจะมีผลทำให้ฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตในอาหารวันสลายตัวหายไปบางส่วน รวมทั้งทำให้ธาตุอาหารบางธาตุเปลี่ยนรูปมีผลทำให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารได้น้อยลงด้วย (Cardoso and Imthurn, 2018) [3]

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองใช้อาหารวันที่ไม่เน่าเชื่อจุลินทรีย์ แต่ใช้สารฟอกขาวในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แทนในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบีโกเนียนั้น ถ้ามีการใช้สารฟอกขาวอย่างเหมาะสม ซึ่งในที่นี้จะใช้ปริมาณสารฟอกขาวเข้มข้น 0.5 มล./ล. และวางพักอาหารวันไว้ประมาณ 10 วัน ก่อนที่จะนำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบีโกเนีย จะทำให้การเจริญเติบโตของบีโกเนียดีกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารวันที่ไม่เน่าเชื่อ แต่ถ้านำอาหารวันที่ใช้สารฟอกขาวไปทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ บีโกเนียทันทีโดยไม่มีการพักทิ้งไว้ หรือพักทิ้งไว้นานเกินไป ก็จะทำให้การเจริญเติบโตของบีโกเนียน้อยกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารวันที่ไม่เน่าเชื่อ

เชื้อ ดังนั้นการใส่สารฟอกขาวในการฆ่าเชื้อแทนการนึ่งอาหาร สามารถทำได้โดยมีการจัดการที่เหมาะสม ซึ่งจะมีผลทำให้ประหยัดพลังงานและลดต้นทุนในการขยายพันธุ์พืชในเชิงอุตสาหกรรมมาก อย่างไรก็ตาม ในการที่จะใช้สารชนิดอื่นในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ หรือทำการขยายพันธุ์พืชชนิดอื่น ควรจะได้มีการทดสอบก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถใช้ทดแทนการนึ่งฆ่าเชื้อได้ ซึ่งก็จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในการนึ่งฆ่าเชื้อได้เช่นกัน

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากงบประมาณกองทุนส่งเสริมงานวิจัยปี 2567 จากสำนักวิจัยมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ในการจัดทำงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.บงกช เบญจมาภรณ์ อธิการบดีมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ที่ได้มีนโยบายในการพัฒนาบุคลากรอาจารย์ในมหาวิทยาลัยโดยสนับสนุนอนุมัติงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจและนำไปใช้ประโยชน์ในงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ โชติเดชานรงค์. (2558). ผลของน้ำยาฟอกผ้าขาวต่อการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อม่วงเทพรัตน์. *Rajabhat Journal of Science, Humanities & Social Science*, 14 (2), 34-43.
- [2] S.Sookruksawong. (2022). Sterilization and low-cost tissue culture techniques of *Dioscorea bulbifera*. *Science Technology and Social Sciences Procedia*, (4), rspg014.
- [3] J.C.Cardoso, and A. C. P., Imthurn. (2018). Easy and efficient chemical sterilization of the culture medium for in vitro growth of gerbera using chlorine dioxide (ClO₂). *Ornamental Horticulture*, 24(3), 218-224.
- [4] ชนากานต์ ลักษณะ, ยุพา เพ็งสา และ อรุณรักษ์ โสภพันธ์. (2566). การศึกษาประสิทธิภาพของสารกันเสียและโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไม้หนามเขปฟ้าแลนด์ร่า. *วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ*, 11(1), 57-66.
- [5] ราธิมา วาเมตติชา, บักรีน อาลี, นุรชานีชา เจดาโอ๊ะ และศุภณัฐ ภาณุจนวนวัฒน์. (2564). การใช้สารเคมีฆ่าเชื้อเดิมในอาหารสูตร MS เพื่อเพาะเลี้ยงฟีโลเดนดรอน “รวยทรัพย์” ใน สภาพปลอดเชื้อ. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 13(1), 377-387.
- [6] นุชรัฐ บาลลา, ณัฐพงศ์ จันจุฬา, ธิติพัฒน์ วิเปลิ้น, บุนนทริกา นันทา, นฤตยา นันยา, สุรกันต์ โพธิ์แก้ว, กันยารัตน์ วันนา และศิริญา คาซิม่า. (2565). กรรมวิธีในการฆ่าเชื้ออาหารสูตร MS สำเร็จรูป เพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงฟีโลเดนดรอน “เซอร์รี่โรด” ใน สภาพปลอดเชื้อ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 41(1), 119-129.
- [7] กรมอนามัย, มปป. (2567). คำแนะนำในการทำความสะอาด ทำลายและฆ่าเชื้อโรคในสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://covid19.anamai.moph.go.th>
- [8] T. Murashige, and F. Skoog. (1962). A revised medium for rapid growth and bio-assay with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473-497.
- [9] คณาจารย์ปฐพีวิทยา. (2544). ดินกรด ดินด่าง ดินเกลือ. *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนพหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900. หน้า 186-199.
- [10] C. Estrela, C.R.A. Estrela, E. L. Barbin, J.C.E. Spanó, M. A. Marchesan, and J. D. Pécora. (2002). Mechanism of Action of Sodium Hypochlorite. *Brazilian Dental Journal*, 13(2), 113-117.

การพยากรณ์การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (CFO) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ในการขนส่งของบริษัทรถพ่วงขนาดเล็กในประเทศไทยตามปัจจัยการวัดประสิทธิภาพยานยนต์

Carbon Footprint (CFO) Forecasting Using Artificial Neural Networks (ANN) in Transportation of Small Trailer Companies in Thailand Based on Vehicle Efficiency Metrics

ธนิตศักดิ์ พุดทิพัฒน์โมษิต¹ เปรมพร เขมาวุฒ^{2*} อานันท์ บุตรรัตน์³ กวินเวทย์ พิพิธนาชนยธร¹ และอัสรียากร สง่าอารีย์กุล⁴

Thnitsak Pudtipatkosit¹, Premporn Khemavuk^{2*}, Anan Butrat³, Kawinwet Pipitthanathunyathorn¹,
Atsareeyaporn Sangaareegul⁵

¹สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์และเทคโนโลยีการบิน มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์ไทย

¹Bachelor of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Logistics and Aviation Technology, Southeast Bangkok College, Bangkok

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

³ภาควิชาวิศวกรรมจัดการอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

³Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani

⁴สาขาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

⁴Logistics and Supply Chain Management Program, Faculty of Business Administration, Bangkok University, Bangkok

*Corresponding author, E-mail: ppm@kmutnb.ac.th², thanitsak.yong@gmail.com¹

Received: January 16, 2025

Revise: March 10, 2025

Accepted: March 11, 2025

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาแนวโน้มการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (CFO) จากโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ในภาคการขนส่งของบริษัทรถพ่วงขนาดเล็กในประเทศไทย จากปัจจัยการวัดประสิทธิภาพยานยนต์ ได้แก่ ประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะ (OVE) ประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะในการขนส่ง (TOVE), และ ประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะแบบปรับปรุง (MOVE) ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้งานของรถบรรทุกในด้านต่างๆ เช่น การเผาไหม้เครื่องยนต์ การจัดการเส้นทางการขนส่ง และการใช้พลังงานในการขนส่ง ขณะที่โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) สามารถนำมาใช้ในการศึกษาแนวโน้มการปล่อย CO₂ โดยพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเร็ว อัตราเร่ง น้ำหนักบรรทุก และสภาพถนน รวมถึงสามารถจับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนในข้อมูลเหล่านี้และคำนวณการปล่อย CO₂ อย่างแม่นยำ ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) สามารถเป็นเครื่องมือศึกษาแนวโน้มอัตราการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในอุตสาหกรรมขนส่ง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยให้การพยากรณ์แม่นยำและตอบสนองต่อปัจจัยที่ซับซ้อนได้ดีกว่า แต่ยังมี ความท้าทายในเรื่องการจัดการข้อมูลที่ซับซ้อนและต้นทุนในการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบ

คำสำคัญ: การพยากรณ์, คาร์บอนฟุตพริ้นท์, โครงข่ายประสาทเทียม, ประสิทธิภาพยานยนต์, การขนส่ง

Abstract

This article aims to study the trends in carbon footprint (CFO) emissions using artificial neural networks (ANN) in the transportation sector of small trailer companies in Thailand, based on vehicle efficiency metrics such as Overall Vehicle Efficiency (OVE), Transportation Overall Vehicle Efficiency (TOVE), and Modified Overall Vehicle Efficiency (MOVE). These metrics reflect the operational efficiency of trucks in various aspects, including engine combustion, route management, and energy consumption in transportation. ANN can be utilized to analyze CO₂ emission trends by considering factors such as speed, acceleration, payload weight, and road conditions. It can also capture complex relationships within these data and accurately calculate CO₂ emissions. This suggests that ANN can serve as a valuable tool for studying carbon footprint emission trends in the transportation industry. Moreover, the use of ANN enhances forecasting accuracy and improves responsiveness to complex factors. However, challenges remain in managing intricate datasets and addressing the costs associated with system implementation and maintenance.

Keywords: Prediction, Carbon Footprint, Artificial Neural Networks, Vehicle Efficiency, Transportation

1. บทนำ

สถานการณ์โลกที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน จากการที่ต้องเผชิญกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิสูงหรือต่ำผิดปกติอันเนื่องมาจากสาเหตุ ฝนตกหนัก ฝนแล้ง ลมพายุรุนแรง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเหล่านี้ มีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเกินไปจนเกินกว่าสมดุลธรรมชาติ จาก [1] นอกจากนี้ [2] เน้นถึงคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นเป้าหมายร่วมกันและหลีกเลี่ยงไม่ได้ในการลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในทำนองเดียวกัน [3] ได้กล่าวถึงผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสังคมมนุษย์ระบบนิเวศและเศรษฐกิจ โดยเน้นย้ำถึงความสำคัญของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการปรับตัวให้เข้ากับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจ สังคมและระบบนิเวศทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมาพบว่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปัจจัยสำคัญต่อการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกและเกี่ยวข้องกับผลเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากโดยที่กิจกรรมด้านโลจิสติกส์ในโซ่อุปทานทั่วโลกกลายเป็นสาเหตุสำคัญของการปล่อยมลพิษทางอุตสาหกรรมและมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นภัยคุกคาม แม้ว่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกี่ยวข้องกับโลจิสติกส์จำนวนมาก โดยเฉพาะกระบวนการขนส่งสินค้าในประเทศซึ่งมีการปล่อยมลพิษจากการขนส่งทางถนน (เช่น น้ำ มันเชื้อเพลิง) ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายสินค้าในประเทศต้นทางหรือประเทศปลายทาง ระหว่างโรงงาน และท่าเรือต้นทางหรือปลายทาง และการขนส่งระหว่างประเทศ การปล่อยมลพิษจากเรือเดินสมุทร (เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง) ระหว่างท่าเรือต้นทางและปลายทาง นอกจากนี้ทั่วโลกให้ความสำคัญกับความยั่งยืนมากขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศต่างๆ ให้ลดปริมาณการปล่อยคาร์บอน โดยเฉพาะในภาคการขนส่งที่มีส่วนทำให้เกิดการปล่อยคาร์บอนจำนวนมาก และต้องเผชิญกับแรงกดดันในการนำกลยุทธ์ที่สมดุลระหว่างประสิทธิภาพการดำเนินงานกับความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้ เพื่อกำหนดแผนปฏิบัติการที่มีประสิทธิผลเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนในขณะที่ยังคงดำเนินการด้านโลจิสติกส์ที่จำเป็น

จากภาคการขนส่งไทยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) กว่าร้อยละ 30 ของการปล่อยก๊าซในภาพรวม โดยการขนส่งทางถนนปล่อย CO₂ สูงที่สุด เฉลี่ยถึงร้อยละ 87 ซึ่งสัดส่วนการปล่อยของรถที่ใช้ขนส่งคนและขนส่งสินค้าคิดเป็นร้อยละ 47:43 รองลงมาคือ การขนส่งทางอากาศทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศประมาณร้อยละ 12 จึงทำให้เป้าหมายของแผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี 2564-2573 กำหนดความจำเป็นที่ประเทศไทยต้องลดการปล่อย CO₂ อย่างน้อยร้อยละ 40 หรือประมาณ 48 MtCO₂e ในปี 2573 โดยมุ่งไปสู่การลดปริมาณการปล่อย CO₂ สำหรับการขนส่งทางถนนเป็นหลัก [4] นอกจากนี้ภาคการขนส่งมีการปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ร้อยละ 0.1 ดังนั้น

การพยากรณ์การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นต์ (CFO) ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ในการขนส่งมีความสำคัญเนื่องจากช่วยให้สามารถคาดการณ์แนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะในภาคการขนส่งซึ่งเป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิด CO₂ หลักการใช้ ANN ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่ซับซ้อน เช่น ความเร็วของรถบรรทุก อัตราเร่ง น้ำหนักบรรทุกและสภาพถนน ซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอน การพยากรณ์ที่แม่นยำช่วยให้บริษัทสามารถกำหนดกลยุทธ์เพื่อลดการปล่อย CO₂ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การปรับปรุงเส้นทางการขนส่ง การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง และการวางแผนบำรุงรักษายานพาหนะ นอกจากนี้บริษัทที่ให้บริการขนส่งขนาดเล็กมักมีข้อจำกัดด้านทรัพยากร การใช้ ANN ช่วยลดต้นทุนในการเก็บข้อมูลจำนวนมากและทำให้สามารถนำข้อมูลที่มีอยู่มาวิเคราะห์แนวโน้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยให้ธุรกิจสามารถดำเนินงานได้อย่างยั่งยืนและสอดคล้องกับมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดมากขึ้น

2. คาร์บอนฟุตพริ้นท์

World Energy Council (2021) [4] อธิบายว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกจากแต่ละหน่วยของสินค้า ตลอดจนวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ กระบวนการผลิตหรือการประกอบ การกระจายสินค้า การใช้งาน และการจัดการของเสียเมื่อหมดอายุการใช้งาน รวมถึงการขนส่งที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ คาร์บอนฟุตพริ้นท์จะถูกคำนวณและแสดงผลในหน่วยกรัม กิโลกรัม หรือตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

Helmers (2021) [5] กล่าวว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์ หมายถึง การวัดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) รวมถึงก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ เช่น ก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ที่ปล่อยออกมาตลอดทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ บริการ หรือองค์กร โดยการพิจารณาถึงการปล่อยก๊าซจากกิจกรรมต่าง ๆ ตั้งแต่การผลิต การขนส่ง การใช้งาน จนถึงการจัดหรือรีไซเคิล เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบจากกิจกรรมมนุษย์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ข้อมูลที่ได้จากการวัดนี้จะถูกใช้เป็นตัวชี้วัดว่ากิจกรรมนั้น ๆ มีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนหรือไม่ และจะนำมาคำนวณในรูปของค่าปริมาณ เช่น กิโลกรัม (kg CO₂ equivalent) หรือ ตัน (tons CO₂ equivalent)

ก๊าซเรือนกระจก เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นภาคเกษตรกรรม การพัฒนาและขยายตัวของอุตสาหกรรม การขนส่ง การตัดไม้ทำลายป่า และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างไม่ยั่งยืน ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ภาวะโลกร้อนทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกกำลังเผชิญกับผลกระทบจากภาวะโลกร้อนและให้ความสำคัญกับมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากขึ้น หนึ่งในแนวทางสำคัญคือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับองค์กร (Carbon Footprint for Organization; CFO) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการดำเนินงานขององค์กร แนวทางนี้ช่วยให้สามารถกำหนดมาตรการจัดการและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระดับโรงงานอุตสาหกรรมและระดับประเทศ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2564) [6]

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นก๊าซที่สามารถดูดซับคลื่นความร้อนหรือรังสีอินฟราเรดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการรักษาเสถียรภาพของอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศโลก หากโลกปราศจากก๊าซเรือนกระจกเช่นเดียวกับดาวเคราะห์บางดวงในระบบสุริยะ อุณหภูมิในช่วงกลางวันจะร้อนจัด ขณะที่กลางคืนจะหนาวเย็นอย่างรุนแรง ส่งผลให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันและไม่เอื้อต่อการดำรงชีวิต

ก๊าซเรือนกระจกประกอบด้วยก๊าซหลายชนิดที่สามารถดูดซับและกักเก็บคลื่นความร้อนในชั้นบรรยากาศ ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกหลัก ได้แก่ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน มีเทน และไนตรัสออกไซด์ อย่างไรก็ตามพิธีสารเกียวโตได้กำหนดให้มีการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยจำแนกออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF₃) ซึ่งล้วนมีบทบาทสำคัญต่อภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

3. การประเมินและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานยานพาหนะ

ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) ถูกพัฒนาขึ้นในตอนแรกเพื่อนำการบำรุงรักษาผลผลิตโดยรวมมาใช้ ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคนิคแบบสิ้นสำหรับการผลิตที่มีประสิทธิภาพ โดยจะคำนวณผลผลิตในแง่ของความพร้อมใช้งานทั้งประสิทธิภาพ และคุณภาพ เพื่อติดตามและปรับปรุงระบบอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง OEE ถูกใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยมีตัวแปรต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพของกลุ่มเครื่องมือโดยรวม ประสิทธิภาพผลผลิตโดยรวม และประสิทธิภาพพื้นที่โดยรวม ซึ่งใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสินทรัพย์อุตสาหกรรมแต่ละแบบมีพารามิเตอร์เฉพาะในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น ผลผลิต และประสิทธิภาพการจัดวางตามลำดับ

ดังนั้นจึงมีการนำ OEE มาปรับปรุงใช้กับการขนส่งโดยถือว่าการขนส่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดของเสีย 1 ใน 7 สิ่ง ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่มที่จำเป็นต้องกำจัด อย่างไรก็ตามบริษัทผู้ให้บริการในภาคส่วนโลจิสติกส์มองว่ากระบวนการจัดส่งเป็นกิจกรรมสำคัญสำหรับความพึงพอใจของลูกค้าและการเติบโตทางเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนา OEE หลายรูปแบบโดยเฉพาะสำหรับภาคส่วนการขนส่งโดยทั้งหมดนี้ประเมินประสิทธิภาพและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของยานพาหนะในแง่ขององค์ประกอบหลักสามประการ ได้แก่ ความพร้อมใช้งาน ประสิทธิภาพ และคุณภาพ ประการแรก ได้มีการนำตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะ (OVE) มาใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพของยานพาหนะขนส่งสินค้าทางถนนโดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ของความพร้อมใช้งาน อัตราประสิทธิภาพ และเครื่องหมายคุณภาพ อย่างไรก็ตาม OVE ไม่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์ที่มีจุดหมายปลายทางหลายแห่งต่อการจัดส่งหนึ่งครั้ง OVE ให้ความสำคัญเส้นทางที่มีประสิทธิภาพน้อยกว่ามุมมองของการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิง ในความเป็นจริง ตัวบ่งชี้จะให้ค่าที่ดีกว่าสำหรับเส้นทางที่ลดระยะทางรวมให้น้อยที่สุด โดยไม่คำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะที่ส่งผลต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงการประมาณประสิทธิภาพที่เหมาะสมกว่าคือการพิจารณาว่าการเคลื่อนย้ายน้ำหนักเท่าใดและระยะทางเท่าใดเพื่อแก้ปัญหาประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะที่ปรับเปลี่ยนแล้ว (MOVE) จะแบ่งองค์ประกอบประสิทธิภาพออกเป็นประสิทธิภาพของเส้นทางและประสิทธิภาพของเวลา องค์ประกอบแรกจะประเมินประสิทธิภาพของเส้นทางในแง่ของน้ำหนักและระยะทางเมื่อเทียบกับระยะทางที่ถูกใช้ นอกจากนี้แล้ว ทาง [7,8] จึงได้พัฒนาตัวบ่งชี้ตาม OEE อีกตัวหนึ่ง คือ ประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะในการขนส่ง (TOVE) พิจารณาถึงการสูญเสียใหม่ๆ หลายประการที่เกี่ยวข้องกับความพร้อมใช้งานของยานพาหนะ เวลา การบำรุงรักษาเชิงป้องกันและนอกกำหนดการการเสียหาย ความล่าช้าที่มากเกินไปที่เกิดจากลูกค้า และคุณภาพของบริการ ประสิทธิภาพของกระบวนการขนส่งในมาตรวัด TOVE ได้มาจากการคูณอัตราความพร้อมใช้งานในการบริหาร ความพร้อมในการปฏิบัติงาน ประสิทธิภาพ และคุณภาพ

การแนะนำตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพและผลผลิตของการขนส่งทางถนนที่เรียกว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะ OVE [7] ซึ่งเป็นตัววัดประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขนส่ง โดยใช้หลักการในการดัดแปลงประสิทธิภาพโดยรวมของอุปกรณ์ OEE ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายและยอมรับในการผลิตเพื่อกำหนดประสิทธิภาพในการผลิต ซึ่งนำมาประยุกต์กับการขนส่งโดยดูจากอุปกรณ์ที่เสียหายที่เกิดขึ้นจากการขนส่งมี 5 ประเภทที่ซึ่งระบุใน OVE ได้แก่ การเบรกของคอนกรีต เวลาในการบรรทุกเกิน การสูญเสียการเติม การสูญเสียความเร็ว และความล่าช้าด้านคุณภาพ [9] การสูญเสียที่ส่งผลต่อความพร้อมใช้งาน ดังนั้นกรอบของตัววัดประสิทธิภาพของการขนส่ง และให้โครงสร้างและความสัมพันธ์ที่ชัดเจนของตัวบ่งชี้ที่สามารถใช้เพื่อระบุช่องว่างในการปรับปรุงใน OVE มีตัวแปรหลักที่นำมาพิจารณาแบ่งออกเป็น 3 ด้านหลัก ได้แก่ ความพร้อมใช้งาน (Availability) สมรรถนะ (Performance) และคุณภาพ (Quality) [10] โดยมีสมการดังนี้

$$OVE = Availability \times Performance \times Quality \quad (1)$$

ดังนั้น OVE ในรูปแบบเดิมไม่ได้มีการพิจารณาประสิทธิภาพด้านพลังงานเมื่อทำการเลือกเส้นทางขนส่งโดยวิธีการคำนวณ OVE จะกำหนดค่า OVE ที่สูงกว่าให้กับเส้นทางที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานน้อยกว่า เมื่อการจัดส่งหรือการรับสินค้าเกิดขึ้นที่จุดหมายปลายทางจำนวนมาก (หลายจุด) ปัญหานี้ถูกระบุสำหรับการส่งหรือการรับสินค้าหลายครั้ง เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงมีการเพิ่มส่วนประกอบใหม่ให้กับ OVE เพื่อวัดประสิทธิภาพของเส้นทาง ดังนั้น OVE จึงใช้รูปแบบใหม่เพื่อให้กลายเป็นประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะที่ปรับเปลี่ยน MOVE [11] โดยมีตัวแปรหลักในการพิจารณาแบ่ง

ได้แก่ การใช้ยานพาหนะ (Vehicle Utilization) ประสิทธิภาพเส้นทาง (Route Efficiency) ประสิทธิภาพด้านเวลา (Time Efficiency) และ อัตราคุณภาพ (Quality rate) [12] ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

$$\text{MOVE} = \text{Vehicle Utilization} \times \text{Route Efficiency} \times \text{Time Efficiency} \times \text{Quality rate} \quad (2)$$

นอกจากนี้ตัวชี้วัดด้านประสิทธิภาพการขนส่งที่เรียกว่า TOVE (Transportation Overall Vehicle Effectiveness) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย [8] เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพการขนส่งโดยมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากตัวชี้วัด OEE โดยที่ TOVE ขยายขอบเขตการประเมินจากเวลาพร้อมใช้งานในด้านการบริหารจัดการ และเวลาหยุดที่มีการวางแผน รวมถึงการบำรุงรักษาเพื่อให้ครอบคลุมกิจกรรมด้านการขนส่งโดยแบ่งกิจกรรมขององค์กรออกเป็นกิจกรรมระหว่างขนส่งที่เกี่ยวกับการทำงานของยานพาหนะที่ใช้งานอยู่ (In-Transit (IT)) และไม่ใช่กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง แต่ไม่ได้มีการใช้งานยานพาหนะโดยตรง (Non-In-Transit (NIT)) เช่น การวางแผน การบำรุงรักษา ดังนั้น TOVE มีตัวแปรที่ใช้ในการประเมินได้แก่ เวลาพร้อมใช้งานในด้านการบริหารจัดการ (Administrative Availability) เวลาพร้อมใช้งานด้านการดำเนินงาน (Operating Availability) สมรรถนะ (Performance) และ คุณภาพ (Quality) ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

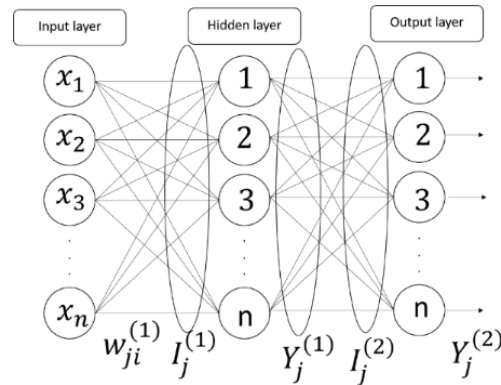
$$\text{TOVE} = \text{Administrative Availability} \times \text{Operating Availability} \times \text{Performance} \times \text{Quality} \quad (3)$$

อย่างไรก็ตามการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อการคาดการณ์การปล่อยคาร์บอนนั้น จากการศึกษาเหล่านี้ ทำให้เห็นแนวทางในการรวมตัวชี้วัด OEE, OVE, TOVE, และ MOVE เข้าด้วยกันเพื่อติดตามและวิเคราะห์การปล่อยก๊าซคาร์บอนในยานพาหนะโลจิสติกส์การประยุกต์ใช้ ANN ในลักษณะนี้จะสามารถช่วยให้การติดตามและจัดการการปล่อยคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถคาดการณ์ระดับการปล่อยก๊าซในแต่ละการดำเนินงานและวางแผนลดการปล่อยก๊าซได้ล่วงหน้าในทำนองเดียวกัน การศึกษานี้จะไม่เพียงแต่ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันของกองยานพาหนะที่บรรทุกสินค้าเท่านั้น แต่ยังคาดการณ์ผลลัพธ์ของกลยุทธ์การลดคาร์บอนต่างๆ อีกด้วย ซึ่งจะช่วยให้บริษัทต่างๆ สามารถปรับแนวทางให้สอดคล้องกับเป้าหมายด้านความยั่งยืนและข้อกำหนดด้านกฎระเบียบ เมื่อกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมเข้มงวดขึ้นและผู้บริโภคมีความต้องการด้านโลจิสติกส์สีเขียวเพิ่มมากขึ้น โมเดลในการคาดการณ์ที่เสนอไว้ในการศึกษานี้จะกลายเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับบริษัทต่างๆ ที่ต้องการรักษาความสามารถในการแข่งขันในขณะที่ลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนให้เหลือน้อยที่สุด

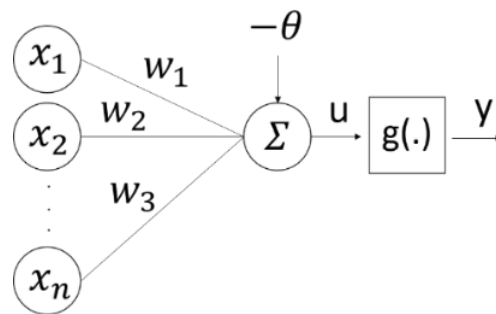
4. เครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

เครือข่ายประสาทเทียม ANN สามารถอธิบายได้ว่าเป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขที่พัฒนาจากโครงสร้างของระบบประสาท โดยอาศัยโครงสร้างและความสามารถในการเรียนรู้ของสมองมนุษย์ แม้ว่าการวิจัยเชิงสำรวจจะดำเนินการอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปี 1986 เมื่อได้รับการนำเสนอวิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ [13] แต่เครือข่ายประสาทเทียมแบบคลาสสิกเริ่มต้นขึ้นในช่วงต้นทศวรรษปี 1940 โดยแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองต่างๆ แต่คุณสมบัติความยืดหยุ่น ความไม่เชิงเส้น การเรียนรู้ และการสรุปทั่วไปยังคงเป็นลักษณะสำคัญของ ANN ปัญหาที่ซับซ้อนสามารถแก้ไขได้ด้วยฟังก์ชันความไม่เชิงเส้นในกระบวนการ ANN [14] ดังนั้น ANN ถูกนำไปใช้และประสบความสำเร็จในหลายสาขา เช่น การคาดการณ์ การจำแนก การจัดกลุ่มการสร้างข้อมูลใหม่ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม มีแบบจำลอง ANN หลายประเภท ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น MLP ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายและมีประสิทธิภาพในหลากหลายสาขาต่างๆ [15]

โครงสร้างของ MLP แสดงในรูปที่ 1 [15] มีชุดนิวรอนเทียมที่เชื่อมต่อกันด้วยการเชื่อมต่อแบบซินแนปส์ ประกอบด้วยชั้นอินพุต ชั้นซ่อนอย่างน้อยหนึ่งชั้น และชั้นเอาต์พุต แต่ละชั้นประกอบด้วยนิวรอนหรือโหนดเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวโหนดของชั้นอินพุตแต่ละชั้นแสดงตัวแปรอินพุตของแบบจำลอง ในขณะที่โหนดของชั้นเอาต์พุตแสดงตัวแปรเอาต์พุต ชั้นซ่อนมีหน้าที่แบ่งลักษณะข้อมูลโดยกำหนดน้ำหนักระหว่างกระบวนการฝึกอบรม นอกจากนี้โหนดของชั้นซ่อนยังทำการประมวลผลข้อมูลส่วนใหญ่ในเครือข่าย MLP [17,18,19]



รูปที่ 1 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทการรับรู้หลายชั้น



รูปที่ 2 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทการรับรู้หลายชั้น

จากรูปที่ 2 เซลล์ประสาทเทียมประกอบด้วยสัญญาณอินพุต ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) ค่าน้ำหนัก ($w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$), การรวมเชิงเส้นหรือผลรวม (Σ), ค่าขีดจำกัด (θ), ค่าที่ได้จากการรวมเชิงเส้น (ศักยภาพการเปิดใช้งาน: u), ฟังก์ชันการเปิดใช้งาน (g) และเอาต์พุต (y) โหนดแต่ละโหนดมีการรวมเชิงเส้นเพื่อปรับสัญญาณอินพุตโดยใช้ค่าน้ำหนักและค่าขีดจำกัดเพื่อสร้างค่าจากการรวมเชิงเส้น สมการ (4) แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าจากการรวมเชิงเส้นเพื่อรับค่าเอาต์พุตผ่านฟังก์ชันการเปิดใช้งาน เช่น ฟังก์ชันโลจิสติกส์หรือซิกมอยด์ ฟังก์ชันแทนเจนต์ไฮเพอร์โบลิค และฟังก์ชันเชิงเส้น จากรูปที่ 1 ภาพรวมของ MLP คือการเชื่อมต่อเซลล์ประสาทเทียมที่โหนดแต่ละโหนดและแต่ละเลเยอร์เชื่อมต่ออย่างสมบูรณ์กับโหนดถัดไป ดังนั้นสมการ (4) ค่าอินพุตของฮิดเดินเลเยอร์ ($I_j^{(1)}$) คำนวณโดยการคูณค่าอินพุตและเมทริกซ์ของค่าน้ำหนัก $w_{ji}^{(1)}$ สมการ (5) ใช้ในการคำนวณค่าเอาต์พุตของแต่ละโหนดในฮิดเดินเลเยอร์ $Y_j^{(1)}$ ผ่านฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในโหนด (neurons) ของเครือข่ายประสาทเทียม เช่นเดียวกับสมการ (6) ค่าอินพุตของเอาต์พุต ($I_j^{(2)}$) เป็นการคำนวณจากสมการ (7) ให้ค่าเอาต์พุต ($Y_j^{(2)}$) โดยใช้สมการ (8)

$$y = g(\sum w_i \times x_i - \theta) \quad (4)$$

$$I_j^{(1)} = \sum w_{ji}^{(1)} x_i \quad (5)$$

$$Y_j^{(1)} = g(I_j^{(1)}) \quad (6)$$

$$I_j^{(2)} = \sum w_{ji}^{(2)} Y_i \quad (7)$$

$$Y_j^{(2)} = g(I_j^{(1)}) \quad (8)$$

อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบมีผู้สอนที่เรียกว่า Back-propagation เป็นอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับการฝึกฝน (Training) เครือข่ายประสาทเทียมแบบมีผู้สอน (Supervised learning) ซึ่งทำหน้าที่ปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ของโมเดล โดยมีการวนการลดข้อผิดพลาดจากการส่งค่าความผิดพลาด (Errors) ย้อนกลับจากชั้นผลลัพธ์ (Output) ไปยังชั้นอินพุต (Input) และปรับน้ำหนัก (Weights) ตามข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างค่าจริง (Actual values) และค่าที่คำนวณได้ (Calculated values) อัลกอริทึมนี้เป็นหนึ่งในอัลกอริทึมการเรียนรู้ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้แบบมีผู้สอน โดยการปรับน้ำหนักถูกดำเนินการผ่านกระบวนการลดข้อผิดพลาด (Minimization procedure) อัลกอริทึมการเรียนรู้มีหลายประเภทที่อาศัยการปรับน้ำหนัก เช่น Conjugate Gradient, Quasi-Newton, Gradient Descent และ Levenberg-Marquardt [20,21]

4. การประยุกต์ใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียมพยากรณ์การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การคาดการณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับแผนปฏิบัติการที่มุ่งลดการปล่อยคาร์บอนจากกองยานพาหนะบรรทุกล่วงหน้าเป็นการประยุกต์ใช้ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) T. Limanond et al. (2010) [22] มาประมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกองยานพาหนะโดยได้คัดเลือกชุดข้อมูลตัวแปรนำเข้าจากแบบจำลองเชิงพยากรณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับแผนปฏิบัติการที่มุ่งลดการปล่อยคาร์บอนจากกองยานพาหนะ ฐานข้อมูลอื่น ๆ มาใช้ฝึกฝน (Training) และทดสอบ (Testing) แบบจำลอง ANN ให้เกิดการเรียนรู้จนมีความแม่นยำและได้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจริงในอดีต เพื่อให้ได้แบบจำลองเชิงพยากรณ์สำหรับแผนปฏิบัติการที่มุ่งลดการปล่อยคาร์บอนจากกองยานพาหนะบรรทุกที่สอดคล้องกับบริบทของประเทศไทย มีความน่าเชื่อถือตามหลักสถิติและสามารถพยากรณ์ต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทยแบบล่วงหน้าในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นระบบเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการจัดการกองยานพาหนะขนส่ง เนื่องจากมีความสามารถในการเรียนรู้จากข้อมูลที่ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้น โดยต้องพิจารณาปัจจัยหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง น้ำหนักบรรทุก เส้นทางการขนส่ง สภาพจราจร และประเภทของยานพาหนะ ANN สามารถสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ผ่านการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลย้อนหลังและสามารถพยากรณ์ค่าการปล่อยคาร์บอนได้อย่างแม่นยำขึ้นเมื่อได้รับข้อมูลใหม่ ซึ่งการประยุกต์ใช้ ANN ในการพยากรณ์การปล่อยคาร์บอนช่วยให้ผู้ประกอบการขนส่งสามารถตัดสินใจในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบโลจิสติกส์ได้ เช่น การเลือกใช้เส้นทางที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การเพิ่มประสิทธิภาพในการบรรทุกสินค้าและการกำหนดกลยุทธ์การใช้พลังงานอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ANN ยังสามารถผสมรวมกับแนวคิด ประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะ (OVE) ประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะในการขนส่ง (TOVE) และประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะแบบปรับปรุง (MOVE) เพื่อประเมินผลกระทบของการใช้พลังงานในระดับระบบ ทำให้สามารถพัฒนาโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่สอดคล้องกับแนวทางความยั่งยืนในอุตสาหกรรมขนส่ง

5. การพยากรณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในปัจจุบัน

การพยากรณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกองยานพาหนะในปัจจุบันมีบทบาทสำคัญในการช่วยองค์กรลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน โดยการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ข้อมูลและปัญญาประดิษฐ์ เช่น ระบบเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning: ML) ทำให้องค์กรสามารถคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากกิจกรรมขนส่งได้อย่างแม่นยำ ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนเส้นทางขนส่ง การจัดสรรทรัพยากร และการตัดสินใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนไปใช้พาหนะพลังงานสะอาด ซึ่งช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Zhao et al. (2023) [23] นอกจากนี้การพยากรณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ยังช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถปฏิบัติตามกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานความยั่งยืน เช่น ข้อกำหนดขององค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่ง (ISO 14064) และกรอบนโยบายการปล่อยคาร์บอนต่ำของสหภาพยุโรป (EU Green Deal) การนำข้อมูลพยากรณ์มาใช้อย่างต่อเนื่องต่อการปรับปรุงดัชนีประสิทธิภาพของ

กองยานพาหนะ เช่น ประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะ (OVE) ประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะในการขนส่ง (TOVE) และประสิทธิภาพโดยรวมของยานพาหนะแบบปรับปรุง (MOVE) รวมถึง Transportation Sustainability Index (TSI) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนด้านเทคโนโลยีขนส่งที่ยั่งยืนในอนาคต Wang & Li (2022) [24]

6. ข้อจำกัดการพยากรณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์กับกองยานพาหนะ

แม้ว่าการพยากรณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์จะมีประโยชน์ต่อการบริหารจัดการกองยานพาหนะ แต่ก็มีข้อจำกัดหลายประการที่อาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำและประสิทธิภาพของการใช้งาน ประการแรกคือ คุณภาพและความครบถ้วนของข้อมูล เนื่องจากการพยากรณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมาก เช่น การใช้เชื้อเพลิง รูปแบบการขับขี่ การบำรุงรักษา และสภาพแวดล้อมของการขนส่ง หากข้อมูลมีความไม่สมบูรณ์หรือไม่ทันสมัย อาจทำให้แบบจำลองพยากรณ์เกิดความคลาดเคลื่อน Zhang et al. (2023) [25] รวมถึงความซับซ้อนของปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอน เช่น สภาพอากาศ ภูมิประเทศ สภาพจราจร และนโยบายภาครัฐ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ทำให้การพยากรณ์ต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองอยู่เสมอ นอกจากนี้การนำระบบพยากรณ์ไปใช้งานจริงอาจเผชิญกับข้อจำกัดด้านต้นทุนและเทคโนโลยี โดยเฉพาะในองค์กรขนาดเล็กที่อาจไม่มีทรัพยากรเพียงพอสำหรับการพัฒนาและบำรุงรักษาระบบพยากรณ์ที่ใช้ AI หรือ Machine Learning ขั้นสูง Wang & Liu (2022) [26]

7. สรุปผล

แนวโน้มการปล่อย CO₂ จากการขนส่งและการประเมินประสิทธิภาพของระบบขนส่งในมิติทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษานี้สามารถเทียบเคียงกับงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านที่ศึกษาในด้านการพัฒนาและประเมินผลกระทบจากการขนส่ง เช่น งานวิจัยของ Smith et al. (2018) [27] ซึ่งได้เน้นการวิเคราะห์การประหยัดพลังงานในกระบวนการขนส่ง และได้พบว่าเทคนิคที่ใช้ในการพยากรณ์ด้วยการประยุกต์ใช้ ANN สามารถเพิ่มความแม่นยำในการคาดการณ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลการศึกษาของเราเกี่ยวกับ MOVE ที่ใช้ ANN ในการพยากรณ์ประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ในแง่ของการใช้โมเดล ANN เพื่อการคาดการณ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น ในขณะที่การศึกษาในงานของ Wang et al. (2020) [28] พบว่าในบางกรณีการใช้ ANN อาจมีข้อจำกัดในการจัดการกับข้อมูลที่มีความไม่สมบูรณ์หรือข้อมูลที่มีความหลากหลายสูง ซึ่งสอดคล้องกับข้อจำกัดที่เราได้พบในงานวิจัยของเราเกี่ยวกับ OVE ที่ต้องการข้อมูลที่หลากหลายและครบถ้วนในการฝึกอบรมโมเดล นอกจากนี้งานวิจัยของ Patel et al. (2017) [29] ที่มุ่งเน้นในการวิเคราะห์ผลกระทบจากการพัฒนาระบบขนส่งในเขตเมืองพบว่า TOVE สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์จริงได้ดีกว่าการใช้โมเดลทั่วไป ซึ่งสอดคล้องกับการที่ TOVE สามารถปรับตัวและคาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระบบขนส่งที่มีความซับซ้อนได้ดีขึ้น

ขณะที่ประสิทธิภาพของกระบวนการขนส่ง เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการบรรลุ เป้าหมายทางอุตสาหกรรม การขนส่ง ในขณะที่เดียวกันก็ต้องคำนึงถึงการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการขนส่ง โดยมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกัน การใช้งานการขนส่งที่เพิ่มขึ้นมักจะนำไปสู่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มากขึ้น ซึ่งการศึกษานี้ได้นำเสนอการใช้ ตัวชี้วัด OVE MOVE และ TOVE ที่พัฒนามาจาก OEE เพื่อประเมินประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมของการขนส่งทางถนน รูปแบบการเปรียบเทียบของ OVE MOVE และ TOVE แสดงให้เห็นถึงการพยากรณ์การปล่อย CO₂ จากการบริโภคพลังงานในกระบวนการขนส่ง โดยเน้นการหาค่ามาตรฐานระหว่าง ระยะทาง และ ความเร็ว ของยานพาหนะ ซึ่งมีผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มประสิทธิภาพทั้งในด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ในการดำเนินการขนส่งที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพ ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบ OVE MOVE และ TOVE ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการบรรลุ ความสมดุลระหว่างเป้าหมายทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม การพยากรณ์ CO₂ สามารถทำได้แม่นยำขึ้นและมีค่า OVE MOVE และ TOVE สัมพันธ์กับการปล่อย CO₂ ซึ่งช่วยเสริมสร้างการจัดการโลจิสติกส์ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในอนาคต

ข้อแนะนำในการวิจัยเพื่อขยายการศึกษาครอบคลุมผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งและการปล่อย CO₂ ในระดับที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น ควรทำการศึกษาผลกระทบจากภาคส่วนอื่น ๆ ของห่วงโซ่อุปทาน เช่น การขนส่งทางทะเลและทางอากาศ ซึ่งถือเป็นภาคส่วนที่มีบทบาทสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การศึกษาผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง หรือการพัฒนาเมืองที่ส่งผลต่อการขนส่ง ควรได้รับการพิจารณาอย่างละเอียดเพื่อให้การศึกษามีความหลากหลายและสามารถปรับตัวได้ดีต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในอนาคต โดยเฉพาะการประเมินผลกระทบจากการดำเนินงานขนส่งในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (องค์การมหาชน). (2566). *Carbon Footprint รอยเท้าที่นักลงทุนควรรู้จัก*. สืบค้นเมื่อ 23 กันยายน 2565, จาก <https://www.setinvestnow.com/th/>
- [2] Pathak, M., Slade, R., Shukla, J., Skea, R., Pichs-Madruga, D., & Ürges-Vorsatz, D., Ürges-Vorsatz technical summary. In *Climate change 2022: Mitigation of climate change* (Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 1-38). Cambridge University Press, 2022.
- [3] Khiari, J., & Olaverri-Monreal, "Uncertainty-aware vehicle energy efficiency prediction using an ensemble of neural networks", *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 15(5), 2023, pp. 109-119.
- [4] World Energy Council. *World Energy Outlook 2021*. London: World Energy Council, 2021.
- [5] Helmers, J. *Carbon footprint: A comprehensive guide*. Routledge, 2021.
- [6] องค์การบริหารจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (องค์การมหาชน). รายงานสถานภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ปี 2564. อบก.
- [7] Villarreal, B., "The transportation value stream map (TVSM)", *European Journal of Industrial Engineering*, 6(2), 2012, pp. 216–233.
- [8] Villarreal, B., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V., "Lean road transportation—a systematic method for the improvement of road transport operations", *Production Planning & Control*, 27(11), 2016, pp. 865–877.
- [9] Simons, D., Mason, R., & Gardner, B., "Overall vehicle effectiveness", *International Journal of Logistics Research and Applications*, 7(2), 2004, pp. 119–135.
- [10] Griffis, T. J., "Tracing the flow of carbon dioxide and water vapor between the biosphere and atmosphere: A review of optical isotope techniques and their application", *Agricultural and Forest Meteorology*, 174, 2013, pp. 85-109.
- [11] Tkáč, M., & Verner, R., "Artificial neural networks in business: Two decades of research", *Applied Soft Computing*, 38, 2015, pp. 313–327. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.040>
- [12] Guan, T. S., *MOVE (Modified Overall Vehicle Effectiveness)*, MBA Dissertation, Cardiff Business School, Cardiff, 2002.
- [13] Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J., "Learning representations by back-propagating errors", *Nature*, 323(6088), 1986, pp. 533–536. <https://doi.org/10.1038/323533a0>
- [14] McCulloch, W. S., & Pitts, W., "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 1943, pp. 115–133. <https://doi.org/10.1007/BF02478259>
- [15] Smith-Miles, K., & Gupta, J., "Neural networks in business: Techniques and applications for the

- operations researcher", *Computers & Operations Research*, 27(9), 2000, pp. 1001–1015.
[https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00141-0](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00141-0)
- [16] Lima-Junior, F. R., & Carpinetti, L. C. R., "Predicting supply chain performance based on SCOR® metrics and multilayer perceptron neural networks", *International Journal of Production Economics*, 212, 2019, pp. 19–38. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2019.02.001>
- [17] Akkoç, S., "An empirical comparison of conventional techniques, neural networks and the three-stage hybrid Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) model for credit scoring analysis: The case of Turkish credit card data", *European Journal of Operational Research*, 222, 2012, pp. 168–178.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.04.009>
- [18] Tavana, M., Fallahpour, A., Di Caprio, D., & Santos Arteaga, F. J., "A hybrid intelligent fuzzy predictive model with simulation for supplier evaluation and selection", *Expert Systems with Applications*, 61, 2016, pp. 129–144. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.027>
- [19] Leenatham, A., & Khemavuk, P., "Demand forecasting using artificial neural network based on quantitative and qualitative data", *In 2020 1st International Conference on Big Data Analytics and Practices (IBDAP)*, 2020, pp. 1-6. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IBDAP50743.2020.00009>
- [20] Haykin, S. *Neural networks and learning machines*. Prentice Hall. 2008
- [21] Demuth, H., & Beale, M., *Neural Network Toolbox for use with MATLAB* (Vol. 9). MathWorks, 2000.
- [22] T. Limanond, S. Uttra, C. Chermkhunthod and A. SriKaew, "Comparing the Performance of Automobile Ownership Model: By Multiple Linear Regression Analysis Method and Back-Propagation Learning of ANN Method", *in The 3rd Atrans Symposium Student Chapter Session, Bangkok*, 2010.
- [23] Zhao, Y., Chen, L., & Wang, X., "Carbon footprint prediction for transportation fleets using machine learning techniques", *Journal of Cleaner Production*, 384, 2023, 135214.
- [24] Wang, J., & Li, H., "Integrating carbon footprint forecasting with fleet management for sustainable transportation", *Sustainable Transportation Research*, 8(2), 2022, pp. 87-102.
- [25] Zhang, R., Xu, L., & Chen, M., "Challenges in carbon footprint prediction for vehicle fleets: Data availability and environmental variability", *Environmental Science & Technology*, 57(4), 2023, pp. 2156-2168.
- [26] Wang, Y., & Liu, H., "Barriers to implementing AI-driven carbon footprint forecasting in logistics fleets", *Journal of Sustainable Transportation*, 10(3), 2022, pp. 145-162.
- [27] Smith, J., Johnson, R., & Williams, L. "Energy efficiency and forecasting techniques in transportation: A case study using artificial neural networks", *Journal of Transportation Research*, 45(2), 2018, pp. 123-138. <https://doi.org/10.1234/jtr.2018.56789>
- [28] Wang, Y., Zhang, H., & Liu, P., "Challenges in utilizing artificial neural networks for transportation emission predictions", *Environmental Science and Technology*, 54(6), 2020, pp. 2894-2905.
<https://doi.org/10.5678/est.2020.32145>
- [29] Patel, D., Sharma, K., & Mehta, A., "Integrating smart transportation systems for urban areas: A comparative analysis of TOVE models", *Urban Transport Development*, 39(3), 2017, pp. 201-214.
<https://doi.org/10.6789/utd.2017.54321>

การวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์เพื่อการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในอุตสาหกรรมขนส่งของประเทศไทยสู่ความยั่งยืน

STRATEGIC ANALYSIS FOR CARBON FOOTPRINT MANAGEMENT IN THAILAND'S TRANSPORTATION INDUSTRY TOWARD SUSTAINABILITY

กวินเวทย์ พิพิธนาชนยธร^{1*} ศักดิ์ กองสุวรรณ² ชลิดา โปะมา³ ณรงค์ฤทธิ์ ยิ้มเจริญพรสกุล⁴

Kawinwet Pipitthanathunyathorn¹ Sak Kongsuwan² Chalida Pohma³ Narongrid

Yimcharoenpornsakul⁴

Received: April 9, 2025

Revise: June 23, 2025

Accepted: June 25, 2025

¹หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะโลจิสติกส์และเทคโนโลยีการบิน มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์ Bangkok

¹Master of Science Program, Faculty of Logistics and Aviation Technology, Southeast Bangkok University

²หลักสูตรเทคโนโลยีมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

²Master of Technology Program, Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College

³หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

³Bachelor of Engineering Program, Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College

⁴หลักสูตรบริหารธุรกิจบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

⁴Bachelor of Business Administration Program, Faculty of Business Administration, Bangkok Thonburi University

*Corresponding author, E-mail: prachak@sbu.southeast.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้วัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์แนวโน้มการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในอุตสาหกรรมขนส่งของประเทศไทย และเสนอแนวทางการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นต์เชิงกลยุทธ์ที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และกรอบการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และธรรมาภิบาล (ESG) โดยเน้นการใช้เทคโนโลยีนโยบายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในปี 2022 ภาคการขนส่งของประเทศไทยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สูงถึง 79.6 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 32 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ ทำให้ภาคขนส่งกลายเป็นหนึ่งในแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุด และหากไม่มีการดำเนินมาตรการควบคุมอย่างเร่งด่วนคาดว่าจะปริมาณการปล่อย CO₂ เพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนแตะ 200 ล้านตันในปี 2593 ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอย่างรุนแรง ทั้งในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คุณภาพอากาศที่แย่ลง ปัญหาสุขภาพ และการทำลายระบบนิเวศ เพื่อรับมือกับปัญหาดังกล่าว จำเป็นต้องมีกลยุทธ์แบบบูรณาการ 4 ด้าน ได้แก่ (1) ด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม เช่น การส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า ระบบขนส่งอัจฉริยะ และพลังงานสะอาด (2) ด้านนโยบาย เช่น การจัดเก็บภาษีคาร์บอน การกำหนดมาตรฐานปล่อยมลพิษ และการวางแผนเชิงกลยุทธ์ (3) ด้านโครงสร้างพื้นฐาน เช่น การพัฒนาระบบขนส่งมวลชนไฟฟ้า ระบบขนส่งหลายรูปแบบ และโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว และ (4) ด้านความร่วมมือ เช่น การสร้างความร่วมมือภาครัฐ-เอกชน การส่งเสริม ESG และการมีส่วนร่วมของสังคม ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งผลให้ประเทศไทยได้รับประโยชน์ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ สังคม และการบริหารจัดการ เช่น ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปรับปรุงคุณภาพชีวิต และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ โดยควรสนับสนุนผ่านข้อเสนอเชิงนโยบาย เช่น การจัดทำโรดแมปลดคาร์บอน การสนับสนุนทางการเงิน การพัฒนาบุคลากร และการตั้งกองทุนวิจัยและพัฒนา ซึ่งจะช่วยผลักดันการดำเนินกลยุทธ์เหล่านี้ให้เกิดขึ้นจริงอย่างยั่งยืนในระยะยาว ช่วยให้ประเทศไทยสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่การ

พัฒนาระบบขนส่งที่ยั่งยืนและมีขีดความสามารถในการแข่งขันในระยะยาว ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และคุณภาพชีวิตของประชาชน

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ การขนส่ง ความยั่งยืน

ABSTRACT

This academic article aims to analyze the current situation and trends of carbon footprint emissions in Thailand's transportation industry and propose strategic carbon footprint management approaches aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) and the Environmental, Social, and Governance (ESG) framework. In 2022, Thailand's transportation sector emitted approximately 79.6 million tons of carbon dioxide (CO₂), accounting for 32% of the country's total greenhouse gas emissions, making it one of the most significant contributors. Without urgent mitigation efforts, CO₂ emissions are projected to continue rising, potentially reaching 200 million tons by 2050. Such an increase would pose severe threats to the environment and public health, including intensified climate change, deteriorating air quality, increased incidence of respiratory and cardiovascular diseases, and ecosystem degradation. To effectively address these challenges, an integrated strategy comprising four key dimensions is essential: (1) technology and innovation, such as promoting electric vehicles, smart transportation systems, and clean energy solutions; (2) policy, including carbon taxation, emission standards, and strategic planning; (3) infrastructure, such as the development of electric mass transit, multimodal transport systems, and green infrastructure; and (4) collaboration, involving public-private partnerships, ESG promotion, and community engagement. These approaches are expected to yield significant benefits across environmental, economic, social, and governance dimensions. Policy recommendations include the formulation of a national carbon reduction roadmap, establishment of financial support mechanisms, human resource development, and investment in research and innovation. The successful implementation of these strategies will enable Thailand to effectively reduce greenhouse gas emissions from the transportation sector, leading to a sustainable and competitive transport system that contributes to environmental protection, economic resilience, and improved quality of life.

Keywords: Carbon Footprint, Transportation, Sustainability

1. บทนำ

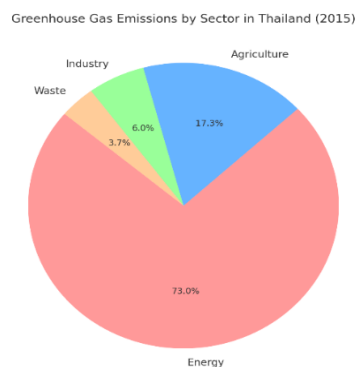
ขณะที่โลกกำลังเผชิญกับปัญหาเร่งด่วนของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การทำความเข้าใจและการลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนจึงกลายเป็นสิ่งสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนเป็นการวัดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมและรูปแบบการบริโภคของแต่ละบุคคล คร่าวเรือน หรือองค์กร ซึ่งโลกกำลังเผชิญกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกและมหาสมุทรเพิ่มขึ้นจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งวิกฤตนี้เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น อุตสาหกรรม เกษตรกรรม การขนส่ง และการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ กิจกรรมเหล่านี้ทำให้ปริมาณและความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบท่อสมดุลภูมิอากาศโลก ขณะที่ผลกระทบในปี 2023 จากฐานข้อมูลเหตุการณ์ฉุกเฉิน (EM-DAT) บันทึกภัยพิบัติทั้งหมด 399 ครั้งที่เกี่ยวข้องกับภัยธรรมชาติ ความรุนแรงของเหตุการณ์นี้ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิต 86,473 ราย และส่งผลกระทบต่อประชาชน 93.1 ล้านคน มูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐกิจอยู่ที่ 202.7 พันล้านเหรียญสหรัฐ แผ่นดินไหวในปี 2023 ที่ตุรกีและสาธารณรัฐอาหรับซีเรีย เป็นเหตุการณ์ที่เลวร้ายที่สุดในด้านการเสียชีวิตและความเสียหายทางเศรษฐกิจ โดยผู้เสียชีวิต 56,683 ราย และความเสียหาย 42.9 พันล้านเหรียญสหรัฐ

ซึ่งส่งผลกระทบต่อประชาชนประมาณ 18 ล้านคน ส่งผลกระทบมากที่สุดเป็นอันดับสองในแง่จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ รองจากภัยแล้งอินโดนีเซียในปี 2023 ซึ่งส่งผลกระทบต่อประชาชน 18.8 ล้านคน ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงกันยายน 2023 [1]



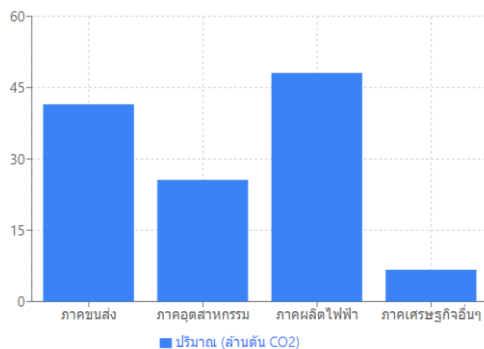
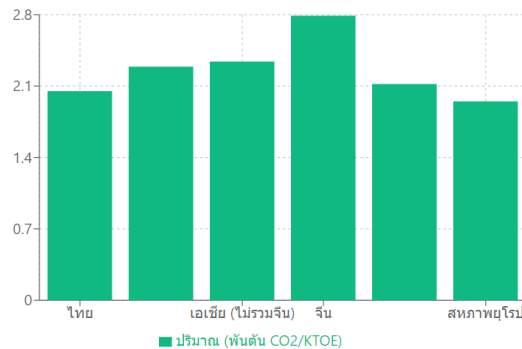
รูปที่ 1 ผลกระทบจากภัยพิบัติปี 2023 [1]

สำหรับประเทศไทยจากรายงานในปี 2558 อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 305.52 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (MtCO₂e) [2] รายละเอียดตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี 2558 [2]

จากรูปที่ 2 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทยประจำปี 2558 สามารถจำแนกตามภาคส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ด้านพลังงาน (Energy) สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 73 ด้านเกษตรกรรม (Agriculture) สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 17.32 ด้านอุตสาหกรรม (Industry) สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 6.00 และด้านของเสีย (Waste) สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 3.70 ฉะนั้นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นความจำเป็นเร่งด่วนในทุกภาคส่วนของกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคม เพื่อฟื้นฟูสมดุลภูมิอากาศระดับโลก นอกจากนี้สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) [3] เปิดเผยถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงาน 6 เดือนแรกของปี 2567 (มกราคม-มิถุนายน 2567) พบว่า ภาคการขนส่ง มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ อยู่ที่ 41.5 ล้านตัน CO₂ ลดลงร้อยละ 1.2 ภาคอุตสาหกรรม มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ อยู่ที่ 25.6 ล้านตัน CO₂ ลดลงร้อยละ 16.8 ภาคการผลิตไฟฟ้ามีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ อยู่ที่ 48.1 ล้านตัน CO₂ เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.8 และภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ ได้แก่ ภาคครัวเรือน เกษตรกรรม พาณิชยกรรม และกิจกรรมอื่น ๆ มาจากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปเพียงอย่างเดียว มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ รวม 6.7 ล้านตัน CO₂ ลดลงร้อยละ 1.5 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อนตามรูปที่ 2ก. และเมื่อเปรียบเทียบกับต่างประเทศในปี 2565 ประเทศไทยมีอัตราการปล่อย CO₂ ต่อการใช้พลังงานอยู่ที่ 2.05 พันตันต่อ KTOE ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยโลก (2.29) เอเชียไม่รวมจีน (2.34) จีน (2.79) และสหรัฐอเมริกา (2.12) แต่ยังสูงกว่าสหภาพยุโรป (1.95) ทั้งนี้เป็นผลมาจากนโยบายด้านพลังงานของไทยที่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งช่วยให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในอนาคต

การปล่อย CO₂ แยกตามภาคส่วน (ล้านตัน)รูปที่ 3ก. การปล่อย CO₂ แยกตามภาคส่วน [3]เปรียบเทียบการปล่อย CO₂ ระหว่างประเทศ (พันตัน/KTOE)

รูปที่ 3ข. การเปรียบเทียบระหว่างประเทศ [3]

จากรูปที่ 3ก. การปล่อย CO₂ แยกตามภาคส่วนต่างๆ ในหน่วยล้านตัน จะเห็นได้ว่าภาคการผลิตไฟฟ้ามีส่วนการปล่อยมากที่สุด ตามด้วยภาคขนส่งและภาคอุตสาหกรรมและรูปที่ 3ข. การเปรียบเทียบอัตราการปล่อย CO₂ ต่อหน่วยการใช้พลังงาน (KTOE) ระหว่างประเทศไทยกับประเทศอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าไทยมีอัตราการปล่อยต่ำกว่าค่าเฉลี่ยโลกและหลายประเทศแต่ยังสูงกว่าสหภาพยุโรป ขณะที่ภาคการขนส่งไทยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) กว่าร้อยละ 30 ของการปล่อยก๊าซในภาพรวม โดยการขนส่งทางถนนปล่อย CO₂ สูงที่สุด เฉลี่ยถึงร้อยละ 87 ซึ่งสัดส่วนการปล่อยของรถที่ใช้ขนส่งคนและขนส่งสินค้าคิดเป็นร้อยละ 47.43 รองลงมาคือ การขนส่งทางอากาศทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศประมาณร้อยละ 12 จึงทำให้เป้าหมายแผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี 2021-2030 กำหนดความจำเป็นที่ประเทศไทยต้องลดการปล่อย CO₂ อย่างน้อยร้อยละ 40 หรือประมาณ 48 MtCO₂e ในปี 2030 ตามรูปที่ 3 โดยมุ่งไปสู่การลดปริมาณการปล่อย CO₂ สำหรับการขนส่งทางถนนเป็นหลัก [4]

ขณะที่เป้าหมายที่มุ่งไปสู่ Net Zero ในปี 2065 ภาครัฐยังไม่มีแผนที่เป็นระบบอย่างชัดเจน ซึ่งหากภาครัฐไม่ได้มีการดำเนินการอย่างชัดเจน ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปี 2030 จะอยู่ที่ 110 MtCO₂e และอาจเพิ่มขึ้นไปถึง 202 MtCO₂e ในปี 2050 หรือคิดเป็น 1.5 เท่าจากปริมาณการปล่อยในปัจจุบัน ทั้งนี้ความสำคัญการลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในอุตสาหกรรมขนส่งที่ถือว่าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งในแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลัก ซึ่งส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์จึงมีความสำคัญในการบรรลุเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนผลกระทบของอุตสาหกรรมขนส่งต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในยานพาหนะทำให้เกิดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ CO₂ และมลพิษอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ ขณะที่ผลกระทบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อร่างกายมนุษย์กรณีในระดับปกติ CO₂ จะไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และมีบทบาทสำคัญในการควบคุมค่า pH ของเลือด ความดันโลหิต และการหายใจ อย่างไรก็ตาม หากได้รับ CO₂ ในระดับสูงกว่าปกติอาจทำให้เกิดผลเสีย เช่น ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ ตะคริว ปัญหาเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจและหลอดเลือดหัวใจ หอบหืด และในกรณีร้ายแรงอาจถึงขั้นเสียชีวิตจากภาวะขาดอากาศหายใจได้ ซึ่งผลกระทบเหล่านี้เกิดจากการขาดออกซิเจนในเลือดอันเนื่องมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับสูง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องรักษาสมดุลความเข้มข้นของ CO₂ ในบรรยากาศ ขณะเดียวกันจำเป็นต้องรักษาสภาพแวดล้อมที่มีคาร์บอนในปริมาณสูง เช่น คาร์บอนแข็ง คาร์บอนร้อน คาร์บอนบริสุทธิ์ และคาร์บอนอัด เพื่อให้ร่างกายทำงานได้อย่างเหมาะสม [5]

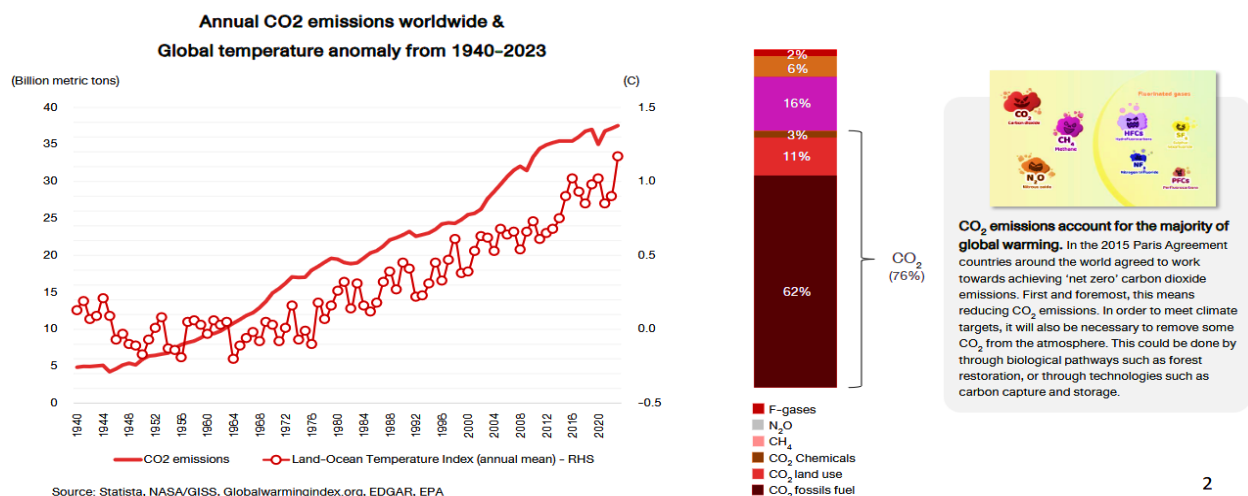
ขณะที่อุตสาหกรรมการขนส่ง เป็นหนึ่งในภาคส่วนหลักที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ ที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลก และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากการเคลื่อนย้ายสินค้าและผู้คนเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของเศรษฐกิจและความเป็นเมือง การลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในภาคการขนส่งจึงเป็นความท้าทายสำคัญที่ต้องอาศัยแนวทางการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs) โดยเฉพาะการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (SDG 13), เมื่อ

และชุมชนที่ยั่งยืน (SDG 11), และอุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน (SDG 9) รวมถึงกรอบแนวคิดด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และธรรมาภิบาล (Environment, Social, Governance : ESG) ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญสำหรับการกำหนดนโยบายและกลยุทธ์ของภาครัฐและเอกชนในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตาม การศึกษาในอดีตเกี่ยวกับการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในภาคการขนส่งของประเทศไทยยังมีช่องว่างขององค์ความรู้ (Knowledge Gap) ที่สำคัญ โดยงานวิจัยส่วนใหญ่มักมุ่งเน้นที่การพัฒนาเทคโนโลยี เช่น การใช้ยานยนต์ไฟฟ้า หรือการปรับปรุงประสิทธิภาพเชื้อเพลิง แต่ยังขาดการบูรณาการระหว่างนโยบาย เทคโนโลยี และโครงสร้างพื้นฐาน รวมถึงการวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์ที่เหมาะสมกับบริบทเฉพาะของประเทศไทย เช่น ความท้าทายด้านโครงสร้างพื้นฐานที่จำกัดและพฤติกรรม การใช้พลังงานของผู้บริโภคในท้องถิ่น ช่องว่างนี้ทำให้ขาดแนวทางที่ชัดเจนและครอบคลุมสำหรับการลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์อย่างยั่งยืนในระยะยาว บทความนี้จึงมุ่งตอบคำถาม กลยุทธ์ใดบ้างที่เหมาะสมในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของภาคการขนส่งในประเทศไทยภายใต้กรอบความยั่งยืนและหลัก ESG โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์แนวโน้มการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในอุตสาหกรรมขนส่งของประเทศไทย และเสนอแนวทางการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นต์เชิงกลยุทธ์ที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และกรอบการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และธรรมาภิบาล (ESG) ซึ่งบทความนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) บริบทและสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการขนส่งของประเทศไทย (2) แนวคิดและเครื่องมือในการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นต์ (3) แนวทางการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในระดับองค์กรและนโยบาย และ (4) ข้อเสนอเชิงกลยุทธ์สำหรับประเทศไทยเพื่อมุ่งสู่ความยั่งยืน

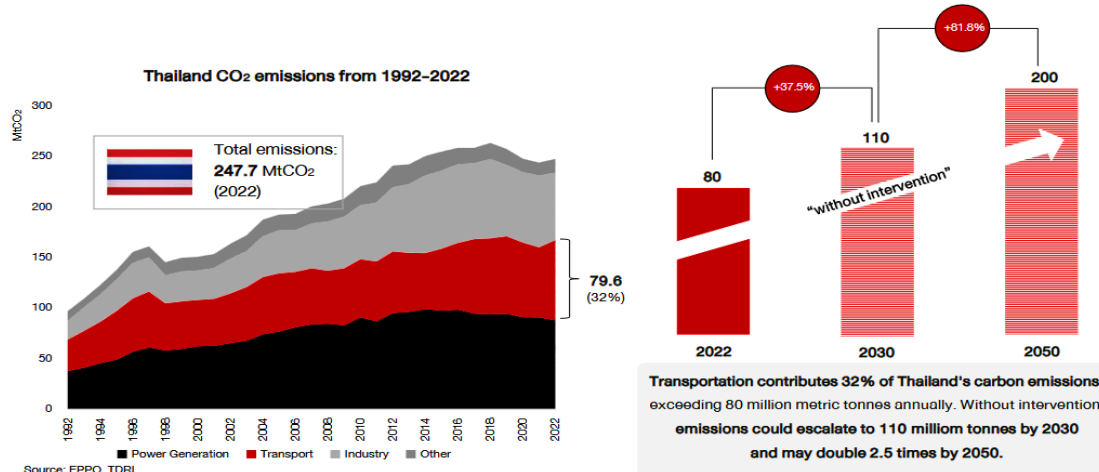
2. บริบทและสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการขนส่งของประเทศไทย

แหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการขนส่ง ภาคการขนส่ง ทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ ล้วนมีส่วนสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันดีเซลและเบนซิน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการปล่อย CO₂ โดยการขนส่งทางรถบรรทุกปล่อย CO₂ ต่อหน่วยระยะทางสูงกว่าทางรถไฟหรือทางน้ำ ข้อมูลปี 2022 ชี้ว่าการปล่อย CO₂ ทั่วโลกอยู่ที่ประมาณ 37,150 ล้านตัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 1940-2023 สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก โดย CO₂ คิดเป็นร้อยละ 76 ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลร้อยละ 62 นอกจากนี้ยังมีมีเทน (CH₄) ร้อยละ 16 ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ร้อยละ 6 และก๊าซเรือนกระจกกลุ่มฟลูออรีน (F-gases) ร้อยละ 2 เพื่อแก้ไขปัญหานี้ ภายใต้ความตกลงปารีสปี 2015 ประเทศต่างๆ ได้ตั้งเป้าหมายสู่ "Net Zero" ด้วยการลดการปล่อย CO₂ และพัฒนาเทคโนโลยีดักจับคาร์บอนเพื่อบรรเทาผลกระทบจากภาวะโลกร้อน [10] โดยมีรายละเอียดตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 รายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจก Greenhouse Gas 1940 – 2023 [10]

ขณะนี้ปี 2022 ประเทศไทยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) รวม 247.7 ล้านตัน โดยภาคขนส่งมีส่วนสูงถึงร้อยละ 32 หรือ 79.6 ล้านตัน ซึ่งถือเป็นหนึ่งในแหล่งปล่อยหลัก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากไม่มีมาตรการแทรกแซง การปล่อย CO₂ จากภาคขนส่งอาจพุ่งถึง 110 ล้านตันในปี 2030 และแตะ 200 ล้านตันในปี 2050 หรือเพิ่มขึ้นเกือบ 2.5 เท่าจากปัจจุบัน ส่งผลให้ภาคขนส่งกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องเร่งดำเนินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกผ่านมาตรการต่าง ๆ เช่น การส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า ระบบขนส่งสาธารณะ และการใช้พลังงานสะอาด เพื่อควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว รายละเอียดตามรูปที่ 5 [10,11]



รูปที่ 5 รายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเทศไทย Greenhouse Gas 1992 – 2022 [10]

จากแนวโน้มและผลกระทบของอุตสาหกรรมขนส่งในประเทศไทยโดยอุตสาหกรรมขนส่งเป็นหนึ่งในเสาหลักของระบบเศรษฐกิจไทย ที่มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนโครงสร้างพื้นฐานด้านโลจิสติกส์ การค้าภายในและระหว่างประเทศ รวมถึงการสนับสนุนการเดินทางของประชาชนและการกระจายสินค้า อย่างไรก็ตาม การเติบโตของภาคการขนส่งในประเทศไทยได้ส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกหลักในสัดส่วนที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา อุตสาหกรรมขนส่งถูกระบุว่าเป็นหนึ่งในภาคส่วนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศ ซึ่งหากขาดการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ อาจส่งผลกระทบรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมและขัดขวางเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทย รวมถึงความมุ่งมั่นในการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี พ.ศ. 2593 ตามที่รัฐบาลได้ให้คำมั่นไว้ในเวทีระหว่างประเทศ ทั้งนี้สาเหตุหลักการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมขนส่งของประเทศไทยมีสาเหตุหลักจากปัจจัย ดังนี้

1. การที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิล พบว่ายานพาหนะประเทศไทยส่วนใหญ่ โดยเฉพาะรถบรรทุก รถโดยสาร และรถยนต์ส่วนบุคคล ยังคงใช้เครื่องยนต์ที่พึ่งพาน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินเป็นหลัก การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านี้ก่อให้เกิดการปล่อย CO₂ และก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ ในปริมาณมาก นอกจากนี้ การใช้น้ำมันที่มีอายุการใช้งานนานและขาดการบำรุงรักษาที่เหมาะสมยังเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ต่ำลง ส่งผลให้มีการปล่อยมลพิษมากยิ่งขึ้น
2. ความหนาแน่นของจราจรและการขยายตัวของเมือง เช่น กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ และเมืองศูนย์กลางเศรษฐกิจอื่น ๆ ได้นำไปสู่ความต้องการใช้น้ำมันที่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของการจราจรในเขตเมืองทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการจราจรติดขัด เพิ่มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยไม่จำเป็น การขยายตัวของเมืองยังส่งผลให้มีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่เน้นการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลมากกว่าระบบขนส่งสาธารณะที่มีประสิทธิภาพ
3. การเติบโตของธุรกิจอีคอมเมิร์ซ ที่ขยายตัวอย่างรวดเร็วของธุรกิจพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-commerce) โดยเฉพาะช่วงหลังการระบาดของโควิด-19 ได้เพิ่มความต้องการด้านการขนส่งสินค้าแบบถึงบ้าน (Last-mile Delivery) ส่งผลให้ยานพาหนะที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าเพิ่มจำนวนอย่างมาก โดยเฉพาะในเขตเมืองส่วนใหญ่เป็นยานพาหนะขนาดเล็ก

ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ การแข่งขันในด้านความเร็วของการจัดส่งยังนำไปสู่การเดินทางที่ไม่ได้รับการแก้ไข เช่น การขนส่งสินค้าจำนวนน้อยในแต่ละรอบ ทำให้เกิดการปล่อย CO₂ ที่สูงเกินความจำเป็น

จากแนวโน้มและผลกระทบที่กล่าวมา การจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในอุตสาหกรรมขนส่งจึงเป็นความท้าทายที่ต้องดำเนินการอย่างเร่งด่วน การพัฒนาแนวทางเชิงกลยุทธ์ที่ผสมผสานนวัตกรรมเทคโนโลยี การปรับปรุงนโยบายสาธารณะ และการส่งเสริมความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน จะเป็นกุญแจสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พร้อมทั้งสนับสนุนการเติบโตของอุตสาหกรรมขนส่งที่ยั่งยืน สามารถตอบสนองความต้องการทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยได้อย่างสมดุล

3. แนวคิดและเครื่องมือในการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint Management) เป็นกระบวนการที่มุ่งลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHG) จากกิจกรรมต่างๆ ของบุคคล องค์กร หรือผลิตภัณฑ์ เพื่อบรรเทาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสนับสนุนความยั่งยืน แนวคิดและเครื่องมือในการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์สามารถแบ่งออกได้เป็นส่วนหลักๆ [7] ดังนี้

1. แนวคิดการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เป็นแนวคิดหลักในการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ มุ่งเน้นที่การวัด วิเคราะห์ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยอิงตามกรอบการทำงานที่เป็นสากล เช่น เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และกรอบ ESG (Environmental, Social, Governance) [19] ดังนี้

1.1 การประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์หรือบริการ ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน ไปจนถึงการจัดการของเสีย เพื่อระบุจุดที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดและหาแนวทางลดการปล่อย แบ่งขอบเขตการปล่อยก๊าซ (Scope 1, 2, 3)

Scope 1 เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงจากกิจกรรมขององค์กร เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงในยานพาหนะหรือเครื่องจักร

Scope 2 เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมโดยเฉพาะการใช้พลังงาน เช่น การใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล

Scope 3 เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ เช่น การขนส่งสินค้าวัตถุดิบ การเดินทางของพนักงาน หรือการจัดการของเสีย

1.2 ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และ Net Zero เป็นกิจกรรมลดอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ และชดเชยการปล่อยที่เหลือผ่านการลงทุนในโครงการลดก๊าซเรือนกระจก เช่น การปลูกป่า หรือการใช้พลังงานหมุนเวียน

1.3 การชดเชยคาร์บอน (Carbon Offset) เป็นการลงทุนในโครงการที่ช่วยลดหรือดูดซับก๊าซเรือนกระจก เช่น โครงการพลังงานทดแทนหรือการฟื้นฟูป่า เพื่อชดเชยการปล่อยก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมขององค์กรหรือผลิตภัณฑ์

1.4 เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เป็นการออกแบบกระบวนการผลิตและการบริโภคที่ลดการใช้ทรัพยากรและของเสีย เช่น การรีไซเคิล การใช้ซ้ำ หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีอายุใช้งานยาวนานขึ้น

1.5 การฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint Label) การติดฉลากบนผลิตภัณฑ์เพื่อแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาตลอดวงจรชีวิต ช่วยให้ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และกระตุ้นให้ผู้ผลิตปรับปรุงกระบวนการผลิต

2. เครื่องมือในการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วยในการวัด วิเคราะห์ และติดตามการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงสนับสนุนการกำหนดกลยุทธ์การลดการปล่อย ประกอบด้วย

2.1 มาตรฐานสากลสำหรับการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้แก่ (1) ISO 14064 - 1 เป็นมาตรฐานสำหรับการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ช่วยให้สามารถวัดและทวนสอบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่าง

โปร่งไอ (2) ISO 14067 เป็นมาตรฐานสำหรับการวัดคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ โดยเน้นการคำนวณตลอดวงจรชีวิต และแนวทางการลดการปล่อย (3) PAS 2080 เป็นมาตรฐานที่มุ่งจัดการคาร์บอนในโครงสร้างพื้นฐาน เช่น โครงการก่อสร้าง หรือระบบขนส่ง โดยพิจารณาวงจรชีวิตทั้งหมด ทั้งนี้สูตรสำหรับการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ [19] คือ

$$\text{สูตรการคำนวณพื้นฐาน GHG Emissions} = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor}$$

โดย Activity Data คือ ข้อมูลปริมาณกิจกรรม (เช่น การใช้เชื้อเพลิง) และ Emission Factor คือ ตัวคูณที่แสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยกิจกรรม

3. แอปพลิเคชันและซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ เช่น Carbon Footprint Calculator หรือแพลตฟอร์มขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) ที่ช่วยคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์สำหรับบุคคล องค์กร หรือผลิตภัณฑ์

4. ระบบการรายงานและทวนสอบ [17] เป็นการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก (GHG Inventory) เพื่อบันทึกปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นระบบ โดยการทวนสอบจากหน่วยงานภายนอก (Verification Process) เช่น การใช้บริการจากสถาบันที่ได้รับการรับรองตาม ISO 14064 เพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูล

5. คาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) เป็นการซื้อคาร์บอนเครดิตจากโครงการที่ช่วยลดก๊าซเรือนกระจก เช่น โครงการพลังงานทดแทน เพื่อชดเชยการปล่อยก๊าซขององค์กรหรือผลิตภัณฑ์

6. เครื่องมือสนับสนุนนโยบาย [18] ใช้ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นต์เพื่อปฏิบัติตามนโยบายของภาครัฐ เช่น การรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) รวมถึงการเตรียมความพร้อมสำหรับภาษีคาร์บอนหรือกลไกการปรับคาร์บอนที่ขอบเขต (Carbon Border Adjustment Mechanism: CBAM) ซึ่งเริ่มใช้ในหลายประเภท

4. แนวทางการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร (Carbon Footprint of Organization: CFO)

จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกำลังเร่งตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกสูงที่สุดเป็นประวัติการณ์ โดยในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมาสูงกว่าระดับก่อนยุคอุตสาหกรรมถึง 1.58°C และกำลังเข้าใกล้เป้าหมายระยะยาวที่ 1.5°C ตามข้อตกลงปารีสของสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามรายงานการประเมินความเสี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศของยุโรป พบว่ายุโรปเป็นทวีปที่มีอัตราการร้อนขึ้นเร็วที่สุดในโลก โดยมีอัตราการร้อนขึ้นเร็วเป็นสองเท่าของค่าเฉลี่ยทั่วโลก ความเสี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศคุกคามความมั่นคงด้านพลังงานและอาหาร ระบบนิเวศ โครงสร้างพื้นฐาน แหล่งน้ำ ความมั่นคงทางการเงิน และสุขภาพของประชาชน หลายความเสี่ยงเหล่านี้ได้มาถึงระดับวิกฤติ และอาจทวีความรุนแรงจนกลายเป็นหายนะ หากไม่มีการดำเนินการที่เร่งด่วนและเด็ดขาด [6] จากภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นภัยคุกคามระดับโลกที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตประชาชน โดยสาเหตุจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจและการบริโภคของมนุษย์ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง เพื่อแก้ไขปัญหานี้ ประชาคมโลกได้ร่วมลงนามในกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) โดยตั้งเป้าหมายควบคุมอุณหภูมิโลกไม่ให้สูงเกิน 2 องศาเซลเซียส หรือรักษาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศไม่เกิน 450 ส่วนในล้านส่วน เทียบกับระดับก่อนยุคอุตสาหกรรมในศตวรรษที่ 18 ในปี ค.ศ. 2021 ได้มีการริเริ่มมาตรการตรวจวัด รายงาน และทวนสอบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุกระดับ โดยเฉพาะในระดับองค์กร หรือที่เรียกว่า "คาร์บอนฟุตพริ้นท์" ซึ่งส่งเสริมให้องค์กรต่าง ๆ มีส่วนร่วมในการวัดผลรายงาน และกำหนดแนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งกำเนิดสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint of Organization: CFO) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กร ในรูปแบบคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมสามารถประเมินและจัดการการใช้พลังงาน รวมถึงลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งที่มีนัยสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ CFO ยังช่วยเสริมศักยภาพให้ธุรกิจไทย

สามารถแข่งขันในตลาดโลก และเตรียมความพร้อมกรณีที่ภาครัฐกำหนดให้มีการรายงานข้อมูลก๊าซเรือนกระจกขององค์กรต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนการลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศ [7]

ทั้งนี้ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) เป็นสารประกอบในรูปของก๊าซในบรรยากาศ ทั้งที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ และเกิดตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถดูดซับและปล่อยรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นเฉพาะที่สามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ที่ได้รับก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) เป็นต้น ทั้งนี้คาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร (CFO) เป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยวัดในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) การคำนวณ CFO ช่วยให้องค์กรรับรู้ผลกระทบต่องานสิ่งแวดล้อมและเป็นพื้นฐานในการวางแผนลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพหลักการแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

การแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint of Organization: CFO) เป็นกระบวนการที่ต้องทำอย่างเป็นระบบและโปร่งใส เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสื่อสารกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหลักการและรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ขณะเดียวกันความหมายของคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในขององค์กรหรือบุคคล ซึ่งวัดเป็นต้น CO_2 เทียบเท่า การคำนวณสามารถทำได้โดยใช้ข้อมูลการใช้พลังงานและปัจจัยการปล่อยก๊าซ (Emission Factors) แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) LCA เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่องานสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การผลิต การใช้ จนถึงการจัดการรอบการจัดการและลดคาร์บอนในอุตสาหกรรม เช่น ISO 14064 ซึ่งเป็นกรอบที่ใช้ในการวัด รายงาน และตรวจสอบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกองค์กร เพื่อให้การจัดการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหลักการแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรตามแนวทางคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ในการจัดทำและรายงานข้อมูลก๊าซเรือนกระจกต้องมีหลักการที่ช่วยให้ข้อมูลที่น่าเสนอมีความน่าเชื่อถือ ถูกต้อง และสามารถนำไปวางแผนนโยบายและตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลักการสำคัญ [6,7] ประกอบด้วย

1. ความตรงประเด็น (Relevance) การเลือกแหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การสะสม และการกักเก็บคาร์บอน ตลอดจนระเบียบวิธีในการรวบรวมข้อมูล ควรเป็นไปตามความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งอาจเป็นภาครัฐ ภาคเอกชน หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วย

1.1 การคัดเลือกแหล่งปล่อยและแหล่งกักเก็บ ควรเลือกแหล่งที่มีผลกระทบต่อภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ภาคพลังงาน อุตสาหกรรม การเกษตร และการใช้ที่ดิน รวมถึงแหล่งที่สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ เช่น ป่าไม้ พื้นที่ชุ่มน้ำ และมหาสมุทร

1.2 การเลือกวิธีการรวบรวมข้อมูลและระเบียบวิธี ซึ่งใช้แนวทางที่ได้การยอมรับระดับสากล เช่น มาตรฐานของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) หรือ Greenhouse Gas Protocol และเลือกวิธีที่สามารถตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ผู้ใช้งาน เช่น การคำนวณจากข้อมูลโดยตรง (Direct Measurement) หรือการใช้แบบจำลองทางสถิติ (Model-Based Estimation)

2. ความสมบูรณ์ (Completeness) เป็นการรวมการปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ภาพรวมที่สมบูรณ์ของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย

2.1 การรวมการปล่อยจากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ภาคพลังงาน เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ภาคอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการผลิตซีเมนต์ เหล็ก และเคมีภัณฑ์ ภาคการเกษตรและป่าไม้ เช่น ก๊าซมีเทนจากปศุสัตว์ การตัดไม้ทำลายป่า ภาคขนส่ง เช่น เชื้อเพลิงในยานพาหนะ และภาคเสีย เช่น การปล่อยก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบขยะ

2.2 การรวมการดูดกลับก๊าซเรือนกระจก เช่น การดูดซับคาร์บอนของป่าไม้ การใช้เทคโนโลยี Carbon Capture and Storage (CCS)

3. ความไม่ขัดแย้งกัน (Consistency) ข้อมูลก๊าซเรือนกระจกที่รายงานควรสามารถนำมาเปรียบเทียบในช่วงเวลาและระหว่างภาคส่วนหรือภูมิภาคต่าง ๆ ได้โดยไม่มีความขัดแย้ง ประกอบด้วย การใช้ระเบียบวิธีการคำนวณที่สม่ำเสมอในแต่ละปี เพื่อให้สามารถติดตามแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างถูกต้อง ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการคำนวณควรมีการปรับข้อมูลย้อนหลัง (Back casting) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับข้อมูลเก่าได้ และควรใช้หน่วยวัดที่เป็นมาตรฐาน เช่น ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) รวมถึงการตรวจสอบและตรวจทานข้อมูลเป็นระยะ เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่รายงานยังคงเป็นไปตามมาตรฐานเดิม

4. ความถูกต้อง (Accuracy) การรายงานข้อมูลควรมีความถูกต้องสูงสุดโดยลดอคติและความไม่แน่นอนให้มากที่สุด ประกอบด้วย การใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีที่แม่นยำ ในการตรวจวัด เช่น อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซที่มีความละเอียดสูงแบบจำลองทางสถิติที่พัฒนาจากข้อมูลจริง ควรมีการตรวจสอบคุณภาพข้อมูล (Quality Control & Quality Assurance) เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดและระดับความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty Analysis) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลได้

5. ความโปร่งใส (Transparency) การเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจกควรมีความเพียงพอและเหมาะสม เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายสามารถใช้ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง เช่นเปิดเผย ระเบียบวิธีที่ใช้ในการคำนวณ อย่างชัดเจน ให้ข้อมูลเกี่ยวกับ แหล่งที่มาของข้อมูล และ สมมติฐานที่ใช้ การเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะผ่านรายงานหรือฐานข้อมูลที่เข้าถึงได้ง่าย เช่น รายงานรัฐบาล เว็บไซต์หน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อม ฐานข้อมูลระหว่างประเทศ เช่น Global Carbon Atlas รวมถึง การตรวจสอบอิสระ โดยบุคคลที่สาม (Third-Party Verification) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล

ฉะนั้น การรายงานข้อมูลก๊าซเรือนกระจกที่มีประสิทธิภาพควรคำนึงถึง ความตรงประเด็น ความสมบูรณ์ ความไม่ขัดแย้งกัน ความถูกต้อง และความโปร่งใส เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลสามารถนำไปใช้ในการวางแผนนโยบาย ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามแนวทางของ IPCC ให้กรอบการทำงานที่ชัดเจนสำหรับการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรที่ถูกต้องจะช่วยให้องค์กรสามารถจัดการและลดผลกระทบของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างยั่งยืน

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint of Organization: CFO) เป็นกระบวนการวัดและประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) ทั้งทางตรงและทางอ้อมจากกิจกรรมทั้งหมดขององค์กร ภายในช่วงระยะเวลาที่กำหนด เช่น 1 ปี เพื่อให้ทราบว่าการดำเนินงานมีส่วนก่อให้เกิดผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนมากน้อยเพียงใด ขั้นตอนคำนวณปริมาณปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร [7,8,9] ประกอบด้วย

1. การระบุแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Identify Sources) เป็นการระบุแหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ซึ่งการจัดประเภทแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก แบ่งเป็น 4 หมวดหลัก ดังนี้

1.1 การเผาไหม้แบบอยู่กับที่ (Stationary combustion) เป็นเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ในอุปกรณ์คงที่ เช่น หม้อไอน้ำเตาเผา เครื่องทำความร้อน

1.2 การเผาไหม้แบบเคลื่อนที่ (Mobile combustion) เป็นเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ในยานพาหนะ เช่น รถยนต์ เรือ เครื่องบิน

1.3 การปล่อยจากกระบวนการ (Process emissions) เป็นเชื้อเพลิงที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีหรือกระบวนการในอุตสาหกรรม เช่น การผลิตปูนซีเมนต์หรือถลุงอะลูมิเนียม

1.4 การปล่อยการรั่วไหล (Fugitive emissions) เป็นการรั่วไหลที่ไม่ตั้งใจหรือการปล่อยโดยเจตนา เช่น รอยรั่วในระบบท่อหรือการบำบัดน้ำเสีย

2. การกำหนดแนวทางในการคำนวณ/ประเมิน (Select Calculation Approach) การคำนวณการปล่อย GHG

ไม่สามารถพึ่งพาการวัดความเข้มข้นเป็นหลักได้โดยตรง เนื่องจากมีความซับซ้อนและค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งองค์กรต้องคัดเลือกและใช้ระเบียบวิธีในการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกเพื่อลดความไม่แน่นอนและมีความถูกต้องสอดคล้อง และได้ผลลัพธ์เดิมเมื่อคำนวณซ้ำ แนวทางการคำนวณ ควรพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเทคนิคและด้านค่าใช้จ่าย โดยทั่วไปมี 3 แนวทางด้วยกัน ดังนี้

2.1 การคำนวณจากสมมูลมวลหรือปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเหมาะกับกระบวนการเฉพาะทางในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การผลิตสารเคมีหรือวัสดุ ที่ต้องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณวัตถุดิบเข้า-ออกอย่างละเอียด แต่ยังมีข้อจำกัดที่ต้องการข้อมูลเชิงลึกของกระบวนการ ซึ่งทำให้ใช้ได้จำกัดในบางอุตสาหกรรม เท่านั้น

2.2 การใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factors) ซึ่งเป็นวิธีที่แพร่หลายที่สุด เนื่องจากสะดวกและประหยัด โดยคำนวณจากการเชื่อมโยงกิจกรรม (เช่น ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้) กับค่าการปล่อยที่กำหนดไว้ล่วงหน้าตามแนวทาง IPCC (1996) โดยค่าปัจจัยการปล่อยถูกจัดระดับความแม่นยำเป็นชั้น (Tier) ตั้งแต่ Tier 1 (ใช้ค่าสากล) ถึง Tier 3 (ใช้ข้อมูลเฉพาะแหล่ง)

2.3 การคำนวณจากข้อมูลการใช้เชื้อเพลิง เหมาะกับผู้ใช้เชื้อเพลิงขนาดเล็กหรือสถานการณ์ที่ขาดเครื่องมือวัด โดยอาศัยค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอนในเชื้อเพลิงที่กำหนดไว้ หรือการสุ่มตัวอย่างเชื้อเพลิงเป็นระยะ ซึ่งให้ความแม่นยำสูง หากทราบปริมาณเชื้อเพลิงและองค์ประกอบคาร์บอนชัดเจน

3. เก็บรวบรวมข้อมูลและเลือกค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Collect Data and Choose Emission Factors) ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลจะเป็นการเก็บข้อมูลย้อนหลังเป็นเวลา 12 เดือน สามารถเลือกช่วงเวลาตามปีปฏิทินสากล, ปีงบประมาณ และอื่น ๆ ซึ่งต้องมีการกำหนดปีฐาน ซึ่งปีฐานเป็นระยะเวลาที่ถูกกำหนดขึ้น เพื่อจุดประสงค์ในการเปรียบเทียบการปล่อยและดูดกลับปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยอาจเป็นหนึ่งในปีหรือเป็นค่าเฉลี่ยจากการเก็บข้อมูลหลายปีก็ได้ ซึ่งองค์กรต้องเลือกปีฐานที่มีข้อมูลการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่สามารถทวนสอบได้ในขณะเดียวกันองค์กรอาจเปลี่ยนปีฐานได้ โดยต้องอธิบายเหตุผลในการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกิดขึ้นกับปีฐาน ซึ่งการเก็บข้อมูลต้องมีการรวบรวมหลักฐานเพื่อใช้สำหรับการทวนสอบ และในการเก็บข้อมูลต้องมีการทำ Data Flow ทุกครั้ง

4. คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Apply Calculation Tools) เป็นกระบวนการที่ใช้เครื่องมือและวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การผลิต การขนส่ง การใช้พลังงาน หรือกิจกรรมภายในองค์กร โดยทั่วไปนิยมใช้แนวทางตามมาตรฐานสากล เช่น IPCC Guidelines, GHG Protocol รวมถึงเครื่องมือเฉพาะของแต่ละประเทศ เช่น เครื่องมือของ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน) หรือ อบก. ของประเทศไทย องค์กรจะต้องดำเนินการคำนวณการปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกให้สอดคล้องกับวิธีการที่เลือกใช้ และจัดทำรายงานตามรอบเวลาที่กำหนด ทั้งนี้จะต้องแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดให้อยู่ในรูปของ ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ภายใต้กรอบเวลา 100 ปี ตามที่ อบก. กำหนด องค์กรต้องคำนวณและบันทึกปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกภายในขอบเขตอย่างครบถ้วนเท่าที่สามารถทำได้ หากมีแหล่งปล่อยหรือแหล่งกักเก็บใดที่ไม่มีนัยสำคัญต่อผลรวมสุทธิของการปล่อยและดูดกลับ องค์กรอาจไม่รวมไว้ใน การคำนวณได้ แต่ต้องมีคำชี้แจงเหตุผลประกอบอย่างชัดเจน

5. รวบรวมและแสดงผลในระดับองค์กร (Roll-up Data to Corporate Level) เป็นกระบวนการที่รวมข้อมูลจากหน่วยงานย่อย เช่น โรงงานหรือสาขาต่าง ๆ เพื่อจัดทำเป็นภาพรวมของทั้งองค์กร ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยระบบการจัดการข้อมูลที่เป็นระบบ และมีความสอดคล้องกันทั่วทั้งองค์กร นอกจากนี้องค์กรควรวางแผนการรวบรวมข้อมูลอย่างรอบคอบ พร้อมทั้งบูรณาการระบบรายงาน GHG เข้ากับเครื่องมือและกระบวนการภายในที่มีอยู่ เช่น ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ระบบรายงานภายใน หรือฐานข้อมูลกลาง โดยควรใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่มีอยู่เดิม เพื่อลดความซ้ำซ้อน เพิ่มประสิทธิภาพ และให้การรายงานสอดคล้องกับแนวทางที่องค์กรกำหนดและกำหนดการใช้รูปแบบรายงานที่เป็นมาตรฐาน (Standardized Reporting Formats) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ ลดข้อผิดพลาดในการรวบรวมประมวลผลข้อมูล สนับสนุนให้การรายงานมีความโปร่งใส ตรวจสอบได้ และเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั่วทั้งองค์กร

จากแนวโน้มและผลกระทบที่เกิดขึ้นการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในอุตสาหกรรมขนส่งจึงเป็นความท้าทายที่ต้องดำเนินการอย่างเร่งด่วน การพัฒนาแนวทางเชิงกลยุทธ์ที่ผสมผสานนวัตกรรมเทคโนโลยี การปรับปรุงนโยบายสาธารณะ และการส่งเสริมความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน จะเป็นกุญแจสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พร้อมทั้งสนับสนุนการเติบโตของอุตสาหกรรมขนส่งที่ยั่งยืน สามารถตอบสนองความต้องการทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยได้อย่างสมดุล ซึ่งหากดำเนินการตามกลยุทธ์นี้อย่างเป็นระบบช่วยให้ประเทศไทยสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างยั่งยืน และสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันในระดับภูมิภาค

5. ข้อเสนอเชิงกลยุทธ์สำหรับประเทศไทยเพื่อมุ่งสู่ความยั่งยืน

สำหรับเชิงกลยุทธ์การจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นต์ในอุตสาหกรรมขนส่งจำเป็นต้องดำเนินการหลายด้านควบคู่กัน ได้แก่ การส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า (EV) การพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะให้มีประสิทธิภาพ การใช้พลังงานสะอาดในขนส่งสินค้า และการออกมาตรการนโยบายที่สร้างแรงจูงใจ ทั้งนี้ การลดการปล่อย CO₂ ในภาคขนส่งไม่เพียงช่วยบรรเทาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังเปิดโอกาสทางเศรษฐกิจใหม่ๆ ทั้งนี้ความสำเร็จต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วน ทั้งรัฐ เอกชน และประชาชน เพื่อสร้างระบบขนส่งที่ยั่งยืนควบคู่ไปกับการเติบโตทางเศรษฐกิจ และยังสามารถดำเนินการตามแนวทางต่างๆ ดังนี้

1. การส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ของประเทศตามนโยบาย 30@30 ในขณะที่ประเทศไทยกำลังก้าวสู่การเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าและชิ้นส่วนที่สำคัญของโลก โดยคณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ ได้ออกแนวทางการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ตามนโยบาย 30@30 คือ การตั้งเป้าผลิตรถ ZEV (Zero Emission Vehicle) หรือรถยนต์ที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ ให้ได้อย่างน้อย 30% ของการผลิตยานยนต์ทั้งหมดในปี ค.ศ. 2030 หรือ พ.ศ. 2573 ถือเป็นอีกหนึ่งกลไกที่จะนำพาประเทศไทยเข้าสู่การเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low-carbon Society) [13]

2. การพัฒนาและดำเนินการตามนโยบาย เป็นการออกแบบและการดำเนินการตามนโยบายที่สอดคล้องกับแนวทาง “หลีกเลียง-เปลี่ยนแปลง-ปรับปรุง” ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถาบันที่บูรณาการ การรอบการกำกับดูแลที่ได้รับการปรับปรุง การวางแผนระยะสั้นและระยะยาวโดยคำนึงถึงกรณีทางธุรกิจสำหรับการขนส่งและการพัฒนาที่ยั่งยืน การสร้างขีดความสามารถสำหรับประเทศกำลังพัฒนาและประเทศในสถานการณ์พิเศษ การมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย การติดตามและประเมินผล [14]

3. การจัดหาเงินทุนความต้องการการลงทุนทั่วโลกสำหรับโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง ซึ่งประเมินว่าเส้นทางการปล่อยคาร์บอนต่ำสามารถบรรลุได้เมื่อพิจารณาจากกระแสเงินในปัจจุบัน หากมีการลงทุนด้านการขนส่งนี้มุ่งไปที่การขนส่งที่ยั่งยืนกำหนดนโยบาย ธนาคารเพื่อการพัฒนาพหุภาคี และสถาบันการเงินอื่นๆ อยู่ในตำแหน่งที่จะผลักดันการพัฒนาไปสู่การขนส่งที่ยั่งยืนได้ด้วยการกำหนดเกณฑ์และมาตรฐาน และสร้างสภาพแวดล้อมการลงทุนที่เอื้ออำนวยต่อการขนส่งที่ยั่งยืน [14]

4. การขับเคลื่อนนวัตกรรมทางเทคโนโลยีที่สามารถขับเคลื่อนความก้าวหน้าในทุกมิติของการพัฒนาที่ยั่งยืนและมีบทบาทสำคัญในการผลักดันแนวทาง “หลีกเลียง-เปลี่ยนแปลง-ปรับปรุง” จากมุมมองทางสังคม เทคโนโลยีสามารถปรับปรุงความปลอดภัยและความสามารถในการขนส่ง และสามารถเพิ่มการเข้าถึงการขนส่งสำหรับผู้คนที่มีความคล่องตัวลดลงเนื่องจากความพิการ อายุ หรือปัจจัยอื่นๆ จากมุมมองด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีสามารถนำเสนอโอกาสใหม่และดีขึ้นสำหรับการขนส่งที่สะอาดขึ้นและเป็นมิตรต่อสภาพอากาศมากขึ้น ปล่อยมลพิษน้อยลง และปัจจัยขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจก็ชัดเจน เมื่อมีเทคโนโลยีและระบบขนส่งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น การลดของเสียและเวลารอคอยลง ศักยภาพในการเติบโตทางเศรษฐกิจก็จะสูงขึ้น [14,15]

5. การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและระบบไร้สายเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนาระบบขนส่งที่ยั่งยืน เน้นการใช้มือถือและแอปพลิเคชันช่วยเก็บข้อมูลและตอบสนองเหตุการณ์ได้รวดเร็วโดยไม่ต้องพึ่งโครงสร้างพื้นฐานราคาแพง การเชื่อมต่อไร้สายที่เสถียรเป็นปัจจัยสำคัญในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอย่างเต็มที่ในการสนับสนุนการแปลงระบบ

ขนส่งให้ทันสมัย และควรใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อขับเคลื่อนสู่ความยั่งยืน [14,15]

6. พึ่งพาการประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมอย่างจริงจัง เนื่องจากไม่สามารถบรรลุเป้าหมายในระดับที่ต้องการได้ด้วยวิธีการแบบเดิม เทคโนโลยีใหม่ เช่น เชื้อเพลิงสะอาด เครื่องยนต์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ยานยนต์ไร้คนขับ และระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transport Systems: ITS) กลายเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เปลี่ยนโฉมหน้าอุตสาหกรรมขนส่ง อย่างไรก็ตาม ยังมีช่องว่างด้านนวัตกรรมระหว่างประเทศ รวมถึงความเหลื่อมล้ำระหว่างพื้นที่เมืองกับชนบท ซึ่งอาจขยายกว้างขึ้น หากไม่มีความพยายามในการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง ก็จะไม่สามารถนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมมาใช้เพื่อสร้างระบบขนส่งที่เท่าเทียมและยั่งยืนในอนาคตได้ [15]

7. การปรับโครงสร้างระบบขนส่งด้วยการขยายเครือข่ายรถไฟฟ้า (BTS, MRT) และขนส่งมวลชนไฟฟ้าในเมืองใหญ่ ด้วยรถโดยสารพลังงานสะอาด รวมทั้งส่งเสริมระบบขนส่งหลายรูปแบบ (Multimodal Transport) เพื่อลดการใช้รถส่วนตัวและเพิ่มสัดส่วนการขนส่งทางรางและทางน้ำสำหรับโลจิสติกส์ให้มากยิ่งขึ้น

8. การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ด้วยการส่งเสริมระบบโลจิสติกส์อัจฉริยะ (Smart Logistics) ลดการเดินทางเปล่า (Empty Trip) ใช้ระบบการจัดการขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transport Systems) ส่งเสริมการขนส่งทางรางและทางน้ำแทนการใช้รถบรรทุก ใช้เทคโนโลยี IoT, GPS และ Telematics ในการติดตามและตรวจวัดการใช้พลังงานประยุกต์ใช้ AI และ Big Data ในการวางแผนเส้นทางขนส่งที่มีประสิทธิภาพ ลดการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อย CO₂

9. การกำหนดนโยบายและมาตรการสนับสนุนจากภาครัฐ โดยมาตรการทางเศรษฐศาสตร์ในการเก็บภาษีคาร์บอน (Carbon Tax) หรือกำหนดราคาคาร์บอน (Carbon Pricing) ให้เงินอุดหนุนหรือสิทธิประโยชน์ทางภาษีสำหรับบริษัทที่ลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ กำหนดมาตรฐานการปล่อยมลพิษ (Euro 6) ให้เข้มงวดขึ้น บังคับใช้แผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจก (NDC) ส่งเสริมการจัดทำรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์/องค์กร (CFP/CFO) และสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนในการส่งเสริม PPP (Public-Private Partnership) ในการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานคาร์บอนต่ำเพื่อสนับสนุนแนวปฏิบัติด้าน ESG (Environmental, Social, Governance) ในห่วงโซ่อุปทาน

10. การใช้เทคโนโลยีดักจับมลพิษ เทคโนโลยีดักจับมลพิษ เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ใช้ในการลดมลพิษทางอากาศคือ ระบบดักจับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Capture and Storage: CCS) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก่อนที่จะถูกปล่อยออกจากท่อไอเสียของรถบรรทุก ซึ่งระบบนี้ทำงานโดยการทำให้ก๊าซจากท่อไอเสียเย็นลง จากนั้นใช้วัสดุดูดซับพิเศษเพื่อแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซอื่น เช่น ไนโตรเจนและออกซิเจน เมื่อวัสดุดูดซับเริ่มเต็ม ระบบจะลดความดันหรือเพิ่มอุณหภูมิเพื่อแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกอีกครั้ง พลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์จะถูกนำมาใช้ในการบีบอัดก๊าซ CO₂ ให้กลายเป็นของเหลว ซึ่งสามารถจัดเก็บไว้ในถังกักเก็บเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อ เช่น การส่งต่อไปยังสถานบริการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) หรือแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบต่าง ๆ [10]

11. มาตรการส่งเสริมการใช้นานยนต์ไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ (E-Bus & E-Truck) มาตรการนี้เป็นส่วนหนึ่งของแผนยุทธศาสตร์ของรัฐบาลไทยในการผลักดันการใช้พลังงานสะอาด ลดมลพิษจากภาคขนส่ง และสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งเน้นยานพาหนะประเภทเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ ได้แก่ รถโดยสารไฟฟ้า (E-Bus) และ รถบรรทุกไฟฟ้า (E-Truck) [16]

6. สรุปผล

อุตสาหกรรมขนส่งของประเทศไทย โดยเฉพาะการขนส่งทางถนน มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สูงถึงร้อยละ 32 ของการปล่อยทั้งหมดในปี พ.ศ. 2565 หรือคิดเป็นประมาณ 79.6 ล้านตัน และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 200 ล้านตันในปี พ.ศ. 2593 หากไม่มีมาตรการควบคุม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคขนส่งผ่านมาตรการเชิงกลยุทธ์ที่เป็นระบบ ครอบคลุมทั้งด้านเทคโนโลยี โครงสร้างพื้นฐาน

การกำกับดูแล และความร่วมมือในทุกภาคส่วน ทั้งนี้ภาคขนส่งของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคการขนส่งทางถนน เป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลัก ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลสถิติจากปี พ.ศ. 2565 ที่ระบุว่ามีการปล่อย CO₂ คิดเป็นร้อยละ 32 ของปริมาณการปล่อยทั้งหมดของประเทศ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากไม่มีมาตรการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์ 4 กลยุทธ์สำคัญ ได้แก่ (1) กลยุทธ์ด้านเทคโนโลยี เช่น การใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) พลังงานสะอาด และระบบโลจิสติกส์อัจฉริยะ (2) กลยุทธ์ด้านนโยบายและการกำกับดูแล เช่น การใช้ภาษีคาร์บอน และการกำหนดมาตรฐานการปล่อยมลพิษ (3) กลยุทธ์ด้านโครงสร้างพื้นฐาน เช่น การพัฒนาระบบขนส่งมวลชน และการออกแบบเมืองลดคาร์บอน และ (4) กลยุทธ์ด้านความร่วมมือ เช่น การสร้างความร่วมมือรัฐ-เอกชน และการส่งเสริมความรู้สาธารณะ โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเชื่อมโยงกลยุทธ์กับมิติของความยั่งยืน

กลยุทธ์หลัก	สิ่งแวดล้อม (Environment)	เศรษฐกิจ (Economic)	สังคม (Social)	การบริหารจัดการ (Governance)
1. เทคโนโลยีและนวัตกรรม	ลด CO ₂ จาก EV, CCS, พลังงานสะอาด	ลดต้นทุนพลังงาน พัฒนา อุตสาหกรรมใหม่	สร้างงานใหม่ด้านเทคโนโลยีสะอาด	เสริมระบบข้อมูลและมาตรฐานเทคโนโลยี
2. นโยบายและกำกับดูแล	ควบคุมการปล่อยผ่านกฎหมายและภาษีคาร์บอน	สร้างกลไกตลาดคาร์บอน, จูงใจการลงทุน	เพิ่มความโปร่งใสและความรับผิดชอบองค์กร	วางกรอบการกำกับดูแล ESG
3. โครงสร้างพื้นฐานและขนส่ง	ออกแบบเมืองลดคาร์บอน, ขนส่งมวลชนไฟฟ้า	เพิ่มประสิทธิภาพการเดินทาง ลดการใช้พลังงาน	เพิ่มความเท่าเทียมในการเข้าถึงระบบขนส่ง	บริหารจัดการโครงการระยะยาว
4. การมีส่วนร่วมและความร่วมมือ	ขยายผลแนวทางสู่ภาคส่วนต่าง ๆ	ลดความเสี่ยงและแบ่งปันทรัพยากรระหว่างภาค	ยกระดับการรับรู้ของประชาชนและท้องถิ่น	ส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการกำหนดนโยบาย

โดยกลยุทธ์เหล่านี้สามารถตอบสนองต่อมิติของความยั่งยืนทั้งด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ สังคม และการบริหารจัดการ ได้อย่างสมดุล โดยสามารถลดการปล่อย CO₂ ได้ในระยะยาว ลดต้นทุนด้านพลังงาน เพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันทางเศรษฐกิจ และยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในภาพรวม นอกจากนี้ แนวทางที่เสนอยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ ได้แก่ SDG 9, SDG 11 และ SDG 13 ตลอดจนหลักการ ESG โดยเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental) และธรรมาภิบาล (Governance) อย่างชัดเจน หากมีการดำเนินการอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง ประเทศไทยจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างยั่งยืน และสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันในระดับภูมิภาค พร้อมทั้งยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนอย่างแท้จริงในระยะยาว

นอกจากนี้ข้อเสนอแนะในเชิงนโยบายควรผลักดันนโยบายลดคาร์บอนในภาคขนส่งอย่างเป็นระบบ โดยเน้นการจัดทำโรดแมปเฉพาะด้าน สร้างแรงจูงใจทางการเงิน พัฒนากลไกตลาดคาร์บอน เสริมสร้างศักยภาพบุคลากรด้านเทคโนโลยีสะอาด และจัดตั้งกองทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อขับเคลื่อนระบบขนส่งอย่างยั่งยืน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Centre for Research on the Epidemiology of Disaster (CRED). (2024). 2023 Disasters in Numbers. [online]. Available: https://files.emdat.be/reports/2023_EMDAT_report.pdf
- [2] ภาณุวัฒน์ ประเสริฐพงษ์. (2562). คู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงพยาบาล. กรุงเทพฯ : เนติกุลการพิมพ์.
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2567). สทพ. เผยภาคพลังงานการปล่อยก๊าซ CO₂ ครึ่งปี 2567 ลดลง 2.5% อยู่ที่ระดับ 121.9 ล้านตัน CO₂. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.greennetworkthailand.com/eppo-news-18092567/>
- [4] สุธเมธ อกิตติกุล. (2566). ชาร์จพลังประเทศไทยไปสู่เมืองน่าอยู่ ระบบขนส่งสาธารณะพร้อมการขนส่งคาร์บอนต่ำ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://tdri.or.th/2023/12/transition-transportation-lowcarbon/>
- [5] Kunak Technologies. (2024). Carbon dioxide, a vital element with significant impact. [online]. Available: <https://kunakair-com.translate.goog/carbon-dioxide/? x tr sl=en& x tr tl=th& x tr hl=th& x tr pto=wa>
- [6] European Environment Agency. (2024). Trends and projections in Europe 2024. [online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/trends-and-projections-in-europe-2024>
- [7] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2565). ข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/flipbook.php?flipbook=TVRrPQ#p=1>
- [8] Greenhouse Gas Protocol. (2014). Corporate Standard A Corporate Accounting and Reporting Standard Revised Edition. [online]. Available: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard#supporting-documents>
- [9] ณัฐณี วรยศ. (2568). เอกสารการอบรมเชิงปฏิบัติการเชิงลึกการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint of Organization: CFO). วันที่ 15 – 16 มกราคม 2568 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ (ERDI): มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [10] ธนากรออมสิน. (2024). Green Logistics ขนส่งลดคาร์บอน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.gsb.or.th/gsbresearch/wp-content/uploads/2024/07/IN_Green-Logistics_170767.pdf
- [11] สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (ทีดีอาร์ไอ). (2023). เบ็ด 5 ข้อเท็จจริงพลังงานไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://tdri.or.th/2023/07/5fact-energy/>
- [12] Pohma, C., Poma, W., Songsurin, S., & Thammapradit, S. (2024). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ การใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าทางบกด้วยรถบรรทุก. Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College, 11(1), 98-107.
- [13] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สทพ.) กระทรวงพลังงาน. (2021). แนวทางการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.eppo.go.th/index.php/en/component/k2/item/17415-ev-charging-221064-04>
- [14] Alix Mary Edwards. (2021). Transport for Sustainable Development. [online]. Available: https://www.trl.co.uk/uploads/trl/documents/Transport-for-Sustainable-Development-Strategy-Paper-FC_Optimized.pdf
- [15] Kathryn Platzer. (2021). Sustainable Transport, Sustainable Development. [online]. Available: https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-10/Transportation%20Report%202021_FullReport_Digital.pdf
- [16] สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน. (2024). 2 มาตรการ EV หนุนใช้รถบัสไฟฟ้า รถบรรทุกไฟฟ้า พร้อมสร้างฐานแบตเตอรี่ ดันไทยศูนย์กลางอีวี. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.boi.go.th/upload/content/2EV_Measures_1-67.pdf?utm_source=chatgpt.com

- [17] สถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ. (ม.ป.ป.). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร – Carbon Footprint for Organization [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.masci.or.th/service/carbon-footprint-for-organization-cfo/>
- [18] สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. (2564). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://bds.sme.go.th/Service/Detail/577>
- [19] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2566). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdIpIVmpkSE5mYVhNPQ>

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 โดยหัวข้อต่าง ๆ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดาและพิมพ์ชิดขอบ ทั้งสองด้าน การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่อง ให้ใช้เลขกำกับ บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลข ระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย 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 ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดาเนื้อหา (Text)

บทความวิจัยประกอบด้วยบทนำ (Introduction): บอกความสำคัญ หรือที่มาของปัญหาที่นำไปสู่การศึกษาวัดดูประสพ 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

ตารางและภาพ: 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 ซึ่งสิทธิในการตัดสินใจพิมพ์หรือไม่ก็ได้

“บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”



วารสารวิชาการ

เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม