

JEET
Journal of Energy and Environment Technology

ISSN 2392-5701

ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567
Vol. 11, No. 1, January - June 2024



วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม

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

บัณฑิตวิทยาลัย
วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

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

ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2567): Vol. 11 No. 1 (January – June 2024)

ISSN (Print): 2392-5701

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

วัตถุประสงค์ เพื่อสนับสนุนและกระตุ้นให้มีการเขียนผลงานทางวิชาการ เผยแพร่ผลงานทางวิชาการของคณาจารย์ นักวิชาการ และนักศึกษาทั้งภายในและภายนอก รวมทั้งเป็นสื่อกลางทางการศึกษา ค้นคว้า และเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการ

จุดมุ่งหมาย เป็นศูนย์กลางเพื่อสนับสนุน ถ่ายทอด องค์ความรู้ และเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ และการวิจัยที่มีคุณภาพให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม 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. รุทฤต ปานชลิม
หน้าที่ ดำเนินงานบริหารจัดการวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อมให้เป็นไปตามนโยบายของวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

เจ้าของ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
46 ถนนเจริญสนิทวงศ์ 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>

<http://jeet.siamtechu.net>**พิมพ์ที่**

บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอร์เช่ 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 หิรัญลาภ	มหาวิทยาลัยปทุมธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายศร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ ดวงเดือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ดั่งทองสุข	มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สายพิณ ไชยนั้นท์	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุโกศล วโนทยาพิทักษ์	มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา สารานันท์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิต แต่งศรี	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ ดีรอด	มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วณิช นิลนนท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์ สงค์แสงยศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิทธิพันธ์ุ ไชยนั้นท์	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ดร.สุทธิลักษณ์ ชุนประวัตติ	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ดร.กฤติเดช ดวงใจบุญ	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ดร.กนกอร รจนากิจ	มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ดร.ดิณณภพ จุ่มอิน	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ดร.กวินเวทย์ พิพิธรัตนนัยธร	มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก
ดร.ทรงพล นครศรีเรืองศักดิ์	มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์บางกอก
อาจารย์วิษณุ บุญมาก	มหาวิทยาลัยธนบุรี
อาจารย์ปิยะนัฐ ใจตรง	มหาวิทยาลัยธนบุรี
อาจารย์เฉลิมพล เมืองลือ	มหาวิทยาลัยปทุมธานี
อาจารย์เลอชัย กิรสมุทธานนท์	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
อาจารย์จิรวัดน์ กรุณา	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
อาจารย์สงกรานต์ ภารกุล	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
อาจารย์กัญฉวี สุริยันต์	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

หน้าที่

1. ให้ข้อคิด แนวทาง คำปรึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะในการดำเนินการจัดทำวารสารให้มีคุณภาพเพื่อส่งเสริม และสนับสนุนให้การดำเนินงานจัดทำวารสารสำเร็จลุล่วงด้วยดี
2. พิจารณาและประเมินบทความที่ส่งเข้าสู่กระบวนการของวารสารตามความเหมาะสม

ฝ่ายประสานงานและเลขานุการกองบรรณาธิการ

ดร.จุฑารัตน์ แก้วบุญชู วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 อาจารย์ชลิตา ไปะมา วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Reviewers) ปีที่ 11 ฉบับที่ 1

รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา สำราญพันธ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ภูเกล้าวัน
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงธรรม ดีวาณิชสกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภควี ทะยะมิน
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำโชค วัฒนานัย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ภูสมมา
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิสุทธิพงศ์ คงรุ่งโชค
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รติมา สี่รุ่งนาวรัตน์
 ดร.กนกอร รจนากิจ
 ดร.กฤติเดช ดวงใจบุญ
 ดร.ติณณภพ จุ่มอิน
 ดร.ณัฐพร ปิ่นทอง
 ดร.ทรงพล นครศรีเรืองศักดิ์
 ดร.กฤษณพงศ์ เลิศบำรุงชัย
 ดร.พีรพงษ์ กาสุริยะ
 อาจารย์ปิยะนัฐ ใจตรง
 อาจารย์วิษณุ บุญมาก
 อาจารย์เฉลิมพล เมืองลือ
 อาจารย์กำจัด ใจตรง
 อาจารย์ศิววัฒน์ สุรโชติเวศย์
 อาจารย์ธรรมราช อาษาสุวรรณ
 อาจารย์ปัญจิปัทธกร บุญพร้อม
 อาจารย์สุคนธ์ ชาวกริบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
 มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
 มหาวิทยาลัยรามคำแหง
 มหาวิทยาลัยเซาท์อีสท์บางกอก
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 มหาวิทยาลัยธนบุรี
 มหาวิทยาลัยธนบุรี
 มหาวิทยาลัยปทุมธานี
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

บทบรรณาธิการ

ในสถานการณ์ปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะพัฒนาโดยคำนึงถึงการประหยัดพลังงานมากขึ้น มุ่งเน้นคุณภาพของสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบน้อยที่สุด โดยมีทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานสะอาดที่เป็นหัวใจสำคัญของการดำเนินด้านเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม จึงได้จัดเผยแพร่วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม ฉบับนี้เป็นปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม ถึง เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567) โดยเผยแพร่ผลงานวิจัย และบทความวิชาการครอบคลุมด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้ว ปัจจุบันการดำเนินงานภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ การเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติหรือแม้แต่กระทั่งการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อการดำรงชีพในปัจจุบัน

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ได้ให้ความสำคัญและตระหนักต่อการนำองค์ความรู้มาบูรณาการสร้างคุณประโยชน์สู่สังคม ซึ่งเป็นการนำเสนอความคิดเชิงสร้างสรรค์ และการแก้ปัญหาผ่านองค์ความรู้ในศาสตร์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ มุ่งเน้นในเชิง “คุณค่า” ร่วมกัน ที่มีความสอดคล้องกับบริบท และการส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน นำไปสู่ประโยชน์ต่อสังคม ประเทศชาติอย่างไม่มีที่สิ้นสุด แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าทางด้านงานวิจัยที่ครอบคลุมทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม เป็นอย่างดี

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ยินดีรับบทความที่มีความประสงค์จะเผยแพร่ / ตีพิมพ์ผลงานวิจัย และผลงานทางวิชาการ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการเผยแพร่ให้เป็นที่รู้จักมากยิ่งขึ้น โดยขอความร่วมมือกับผู้ส่งบทความให้ตระหนัก และเห็นความสำคัญต่อคุณภาพของบทความอย่างเคร่งครัดเป็นไปตามรายละเอียด กฎเกณฑ์ ขั้นตอน การดำเนินงานของวารสาร

ท้ายสุดนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ คณะที่ปรึกษา ผู้มีส่วนที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ตลอดจนผู้อ่าน ที่ให้ความสนใจในงานวิจัย และนำไปใช้ประโยชน์จากวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งคณะผู้ดำเนินงานจะพัฒนาวารสารวิชาการให้ได้รับการรับรองมาตรฐานในระดับที่สูงขึ้นต่อไป



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุทฤต ปานชลธิป

บรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
1. การศึกษาวิเคราะห์เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระบบอากาศอัด สุนทร แสงเพชร และ รัชพรธน หนูเนียม	1
2. การปรับปรุงฝั่งกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวตามแนวทาง GMP และการประเมินผลกระทบด้วย การจำลองสถานการณ์ของวิสาหกิจชุมชนบ้านกลางคลองตาปลั่ง จังหวัดสมุทรสาคร ณภาพ ชัยสุวรรณ ปัญญา สำราญพันธ์ นิชิต ปุณธนกรภักดิ์ กวินชัย ต้องตรงทรัพย์ และ ณมาธร กุยศรีกุล	9
3. การประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในการออกแบบจิ๊กซอไม้เพื่อความปลอดภัยสำหรับเด็ก จงกล ศรีธร กฤษดา เพ็งอารีย์ กิ่งกาญจน์ กองกาญจนะ และ เกษมสันต์ แสงสาร	23
4. การคาดการณ์การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการเดินทาง ในเส้นทางการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge จิรวัดน์ กรุณา และ อุดมศักดิ์ โชติมงคล	36
5. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการแข่งขัน BWSC-2023 รุ่น CRUISER CLASS ปิยะบุตร ยิ้มแพน ศรายุทธ โรหิตเสถียร และ กำจัด ใจตรง	46
6. การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์เพื่อการแข่งขัน บริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอ เวลดี้ง (ประเทศไทย) จำกัด รวมพล จันทศาสตร์ กวินเวทย์ พิพิธนาชั้นยธร ลดาวรรณ สว่างอารมณ์ และ ประสิทธิ์ ประจิตร	53
7. การตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับเสียงและการจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียง ในโรงงานผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์ จังหวัดลำพูน ณัฐพงศ์ มาเทศ ปุณณัฐสา ผุดผ่อง พรรณวดี สิงห์แก้ว และ รัชกร ช่งกุล	68
8. การหาประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ในระบบปรับอากาศจากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย ความร้อน เมื่อค่าตัวเก็บประจุเกิดการเสื่อมสภาพ สงกรานต์ ภารกุล และ ทวีศักดิ์ ตรงศิริกุล	78
9. การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก สุทธิลักษณ์ ชุนประวัติ ศุภลักษณ์ จาริยศิลป์ ธิติ อัจฉนนลา และ วุฒิชัย เกษพานิช	88
10. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าทางบกด้วยรถบรรทุก กรณีศึกษา บริษัท เอ็มอีทรานส์ จำกัด ชลิดา โป๊ะมา วรวิภา โป๊ะมา สานิตย์ สงสุรินทร์ และ สิววัฒน์ ธรรมประดิษฐ์	98
11. การวิเคราะห์โครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ตามข้อกำหนด ในการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge 2023 ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ รัฐพล โพธิ์ศรี วิโรจน์ ขาวละออ และ วรวิภา ชื่นเมือง	108

การศึกษาวิเคราะห์เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระบบอากาศอัด

ANALYTICAL STUDY FOR REDUCE ENERGY LOSS IN COMPRESSED AIR SYSTEMS

สุนทร แสงเพชร^{1*} และ ธัชพรณ หนูเนียม¹
Soonthorn Sangpetch^{1*} and Thachapan Nooniem¹

Received: February 8, 2024

Revised: March 27, 2024

Accepted: April 7, 2024

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีจัดการอุตสาหกรรมและพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

*Corresponding Author Email: soonthorn.sae@bkkthon.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบลมและการสูญเสียแรงดันลมในระบบการจ่าย เนื่องด้วยระบบอัดอากาศเป็นเครื่องมือและแหล่งกำเนิดในกระบวนการผลิตแรงดันลมเพื่อส่งต่อให้เครื่องมือเครื่องจักรเครื่องทุ่นแรงอื่นๆ ในระบบ Pneumatics ระบบควบคุมเครื่องมือวัด และระบบลำเลียงด้วยลม ระบบอัดอากาศนำไปใช้ประโยชน์เพื่อลดแรงในการทำงานของมนุษย์ในกระบวนการผลิตหลายกระบวนการ จำเป็นต้องมีการใช้งานอากาศอัดสำหรับอุปกรณ์ Pneumatics ต่างๆ เช่น Air Cylinder ปืนลม เครื่องขัด เครื่องเจาะ เครื่องพ่น และการลำเลียง ตลอดจนเป็นส่วนประกอบในการใช้งานของเครื่องจักรอัตโนมัติต่างๆ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบมีขนาดตั้งแต่ ¼ แรงม้าขึ้นไป แต่ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีขนาดตั้งแต่ 5–15 แรงม้า (3.7–11.0 กิโลวัตต์) การทำวิจัยครั้งนี้ทำวิจัยเฉพาะ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบที่ใช้งานมา 9 ปี Air pump แบบสายพาน PP310A 10HP 3 สูบ 260 ลิตร 380V ผลการวิจัยพบว่า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง 21,060 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง 19,699 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี พลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดได้ 1,361 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นร้อยละ 6.46

คำสำคัญ: บั้มลม ลูกสูบ แรงม้า

Abstract

This research is to improve the efficiency of the air system and the loss of air pressure in the distribution system because the compressed air system is the tool and source in the air pressure production process. To pass on to other power-saving machinery and equipment in the pneumatic system and measuring instrument control system. Pneumatic conveyor systems are used to reduce human effort in many production processes. Compressed air is required for various pneumatic equipment such as air cylinders, air guns, polishing machines, drilling machines, spraying machines and conveying machines, as well as being a component in the use of various automatic machines. Reciprocating air compressors have sizes ranging from ¼ horsepower and up, but those commonly used in industrial plants have sizes ranging from 5–15 horsepower (3.7–11.0 kW). This research was conducted specifically. Piston air compressor that has been used for 9 years. Belt-type air pump, PP310A 10HP 3 cylinders 260 liters, 380V. The research results found that electrical energy used before the renovation was 21,060 kWh/year, and electrical energy used after the renovation was 19,699 kWh/year. Electrical energy can be reduced to 1,361 kWh/year, accounting for 6.46%.

Keywords: Air Pump, Piston, Horsepower

1. บทนำ

เครื่องอัดอากาศ มีหน้าที่หลักในการเพิ่มความดันของอากาศจากความดันบรรยากาศปกติ (ประมาณ 1 บาร์) ให้สูงขึ้นตามความต้องการใช้งาน ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักใช้งานที่ความดันในช่วง 4–7 บาร์ โดยอาศัยหลักการลดปริมาตรของอากาศลง ส่งผลให้มีความดันเพิ่มขึ้นและในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกวิเคราะห์เฉพาะแบบลูกสูบเนื่องจากโรงงานต้นแบบมีไว้ใช้งาน โดยปรกติระบบอัดอากาศมีหลายชนิดคือ แบบลูกสูบ แบบสกรู แบบโรตารีเวน แบบหมุนเหวี่ยง ฯลฯ ซึ่งมากกว่า 80% ของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการใช้งานเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบ สกรูแทบทั้งสิ้น ดังนั้น จึงขอทำการวิเคราะห์วิจัยเฉพาะเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้งาน 1 ชนิด คือเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องมืออุปกรณ์ Pneumatics

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการทำงานและอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบอากาศอัด
- 2) เพื่อหามาตรการปรับปรุงการลดการสูญเสียพลังงานในระบบอากาศอัด
- 3) เพื่อหาวิธีการวิเคราะห์ผลการลดภาระค่าไฟฟ้าในระบบอากาศอัด

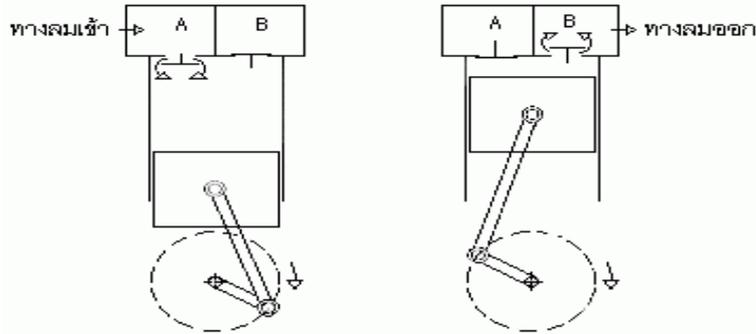
3. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้โรงงานต้นแบบในการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการทำวิจัยโดยใช้หลักทฤษฎีและหลักปฏิบัติ แล้วนำมาคำนวณเพื่อให้ทราบสมรรถนะของระบบอากาศอัดเพื่อลดการภาระค่าไฟฟ้าในระบบอากาศอัด

3.1 ชนิดและหลักการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

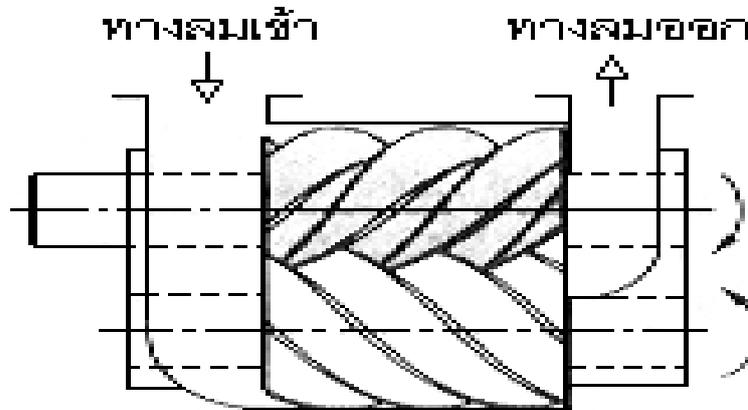
เครื่องอัดอากาศสามารถแบ่งตามลักษณะวิธีการของการอัดอากาศได้หลายชนิด เช่น แบบลูกสูบ แบบสกรู แบบโรตารีเวน แบบหมุนเหวี่ยง เป็นต้น ซึ่งมากกว่า 80% ของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการใช้งานเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบสกรูแทบทั้งสิ้น ดังนั้นจึงขออธิบายเฉพาะเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้งานทั้ง 2 ชนิด ดังนี้

● Air compressor แบบลูกสูบ



รูปที่ 2 Air compressor แบบลูกสูบ

● Air compressor แบบสกรู



รูปที่ 3 Air compressor แบบสกรู

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบ Air compressor แบบลูกสูบและสกรู

รายการ	ลูกสูบ	สกรู
เรื่องเสียง	สูง	เสียงดังน้อยมาก
ขนาด	ใหญ่เทอะทะ	เล็กเหมาะสม
น้ำมันผสมผสานกับอากาศ	พอสมควร	น้อยมาก
แรงกระแทก	มีมาก	มีน้อย
การบำรุงรักษา	มีอะไหล่มาก	มีอะไหล่ล้น
ปริมาณ	ต่ำ-สูง	ต่ำ-สูง
ความดัน	ปานกลาง-สูงมาก	ปานกลาง-สูง
ประสิทธิภาพที่โหลดบางส่วน	สูง	ไม่มี เมื่อโหลดต่ำกว่า 60%

Air compressor แบบสกรูโดยทั่วไปมีขนาดมอเตอร์ และปริมาณการผลิตอากาศอัดสูงกว่า Air compressor แบบลูกสูบ ขนาดที่นิยมใช้มักอยู่ในช่วง 11-75 kW จึงมักใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการอากาศอัดในปริมาณที่สูงหลักการทำงาน Air compressor แบบสกรู อาศัยตัวหมุน 2 ตัวทำเป็นเกลียว และมีทิศทางการหมุนตรงกันข้ามกัน โดยระหว่างเกลียวทั้งสองจะมีช่องว่างสำหรับดูดอากาศเข้ามาแล้วอัดให้มีปริมาตรน้อยลงเพื่อเพิ่มความดันอากาศเมื่อเพลาสกรูหมุนลง

ภายนอกจะถูกดูดผ่านท่อเข้ามาและถูกอัดตามร่องพื้นที่ขบกันความเร็วสูง ทำให้อากาศถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นและไหลออกอีกทางหนึ่ง ดังรูปที่ 3 เลือกขนาด Air compressor โดยพิจารณาจากอัตราการไหลของอุปกรณ์ทั้งหมด 25–50% สำหรับความสูญเสีย และการขยายตัวในอนาคตจากหลักการทำงาน และคุณลักษณะของเครื่องอัดอากาศซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน สามารถแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 หน้าที่ของอุปกรณ์ประกอบในระบบอากาศอัด

เครื่องทำอากาศแห้ง (Air Dryer)	มีหน้าที่ในการไล่ความชื้นที่มีอยู่ในอากาศอัดออกไป เพื่อให้อากาศที่จะนำไปใช้งานมีความแห้งเหมาะสมต่อการใช้งานและไม่สร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ โดยส่วนใหญ่มักทำอากาศให้แห้งโดยการไ้ระบบทำความเย็น ซึ่งจะทำให้อากาศแห้งลงในระดับที่เหมาะสมกับการใช้งานทั่วไป สำหรับกระบวนการที่ต้องการอากาศอัดที่แห้งเป็นพิเศษจำเป็นต้องใช้สารดูดความชื้น เช่น Silica เป็นต้น
ท่อส่งจ่ายอากาศอัด	ขนาดของท่อส่งจ่ายควรเลือกให้เหมาะสม เพราะเนื่องจากถ้าใช้ท่อที่มีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันมาก และสิ้นเปลืองพลังงาน โดยทั่วไปสามารถคำนวณขนาดท่อจากปริมาณอากาศอัดที่ส่งจ่าย และกำหนดให้ความเร็วอากาศอัดไม่เกิน 8 และ 15 m/sec สำหรับท่อเมน และท่อย่อย ตามลำดับ ซึ่งการติดตั้งท่อลมหลักมี 2 แบบ คือ 1) การเดินท่อแบบท่อเดี่ยว (Single line) การเดินท่อดังนี้จะใช้กับการใช้งานที่มีอุปกรณ์ Pneumatic ไม่มากและเป็นการเดินท่อในระยะสั้นๆ 2) การเดินท่อแบบวงแหวน (Ring Circuit) เป็นการเดินท่อเป็นวงรอบพื้นที่ใช้งานซึ่งการวางท่อแบบนี้เป็นการแก้ปัญหาเรื่องความดันตกโดยการจ่ายลมอัดกระจายออกไปทั้งสองด้าน โดยที่ความดันที่บริเวณปลายสุดของ ท่อเมนจะมีความดันใกล้เคียงกับบริเวณใกล้เครื่องอัดลมแม้จะมีการใช้ปริมาณลมมาก

อุปกรณ์หลักๆ ที่ติดตั้งรวมอยู่กับถังอากาศอัดด้วยแสดงในรูปได้แก่ วาล์วนิรภัย (Safety Valve) ทำหน้าที่ปล่อยอากาศออกจากถังเมื่อความดันในถังสูงเกินค่าที่ตั้งไว้เพื่อความปลอดภัย ในกรณีเครื่องอัดอากาศไม่ตัดการทำงาน Gauge วัดความดัน (Pressure Gauge) ใช้สำหรับตรวจวัดความดันของอากาศอัดภายในถังอุปกรณ์ระบายน้ำอัตโนมัติ (Automatic Drain) มีหน้าที่ระบายน้ำซึ่งเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศซึ่งอยู่ด้านล่างของถังอากาศอัดออกไปจากระบบตามปริมาณน้ำหรือเวลาที่กำหนดไว้ โดยขนาดของถังอากาศอัดที่เหมาะสมคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{ปริมาตรถัง} = \frac{\text{ปริมาณอากาศอัดติดตั้ง (m}^3/\text{min)} \times \text{Safety Factor}}{\text{ความดันใช้งาน (Bar abs)}} \quad (1)$$

โดยที่ Safety Factor มักใช้ค่าในช่วง 1.5–3.0 ขึ้นอยู่กับความคงที่ของปริมาณอากาศอัดที่ใช้งาน เช่น หากความต้องการใช้ค่อนข้างคงที่ที่ใช้ค่า 1.5 และถ้ามีความผันผวนมากแนะนำให้ใช้ 3.0 ความดันที่อ่านได้จาก Gauge วัดความดัน (Pressure Gauge = ความดันสัมบูรณ์ (P abs.) + ความดันบรรยากาศ (P atm))

3.2 ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

ประสิทธิภาพของ Air compressor นั้นมักระบุในเชิงของดัชนีการใช้กำลังไฟฟ้าต่อการผลิตอากาศอัด ซึ่งจะต้องทราบข้อมูลใน 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ Air compressor (kW) และอัตราการผลิตอากาศอัด (l/sec, m³/min) ซึ่งมักนิยมระบุประสิทธิภาพของ Air compressor จึงนิยมระบุในเชิงความสัมพันธ์ของค่าทั้ง 2 โดยมีหน่วยเป็น kW/m³/min

DESCRIPTION	SCREW AIR COMPRESSOR	
MODEL	MM45	ROTARY
SERIAL NO.	11576 DJFG AE L	
CAPACITY	7.1	m ³ /min
RATED PRESSURE	0.85	MPa
RATED POWER	45	kW
GROSS WEIGHT	953	kg
DIMENSIONS	1170x710x530/1625 mm	
PRODUCTION DATE	2014.12	

รูปที่ 4 Nameplate ของเครื่องอัดอากาศ

$$I = kW_T / FAD_A \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ kW_T = พลังไฟฟ้าใช้ในการอัดอากาศ (kW)
 FAD_A = อัตราการไหลของอากาศอัด (m³/min)
 ค่าประสิทธิภาพที่พิกัด = $45 \text{ kW} / 7.1 \text{ m}^3/\text{min} = 6.34 \text{ kW/m}^3/\text{min}$
 ค่า kW/m³/min ยิ่งต่ำ ยิ่งดี โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศใหม่มีค่าประมาณ 6 kW/m³/min

3.3 การประเมินการใช้พลังงานของ Air compressor ก่อนการทำวิจัย

จากการเข้าไปสำรวจและวางแนวทางเพื่อทำการสำรวจทำการวิเคราะห์วิจัยเครื่องปั๊มลมระบบลูกสูบที่บริษัท เอ็ดซาบิซ Air pump แบบสายพาน PP310A 10HP 3 สูบ 260 ลิตร 380V ระยะการใช้งานมา 9 ปี ผู้วิจัยจึงใช้หลักการพลังงานไฟฟ้าคือผลคูณของค่าพลังงานไฟฟ้า กับชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ ดังนั้น สำหรับ Air compressor แบบลูกสูบ สามารถประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้ด้วยสมการที่ 3

$$\text{พลังงานที่ใช้} = \text{พลังไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน} \times \% \text{การทำงาน} \quad (3)$$

โดย Air compressor ชนิดลูกสูบขนาด 10 Hp 3 สูบ 260 ลิตร 380V อายุการใช้งาน 9 ปีจากการวัดค่าด้วยมิเตอร์มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 7.8 kW และชั่วโมงการทำงานเฉลี่ย 3,600 Hours per Year, Load Factor เฉลี่ย = 75% คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีเท่ากับ

$$\text{Electrical energy} = 7.8 \text{ kW} \times 3,600 \text{ Hours per Year} \times 75 \% = 21,060 \text{ kWh/Year (Before)}$$

3.4 การประเมินการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังการทําวิจัย

หลังทำการตรวจวัดค่าและ Renovation อุปกรณ์เชื่อมต่อและแก้ไขข้อต่อต่างๆในระบบ Air pump แบบสายพาน PP310A 10HP 3 สูบ 260 ลิตร 380V ระยะการใช้งานมา 9 ปี ผู้วิจัยจึงทำการตรวจวัดใหม่ทั้งหมดโดยได้ค่าดังนี้ ใช้พลังงานไฟฟ้า 7.6 kW และชั่วโมงการทำงานเฉลี่ย 3,600 Hours per Year, Load Factor เฉลี่ย 72% คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีเท่ากับ

$$\text{พลังงานที่ใช้} = \text{พลังไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน} \times \% \text{การทำงาน}$$

$$\text{Electrical energy} = 7.6 \text{ kW} \times 3,600 \text{ Hours per Year} \times 72 \% = 19,699 \text{ kWh/Year (After)}$$

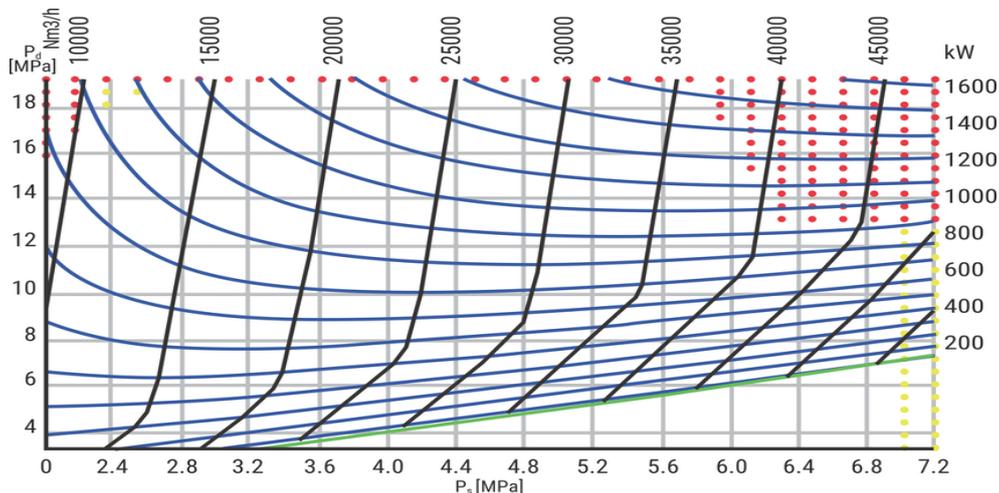
3.5 เปรียบเทียบการประเมินการใช้พลังงานของ Air compressor

$$= 19,699 \text{ kWh/Year (After)} / 21,060 \text{ kWh/Year (Before)} \times 100 = 6.46 \%$$

ดังนั้น การปรับปรุงระบบทำให้ Electrical energy ลดลง 6.46 %

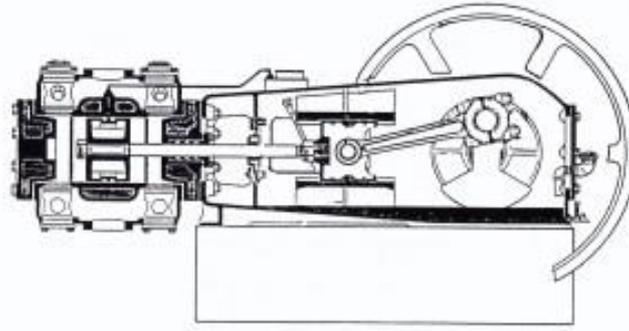
3.6 Air compressor แบบลูกสูบ (Reciprocating compressor)

Air compressor ลักษณะนี้ ส่วนใหญ่จะใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนโดยสายพานโดยโรงงานที่ทําวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนด้วยสายพาน โดยมีสายพานเป็นอุปกรณ์ถ่ายทอดกำลังงานไปสู่เครื่องอัดเพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่อัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กลง ลักษณะนี้อากาศจะถูกอัดให้เล็กลงในกระบอกสูบแรงดันขณะนี้จะสูงมาก และอากาศที่ถูกอัดนี้จะถ่ายเทไปยังถังเก็บซึ่งในถังเก็บนี้ก็จะสะสมแรงดันไว้ด้วยเพื่อให้มีพลังความดันเพียงพอออกไปใช้งาน เมื่อมีแรงดันสูงก็จะเกิดมีความร้อนตามมาจึงต้องมีที่ระบายความร้อนซึ่งส่วนใหญ่จะระบายความร้อนด้วยแผ่นครีป (vane) โดยแผ่นครีปจะถูกออกแบบมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเครื่องว่ามีขนาดใหญ่หรือขนาดเล็กเพราะเมื่อลูกสูบทำงานจะเกิดการเคลื่อนไหวเร็วมากและจะต้องทำหน้าที่อัดอากาศซึ่งมีแรงดันมากจึงทำให้ตัว frame air compressor เกิดความร้อนสูงผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องเพิ่มแผ่นครีประบายความร้อนตามขนาดของตัวเครื่องจะทำให้ความสมดุลระหว่างความร้อนที่เกิดขึ้นกับการระบายอากาศสมดุล



รูปที่ 5 Reciprocating compressor curve

การระบายความร้อนออกแบบแบบสมดุล เพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อนซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนภายในเครื่องอัดอากาศได้รับความเสียหายได้ อากาศอัดดังกล่าวเมื่อถูกนำไปเก็บในถังอัดอากาศจะยังมีความร้อนเหลืออยู่บ้าง เมื่ออากาศอัดภายในถังอากาศเย็นตัวลง ก็จะทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำอยู่ในถังอัดอากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายได้ในขณะที่นำอากาศไปใช้งาน ดังนั้นอัดอากาศ ก่อนที่จะมีการใช้งานอยู่เสมอทุกวัน



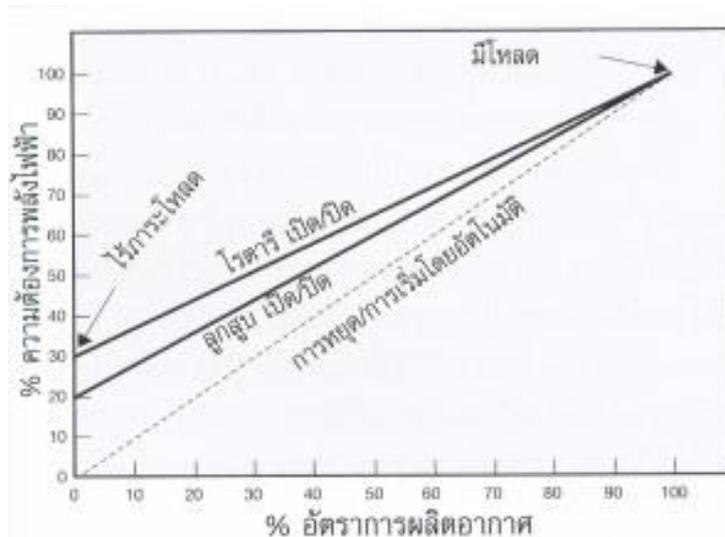
รูปที่ 6 ภายในเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

3.7 ระบบเปิดปิดอัตโนมัติ (Automatic Start/Stop) ของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

สำหรับเครื่องอัดอากาศที่มีอัตราการผลิตอากาศน้อยกว่า 10 ลิตรต่อวินาที มอเตอร์เครื่องอัดอากาศจะปิดเมื่อไม่ต้องการใช้งาน จะเปิดเมื่อมีการทำงานพร้อมกับการใช้พลังงานอย่างคงที่ ณ ระดับความดันปกติ อย่างไรก็ตามอาจมีปัญหาคือหลีกเลี่ยงไม่ได้เกิดขึ้นเมื่อระบบทำงานที่ไหลดบางส่วนทำให้เครื่องอัดอากาศมีการเปิด / ปิดบ่อยๆ ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่

3.8 ระบบควบคุมแบบมี On-Line / Off-Line ของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ส่วนมากจะใช้กับวิธีควบคุมแบบมีภาระ / ปลดภาระ (On-Line / Off-Line)



รูปที่ 7 การควบคุมแบบ On-Line / Off-Line

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงการควบคุมแบบมีภาระ / ปลดภาระ (On-Line / Off-Line) โดยมีไหลดบางส่วนและยังแสดงให้เห็นถึงอัตราเฉลี่ยของความต้องการพลังงานไฟฟ้า ที่ภาระไหลดเฉพาะการควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบบางรุ่นโดยการปิดวาล์วที่ท่อทางเข้าของอากาศการปิดวาล์วที่ตำแหน่งท่อดูดจะทำให้มีผลต่อการปลดภาระ เมื่อระบบความดันอยู่ที่ระดับสูงสุดที่กำหนดไว้จะทำให้การทำงานของเครื่องอัดอากาศย้อนกลับมากที่มีภาระระดับความดันต่ำตามที่กำหนดไว้ การควบคุมแบบนี้จะทำให้ประหยัดพลังงานได้อย่างมากในการใช้เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ การใช้พลังงานจะลดลงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของโหลดเต็มพิกัด

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบอาคารอัตโนมัติและนำมาถ่ายทอดความรู้ให้กับนักศึกษา
- 2) วิเคราะห์ที่ทดลองและนำเอาผลลัพธ์ไปใช้ประโยชน์ต่อสาธารณชนได้

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยและสำรวจในการทำ Renovation ในโรงงานจะได้ผลดังนี้

$$\text{Electrical energy} = 7.8 \text{ kW} \times 3,600 \text{ Hours per Year} \times 75 \% = 21,060 \text{ kWh/Year (Before)}$$

$$\text{Electrical energy} = 7.6 \text{ kW} \times 3,600 \text{ Hours per Year} \times 72 \% = 19,699 \text{ kWh/Year (After)}$$

ผลการปรับปรุง 21,060 kWh/Year (Before) - 19,699 kWh/Year (After) = 1,361 kWh/Year = 6.46 % เมื่อคิดต่อปีอาจจะลดลงไม่มาก สาเหตุมาจากยังขาดการเจาะลึกรายละเอียดและช่วงระยะเวลาในการสำรวจและปรับปรุง เนื่องจากทางโรงงานให้เวลาในการตรวจวัดมีข้อจำกัด จึงต้องทำในช่วงเวลาที่โรงงานหยุดในช่วงเทศกาลจึงจะเหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากบริษัท เอ็คซาบิซ จำกัด ที่ให้เข้าไปเก็บข้อมูลและอำนวยความสะดวกทุกอย่างให้เป็นอย่างดีและมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ที่มอบทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2547). ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2550). คู่มือมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2004). ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส (ผอส.) ด้านความร้อน ตอนที่ 4 บทที่ 1 ระบบปรับอากาศ บิมน้ำและพัดลม หน้า 1-1 – 1-72.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. (2560). คู่มือผู้รับผิดชอบพลังงาน ตอนที่ 2 บทที่ 5 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบอาคารอัตโนมัติ หน้า 4-65
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). การตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานระบบอาคารอัตโนมัติ. กระทรวงพลังงาน, คู่มือการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม หน้า 6-1 – 6-6
- [6] ประกอบ เอี่ยมสะอาด. (2549). การบริหารจัดการพลังงาน ในระบบอาคารอัตโนมัติ ของโรงงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี

การปรับปรุงผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวตามแนวทาง GMP และการประเมินผลกระทบด้วยการจำลองสถานการณ์ของวิสาหกิจชุมชนบ้านกลางคลองตาปลั่ง จังหวัดสมุทรสาคร

ENHANCING COCONUT WATER PRODUCTION PROCESS ACCORDING TO GMP GUIDELINES AND EVALUATING IMPACT BY SIMULATION MODELING OF BAN KLANG KHLONG TAPLANG COMMUNITY ENTERPRISE, SAMUT SAKHON PROVINCE

ณภาพ ซ้ายสุวรรณ^{1*} ปัญญา สำราญหันต์¹ นิธิศ ปุณฺธนกรภักดิ์¹ กวินชัย ต้องตรงทรัพย์¹ และ
ฉมาธร กุยศรีกุล¹

Naphob Saisuwan^{1*}, Panya Sumranhun¹, Nithit Punthanakoraphat¹, Kawinchai Tongtrongsub¹ and
Chamathorn Kuisriku¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

*Corresponding Author Email: naphob.sa@bsru.ac.th

Received: March 7, 2024

Revised: May 7, 2024

Accepted: May 12, 2024

บทคัดย่อ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มได้เห็นความสำคัญในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิต (GMP) การปรับเปลี่ยนผังกระบวนการมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพระบบการผลิต ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวตามแนวทาง GMP ในด้านผลผลิตและงานที่รอดำเนินการ (WIP) สำหรับแนวทางในการดำเนินการจะใช้แผนภูมิความสัมพันธ์เพื่อวิเคราะห์การพึ่งพาซึ่งกันและกันระหว่างกิจกรรมหลัก 8 กิจกรรมตามแนวทาง GMP จากนั้นจะใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบผังงานก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าผลผลิตเพิ่มขึ้นในทุกกิจกรรมโดยเฉลี่ย 889.25 หน่วย คิดเป็นร้อยละ 31.32 การปรับปรุงนี้เป็นผลมาจากการไหลของวัตถุดิบที่มีความต่อเนื่องมากขึ้นหลังจากปรับปรุงผังการผลิตเดิม และส่งผลทำให้งานระหว่างกระบวนการผลิตมีจำนวนลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่ดีขึ้น

งานวิจัยนี้ยังมีส่วนสนับสนุนถึงหลักฐานเชิงประจักษ์ในด้านการปรับปรุงกระบวนการในเชิงปริมาณที่แสดงถึงประสิทธิภาพของการนำหลักการ GMP มาใช้ในการผลิตน้ำมะพร้าว ผลลัพธ์เน้นย้ำถึงความสำคัญของการปรับกระบวนการผลิตให้สอดคล้องกับมาตรฐานด้านกฎระเบียบ และการใช้ประโยชน์จากเครื่องมือจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขัน การศึกษานี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับพลวัตของการปรับปรุงกระบวนการเท่านั้น แต่ยังให้ข้อมูลเชิงลึกที่สามารถนำไปปฏิบัติได้สำหรับผู้ปฏิบัติงานที่ต้องการเพิ่มความสามารถในการผลิตและปรับปรุงการดำเนินงานในภาคการผลิตเครื่องดื่ม

คำสำคัญ: วิธีการที่ดีในการผลิต น้ำมะพร้าว การจำลองสถานการณ์

Abstract

In recent years, the food and beverage industry has seen the importance of improving production processes to comply with Good Manufacturing Practices (GMP) guidelines, a modifying the process layout flow had been to play an important role in increasing product quality and production system efficiency. The objective of this research is to assess the effect of improving the coconut water production process flow chart in accordance with GMP guidelines in terms of productivity and work in process (WIP). The ways of the implementation method would be to use a relationship chart to analyze the interdependence between 8 main activities according to GMP guidelines, and then using the simulation techniques to compare the workflow before and after the renovation. The results showed that productivity increased in all activities by an average of 889.25 units or 31.32 percent. This improvement was the resulted of a more continuous flow of raw materials after improvements to the original production layout and resulting in a decrease in the amount of work during the production process, which it shows that the efficiency of the production process has improved.

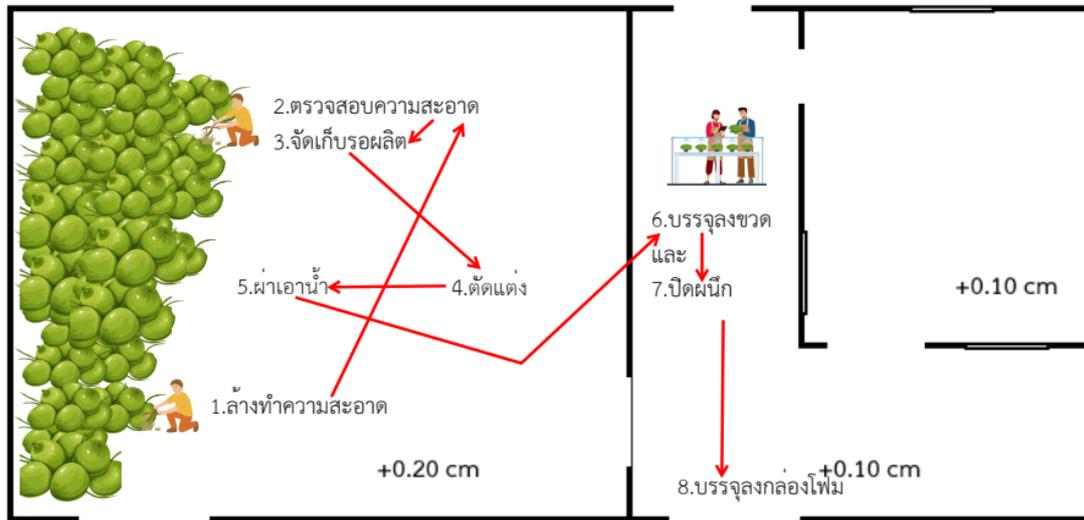
This research also contributes to empirical evidence for quantitative process improvements showing the effectiveness of GMP principles to use for coconut water production. The results underscore the significance of aligning production processes with regulatory standards and leveraging simulation tools for optimizing efficiency and competitiveness. This study not only improves our understanding of the dynamics of process improvement, but also provides actionable insights for practitioners seeking to enhance productivity and streamline operations in the beverage manufacturing sector.

Keywords: Good Manufacturing Practice, Coconut water, Simulation

1. บทนำ

วิสาหกิจชุมชนมีบทบาทสำคัญในการรักษาเศรษฐกิจท้องถิ่นและอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรม ในบรรดาผลิตภัณฑ์ที่ปลูกและผลิตในอำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร น้ำมะพร้าวมีความโดดเด่นในฐานะที่มีการปลูกมะพร้าวในพื้นที่ทำการเกษตรที่เหมาะสมสูงถึง 205,437 ต้น [1] มะพร้าวน้ำหอมบ้านแพ้วเป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (GI) มีความสำคัญทั้งทางวัฒนธรรมและเศรษฐกิจ สามารถแปรรูปเป็นสินค้าได้หลากหลาย โดยเฉพาะน้ำมะพร้าวที่เป็นเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และได้รับความนิยมไม่เพียงแต่ในท้องถิ่นเท่านั้น แต่ยังรวมถึงในเวทีระดับโลกด้วยการผลิตน้ำมะพร้าวในวิสาหกิจชุมชนไม่เพียงแต่สร้างรายได้ แต่ยังส่งเสริมความสามัคคีในชุมชนและอนุรักษ์ประเพณีดั้งเดิมอีกด้วย ดังนั้น เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การประกันคุณภาพของกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับของวิสาหกิจชุมชนเหล่านี้ วิสาหกิจชุมชนบ้านคลองตาปลั่งก็เช่นกัน เป็นการรวมกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวน้ำหอมในพื้นที่บ้านแพ้วที่ประสบปัญหาราคามะพร้าวตกต่ำ น้ำมะพร้าวที่มีจำนวนมากมาทำการแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ จากมะพร้าวน้ำหอม มุ่งเน้นคุณภาพ ใช้สารอินทรีย์เป็นหลักทดแทนสารเคมี ภายใต้ชื่อผลิตภัณฑ์ โคโคเชย มะพร้าว เพื่อให้สินค้าสามารถนำไปจำหน่ายและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคทางวิสาหกิจชุมชนจึงมีการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีคุณภาพและขอการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องมา แต่จากผังขั้นตอนการทำงานเดิม ดังภาพที่ 1 พบว่ามีกิจกรรมการทำงานทั้ง 8 กิจกรรม บางกิจกรรมที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนข้าม (cross contamination) เนื่องจากมีการจัดวางตำแหน่งของกิจกรรมที่ไม่เหมาะสมในพื้นที่เดียวกัน โดยเฉพาะกิจกรรมที่ 1 ถึงกิจกรรมที่ 5 พบว่า พื้นที่ทำความสะอาดวัตถุดิบอยู่ใกล้พื้นที่ผ่าเอาน้ำมะพร้าวมาโดยไม่มียางหรือปิดกันซึ่งอาจทำให้เศษดิน หรือน้ำล้างวัตถุดิบปนเปื้อนในน้ำมะพร้าวได้ และจากที่ไม่มีผืนกันนี้อาจส่งผลต่อแมลงหรือสิ่งเจือปนลงไปในภาชนะหรือผลิตภัณฑ์ในกิจกรรมผ่า/เอาน้ำ กิจกรรมการบรรจุและและกิจกรรมปิดผนึกได้ นอกจากนี้

จากการพิจารณาการไหลของวัตถุดิบจนออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ พบว่ามีทิศทางการไหลที่ย้อนไปย้อนมา มีการไหลที่ไม่เป็นไปอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นอีกหนึ่งประเด็นที่ต้องนำมาพิจารณาร่วมกับเกณฑ์การพิจารณาตามหลัก GMP



รูปที่ 1 ผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวก่อนปรับปรุง

การนำแนวทางหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิต (Good Manufacturing Practice, GMP) มาใช้ ได้รับการยอมรับว่าเป็นส่วนสำคัญในการรับรองความปลอดภัย คุณภาพ และความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค รวมถึงน้ำมะพร้าว การดำเนินการตาม GMP ช่วยกำหนดกรอบการทำงานสำหรับการปฏิบัติตามกฎระเบียบ โดยให้คำแนะนำแก่องค์กรต่างๆ ในการรักษาสภาพแวดล้อมการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ และยึดมั่นในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เข้มงวด แม้ว่าการศึกษาก่อนหน้านี้ได้ตรวจสอบการปรับรูปแบบกระบวนการให้เหมาะสมในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง รวมถึงการผลิตอาหาร แต่ก็ยังขาดการวิจัยที่ชัดเจนที่เน้นไปที่กระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวในวิสาหกิจชุมชนโดยเฉพาะ ช่องว่างนี้มีความสำคัญ เนื่องจากวิสาหกิจชุมชนมักดำเนินงานภายใต้ข้อจำกัดเฉพาะและมีข้อจำกัดด้านทรัพยากรเมื่อเปรียบเทียบกับโรงงานผลิตขนาดใหญ่ นอกจากนี้ การใช้แนวปฏิบัติที่ดีในการผลิตน้ำมะพร้าวยังมีความซับซ้อนเพิ่มเติมที่ต้องเอาใจใส่เป็นพิเศษเพื่อคงคุณภาพด้านรสชาติและความสะอาด เนื่องจากน้ำมะพร้าวของวิสาหกิจชุมชนบ้านคลองตาปลั่งเป็นน้ำมะพร้าวบริสุทธิ์ไม่ผสมสารปรุงแต่งใดๆ ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงพยายามเติมเต็มช่องว่างนี้โดยศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนแผนผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวในบริบทของแนวทาง GMP

นอกจากนี้ บทความที่มีอยู่เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ในการผลิตอาหารจะมุ่งเน้นไปที่การดำเนินงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงงานแปรรูปและศูนย์กระจายสินค้ามากกว่าที่จะเป็นวิสาหกิจในชุมชน ซึ่งวิสาหกิจชุมชนมักดำเนินงานโดยใช้ทรัพยากรและโครงสร้างพื้นฐานที่จำกัด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเป็นไปได้และประสิทธิผลของการปรับปรุงผังการผลิต ดังนั้น วิจัยนี้จึงสนับสนุนแนวทางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับหลักการ GMP และใช้การจำลองสถานการณ์ในการตรวจสอบผลกระทบจากแนวทางดังกล่าว

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาและออกแบบผังการผลิตน้ำมะพร้าวตามหลักการ GMP ของชุมชนบ้านกลางคลองตาปลั่ง จังหวัดสมุทรสาคร
- 2) เพื่อตรวจสอบผลกระทบด้านผลผลิต เวลาในการทำงาน และการไหลของวัตถุดิบจากการออกแบบผังการทำงานตามหลักการ GMP ด้วยเทคนิคการจำลองสถานการณ์

3. การทบทวนวรรณกรรม

3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพผังกระบวนการการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม

การเพิ่มประสิทธิภาพผังกระบวนการผลิตถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการบรรลุประสิทธิภาพการดำเนินงาน และรับรองการปฏิบัติตามมาตรฐานคุณภาพในการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม จากข้อมูลของ [2] การปรับปรุงผังกระบวนการให้เหมาะสมสามารถนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต ลดการจัดการวัสดุให้เหลือน้อยที่สุด และขั้นตอนการทำงานที่ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยรวม สิ่งนี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการนำการออกแบบเค้าโครงที่มีประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับความต้องการการผลิตเฉพาะเจาะจง

3.2 การปฏิบัติตามแนวทาง GMP ในกระบวนการแปรรูปอาหาร

การปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ GMP เป็นสิ่งจำเป็นในการรับรองความปลอดภัยและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ตามคำกล่าวของ [3] การปฏิบัติตามมาตรฐาน GMP เกี่ยวข้องกับการใช้ระเบียบการที่เข้มงวดสำหรับกระบวนการผลิต การบำรุงรักษาสิ่งอำนวยความสะดวก และการฝึกอบรมบุคลากร การไม่ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์เหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ อันตรายด้านความปลอดภัย และบทลงโทษตามกฎหมาย สอดคล้องกับงานของ [4] ที่เริ่มจากการนำหลักการ 5 ส. มาประยุกต์ใช้เป็นพื้นฐานก่อนทำมาตรฐานตามเกณฑ์ GMP 420 เพื่อลดต้นทุนการดำเนินการทำระบบที่มีต้นทุนสูง โดยเฉพาะการยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำงานแบบมีส่วนร่วม ประกอบด้วยนักวิชาการสาธารณสุข ผู้เชี่ยวชาญท้องถิ่นและกลุ่มเป้าหมายเพื่อให้หลักการผลิตอาหารตามหลักเกณฑ์วิธีการปฏิบัติที่ดี สามารถนำมาเป็นแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างถูกต้อง [5] ดังนั้น การบูรณาการหลักการ GMP เข้ากับกระบวนการผลิตจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการรักษาความไว้วางใจของผู้บริโภคและการปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านกฎระเบียบ

3.3 การสร้างแบบจำลองการจำลองในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอาหาร

การสร้างแบบจำลองเป็นเครื่องมืออันทรงพลังสำหรับการประเมินและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร จากข้อมูลของ [6] เทคนิคการจำลองช่วยให้ผู้ผลิตวิเคราะห์ระบบที่ซับซ้อน ระบุปัญหาคอขวด เพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน และการลดของเสีย และประเมินสถานการณ์ทางเลือกได้โดยไม่กระทบต่อการปฏิบัติงานจริง ด้วยการจำลองการกำหนดค่าเงื่อนไขและสถานการณ์การผลิตต่าง ๆ บริษัทสามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

โดยสรุป การปรับเปลี่ยนผังกระบวนการผลิตมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและรับรองการปฏิบัติตามแนวทาง GMP ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม แบบจำลองเป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินการกำหนดค่า และสามารถระบุพื้นที่สำหรับการปรับปรุง ด้วยการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมของวรรณกรรมและกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้อง การทบทวนนี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการออกแบบผังการทำงานและเทคนิคการจำลองที่มีประสิทธิภาพมาใช้เพื่อปรับปรุงการผลิตน้ำมะพร้าวตามมาตรฐาน GMP

4. การดำเนินการวิจัย

4.1 การออกแบบกระบวนการผลิต

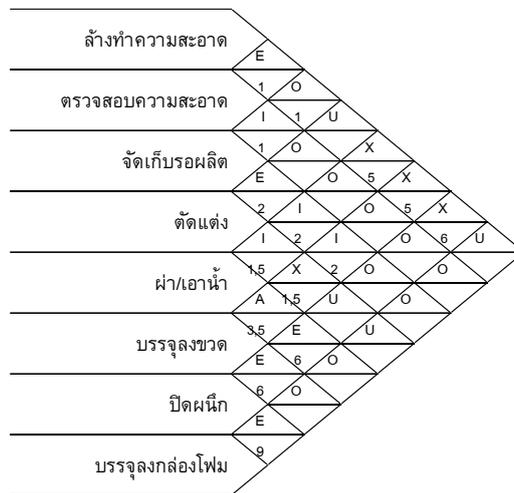
การออกแบบกระบวนการผลิตของงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องมือแผนภูมิความสัมพันธ์ ของการวางผังอย่างเป็นระบบ (Systematics Layout Planning, SLP) ในการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ของกิจกรรมด้วยแนวทาง GMP ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 420) พ.ศ. 2563 เรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหารหมวดที่ 3 การควบคุมกระบวนการผลิต [7] ดังนี้

1 = วัตถุดิบ ส่วนผสม และวัตถุดิบอาหาร

2 = ภาชนะบรรจุ

- 3 = การผสม
- 4 = มีการควบคุมกระบวนการลดและขจัดอันตรายด้านจุลินทรีย์
- 5 = การควบคุมการปนเปื้อนตลอดกระบวนการผลิตอย่างเข้มงวด
- 6 = การบรรจุและปิดผนึก
- 7 = การปนเปื้อนข้ามในการขนย้ายวัตถุดิบ
- 8 = การตามสอบย้อนกลับ
- 9 = คุณภาพ และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สุดท้าย
- 10 = การบันทึก
- 11 = การจัดการผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน
- 12 = การเก็บรักษาบันทึกและรายงาน

จากขั้นตอนการผลิตน้ำมะพร้าวสด สามารถแบ่งกิจกรรมได้ 8 กิจกรรม นำมาสร้างเป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ โดยมีนักวิชาการด้านการออกแบบและวางผังโรงงาน จำนวน 2 ท่าน ผู้ประกอบการ จำนวน 1 ท่านร่วมกันกำหนดระดับความสัมพันธ์ของกิจกรรมและให้เหตุผลของความสัมพันธื ดังแสดงในรูปที่ 1

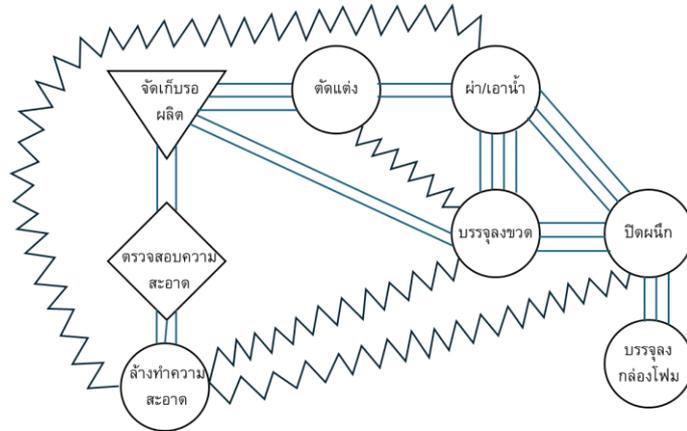


รูปที่ 2 แผนภูมิความสัมพันธ์ของกิจกรรมกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าว

จากรูปที่ 2 เป็นผลการประเมินระดับความสัมพันธ์ของกิจกรรมในกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าว พบว่ากิจกรรมผ่า/เอาหน้า และบรรจุลงขวด มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอยู่ใกล้กัน (A) และกิจกรรมที่มีความสำคัญมากที่จะต้องอยู่ใกล้กัน (E) มี 5 คู่กิจกรรม คือล้างทำความสะอาดและตรวจสอบความสะอาด จัดเก็บรอผลิตและตัดแต่ง ผ่า/เอาหน้าและปิดผนึก บรรจุลงขวดและปิดผนึก สุดท้ายปิดผนึกและบรรจุลงกล่องโฟม นอกจากนั้น มีกิจกรรมล้างทำความสะอาดที่ห้ามอยู่ใกล้กับ (X) คือ ผ่า/เอาหน้า บรรจุลงขวด และปิดผนึก นอกจากนั้น กิจกรรมตัดแต่งห้ามอยู่ใกล้กับบรรจุลงขวด สำหรับระดับความสัมพันธ์ 6 ระดับ ใช้หลักการวางผังอย่างเป็นระบบ (SLP) ในการระบุระดับความสัมพันธ์ ดังนี้

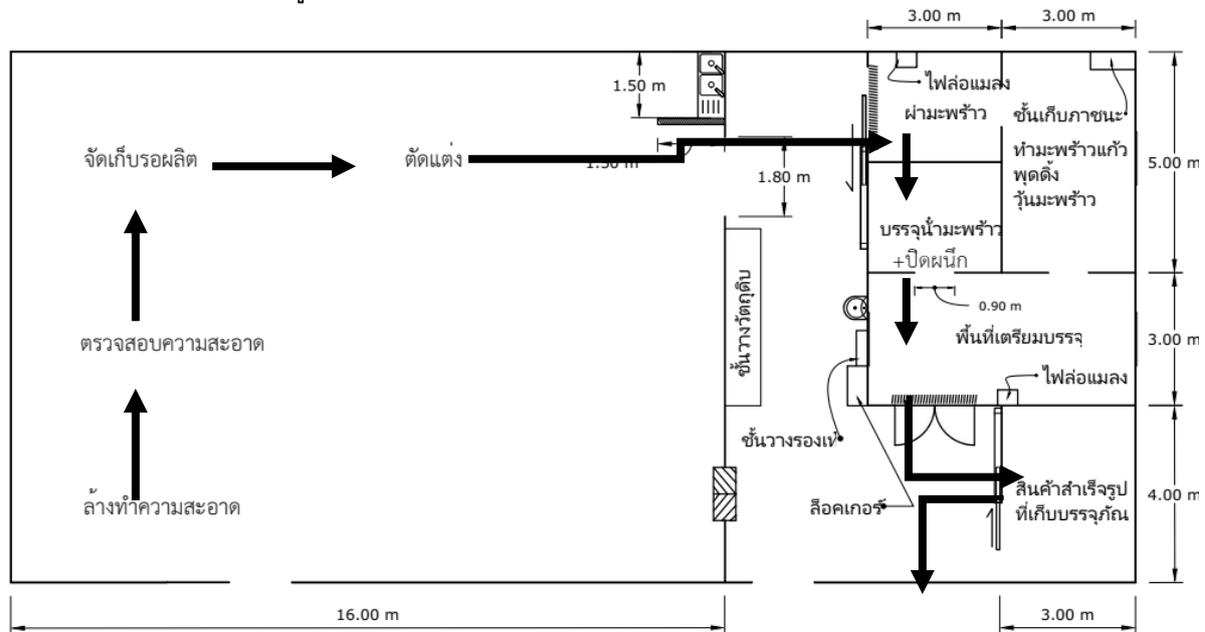
- | | | |
|---|---|-----------|
| A | คือ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอยู่ใกล้กัน | 4 เส้น |
| E | คือ มีความสำคัญมากที่จะต้องอยู่ใกล้กัน | 3 เส้น |
| I | คือ มีความสำคัญที่จะต้องอยู่ใกล้กัน | 2 เส้น |
| O | คือ มีความสัมพันธ์กันธรรมดา | 1 เส้น |
| U | คือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน | ไม่มีเส้น |
| X | คือ ห้ามอยู่ใกล้กัน | เส้นหยัก |

แผนภาพความสัมพันธ์ จะนำกิจกรรมที่มีระดับความสัมพันธ์กันสูง หรือระดับ A มาวางไว้ใกล้กันก่อน แล้วค่อยพิจารณากิจกรรมที่มีระดับความสัมพันธ์รองลงมา หรือ E I O และ U ตามลำดับ จนครบทุกกิจกรรม แต่ความสัมพันธ์ X ห้ามนำกิจกรรมนั้นมาวางใกล้กันด้วยเหตุผลตามรูปที่ 2 สามารถกำหนดพื้นที่ดังแผนภาพความสัมพันธ์ต่อไปนี้



รูปที่ 3 แผนภาพความสัมพันธ์กิจกรรมการผลิตน้ำมะพร้าว

จากรูปที่ 3 แสดงตำแหน่งการจัดวางผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าว โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ 6 ระดับ ของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในการผลิตจำนวน 8 กิจกรรม พบว่าระดับความสัมพันธ์ของกิจกรรมในการผลิตน้ำมะพร้าวส่วนมาก เป็นกิจกรรมระดับ X หรือเป็นกิจกรรมที่ห้ามมีตำแหน่งอยู่ใกล้กันเนื่องจากเหตุผลด้านวัตถุดิบ ส่วนผสม และวัตถุดิบอาหาร และการควบคุมการปนเปื้อนตลอดกระบวนการผลิตอย่างเข้มงวด อย่างไรก็ตามกิจกรรมที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอยู่ใกล้กันหรือความสัมพันธ์ระดับ A ก็ยังมีความจำเป็นที่ต้องนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรกเพื่อคงรักษาประสิทธิภาพในการทำงานของกิจกรรมให้มีประสิทธิภาพตามแนวทางการวางผังอย่างเป็นระบบ จากรูปที่ 3 สามารถนำมากำหนดแผนผังตามขนาดพื้นที่จริงได้ดังรูปที่ 4 ต่อไปนี้

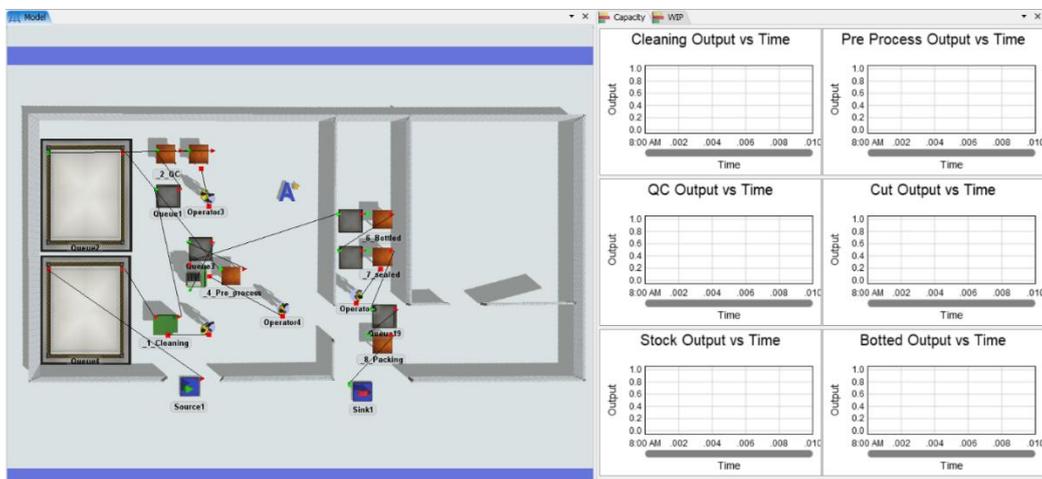


รูปที่ 4 แผนผังกิจกรรมของกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวตามแนวทาง GMP

จากรูปที่ 4 ผลจากการออกแบบผังการผลิตน้ำมะพร้าวของวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษา เป็นผลมาจากการประยุกต์ใช้หลักการวางผังอย่างเป็นระบบ โดยเลือกหลักการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับเหตุผลของความสัมพันธ์ตาม ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 420) พ.ศ. 2563 โดยหลังจากจัดวางผังตามระดับความสัมพันธ์แล้ว ได้พิจารณาเส้นทางการไหลตั้งแต่เป็นวัตถุดิบจนออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ในเมืองต้น แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบที่เกิดจากการจัดวางผังการทำงานสามารถพิจารณาเบื้องต้นได้เพียงระดับความสัมพันธ์และทิศทางการไหลของวัตถุดิบเท่านั้น แต่ยังไม่สามารถตรวจสอบถึงผลผลิต และงานที่ค้างระหว่างกระบวนการได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ในการตรวจสอบผลผลิตและการหยุดชะงักของกระบวนการ

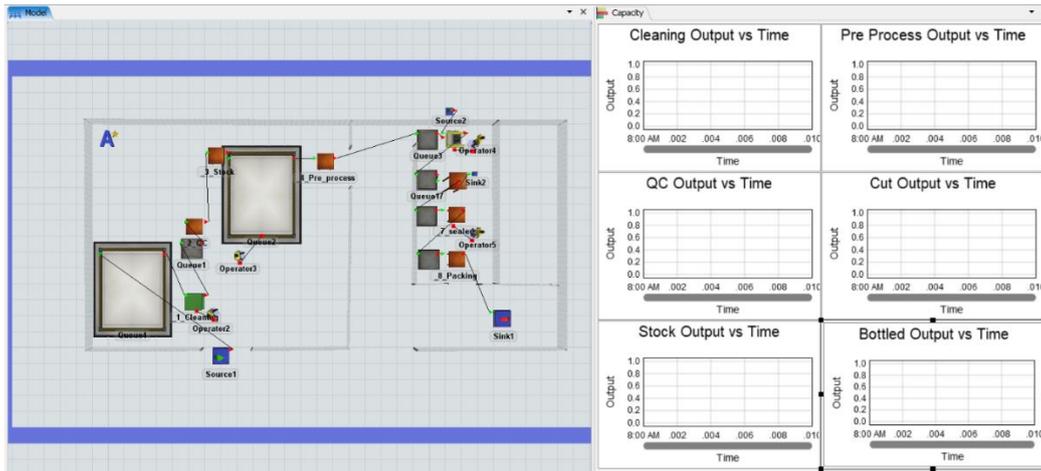
4.2 การประเมินประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าว

การศึกษาเวลาในการทำงานตามหลักการเคลื่อนไหวและเวลาของแต่ละกิจกรรมจำนวน 30 รอบเวลาต่อกิจกรรม โดยเวลาในการทำงานของพนักงานและเครื่องจักรจะถูกกำหนดเป็นรอบเวลาในการทำงานร่วมกันของกิจกรรมนั้นๆ แต่เวลาในการขนถ่ายวัตถุดิบระหว่างกิจกรรมจะมีการศึกษาเวลาแยกออกมาจากเวลาของแต่ละกิจกรรม ซึ่งเวลาที่ศึกษามาได้นั้นจะผ่านการตรวจสอบรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลด้วยชุดคำสั่ง Expert Fit เพื่อเป็นข้อมูลป้อนเข้าสู่โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ Flexsim2020 Version Try Free ซึ่งแบบจำลองสถานการณ์ประกอบไปด้วย Object Processor ที่แทนด้วยกิจกรรมการทำงานทั้ง 8 กิจกรรม และ Object Transporter แทนการขนถ่ายวัตถุดิบระหว่างกิจกรรมด้วยแรงงานคนจำนวน 4 Object ซึ่งทุก Object ถูกจัดวางบนแผนผังการผลิตตามตำแหน่ง และระยะห่างจริง โดยในแต่ละ Object จะมีเวลาในการทำงานที่แตกต่างกันตามที่ได้ทำการศึกษาเวลามาตั้งที่กล่าวไว้ในตอนต้น และเพื่อให้สามารถตรวจสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของผังการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงแล้ว ได้สร้าง Dashboard เพื่อแสดงผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์การผลิตด้านผลผลิตรวม ผลผลิตของแต่ละกิจกรรม งานที่ค้างระหว่างกระบวนการ (WIP) เพื่อให้ง่ายในการเปรียบเทียบผลลัพธ์



รูปที่ 5 แบบจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง

รูปที่ 5 และรูปที่ 6 เป็นแบบจำลองสถานการณ์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผังการผลิตน้ำมะพร้าวก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งก่อนการปรับปรุงเป็นผังการผลิตเดิม ก่อนที่จะมีการพิจารณาตามแนวทางการผลิตแบบ GMP และผังการผลิตหลังปรับปรุงเป็นผังที่ออกแบบและจัดวางตำแหน่งของกิจกรรมใหม่ด้วยการนำหลักการผลิตแบบ GMP มาวิเคราะห์พร้อมกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกระบวนการ



รูปที่ 6 แบบจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

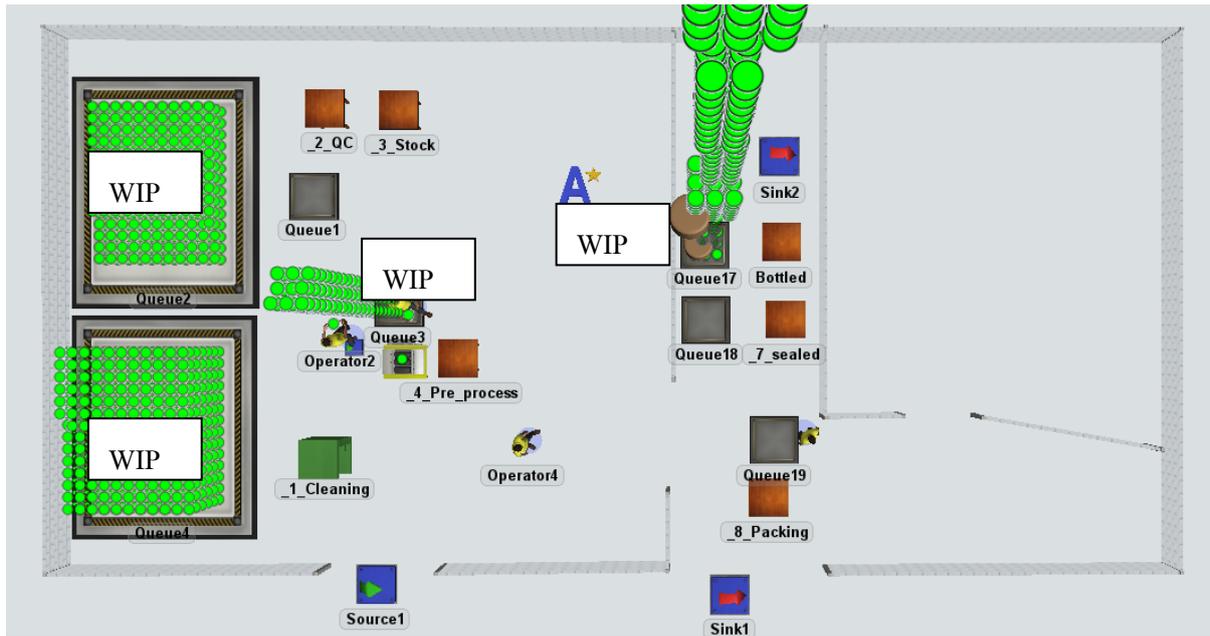
หลังจากที่สร้างแบบจำลองสถานการณ์แล้ว การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองประกอบด้วยสองขั้นตอน ได้แก่ 1) การทวนสอบแบบจำลอง (verification) เป็นการตรวจสอบว่าแบบจำลองในกรอบแนวคิด ตรงกับแบบจำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์หรือไม่ และ 2) การตรวจสอบแบบจำลองอย่างละเอียด (validation) เป็นการทดสอบว่าแบบจำลองสามารถเป็นตัวแทนของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของระบบได้จริงหรือไม่ ด้วยการเปรียบเทียบชี้ระหว่างแบบจำลองกับระบบจริง [8] ในบทความนี้จะทำการทดสอบโดยการนำผลผลิตที่ได้จากการรันแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับรายงานผลผลิตที่ได้จากการปฏิบัติงานจริงที่จำนวน 30 วัน และทำการทดสอบค่าทางสถิติแบบข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกัน (independent t-test) ผลการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติพบว่า $p\text{-value} = 0.607$ แสดงให้เห็นถึงค่าที่ได้จากสถานการณ์จริงและแบบจำลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าสามารถนำแบบจำลองสถานการณ์มาใช้ในการวิเคราะห์แทนการปฏิบัติงานจริงได้

5. ผลวิเคราะห์ข้อมูล

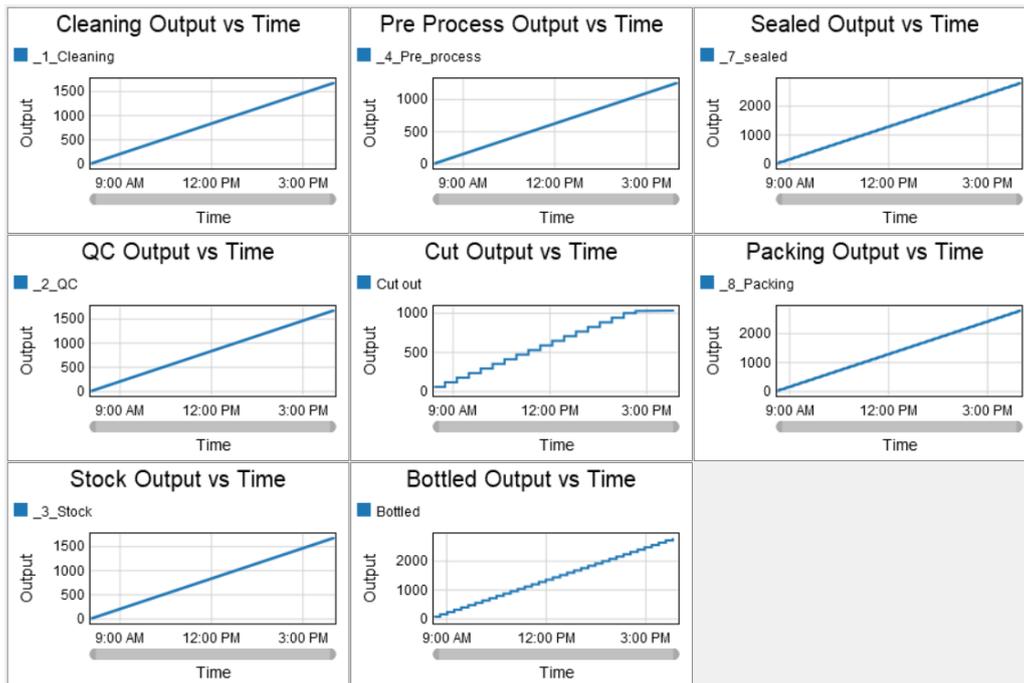
เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง และหลังปรับปรุงสามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์กันได้ จึงมีการกำหนดเงื่อนไขในการรันแบบจำลอง ดังนี้ เวลาในการเข้ามาของวัตถุดิบมีการแจกแจงแบบ Exponential อ้างอิง 1,000 ตัวอย่าง เวลาเฉลี่ยในการเข้ามาของวัตถุดิบ 9.94 วินาที เนื่องจากการเข้ามาของวัตถุดิบที่มากและน้อยในบางช่วงเวลา เวลาในการรันแบบจำลอง 28,800 วินาที

5.1 การจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิต

ผลการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงตามเงื่อนไข พบว่า กำลังการผลิตรวมสามารถผลิตน้ำมะพร้าวได้ 2,800 ขวด (ขนาด 250 cc.) ซึ่งตรงตามกำลังการผลิตที่ศึกษาเวลาและตรงตามยอดการผลิตจริงจากข้อมูลของวิสาหกิจชุมชนที่จัดบันทึกไว้ โดยหลังจากทำงานเสร็จสิ้นแล้วมีงานค้างระหว่างกระบวนการ เกิดขึ้นจำนวน 4 จุดด้วยกันคือ รอทำความสะอาด รอตัดแต่ง รอผ่า/เอาน้ำ และรอบรรจุลงขวด ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 8 ผลผลิตของแต่ละกิจกรรมก่อนปรับปรุงผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าว

จากรูปที่ 8 เป็นผลผลิตตามช่วงเวลาเริ่มต้นการทำงานไปจนจบการทำงาน (เวลาที่ 0-28,800 วินาที) พบว่าผลผลิตของแต่ละกิจกรรมมีอัตราที่เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาแบบเส้นตรง แต่มีกิจกรรมที่มีการเพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดนั่นคือกิจกรรมหรือกระบวนการผ่า/เอาน้ำมะพร้าว เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวจะมีการผ่าเอาน้ำมะพร้าวออกมาใส่ถังขนาด 20 ลิตร และจะทำการขนถ่ายไปยังกิจกรรมการบรรจุลงขวดเมื่อน้ำมะพร้าวเต็มถัง และเมื่อพิจารณาจุดที่เป็นคอขวดในกระบวนการพบว่าตลอดระยะเวลาผลิต 8 ชั่วโมงมีจุดที่เป็นคอขวดเกิดขึ้น 4 จุด ดังที่กล่าวไว้ในข้างต้นดังรูปที่ 7 สามารถระบุสถานะของงานระหว่างกระบวนการตามขั้นตอนการผลิต ได้ดังนี้ มีมะพร้าวรอล้างทำความสะอาด จำนวน 1,000 ลูก มีเวลารอสูงสุด

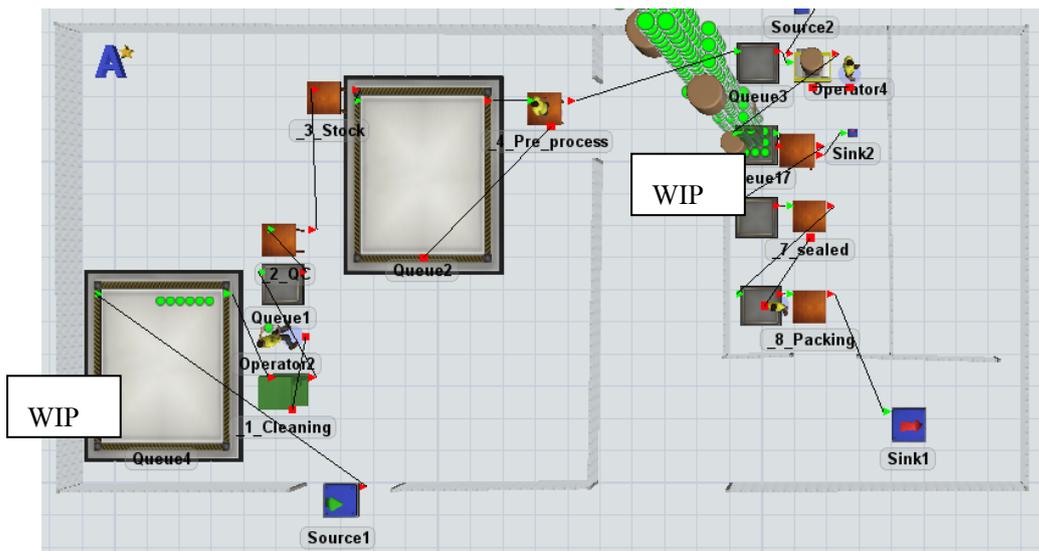
12,099 วินาที เวลารอเฉลี่ย 6029.40 วินาที และมีมะพร้าวที่จัดเก็บรอผลิต จำนวน 419 ลูก มีเวลารอสูงสุด 7,196.71 วินาที เวลารอเฉลี่ย 3,601.89 วินาที นอกจากนั้น มีมะพร้าวที่รอผ่าเอาหน้า จำนวน 211 ลูก มีเวลารอสูงสุด 595.32 วินาที เวลารอเฉลี่ย 292.479 วินาที และสุดท้าย มีมะพร้าวที่รอบรรจุลงขวด จำนวน 1,000 ลูก มีเวลารอสูงสุด 26,754.22 วินาที เวลารอเฉลี่ย 13,378.36 วินาที

Cleaning WIP				Bottled WIP			
Object	Min	Max	Average	Object	Min	Max	Average
Queue4	0	12099.85	6029.40	Queue17	0	26754.22	13378.36
QC WIP				Sealed			
Object	Min	Max	Average	Object	Min	Max	Average
Queue1	0	0	0	Queue3	0	0	0
Stock				Packing			
Object	Min	Max	Average	Object	Min	Max	Average
Queue2	2.41	7196.71	3601.89	Queue19	0	0	0
Cut							
Object	Min	Max	Average				
Queue18	0	595.32	292.47				

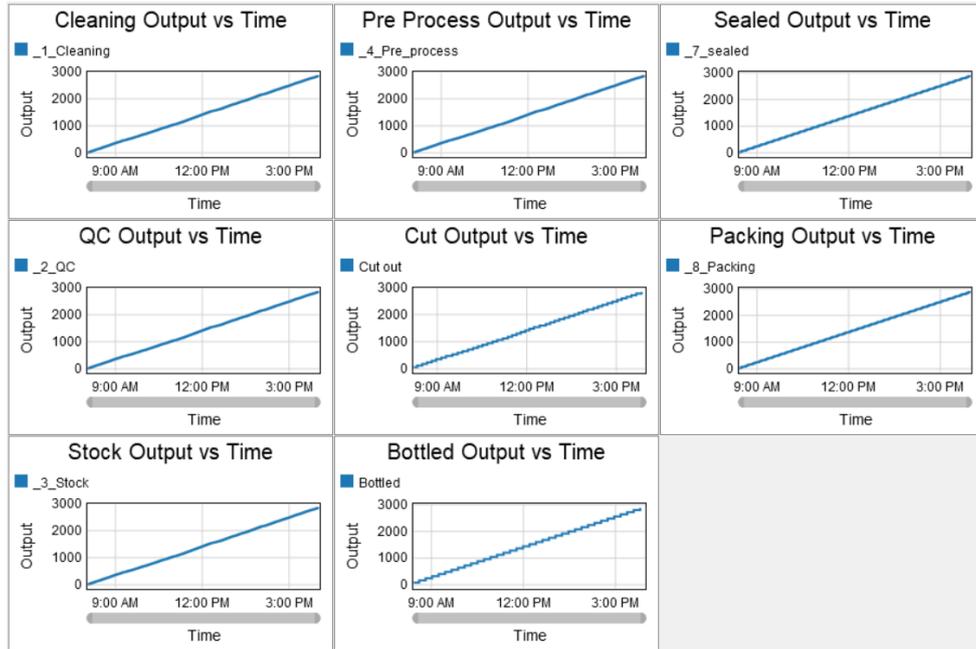
รูปที่ 9 เวลารอของแต่ละกิจกรรมก่อนปรับปรุงผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าว

5.2 การจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

ผลการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง พบว่า กำลังการผลิตรวมสามารถผลิตน้ำมะพร้าวได้ 2,880 ขวด (ขนาด 250 cc.) โดยหลังจากทำงานเสร็จสิ้นแล้วมีงานค้างระหว่างกระบวนการ เกิดขึ้นจำนวน 2 จุด คือ รอทำความสะอาด และรอบรรจุลงขวด ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง



รูปที่ 11 ผลผลิตของแต่ละกิจกรรมหลังปรับปรุงผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าว

จากรูปที่ 11 เป็นผลผลิตตามช่วงเวลาเริ่มต้นการทำงานไปจนจบการทำงาน (เวลาที่ 0–28,800 วินาที) หลังปรับปรุงผังการผลิต พบว่าผลผลิตของแต่ละกิจกรรมมีอัตราที่เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาแบบเส้นตรงเช่นเดียวกับก่อนปรับปรุง และเมื่อพิจารณาจุดที่เป็นคอขวดในกระบวนการพบว่าตลอดระยะเวลาผลิต 8 ชั่วโมงมีจุดที่เป็นคอขวดเกิดขึ้น 2 จุด ดังรูปที่ 10 สามารถระบุสถานะของงานระหว่างกระบวนการ ได้ดังรูปที่ 12 ตามขั้นตอนการผลิตได้ดังนี้ มีมะพร้าวรอล้างทำความสะอาด จำนวน 6 ลูก มีเวลารอสูงสุด 175.52 วินาที เวลารอเฉลี่ย 34.49 วินาที และมีมะพร้าวที่รอบรรจุลงขวด จำนวน 2,795 ลูก มีเวลารอสูงสุด 27.476 วินาที เวลารอเฉลี่ย 13,729.18 วินาที นอกจากนั้น กิจกรรมอื่นๆ ถึงแม้ว่าไม่มีงานค้างระหว่างกระบวนการ แต่สามารถรายงานระยะเวลาการรอของวัตถุดิบสูงสุด และระยะเวลาเฉลี่ยของวัตถุดิบที่เข้ามารอได้ดังนี้ มะพร้าวที่จัดเก็บรอผลิต มีเวลารอสูงสุด 6.71 วินาที เวลารอเฉลี่ย 2 วินาที นอกจากนั้น มะพร้าวที่รอผ่าเอาน้ำ มีเวลารอสูงสุด 542.57 วินาที เวลารอเฉลี่ย 266.85 วินาที และสุดท้าย มะพร้าวที่รอปิดฝืนัก มีเวลารอสูงสุด 2.36 วินาที

Cleaning WIP				Bottled WIP			
Object	Min	Max	Average	Object	Min	Max	Average
Queue4	0	175.52	34.49	Queue17	0	27476.00	13729.18
QC WIP				Sealed			
Object	Min	Max	Average	Object	Min	Max	Average
Queue1	0	0	0	Queue3	0	2.36	0.00
Stock				Packing			
Object	Min	Max	Average	Object	Min	Max	Average
Queue2	2	6.71	2.00	Queue19	0	0	0
Cut							
Object	Min	Max	Average				
Queue18	0	542.57	266.85				

รูปที่ 12 เวลารอของแต่ละกิจกรรมหลังปรับปรุงผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าว

5.3 การเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง

ผลการศึกษาการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงตามเงื่อนไขหลังจากรันแบบจำลอง สามารถตรวจสอบผลก่อนและหลังจัดวางผังการผลิตน้ำมะพร้าวบรรจุขวด ขนาด 250 cc. ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการรันแบบจำลองสถานการณ์ก่อนและหลังจัดวางผังการผลิตน้ำมะพร้าวบรรจุขวด ขนาด 250 cc.

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ความแตกต่าง	ร้อยละ
ผลผลิต				
ล้างทำความสะอาด	1676	2841	+1165	41.01
ตรวจสอบความสะอาด	1675	2840	+1165	41.02
จัดเก็บรอผลิต	1675	2839	+1164	41.00
ตัดแต่ง	1255	2839	+1584	55.79
ผ่า/เอาน้ำ	1036	2832	+1796	63.42
บรรจุลงขวด	2800	2880	+80	2.78
ปิดผนึก	2800	2880	+80	2.78
บรรจุลงกล่องโฟม	2800	2880	+80	2.78
งานระหว่างกระบวนการสูงสุด				
ล้างทำความสะอาด	1000	20	-980	-4900
ตรวจสอบความสะอาด	1	1	0	0
จัดเก็บรอผลิต	419	1	-418	-41800
ตัดแต่ง	1	0	-1	-
ผ่า/เอาน้ำ	211	1	-210	-21000
บรรจุลงขวด	1000	2795	+1795	64.22
ปิดผนึก	79	79	0	0
บรรจุลงกล่องโฟม	1	1	0	0
งานระหว่างกระบวนการ ณ เวลาเลิกงาน				
ล้างทำความสะอาด	1000	6	-994	16566.67
ตรวจสอบความสะอาด	0	0	0	-
จัดเก็บรอผลิต	419	0	-419	419
ตัดแต่ง	0	0	0	-
ผ่า/เอาน้ำ	211	0	-211	211
บรรจุลงขวด	1000	2795	+1795	64.22
ปิดผนึก	0	0	0	-
บรรจุลงกล่องโฟม	0	0	0	-

ตารางที่ 1 ผลการรันแบบจำลองสถานการณ์ก่อนและหลังจัดวางผังการผลิตน้ำมะพร้าวสดบรรจุขวด ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าหลังจากปรับปรุงผังการผลิตตามหลักการ GMP มีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นทุกกิจกรรม อันเนื่องมาจากการไหลของวัตถุดิบมีการไหลที่ต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของงานค้ำระหว่างกระบวนการ

ที่มีจำนวนจุด และปริมาณสินค้าระหว่างกระบวนการที่ลดลงทุกกิจกรรม ยกเว้นกิจกรรมบรรจุน้ำมะพร้าวลงขวดที่มีงานค้างระหว่างกระบวนการที่เพิ่มขึ้นจาก 1,000 หน่วย เป็น 2,795 หน่วย อันเนื่องมาจากการของกิจกรรมก่อนหน้ามีการไหลที่ดีขึ้น จึงทำให้หลังจากรันแบบจำลองสถานการณ์แล้วงานจึงมากองรอที่จุดนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงจุดที่เป็นคอขวดของกระบวนการที่แท้จริง และถ้าหากต้องการปรับปรุงกระบวนการ จึงควรเลือกกิจกรรมบรรจุน้ำมะพร้าวลงขวดมาทำการปรับปรุงเป็นอันดับแรก

6. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบผลกระทบจากการปรับปรุงผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวของวิสาหกิจชุมชนบ้านคลองตาปลั่ง จังหวัดสมุทรสาคร โดยเริ่มจากการพิจารณาเงื่อนไขตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 420) พ.ศ. 2563 เรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร หมวดยุทธศาสตร์ที่ 3 การควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อนำมากำหนดเป็นเหตุผลของความสัมพันธ์ของกิจกรรม และทำการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ด้วยแผนภูมิความสัมพันธ์ตามแนวทางการวางผังอย่างเป็นระบบ (SLP) ผลจากการเปรียบเทียบผังกระบวนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุง พบว่าการจัดวางผังกระบวนการผลิตน้ำมะพร้าวของวิสาหกิจชุมชนตัวอย่างตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งการกำหนดตำแหน่งการทำงานของกิจกรรมใหม่จะช่วยลดความเสี่ยง และจัดสรรพื้นที่ของกิจกรรมให้เหมาะสม สอดคล้องกับ [9] ที่มีการนำหลักการวางผังอย่างเป็นระบบ (SLP) มาตรฐานการผลิตผลิตภัณฑ์ (GMP) สามารถวิเคราะห์อันตรายและวิเคราะห์จุดที่ต้องควบคุม (HACCP) สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร และผังแบบใหม่ของงานวิจัยนี้นอกจากจะผลิตสินค้าได้สอดคล้องตามมาตรฐานแล้ว ผลจากการจำลองสถานการณ์ยังแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานที่เพิ่มขึ้น จากที่ผลผลิตของกิจกรรมล้างทำความสะอาด เพิ่มขึ้นร้อยละ 41.01 กิจกรรมตรวจสอบความสะอาด เพิ่มขึ้นร้อยละ 41.02 กิจกรรมจัดเก็บรอผลิต เพิ่มขึ้นร้อยละ 41.00 กิจกรรมตัดแต่ง เพิ่มขึ้นร้อยละ 55.79 กิจกรรมผ่า/เอาน้ำ เพิ่มขึ้นร้อยละ 63.42 และสุดท้ายกิจกรรมบรรจุลงขวด กิจกรรมปิดฝัก และ กิจกรรมบรรจุลงกล่องโฟม เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.78 เนื่องจากกระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบลดลง จึงสามารถลดความสูญเปล่าและเวลาในการเคลื่อนย้ายลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [10] ที่การวางผังตามหลักการ SLP ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านระยะเวลาการเคลื่อนย้ายชิ้นงานลงได้จากกระยะทางที่ลดลงจากการกำหนดตำแหน่งแผนกที่เหมาะสม

นอกจากนั้น งานที่ค้างระหว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นสูงสุด กิจกรรมส่วนใหญ่มีงานค้างระหว่างกระบวนการลดลงเนื่องจากหลังจากปรับปรุงผังการทำงาน การไหลของวัตถุดิบมีการไหลที่ดีขึ้น แต่ในทางกลับกันกิจกรรมบรรจุน้ำมะพร้าวลงขวด มีงานค้างระหว่างกระบวนการเพิ่มขึ้น 1,795 วินาที เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ใช้เวลาในการทำงานสูงสุด และเป็นผลจากการงานก่อนหน้ามีการไหลที่ดีขึ้นจึงทำให้กระบวนการที่ใช้เวลาในการทำงานสูงสุดถูกสะท้อนออกมาในรูปแบบของงานค้างระหว่างกระบวนการหรือคอขวดขึ้น จึงทำให้ผลจากการจำลองสถานการณ์นี้สามารถรายงานผลผลิต งานค้างระหว่างกระบวนการ และสามารถเสนอแนะกระบวนการที่ต้องทำการปรับปรุงต่อไปได้ชัดเจนขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

- 1) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรมการผลิตน้ำมะพร้าวของวิสาหกิจชุมชนนี้ สามารถนำหลักการการผลิตแบบ GMP เข้ามาร่วมวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ได้ สำหรับวิสาหกิจชุมชนอื่นสามารถนำแนวทางของงานวิจัยนี้มาเป็นเกณฑ์พื้นฐานในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ แต่ควรกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละสถานที่ เช่นขนาดพื้นที่ ลำดับการทำงาน จำนวนเครื่องจักร จำนวนพนักงาน วิธีการขนถ่ายวัสดุ เพื่อเพิ่มเกณฑ์ประเมินความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ของแต่ละวิสาหกิจชุมชนที่แตกต่างกัน
- 2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเท่านั้น เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพจากการปรับปรุงกระบวนการ ควรนำการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เช่นการวิเคราะห์การไหลของวัตถุดิบ และการจำลองสถานการณ์มาวิเคราะห์ร่วมด้วยดังตัวอย่างที่ได้จากงานวิจัยนี้

<http://jeet.siamtechu.net>

- 3) การสมมูลกระบวนการที่เป็นคอกขวด เพื่อกำหนดการใช้ทรัพยากรที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด
- 4) การกำหนดมาตรฐานการทำงาน การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาของกิจกรรม เนื่องจากการสำรวจเบื้องต้น พบจุดที่เป็นความสูญเปล่าในการทำงานเกิดขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนอุดหนุนภายใต้โครงการยกระดับผลิตภัณท์ชุมชนสู่มาตรฐานสากลด้วยวิศวกรรมบูรณาการและภูมิปัญญาท้องถิ่นจังหวัดสมุทรสาคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ซึ่งเป็นโครงการภายใต้โครงการยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดสมุทรสาคร. (2567). ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดสมุทรสาคร ที่ใช้สนับสนุน การตรวจราชการ และ ครม . สั ญ จ ร . ประจำ เดือน มกราคม 2567. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://www.opsmoac.go.th/samutsakhon-dwl-preview-412991791906>
- [2] จันท์เพ็ญ อนุรัตน์านนท์ ประจวบ กล่อมจิตร, ธนธร ชื่นยินดี, และแพรวพรรณ สองสุขถวัลย์. (2562). การเพิ่มประสิทธิภาพคลังจัดเก็บสินค้าเครื่องดื่ม กรณีศึกษา: บริษัทเครื่องดื่มตัวอย่าง. วารสารข่าวงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย, 5(1), 49-58.
- [3] สุภัทรา สุขะภณธ์, ปัญญา หมั่นเก็บ, และธำรงค์ เมฆโหรา. (2559). ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหารขั้นต้นของผู้ประกอบการในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 34(2), 85-93.
- [4] เรวัต ไชยเพชร. (2565). การยกระดับมาตรฐานการผลิตขนมจีนในจังหวัดสุราษฎร์ธานี. วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางสุขภาพ, 5(2), 76-89.
- [5] กาญจนา สุขบัว, ธัญรัตน์ ภูซงค์ชัย, และเดือนเพ็ญ พรชัยภักดี. (2563). การส่งเสริมภูมิปัญญาการผลิตอาหาร “หม่า” ปลอดภัย. วารสารชุมชนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 14(1), 44-56.
- [6] Caterina Fusto, Francesco Longo, Alisia Muraca, Lucrezia Rudi, Teresa Timpani, Pierpaolo Veltri. “Enhancing efficiency in the food industry: a simulation model for optimizing production processes” *20th International Multidisciplinary Modeling & Simulation Multiconference*. 18-20 September 2023. Athens, Greece: unpagued. 2023.
- [7] กระทรวงสาธารณสุข. (2563). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 420) พ.ศ. 2563 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://food.fda.moph.go.th/gmp-head/420/>
- [8] ธนพันธ์ คงทอง, เพ็ญสุดา พันธุธิดา, และเชษฐา ชำนาญหล่อ. (2563). การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตชาลาเปา. *Srinakharinwirot University Engineering Journal*, 15(2), 71-80.
- [9] พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม, ศิริลักษณ์ สิทธิบุรณ, และกิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข. (2565). การเปรียบเทียบผังโรงงานโดยการใช้วิธี CORELAP, ALDEP และ SLP: กรณีศึกษาโรงงานผลิตแผงวงจรพิมพ์. *Ladkrabang Engineering Journal*, 39(4), 121-137.
- [10] แววดาว สมานพนธ์ และนันทชัย กานตานันทะ. (2556). การปรับปรุงผังโรงงานเพื่อจัดสมดุลกำลังการผลิตโดยเทคนิคการจำลองแบบปัญหาในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. *KKU ENGINEERING JOURNAL*, 40(2), 173-183.

การประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในการออกแบบจิ๊กซอไม้เพื่อความปลอดภัยสำหรับเด็ก

APPLICATION OF QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT IN THE SAFETY WOODEN PUZZLE DESIGN FOR KIDS

จงกล ศรีธร^{1*} กฤษดา เพ็งอารีย์¹ กิ่งกาญจน์ กองกาญจนะ¹ และ เกษมสันต์ แสงสาร¹

Jongkol Srithorn^{1*}, Kritsada Phengarree¹, Kingkan Kongkanjana¹ and Kasemsan Saengsan¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

* Corresponding author email: jongkol@sut.ac.th

Received: March 25, 2024

Revised: May 20, 2024

Accepted: May 24, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาความต้องการของลูกค้าต่อจิ๊กซอไม้โดยใช้บ้านคุณภาพ และ (2) เสนอแนวทางในการออกแบบจิ๊กซอไม้เพื่อความปลอดภัยโดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ปกครองของเด็กช่วงอายุ 3 เดือน ถึง 12 ปี จำนวน 30 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม 5 ด้าน ได้แก่ ด้านวัสดุ ด้านรูปแบบและการออกแบบ ด้านประโยชน์ที่ได้รับ ด้านวิธีการการเก็บรักษา และด้านอื่น ๆ และประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) โดยใช้บ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) นำมาช่วยในการวางแผนการออกแบบและพัฒนาจิ๊กซอไม้ ผลการวิจัยพบว่า ด้านความปลอดภัยมีทั้งสิ้น 6 ประเด็น โดยเรียงลำดับตามค่าคะแนนความสำคัญเชิงเทคนิคมากที่สุดไปยังน้อยที่สุด ได้แก่ ขนาดพอดี ไม่เล็กเกินไป (ร้อยละ 14.54) ทนทานและมีน้ำหนักเบา (ร้อยละ 12.39) สะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอม (ร้อยละ 12.22) บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรง (ร้อยละ 12.17) สีที่ใช้พ่นได้มาตรฐาน (ร้อยละ 7.79) และผิวเรียบ (ร้อยละ 6.52) โดยมีแนวทางการออกแบบโดยสรุป คือ จิ๊กซอไม้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 3.2 เซนติเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร สำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี ต้องทำจากไม้มีความแข็งแรงและน้ำหนักเบา ก่อสร้างที่บรรจุต้องมีความแข็งแรงยากต่อการชำรุด สีต้องติดทนไม่มีการหลุดลอกออกได้ง่าย ไม่มีสารตะกั่วผสมและต้องมีผิวเรียบ

คำสำคัญ: เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ บ้านคุณภาพ จิ๊กซอไม้

ABSTRACT

The purpose of this research is to (1) study customer preferences for wooden jigsaw puzzless using house of quality and (2) propose safety guidelines for designing wooden jigsaw puzzless using quality transformation techniques. The study involved 30 parents of children aged 3 months to 12 years. Data was collected through a 5-part questionnaire covering material, design, usefulness, maintenance, and other aspects. Quality Function Deployment (QFD) and House of Quality (HOQ) techniques were used to plan the design and development of wooden jigsaw puzzless. The research revealed six safety aspects ranked by technical importance, including appropriate size (14.54%), durability and lightweight (12.39%), cleanliness and absence of foreign substances (12.22%), sturdy packaging (12.17%), standard paint color (7.79%), and smooth surface (6.52%). The design

guidelines summarized that wooden jigsaw puzzles should be larger than 3.2 cm and longer than 6 cm for children over 3 years old, made of strong and lightweight wood, and packaged in sturdy boxes. The paint should be durable, free from toxic substances, and the surface should be smooth.

Keywords: Quality Function Deployment Techniques, House of Quality, wooden puzzle

1. บทนำ

ของเล่นของเด็กถือเป็นสินค้าที่ส่งเสริมและกระตุ้นพัฒนาการในด้านต่าง ๆ ให้เด็กเติบโตอย่างสมวัย มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เด็กเกิดความสุขสนุกสนานเพลิดเพลินด้วย สำหรับเด็กนั้นถือเป็นกลุ่มผู้บริโภคที่มีความละเอียดอ่อนและมีความเสี่ยงที่อาจเกิดอันตรายได้ง่าย อันเกิดจากภาวะของเด็กเองที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงหรือประเมินความเป็นอันตรายได้ด้วยตนเอง ซึ่งผลของอันตรายเหล่านั้นย่อมส่งผลกระทบต่อเด็ก ข้อมูลจากกรมควบคุมโรค พบว่าในปี พ.ศ. 2557 สาเหตุการบาดเจ็บในเด็กช่วงอายุ 1-15 ปี พบว่ามีเด็กบาดเจ็บจากอุบัติเหตุพลัดตกหกล้มจากการใช้งานเครื่องเล่นเด็กมากถึง 121,000 คน และเพิ่มมากขึ้นเป็น 139,900 คน ในปี พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นการหกล้มจากการลื่น สะดุด และเสียหลัก ร้อยละ 31.7 ตกจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง ร้อยละ 10.0 ตกจากต้นไม้ ร้อยละ 6.2 และเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่น ร้อยละ 5.7 ของเล่นสำหรับเด็กที่มีความไม่ปลอดภัยมากกว่าร้อยละ 95 จากรายงานในจำนวนนี้พบว่าเด็กกว่า 34,075 คนที่มีอาการบาดเจ็บจากเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่น [1] ตามผลของงานวิจัยเรื่องการศึกษารจัดการความปลอดภัยของเล่นเด็กในจังหวัดนครราชสีมา พบว่า จำนวนของเด็กที่เคยเกิดอุบัติเหตุจากของเล่น คิดเป็นร้อยละ 26 จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดโดยช่วงอายุที่เกิดอุบัติเหตุและได้รับบาดเจ็บจากการเล่นของเล่นบ่อยที่สุดคือเด็กในช่วงวัยก่อนวัยรุ่น (Preadolescence) คือช่วงอายุ 9 ปี ถึง 12 ปี อีกทั้งลักษณะของของเล่นที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด ได้แก่ ของเล่นที่เป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยคิดเป็นร้อยละ 18.86 และลักษณะของอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเล่นของเล่น คือ การเกิดการบาดเจ็บ ฟกช้ำ แผลเลือดออก รวมถึงอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในช่วงวัยนี้จะเป็นอุบัติเหตุจากของเล่นที่สามารถยิงลูกวัตถุออกมาได้ เช่น ปืนอัดลม ปืนลูกดอก คันธนู เป็นต้น [2] ในปัจจุบันของเล่นเด็กเป็นสินค้าที่ผลิตโดยใช้วิธีการทางอุตสาหกรรมที่ใช้นวัตกรรมหรือเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่สลับซับซ้อนเพื่อให้ผู้ประกอบการธุรกิจสามารถลดต้นทุนและสามารถตอบสนองความต้องการจำนวนมากของผู้บริโภคได้อย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ เด็กและผู้ปกครองก็ไม่อาจประเมินความเสี่ยงภัยได้ด้วยตนเอง การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) โดยใช้บ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) เป็นเทคนิคที่นำมาช่วยในการวางแผนสำหรับการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการและสร้างความพึงพอใจของลูกค้าได้ [3-6] ซึ่งเป็นกระบวนการเชิงระบบที่สามารถค้นหาความต้องการที่แท้จริงของลูกค้า เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ให้ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า โดยทำการแปลงความต้องการของลูกค้ามาเป็นตัวผลิตภัณฑ์อย่างเป็นขั้นตอนและมีระบบซึ่งอาศัยหลักการและเทคนิคทางวิศวกรรมเข้ามาเกี่ยวข้องในการทำงานและจากนั้นจะทำการเจาะลึกไปยังส่วนประกอบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ โดยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในส่วนที่บ้านคุณภาพนั้นมีหลักการมีการศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า เป็นวิธีการพัฒนาคุณภาพการออกแบบที่มุ่งสร้างความพึงพอใจให้กับผู้บริโภค จากนั้นจึงแปลงความต้องการของผู้บริโภคเป็นเป้าหมายการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของลูกค้ามากที่สุด จิ๊กซอไม้ถือเป็นของเล่นเสริมทักษะและเสริมพัฒนาการทางความคิด เหมาะทั้งเป็นของเล่นเด็กและของเล่นผู้ใหญ่ เพราะสามารถเล่นให้เกิดความสมบูรณ์ของภาพโดยอาศัยการจำแนกจินตนาการและความจำได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องด้วยจิ๊กซอไม้มักจะเป็นชิ้นย่อย ๆ หลาย ๆ ชิ้นโดยแยกออกเป็นรูปร่างต่าง ๆ กันที่มีขนาดเล็กมีโอกาสเสี่ยงทำให้เกิดอันตรายต่อเด็กที่เล่น เช่น การกลืนกิน จิ๊กซอไม้ เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ของจิ๊กซอไม้ และออกแบบจิ๊กซอไม้เพื่อความปลอดภัยโดยประยุกต์จากการสร้างบ้านคุณภาพโดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)

และใช้ความต้องการของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ปกครองที่ได้จากการตอบแบบสอบถามมาใช้สำหรับการออกแบบสำหรับเป็นแนวทางในการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ของจิ๊กซอไม้เพื่อความปลอดภัยและตอบสนองความพึงพอใจมากที่สุด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

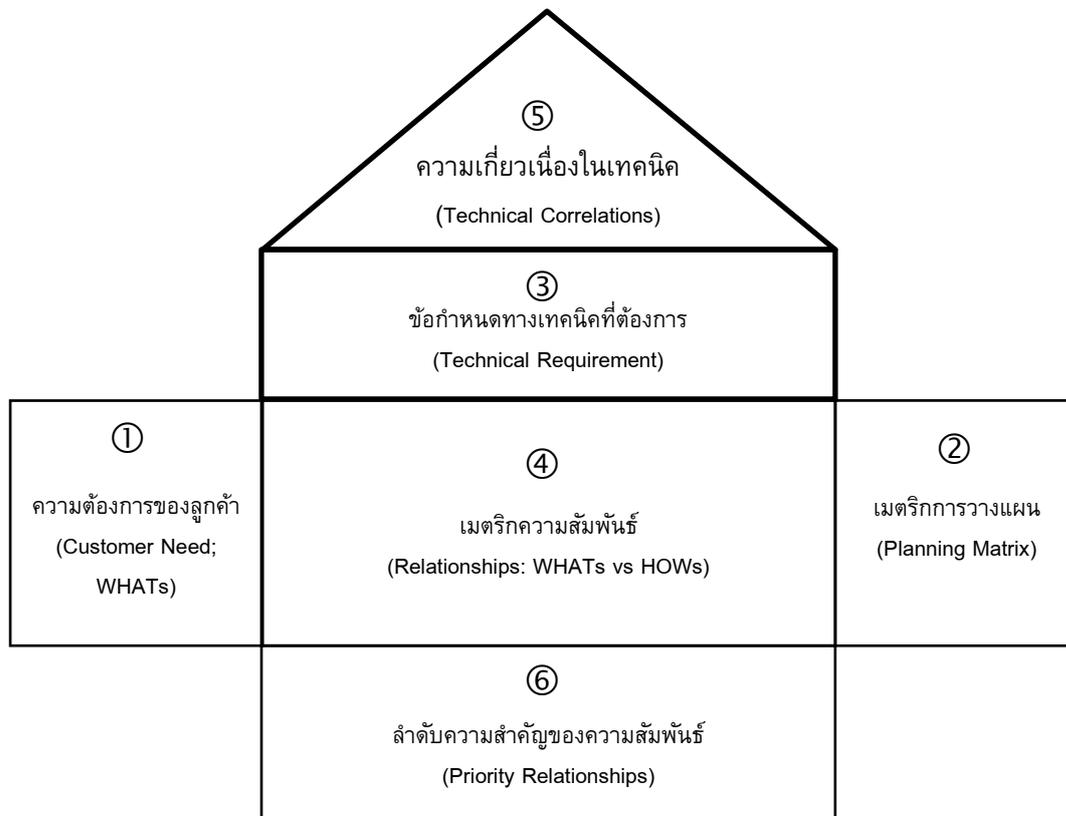
- 1) เพื่อศึกษาความต้องการของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ของจิ๊กซอไม้โดยใช้บ้านคุณภาพ
- 2) เพื่อเสนอแนวทางในการออกแบบของจิ๊กซอไม้เพื่อความปลอดภัยโดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีการทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามรูปแบบของการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพที่ถูกพัฒนาขึ้น โดย Dr.Yoji Akao [7] ชาวญี่ปุ่นโดยมาจากภาษาญี่ปุ่นว่า Hin Shitsu Ki No Ten Kai ในปี 2012 มีด้วยกัน 4 เฟส ได้แก่ เฟสที่ 1 การทำเมตริกการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix) เฟสที่ 2 การทำเมตริกการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Design Deployment Matrix) เฟสที่ 3 การทำเมตริกการวางแผนกระบวนการ (Process Planning Matrix) และเฟสที่ 4 การทำตารางเอกสารสำหรับแนะนำการปฏิบัติงาน (Operator Instruction Sheet) ทั้งนี้เทคนิค QFD นี้จะทำการสำรวจความต้องการของลูกค้า (Voice of Customer) แล้ววิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า เพื่อนำมาประเมินระดับความสำคัญ จากนั้น จะนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีความสำคัญมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ส่งผลให้การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development Process) สามารถดำเนินการเชื่อมโยงได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการของลูกค้า และมีต้นทุนการดำเนินงานโดยรวมลดลง เพราะไม่ต้องเสียเวลาผลิตส่วนที่ลูกค้าไม่ต้องการอีกด้วย

การวิเคราะห์โดยใช้บ้านคุณภาพ (House of Quality, HOQ) เป็นขั้นตอนในเฟสที่ 1 การทำเมตริกการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix) เริ่มจากการนำเสียงของลูกค้ามาแปลงหน้าที่เป็นตัววัดผลงานซึ่งเป็นตัวแทนลักษณะทางด้านคุณภาพ (Substitute Quality Characteristics; SQCs) ที่แสดงออกมาในรูปของผลงานที่สามารถวัดค่าได้คือ ข้อกำหนดทางเทคนิคแล้วจะทำการคำนวณค่าเป้าหมายและอัตราของการปรับปรุง หลังจากนั้นคำนวณค่าความสำคัญของตัววัดผลงานซึ่งตัวแทนลักษณะทางด้านคุณภาพ และค่าความสำคัญของตัววัดผลงานจะนำไปใช้เป็นข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบข้อกำหนดทางเทคนิคต่าง ๆ นั้นจะถูกนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างกันและกัน โดยเขียนเป็นเมตริกอุปสามเหลี่ยมเหนือเมตริกความสัมพันธ์ระหว่าง WHATs กับ HOWs เป็นหลังคาของบ้านคุณภาพ สำหรับการสร้างบ้านคุณภาพ (House of Quality; HOQ) ซึ่งประกอบไปด้วยเมตริกย่อยๆ 6 ส่วน [8-9] ตามรูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของบ้านคุณภาพ และมีความหมายในการดำเนินการดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของบ้านคุณภาพ (House of Quality, HOQ)

ส่วนประกอบที่ 1 เป็นความต้องการของลูกค้า (Customer Need; WHATs) นำความต้องการของลูกค้าที่ได้จากการเตรียมข้อมูลมาใส่ในด้านซ้ายมือของบ้านคุณภาพ

ส่วนประกอบที่ 2 เป็นการสร้างเมตริกการวางแผน (Planning Matrix) เพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์จิ๊กซอไม้รูปแบบเดิมและรูปแบบใหม่ เพื่อกำหนดอัตราการปรับปรุงในผลิตภัณฑ์

ส่วนประกอบที่ 3 คือข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) โดยในการหาเทคนิคที่นำมาใช้นี้จะได้มาจากการระดมสมองประกอบด้วย ทีมวิจัย ทีมออกแบบ ผู้ผลิต และตัวแทนด้านตลาดจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาใส่ในส่วนที่ 3 ของบ้านคุณภาพ และทำการกำหนดเป้าหมายทางด้านเทคนิคโดยข้อกำหนดที่สามารถวัดได้และนำข้อมูลที่ได้มาใส่ในส่วนที่ 6 ของบ้านคุณภาพ หลังจากนั้นจะทำการกำหนดค่าการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายเพื่อให้ทราบถึงทิศทางในการทำการปรับปรุงสัญลักษณ์ที่ใช้มีดังนี้ \uparrow คือ ยิ่งมากยิ่งขึ้น \circ คือ เหมาะสม และ \downarrow คือ ยิ่งน้อยยิ่งดี

ส่วนประกอบที่ 4 คือ เมตริกความสัมพันธ์ (Relationships : WHATs vs HOWs) เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้าจากส่วนที่ 1 และความต้องการทางเทคนิคจากส่วนที่ 3 โดยขั้นตอนนี้จำเป็นต้องเข้าใจถึงความสามารถของแต่ละความต้องการทางด้านเทคนิคต่อระดับความพึงพอใจของลูกค้าทั้งหมด เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัววัดทางเทคนิคนั้นจะสามารถช่วยตอบสนองแต่ละความคาดหวังของลูกค้าได้อย่างไร ซึ่งในการให้ค่าคะแนนความสัมพันธ์ของความต้องการของลูกค้าและเทคนิคที่ต้องการส่วนใหญ่จะใช้ตัวเลข 0 1 3 และ 9 แทนความสัมพันธ์ ได้แก่ 0 = ไม่มีความสัมพันธ์ 1 = มีความสัมพันธ์น้อย 3 = มีความสัมพันธ์ปานกลาง และ 9 = มีความสัมพันธ์มาก ตามลำดับ เพื่อเป็นเกณฑ์ในการให้ระดับคะแนนความสัมพันธ์

ส่วนประกอบที่ 5 คือการหาความเกี่ยวเนื่องในเทคนิค (Technical Correlations) เป็นส่วนของหลังคาของบ้านคุณภาพ แสดงถึงความเกี่ยวเนื่องของเทคนิคที่นำมาใช้ในตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ โดยเป็นการระบุความต้องการทางเทคนิคใดที่เกี่ยวข้งกันและความเกี่ยวข้งกันมากน้อยเพียงใด สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์เป็นตัวแทนลักษณะเฉพาะมีดังนี้ O คือ มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก X คือ มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย และช่องว่าง คือ ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันเลย

ส่วนประกอบที่ 6 คือลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority Relationships) บ่งบอกถึงความสำคัญในปริมาณต่างๆ เพื่อให้ผู้พัฒนาทราบว่าความต้องการใดที่ต้องได้รับการเอาใจใส่อย่างสูง โดยประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ และส่วนของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ ทั้งนี้ในส่วนนี้ลักษณะเฉพาะทางคุณภาพใดที่ต้องได้รับการเอาใจใส่อย่างสูง โดยประกอบด้วย 2 ส่วนย่อย คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ (Absolute Technical Requirement Important) เป็นการบอกลำดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ = (ค่าความสัมพันธ์ของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคต่อความต้องการของลูกค้า x ค่าลำดับที่ของการให้นำหนักเริ่มต้น) (1)

และค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ (Relative Technical Requirement Important) เป็นการแสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณเป็นเปอร์เซ็นต์สามารถคำนวณได้ดังสมการ (2)

ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ = (ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ x ผลรวมทั้งหมดของค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ) x 100 (2)

หลังจากที่ได้ทำการสร้างเมตริกย่อย ๆ ทั้ง 6 ส่วนของบ้านคุณภาพแล้ว จะทำการนำข้อมูลส่วนต่างๆ ทั้ง 6 ส่วนมาประกอบกัน และเมื่อได้เมตริกการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) หรือบ้านคุณภาพ แล้วจะทำการออกแบบผลิตภัณฑ์จิ๊กซอไม้ต่อไป

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้จะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามผู้ปกครองของเด็กช่วงอายุ 3 เดือน ถึง 12 ปี ทำการสำรวจความต้องการของลูกค้า (Voice of Customer) และนำมาวิเคราะห์การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของเล่น (Product Development Process) เป็นจิ๊กซอไม้โดยใช้บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality, HOQ) โครงการวิจัยนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยได้รับการรับรองรหัสโครงการ EC-65-029 ในการใช้แบบสอบถามต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

กลุ่มประชากรในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้ปกครองที่มีบุตรหลานที่อยู่ในช่วงอายุก่อนวัยรุ่น (Preadolescence) คือช่วงอายุ 3 เดือน ถึง 12 ปี โดยอ้างอิงจากงานวิจัยเรื่องการศึกษาการจัดการความปลอดภัยของเล่นเด็กในจังหวัดนครราชสีมา [2] ซึ่งพบว่ากลุ่มช่วงอายุเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด ได้แก่ ของเล่นที่เป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยคิดเป็นร้อยละ 18.86 ของจำนวนที่พบและพิจารณาเป็นกลุ่มตัวอย่างที่เก็บข้อมูลในครั้งนี้ จำนวนทั้งหมด 30 คน มีเกณฑ์การคัดเลือก (Inclusion Criteria) จะเก็บแบบเฉพาะเจาะจงของกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้ 1) เป็นผู้ปกครองนักเรียนที่มีช่วงอายุระหว่าง 3 เดือน ถึง 12 ปี ในงานวิจัย 2) มีความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยและสื่อสารภาษาไทยเข้าใจ สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ 1) แบบสอบถามเกี่ยวกับคุณลักษณะความต้องการของผู้ปกครองเกี่ยวกับอันตรายของจิ๊กซอไม้ เพื่อเลือกให้ระดับคะแนน (Rating) โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) และส่วนที่ 2) การทำเมตริกบ้านคุณภาพ (House of Quality) รายละเอียดตามรูปที่ 1 ในส่วนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับคุณลักษณะความต้องการของผู้ปกครองเกี่ยวกับอันตรายของจิ๊กซอไม้ ผู้วิจัยแบ่งกลุ่มความต้องการออกเป็น 5 ด้าน ได้แก่ ด้านวัสดุ ด้านรูปแบบและการ

ออกแบบ ด้านประโยชน์ที่ได้รับด้านวิธีการเก็บรักษาและด้านอื่น ๆ รวมทั้งสิ้น 22 ข้อ โดยแบ่งความถี่ของน้ำหนักแบ่งเป็น 5 ระดับ ประกอบด้วย (5) = มากที่สุด (4) = มาก (3) = ปานกลาง (2) = น้อย และ (1) = น้อยที่สุด ดังนี้

ด้านวัสดุแบ่งคำถามเป็น 4 ข้อ ได้แก่ 1) มีความทนทาน ไม่เสียหายง่าย ใช้งานได้นาน สามารถมองเห็นได้ 2) มีน้ำหนักเบาพอเหมาะที่เด็กสามารถหยิบเล่นได้ ไม่เป็นอันตรายต่อเด็กเวลาเล่น 3) วัสดุปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และ 4) เป็นวัสดุใหม่ที่ไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน

ด้านรูปแบบและการออกแบบแบ่งคำถามเป็น 6 ข้อ ได้แก่ 1) ของเล่นมีพื้นผิวเรียบ ไม่มีขอบแหลมคม 2) มีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อป้องกันเด็กกลืนหรือนำของเล่นเข้าจมูก 3) สีสดใสสวยงาม สะดุดตา สามารถมองเห็นได้ง่าย 4) รูปทรงสวยงาม เสมือนจริง และมีรูปแบบให้เลือกหลากหลาย 5) สีติดทนไม่มีการหลุด ลอกออก ได้ง่าย และ 6) สีที่ใช้ในการฉีดยึดมีความปลอดภัยได้มาตรฐาน และไม่มีสารตะกั่วสะสม

ด้านประโยชน์ที่ได้รับ แบ่งคำถามเป็น 3 ข้อ ได้แก่ 1) ส่งเสริมให้เด็กใช้ความคิด และจินตนาการที่จะเล่นอย่างริเริ่มสร้างสรรค์ 2) ของเล่นที่เล่นได้หลายคนช่วยให้เด็ก ๆ มีปฏิสัมพันธ์ที่ดี รู้จักการแบ่งปัน ทำให้ครอบครัวได้ใช้เวลาร่วมกัน และ 3) ส่งเสริมทักษะด้านการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา

ด้านวิธีการเก็บรักษา แบ่งคำถามเป็น 4 ข้อ ได้แก่ 1) เก็บรักษาง่าย 2) ทำความสะอาดง่าย 3) มีบรรจุภัณฑ์ที่แข็งแรง บรรจุของเล่นได้นาน และ 4) บำรุงรักษาและซ่อมแซมได้ง่าย

ด้านอื่น ๆ แบ่งคำถามเป็น 5 ข้อ ได้แก่ 1) ราคาข้อมเยาเหมาะสมกับของเล่น 2) หาซื้อได้ง่ายตามร้านค้าทั่วไป 3) ชิ้นส่วนบางชิ้นหาย ซื้อแยกได้ 4) มีคำอธิบายในการเล่น และ 5) มีเครื่องหมายสัญลักษณ์ รับรองมาตรฐานสินค้า มอก.

ทั้งนี้ ผู้วิจัยมีการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือโดยวิเคราะห์หาดัชนีความสอดคล้องคำถามและวัตถุประสงค์ (IOC) [10] ทั้งทางด้านเนื้อหาและภาษาที่ใช้จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน คะแนนที่ได้เท่ากับ 0.98 โดยแบบสอบถามนั้น วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ระบุไว้ได้จริง และนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ การทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) ผู้วิจัยโดยนำแบบสอบถามที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้ (Try out) กับกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มประชากรจำนวน 5 คน เพื่อหาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient)

การวิเคราะห์แบบสอบถามในการสำรวจคะแนนทั้ง 5 ด้าน จะนำค่าไปวิเคราะห์ในเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพเริ่มจากการวางแผนการผลิต (Product Planning) ในส่วนปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์นำเข้าคือความต้องการของลูกค้า (Customer Needs) ผลที่ได้คือเทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) เนื่องจากข้อมูลจากแบบสอบถามมีลักษณะเป็นแบบการเลือกให้ระดับคะแนน (Rating) จึงจะใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต(Geometric Mean) เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่มีความน่าเชื่อถือที่สุด ตามสมการที่ (3)

$$\text{ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต} = \sqrt[N]{N1 \times N2 \times N3 \times \dots \times Nn} \quad (3)$$

โดยที่ N คือ ค่าของข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม และ 1, 2, 3,...n คือ จำนวนข้อมูล

ส่วนที่ 2 เมตริกบ้านคุณภาพ (House of Quality) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์โดยใช้ส่วนประกอบคือความต้องการของลูกค้า (Customer Need) เมตริกการวางแผน (Planning Matrix) ข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) เมตริกความสัมพันธ์ (Relationships) การหาความเกี่ยวเนื่องในเทคนิค (Technical Correlations) และลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority Relationships) เพื่อนำไปสู่แนวทางการการออกแบบของเล่นจิ๊กซอไม้เพื่อความปลอดภัยโดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพตามวัตถุประสงค์ต่อไป

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามโดยแปลงแบบสอบถามเป็นระบบออนไลน์ เพื่อง่ายต่อการสอบถามและการวิเคราะห์ข้อมูลคุณลักษณะความต้องการของผู้ปกครองต่อจิ๊กซอไม้ โดยระบุเป็นความความถี่คะแนนของน้ำหนักอันตรายจากการเล่นจิ๊กซอไม้ แล้วหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) จากแบบสอบถามโดยเรียงลำดับความสำคัญ แล้วนำข้อมูลไปสร้างบ้านคุณภาพ (House of Quality) ขึ้น จากการใช้ความต้องการของกลุ่มตัวอย่างผู้ปกครองที่ได้จากแบบสอบถามเพื่อแปลงความต้องการของผู้ปกครองเป็นข้อกำหนดทางเทคนิคมาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับความต้องการของกลุ่มตัวอย่างผู้ปกครอง

4. ผลการศึกษา

ผลการวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็นผลการศึกษาความต้องการของลูกคำต่อผลิตภัณฑ์ของจิ๊กซอไม้โดยใช้บ้านคุณภาพ โดยแบ่งเป็นส่วนย่อย 3 ส่วน ได้แก่ 4.1 ความถี่คะแนนของน้ำหนักอันตรายและผลค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจากการเล่นจิ๊กซอไม้ 4.2 ผลการศึกษาเมตริกบ้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์จิ๊กซอไม้ และ 4.3 ผลการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจิ๊กซอไม้ ด้านความปลอดภัย

4.1 ผลการศึกษาความต้องการของกลุ่มตัวอย่างผู้ปกครองต่อผลิตภัณฑ์จิ๊กซอไม้โดยใช้บ้านคุณภาพ

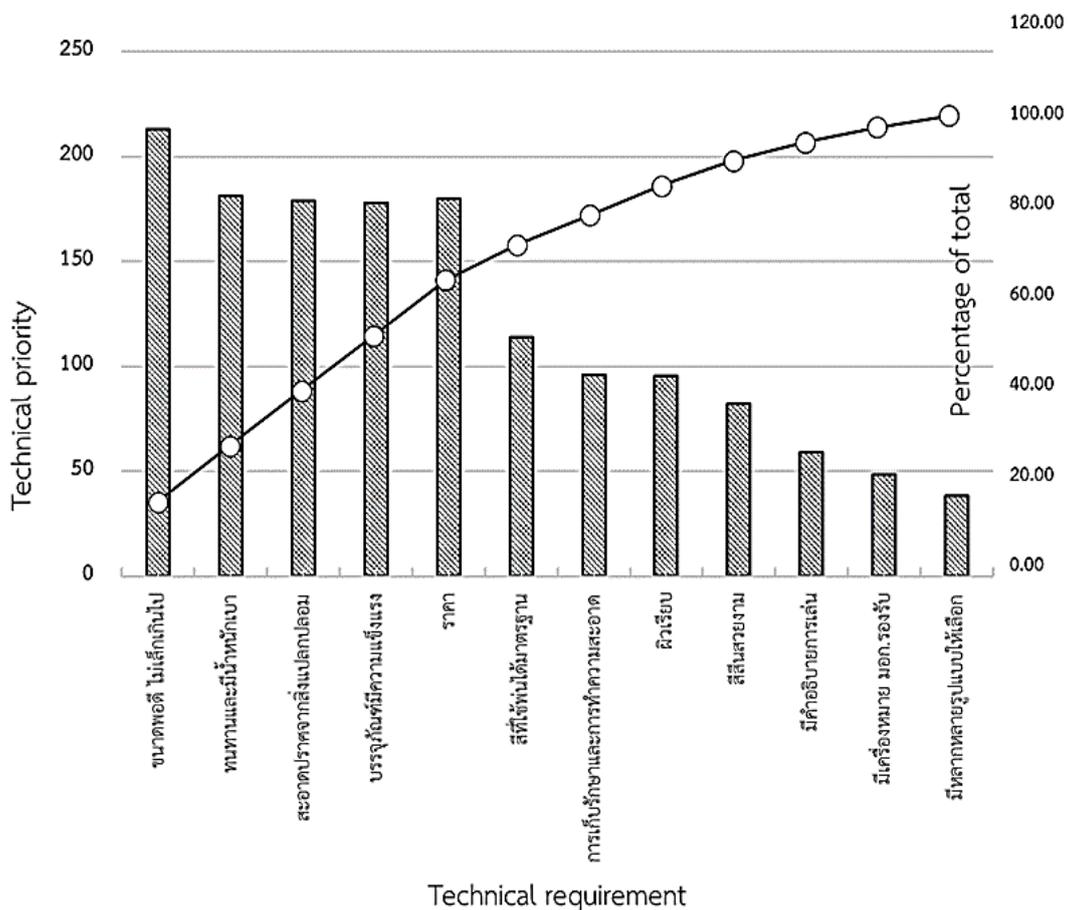
การศึกษาความต้องการของกลุ่มตัวอย่างผู้ปกครองต่อผลิตภัณฑ์จิ๊กซอไม้โดยใช้บ้านคุณภาพ ในส่วนที่ 1 เป็นไปตามตารางที่ 1 ซึ่งแสดงความถี่คะแนนของน้ำหนักอันตรายจากการเล่นจิ๊กซอไม้และคะแนนลำดับความสำคัญ (IMP) จากการสำรวจคะแนนความต้องการในแต่ละปัจจัยความต้องการของลูกคำต่อผลิตภัณฑ์จิ๊กซอไม้โดยใช้บ้านคุณภาพ (House of Quality) ตามตารางที่ 1 ทั้งหมด 5 ด้าน พบว่า สิ่งที่ผู้ปกครองต้องการมากที่สุดในด้านวัสดุ 3 ลำดับ ได้แก่ วัสดุปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ (IMP=4.92) วัสดุใหม่ที่ไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน (IMP=4.88) และมีความทนทาน ไม่เสียหายง่าย ใช้งานได้นาน สามารถมองเห็นได้ (IMP=3.93) ตามลำดับ ในด้านรูปแบบและการออกแบบ สิ่งที่ผู้ปกครองต้องการมากที่สุดในด้านวัสดุ 3 ลำดับ ได้แก่ สีที่ใช้ในการฉีดยกพื้น มีความปลอดภัยได้มาตรฐาน และไม่มีสารตะกั่วสะสม (IMP=4.88) จิ๊กซอมีพื้นผิวเรียบ ไม่มีขอบแหลมคม (IMP=4.84) และมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อป้องกันเด็กกลืนหรือนำของเล่นเข้าจมูก (IMP=4.74) ตามลำดับ ด้านด้านประโยชน์ที่ได้รับ สิ่งที่ผู้ปกครองต้องการมากที่สุดในด้านวัสดุ 3 ลำดับ ได้แก่ ส่งเสริมทักษะด้านการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา (IMP=4.83) ส่งเสริมให้เด็กใช้ความคิด และจินตนาการที่จะเล่นอย่างริเริ่มสร้างสรรค์ (IMP=4.80) และของเล่นที่เล่นได้หลายคนช่วยให้เด็ก ๆ มีปฏิสัมพันธ์ที่ดี รู้จักการแบ่งปัน ทำให้ครอบครัวได้ใช้เวลาาร่วมกัน (IMP=4.51) ตามลำดับ ด้านวิธีการการเก็บรักษา สิ่งที่ผู้ปกครองต้องการมากที่สุดในด้านวัสดุ 3 ลำดับ ได้แก่ เก็บรักษาง่าย (IMP=4.72) มีบรรจุภัณฑ์ที่แข็งแรง บรรจุของเล่นได้ยาวนาน (IMP=4.70) และทำความสะอาดง่าย (IMP=4.42) ตามลำดับ และด้านอื่นๆ สิ่งที่ผู้ปกครองต้องการมากที่สุดในด้านวัสดุ 3 ลำดับ ได้แก่ มีเครื่องหมายสัญลักษณ์ รับรองมาตรฐานสินค้า มอก. (IMP=4.92) ราคาขอมเยา เหมาะสมกับของเล่น (IMP=4.88) และชิ้นส่วนบางเสียหาย ซื่อแยกได้ (IMP=4.42) ตามลำดับและเมื่อพิจารณาตามคะแนนความสำคัญ (IMP) แล้ว คุณลักษณะที่ผู้ปกครองต้องการมากที่สุด คือ วัสดุที่ทำจิ๊กซอปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และจิ๊กซอต้องมีเครื่องหมายสัญลักษณ์ รับรองมาตรฐานสินค้า มอก. เป็นมาตรฐานเป็นที่ยอมรับ (IMP=4.92) รองลงมาคือหลายข้อประกอบด้วย วัสดุทำจิ๊กซอต้องใหม่ที่ไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน สีที่ใช้ในการฉีดยกพื้นมีความปลอดภัยได้มาตรฐาน และไม่มีสารตะกั่วสะสม รวมถึงต้องราคาขอมเยา เหมาะสมกับของเล่น (IMP=4.88)

ตารางที่ 1 ความถี่คะแนนของน้ำหนักอันตรายจากการเล่นจิ๊กซอไม้และคะแนนลำดับความสำคัญ (IMP) (n=30)

คุณลักษณะความต้องการของผู้ปกครอง	ระดับความต้องการ					IMP	
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด		
	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)		
ด้านวัสดุ	1. มีความทนทาน ไม่เสียหายง่าย ใช้งานได้นาน สามารถมองเห็นได้	27	2	1			4.84
	2. มีน้ำหนักเบาพอเหมาะที่เด็ก สามารถหยิบเล่นได้ ไม่เป็นอันตรายต่อเด็กเวลาเล่น	23	6	1			4.70
	3. วัสดุปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ	29		1			4.92
	4. เป็นวัสดุใหม่ที่ไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน	28	1	1			4.88
ด้านรูปแบบและการออกแบบ	5. จิ๊กซอมีพื้นผิวเรียบ ไม่มีขอบแหลมคม	27	2	1			4.84
	6. มีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อป้องกันเด็กกลืน หรือนำของเล่นเข้าจมูก	24	5	1			4.74
	7. สีสันสวยงาม สะดุดตา สามารถมองเห็นได้ง่าย	16	11	3			4.38
	8. รูปทรงสวยงาม เสมือนจริง และมีรูปแบบให้เลือกหลากหลาย	15	10	5			4.26
	9. สีสันตัดกันไม่มีการหลุด ลอกออก ได้ง่าย	25	3	2			4.73
	10. สีที่ใช้ในการฉีกพื้น มีความปลอดภัยได้มาตรฐาน และไม่มีสารตะกั่วสะสม	28	1	1			4.88
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	11. ส่งเสริมให้เด็กใช้ความคิด และจินตนาการที่จะเล่นอย่างริเริ่มสร้างสรรค์	27	1	2			4.80
	12. ของเล่นที่เล่นได้หลายคนช่วยให้เด็ก ๆ มีปฏิสัมพันธ์ที่ดี รู้จักการแบ่งปัน ทำให้ครอบครัวได้ใช้เวลาร่วมกัน	20	7	3			4.51
	13. ส่งเสริมทักษะด้านการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา	28		2			4.83
ด้านวิธีการเก็บรักษา	14. เก็บรักษาง่าย	26	1	3			4.72
	15. ทำความสะอาดง่าย	18	11	1			4.53
	16. มีบรรจุภัณฑ์ที่แข็งแรง บรรจุของเล่นได้นาน	23	6	1			4.70
	17. บำรุงรักษาและซ่อมแซมได้ง่าย	19	8	3			4.16
ด้านอื่น ๆ	18. ราคาเหมาะสมกับของเล่น	28	1	1			4.88
	19. หาซื้อได้ง่ายตามร้านค้าทั่วไป	25	1	4			4.50
	20. ชิ้นส่วนบางชิ้นหาย ซื้อแยกได้	26	3	1			4.81
	21. มีคำอธิบายให้การเล่น	22	3	5			4.15
	22. มีเครื่องหมายสัญลักษณ์ รับรองมาตรฐานสินค้า มอก.	29		1			4.92

4.2 ผลการศึกษาเมตริกบ้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์จิ๊กซอไม้

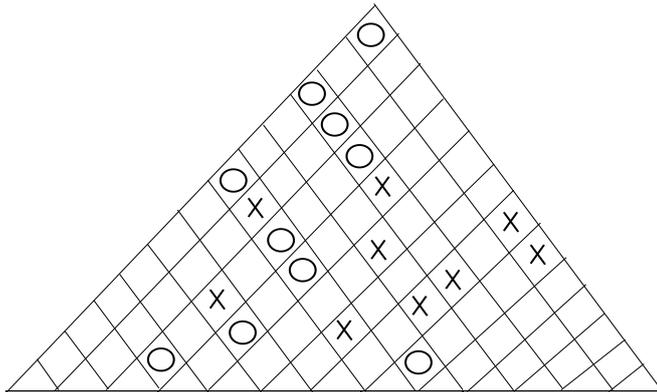
จากบ้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์จิ๊กซอไม้ในรูปแบบที่ 3 โดยที่กำหนดให้ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement) ทั้งสิ้น 13 ข้อ และความต้องการของลูกค้า (Customer Requirement) ทั้งสิ้น 22 ข้อ และตารางที่ 2 แสดงสรุปคะแนนลำดับความสำคัญทางเทคนิค (Technical Priority) ผลิตภัณฑ์จิ๊กซอไม้ และรูปที่ 2 แสดง Pareto Diagram แสดงลำดับความสำคัญทางเทคนิค (Technical Priority) สำหรับของเล่นจิ๊กซอไม้ โดยพิจารณาคะแนนความสำคัญ (IMP) แล้วทำการจัดอันดับ (Ranking) หาคะแนนลำดับความสำคัญเชิงเทคนิค (Technical Priority) รวมไปถึงร้อยละของคะแนน (Percentage of Total) พบว่าลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบที่คะแนนสูงสุด 5 ลำดับ ได้แก่ จิ๊กซอไม้ต้องมีขนาดพอดี ไม่เล็กเกินไป (ร้อยละ 14.54) ทนทานและมีน้ำหนักเบา (ร้อยละ 12.39) สะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอม (ร้อยละ 12.22) บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรง (ร้อยละ 12.17) และราคา (ร้อยละ 12.27) ตามลำดับ และพบว่าข้อกำหนดทางเทคนิคที่น้อยที่สุดคือช่องทางการซื้อ (ร้อยละ 0) ซึ่งไม่มีผลต่อคุณลักษณะการออกแบบ



รูปที่ 2 Pareto Diagram แสดงลำดับความสำคัญทางเทคนิค (Technical priority) สำหรับของเล่นจิ๊กซอไม้

ลักษณะด้านความเกี่ยวเนื่องทางเทคนิค	
สัญลักษณ์	ความสัมพันธ์
○	มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก
X	มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย
	ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

ลักษณะด้านความเกี่ยวเนื่องทางเทคนิค	
สัญลักษณ์	ความสัมพันธ์
↑	ยิ่งมากยิ่งดี
○	เป้าหมายเหมาะสม
↓	ยิ่งน้อยยิ่งดี



	ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical requirement)	วัสดุของเล่น		การออกแบบ			การตลาด		บรรจุภัณฑ์						
		1. หนามและไม้หัวทัก	2. สอดปราศจากสิ่งแปลกปลอม	3. สีที่ใช้ไม่ได้มาตรฐาน	4. สีที่สวยงาม	5. สีเรียบ	6. มีหลากหลายรูปแบบให้เลือก	7. ขนาดพอดี ไม่เล็กเกินไป	8. ราคา	9. ช่องทางการซื้อ	10. การเก็บรักษาและเวลาที่ควรสะอาด	11. ไม่เครื่องหมาย มอก. รองรับ	12. มีคำอธิบายการเล่น	13. บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรง	
Customer Requirement	IMP	○	↑	↑	○	○	↓	○	↓	↑	○	○	↓	↓	
ด้านวัสดุ	1) มีความทนทาน ไม่เสียหายง่าย ใช้งานได้นาน มองเห็น	4.84	9					3						9	
	2) มีน้ำหนักเบาพอเหมาะสำหรับเด็ก สามารถหยิบเล่นได้ ไม่เป็นอันตรายต่อเด็กเวลาเล่น	4.70	9	9											
	3) วัสดุปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ	4.92		9											
	4) เป็นวัสดุใหม่ที่ไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน	4.88		3											
ด้านรูปแบบและการออกแบบ	5) จิ๊กซอมีพื้นผิวเรียบ ไม่มีขอบแหลมคม	4.84				9									
	6) มีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อป้องกันเด็กกลืนหรือนำของเล่นเข้าจมูก	4.74						9							
	7) สีที่สวยงาม สะดุดตา สามารถมองเห็นได้ง่าย	4.38				9			1	1					
	8) รูปทรงสวยงาม เหมือนจริง และมีรูปแบบให้เลือกหลากหลาย	4.26				1	9	9	3	1					
	9) สีสดทนไม่มีการหลุด ออกออก ได้ง่าย	4.73			3					3					
	10) สีที่ใช้ในการฉีบทัน มีความปลอดภัยได้มาตรฐาน และไม่มีสารตะกั่วสะสม	4.88		1	9	3				9					
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	11) ส่งเสริมให้เด็กใช้ความคิด และจินตนาการที่จะเล่นอย่างจริงจัง สร้างสรรค์	4.80				3									
	12) ของเล่นที่เล่นได้หลายคนช่วยโตเด็ก ๆ มีปฏิสัมพันธ์ที่ดี รู้จักการแบ่งปัน ทำให้ครอบครัวได้ใช้เวลาร่วมกัน	4.51				1									
	13) ส่งเสริมทักษะด้านการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา	4.83				1									
ด้านวิธีการเก็บรักษา	14) เก็บรักษาได้ง่าย	4.72						9		9		1	9		
	15) ทำความสะอาดง่าย	4.53	9	9	3		3	9		9		1	9		
	16) มีบรรจุภัณฑ์ที่แข็งแรง บรรจุของเล่นได้นาน	4.70	9												
	17) บำรุงรักษาและซ่อมแซมได้ง่าย	4.16	3	3	9			3		3		3	1		
ด้านอื่น ๆ	18) ราคาย่อมเยา เหมาะสมกับของเล่น	4.88		1				9	3				1		
	19) หาซื้อได้ง่ายตามร้านค้าทั่วไป	4.50						3	9						
	20) ชิ้นส่วนบางชิ้นหาย ซื้อแยกได้	4.81							9						
	21) มีคำอธิบายให้การเล่น	4.15									1	9			
	22) มีเครื่องหมายสัญลักษณ์ รับรองมาตรฐานสินค้า มอก.	4.92		3							9				
Technical priority		2	3	6	9	8	12	1	5	13	7	11	10	4	
Ranking		181.41	178.99	114.02	82.06	95.49	38.34	212.97	179.70	0.00	95.73	48.43	59.08	178.15	1464.37
Percentage of total		12.39	12.22	7.79	5.60	6.52	2.62	14.54	12.27	0.00	6.54	3.31	4.03	12.17	100

รูปที่ 3 บ้านคุณภาพ (House of Quality) ของผลิตภัณฑ์จิ๊กซอไม้

ตารางที่ 2 คะแนนลำดับความสำคัญทางเทคนิค (Technical Priority) ผลผลิตภัณฑ์จิกซอไม้

ลำดับ	คุณลักษณะการออกแบบ (Technical requirement)	คะแนนความสำคัญเชิง เทคนิค (Technical priority)	ร้อยละ (Percentage)	ร้อยละสะสม (Percentage of total)
1	ขนาดพอดี ไม่เล็กเกินไป	212.97	14.54	14.54
2	ทนทานและมีน้ำหนักเบา	181.41	12.39	26.93
3	สะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอม	178.99	12.22	39.15
4	บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรง	178.15	12.17	51.32
5	ราคา	177.70	12.27	63.59
6	สีที่ใช้พ่นได้มาตรฐาน	114.02	7.79	71.38
7	การเก็บรักษาและการทำความสะอาด	95.72	6.54	77.92
8	ผิวเรียบ	95.49	6.52	84.44
9	สีสีนสวยงาม	82.06	5.60	90.04
10	มีคำอธิบายการเล่น	59.08	4.03	94.07
11	มีเครื่องหมาย มอก.รองรับ	48.43	3.31	97.38
12	มีหลากหลายรูปแบบให้เลือก	38.34	2.62	100.00
13	ช่องทางการซื้อ	0.00	0.00	0.00

4.3 ผลการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจิกซอไม้ด้านความปลอดภัย

จากผลการศึกษาความต้องการของกลุ่มตัวอย่างผู้ปกครองต่อผลิตภัณฑ์จิกซอไม้ รวมทั้งผลการศึกษาเมตริกบ้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์จิกซอไม้ นำไปสู่ผลการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจิกซอไม้ ได้ดังนี้ ประเด็นด้านความปลอดภัยที่สำคัญของจิกซอไม้สำหรับการออกแบบเพื่อให้จิกซอไม้มีความเหมาะสม จึงต้องออกแบบตามประเด็นโดยสรุป คือ เมื่อพิจารณาลำดับที่มีค่าคะแนนความสำคัญเชิงเทคนิค (Technical priority) มากที่สุดเกี่ยวข้องกับขนาดของจิกซอไม้ต้องพอดีและไม่เล็กจนเกินไป มีค่าคะแนนความสำคัญเชิงเทคนิคเท่ากับ 212.97 ดังนั้นการออกแบบจิกซอไม้จึงต้องมีขนาดที่เหมาะสม จับถนัดมือ มีขนาดใหญ่กว่า 3.2 เซนติเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร ตามคำแนะนำของกรมอนามัย [11] สำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี ต้องออกแบบเพื่อป้องกันเด็กกลืนเข้าไปซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของเด็กได้และทำให้สะดวกต่อการจัดเก็บและการเคลื่อนย้าย ในลำดับถัดมาคือจิกซอไม้ต้องทนทานต่อการเล่นของเด็ก มีค่าคะแนนความสำคัญเชิงเทคนิคเท่ากับ 181.41 ดังนั้นต้องทำจากวัสดุที่เป็นไม้ที่มีความแข็งแรงและวัสดุนั้นต้องมีน้ำหนักเบาด้วยเช่นกัน ซึ่งอาจต้องทำจากไม้เนื้ออ่อน ที่มีเนื้อค่อนข้างเหนียว ทำการเลื่อยหรือตกแต่งได้ง่าย ไม้ไม่มีลักษณะมีสีซีดจาง น้ำหนักเบา ในลำดับถัดมาคือจิกซอไม้ต้องสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอม มีค่าคะแนนความสำคัญเชิงเทคนิคเท่ากับ 178.99 ดังนั้นจิกซอจึงไม่มีสารเคมีอันตราย นอกจากนี้ในประเด็นเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ที่เก็บจิกซอไม้มีความแข็งแรงยากต่อการชำรุดเป็นประเด็นที่ใช้สำหรับการออกแบบด้วย โดยมีค่าคะแนนความสำคัญเชิงเทคนิคเท่ากับ 178.15 เพื่อให้สามารถเก็บได้อย่างสะดวก ในด้านของการออกแบบในการใช้สีที่ใช้พ่นนั้น จิกซอต้องได้มาตรฐาน ติดทนไม่มีการหลุดลอกออกได้ง่าย และไม่มีสารตกค้างสะสม เป็นประเด็นหนึ่งที่ต้องใช้ในการออกแบบด้วย โดยมีค่าคะแนนความสำคัญเชิงเทคนิคเท่ากับ 114.02 รวมไปถึงจิกซอไม้ต้องมีผิวเรียบ เนื่องจากทำจากวัสดุที่เป็นไม้ อาจมีเศษไม้ที่สามารถทิ่มมือของเด็กที่เล่นได้ ดังนั้นควรมีการปาดผิวจิกซอให้เรียบด้วย มีค่าคะแนนความสำคัญเชิงเทคนิคเท่ากับ 95.49 โดยมีผลแนวทางการออกแบบในประเด็นด้านความปลอดภัยโดยสรุปได้เป็น 6 ประเด็น ตามตารางที่ 3 ซึ่งสามารถนำข้อมูลเหล่านี้เสนอแนะสำหรับออกแบบเพื่อความปลอดภัยสำหรับเด็ก

ตารางที่ 3 แนวทางการออกแบบด้านความปลอดภัย

ลำดับ	คะแนนความสำคัญ เชิงเทคนิค	ร้อยละ	คุณลักษณะการ ออกแบบ	แนวทางการออกแบบ
1	212.97	14.54	ขนาดพอดี ไม่เล็กเกินไป	มีขนาดใหญ่กว่า 3.2 เซนติเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตรสำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี
2	181.41	12.39	ทนทานและมีน้ำหนักเบา	ทำจากไม้เนื้ออ่อน ที่มีเนื้อค่อนข้างเหนียว ทำการเลื่อยหรือตกแต่งได้ง่าย ไม้ไม่มีลักษณะมีสีซีดจาง น้ำหนักเบา
3	178.99	12.22	สะอาดปราศจากสิ่ง แปลกปลอม	ไม่มีสารเคมีอันตราย และสอดคล้องกับคุณลักษณะการออกแบบข้อ 5
4	178.15	12.17	บรรจุภัณฑ์มีความ แข็งแรง	มีความแข็งแรงยากต่อการชำรุดของกล่องที่ใช้บรรจุจิกซอไม้
5	114.02	7.79	สีที่ใช้พ่นได้มาตรฐาน	สีต้องติดทนไม่มีการหลุด ลอกออก ได้ง่าย รวมทั้ง สีที่ใช้ในการฉีพ่น มีความปลอดภัยได้มาตรฐาน และไม่มีสารตะกั่วสะสม
6	95.49	6.52	ผิวเรียบ	จิกซอไม้ต้องมีผิวเรียบ ป้องกันเศษไม้อันตรายต่อผู้เล่น

5. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

จากผลการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบจิกซอไม้ด้านความปลอดภัยเพื่อเป็นของเล่นสำหรับเด็กเพื่อความปลอดภัยสามารถเสริมทักษะระหว่างมือและตา ส่งเสริมให้รู้จักคิด ช่างสังเกต และฝึกสมาธิได้ด้วยนั้น ทั้งนี้ผลการวิจัยได้พิจารณาจากผลการศึกษาความต้องการของกลุ่มตัวอย่างผู้ประกอบการต่อผลิตภัณฑ์จิกซอไม้ และผลการศึกษาเมตริกบ้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์จิกซอไม้โดยใช้บ้านคุณภาพ (House of Quality; HOQ) นั้น ผลปรากฏว่าสิ่งที่พิจารณาด้านความปลอดภัยมีทั้งสิ้น 6 ประเด็น โดยเรียงลำดับตามค่าคะแนนความสำคัญเชิงเทคนิคมากที่สุดไปยังน้อยที่สุด ได้แก่ ขนาดพอดี ไม่เล็กเกินไป (ร้อยละ 14.54) ทนทานและมีน้ำหนักเบา (ร้อยละ 12.39) สะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอม (ร้อยละ 12.22) บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรง (ร้อยละ 12.17) สีที่ใช้พ่นได้มาตรฐาน (ร้อยละ 7.79) และผิวเรียบ (ร้อยละ 6.52) โดยมีแนวทางการออกแบบสรุปได้ดังนี้ จิกซอไม้ควรมีขนาดใหญ่กว่า 3.2 เซนติเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร สำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี ทำจากไม้เนื้ออ่อน ที่มีเนื้อค่อนข้างเหนียว ทำการเลื่อยหรือตกแต่งได้ง่าย ไม้ไม่มีลักษณะมีสีซีดจาง น้ำหนักเบากล่องที่บรรจุมีความแข็งแรงยากต่อการชำรุด สีต้องติดทนไม่มีการหลุด ลอกออก ได้ง่าย ไม่มีสารตะกั่วสะสม และจิกซอไม้ต้องมีผิวเรียบ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ คือ การออกแบบจิกซอไม้สำหรับเด็กเป็นการประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพเพื่อความปลอดภัย สำหรับการนำผลการวิจัยนี้ไปใช้เพื่อนำไปสู่การผลิตจิกซอไม้ที่คำนึงถึงด้านความปลอดภัย ในประเด็นต่าง ๆ ในหัวข้ออภิปรายผลการศึกษา โดยได้พิจารณาในความต้องการของผู้ประกอบการที่มีบุตรหลานที่อยู่ในช่วงอายุก่อนวัยรุ่น (Preadolescence) คือช่วงอายุ 3 เดือน ถึง 12 ปี

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในครั้งต่อไป คือเนื่องจากงานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาข้อมูลจากกลุ่มผู้ประกอบการที่มีบุตรหลาน ช่วงอายุ 3 เดือน ถึง 12 ปี แต่เนื่องด้วยจิกซอไม้ยังเป็นที่ยอมรับเล่นทุกช่วงอายุดังนั้นอาจมีการศึกษาขยายไปยังกลุ่มที่มีอายุสูงขึ้น และรวมไปถึงการศึกษาของเล่นประเภทอื่น ๆ ด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund; FF) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (รหัสโครงการ 160343) ภายใต้ชุดโครงการการยกระดับความปลอดภัยในกิจกรรมของเด็กในจังหวัดนครราชสีมา โครงการย่อยการจัดการความปลอดภัยของเล่นเด็ก ประจำปีงบประมาณ 2565 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำหรับการสนับสนุนให้โครงการวิจัยบรรลุผลและสำเร็จได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Disease Control (Thailand). [Internet] 2023 [cited 2024 January]. Available from:<https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1037220200813043>.
- [2] Srithorn, J., Kongkanjana, K., Sathaporn P. (2023). The Study of Children's Toy Safety Management in Nakhon Ratchasima Province. Proceeding IE Network Conference 2023 (pp. 402-408).
- [3] Rawangwong S., Homkhiew C., Sani S., Boonchouytan W., Kamnerdwamand T., Tehyo M. (2020). Design and Development of Furniture Products Made from Oil Palm Trunk Using Quality Function Deployment Technique: A Case Study of Oil Palm Wooden Furniture Manufacturer, Satun Province. Princess of Naradhiwas University Journal, Vol.2, 199-220.
- [4] สมศักดิ์ สุวรรณมิตร และ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. (2553). การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์รถยนต์บรรทุก 2 ตัน โดยใช้เทคนิค QFD. วารสารวิจัย มข. ปีที่ 15, เล่มที่ 7.
- [5] มณฑลีส ศาสนนันท์ และ ชินะ รอดศิริ. (2556). การศึกษาแนวทางปรับปรุงงานบริการโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพด้านสิ่งแวดล้อม : กรณีศึกษาอาคารผู้โดยสารท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 21, เล่มที่ 1.
- [6] Thongpang P., Rattanasiriwatt W., Prachprayoon P., Tungku G. & Sornsut C. Quality Function Deployment (QFD Designing an Egg Incubator Using Quality Function Deployment Technique. IENJ. 2023. 9(2): 14-28.
- [7] Akao, Y. (2012). The method for motivation by Quality Function Deployment (QFD). Nang Yan Business Journal, 1(1), 1-9.
- [8] Sivasankaran P. (2021) Quality concepts in Industrial systems using QFD (Quality Function Deployment) –Survey. SSRG International Journal of Industrial Engineering. Vol.1, 2021, 7-13.
- [9] Sinthavalai R and Ruengrong S. An Application of House of Quality (HOQ) for Designing Rice Product as a Souvenir. Naresuan University Journal: Science and Technology. 2018. Vol.3, 36-51.
- [10] Rovinelli, R.J. and Hambleton, R.K. (1997). On the use of content specialist in the assessment of criterion-referenced test item validity. Dutch Journal of Educational Research, 2, 49-60.
- [11] Department of Health (Thailand). (2023). [Internet] 2013 [cited 2024 January]. Available from:https://multimedia.anamai.moph.go.th/infographics/info457_toy/

การคาดการณ์การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการเดินทางในเส้นทางการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge

PREDICTING THE ENERGY CONSUMPTION OF THE SOLAR-POWERED ELECTRIC VEHICLE STC-4 FOR THE ROUTE OF THE BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE

จิรวัดน์ กรุณา^{1*} และ อุดมศักดิ์ โชติมงคล²

Jirawat Garluna^{1*} and Udomsak Chotimongkol²

Received: April 4, 2024

Revised: June 4, 2024

Accepted: June 9, 2024

¹สาขาวิชาเทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

²นักวิจัยอิสระ

*Corresponding author email: Jirawatg@siamtechno.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการคาดการณ์อัตราสิ้นเปลืองพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการเดินทางในเส้นทางการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge โดยใช้ข้อมูลเส้นทางการแข่งขันเริ่มต้นจากเมืองดาร์วิน ซึ่งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย จนถึงเมืองแอดิเลด ซึ่งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศออสเตรเลีย ระยะทางรวมทั้งสิ้น 3,039.42 กิโลเมตร ใช้ระยะเวลาในการเดินทาง 6 วัน ผลการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 พบว่า วันที่ 1 จุดเริ่มต้น Merrill Corporation Australia สิ้นสุด Larrimah Hotel and Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 497.66 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 28,449.47 วัตต์ชั่วโมง วันที่ 2 จุดเริ่มต้น Larrimah Hotel and Caravan Park สิ้นสุด Tennant Creek – Outback Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 492.21 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 28,543.50 วัตต์ชั่วโมง วันที่ 3 จุดเริ่มต้น Tennant Creek – Outback Caravan Park สิ้นสุด Alice Springs Heritage Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 514.34 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 30,447.40 วัตต์ชั่วโมง วันที่ 4 จุดเริ่มต้น Alice Springs Heritage Caravan Park สิ้นสุด Oasis Tourist Park ระยะทางทั้งสิ้น 683.7 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 39,034.06 วัตต์ชั่วโมง วันที่ 5 จุดเริ่มต้น Oasis Tourist Park สิ้นสุด Augusta Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 548.11 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 31,980.70 วัตต์ชั่วโมง วันที่ 6 จุดเริ่มต้น Augusta Caravan Park สิ้นสุด Adelaide Victoria Square ระยะทางทั้งสิ้น 303.4 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 17,984.24 วัตต์-ชั่วโมง

คำสำคัญ: การใช้พลังงาน รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ รายการ Bridgestone World Solar Challenge

Abstract

The objective of this research is to predict the energy consumption of the STC-4 solar-powered electric vehicle for the Bridgestone World Solar Challenge race route. The route starts from Darwin, located in the northern region of Australia, and ends in Adelaide, situated in the southern region of Australia, covering a total distance of 3,039.42 kilometers and taking 6 days to complete. The analysis of the energy consumption of the STC-4 solar-powered electric vehicle revealed the following results: On Day 1, starting from Merrill Corporation Australia to

Larrimah Hotel and Caravan Park, covering a total distance of 497.66 kilometers, the energy consumption was 28,449.47 watt-hour. On Day 2, starting from Larrimah Hotel and Caravan Park to Tennant Creek – Outback Caravan Park, covering a total distance of 492.21 kilometers, the energy consumption was 28,543.50 watt-hour. On Day 3, starting from Tennant Creek – Outback Caravan Park to Alice Springs Heritage Caravan Park, covering a total distance of 514.34 kilometers, the energy consumption was 30,447.40 watt-hour. On Day 4, starting from Alice Springs Heritage Caravan Park to Oasis Tourist Park, covering a total distance of 683.7 kilometers, the energy consumption was 39,034.06 watt-hour. On Day 5, starting from Oasis Tourist Park to Augusta Caravan Park, covering a total distance of 548.11 kilometers, the energy consumption was 31,980.70 watt-hour. On Day 6, starting from Augusta Caravan Park to Adelaide Victoria Square, covering a total distance of 303.4 kilometers, the energy consumption was 17,984.24 watt-hour.

Keywords: Energy Consumption, Solar-powered Electric Vehicle, Bridgestone World Solar Challenge

1. บทนำ

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามมีนโยบายมุ่งพัฒนาอาจารย์และผลิตนักศึกษา คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีให้มีความรู้ความสามารถเป็นเลิศในด้านการออกแบบ และผลิตรถยนต์ไฟฟ้า โดยเฉพาะรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานจากแบตเตอรี่ให้สามารถใช้งานได้จริงตามท้องถนน นโยบายดังกล่าวสอดคล้องกับการรายการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 ที่ประเทศออสเตรเลีย จัดทุกๆ 2 ปี ทางวิทยาลัยเทคโนโลยีสยามจึงได้เข้าร่วมแข่งขันในนามประเทศไทย ใช้ชื่อว่า STC-4 แข่งขันในรุ่น cruiser การแข่งขันนี้เป็นการแข่งขันการออกแบบและสร้างรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับพลังงานจากแบตเตอรี่ให้สามารถวิ่งได้ตามสภาพถนนจริงได้ ระยะทางทั้งหมด 3,022 กิโลเมตร จากเหนือสุดสู่ใต้สุดของประเทศออสเตรเลีย เริ่มจากเมืองดาร์วินสู่เมืองแอดิเลด [1] ใช้ระยะเวลาการแข่งขัน 6 วัน โดยมีข้อเงื่อนไขของการแข่งขันดังนี้ 1) รูปทรงของรถ ความยาวไม่เกิน 5 เมตร ความกว้างไม่เกิน 2.2 เมตร และความสูงไม่เกิน 1.6 เมตร 2) พื้นที่ติดตั้ง Solar Cell บนรถไม่เกิน 5 ตารางเมตร 3) จำนวนคนที่อยู่ในรถ 2-4 คน 4) จำกัดการชาร์จพลังงานเข้าแบตเตอรี่ที่ 33 กิโลวัตต์-ชั่วโมง [2] ส่วนประกอบหลักของรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์ คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะแปลงการแผ่รังสีแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ และระบบจุดลากประกอบด้วยตัวควบคุมมอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้า และล้อขับเคลื่อน จากเงื่อนไขทั้ง 4 ข้อที่กล่าวมา ผู้เข้าแข่งขันต้องคาดการณ์การใช้ความเร็วระหว่างการแข่งขัน และการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับระยะทางในการแข่งขันในแต่ละวัน โดยพิจารณาจากลักษณะเส้นทางที่แตกต่างกัน เช่น ทางราบ ขึ้นทางลาดชัน ลงทางลาดชัน มีผลกระทบอย่างมากต่อกลยุทธ์การจัดการพลังงานสำหรับการแข่งขัน [3] ดังนั้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสำรวจเส้นทางจริงจึงมีการเก็บข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนในการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงาน [4]

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการคาดการณ์การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการเดินทางในเส้นทางการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge เพื่อนำข้อมูลไปออกแบบระบบการจัดการพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการแข่งขันต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อหาค่าความลาดชันของเส้นทางการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge
- 2) เพื่อหาค่าการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการเดินทางในเส้นทางการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge

3. การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยผู้วิจัยได้จัดลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยไว้ดังนี้

3.1 การศึกษาระยะเวลาของเส้นทางการแข่งขันรายการ **Bridgestone World Solar Challenge**

ในการวิจัยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเส้นทางการแข่งขันของรายการ Bridgestone World Solar Challenge เริ่มต้นจาก Merrill Corporation Australia เมืองดาร์วิน สิ้นสุดที่ Adelaide Victoria Square เมืองแอดิแลต ระยะทางรวมทั้งสิ้น 3,039.42 กิโลเมตร โดยแบ่งเส้นทางในการเดินทางเป็น 6 ช่วงดังนี้

- ช่วงที่ 1 จุดเริ่มต้น Merrill Corporation Australia สิ้นสุด Larrimah Hotel and Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 497.66 กิโลเมตร
- ช่วงที่ 2 จุดเริ่มต้น Larrimah Hotel and Caravan Park สิ้นสุด Tennant Creek – Outback Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 492.21 กิโลเมตร
- ช่วงที่ 3 จุดเริ่มต้น Tennant Creek – Outback Caravan Park สิ้นสุด Alice Springs Heritage Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 514.34 กิโลเมตร
- ช่วงที่ 4 จุดเริ่มต้น Alice Springs Heritage Caravan Park สิ้นสุด Oasis Tourist Park ระยะทางทั้งสิ้น 683.7 กิโลเมตร
- ช่วงที่ 5 จุดเริ่มต้น Oasis Tourist Park สิ้นสุด Augusta Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 548.11 กิโลเมตร
- ช่วงที่ 6 จุดเริ่มต้น Augusta Caravan Park สิ้นสุด Adelaide Victoria Square ระยะทางทั้งสิ้น 303.4 กิโลเมตร



รูปที่ 1 เส้นทางการเดินทางจาก Merrill Corporation Australia ถึง Adelaide Victoria Square [5]

3.2 การวิเคราะห์ค่าความลาดชันเส้นทางการแข่งขันของรายการ **Bridgestone World Solar Challenge**

ในการวิเคราะห์ค่าความลาดชันของเส้นทางการแข่งขันในแต่ละช่วงโดยนำข้อมูลจากแผนที่ มาหาผลต่างของระยะทางแนวตั้งระหว่างจุดอ้างอิง 2 จุด และผลต่างของระยะทางแนวราบระหว่างจุดอ้างอิง 2 จุดของภาพตัดขวาง (Cross Section) ในแต่ละช่วง และนำมาคำนวณโดยใช้สมการ [6]

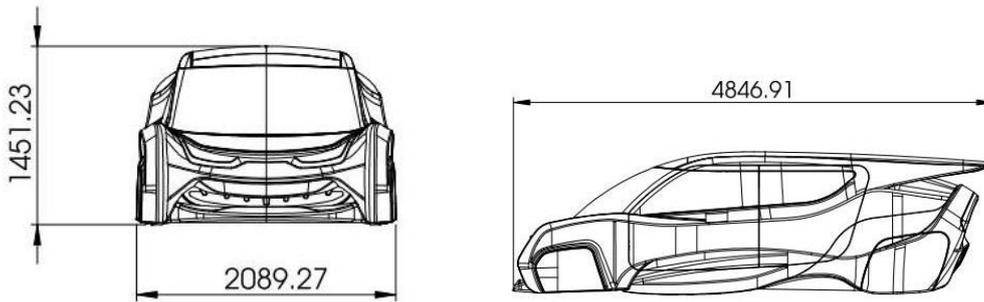
$$G = \frac{\Delta y}{\Delta x} \times 100 \tag{1}$$

G = ค่าความลาดชันของเส้นทาง (%)

Δy = ผลต่างของระยะทางแนวตั้งระหว่างจุดอ้างอิง 2 จุด (กิโลเมตร)

Δx = ผลต่างของระยะทางแนวราบระหว่างจุดอ้างอิง 2 จุดของภาพตัดขวาง (กิโลเมตร)

3.3 การวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการเดินทางในเส้นทางการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge



รูปที่ 2 ลักษณะและขนาดของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4

การวิเคราะห์ค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ต้องหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้สมการดังนี้ [7]

$$R_r = K_r W \cos \theta \tag{2}$$

$$R_a = 0.5 \rho A (v_c + v_w)^2 C_d \tag{3}$$

$$R_g = W \sin \theta \tag{4}$$

$$R_t = R_r + R_a + R_g \tag{5}$$

$$F_w = R_t \tag{6}$$

$$P_w = F_w v_c \tag{7}$$

$$P_m = \frac{P_w}{\eta_t \eta_m} \tag{8}$$

$$E_c = P_m t \tag{9}$$

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4

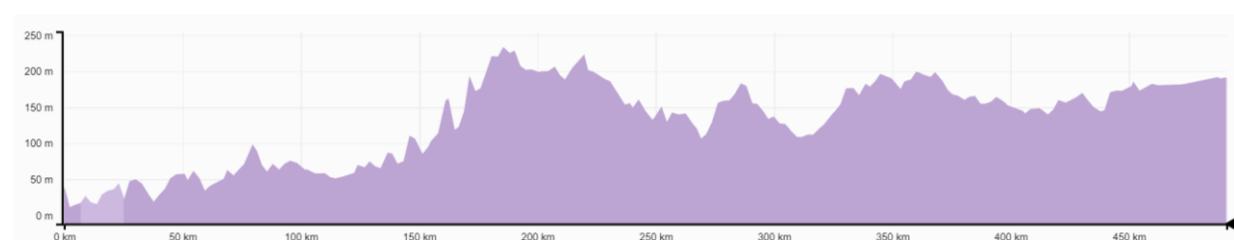
สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
R_r	แรงต้านการหมุนของล้อ	ตัวแปร	N
R_a	แรงต้านอากาศ	ตัวแปร	N
R_g	แรงต้านทางลาดชัน	ตัวแปร	N
R_t	แรงต้านรวม	ตัวแปร	N
F_w	แรงขับเคลื่อนที่ล้อ	ตัวแปร	N
P_w	กำลังขับเคลื่อนที่ล้อ	ตัวแปร	W
P_m	กำลังมอเตอร์	ตัวแปร	W
E_c	ค่าการใช้พลังงาน	ตัวแปร	Wh
K_r	สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อวิ่งบนถนนแอสฟัลท์	0.013	-
W	น้ำหนักกรร (650 kg)	6,376.50	N
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ	ตัวแปร	kg/m ³
A	พื้นที่หน้าตัดรถ	1.9612	m ²
v_c	ความเร็วรถเฉลี่ย (75 km/h)	20.833	m/s
v_w	ความเร็วลมเฉลี่ย (3 km/h)	0.833	m/s
C_d	สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ	0.2	-
θ	มุมลาดเอียงของเส้นทาง	ตัวแปร	deg
η_t	ประสิทธิภาพการส่งกำลัง	1.0	-
η_m	ประสิทธิภาพมอเตอร์ BLDC	0.9	-
t	ระยะเวลาในการขับขี่รถ	ตัวแปร	h
d	ระยะทางในการขับขี่รถ	ตัวแปร	km

4. ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ค่าความชันของเส้นทางการแข่งขันของรายการ **Bridgestone World Solar Challenge**

ในการวิเคราะห์ค่าความชันของเส้นทางการแข่งขันแบ่งเป็น 6 ช่วง ดังนี้

เส้นทางช่วงที่ 1 จุดเริ่มต้น Merrill Corporation Australia สิ้นสุด Larrimah Hotel and Caravan Park



รูปที่ 3 แสดงลักษณะความลาดชันของเส้นทางช่วงที่ 1

จากรูปที่ 3 เส้นทางช่วงที่ 1 มีระยะทางทั้งสิ้น 497.66 กิโลเมตร เป็นทางลาดขึ้น 1,677.2 เมตร ทางลาดลง 1,525.6 เมตร เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ระยะทางแยกตามระดับความชันได้ผลดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าระยะทางแยกตามระดับความชันของเส้นทางช่วงที่ 1

ความชัน	ระยะทาง (กิโลเมตร)
≤ -4%	2.3
≤ -1%	8.78
0%	466.69
≥ 1%	15.75
≥ 4%	0

เส้นทางช่วงที่ 2 จุดเริ่มต้น Larrimah Hotel and Caravan Park สิ้นสุด Tennant Creek – Outback Caravan Park



รูปที่ 4 แสดงลักษณะความลาดชันของเส้นทางช่วงที่ 2

จากรูปที่ 4 เส้นทางช่วงที่ 2 มีระยะทางทั้งสิ้น 492.21 กิโลเมตร เป็นทางลาดขึ้น 944.3 เมตร ทางลาดลง 766.7 เมตร เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ระยะทางแยกตามระดับความชันได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3 ค่าระยะทางแยกตามระดับความชันของเส้นทางช่วงที่ 2

ความชัน	ระยะทาง (กิโลเมตร)
≤ -4%	0
≤ -1%	2.96
0%	477.89
≥ 1%	6.17
≥ 4%	0

เส้นทางช่วงที่ 3 จุดเริ่มต้น Tennant Creek – Outback Caravan Park สิ้นสุด Alice Springs Heritage Caravan Park



รูปที่ 5 แสดงลักษณะความลาดชันของเส้นทางช่วงที่ 3

จากรูปที่ 5 เส้นทางช่วงที่ 3 มีระยะทางทั้งสิ้น 514.34 กิโลเมตร เป็นทางลาดขึ้น 766 เมตร ทางลาดลง 568 เมตร เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ระยะทางแยกตามระดับความชันได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4 ค่าระยะทางแยกตามระดับความชันของเส้นทางช่วงที่ 3

ความชัน	ระยะทาง (กิโลเมตร)
$\leq -4\%$	0
$\leq -1\%$	3.93
0%	502.67
$\geq 1\%$	0
$\geq 4\%$	0

เส้นทางช่วงที่ 4 จุดเริ่มต้น Alice Springs Heritage Caravan Park สิ้นสุด Oasis Tourist Park



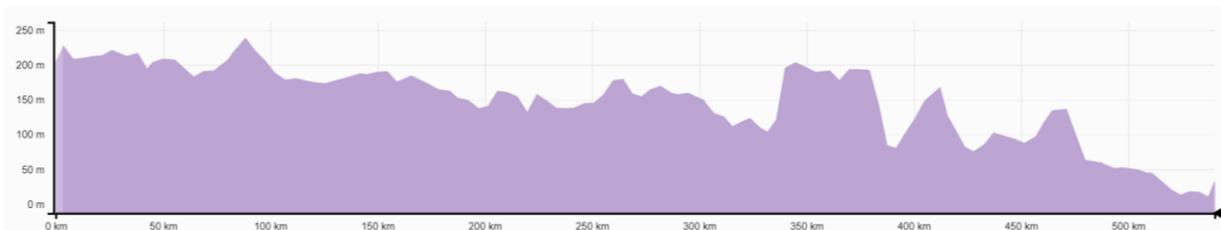
รูปที่ 6 แสดงลักษณะความลาดชันของเส้นทางช่วงที่ 4

จากรูปที่ 6 เส้นทางช่วงที่ 4 มีระยะทางทั้งสิ้น 683.7 กิโลเมตร เป็นทางลาดขึ้น 1,100.8 เมตร ทางลาดลง 1,464.6 เมตร เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ระยะทางแยกตามระดับความชันได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5 ค่าระยะทางแยกตามระดับความชันของเส้นทางช่วงที่ 4

ความชัน	ระยะทาง (กิโลเมตร)
$\leq -4\%$	0
$\leq -1\%$	0
0%	673.44
$\geq 1\%$	0
$\geq 4\%$	0

เส้นทางช่วงที่ 5 จุดเริ่มต้น Oasis Tourist Park สิ้นสุด Augusta Caravan Park



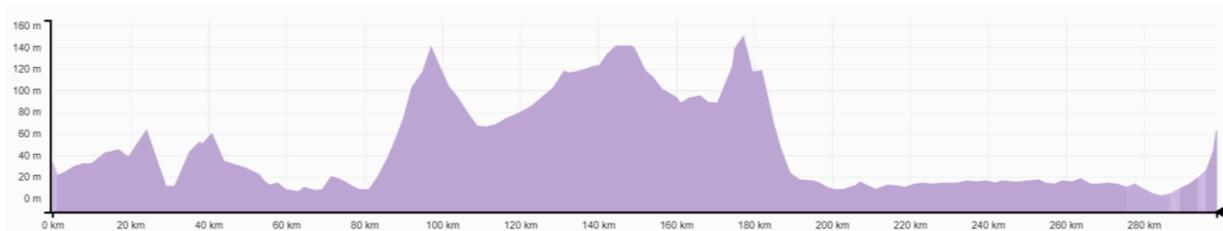
รูปที่ 7 แสดงลักษณะความลาดชันของเส้นทางช่วงที่ 5

จากรูปที่ 7 เส้นทางช่วงที่ 5 มีระยะทางทั้งสิ้น 548.11 กิโลเมตร เป็นทางลาดขึ้น 1,115.6 เมตร ทางลาดลง 1,286.8 เมตร เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ระยะทางแยกตามระดับความชันได้ผลดังนี้

ตารางที่ 6 ค่าระยะทางแยกตามระดับความชันของเส้นทางช่วงที่ 5

ความชัน	ระยะทาง (กิโลเมตร)
$\leq -4\%$	0
$\leq -1\%$	3.36
0%	533.34
$\geq 1\%$	3.54
$\geq 4\%$	0

เส้นทางช่วงที่ 6 จุดเริ่มต้น Augusta Caravan Park สิ้นสุด Adelaide Victoria Square



รูปที่ 8 แสดงลักษณะความลาดชันของเส้นทางช่วงที่ 6

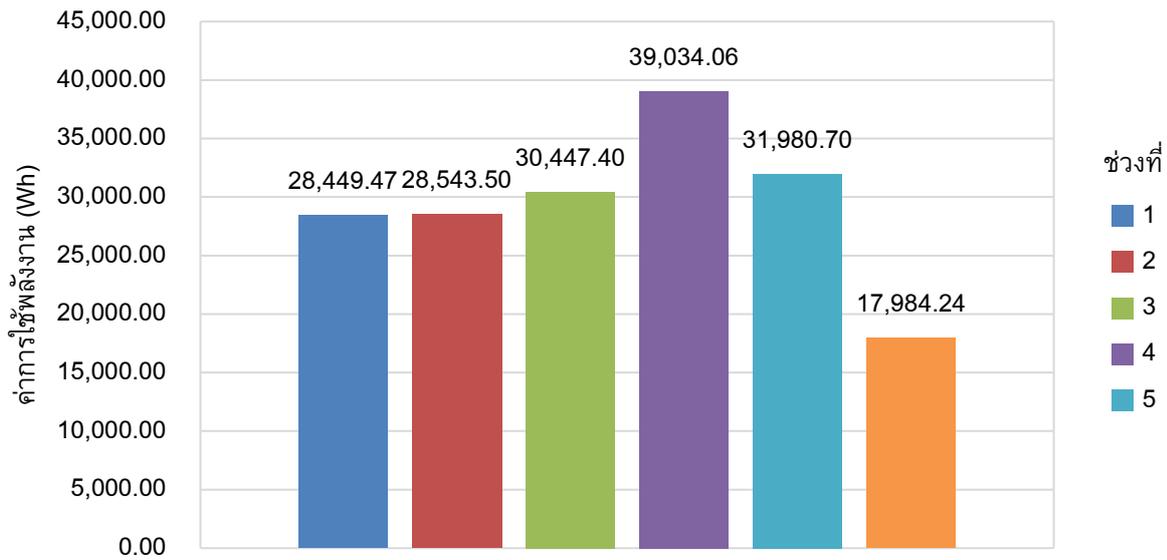
จากรูปที่ 8 เส้นทางช่วงที่ 6 มีระยะทางทั้งสิ้น 303.4 กิโลเมตร เป็นทางลาดขึ้น 690.5 เมตร ทางลาดลง 661.4 เมตร เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ระยะทางแยกตามระดับความชันได้ผลดังนี้

ตารางที่ 7 ค่าระยะทางแยกตามระดับความชันของเส้นทางช่วงที่ 6

ความชัน	ระยะทาง (กิโลเมตร)
$\leq -4\%$	0
$\leq -1\%$	8.71
0%	286.26
$\geq 1\%$	3.62
$\geq 4\%$	0

4.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการเดินทางในเส้นทางการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge

จากข้อมูลเส้นทางการแข่งขันทั้ง 6 ช่วง ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ได้ผลดังนี้

<http://jeet.siamtechu.net>

รูปที่ 9 ค่าการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ของเส้นทางการแข่งขันในแต่ละช่วง

จากรูปที่ 9 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานสะสมของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับเดินทางในเส้นทางการแข่งขันในแต่ละช่วงโดยมีรายละเอียดดังนี้

- เส้นทางช่วงที่ 1 จุดเริ่มต้น Merrill Corporation Australia สิ้นสุด Larrimah Hotel and Caravan Park ใช้พลังงานสะสมทั้งสิ้น 28,449.47 Wh
- เส้นทางช่วงที่ 2 จุดเริ่มต้น Larrimah Hotel and Caravan Park สิ้นสุด Tennant Creek – Outback Caravan Park ใช้พลังงานสะสมทั้งสิ้น 28,543.50 Wh
- เส้นทางช่วงที่ 3 จุดเริ่มต้น Tennant Creek – Outback Caravan Park สิ้นสุด Alice Springs Heritage Caravan Park ใช้พลังงานสะสมทั้งสิ้น 30,447.40 Wh
- เส้นทางช่วงที่ 4 จุดเริ่มต้น Alice Springs Heritage Caravan Park สิ้นสุด Oasis Tourist Park ใช้พลังงานสะสมทั้งสิ้น 39,034.06 Wh
- เส้นทางช่วงที่ 5 จุดเริ่มต้น Oasis Tourist Park สิ้นสุด Augusta Caravan Park ใช้พลังงานสะสมทั้งสิ้น 31,980.70 Wh
- เส้นทางช่วงที่ 6 จุดเริ่มต้น Augusta Caravan Park สิ้นสุด Adelaide Victoria Square ใช้พลังงานสะสมทั้งสิ้น 17,984.24 Wh

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการคาดการณ์การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการเดินทางในเส้นทางแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge โดยใช้ข้อมูลเส้นทางแข่งขัน เริ่มต้นจากเมืองดาร์วิน ซึ่งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย จนถึงเมืองแอดิเลด ซึ่งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศออสเตรเลีย ระยะทางรวมทั้งสิ้น 3,039.42 กิโลเมตร ใช้ระยะเวลาในการเดินทาง 6 วัน ผลการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 พบว่า วันที่ 1 จุดเริ่มต้น Merrill Corporation Australia สิ้นสุด Larrimah Hotel and Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 497.66 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 28,449.47 วัตต์ชั่วโมง วันที่ 2 จุดเริ่มต้น Larrimah Hotel and Caravan Park สิ้นสุด Tennant Creek – Outback Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 492.21 กิโลเมตร ใช้พลังงาน

<http://jeet.siamtechu.net>

สะสม 28,543.50 วัตต์ชั่วโมง วันที่ 3 จุดเริ่มต้น Tennant Creek – Outback Caravan Park สิ้นสุด Alice Springs Heritage Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 514.34 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 30,447.40 วัตต์ชั่วโมง วันที่ 4 จุดเริ่มต้น Alice Springs Heritage Caravan Park สิ้นสุด Oasis Tourist Park ระยะทางทั้งสิ้น 683.7 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 39,034.06 วัตต์ ชั่วโมง วันที่ 5 จุดเริ่มต้น Oasis Tourist Park สิ้นสุด Augusta Caravan Park ระยะทางทั้งสิ้น 548.11 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 31,980.70 วัตต์ชั่วโมง วันที่ 6 จุดเริ่มต้น Augusta Caravan Park สิ้นสุด Adelaide Victoria Square ระยะทางทั้งสิ้น 303.4 กิโลเมตร ใช้พลังงานสะสม 17,984.24 วัตต์ชั่วโมง จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากลักษณะเส้นทางการแข่งขันทั้ง 6 วัน พบว่า ลักษณะเส้นทางการแข่งขันส่วนใหญ่เป็นทางราบ และเมื่อพิจารณาจากระยะทางในแต่ละวัน พบว่าในวันที่ 4 ของการแข่งขันมีระยะทางที่มากที่สุดจึงทำให้มีการใช้พลังงานสะสมสูงสุด การคาดการณ์การใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ทั้ง 6 วัน เป็นการคาดการณ์ระยะยาวซึ่งเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการทำนายการใช้พลังงานของเส้นทางที่วางแผนไว้ล่วงหน้าโดยไม่พิจารณาอัตราเร่งของรถขณะขับที่ [8]

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] South Australian Motor Sport Board. (2024). History (Online). Available : <https://worldsolarchallenge.org/the-event/history>. Retrieved 21 March 2024.
- [2] South Australian Motor Sport Board. (2024). Regulations (Online). Available : https://worldsolarchallenge.org/the-event/2023_regulations. Retrieved 4 April 2024.
- [3] X. Shao et al. (2016). Solar irradiance forecasting by machine learning for solar car races, IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Washington, DC, USA, 2016, pp. 2209-2216.
- [4] Lynn H. Kaack, George H. Chen, M. Granger Morgan. (2019). Truck traffic monitoring with satellite images, ACM SIGCAS International Conference on Computing and Sustainable Societies (COMPASS), Accra, Ghana. ACM, New York, USA, 2019, pp. 155-164.
- [5] GNU Affero General. (2024). Facimap (Online). Available: <https://facimap.org/#6/-33.989/136.318/Mpnk/-32.516234%2C137.837375%20to%20-34.927162%2C138.599850%20by%20car%20details>. Retrieved 4 April 2024.
- [6] เกียรติศักดิ์ พรหมณัพนันธุ์. (2544). การทำแผนที่สามมิติ. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [7] เผด็จ แสนเกษม. (2558). วิศวกรรมยานยนต์. กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- [8] S.C. Yang, M. Li, Y. Lin, T.Q. Tang. (2014). Electric vehicle's electricity consumption on a road with different slope, *Journal of ELSEVIER, Physica A* 402, 41-48.

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการแข่งขัน BWSC-2023 รุ่น CRUISER CLASS

EFFICIENCY ANALYSIS OF ELECTRICAL POWER GENERATION SYSTEM ON THE ROOF OF A SOLAR-POWERED ELECTRIC CARS FOR THE BWSC-2023 CRUISER CLASS COMPETITION

ศรายุทธ โรหิตเสถียร¹ ปิยะบุตร ยิ้มแพน² และ กำจัด ใจตรง^{3*}

Sarayut Rohitsatearn¹, Piyabut Yimfaen² and Kumjat Jaitrong^{3*}

Received: April 4, 2024

Revised: June 4, 2024

Accepted: June 9, 2024

¹สาขาวิชาเทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

²นักวิจัยอิสระ

³สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 รุ่น Cruiser Class โดยการวัดค่าค่าพารามิเตอร์ 4 ตัว ได้แก่ ความเข้มของแสง อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังการจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวที่อ่อนตัวได้ขนาด 3.3 ตารางเมตร กำลังผลิตติดตั้งขนาด 650 วัตต์ ที่แรงดันไฟฟ้า 79.8 โวลต์ ผลการทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เข้าร่วมการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 ตั้งแต่จุดเริ่มต้นที่เมือง Darwin ไปยังเมือง Mataranka เป็นระยะทาง 422 กิโลเมตร สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 3.93 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยมีค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 558 วัตต์ ที่เวลาประมาณ 13.30 น. และค่าความเข้มแสง 1,430 วัตต์ต่อตารางเมตร คิดเป็นประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 11.82%

คำสำคัญ: การวัดพลังงานแสงอาทิตย์ รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ BWSC-2023 รุ่น Cruiser Class

Abstract

The objective of this research is to analyze the efficiency of the STC-4 solar electric vehicle rooftop electric power generation system for the Bridgestone World Solar Challenge 2023 Cruiser Class competition by measuring four parameters: light intensity, temperature, voltage, and current. These measurements are taken to determine the electrical power and energy produced. The installation of solar panels on the roof of a car utilizes monocrystalline solar panels, which are flexible and lightweight. These panels cover an area of 3.3 square meters and have a power output of 650 watts at an electrical voltage of 79.8 volts. The results of the test of electrical energy production of solar panels while participating in the Bridgestone World Solar Challenge 2023 from the starting point in Darwin to Mataranka, 422 kilometers, were able to produce 3.93 kWh of electrical energy with

a capacity of Produces maximum electricity of 558 W at approximately 1:30 p.m. and a light intensity value of 1,430 W/m², equivalent to a solar panel efficiency of 12.46 %

Keywords: Solar Energy Measurement, Solar-Powered Electric Cars, BWSC-2023 Cruiser Class Model

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถสำหรับการขนส่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความสะดวกต่อการใช้งาน แต่การใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลต่อปัญหาการปล่อยแก๊สเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ [1] ส่วนการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า จากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยจะมีการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1,350–1,440 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นค่าอัตราการตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่ในทิศทางตั้งฉากกับดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกและจะมีค่าแตกต่างกันออกไปในแต่ละเดือน เมื่อการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งลงมาประกอบด้วยพลังงานแสงและพลังงานความร้อน โดยที่พลังงานทั้งสองนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเติมประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าได้ [2] และที่สำคัญการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเพราะเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้กระบวนการเผาไหม้ [3]



รูปที่ 1 แผนผังเส้นทางจากเมือง Darwin ไปยังเมือง Mataranka เป็นระยะทาง 422 กิโลเมตร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 รุ่น Cruiser Class โดยการวัดค่าค่าพารามิเตอร์ 4 ตัว ได้แก่ ความเข้มของแสง อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังการจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวที่อ่อนตัวได้ขนาด 3.3 ตารางเมตร กำลังผลิตติดตั้งขนาด 650 วัตต์ ที่แรงดันไฟฟ้า 79.8 โวลต์ โดยจะเก็บผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะเข้าร่วมการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 ตั้งแต่จุดเริ่มต้นที่เมือง

Darwin ไปยังเมือง Mataranka เป็นระยะทาง 422 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 เนื่องจากภูมิประเทศตั้งแต่เมือง Darwin ไปยังเมือง Mataranka เป็นพื้นที่ที่มีความเข้มแสงสูงและอุณหภูมิอากาศสูงเหมาะสำหรับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 รุ่น Cruiser Class
2. เพื่อหาความเหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4

3. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 รุ่น Cruiser Class เพื่อนำมาหาความเหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4

วิธีการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์นั้นจะต้องอ้างอิงตามมาตรฐาน International Electrotechnical Commission หรือ IEC 61724 [4] ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรจำนวนมากที่ใช้ในการคำนวณ แต่จะมีค่าตัวแปรที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบที่ติดตั้งกับระบบอื่นๆ [5] ดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ต่อกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

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

เมื่อ η_{PV} คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

P_{DC} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (วัตต์)

G คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบบ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม (วัตต์ต่อตารางเมตร)

ดังนั้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบแผงได้ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว กำลังไฟฟ้าติดตั้งขนาด 650 วัตต์ที่แรงดันไฟฟ้า (V_{oc}) 92.1 V (V_{mp}) 79.8 โวลต์ กระแสไฟฟ้า (I_{sc}) 10.73 แอมแปร์ จำนวน 1 แผง ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาด 3.3 ตารางเมตร

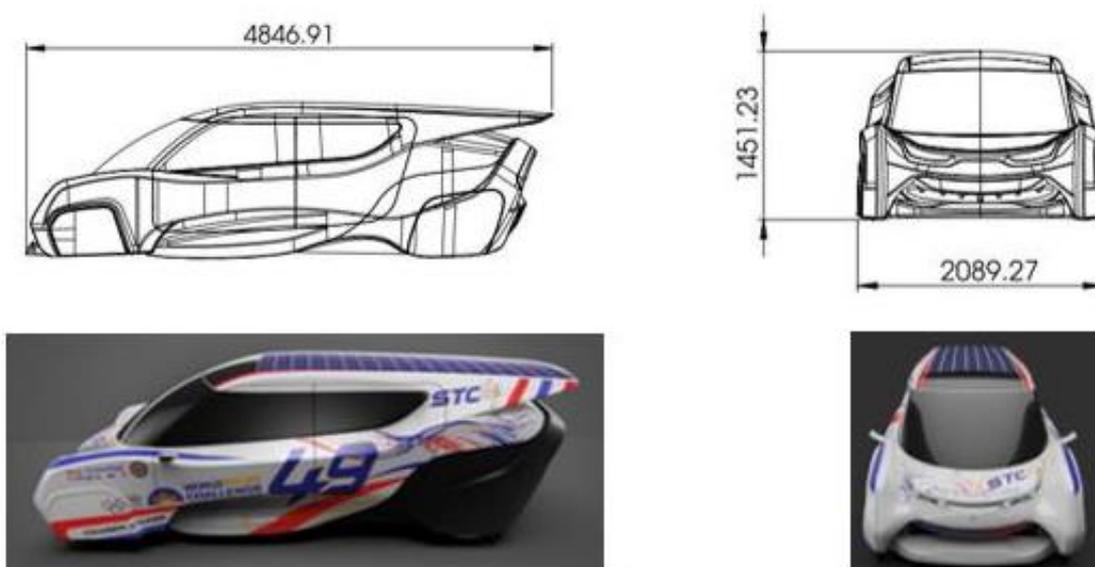


รูปที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว

ที่มา: <https://www.infinitysolar.co.zw/monocrystalline-solar-cells-vs-polycrystalline-which-is-better/>

3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะทำให้การทดลองจริงในการเข้าร่วมการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 โดยมีระยะทางการแข่งขัน 422 กิโลเมตร ตั้งแต่จุดเริ่มต้นที่เมือง Darwin ไปยังเมือง Mataranka



รูปที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 รุ่น Cruiser Class

4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 รุ่น Cruiser Class โดยการวัดค่าค่าพารามิเตอร์ 4 ตัว ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงาน

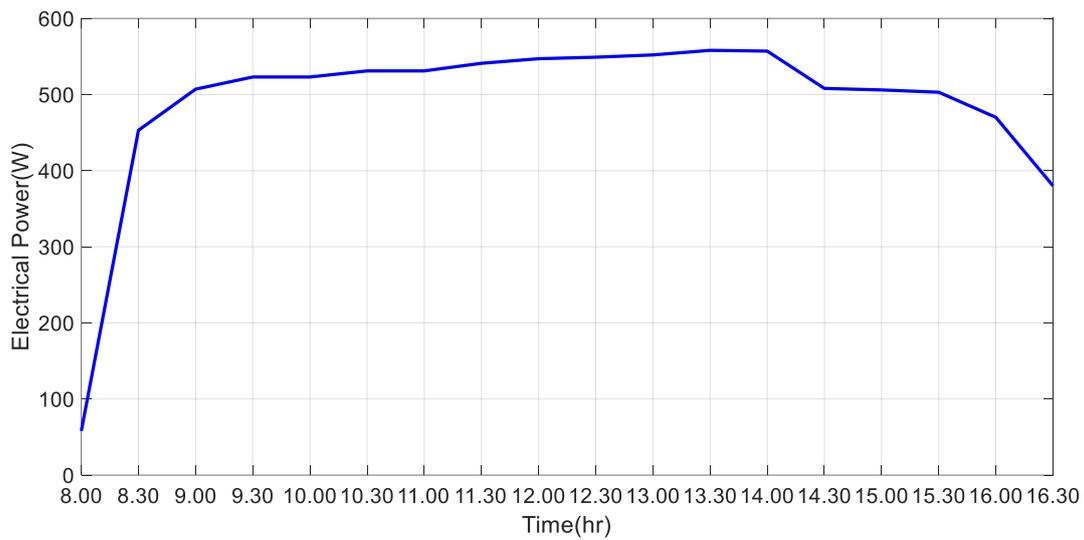
<http://jeet.siamtechu.net>

ไฟฟ้าที่ผลิตได้ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคารถจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวที่อ่อนตัวได้ ขนาด 3.3 ตารางเมตร กำลังผลิตติดตั้งขนาด 650 วัตต์ ที่แรงดันไฟฟ้า 79.8 โวลต์ การใช้พลังงานไฟฟ้าในระหว่างการแข่งขันรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากจุดเริ่มต้นที่เมือง Darwin ไปยังเมือง Mataranka เป็นระยะทาง 422 กิโลเมตร มีการใช้พลังงานไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 1

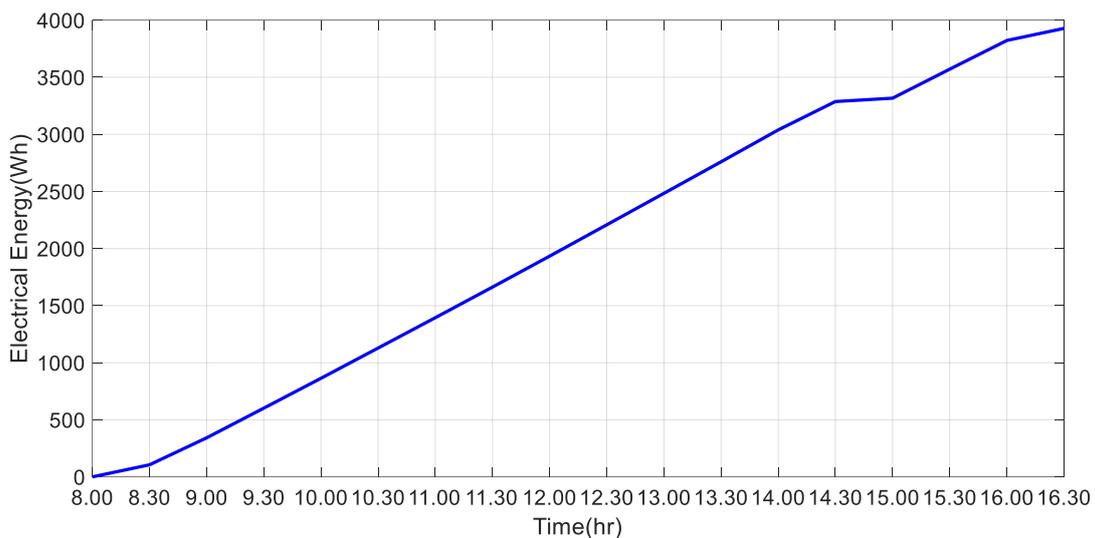
ตารางที่ 1 การผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4

เวลา	ระยะทาง	ความเข้มแสง	อุณหภูมิ	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าของเซลล์	พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
(hr)	(km)	(W/m ²)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(Wh)	(%)
8.00	0	135	27.1	108.0	0.537	58	0.16	13.02
8.30	18	1,121	28.3	107.9	4.198	453	105.78	12.25
9.00	40	1,274	30.2	107.6	4.712	507	342.09	12.06
9.30	59	1,323	32.4	107.4	4.870	523	602.07	11.98
10.00	80	1,324	34.1	107.2	4.879	523	863.57	11.97
10.30	103	1,350	35.2	107.0	4.963	531	1,128.60	11.92
11.00	120	1,352	36.4	106.7	4.977	531	1,394.10	11.90
11.30	148	1,385	37.3	106.4	5.085	541	1,662.20	11.84
12.00	170	1,408	38.6	106.1	5.156	547	1,933.40	11.77
12.30	200	1,415	39.2	105.7	5.194	549	2,207.87	11.76
13.00	235	1,421	40.3	105.3	5.242	552	2,483.50	11.77
13.30	258	1,430	41.0	105.0	5.314	558	2,759.70	11.82
14.00	285	1,428	40.7	104.7	5.310	556	3,038.70	11.80
14.30	322	1,275	39.2	104.2	4.875	508	3,287.30	12.07
15.00	325	1,274	38.3	103.9	4.870	506	3,316.86	12.04
15.30	360	1,278	35.8	103.6	4.855	503	3,570.83	11.93
16.00	390	1,164	32.7	103.3	4.550	470	3,822.27	12.24
16.30	422	887	30.5	103.1	3.686	380	3,928.07	12.98

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ในระหว่างการแข่งขันรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากจุดเริ่มต้นที่เมือง Darwin ไปยังเมือง Mataranka เป็นระยะทาง 422 กิโลเมตร ซึ่งแสดงเป็นรูปกราฟได้ในรูปที่ 4 โดยมีค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 558 วัตต์ ที่เวลาประมาณ 13.30 น. และค่าความเข้มแสง 1,430 วัตต์ต่อตารางเมตร คิดเป็นประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 11.82% และเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จากจุดเริ่มต้นที่เมือง Darwin ไปยังเมือง Mataranka เป็นระยะทาง 422 กิโลเมตร



รูปที่ 5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จากจุดเริ่มต้นที่เมือง Darwin ไปยังเมือง Mataranka เป็นระยะทาง 422 กิโลเมตร

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 สำหรับการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 รุ่น Cruiser Class โดยการวัดค่าค่าพารามิเตอร์ 4 ตัว ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังการจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวที่อ่อนตัวได้กำลังผลิตติดตั้งขนาด 650 วัตต์ ที่แรงดันไฟฟ้า 79.8 โวลต์ ผลการทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะเข้าร่วมการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 ตั้งแต่จุดเริ่มต้นที่เมือง Darwin ไปยังเมือง Mataranka เป็นระยะทาง 422 กิโลเมตร สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 3.93 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยมีค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 558 วัตต์ ที่เวลาประมาณ 13.30 น. และค่าความเข้มแสง 1,430 วัตต์ต่อตารางเมตร คิดเป็นประสิทธิภาพของ

<http://jeet.siamtechu.net>

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 11.82% เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับค่ารังสีดวงอาทิตย์มากมีผลทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น กระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง เมื่อความเข้มแสงสูงกระแสที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะไม่แปรผันตามความเข้มแสง เนื่องจากการจ่ายแรงดันไปยังแบตเตอรี่ตลอดเวลา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rajabi H.S., Colantoni, A., Gallucci, F., Salerno, M., Silvestri, C., & Villarini, M. (2019). Comparative energy and environmental analysis of agro-pellet production from orchard woody biomass. *Biomass and Bioenergy*, 129, 105334. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105334>
- [2] Secinaro, S., Brescia, V., Calandra, D., & Biancone, P. (2020). Employing bibliometric analysis to identify suitable business models for electric cars. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121503. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121503>
- [3] Rizzo, G., Tiano, F. A., Mariani, V. and Marino, M. (2021). Optimal Modulation of Regenerative Braking in Through-The-Road Hybridized Vehicles. *Energies* 2021, 14, 6835. doi: <https://doi.org/10.3390/en14206835>
- [4] International Electrotechnical Commission. "IEC 61724: Photovoltaic System Performance Monitoring Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis", 1998.
- [5] อรุษา โปวัน ปฐมาภรณ์ ศรีผดุงธรรม อมรรัตน์ ลิ้มมณี และเอกชาติ หัตถา. (2554). การวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนที่ติดตั้งในประเทศไทยด้วยการใช้โปรแกรมจำลอง , *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2554*, 522-527.

การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์เพื่อการแข่งขัน บริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอ เวลด์ิง (ประเทศไทย) จำกัด

ENHANCING LOGISTICS EFFICIENCY FOR THE COMPETITIVENESS

M.W.A WELDING (THAILAND) CO., LTD

รวมพล จันทศาสตร์¹ กวินเวทย์ พิพิธนาชนยธร^{1*} ลดาวรรณ สว่างอารมณ์²

ณรงค์ฤทธิ์ ยิ้มเจริญพรสกุล³ และ ประสิทธิ์ ประจิตร์⁴

Ruompol Jantasart¹, Kawinwet Pipitthanathunyathorn^{1*}, Ladawan Sawangarom²,

Narongrid Yimcharoenpornsakul³ and Prasit Prajitr⁴

¹สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์และเทคโนโลยีการบิน มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์อีสท์บางกอก

²สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

³คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

⁴นักวิชาการอิสระ

Received: April 21, 2024

Revise: June 12, 2024

Accepted: June 13, 2024

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

บทคัดย่อ

การจัดการโลจิสติกส์เป็นการบริหารจัดการกิจกรรมที่ทำให้เกิดการไหลของสินค้าและบริการเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าต่อการใช้ต้นทุน การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการดำเนินงานด้านโลจิสติกส์และเสนอแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ของ บริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอเวลด์ิง (ประเทศไทย) จำกัด เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการเก็บรวบรวมข้อมูลจากฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายคลังสินค้าและสินค้าคงคลัง รวมถึงฝ่ายขนส่งโดยสัมภาษณ์ผู้บริหาร ผู้จัดการ หัวหน้างาน และพนักงานที่ปฏิบัติงานจำนวน 12 คน นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ผังเหตุและผลและการจัดกลุ่มสินค้าโดยใช้การวิเคราะห์ ABC analysis เพื่อลดต้นทุนในการดำเนินงาน

ผลการวิจัยพบว่า การลดต้นทุนในการจัดการสินค้าคงคลังจากการแบ่งกลุ่มสินค้า ABC analysis สามารถทำให้การจัดกลุ่มสินค้าตามมูลค่าการใช้มีประสิทธิภาพมากขึ้น กล่าวคือช่วยให้สามารถระบุสินค้าที่มีมูลค่าการใช้สูงและต้องการการจัดการที่ใกล้ชิดมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถจัดสรรทรัพยากรได้อย่างเหมาะสมซึ่งส่งผลต่อการสั่งซื้อที่ประหยัดยิ่งขึ้น ผลการศึกษาายังแสดงให้เห็นว่า ต้นทุนการสั่งซื้อแต่ละครั้งจะคงที่ไม่แปรผันตามจำนวนครั้งในการสั่งซื้อ แต่แปรผันตามปริมาณสินค้าคงคลังที่มีการสั่งซื้อแต่ละครั้ง ทั้งนี้ผลการเปรียบเทียบมูลค่าต่อปีพบว่ามูลค่าการสั่งซื้อแบบประหยัดมีต้นทุนน้อยกว่ารูปแบบการสั่งซื้อในปัจจุบัน จากการเปรียบเทียบพบว่ามูลค่าการสั่งซื้อรูปแบบปัจจุบันสินค้าคลังกลุ่ม A มีมูลค่า 1,506,511.30 บาท ขณะที่การสั่งซื้อแบบประหยัดมีมูลค่า 461,761.33 บาท ซึ่งสามารถประหยัดได้ถึงร้อยละ 69.35 อีกทั้งยังพบว่าการวางแผนเส้นทางที่ประหยัดสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายใน 10 วัน ได้ถึง 30,845.00 บาท คิดเป็นร้อยละ 39.87 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการรวมจุดรับส่งสินค้าในเส้นทางเดียวกันและการจัดการบรรทุกแบบเต็มคันส่งผลให้มีการลดรอบการจัดส่ง รวมถึงสามารถส่งได้ทันตามกำหนดเวลามากยิ่งขึ้น ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับบริบทปัจจุบันที่มีการแข่งขันและการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ระบบการจัดการคลังสินค้า และระบบจัดการการขนส่งในการลดต้นทุนการดำเนินงาน จึงต้องถูกนำเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อลดการวิ่งเที่ยวเปล่า อีกทั้งต้องมีการพัฒนาบุคลากรให้เข้าใจบทบาทหน้าที่และเข้าใจบริบทการจัดการโลจิสติกส์ให้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การจัดการโลจิสติกส์ การแบ่งกลุ่มสินค้า การวางแผนการจัดส่งที่ประหยัด

ABSTRACT

The administration of operations that generate the flow of products and services in order to effectively and economically meet customer needs is known as logistics management. The objective of this research study is to lower the operational costs of logistics and provide methods for increasing M.W. Evelding (Thailand) Co., Ltd.'s efficiency in logistics management. Through interviews with 12 executives, managers, supervisors, and employees, this action research gathered data from the departments of purchasing, warehousing, inventory, and transportation. In order to lower operating costs, problems were further examined utilizing cause and effect diagrams and product grouping using ABC analysis.

According to the study, categorizing products based on their use value could be more effective in lowering inventory management expenses by utilizing ABC analysis to identify products that had a high use value and needed tighter supervision. Additionally, resources could be distributed effectively, leading to more economical orders. The findings also demonstrated that the cost of each order fluctuated depending on the quantity of inventory ordered each time but stayed constant regardless of the number of orders. Ordering using the economical approach was less expensive than ordering using the existing ordering model, according to the comparison of the annual value. Based on the comparison, it was discovered that the economy ordering model, which could save up to 69.35 percent, had a value of 461,761.33 baht, but the present ordering model of Group A warehouse products had a value of 1,506,511.30 baht. Additionally, it was discovered that budget-conscious route planning could save costs in ten days by as much as 30,845.00 baht, or 39.87 percent. This is due to the fact that full truckload management shortens delivery cycles and makes deliveries on time by combining delivery sites on the same route. Therefore, automation technology, warehouse management software, and transportation management systems to minimize operating expenses must be imported to eliminate running around empty in order to operate efficiently in line with the current context of competition and rapid change. Additionally, staff members need to be trained to comprehend their responsibilities and functions as well as the logistics management context.

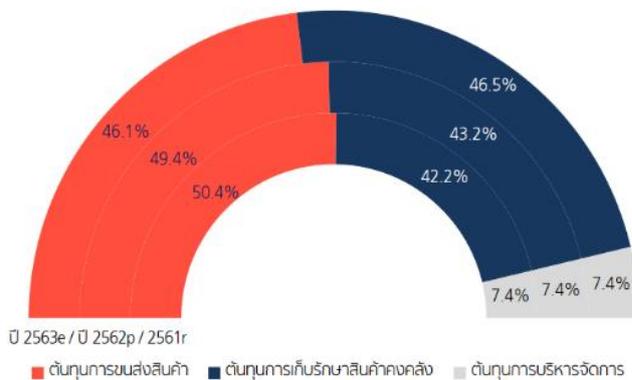
Keywords: Logistics management, ABC analysis, Saving Algorithms

1. บทนำ

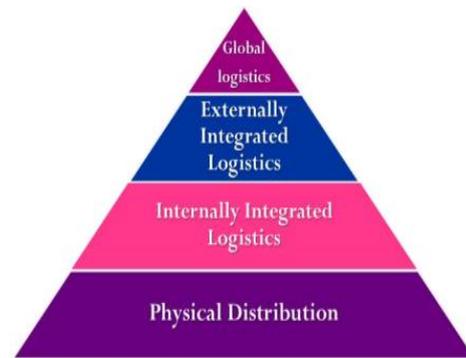
ปัจจุบันการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานมีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจองค์กรต่าง ๆ ทั่วโลก ซึ่งเป็นการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ที่ครอบคลุมถึงกิจกรรมการวางแผน การดำเนินการ ควบคุมการไหลของวัสดุสินค้า ข้อมูล และการเงิน ภายในโซ่อุปทาน รวมทั้งการไหลไปข้างหน้าจากต้นน้ำไปสู่ปลายน้ำ และการไหลย้อนกลับจากปลายน้ำสู่ต้นน้ำ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ และประสิทธิผลในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ที่สามารถส่งมอบสินค้าบริการตรงความต้องการของลูกค้า ได้แก่ การจัดการคำสั่งซื้อ (Order Processing) การจัดเก็บสินค้า (Inventory or Stocking) การขนส่ง (Transportation) การจัดคลังสินค้า (Warehousing) การขนถ่ายวัสดุ (Material Handling) การบรรจุหีบห่อ (Packaging) การจัดซื้อ (Purchasing and Procurement) การจัดการข้อมูล (Information Management) กิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ ที่ดำเนินการภายในองค์กรจำเป็นต้องบริหารจัดการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพให้องค์กรมีความน่าเชื่อถือ มีต้นทุนการดำเนินงานที่เหมาะสม เพื่อให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด โดยคำนึงถึงความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้าเป็นสำคัญ [1]

ขณะเดียวกันต้นทุนโลจิสติกส์ประเทศไทยในปี 2563 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 14.10 ต่อ GDP โดยมีมูลค่าลดลงเล็กน้อยจากปีก่อนหน้าคิดเป็นร้อยละ 0.70 ปรับลดลงตามการหดตัวของกิจกรรมทางเศรษฐกิจภายในประเทศและเศรษฐกิจโลกที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของ COVID-19 ซึ่งส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงหลายประเทศ

ทั่วโลก ทั้งนี้เศรษฐกิจในประเทศมีอัตราการเติบโตที่ลดลงมากกว่าต้นทุนโลจิสติกส์ ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากภาคการ
ท่องเที่ยวและบริการที่ได้รับผลกระทบค่อนข้างรุนแรง โดยโครงสร้างมูลค่าต้นทุนโลจิสติกส์ ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคง
คลังเป็นองค์ประกอบใหญ่ที่สุด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปจากปีก่อนหน้าที่ต้นทุนการขนส่งสินค้า เป็นองค์ประกอบที่ใหญ่
ที่สุด โดยมีปัจจัยหลักจากการหยุดชะงักกิจกรรมทางเศรษฐกิจในประเทศ และการหดตัวของ การส่งออกสินค้าที่ได้รับ
ผลกระทบจากสถานการณ์แพร่ระบาด COVID-19 ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบริหารจัดการสินค้าคงคลังของ
ผู้ประกอบการ โดยในปี 2563 ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 46.50 ของมูลค่าต้นทุนโลจิสติ
กส์รวม เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 43.20 ในปี 2562 รองลงมา คือ ต้นทุนการขนส่งสินค้า คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 46.10 ลดลงจาก
ร้อยละ 49.40 ในปี 2562 และต้นทุนการบริหารจัดการโลจิสติกส์ คิดเป็นสัดส่วนคงที่ร้อยละ 7.40 [2] รายละเอียดตามรูปที่
1 และ 2



รูปที่ 1 โครงสร้างมูลค่าต้นทุนโลจิสติกส์ [2]



รูปที่ 2 ระดับการพัฒนาาระบบโลจิสติกส์ [2]

ทั้งนี้การดำเนินงานตามมาตรฐานโลจิสติกส์ เป็นปัจจัยสำคัญของความร่วมมือกันใโซ่อุปทานทุกระดับ ตั้งแต่ระดับ
การกระจายสินค้าทางกายภาพ (Physical Distribution) ระบบโลจิสติกส์ในองค์กร (Internally Integrated Logistics)
ระบบโลจิสติกส์ภายนอกองค์กร (Externally Integrated Logistics) จนกระทั่งถึงระบบโลจิสติกส์ระดับโลก (Global
Logistics) โดยมีลำดับในการพัฒนามาตรฐานโลจิสติกส์ การพัฒนาระบบโลจิสติกส์แสดงให้เห็นถึงพัฒนาการของระบบ
โลจิสติกส์ในแต่ละระดับ ซึ่งเป้าหมายสูงสุด คือการมีระบบโลจิสติกส์ที่สามารถเชื่อมโยงกับประเทศต่าง ๆ ในโลกได้อย่าง
มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับพลวัตโลกที่กำลังปรับเปลี่ยนไปสู่ "สังคมแห่งความร่วมมือ" อันนำมาซึ่งความเข้มแข็งทาง
เศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ทำให้มีอำนาจต่อรองทางการค้าเหนือกว่ากลุ่มประเทศเล็ก ๆ หรือประเทศที่อยู่อย่างโดดเดี่ยว
จึงเป็นที่มาและความสำคัญของการทำความตกลงยอมรับร่วม (Mutual Recognition Agreement: MRA) ทั้งนี้หลายประเทศ
ในภูมิภาคอาเซียนมีความร่วมมือกันอยู่ในหลายระดับ ทั้งในระดับทวิภาคี ไตรภาคี หรือแม้กระทั่งในระดับภูมิภาคเป้าหมาย
สำคัญคือ การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในอัตราการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ที่สำคัญการเปิดเสรีและ
การอำนวยความสะดวกทางธุรกิจรวมถึงสิทธิประโยชน์ทางการค้าการลงทุนที่มีมากขึ้นจากการรวมกลุ่มทางเศรษฐกิจ
ขณะที่สภาพสังคมวัฒนธรรมและปัจจัยแวดล้อมที่มีความใกล้เคียงกับประเทศไทย จึงเป็นโอกาสในการขยายตลาดการค้า
และการลงทุนของผู้ประกอบการ SMEs ไทย อย่างไรก็ตามอุปสรรคสำคัญของการค้าการลงทุน ยังคงเป็นปัญหาด้าน
โครงสร้างพื้นฐานทำให้ระบบโลจิสติกส์ยังคงจัดอยู่ในระดับการกระจายสินค้าทางกายภาพจากต้นทางไปยังปลายทาง หรือ
เป็นการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ในระดับเริ่มต้น

ในขณะเดียวกัน บริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอ.เวลด์จิง (ประเทศไทย) จำกัด เป็นหนึ่งในผู้นำตลาดอุตสาหกรรมด้านงาน
เชื่อมและระบบสารหล่อลื่นมากกว่า 23 ปี ซึ่งได้รับความไว้วางใจจากบริษัท บีพีเคสตรอล (ประเทศไทย) จำกัด โดยแต่งตั้ง

ให้เป็นตัวแทนจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์สารหล่อลื่นของ BP Castrol อย่างเป็นทางการ รวมทั้งเป็นบริษัทที่ได้รับ ความไว้วางใจให้ดูแลการซ่อมบำรุงโรงงานน้ำตาล 40 โรงงาน และให้คำปรึกษาการเลือกใช้สารหล่อลื่นที่เหมาะสม การให้บริการงานซ่อมและสร้างระบบหล่อลื่นต่าง ๆ รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพน้ำมันและวิเคราะห์สภาพน้ำมันที่ผ่าน การใช้งานแล้ว (Used Oil Analysis) โดยที่ผ่านมารบริษัท ฯ มียอดขายรวมมากกว่า 100 ล้านบาทต่อปี แต่เนื่องจาก สถานการณ์โรคระบาดโควิดที่เกิดขึ้นมา 2 ปี ส่งผลกระทบต่อธุรกิจจากการตรวจสอบและสัมภาษณ์ข้อมูลเบื้องต้นพบว่ การจัดซื้อยังพบปัญหา วัตถุดิบไม่เพียงพอในการผลิต วัตถุดิบสิ้นเกินจำเป็น ราคาจัดซื้อสูงกว่าที่ควร เนื่องจากขาดการ วางแผนและต่อรองที่มีประสิทธิภาพ การผลิตหยุดชะงักจากความล่าช้าในการรับวัตถุดิบ ข้อมูลการจัดซื้อไม่เป็นปัจจุบัน ส่งผลให้การตัดสินใจผิดพลาด แผนการจัดซื้อขาดการวางแผนการสั่งซื้อส่งผลให้จำนวนวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูปมีปริมาณ สต็อกมากเกินกว่าการใช้งานจริง ประกอบกับการปฏิบัติงานในแผนคลังสินค้ายังไม่เป็นระบบ ส่งผลให้พื้นที่จัดเก็บไม่ เพียงพอ และเกิดความเสียหายต่อวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูป รวมถึงการส่งมอบสินค้าที่ไม่ตรงตามเป้าหมายและความ ต้องการของลูกค้าทำให้ต้นทุนการขนส่งสูงขึ้นจากค่าเชื้อเพลิง ผู้บริหารเห็นควรทบทวนและปรับปรุงกระบวนการทำงาน รวมถึงปัญหาการวางแผนการขนส่งที่ใช้เวลาและค่าเชื้อเพลิงมากเกินไป ความล่าช้าในการส่งมอบสินค้า ขาดการ ประสานงานระหว่างแผนก ไม่มีการติดตามและประเมินผลการขนส่งอย่างต่อเนื่อง ขาดการใช้เทคโนโลยีในการวางแผน ขาดการจัดการข้อมูลและการติดตามสถานการณ์ขนส่งที่เป็นปัจจุบันและแม่นยำการส่งมอบสินค้าให้ทันต่อคำสั่งซื้อของ ลูกค้าในสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป บริษัทจึงวางแผนปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ด้วยการนำ เทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมโลจิสติกส์ เช่น การจัดการกระบวนการจัดซื้อ บริหารคลังสินค้าและสินค้าคง คลัง การขนส่ง และการกระจายสินค้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินธุรกิจในปัจจุบันและอนาคต

จากประเด็นข้างต้น ผลลัพธ์ หรือข้อค้นพบที่ได้จากการศึกษาวิจัยจะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ วิธีการใหม่ ซึ่งนอกจาก จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์เพื่อเป็นการรองรับธุรกิจการแข่งขันในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์โดยตรง ต่อบริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอ เวลด์ิง (ประเทศไทย) จำกัด และยังส่งผลดีต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยทั้งยังสามารถนำ ผลที่ได้ไปปรับใช้ เพื่อเป็นแนวทางยกระดับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์กับองค์กรอื่น ๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อลดต้นทุนในการดำเนินงานด้านโลจิสติกส์ในการจัดซื้อ บริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอเวลด์ิง (ประเทศไทย) จำกัด
- 2) เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ในการบริหารจัดการคลังสินค้าและสินค้าคงคลัง บริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอเวลด์ิง (ประเทศไทย) จำกัด

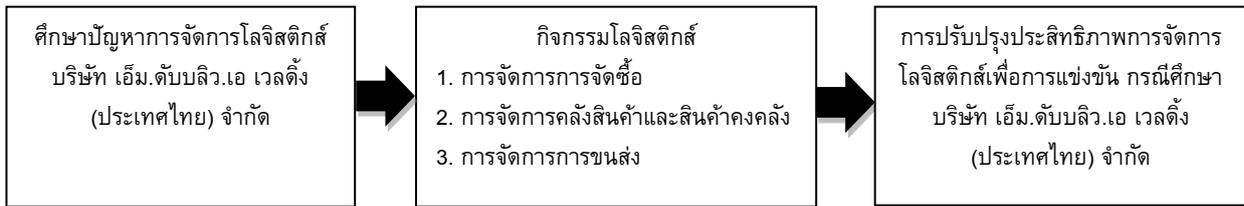
3. ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตเนื้อหาศึกษางานฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายจัดการคลังสินค้า และฝ่ายขนส่ง บริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอ เวลด์ิง (ประเทศไทย) จำกัด โดยประยุกต์ใช้แนวคิดที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 1) การสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic order quantity: EOQ)
- 2) การบริหารจัดการคลังสินค้าและสินค้าคงคลังจากการประยุกต์ใช้หลักการ ABC Analysis

ขอบเขตด้านประชากร ประชากรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ผู้บริหาร หัวหน้างาน และบุคลากรที่ปฏิบัติงาน บริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอ เวลด์ิง (ประเทศไทย) จำกัด โดยแบ่งเป็นผู้บริหาร หัวหน้างาน จำนวน 5 คน และบุคลากรที่ปฏิบัติงาน จำนวน 30 คน ซึ่งการศึกษาวิจัยครั้งนี้ศึกษาทั้งประชากร รวมทั้งหมดจำนวน 35 คน

4. กรอบแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

5. ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย

- 1) เข้าใจถึงกระบวนการดำเนินงานด้านโลจิสติกส์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนการดำเนินธุรกิจของบริษัท ฯ ในส่วนงาน การจัดการการสั่งซื้อ การจัดการคลังสินค้าและสินค้าคงคลัง และการจัดการการขนส่ง
- 2) สามารถเป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ เพื่อลดต้นทุนการดำเนินงานโลจิสติกส์ของบริษัท ฯ รวมทั้งเป็นการพัฒนาศักยภาพการให้บริการได้ตรงกับสิ่งที่ลูกค้าต้องการเพิ่มขึ้น
- 3) สามารถเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการยกระดับการจัดการโลจิสติกส์เพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในยุคที่มีการเปลี่ยนแปลงผู้ประกอบการธุรกิจขนาดเล็กและขนาดกลางประเทศไทย

6. การทบทวนวรรณกรรม

6.1 การจัดการโลจิสติกส์และการจัดการโซ่อุปทาน

การจัดการโลจิสติกส์ เป็นกระบวนการสำหรับการวางแผน ดำเนินการและควบคุมประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการเคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ สินค้าและบริการ ตลอดจนข้อมูลต่างๆ จากจุด เริ่มต้นไปยังจุดที่มีการใช้งานโดยคำนึงถึงความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้การจัดการโลจิสติกส์ รวมถึง กระบวนการในการวางแผน ดำเนินการและควบคุม ประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการเคลื่อนย้าย และการจัดเก็บสินค้าและบริการ ตลอดจนข้อมูลต่างๆ จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดที่มีการใช้งานโดยคำนึงถึงความต้องการของผู้บริโภค โดยกระบวนการที่ช่วยเพิ่มคุณค่าและประสิทธิภาพของการเพิ่มคุณค่าให้กับผู้บริโภคผ่านการทำงานร่วมกันระหว่างบริษัท ซึ่งรวมถึงซัพพลายเออร์ (คนหรือองค์กรที่จัดหาสินค้าและบริการให้กับธุรกิจอื่น) ลูกค้าและคู่ค้าทางธุรกิจ โดยเป้าหมายของการจัดการโลจิสติกส์จะเน้นไปที่การบริหารด้านการขนส่งให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล สร้างความพึงพอใจให้ลูกค้า ซึ่งรวมถึงมีเป้าหมายเพื่อสร้างความได้เปรียบทางการบริหารจัดการโลจิสติกส์ [3]

6.2 การบริหารการสั่งซื้อ

การสั่งซื้อเป็นหนึ่งในกิจกรรมโลจิสติกส์ขององค์กร หน่วยงานจัดซื้อหรือฝ่ายจัดซื้อ นับว่าเป็นหน่วยงานที่มีความสำคัญมากต่อผลประกอบการขององค์กร เนื่องจากเป็นหน่วยงานที่ใช้จ่ายเงินในการจัดซื้อวัตถุดิบ / สินค้า หรือบริการ เพื่อให้ได้ตรงตามความต้องการหรือตรงตามคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Specifications) ของหน่วยงานต่าง ๆ และทำหน้าที่ครอบคลุมถึงกระบวนการจัดหาแหล่งสินค้า วัตถุดิบ การคัดเลือกผู้ขายตลอดจนเทคนิคในการเจรจาต่อรองรวมถึงเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบ ทำให้ต้นทุนขององค์กรลดต่ำลง เพื่อสร้างความสามารถทางการแข่งขัน และยังสร้างมูลค่าเพิ่ม (Value Added) ให้กับองค์กรในการซื้อวัตถุดิบและสินค้าเข้าสู่องค์กร ฝ่ายจัดซื้อขององค์กร ยังต้องมีการบริหารจัดการและการสร้างพันธมิตรกับซัพพลายเออร์ เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงกับฝ่ายอื่น ๆ ขององค์กรธุรกิจ และเชื่อมโยงการจัดการซัพพลายเชน (Supply Chain Management) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4]

6.3 การบริหารจัดการคลังสินค้า

คลังสินค้าเป็นพื้นที่ที่ได้วางแผนไว้แล้วเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้สอย เคลื่อนย้ายสินค้า และวัตถุดิบ ซึ่งทำหน้าที่ในการเก็บสินค้าระหว่างกระบวนการเคลื่อนย้าย เพื่อสนับสนุนการผลิต การกระจายสินค้า ได้แก่ วัตถุดิบ (Material) ซึ่งอยู่ในทั้งรูปแบบที่เป็น วัตถุดิบ ส่วนประกอบ (Components) และชิ้นส่วนต่าง ๆ (Part) รวมทั้งสินค้าสำเร็จรูป (Finished Goods) นับรวมไปถึงงานระหว่างกระบวนการผลิต (Work in Process) ตลอดจนสินค้าที่ต้องการทิ้ง (Disposed) และวัสดุที่นำมาใช้ใหม่ (Recycle Materials) [5] โดยเป้าหมายของคลังสินค้าส่วนใหญ่เป็นการหยุดพักในการเคลื่อนที่ของสินค้าผ่านโซ่อุปทานถึงลูกค้าปลายทาง ซึ่งมีการถือครองสินค้าที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ เช่น ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center) จะมีการถือครองสินค้า ณ จุดพักสินค้าน้อยกว่าคลังสินค้าอื่น ๆ เช่น คลังสินค้าทัณฑ์บน เนื่องจากการถือครองสินค้าเป็นเวลานาน ในนั้นนอกจากจะไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มอันใดให้กับลูกค้าแล้วยังจะเป็นการทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น [6] ซึ่งคลังสินค้าเป็นสถานที่ใช้ในการเก็บรักษาที่พร้อมส่งมอบให้กับลูกค้าที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและภายนอกโซ่อุปทาน ไม่ว่าจะ เป็นเพื่อการผลิตหรือเพื่อจำหน่าย แจกจ่าย หรือขาย [7]

6.4 การจัดการสินค้าคงคลัง

การจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management) เป็นการดำเนินการเพื่อให้สามารถมีปริมาณสินค้าคงคลังบริการลูกค้าในปริมาณที่เพียงพอ และทันต่อความต้องการของลูกค้าเสมอ เพื่อสร้างยอดขายและรักษาระดับของส่วนแบ่งตลาดไว้ นอกจากนี้ยังสามารถลดระดับการลงทุนในสินค้าคงคลังต่ำที่สุดที่จะทำได้ เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำลงด้วย การจัดการสินค้าคงคลัง ได้แก่ การวิเคราะห์แบบเอบีซี (ABC analysis) การบันทึกสินค้าคงคลังแบบแม่นยำ (Records Accuracy) การตรวจนับตามรอบเวลา (Cycle Count) และการควบคุมสินค้าคงคลัง ในการบริการ (Control of Services Inventories) การจัดการสินค้าคงคลังจะจัดการเวลาในการไหลของวัสดุ และปริมาณสินค้าคงคลังที่เหมาะสมและสอดคล้องกับธุรกิจ

6.5 การจัดการการขนส่งและการกระจายสินค้า

การกระจายสินค้า และการบริหารจัดการการกระจายสินค้าเป็นกิจกรรมการเคลื่อนย้ายสินค้าจากแหล่งผลิตไปสู่แหล่งผู้บริโภค อุปโภค ในจำนวนที่ต้องการ สถานที่ถูกต้อง และความเร็วที่ต้องการโดยผ่านกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ ทำเลที่ตั้งคลังสินค้าและการคลังสินค้า (Inventory Location and Warehousing) การจัดการวัสดุ (Material Handling) การควบคุมสินค้าคงเหลือ (Inventory Control) กิจกรรมหรือกระบวนการอื่น ๆ เป็นต้น เพื่อเกิดประโยชน์ในกิจกรรมการเคลื่อนย้ายต่อครั้ง ซึ่งการกระจายสินค้าสามารถแบ่งคร่าว ๆ ออกได้เป็น 2 ระบบคือ แบบผลัก (push system) และระบบแบบดึง (Pull system) โดยระบบแบบผลัก (Push system) พิจารณาสินค้าคงคลังจากโรงงานที่เป็นศูนย์กลาง (central factory) จะถูกส่งออกไป (ผลักไป) ยังคลังสินค้าต่างๆ การตัดสินใจส่งสินค้าเพื่อทดแทนสินค้าคงคลังนั้นก็เกิดขึ้นที่โรงงานผลิตเช่นกัน ข้อดีก็คือ เกิดความประหยัดจากขนาด (economy of scale) ทำให้เกิดต้นทุนที่ต่ำกว่า เช่น ต้นทุนในส่วนโรงงาน ส่วนข้อเสียก็คือ ขาดความยืดหยุ่นในการตอบสนองต่อลูกค้าในพื้นที่ต่างๆ สำหรับระบบแบบดึง (Pull system) เป็นการตัดสินใจสำหรับส่งสินค้าเพื่อทดแทนสินค้าคงคลังนั้นเป็นการตัดสินใจที่เกิดขึ้นตามคลังสินค้าในแต่ละพื้นที่ (warehouse field) ซึ่งตรงข้ามกับระบบรวมศูนย์ ซึ่งเป็นระบบแบบผลัก ข้อดีคือ การควบคุมจะขึ้นอยู่กับทีมที่จัดการภาคสนาม ณ แต่ละจุดของคลังสินค้า แต่ข้อเสียคือ การขาดการรับรู้ระหว่างคลังสินค้าด้วยตนเอง ซึ่งอาจก่อให้เกิดสินค้าคงคลังส่วนเกิน

6.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าสำเร็จรูปบริษัทกรณีศึกษา พบว่าสาเหตุที่ทำให้การดำเนินงานของบริษัท ฯ ยังขาดประสิทธิภาพคือ คลังสินค้ามีวิธีการและจัดวางไม่เหมาะสม และกระบวนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปเป็นเวลานาน และมีข้อผิดพลาดที่ส่งผลให้สินค้าเสียหาย โดยขั้นตอนเริ่มจากการปรับปรุงวิธีการดำเนินงานโดยการใช้แผนผัง Flow Process Chart เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการภายในแผนก แล้วจึงทำการปรับปรุงโดยใช้เครื่องมือ

<http://jeet.siamtechu.net>

ECRS จัดความสำคัญด้วย ABC Analysis การตั้งรหัสการจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้าและการออกแบบแผนผังการจัดเก็บ ระบุตำแหน่งการจัดเก็บ ผลวิจัยพบว่า ผลการปรับปรุงนั้นทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้า คือ สินค้ามีความเป็นระเบียบเรียบร้อยมากขึ้น เวลาเฉลี่ยในการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปลดลงจาก 1.32 ชั่วโมง เป็น 1.05 ชั่วโมง รวมถึงระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้าลดลงจาก 200.40 เมตร เป็น 135.60 เมตรและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นลดลงจาก 12.50% เป็น 11% ต่อการส่งสินค้าสำเร็จรูป [8]

ศึกษาเพื่อจัดเส้นทางเดินรถขนส่งรูปแบบมิลลิครันและการจัดการกำหนดการรับสินค้ากรณีศึกษา การส่งชิ้นส่วนโรงงานประกอบรถยนต์แบบทันเวลาพอดี ABC เพื่อเป็นการวิเคราะห์และปรับปรุงการขนส่งรูปแบบมิลลิครัน ของโรงงานประกอบรถยนต์แบบทันเวลาพอดี เพื่อลดต้นทุนจากค่าขนส่งที่มาจากค่าจากผู้ผลิตชิ้นส่วนจำนวน 35 แห่งในเขตพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี ไปยังโรงงานประกอบรถยนต์ในเขตนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี โดยทำการวิเคราะห์จากข้อมูลความต้องการชิ้นส่วนเพื่อการผลิตรถยนต์รายวันมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณสินค้าที่ต้องขนส่งและออกแบบเส้นทางการขนส่งโดยใช้หลักการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem หรือ VRP) เข้ามาใช้จัดเส้นทางขนส่ง โดยประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และวิธีแบบ Metaheuristics Large Neighborhood Search (LNS) ด้วยโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver เพื่อเปรียบเทียบ วิเคราะห์หาเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสม ผลการวิจัยพบว่า วิธีแบบวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) สามารถลดต้นทุนการขนส่งลดลง 9,089,924 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 41.6 ขณะที่วิธี Metaheuristics สามารถลดต้นทุนการขนส่งเหลือ 11,962,011 บาทต่อปี ลดลง 9,897,072 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 45.28 ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถลดต้นทุนได้มากที่สุด นอกจากนี้ การศึกษายังได้จัดกำหนดการเข้ามาถึงของรถขนส่งสินค้าโดยใช้วิธีการกระจายกำหนดการณีสอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ใช้ปฏิบัติสำหรับการรับส่งสินค้าเดิม ซึ่งทำให้การบริหารจัดการไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมสามารถนำไปใช้งานได้ทันทีและเป็นการลดปัญหาความแออัดได้พร้อมกัน [9]

ศึกษาการลดต้นทุนการขนส่งโดยการประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ: กรณีศึกษา บริษัทจำหน่ายอุปกรณ์ระดับยนต์ โดยปัจจุบันในหลาย ๆ ธุรกิจประสบปัญหาต้นทุนการขนส่งที่นับเป็นต้นทุนที่สำคัญทั้งในส่วนการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขายและการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ รวมถึงการกระทบต่อต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์และบริการ โดยการประยุกต์ใช้วิธีทางฮิวริสติกส์ 2 วิธี ในการจัดเส้นทางเดินรถในรอบการขนส่ง 1 เดือน คือ วิธีการเดินทางจากเมืองที่ไกลที่สุดและอัลกอริทึมแบบประหยัดที่มีการปรับปรุงคำตอบโดยใช้ตัวแบบของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยใช้ฟังก์ชัน Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละเส้นทาง ผลการวิจัยพบว่า ต้นทุนการขนส่งรวมที่ได้จากการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการอัลกอริทึมแบบประหยัดร่วมกับตัวแบบปัญหา TSP มีต้นทุนการขนส่งรวม 21,099.70 บาท หากใช้วิธีการเดินทางจากเมืองที่ไกลที่สุดจะมีต้นทุนการขนส่งรวม 20,647.38 บาท ดังนั้นแนวทางในการจัดเส้นทางเดินรถจึงควรใช้ผลจากวิธีการเดินทางจากเมืองที่ไกล [10]

ศึกษาการปรับปรุงขั้นตอนการจัดซื้อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ผลการวิจัยพบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นจากความซ้ำซ้อนในขั้นตอนการขอใบเสนอราคา และความล่าช้าในการตอบกลับราคาผู้ซื้อซึ่งมีสาเหตุมาจาก มีความถี่ในการสั่งซื้อสินค้ารายการเดิม ซึ่งต้องทำการขอใบเสนอราคาทุกครั้งที่ทำกรสั่งซื้อ เสียเวลาในการรอราคาจากซัพพลายเออร์นาน จึงได้มีการศึกษาข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน-เดือนกันยายน พ.ศ. 2561 พบว่า มีการสั่งซื้อสินค้ามาที่แผนกจัดซื้อ ทั้งหมด 5 รายการ ที่มีความถี่ในการสั่งซื้อบ่อย ต้องทำการขอราคาจากซัพพลายเออร์ จำนวน 4,909 ครั้ง แนวทางการแก้ไข คือ ปรับปรุงขั้นตอนการจัดซื้อเพื่อลดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบกลับราคาให้กับผู้ร้องขอสั่งซื้อ โดยการเสนอแนวทางลดขั้นตอนการขอใบเสนอราคา โดยการจัดทำ Master Price Approve เมื่อได้รับแก้ไขปัญหาลงผลทำให้ปัญหาการทำงานซ้ำซ้อนและปัญหาการตอบกลับราคาผู้ซื้อลดลง เนื่องจากไม่ต้องขอราคาผู้ซื้อซึ่งสามารถใช้ราคาจาก Master Price Approve ได้เลย ส่งผลให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น [11]

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการดำเนินงานการจัดการโลจิสติกส์มีส่วนเพิ่มประสิทธิภาพต่อ การปฏิบัติงานให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ภายใต้การดำเนินงานที่ได้รับการสนับสนุนทั้งทรัพยากรที่จำเป็นต่อ

การดำเนินงาน การปฏิบัติงานที่ได้มาตรฐานในการดำเนินงานภายในแนวคิดการจัดการโลจิสติกส์ ฉะนั้นเพื่อเป็นการตอบสนองต่อการดำเนินงานในแต่ละส่วนงานที่ต้องดำเนินงานไปในทิศทางเดียวกันเพื่อให้สามารถตอบสนองส่งมอบสินค้าได้อย่างมีคุณภาพและมีประสิทธิภาพในการดำเนินงานทั้งด้านความน่าเชื่อถือ ด้านเวลา และด้านต้นทุนที่เหมาะสม

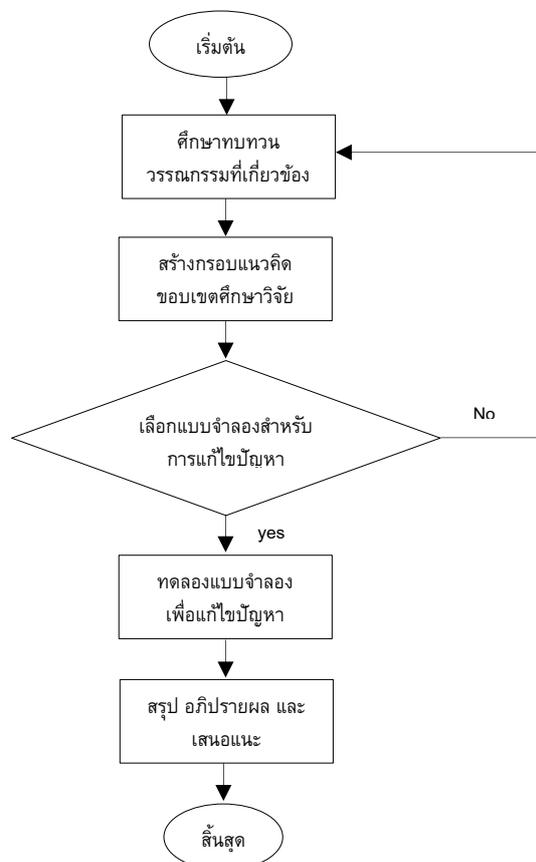
7. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action research) เก็บรวบรวมจากสถานการณ์ประเด็นปัญหาปัจจุบันในฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายคลังสินค้า และฝ่ายขนส่ง โดยกำหนดศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานประกอบด้วย การวางแผน (Plan) การปฏิบัติ (Action) การสังเกต (Observation) และการสะท้อนกลับ (Reflections) ในปฏิบัติงานเพื่อแก้ปัญหาที่ผู้ปฏิบัติงานกำลังเผชิญอยู่ ทั้งนี้ดำเนินการเก็บรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. วิเคราะห์ผังเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เพื่อค้นหาประเด็นปัญหาที่ส่งผลในการปฏิบัติงานที่มีต่อศักยภาพการแข่งขัน ซึ่งประกอบด้วย 1.1) เครื่องมืออุปกรณ์การปฏิบัติงาน 1.2) กระบวนการ/วิธีการปฏิบัติงาน 1.3) พนักงาน/บุคลากร 1.4) งบประมาณการดำเนินงาน และ 1.5) สิ่งแวดล้อมต่อการดำเนินงาน ของแผนกจัดซื้อ แผนกคลังสินค้า และแผนกขนส่ง

2. รวบรวมข้อมูลวิเคราะห์สถิติย้อนหลัง รวมทั้งประเด็นที่พบเจอระหว่างการศึกษาวิจัย ทั้งแผนกจัดซื้อ แผนกคลังสินค้า และแผนกขนส่ง เพื่อหาแบบจำลองในการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม สำหรับนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์เพื่อการแข่งขันในเชิงธุรกิจของบริษัทฯ ต่อไป

3. ทดลองจำลองวิเคราะห์ข้อมูลตามรูปแบบจำลองที่ได้เลือกไว้เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของแบบจำลองในแต่ละรูปแบบ รวมทั้งสรุป อภิปรายผล และเสนอข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงานของแต่ละแผนกเพื่อให้เกิดการปฏิบัติงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 4 ดังนี้



รูปที่ 4 กระบวนการดำเนินวิธีวิจัย

8. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลฝั่งแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เพื่อหาหรือระดมสมอง (Brainstorming) โดยการสัมภาษณ์ร่วมค้นหาประเด็น ข้อมูลในการสนับสนุนปัญหาที่พบเจอเพื่อศึกษาให้เกิดความเข้าใจในประเด็นต่าง ๆ ให้เกิดความชัดเจนยิ่งขึ้นรายละเอียด ดังนี้

1. การดำเนินงานการจัดการคลังสินค้า และสินค้าคงคลัง จากสภาพแวดล้อมในการปฏิบัติงานในพื้นที่ที่จำกัด มีการใช้พื้นที่ปฏิบัติงานร่วมกัน ส่งผลต่อการใช้พื้นที่ไม่เพียงพอ ประกอบกับสินค้าที่จัดเก็บแต่ละประเภทที่มีลักษณะแตกต่างกันและมีหลากหลายประเภทส่งผลให้ความต้องการพื้นที่เพื่อรองรับสินค้าแต่ละประเภทมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังไม่พบการแบ่งหมวดหมู่ประเภทสินค้าตามมูลค่าสินค้าทำให้ไม่สามารถระบุความสำคัญในการดูแลสินค้าประเภทใดเป็นพิเศษ

2. การดำเนินงานการจัดซื้อที่มีปริมาณที่ไม่แน่นอนเมื่อเทียบกับจำนวนปริมาณความต้องการตามคำสั่งซื้อของลูกค้า รวมทั้งต้นทุนในการดำเนินงานที่สูงขึ้น ไม่สามารถวางแผนจัดซื้อได้ตามรอบเวลา ปริมาณความต้องการที่ไม่แน่นอน ส่งผลต่อการสั่งซื้อในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละรอบการสั่งซื้อส่งผลให้สินค้าค้างอยู่ในคลังสินค้าและเสื่อมสภาพ

3. การดำเนินงานการขนส่งและกระจายสินค้าที่มีความล่าช้า รวมทั้งการจัดการบรรจุภัณฑ์สินค้าที่ไม่เต็มคัน ซึ่งบางครั้งส่งผลให้เกิดต้นทุนการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้นจากอัตราค่าเชื้อเพลิงและจราจรในปัจจุบันที่หนาแน่นการเดินทางค่อนข้างช้า จึงไม่สามารถใช้ยานพาหนะได้อย่างเต็มที่ ประกอบกับสภาพแวดล้อมมลพิษต่าง ๆ ที่เกิด เช่น มลพิษทางอากาศ ทางเสียง และฝุ่นขนาดเล็ก 0.25 ที่ส่งผลต่อการปฏิบัติงานอย่างเลียงไม่ได้

การแก้ไขการดำเนินงานการจัดการคลังสินค้าและสินค้าคงคลัง ด้วยการแบ่งกลุ่มสินค้า โดยใช้แนวคิด ABC analysis เพื่อนำรายการสินค้ากลุ่ม A ไปวิเคราะห์หารูปแบบทิศทางของข้อมูล ซึ่งผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อม บริษัท เอ็ม.ดับบลิว. เอเวลดิง (ประเทศไทย) จำกัด จำนวน 19 รายการ มีรายละเอียดตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 การจัดกลุ่มสินค้าลวดเชื่อม ด้วยเทคนิค ABC Analysis

รายการสินค้าลวดเชื่อม	ความต้องการปี (Kg)	ราคา/หน่วย	มูลค่าสินค้า	มูลค่าร้อยละ	มูลค่าร้อยละสะสม	กลุ่ม
ESSEN CN 37 KB SIZE 4.0 MM	2105.00	191.73	403591.7	19.88	19.88	A
NCS ULTRAGARRA SIZE 4.0 MM	2210.00	147.7	326417	16.08	35.96	A
ESSEN CCR 65 KB SIZE 4.0 MM	505.00	329.53	166412.7	8.20	44.16	A
NCS 455 Cr-B- SIZE 4.0 MM	505.00	328.74	166013.7	8.18	52.33	A
FLICSS ED -A 350 SIZE 1.2 MM	555.00	222.52	123498.6	6.08	58.42	A
ESSEN CN 37 KB SIZE 5.0 MM	560.00	209.74	117454.4	5.79	64.20	A
NCS ULTRAGARRA SIZE 3.2 MM	720.00	147.34	106084.8	5.23	69.43	A
ESSEN AZUCAR 80 SIZE 4.0 MM	650.00	149.29	97038.49	4.78	74.21	A
Flux Cored Wire LQ276 # 1.6 MM	570.00	152.44	86890.8	4.28	78.49	B
NCS 455 Cr-B- SIZE 3.2 MM	225.00	354.07	79665.75	3.92	82.41	B
ESSEN CCR 7007 KB SIZE 4.0 MM	220.00	322.46	70941.2	3.49	85.91	B
INCONEL 112 0.125"x14" #4.0 MM	54.00	1144.81	62369.25	3.07	88.98	B
NCS 91 SIZE 4.0 MM	375.00	163.16	61185	3.01	92.00	B
NCS 100 ST SIZE 4.0 MM	415.00	123.25	51148.75	2.52	94.51	B
ESSEN CN 37 KB SIZE 3.2 MM	185.00	191.73	35470.05	1.75	96.26	C
ESSEN SUPER CUT SIZE 4.0 MM	250.00	126.63	31657.5	1.56	97.82	C
NCS 350 Kmo SIZE 4.0 MM	155.00	154.93	24014.15	1.18	99.00	C
INCONEL 112 0.125"x14" #3.2 MM	13.62	1165.36	15872.2	0.78	99.78	C
FLUX Cored Wire LZ642 # 1.6 MM	15.00	294.37	4415.55	0.22	100.00	C
รวม	10,288.10		2,030,141.00	100		

<http://jeet.siamtechu.net>

จากตารางที่ 1 การจัดกลุ่มสินค้าลวดเชื่อมบริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอ เวลดีง (ประเทศไทย) จำกัด ด้วยเทคนิค ABC Analysis ทั้ง 19 รายการ พบว่า มูลค่าการสั่งซื้อรวมตลอดปี 2,030,141.00 บาท จำนวน 10,288.10 Kg. จากการแบ่งกลุ่มสินค้าลวดเชื่อมตามมูลค่าการสั่งซื้อด้วยเทคนิค ABC Analysis พบว่า สินค้าลวดเชื่อมกลุ่ม A จำนวน 8 รายการ คิดเป็นร้อยละ 74.21 จากรายการทั้งหมด ซึ่งมูลค่าการสั่งซื้อรวมมากที่สุดเท่ากับ 1,506,511.39 บาท สินค้าลวดเชื่อมกลุ่ม B จำนวน 6 รายการ คิดเป็นร้อยละ 20.29 จากรายการวัตถุดิบทั้งหมด โดยมูลค่าการสั่งซื้อรวม 412,200.75 บาท และสินค้าลวดเชื่อมกลุ่ม C มีจำนวน 5 รายการ คิดเป็นร้อยละ 5.49 จากรายการสินค้าคงคลังทั้งหมด มูลค่าการสั่งซื้อรวมน้อยที่สุดเท่ากับ 111,429.45 บาท

จากการแบ่งกลุ่มรายการลวดเชื่อมของบริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอ เวลดีง (ประเทศไทย) จำกัด นำรายการลวดเชื่อมกลุ่ม A ที่มีความต้องการต่อปีปริมาณมาก เพื่อคำนวณจุดสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) เพื่อให้สามารถมีต้นทุนที่เหมาะสมในการสั่งซื้อกับปริมาณความต้องการลวดเชื่อมต่อปีของบริษัท เอ็ม.ดับบลิว.เอ เวลดีง (ประเทศไทย) จำกัด โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 2 รวมทั้งผลวิเคราะห์การเปรียบเทียบการสั่งซื้อรูปแบบปัจจุบัน กับรูปแบบการสั่งซื้อแบบประหยัด (EOQ) ตามตารางที่ 3 และรูปที่ 5 จากสมการที่ (1) การสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) [12,13,14] ดังนี้

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} \quad (1)$$

- กำหนดให้
- D = ปริมาณความต้องการสินค้าต่อปี
 - S = ต้นทุนในการสั่งซื้อต่อครั้ง
 - I = ต้นทุนการเก็บรักษา
 - C = ต้นทุนราคาสินค้า
 - Q = ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดต่อครั้ง หรือ EOQ

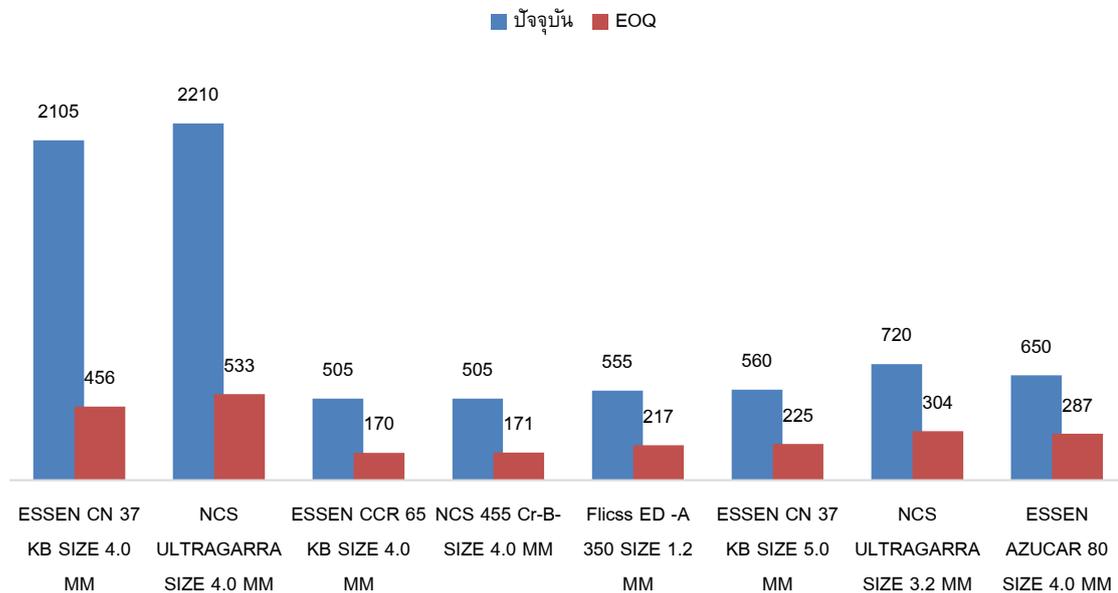
ผลการวิเคราะห์การสั่งซื้อแบบประหยัด (EOQ) ของสินค้าคงคลัง กลุ่ม A พบว่า ปริมาณการสั่งซื้อตลอดทั้งปีเท่ากับ 2,364 หน่วย มีมูลค่าสินค้าคงคลังต่อปี 461,761.33 บาท ซึ่งการสั่งซื้อแบบประหยัด (EOQ) จะมีปริมาณการสั่งซื้อน้อยกว่ารูปแบบปัจจุบัน และมีมูลค่าต่อปีลดลงเมื่อเทียบกับรูปแบบปัจจุบันถึง 1,044,749.97 บาท โดยต้นทุนการสั่งซื้อในแต่ละครั้งจะคงที่ไม่แปรผันตามจำนวนครั้งในการสั่งซื้อ แต่แปรผันตามปริมาณสินค้าคงคลังที่มีการสั่งซื้อแต่ละครั้ง ทั้งนี้ผลการเปรียบเทียบมูลค่าต่อปีพบว่า การสั่งซื้อแบบประหยัด (EOQ) มีต้นทุนน้อยกว่ารูปแบบการสั่งซื้อในปัจจุบัน โดยการสั่งซื้อรูปแบบปัจจุบันของสินค้าคงคลังกลุ่ม A มีมูลค่า 1,506,511.30 บาท ในขณะที่การสั่งซื้อแบบประหยัด (EOQ) มีมูลค่า 461,761.33 บาท ซึ่งสามารถประหยัดได้ถึงร้อยละ 69.35 รายละเอียดตามตารางที่ 2 และ 3 และรูปที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์การสั่งซื้อแบบประหยัด (EOQ)

รายการสินค้าลวดเชื่อม	จำนวน ที่ประหยัด (Kg)	ราคา/ หน่วย	มูลค่า สินค้า/ปี	ต้นทุนสั่งซื้อ ต่อครั้ง	ต้นทุน จัดเก็บ	จำนวนครั้ง การสั่งซื้อ/ปี
ESSEN CN 37 KB SIZE 4.0 MM	456	191.73	87479.96	948.08	0.10	4.61
NCS ULTRAGARRA SIZE 4.0 MM	533	147.7	78672.67	948.08	0.10	4.15
ESSEN CCR 65 KB SIZE 4.0 MM	170	329.53	56173.39	948.08	0.10	2.96
NCS 455 Cr-B- SIZE 4.0 MM	171	328.74	56106.02	948.08	0.10	2.96
FLICSS ED -A 350 SIZE 1.2 MM	217	222.52	48391.44	948.08	0.10	2.55
ESSEN CN 37 KB SIZE 5.0 MM	225	209.74	47192.41	948.08	0.10	2.49
NCS ULTRAGARRA SIZE 3.2 MM	304	147.34	44850.17	948.08	0.10	2.37
ESSEN AZUCAR 80 SIZE 4.0 MM	287	149.29	42895.28	948.08	0.10	2.26
รวม	2,364		461,761.33			

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์การเปรียบเทียบระหว่างการสั่งซื้อรูปแบบปัจจุบัน กับรูปแบบการสั่งซื้อแบบประหยัด (EOQ)

รายการสินค้าลวดเชื่อม	รูปแบบการสั่งซื้อ (Kg)			
	ปัจจุบัน	มูลค่าสินค้า/ปี	แบบประหยัด (EOQ)	มูลค่าสินค้า/ปี
ESSEN CN 37 KB SIZE 4.0 MM	2105	403,591.65	456	87479.96
NCS ULTRAGARRA SIZE 4.0 MM	2210	326,417.00	533	78672.67
ESSEN CCR 65 KB SIZE 4.0 MM	505	166,412.65	170	56173.39
NCS 455 Cr-B- SIZE 4.0 MM	505	166,013.70	171	56106.02
FLICSS ED -A 350 SIZE 1.2 MM	555	123,498.60	217	48391.44
ESSEN CN 37 KB SIZE 5.0 MM	560	117,454.40	225	47192.41
NCS ULTRAGARRA SIZE 3.2 MM	720	106,084.80	304	44850.17
ESSEN AZUCAR 80 SIZE 4.0 MM	650	97,038.50	287	42895.28
รวม	7,810	1,506,511.30	2,363	461,761.33



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบการสั่งซื้อรูปแบบปัจจุบัน กับรูปแบบการสั่งซื้อแบบประหยัด (EOQ)

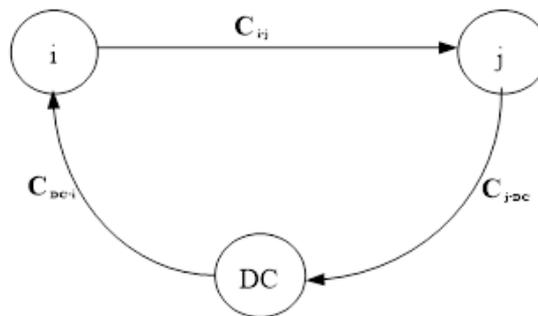
การแก้ไขการดำเนินงานขนส่งและกระจายสินค้า

การจัดเส้นทางการเดินทางโดยขั้นตอนวิธีแบบประหยัด เป็นการรวมจุดรับส่งมากกว่า 1 จุดไว้ในเส้นทางเดียวกัน และเปรียบเทียบเส้นทาง หรือค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดที่สุด [15] เป็นวิธีการจัดเส้นทางเดินทางที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่ไม่ได้จำกัดยานพาหนะ มีเงื่อนไขว่ายานพาหนะขนส่งแต่ละคันต้องมีสินค้าไม่เกินความจุ และต้องใช้เวลาในการเดินทางไม่เกินเวลาที่กำหนด โดยวิธีนี้มีกฎเกณฑ์ คือ การค้นหาจุดส่งสินค้า 2 จุดใด ๆ ที่ทำให้เกิดการประหยัดมากที่สุด แล้วทำการรวมจุด 2 จุดนั้นเข้าสู่เส้นทางเดียวกันแทนการแยกกันส่งคนละเส้นทาง [16] นอกจากนี้การแก้ปัญหาวิธีแบบประหยัด (Saving Algorithm: SA) มีขั้นตอนในการหาคำตอบไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการหาคำตอบ แม้ว่าวิธีนี้จะไม่ได้ประกันถึงการหาคำตอบที่ดีที่สุดก็ตาม สำหรับปัญหาการตัดสินใจที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก การแก้ปัญหาวิธีแบบประหยัด (SA) ยังคงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง ซึ่งสามารถหาคำตอบได้ โดยศึกษาเกี่ยวกับวิธีวางแผนการจัดเส้นทางเดินทาง ซึ่งเป็นการรวบรวมจุดส่งสินค้าเข้าด้วยกันในเส้นทางหลัก แทนการขนส่งสินค้าจากโรงงานไป-กลับยังทุก ๆ จุดส่งสินค้าต่าง ๆ โดยการรวมจุดส่งที่ให้เกิดความประหยัดในการเดินทาง โดยการนำจุดส่งสินค้าจุดอื่น ๆ มารวมกับเส้นทางหลัก ทั้งนี้ค่าประหยัด (Saving) สามารถพิจารณาจากระยะทางหรืออื่น ๆ ตามความเหมาะสม โดยคำนวณค่าความประหยัดของ

ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (Saving Cost) ระหว่างลูกค้า 2 รายใด ๆ ถึงลูกค้าที่เกิดการรวมเส้นทางนั้น ๆ คือ ลูกค้า i และ ลูกค้า j ซึ่งการรวมเส้นทางสองจุดรับนี้จะประหยัดกว่าเดิมตามสมการที่ (2) [17,18,15] และตามรูปที่ 6

$$S_{ij} = C_{DC-i} + C_{DC-j} - C_{ij} \tag{2}$$

- ให้
- S_{ij} = ความประหยัดของระยะทางในการขนส่งหรือค่าใช้จ่าย ระหว่างลูกค้า 2 ราย ระหว่างจุด i และจุด j
 - C_{i-DC} = ระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างลูกค้า i และโรงงานหรือคลังสินค้า DC
 - C_{DC-j} = ระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างโรงงานหรือคลังสินค้า DC และลูกค้า j
 - C_{i-j} = ระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างลูกค้า i และลูกค้า j



รูปที่ 6 การจัดเส้นทางเดินรถโดยวิธีแบบประหยัด Saving Algorithm

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิง 10 วัน ระหว่างการจัดเส้นทางรูปแบบเดิมกับการจัดเส้นทางด้วยวิธีแบบประหยัด

วันที่	ค่าเชื้อเพลิง (บาท) / วัน		ประหยัด (บาท)	ร้อยละ
	การจัดเส้นทางแบบเดิม	วิธีการแบบประหยัด		
1	7,420.00	4,745.00	2,675.00	36.05
2	6,362.00	4,356.00	2,006.00	31.53
3	8,606.00	4,885.00	3,721.00	43.24
4	5,894.00	5,015.00	879.00	14.91
5	8,409.00	5,646.00	2,763.00	32.86
6	10,846.00	5,186.00	5,660.00	52.19
7	6,395.00	4,408.00	1,987.00	31.07
8	5,959.00	4,174.00	1,785.00	29.95
9	8,564.00	4,717.00	3,847.00	44.92
10	8,911.00	3,389.00	5,522.00	61.97
รวม	77,366.00	46,521.00	30,845.00	39.87

9. สรุปและอภิปรายผล

จากการดำเนินงานการจัดการคลังสินค้า และสินค้าคงคลัง โดยสภาพแวดล้อมในการปฏิบัติงานในพื้นที่ที่จำกัดมีการใช้พื้นที่ปฏิบัติงานร่วมกัน ส่งผลต่อการใช้พื้นที่ไม่เพียงพอ ประกอบกับสินค้าที่จัดเก็บแต่ละประเภทที่มีลักษณะแตกต่างกัน และมีหลากหลายประเภทส่งผลให้ความต้องการพื้นที่เพื่อรองรับสินค้าแต่ละประเภทมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังไม่พบการแบ่งหมวดหมู่ประเภทสินค้าตามมูลค่าสินค้าทำให้ไม่สามารถระบุความสำคัญในการดูแลสินค้าประเภทใดเป็นพิเศษ

ซึ่งการแบ่งกลุ่มตามหลักการแนวคิด ABC analysis โดยจัดกลุ่มสินค้าประเภทลดเชื่อม ทั้ง 19 รายการ พบว่า กลุ่ม A จำนวน 8 รายการ ซึ่งมูลค่าการสั่งซื้อรวมมากที่สุดเท่ากับ 1,506,511.39 บาท คิดเป็นร้อยละ 74.21 กลุ่ม B จำนวน 6 รายการ มูลค่าการสั่งซื้อรวม 412,200.75 บาท คิดเป็นร้อยละ 20.29 และกลุ่ม C มีจำนวน 5 รายการ มูลค่าการสั่งซื้อรวม น้อยที่สุดเท่ากับ 111,429.45 บาท คิดเป็นร้อยละ 5.49 สามารถทำให้การจัดการกลุ่มสินค้าตามมูลค่าการใช้ช่วยให้สามารถระบุ สินค้าที่มีมูลค่าการใช้สูงและต้องการการจัดการที่ใกล้ชิดมากขึ้น สามารถจัดสรรทรัพยากรได้อย่างเหมาะสม โดยใช้ ทรัพยากรมากขึ้นกับสินค้าที่มีมูลค่าการใช้สูง และใช้ทรัพยากรน้อยลงกับสินค้าที่มีมูลค่าการใช้ต่ำ และช่วยให้สามารถลด เงินทุนหมุนเวียนและค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง โดยการซื้อสินค้าที่มีมากเกินต้องการและสินค้าที่หมดความ ต้องการรวมทั้งช่วยให้การตรวจเช็คสต็อกทำได้ดีขึ้น และรักษาระดับการควบคุมสินค้าที่มีมูลค่าการใช้สูงไว้ให้สามารถ สนองความต้องการใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฉะนั้นการใช้ ABC Analysis ในการบริหารสินค้าคงคลังจึงเป็นเครื่องมือที่มี คุณค่าในการช่วยให้องค์กรสามารถจัดการสินค้าคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มความสามารถในการ แข่งขันในได้สอดคล้องกับงานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าสำเร็จรูปบริษัทกรณีศึกษา [8] ซึ่งการจัด ความสำคัญด้วย ABC Analysis ภายในคลังสินค้า ผลการปรับปรุงทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้ามีความเป็น ระเบียบเรียบร้อยมากขึ้น เวลาเฉลี่ยในการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปลดลงรวมถึงระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายสินค้าลดลงและ ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นลดลงร้อยละ 11 ต่อการส่งสินค้าสำเร็จรูป

การดำเนินงานการจัดซื้อที่มีปริมาณที่ไม่แน่นอนเมื่อเทียบกับจำนวนปริมาณความต้องการตามคำสั่งซื้อของลูกค้า รวมทั้งต้นทุนในการดำเนินงานที่สูงขึ้น ไม่สามารถวางแผนจัดซื้อได้ตามรอบเวลา ปริมาณความต้องการที่ไม่แน่นอนส่งผล ต่อการสั่งซื้อในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละรอบการสั่งซื้อส่งผลให้สินค้าคงอยู่ในคลังสินค้าและเสื่อมสภาพ การแก้ไขโดย การสั่งซื้อแบบประหยัดสามารถช่วยให้ลดต้นทุนการเก็บรักษาโดยใช้ EOQ ช่วยให้สามารถสั่งซื้อสินค้าในปริมาณ ที่เหมาะสม ลดต้นทุนการเก็บรักษา นอกจากนี้ป้องกันกาขาดสต็อกด้วยการสั่งซื้อที่น้อยเกินไปอาจทำให้สินค้าหมดและเสีย โอกาสในการขาย การคำนวณ EOQ ช่วยให้กิจการสามารถเผชิญกับความผันแปรของความต้องการได้โดยไม่ทำให้เกิด ปัญหาการขาดสต็อก และช่วยประหยัดต้นทุนการสั่งซื้อโดยการสั่งซื้อในปริมาณมากอาจทำให้ได้ราคาที่ดีกว่า และลด ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อแต่ละครั้งสอดคล้องกับงานวิจัย การปรับปรุงขั้นตอนการจัดซื้อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ [11] แนวทางการแก้ไขปรับปรุงขั้นตอนการจัดซื้อเพื่อลดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบกลับราคาให้กับผู้ร้องขอสั่งซื้อ ลดขั้นตอนการขอใบเสนอราคา โดยการจัดทำ Master Price Approve ส่งผลทำให้ปัญหาการทำงานซ้ำซ้อนและปัญหา การตอบกลับราคาผู้ซื้อลดลงการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การดำเนินงานการขนส่งและกระจายสินค้าที่มีความล่าช้า รวมทั้งการจัดการบรรทุกสินค้าที่ไม่เต็มคัน ซึ่งบางครั้ง ส่งผลให้เกิดต้นทุนการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้นจากอัตราค่าเชื้อเพลิงและจราจรในปัจจุบันที่หนาแน่นการเดินทางค่อนข้างช้า จึงไม่สามารถใช้ยานพาหนะได้อย่างเต็มที่ ประกอบกับสภาพแวดล้อมมลพิษต่าง ๆ ที่เกิด เช่น มลพิษทางอากาศ ทางเสียง และฝุ่นขนาดเล็ก 0.25 ที่ส่งผลกระทบต่อปฏิบัติงานอย่างเลียงไม่ได้ โดยการจัดเส้นทางเดินทางโดยขั้นตอนวิธีแบบประหยัด สามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายใน 10 วัน ได้ถึง 30,845.00 บาท คิดเป็นร้อยละ 39.87 นอกจากนี้การปรับปรุงและแก้ไข การดำเนินงานขนส่งและกระจายสินค้าเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ธุรกิจสามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพได้ เช่น การเปลี่ยนจากน้ำมันดีเซลหรือเบนซินไปใช้ไบโอดีเซลหรือก๊าซ CNG สามารถช่วยลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้ ลดการวิ่งเที่ยว เปล่า การคำนวณเส้นทางขนส่งให้คุ้มค่าที่สุดเพื่อลดเที่ยวขนส่ง การบรรจุสินค้าให้เต็มความจุของยานพาหนะ ใช้ระบบ บริหารจัดการการขนส่ง (TMS) ช่วยในการวางแผนการขนส่ง เลือกเครือข่ายที่เหมาะสมสามารถช่วยลดต้นทุนโลจิสติกส์ รวมถึงใช้ระบบอัตโนมัติและซอฟต์แวร์ที่ใช้ระบบการจัดการคลังสินค้า (WMS) และระบบจัดการการขนส่ง (TMS) ช่วยใน การปรับเส้นทางขนส่งที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยให้สามารถปรับปรุงการดำเนินงานขนส่งและกระจาย สินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน

10. ข้อเสนอแนะ

- 1) การปฏิบัติงานในคลังสินค้าควรมีการวางแผนการจัดเก็บสินค้าและการจัดการคลังสินค้าที่มีระบบเป็นระเบียบ เพื่อให้สามารถรับส่งสินค้าได้รวดเร็วและมีการใช้พื้นที่ในคลังสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) การใช้เทคโนโลยีในการติดตามและจัดการสต็อกสินค้า เช่น ระบบบาร์โค้ด ระบบคลังสินค้าอัตโนมัติ (Warehouse Management System) สามารถช่วยในการลดข้อผิดพลาดและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน
- 3) การให้ความรู้และการอบรมให้แก่พนักงานในการปฏิบัติงานในคลังสินค้า
- 4) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการจัดการคลังสินค้าเป็นประจำ เพื่อหาวิธีการปรับปรุงและการพัฒนาที่จะทำ ให้ระบบทำงานได้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

11. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักโลจิสติกส์ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2559). การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสีเขียว เส้นทางสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน. กรุงเทพมหานคร: พรินท์เอเบิล.
- [2] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2564). รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2563. สืบค้นจาก https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=11803.
- [3] เจดับเบิลยูดี อินโฟโลจิสติกส์. (2563). การจัดการโลจิสติกส์ มีความสำคัญอย่างไรต่อธุรกิจ.? สืบค้นจาก https://jwd-group.com/th/knowledge_bases/logistics_management/
- [4] สิทธิชัย ฝรั่งทอง. (2553). ขับเคลื่อนโลจิสติกส์ด้วยการตลาด. กรุงเทพมหานคร: เอ็กชเพอร์เน็ท.
- [5] คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2553). การจัดการสินค้าคงคลัง. กรุงเทพมหานคร : โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชซิง.
- [6] อธิศานต์ วายุภาพ. (2550). หลักสูตรการบริหารสินค้าคงคลัง. กรุงเทพมหานคร: สมาคมอุตสาหกรรมประเทศไทย.
- [7] ธนิต โสรรัตน์. (2550). การประยุกต์โลจิสติกส์และโซ่อุปทาน. กรุงเทพมหานคร: วี-เชอร์ฟ โลจิสติกส์.
- [8] นฤภร นิลนิสสัย และ ปิยะเนตร นาคสีดี. (2564). การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าสำเร็จรูป กรณีศึกษา บริษัท เครื่องดื่มรังก ABC จำกัด. การประชุมนำเสนอผลงานวิจัย บัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 16 ปี การศึกษา 2564 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต.
- [9] ปารณัท กัญญิมล และสรารุช จันท์สุวรรณ. (2564). การศึกษาเพื่อจัดเส้นทางเดินรถขนส่งรูปแบบมิลค์รันและการจัดการกำหนดการรับสินค้า กรณีศึกษา การส่งชิ้นส่วนโรงงานประกอบรถยนต์ ABC. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operation Research), 9(2), 1-11.
- [10] ศิวพร สุกสี, และ ชาริณี มีเจริญ. (2562). การลดต้นทุนการขนส่งโดยการประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง: กรณีศึกษา บริษัท จำหน่ายอุปกรณ์ระดับยนต์. Kasem Bundit Engineering Journal, 9(1), 69-84.
- [11] ศิริลักษณ์ คาโสจันทร์ อุดุลย์ นงภา และรพี อุดมทรัพย์. (2561). การปรับปรุงขั้นตอนการจัดซื้อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 9. "Local & Global Sustainability: Meeting the Challenges & Sharing the Solutions". สืบค้นจาก <http://journalgrad.ssru.ac.th/index.php/8thconference/article/view/1330/1220>.
- [12] เฉอร์รรุภา คุ่มถนอม. (2564). ปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบหลักที่เหมาะสม กรณีศึกษา บริษัทผลิตเหล็กแท่งและเหล็กเส้นก่อสร้าง. (งานนิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา).
- [13] ธันย์ชนก จันท์หอม. (2564). การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา เพื่อกำหนดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดของโรงงานผลิตยางซิลิโคนแห่งหนึ่ง. (วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร).

- [14] Harris, F. W. (1913). How many parts to make at once, *Factory*. *The Magazine of Management*, 10, 135-136.
- [15] Clarke, G. & Wright, J.W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery point. *Operation Research*, 12(4), 568-581. Retrieved from <http://read.pudn.com/downloads160/doc/fileformat/721736>
- [16] อรวสา กอบเกียรติถวิล. (2556). วิธีอีวิริสติกส์การแทรกสำหรับปัญหาจัดเส้นทาง สินค้าคงคลังภายใต้เงื่อนไขกรอบเวลา ข้อจำกัดเวลาการทำงาน และปริมาณการขนส่งผันแปร. (ปริญญาวิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี).
- [17] วิไลวรรณ แก่นสาร. (2556). การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าแบบเปิดขนส่งหน้าตู้. *วารสารวิชาการ Thai (VCML)*, 6(2), 12-32.
- [18] กวี ศรีเมือง. (2550). การหาจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมในการขนส่งสินค้าในธุรกิจค้าปลีก กรณีศึกษาที่อปซูปเปอร์มาเก็ต. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

การตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับเสียงและการจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียงในโรงงานผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์พอนเดอร์ จังหวัดลำพูน

THE MEASUREMENT AND ANALYSIS OF WORKING CONDITIONS REGARDING NOISE AND PREPARATION OF NOISE CONTOUR MAP IN A TAG AND TRANSPONDER PRODUCTION FACTORY IN LAMPHUN PROVINCE

ณัฐพงศ์ ม้าเทศ^{1*} ปุณณิสา พุดผ่อง¹ พรรณวดี สิงห์แก้ว¹ และ รัชกร ช่งกุล²

Nutthaphong Mated^{1*}, Punyisa Pudpong¹, Pannawadee Singkaew¹ and Ratchakorn Hongkul²

¹สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

²สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ วิชาเอกอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

*Corresponding Author E-mail: Nutthaphong.Ma@up.ac.th

Received: May 5, 2024

Revised: June 15, 2024

Accepted: June 16, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงาน เพื่อจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียง (Noise Contour Map) และกำหนดพื้นที่ในการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ในโรงงานผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์พอนเดอร์ ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับเสียงทั้งหมด 3 พื้นที่ด้วยเครื่องวัดระดับเสียง (Sound Level Meter) ที่ได้มาตรฐาน IEC PUB 651 TYPE 2 และจากนั้นนำผลการตรวจวัดเสียงมาจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียง พร้อมทั้งกำหนดพื้นที่ในการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ผลการศึกษา พบว่าในพื้นที่ 1 แผนก EMB มีค่าเฉลี่ยระดับเสียงอยู่ที่ 78.03 เดซิเบลเอ ในพื้นที่ 2 แผนก Injection molding มีค่าเฉลี่ยระดับเสียงอยู่ที่ 75.45 เดซิเบลเอ และในพื้นที่ 3 แผนก RF machine มีค่าเฉลี่ยระดับเสียงอยู่ที่ 70.99 เดซิเบลเอ ภาพรวมส่วนใหญ่มีผลการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ยเป็นไปตามมาตรฐาน ยกเว้นในพื้นที่ 2 มีระดับเสียงดังเกินมาตรฐานจำนวน 1 จุด คิดเป็นร้อยละ 0.52 จากจุดตรวจวัดทั้งหมด 191 จุด ซึ่งในบริเวณดังกล่าว มีระดับเสียงสูงสุดอยู่ที่ 85.1 เดซิเบลเอ ดังนั้นบริเวณพื้นที่ 2 ต้องกำหนดเป็นพื้นที่ในการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล พร้อมทั้งเฝ้าระวังเสียงดัง ประเมินการสัมผัสเสียงดัง และตรวจวัดปริมาณเสียงสะสมเพิ่มเติม ร่วมกับการวางแผนควบคุมที่แหล่งกำเนิดของเสียงหรือทางผ่านของเสียงเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพของลูกจ้าง รวมทั้ง จัดให้มีการออกข้อบังคับด้านความปลอดภัย จัดฝึกอบรมให้ความรู้ในเรื่องอันตรายจากเสียงดัง และจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียง เพื่อสร้างความตระหนักและเพื่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพอนามัยที่ดีของลูกจ้าง

คำสำคัญ: แผนผังแสดงระดับเสียง อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ระดับเสียง โรงงาน

ABSTRACT

This study aims to assess the noise level in the working environment to create a noise contour map and designate areas for personal protective equipment in a tags and transponder manufacturing factory. The research involves measuring and analyzing the work environment is noise conditions in three areas using a sound level meter standardized by IEC PUB 651 TYPE 2. The results were used to create a noise contour map and designate

areas for personal protective equipment. The study found that in area 1 (EMB department), the average noise level was 78.03 dBA, in area 2 (Injection molding department), it was 75.45 dBA, and in area 3 (RF machine department), it was 70.99 dBA. Overall, the majority of measured noise levels complied with standards, but area 2 had one point with noise exceeding standards, at 85.1 dBA, representing 0.52% from a total of 191 measuring points in the said area it has a maximum sound level of 85.1 dBA. Therefore, area 2 should be designated for protective equipment, along with monitoring and assessing noise exposure and measuring additional accumulated noise level, together with control planning at the source of the sound or transmission paths should be implemented to reduce potential health impacts on employees. This includes establishing safety regulations, providing training about the dangers of loud noises and creating noise contour maps to raise awareness and foster a healthy working safty environment for employees.

Keywords: Noise contour map, Personal protective equipment, Noise level, Factory

1. บทนำ

จากสถานการณ์การสูญเสียการได้ยินของลูกจ้าง โดยสำนักงานความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของสหรัฐอเมริกา (The National Institute for Occupational Safety & Health: NIOSH) ปี พ.ศ. 2566 คาดการณ์ว่าลูกจ้างที่ทำงานในอุตสาหกรรมมากกว่า 22 ล้านคน ทำงานสัมผัสเสียงดังและมีความชุกของการสูญเสียการได้ยินของลูกจ้างประมาณร้อยละ 12 [3] โดยสถิติทั่วโลก พบว่า ในคนทำงานร้อยละ 16-24 พบการสูญเสียการได้ยินจากเสียงดังจากการประกอบอาชีพ และจากสถิติของประเทศสหรัฐอเมริกา พบการสูญเสียการได้ยินร้อยละ 11 ของโรคจากการประกอบอาชีพทั้งหมด นอกจากนี้ในการสำรวจ National Health จากสถานการณ์และความเป็นมาของภาวะสูญเสียการได้ยินจากเสียงดังระหว่างปี พ.ศ. 2542-2547 ของประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าประมาณร้อยละ 17 ของคนทำงานทั้งหมด จะทำงานสัมผัสกับเสียงดัง [6]

ในประเทศไทยได้มีการรวบรวมสถิติการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน จำแนกตามความรุนแรงและโรคที่เกิดขึ้นตามลักษณะหรือสภาพของงานหรือเนื่องจากการทำงาน ปี 2561-2565 พบว่า มีลูกจ้างในสถานประกอบกิจการ เกิดโรคหูตึงจากเสียง จำนวน 22 ราย หยุดงานเกิน 3 วัน จำนวน 2 ราย และหยุดงานไม่เกิน 3 วัน จำนวน 38 ราย รวมจำนวนทั้งหมด 62 ราย [4] ซึ่งการสูญเสียการได้ยินจากเสียงดังมีผลกระทบต่อการทำงาน การใช้ชีวิตระยะยาวจะมีผลทำให้ไม่สามารถสื่อสารได้ และกลายเป็นคนพิการทางการได้ยินในที่สุด ดังนั้นการเฝ้าระวังการสูญเสียการได้ยินจากเสียงดังจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะในสถานประกอบกิจการที่มีแหล่งกำเนิดเสียงดังในกระบวนการผลิต [5] การพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว นั้น จะมีการนำเอาเครื่องจักรและสายการผลิตขนาดใหญ่เข้ามาส่งเสริมการทำงาน ซึ่งอาจจะมีระดับเสียงดัง ดังนั้น จึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมระดับเสียงให้อยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับได้ เพื่อความปลอดภัยในกระบวนการผลิต ปัจจุบันเจ้าของกิจการได้ถูกกฎหมายบังคับให้ยึดถือปฏิบัติตามมาตรฐานสากลเกี่ยวกับการป้องกันเสียงดังที่เกิดขึ้นในสถานประกอบกิจการ อีกทั้ง ยังต้องกำหนดมาตรการด้านความปลอดภัยจากเสียงให้กับตัวลูกจ้าง [7] การสัมผัสเสียงดังมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน มีโอกาสเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับการได้ยินของลูกจ้างมากกว่าผู้ที่สัมผัสเสียงดังน้อยกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน ประมาณ 2.12 เท่า [8] นอกจากนี้ พบว่า ผู้ที่สัมผัสเสียงดังมากกว่า 8 ชั่วโมงมีโอกาสเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับการได้ยินของลูกจ้างเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 72 เมื่อเทียบกับผู้ที่สัมผัสเสียงดังน้อยกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน [9]

ข้อมูลด้านเศรษฐกิจในภาคอุตสาหกรรมของจังหวัดลำพูน มีโรงงานอุตสาหกรรมกระจายอยู่ทุกพื้นที่ของแต่ละอำเภอ ซึ่งมีนิคมอุตสาหกรรมลำพูน ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองลำพูน จัดเป็นอุตสาหกรรมหลัก มีปัจจัยด้านวัตถุดิบในด้านการผลิต ด้านแรงงาน ด้านคมนาคมขนส่ง ที่เอื้ออำนวยต่อการลงทุน อาชีพที่สำคัญของจังหวัด คือ การประกอบการเกษตร การทำนาข้าวและทำสวนลำไย ซึ่งเป็นเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดลำพูน นอกจากนี้ยังมีการประกอบอาชีพเป็นลูกจ้างในโรงงานอุตสาหกรรม [1] มีโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ จำนวนทั้งสิ้น 441 โรงงาน จำแนกเป็นโรงงานที่อยู่ใน

เขตนิคมอุตสาหกรรมลำพูน จำนวน 74 โรงงาน และนอกเขตนิคมอุตสาหกรรมลำพูน จำนวน 367 โรงงาน จำนวนแรงงานรวมทั้งสิ้น 70,183 คน [2] ซึ่งการประกอบอาชีพในอุตสาหกรรมจะมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยสูง

การสัมผัสเสียงดังในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีระดับเสียงดังเกินขนาดต่อระบบการได้ยิน คนทำงานจะมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน [10] แหล่งอุตสาหกรรมที่มีผลการตรวจวัดระดับเสียง อยู่ในช่วง 70 - 100 เดซิเบลเอ ผลการวิจัยยังพบว่า คนงานร้อยละ 47.1 เกิดความรำคาญ และร้อยละ 5.8 เริ่มเกิดการสูญเสียการได้ยิน นอกจากนี้ผลการศึกษา ยังสรุปได้ว่า ระดับเสียงรบกวนที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้ อาการแสดงที่พบ อาจมีเสียงดังในหู เวียนศีรษะ หูอื้อตันที่ หรือค่อย ๆ อื้อเพิ่มขึ้น การตรวจหูชั้นนอกมักไม่พบสิ่งผิดปกติในกรณีสัมผัสกับเสียงดังมากทันที (Acoustic trauma) เช่น เสียงระเบิด อาจพบมีแก้วหูทะลุร่วมด้วย [11]

โรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยจะต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 โดยครอบคลุมการทำงาน 8 หมวด เพื่อเป็นการคุ้มครองแรงงานให้มีความปลอดภัยตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ตามเป้าหมายที่ 8.8 ในปกป้องสิทธิแรงงานและส่งเสริมสภาพแวดล้อมการทำงานที่ปลอดภัยและมั่นคงสำหรับผู้ทำงานทุกคน ของกระทรวงแรงงาน [27], [29] ทั้งนี้แล้ว โรงงานผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์ ได้มีการนำเอาเทคโนโลยี เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์มาใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดมลพิษทางเสียงในโรงงาน และอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้แรงงานในด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อให้สอดคล้องและปฏิบัติตามกฎหมายตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการจัดทำมาตรการอนุรักษ์การได้ยินในสถานประกอบกิจการ พ.ศ. 2561 [12] ซึ่งหากในกรณีที่สภาวะการทำงานในสถานประกอบกิจการมีระดับเสียงที่ลูกจ้างได้รับเฉลี่ย ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ตั้งแต่ 85 เดซิเบลเอ ขึ้นไป ให้นายจ้างจัดให้มีมาตรการอนุรักษ์การได้ยินในสถานประกอบกิจการ พร้อมทั้งให้นายจ้างจัดทำและติดตั้งแผนผังแสดงระดับเสียงในแต่ละพื้นที่ เกี่ยวกับผลการตรวจวัดระดับเสียงนั้น ซึ่งกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์ จะทำให้เกิดเสียงดังต่อเนื่องแบบคงที่ (Continuous Steady Noise) เนื่องจากมีเครื่องจักรเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ลูกจ้างได้รับสัมผัสเสียงดังตลอดระยะเวลาการทำงาน และอาจจะทำให้ลูกจ้างเกิดการสูญเสียการได้ยินจากเสียงดัง และอาจรบกวนการทำงานจนเกิดอุบัติเหตุได้

จากการสำรวจการแผ่รังสีเสียงดังและศึกษามาตรการที่มีอยู่ ของโรงงานผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์ พบว่า โรงงานไม่ได้มีการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน ที่เกี่ยวกับเสียงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ไม่ได้กำหนดพื้นที่เข้า - ออก ในบริเวณพื้นที่เสียงดัง และไม่มีอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยในการทำงานให้กับลูกจ้าง และจากการสำรวจมีบางพื้นที่ที่มีเสียงดังเกิน 85 เดซิเบลเอ ซึ่งจัดว่าไม่ได้ปฏิบัติตามกฎหมาย และมาตรการที่ไม่เพียงพอและปัจจัยด้านพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (PPE) อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับการได้ยินจากการประกอบอาชีพ [8]

กฎหมายกำหนดให้นายจ้างตรวจวัดระดับเสียงบริเวณที่ลูกจ้างปฏิบัติงานในสภาพการทำงานปกติและต้องตรวจวัดตลอดเวลาการทำงานในแต่ละวัน อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ตามกฎหมายของกระทรวงแรงงาน [13] ซึ่งขณะตรวจวัดจะต้องตั้งเครื่องวัดระดับเสียงบริเวณที่มีลูกจ้างปฏิบัติงานอยู่ในสภาพการทำงานปกติ [14]

การตรวจวัดและการจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียงจะช่วยให้สามารถบ่งชี้ถึงปัญหาและการได้รับเสียงดังจากเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งทำให้ทราบถึงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อการทำงาน [15] นอกจากนี้แผนผังแสดงระดับเสียงยังสามารถระบุการกระจายของเสียงในแต่ละพื้นที่ ที่เกิดจากกลุ่มเครื่องจักร เพื่อบ่งบอกภาพรวมของระดับเสียงหรืออันตรายของที่เกิดขึ้นในโรงงานขณะนั้น [16] เพื่อนำไปสู่การกำหนดมาตรการปรับปรุงหรือแก้ไขให้ระดับเสียงลดลง ไม่ว่าจะเป็นการแก้ไขทางด้านวิศวกรรม โดยการควบคุมที่แหล่งกำเนิดของเสียงหรือทางผ่านของเสียง และจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียงยังสามารถนำไปวางแผนบริหารจัดการในการกำหนดพื้นที่ในการการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยในโรงงานอีกด้วย

การตรวจวัดเสียงจึงเป็นการศึกษาการรับสัมผัสเสียงของลูกจ้างที่ทำงานในกระบวนการผลิตที่ได้รับผลกระทบจากเครื่องจักรจึงทำการตรวจวัดและการจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียงเพื่อหาแนวทางหรือมาตรการในการควบคุมเสียงดังต่อไป [17] ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจตรวจวัดและประเมินระดับเสียงดังในสภาพแวดล้อมการทำงาน เพื่อจัดทำเป็นแผนผังแสดงระดับเสียงและเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดพื้นที่ในการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลเพื่อลดระดับความเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน พร้อมทั้ง จัดหามาตรการควบคุมป้องกันอันตรายจากเสียงให้กับลูกจ้างนำไปใช้ในการจัดการปัญหาด้านเสียงในโรงงานต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อประเมินระดับเสียงดังในสภาพแวดล้อมการทำงานในกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์พอนเดอร์
- 2) เพื่อจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียงในกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์พอนเดอร์
- 3) เพื่อกำหนดพื้นที่ในการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ในกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์พอนเดอร์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study) ที่ศึกษาในกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์พอนเดอร์ เพื่อดำเนินการตรวจวัดและประเมินระดับเสียงในสถานประกอบการและนำข้อมูลมาจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียง โดยคำนวณจากขนาดของพื้นที่ในกระบวนการผลิต และนำมาจัดแบ่งพื้นที่โดยการสุ่ม

3.1 กลุ่มตัวอย่าง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในโรงงานที่มีกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์พอนเดอร์ในแผนกต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยแผนก EMB แผนก Injection molding และแผนก RF machine ทั้งนี้ ได้ดำเนินการตรวจวัดเสียงรวมทั้ง 191 จุด แยกตามพื้นที่ได้ดังนี้ พื้นที่แผนก EMB จำนวน 36 จุด พื้นที่ Injection molding จำนวน 65 จุด และพื้นที่ RF machine จำนวน 90 จุด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดและประเมินระดับเสียงในพื้นที่การทำงาน คือ เครื่องวัดระดับเสียง (Sound Level Meter) รุ่น BENETECH / GM1357 หมายเลขเครื่อง (Serial Number) LI:3058604 มาตรฐานเครื่อง IEC PUB 651 TYPE2 และอุปกรณ์ปรับเทียบความถูกต้อง (Acoustic Calibrator) รุ่น SVANTEK / SV 33 หมายเลขเครื่อง 76775 มาตรฐานเครื่อง IEC 61252 ซึ่งเครื่องมือที่ใช้เป็นไปตามมาตรฐาน ตามแนวทางการตรวจวัดและประเมินสภาพแวดล้อมในการทำงาน และการดำเนินการตามพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 [14] ทั้งนี้ ในการตรวจวัดและการวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับเสียง ได้ดำเนินการให้สอดคล้องเป็นไปตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการตรวจวัด และการวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง รวมทั้งระยะเวลาและประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2561 [18]

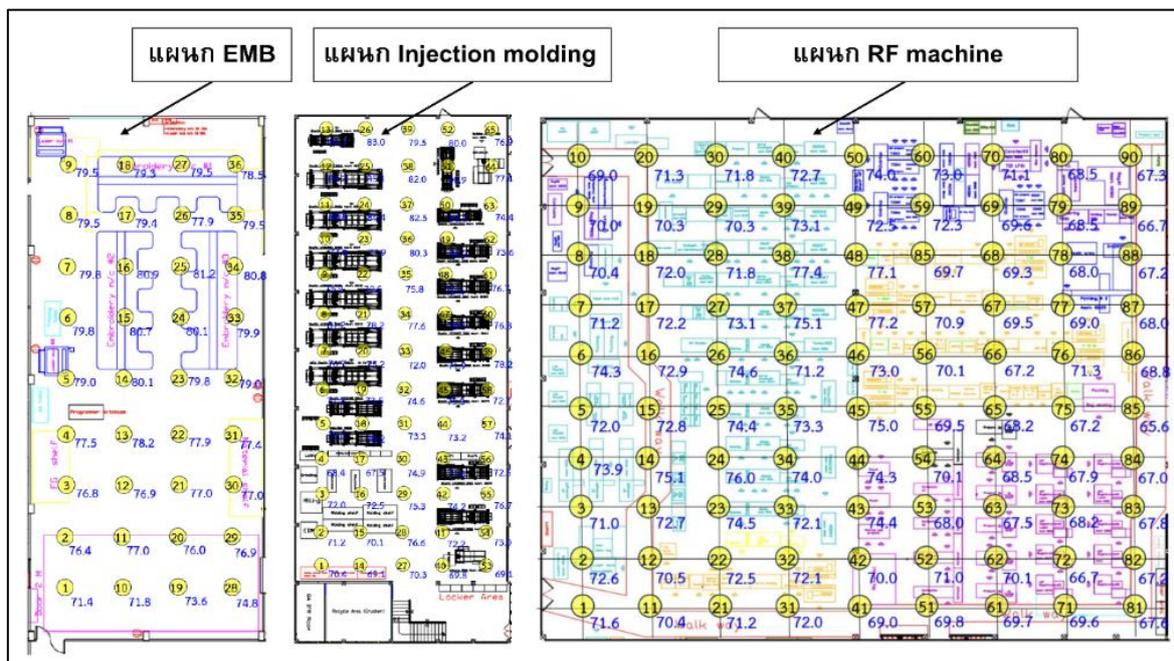
3.3 ขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 การสำรวจเบื้องต้นเป็นการสำรวจพื้นที่การทำงานของโรงงานทั้งหมด เพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้นโดยการเดินสำรวจบริเวณพื้นที่ภายใน (Walk through survey) และดำเนินการจัดบันทึกรายละเอียดของผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับเสียงดังในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน รวมถึงลักษณะเสียงที่เกิดขึ้น และระยะเวลาการสัมผัสเสียงดัง พร้อมทั้งพิจารณาข้อมูลการ

ประเมินการสัมผัสเสียงดังที่มีอยู่ อีกทั้งศึกษาอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล รายละเอียดพื้นที่ กระบวนการผลิต ขนาด แผนผังการจัดวางเครื่องจักร และสภาพของเครื่องจักร

3.3.2 วางแผนกำหนดจุดตรวจวัดระดับเสียงในกระบวนการผลิต จะดำเนินการโดยการตีกกริดในพื้นที่จริง โดยใช้ตลับเมตร (Tape measure) ซึ่งกำหนดระยะการตรวจวัด โดยทำการแบ่งพื้นที่ทุกระยะ 10 ฟุต หรือแบ่งพื้นที่ให้มีขนาดความห่างประมาณ 2 - 3 เมตร และทำการตรวจวัดระดับเสียงตรงจุดตัดของตารางที่ทำการตีกกริดไว้ โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียง วัดทีละตำแหน่ง [16, 19] เนื่องจากขนาดพื้นที่หรือแผนกมีขนาดเล็ก และมีจุดที่ติดตั้งเครื่องจักรเป็นกลุ่ม ๆ สามารถเข้าตรวจวัดระดับเสียงได้สะดวก โดยรวมแล้วมีจุดการตรวจวัดทั้งหมดจำนวน 191 จุด

3.3.3 วิธีการตรวจระดับเสียงเพื่อจัดทำแผนผังระดับเสียงเริ่มต้นจากนำเครื่องวัดระดับเสียงมาปรับเทียบความถูกต้องด้วยอุปกรณ์ตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้เกิดความถูกต้อง แม่นยำในการตรวจวัด ที่ระดับเสียงมาตรฐาน 94.0 เดซิเบล จากนั้น ตั้งค่าเครื่อง โดยทำการเลือกช่าย หรือเวทตั้งเนทเวิร์คเป็นสเกลเอ (dBA) การตอบสนองแบบช้า (Slow) ซึ่งการตรวจวัด จะใช้ค่าระดับเสียงเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ทำการวัด (Leq) โดยแต่ละจุดจะใช้ระยะเวลาในการตรวจวัดจุดละ 5 นาที เนื่องจากลักษณะของเสียงในพื้นที่มีระดับเสียงดังต่อเนื่องคงที่ตลอดระยะเวลาการทำงาน และในการตรวจวัดจะดำเนินการสวมฟองน้ำกันลม (Wind Screen) ที่ไมโครโฟนของเครื่องวัดระดับเสียง ขณะตรวจวัดควรตั้งเครื่องวัดระดับเสียงบริเวณที่มีลูกจ้างปฏิบัติงานอยู่ในสภาพการทำงานปกติ โดยให้ไมโครโฟนอยู่ที่ระดับหูของ ลูกจ้างที่กำลังปฏิบัติงาน ณ จุดนั้น รัศมีไม่เกิน 30 เซนติเมตร หรือตั้งเครื่องวัดระดับเสียงให้สูงประมาณ 1.5 เมตร วัดไปตามแนวระดับการตีกกริดตามแถว [20] ดังรูปที่ 1



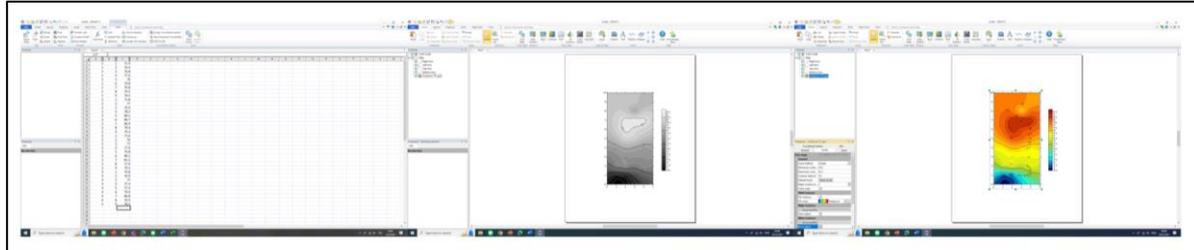
รูปที่ 1 กำหนดจุดตรวจวัดระดับเสียงในกระบวนการผลิต

3.3.4 บันทึกข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดระดับเสียงในแต่ละจุด และจากนั้นนำข้อมูลมาลงในโปรแกรมสำเร็จรูป Golden Software Surfer Version 19.1 ดังรูปที่ 2 ซึ่งโปรแกรมจะคำนวณการกระจายของเสียงและจัดระดับของเสียงในช่วงต่าง ๆ และแสดงภาพรวมของระดับเสียงออกมาเป็นแผนผังแสดงระดับเสียงอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้เกิดความละเอียดและแม่นยำ [21] ในการวิเคราะห์และศึกษาจะสามารถบ่งชี้ถึงปัญหาในพื้นที่ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในโรงงาน และทำให้ทราบถึงปัญหาของเครื่องจักรที่มีระดับเสียงเกินมาตรฐาน เพื่อนำไปสู่การวางแผนวางแนวทางการควบคุมเสียงทางด้าน

วิศวกรรมและทางการบริหารจัดการ และกำหนดพื้นที่หรือบริเวณในการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ในกระบวนการผลิตได้ต่อไป [16]

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากเสร็จสิ้นการตรวจวัดและคำนวณการกระจายของเสียงในพื้นที่ ผู้วิจัยได้ใช้สถิติพรรณนาอธิบายข้อมูลเชิงปริมาณเพิ่มเติม ได้แก่ ร้อยละ (Percentage) และค่าเฉลี่ย (Mean)



รูปที่ 2 รูปการกรอกข้อมูลลงโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อวิเคราะห์แถบสีให้แสดงเป็นระดับเสียงตามจุดตรวจวัด

4. ผลการวิจัย

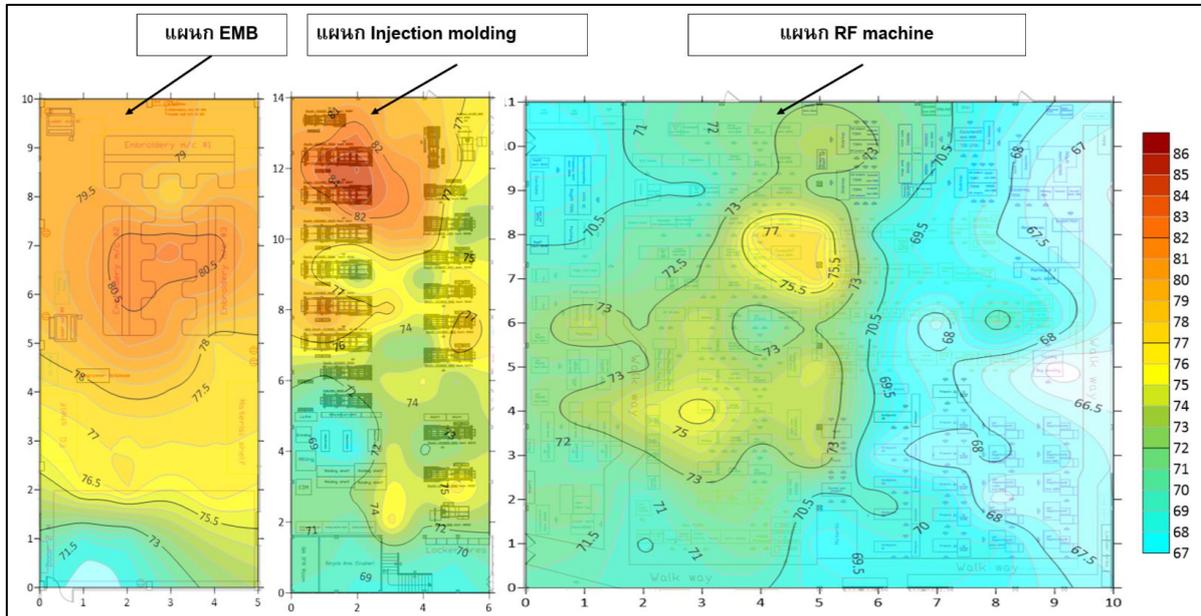
การประเมินระดับเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงานในกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์ ผลการศึกษาพบว่า การตรวจวัดระดับเสียง ทั้งหมด 3 พื้นที่ ในพื้นที่ 1 แผนก EMB มีค่าเฉลี่ยระดับเสียงอยู่ที่ 78.03 เดซิเบลเอ มีระดับเสียงต่ำสุดอยู่ที่ 71.4 เดซิเบลเอ และมีระดับเสียงสูงสุดอยู่ที่ 81.2 เดซิเบลเอ ในพื้นที่ 2 แผนก Injection molding มีค่าเฉลี่ยระดับเสียงอยู่ที่ 75.45 เดซิเบลเอ มีระดับเสียงต่ำสุดอยู่ที่ 67.5 เดซิเบลเอ มีระดับเสียงสูงสุดอยู่ที่ 85.1 เดซิเบลเอ ในพื้นที่ 3 แผนก RF machine มีค่าเฉลี่ยระดับเสียงอยู่ที่ 70.99 เดซิเบลเอ มีระดับเสียงต่ำสุดอยู่ที่ 65.6 เดซิเบลเอ มีระดับเสียงสูงสุดอยู่ที่ 77.4 เดซิเบลเอ ทั้งนี้ เมื่อนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของกระทรวงแรงงาน ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน พ.ศ. 2561 [22] ได้กำหนดมาตรฐานการรับสัมผัสเสียงดังกรณทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน จะต้องได้รับสัมผัสเสียงไม่เกิน 85 เดซิเบลเอ ซึ่งผลการศึกษา พบว่า จากการตรวจวัดระดับเสียงทั้งหมด 191 จุด ในพื้นที่กระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์ มีเสียงดังเกินมาตรฐานอยู่จำนวน 1 จุด โดยมีระดับเสียงอยู่ที่ 85.1 เดซิเบลเอ คิดเป็นร้อยละ 0.52 ทั้งนี้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดระดับเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงานในกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์

พื้นที่	จำนวนจุดที่ตรวจวัด	ค่าเฉลี่ยรวมในพื้นที่ (เดซิเบลเอ)	ค่าต่ำสุด - สูงสุด (เดซิเบลเอ)	ผลการตรวจวัด	
				จำนวนจุดที่ผ่านมาตรฐาน (ร้อยละ)	จำนวนจุดที่ไม่ผ่านมาตรฐาน (ร้อยละ)
พื้นที่ 1 แผนก EMB	36	78.03	71.4 - 81.2	36 (100.00)	0 (0.00)
พื้นที่ 2 แผนก Injection molding	65	75.45	67.5 - 85.1	64 (98.46)	1 (1.54)
พื้นที่ 3 แผนก RF machine	90	70.99	65.6 - 77.4	90 (100.00)	0 (0.00)
รวม	191	74.82	-	190 (99.48)	1 (0.52)

จากผลการตรวจวัดและประเมินระดับเสียงในโรงงานผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์ ทั้ง 3 พื้นที่ จากการเดินสำรวจเบื้องต้น เป็นการสำรวจเพื่อให้เห็นภาพรวมของสถานประกอบการ รวมถึงศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

เช่น ลักษณะของเสียง จำนวนลูกจ้าง ลักษณะพื้นที่ [19] และได้ดำเนินการตรวจวัดตามหลักวิชาการ ผู้วิจัยได้นำผลของค่าระดับเสียง Leq มาจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียงโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ในการวิเคราะห์การกระจายของเสียงในพื้นที่ ผลจากการวิเคราะห์การกระจายของเสียงแสดง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังแสดงระดับเสียง (Noise Contour Map) ในกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์

จากข้อมูลที่ได้จากการจัดทำแผนผังแสดงระดับเสียง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป จำนวนทั้ง 3 พื้นที่ในกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์ พบว่า พื้นที่ 2 แผนก Injection molding ในบริเวณเครื่องจักรที่มีการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบฉีดพลาสติก ซึ่งในสภาพแวดล้อมบริเวณนี้ มีระดับเสียงที่ดังเกินมาตรฐาน ตั้งแต่ระดับ 85 เดซิเบลเอ ขึ้นไป จำนวน 1 จุด รวมทั้งมีลูกจ้างทำงานบริเวณดังกล่าว ทั้งนี้ ในบริเวณพื้นที่ 2 จึงจำเป็นต้องกำหนดพื้นที่ในการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล พร้อมทั้ง ติดเครื่องหมายเตือนให้ใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลไว้ให้ลูกจ้างเห็นได้โดยชัดเจน

5. สรุปและอภิปรายผล

จากผลการประเมินระดับเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงานในกระบวนการผลิตแผ่นป้ายแท็กและทรานส์ฟอนเดอร์ จำนวนทั้ง 3 พื้นที่ รวมจุดตรวจวัดทั้งหมด 191 จุด พบว่า ในพื้นที่ 1 มีค่าเฉลี่ยระดับเสียงอยู่ที่ 78.03 เดซิเบลเอ พื้นที่ 2 มีค่าเฉลี่ยระดับเสียงอยู่ที่ 75.45 เดซิเบลเอ พื้นที่ 3 มีค่าเฉลี่ยระดับเสียงอยู่ที่ 70.99 เดซิเบลเอ ตามลำดับ ซึ่งภาพรวมส่วนใหญ่พื้นที่ในกระบวนการผลิต มีผลการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ยเป็นไปตามมาตรฐาน ตามกฎหมายของกระทรวงแรงงาน [13, 22] ทั้งนี้ เมื่อนำผลการตรวจวัดระดับเสียงมาวิเคราะห์ในแต่ละพื้นที่ พบว่า ระดับเสียงมีค่าความดังเกิน 85 เดซิเบลเอ อยู่จำนวน 1 จุด ในพื้นที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 0.52 ของจำนวนจุดตรวจวัดทั้งหมด สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า เนื่องจากมีเครื่องจักรอยู่ในบริเวณดังกล่าวจำนวนมากและมีเสียงดังต่อเนื่องติดต่อกันตลอดระยะเวลาการทำงาน จึงเป็นสาเหตุหลักของการเกิดเสียงดังที่เกินมาตรฐาน [28] และในพื้นที่ 2 มีโครงสร้างอาคารแบบปิด อีกทั้งมีแหล่งกำเนิดเสียงที่กระจายตัวมาก จึงสอดคล้องกับงานวิจัย ที่พบว่า การติดตั้งเครื่องจักรที่เรียงต่อกัน ทำให้เกิดปัญหาเสียงดังในการทำงาน [17] ทั้งนี้ จึงจำเป็นต้องดำเนินการควบคุมที่แหล่งกำเนิดของเสียงหรือทางผ่านของเสียง โดยจะต้องปรับปรุงหรือแก้ไขทางด้านวิศวกรรม หรือบริหารจัดการเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพของลูกจ้าง [23] และเพื่อควบคุมระดับเสียงที่ลูกจ้าง

จะได้รับให้ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด [13] พร้อมทั้ง ทบทวนแนวทางมาตรการควบคุมเสียงดังที่มีอยู่ และเฝ้าระวังเสียงดังอย่างสม่ำเสมอ [24–25] พร้อมทั้ง จัดให้มีการตรวจวัดระดับความดังเสียงดังกล่าวซ้ำอีกครั้ง [26]

การกำหนดพื้นที่ในการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลให้ชัดเจนเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก ร่วมกับการพิจารณาจัดหาอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานควบคู่กันไปด้วยในการป้องกันเสียงดัง โดยจะต้องพิจารณาให้ลูกจ้างสวมใส่ที่ครอบหูลดเสียง (Ear muff) ก่อนเป็นลำดับแรก เนื่องจากอุปกรณ์มีคุณสมบัติในการป้องกันความถี่สูงที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรได้ดีกว่าที่อุดหูลดเสียง (Ear plug) พร้อมทั้ง พิจารณาความเหมาะสมกับชนิดหรือประเภทงานที่ลูกจ้างปฏิบัติเสมอ [27] และโรงงานควรวางแผนจัดทำมาตรการอนุรักษ์การได้ยินตามกฎหมายเพิ่มเติม [12] โดยเริ่มต้นจากกำหนดนโยบายการบริหารจัดการทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการลดความเสี่ยงและควบคุมความเสี่ยงของการสัมผัสเสียงของลูกจ้าง [23] ตรวจวัดระดับเสียงประจำปี อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง และทดสอบสมรรถภาพการได้ยิน (Audiometric sting) ให้กับลูกจ้าง เพื่อเฝ้าระวังด้านสุขภาพให้กับลูกจ้างควบคู่กันไปด้วย ดังนั้นแล้ว ในพื้นที่ 2 จะต้องมีการออกข้อบังคับด้านความปลอดภัยในการทำงาน หรือจัดทำคู่มือว่าด้วยความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานของหน่วยงาน เพื่อให้ลูกจ้างได้รับทราบและปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด พร้อมทั้งจัดฝึกอบรมให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอันตรายจากเสียงดัง เพื่อสร้างความตระหนักถึงอันตรายจากเสียงที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำงาน เพื่อให้โรงงานมีสภาพการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ปลอดภัย และเพื่อให้มีมาตรการควบคุม กำกับ ดูแล และบริหารจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ดีภายในโรงงานและเพื่อให้เกิดสุขภาพอนามัยที่ดีแก่ลูกจ้าง

6. ข้อเสนอแนะ

โรงงานจะต้องมีการดำเนินการศึกษาระยะเวลาสัมผัสเสียงดัง และประเมินการสัมผัสเสียงดัง พร้อมทั้ง ตรวจวัดปริมาณเสียงสะสม (Noise Dose) เพื่อบันทึกระดับเสียงทั้งหมดที่ลูกจ้างได้รับ อีกทั้งจะต้องคำนวณค่าเฉลี่ยของระดับความดังในเวลา 8 ชั่วโมง หรือตลอดเวลาที่เครื่องจักรทำงานในพื้นที่ 2 แผนก Injection molding เพิ่มเติม เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยที่เกิดขึ้นในเรื่องระยะเวลาในการตรวจวัดระดับเสียงภายในพื้นที่ อีกทั้งจัดหาอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ชนิดที่ครอบหูลดเสียง เพื่อใช้ในการป้องกันเสียงดังที่เกิดจากเครื่องจักร ทั้งนี้ อย่างน้อยต้องมีค่าการลดเสียง (Noise Reduction Rating; NRR) ตั้งแต่ระดับ 24 เดซิเบลขึ้นไป ก็เพียงพอต่อการลดเสียงดังที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ที่ทำการปกครองจังหวัดลำพูน. (2567, มกราคม. 14). ข้อมูลทั่วไปจังหวัดลำพูน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://lamphunhealth.moph.go.th/>
- [2] สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดลำพูน. (2567, มกราคม. 19). รายงานสรุปผลการดำเนินงาน สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดลำพูน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 (ตุลาคม 2564 – กันยายน 2565), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://lamphun.industry.go.th/th/cms-of-453/a0a263aedb5a9a444af4.pdf>
- [3] The National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH). (2024, Jan. 22). Noise and Occupational Hearing Loss, [Online] Available: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/noise/surveillance/overall.html>
- [4] สำนักงานประกันสังคม (2567, มกราคม. 19). สถานการณ์การประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน ปี 2561-2565, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.sso.go.th/wpr/assets/upload/files_storage/ssoth/102220b2a37b7d0ea4eab82e6fab4741.pdf
- [5] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2024, Feb. 5). Occupational safety and health standards - Standard number 1910.95, [Online] Available: <https://www.osha.gov>

- [6] The National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH). *Occupational noise exposure; criteria for a recommended standard*, DHHS (NIOSH) Publication No. 98-126, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Jun 1998.
- [7] Ahmed, S.S. and Gadelmoula, A.M. (2022). Industrial noise monitoring using noise mapping technique: a case study on a concrete block-making factory, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(2), 851-862.
- [8] Savitree, C.R. and Adul, B.K. (2013). Factors related to standard threshold shift in motor compressor workers, *Thammasat Medical Journal*, 13(1), 59-70.
- [9] จักรพงษ์ อินพรม, สมเกียรติยศ วรเดช, พยงค์ เทพอักษร และ ปุณณพัฒน์ ไชยเมล์, (2564) การเปลี่ยนแปลงระดับการได้ยินจากการประกอบอาชีพ: การทบทวนวรรณกรรม”, *วารสารสาธารณสุขและวิทยาศาสตร์สุขภาพ*, 4(2), 83-99.
- [10] Farhang, A.K., April, L.A., Sheryl, A.M. and A.K. (2013). Mahboubeh, Task specific noise exposure during manual concrete surface grinding in enclosed areas-influence of operation variables and dust control methods, *Journal of occupational and environmental hygiene*, 10(9), 478-486.
- [11] Pierrette, M.J., Catherine, M.F., Julien, M.R., Liliane, R.O., Michel, V.T. et al. (2012). Noise annoyance from industrial and road traffic combined noises: A survey and a total annoyance model comparison, *Journal of environmental psychology*, 32(2), 178-186.
- [12] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, “ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการจัดทำมาตรการอนุรักษ์การได้ยินในสถานประกอบกิจการ”, ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน 2561, เล่ม 135 ตอนพิเศษ 134 ง.
- [13] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและ สภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559, ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 17 ตุลาคม 2559, เล่ม 133 ตอนที่ 91 ก.
- [14] กองความปลอดภัยแรงงาน. (2567, มีนาคม. 12). แนวทางการตรวจวัดและประเมินสภาพแวดล้อมในการทำงาน และการดำเนินการตามพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://osh.labour.go.th/index.php?option=com_k2&view=itemlist&layout=category&task=category&id=27&Itemid=220
- [15] ณัฐพล พิมพ์พรมมา, การตรวจวัดและการจัดทำแผนที่เสียงในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติกของโรงงานแห่งหนึ่ง จังหวัดราชบุรี, *วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม*, 8(2), 2565, หน้า 36-44.
- [16] พรพิมล กองทิพย์, *สุขศาสตร์อุตสาหกรรม*, หจก.เบสท์กราฟฟิค เพรส, กรุงเทพฯ, 2555.
- [17] วิชาญ บุญคำ และ วราภรณ์ ทูมวงษ์, การตรวจวัดและการจัดทำแผนที่เสียงรบกวนในโรงงานผลิตตู้แช่เย็นจังหวัดกรุงเทพมหานคร, *วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม*, 6(2), 2562, หน้า 21-29.
- [18] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการตรวจวัดและการวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง รวมทั้งระยะเวลาและประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ, ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 12 มีนาคม 2561, เล่ม 135 ตอนพิเศษ 57 ง.
- [19] วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, *สุขศาสตร์อุตสาหกรรม: กลยุทธ์ ประเมิน ควบคุมและจัดการ*, หจก.เบสท์กราฟฟิค เพรส, กรุงเทพฯ, 2557.

- [20] ปุณณิสา ผุดผ่อง, *กลยุทธ์การวางแผนการตรวจวัดระดับเสียง การจัดกลุ่ม SEGs และการทำ Noise Contour Map*, เอกสารประกอบการสอน, สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยพะเยา, 2566[21]
- [21] สราวุธ สุธรรมมาสา, *การจัดการมลพิษทางเสียงจากอุตสาหกรรม*, บริษัท เรียงสาม กราฟฟิค ดีไซน์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2547.
- [22] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, “ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน”, ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 26 มกราคม 2561, เล่ม 135 ตอนพิเศษ 19 ง.
- [23] กนกวรรณ อาจแก้ว, สุนิสา ชายเกลี้ยง และวิชัย พุกฤษ์ธาราธิกุล, “ความชุกของการสูญเสียการได้ยินและการสัมผัสเสียงของพนักงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์ทำความเย็น”, *วารสารสาธารณสุข มหาวิทยาลัยบูรพา*, 15(1), 2563, หน้า 1-13.
- [24] Sriopas, A., Chapman, R. S., Sutammasa, S. and Siriwong, W. Occupational noise-induced hearing loss in auto part factory workers in welding units in Thailand, *Journal of occupational health*, 59(1), 2017, 55-62.
- [25] Watchalayann, P. and Laokiat, L. Assessment of hearing loss among workers in a power plant in Thailand, *Applied environmental research*, 41(1), 2019, 38-45.
- [26] ชนานันท์ ภูศรี, อามีราสา, ภัทรภรณ์ สีสะทาน และ พงศ์ธร แสงชูติ. (2567) การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสเสียงดังของผู้ปฏิบัติงานสร้างถนนในจังหวัดเพชรบูรณ์, *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, 13(37), pp. 15-23.
- [27] กระทรวงแรงงาน, พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554, ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2554, เล่ม 128 ตอนที่ 4 ก.
- [28] สมบูรณ์ ใจประการ, ชนกานต์ สกุลแถว, และ มงคล รัชชะ. (2567). การประเมินการสัมผัสเสียงดังของพนักงานที่ปฏิบัติงานในโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา: โรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง, *วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อมและสุขภาพชุมชน*, 9(1), 2567, pp. 340-345.
- [29] สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. (2567, มิถุนายน. 15). การสำรวจสถานะเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในบริบทประเทศไทย และทางเลือกมาตรการทางเศรษฐศาสตร์ สังคม และกฎหมาย ในเป้าหมายที่ 8, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.sdgmovement.com/>

การหาประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ในระบบปรับอากาศจากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายความร้อน เมื่อค่าตัวเก็บประจุเกิดการเสื่อมสภาพ

PERFORMANCE ANALYSIS OF AIR CONDITIONING COMPRESSOR USING THERMAL IMAGING WHEN CAPACITOR DEGRADES

สงกรานต์ ภารกุล^{1*} และ ทวีศักดิ์ ตรงศิริกุล²

Songkran Parakul^{1*} and Thaweesak Trongtirakul²

Received: May 29, 2024

Revised: June 13, 2024

Accepted: June 14, 2024

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

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

บทคัดย่อ

คอมเพรสเซอร์มีบทบาทสำคัญในระบบปรับอากาศ ทำหน้าที่หลักในการอัดสารทำความเย็นให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ โดยปกติแล้ว ในเครื่องปรับอากาศแบบความเร็วจนรอบคงที่ชนิดแยกส่วนจะใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดมอเตอร์คาปาซิเตอร์รันถ่วงค่าของคาปาซิเตอร์มีความเสื่อมค่าลงจากค่าเดิมจะทำให้คอมเพรสเซอร์ในเครื่องปรับอากาศทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การทำงานของคอมเพรสเซอร์โดยวิธีใช้ภาพถ่ายความร้อน ในขั้นต้นสุดท้าย เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพคอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศ จากผลการทดลองพบว่า ค่าความยอมรับได้ของประสิทธิภาพคอมเพรสเซอร์คาปาซิเตอร์ต้องลดลงไม่เกิน 30 uf จากปกติการวิเคราะห์ประสิทธิภาพคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศโดยใช้ภาพถ่ายความร้อนนั้น สามารถนำไปประยุกต์สำหรับการตรวจบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ ให้เหมาะสมกับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและเป็นการป้องกันการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ในเครื่องปรับอากาศและเป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: คอมเพรสเซอร์ ภาพถ่ายความร้อน ประสิทธิภาพ

ABSTRACT

The compressor plays a crucial role in air conditioning systems. Its primary function is to compress the refrigerant, increasing its pressure and temperature, which directly affects the electricity consumption of the air conditioner. Typically, split-type air conditioners with constant speed use capacitor-run motors. If the capacitor's value degrades from its original state, the compressor in the air conditioner will not operate efficiently, leading to energy wastage. This research aims to analyze the performance of the compressor using thermal imaging. In the final stage, the compressor efficiency of the air conditioning system is evaluated. The experimental results indicate that the acceptable efficiency of the compressor requires the capacitor value to decrease by no more than 30 microfarads from the default value. Analyzing compressor efficiency using thermal imaging can be applied for air conditioner maintenance, ensuring optimal performance and preventing equipment deterioration.

Keywords: Compressor, Thermal Imaging, Efficiency

1. บทนำ

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมมากที่สุดอย่างหนึ่งในบ้านทั้งในเมืองและชนบท คือ เครื่องปรับอากาศ [1] เครื่องปรับอากาศในบ้านทำงานอย่างหนักมากโดยเฉพาะในฤดูร้อน ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยเครื่องปรับอากาศจึงเป็นส่วนสำคัญของการใช้พลังงานในครัวเรือน [1] เพื่อให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพด้านพลังงาน วงจรการทำความเย็นและคอมเพรสเซอร์จึงเป็นหัวข้อที่ถูกวิจัยเพื่อใช้สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านพลังงาน [2] ระบบปรับอากาศมีบทบาทสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และคุณภาพอากาศภายในอาคาร การทำงานที่มีประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศช่วยให้ประหยัดพลังงาน [3] คอมเพรสเซอร์เป็นหัวใจหลักของระบบปรับอากาศ ทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศโดยรวม [2] เครื่องปรับอากาศจึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญทั้งในอุตสาหกรรม ที่พักอาศัย และอาคารต่างๆ โดยมีรูปแบบที่หลากหลายขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน เช่น เครื่องปรับอากาศชนิดหน้าต่าง เครื่องปรับอากาศชนิดติดผนัง และเครื่องปรับอากาศชนิดตั้งพื้น นอกจากนี้ยังมีเครื่องปรับอากาศชนิดพกพาที่สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้ [1]

อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในการใช้งานเครื่องปรับอากาศมักเกิดจากการติดตั้งที่ไม่เหมาะสม เช่น การติดตั้งชุดระบายความร้อนในตำแหน่งที่โดนแสงแดดตลอดเวลา หรือการติดตั้งในตำแหน่งที่การถ่ายเทของอากาศไม่สะดวก ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงและอาจทำให้เครื่องปรับอากาศเสียหายเร็วกว่าที่ควร [4] นอกจากนี้ ยังมีปัญหาที่เกิดขึ้นภายในระบบปรับอากาศเอง เช่น การเสื่อมสภาพของตัวเก็บประจุในคอมเพรสเซอร์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศอย่างมาก [5]

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ด้วยภาพถ่ายความร้อนสามารถช่วยตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างแม่นยำ [6] เมื่อค่าตัวเก็บประจุเกิดการเสื่อมสภาพ คอมเพรสเซอร์จะทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ทำให้เกิดความร้อนสูงที่ผิดปกติ การใช้ภาพถ่ายความร้อนสามารถตรวจจับความผิดปกตินี้ได้ ทำให้สามารถดำเนินการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนตัวเก็บประจุได้ทันที ก่อนที่ปัญหาจะลุกลามและทำให้ระบบปรับอากาศทั้งหมดเสียหาย การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างถูกต้อง โดยเฉพาะการใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายความร้อนในการตรวจสอบคอมเพรสเซอร์ เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ระบบปรับอากาศทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ประหยัดพลังงาน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน [7]

การวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายความร้อนในระบบปรับอากาศเริ่มได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา โดยมีหลายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงประโยชน์และประสิทธิภาพของเทคโนโลยีนี้ [8-19] ตัวอย่างเช่น ระบบการรักษาสถิตภัย [8] การตรวจจ็บบ้ำมัน [9-10] การใช้งานทางการแพทย์ [11-16] การช่วยใ้หม่นุชย์มองเห็นรายละเอียดที่สำคัญ [17] การบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [18] และการบำรุงรักษาเกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศ [19] เป็นต้น ภาพถ่ายความร้อนยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระบบปรับอากาศ ทำให้สามารถตรวจจับความผิดปกติได้ เช่น การรั่วของสารทำความเย็น การทำงานผิดปกติของคอมเพรสเซอร์ และการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนภายใน นอกจากนี้แล้ว การใช้ภาพถ่ายความร้อนช่วยในการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (Predictive Maintenance) ซึ่งสามารถตรวจจับปัญหาที่มันจะกลายเป็นปัญหาใหญ่ ทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม งานวิจัยหลายฉบับพบว่า การตรวจสอบและบำรุงรักษาด้วยภาพถ่ายความร้อนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของระบบที่รวมการทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศเข้าด้วยกัน เพื่อควบคุมสภาพอากาศภายในอาคาร (Heating, Ventilation, and Air Conditioning: HVAC) โดยการตรวจจับและแก้ไขปัญหาได้ทันทีที่ ทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและประหยัดพลังงาน

ในปี ค.ศ. 2008 Fernando และคณะ [20] วิเคราะห์ความร้อนของคอมเพรสเซอร์แบบสโครลด้วยภาพถ่ายความร้อน (Infrared Thermography: IRT) เพื่อทำความเข้าใจการทำงานภายในและระบุจุดที่มีความเสี่ยงต่อความเสียหาย ต่อมาในปี ค.ศ. 2021 Deng และคณะ [21] ได้นำเสนอวิธีการใช้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ในระบบปรับอากาศด้วยภาพถ่ายความร้อน ในการวินิจฉัยความผิดปกติของคอมเพรสเซอร์ โดยเน้นที่การระบุรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับความผิดปกติต่างๆ ในปี ค.ศ. 2023 Ferzan และคณะ [22] ศึกษาการประยุกต์ใช้ IRT ในการวินิจฉัยความผิดปกติของคอมเพรสเซอร์ชนิดต่างๆ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการวินิจฉัยแบบดั้งเดิม โดยใช้ two-dimensional

discrete wavelet transform (2D-DWT) แปลงภาพ และคำนวณคุณสมบัติทางสถิติจากภาพ ระบบที่นำเสนอมีข้อดีกว่าวิธีการตรวจจับแบบดั้งเดิม เนื่องจากใช้งานง่าย วัดค่าจากระยะไกลได้ และสามารถปรับตัวได้เอง

ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการวิเคราะห์ภาพสำหรับคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศโดยใช้กล้องถ่ายภาพร้อนมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเสื่อมค่าของชุดอุปกรณ์คาปาซิเตอร์ในคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ เพื่อหาค่าความร้อนของอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการทำการบำรุงรักษา

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อตรวจสอบค่าประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์เมื่อตัวคาปาซิเตอร์เกิดการเสื่อมค่าในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 9,000 BTU ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน
- 2) เพื่อหาจุดเหมาะสมในการบำรุงรักษาโดยการวิเคราะห์จากภาพถ่ายความร้อน

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 จำลองการเสื่อมค่าของคาปาซิเตอร์ในคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศโดยมีเงื่อนไขดังนี้

- 1) สร้างชุดสาธิตเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 9,000 BTU
- 2) วัดขนาดคาปาซิเตอร์ที่ต่ออนุกรมกับขดสตาร์ทของคอมเพรสเซอร์
- 3) หาขนาดคาปาซิเตอร์ที่ต่ออนุกรมกับขดสตาร์ทของคอมเพรสเซอร์โดยใช้คาปาซิเตอร์ขนาด $21 \mu\text{F}$ $24 \mu\text{F}$ $27 \mu\text{F}$ และ $30 \mu\text{F}$ ตามลำดับ
- 4) เปิดเครื่องปรับอากาศให้ระบบปรับอากาศทำงาน โดยใช้คาปาซิเตอร์ขนาดต่าง ๆ ทำงาน 5 นาทีถ่ายภาพถ่ายความร้อน โดยให้เห็นคอมเพรสเซอร์ทั้งภาพ
- 5) ทดสอบที่แรงดันสารทำความเย็นในระบบมีค่าเท่ากับ 75 psi ด้านแรงดันต่ำ

3.2 กำหนดหาประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์

วิธีกำหนดหาประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์โดยใช้อุณหภูมิจากภาพถ่ายความร้อนเพื่อวิเคราะห์ผลการทำงานเมื่อค่าคาปาซิเตอร์ของคอมเพรสเซอร์เปลี่ยนแปลงไป

การใช้ภาพถ่ายความร้อน (Thermal Imaging) เพื่อวัดประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์เป็นวิธีที่ไม่ทำลาย (Non-destructive method) และสามารถให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการทำงานและความร้อนที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์โดยใช้ภาพถ่ายความร้อน

- 1) การคำนวณพลังงานที่สูญเสียของคอมเพรสเซอร์โดยใช้ภาพถ่ายความร้อน ตามสมการที่ (1)

$$P_{\text{out}} = \sum (kQ \cdot \Delta T) \quad (1)$$

โดยที่	P_{Loss}	=	พลังงานที่สูญเสียของคอมเพรสเซอร์มีหน่วยเป็นวัตต์
	Q	=	ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมา มีหน่วยเป็นวัตต์
	ΔT	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิมีหน่วยเป็นเคลวิน
	k	=	ค่าการนำความร้อนของวัสดุที่เป็นพื้นผิวของคอมเพรสเซอร์

จากสมการที่ 1 กำหนดให้ ρ เป็นค่าคงที่ และมีค่า $\rho = kQ$ เมื่อคำนวณหาค่า ρ จะได้ว่า

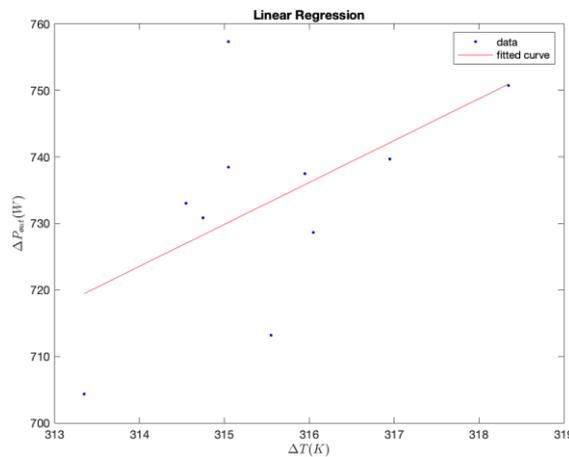
$$\rho = \frac{P_{\text{out}}}{T_s - T_a} \quad (2)$$

<http://jeet.siamtechu.net>

- โดยที่ ρ = ค่าคงที่มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเคลวิน
 P_{out} = กำลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้เพื่ออัดสารทำความเย็นเข้าสู่ระบบมีหน่วยเป็นวัตต์
 T_s = อุณหภูมิผิวของคอมเพรสเซอร์มีหน่วยเป็นเคลวิน
 T_a = อุณหภูมิแวดล้อมมีหน่วยเป็นเคลวิน

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ที่คอมเพรสเซอร์ที่มีค่า $\cos \varphi = 0.96$

	จำนวนครั้ง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9
แรงดัน (V)	230	230	230	231	230	230	230	230	230	230
กระแส (A)	3.30	3.32	3.31	3.33	3.43	3.23	3.34	3.30	3.35	3.40
T_a (C)	33.7	33.7	33.7	33.7	33.8	33.8	33.7	33.7	33.7	33.7
T_s (C)	73.9	75.1	75.3	75.6	75.7	76.2	76.5	76.6	77.5	78.9



รูปที่ 1 การหาค่าคงที่ ρ โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้น

นำค่าจากรูปที่ 1 สมการถดถอยเชิงเส้นสามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\Delta P_{out} = 2.3241\Delta T \quad (3)$$

จากรูปแบบของสมการทั่วไปของเส้นตรง $\Delta y = m\Delta x + c ; c = 0$ นั้น $m = 2.3241$ หรือสามารถสรุปได้ว่า ค่าคงที่ $m = \frac{\Delta P_{out}}{\Delta T} = \rho = 2.3241$ วัตต์ต่อเคลวิน ด้วยเช่นกัน

3.3 คำนวณประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง

การคำนวณประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์เป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานในคอมเพรสเซอร์จากพลังงานที่นำเข้าเป็นงานที่ทำได้โดยเปรียบเทียบระหว่างงานที่ทำได้กับพลังงานที่นำเข้า ซึ่งประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ถูกบอกโดยเปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

จากสมการที่ 4 สามารถประยุกต์ใช้คำนวณประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไป

4. ผลการทดลอง

การทดลองนี้ถูกออกแบบเพื่อทดสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าความเก็บประจุไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ต่อประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าคาปาซิเตอร์จะส่งผลต่อกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่ถูกส่งไปยังคอมเพรสเซอร์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในประสิทธิภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์โตชิบา (Toshiba) รุ่น PH150X1C-4DZDN3 โดยมีการเชื่อมต่อสภาพของคาปาซิเตอร์และการเปลี่ยนแปลงค่าความเก็บประจุไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ โดยทดลองใช้คาปาซิเตอร์ขนาดต่าง ๆ ดังนี้ $21 \mu F$ $24 \mu F$ $27 \mu F$ และ $30 \mu F$ ตามลำดับ โดยมีแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์เท่ากับ 230 โวลต์ และค่าตัวประกอบกำลังงานไฟฟ้า (Power Factor, $\cos \varphi$) เท่ากับ 0.96

คอมเพรสเซอร์ที่ใช้คาปาซิเตอร์ขนาด $21 \mu F$ $24 \mu F$ $27 \mu F$ และ $30 \mu F$ ตามลำดับ ทำงาน 5 นาทีถ่ายภาพถ่ายความร้อน โดยให้เห็นคอมเพรสเซอร์ทั้งภาพ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2



(ก) ภาพถ่ายความร้อนเมื่อค่าคาปาซิเตอร์คอมเพรสเซอร์มีค่า $21 \mu F$



(ข) ภาพถ่ายความร้อนเมื่อค่าคาปาซิเตอร์คอมเพรสเซอร์มีค่า $24 \mu F$



(ค) ภาพถ่ายความร้อนเมื่อค่าคาปาซิเตอร์คอมเพรสเซอร์มีค่า $27 \mu F$



(ง) ภาพถ่ายความร้อนเมื่อค่าคาปาซิเตอร์ของคอมเพรสเซอร์มีค่า $30 \mu F$

รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพถ่ายความร้อนเมื่อค่าคาปาซิเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ขนาดต่าง ๆ

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์จากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายความร้อนเมื่อค่าคาปาซิเตอร์มีค่า 21 μF

ครั้งที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ (ร้อยละ)
	อุณหภูมิแวดล้อม	อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์	
1	33.70	57.40	87.4231
2	33.70	57.90	87.5704
3	33.70	58.30	87.6882
4	33.70	59.90	88.1596
5	33.70	60.30	88.2774
6	33.70	61.40	88.6015
7	33.70	61.60	88.6604
8	33.70	61.90	88.7488
9	33.70	61.90	88.7488
10	33.70	62.00	88.7783
ค่าเฉลี่ย	33.70	60.26	88.2657

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์จากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายความร้อนเมื่อค่าคาปาซิเตอร์มีค่า 24 μF

ครั้งที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ (ร้อยละ)
	อุณหภูมิแวดล้อม	อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์	
1	33.70	61.90	88.7488
2	33.70	61.90	88.7488
3	33.70	64.10	89.3969
4	33.70	64.10	89.3969
5	33.70	64.10	89.3969
6	33.70	64.20	89.4264
7	33.70	64.80	89.6031
8	33.70	65.60	89.8388
9	33.70	65.90	89.9272
10	33.70	66.10	89.9861
ค่าเฉลี่ย	33.70	64.27	89.4470

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์จากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายความร้อนเมื่อค่าคาปาซิเตอร์มีค่า 27 μF

ครั้งที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ (ร้อยละ)
	อุณหภูมิแวดล้อม	อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์	
1	33.70	67.20	91.3102
2	33.70	67.20	90.3102
3	33.70	67.60	90.4280
4	33.70	67.60	90.4280
5	33.70	68.30	90.6343
6	33.70	68.30	90.6343
7	33.70	68.30	90.6343
8	33.70	68.50	90.6932
9	33.70	68.50	90.6932
10	33.70	68.70	90.7521
ค่าเฉลี่ย	33.70	68.02	90.5518

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์จากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายความร้อน เมื่อค่าคาปาซิเตอร์มีค่า 30 μF

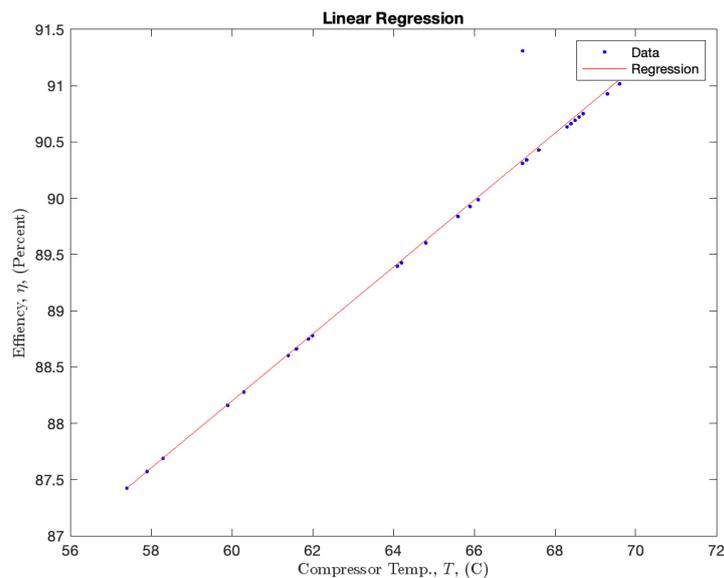
ครั้งที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ (ร้อยละ)
	อุณหภูมิแวดล้อม	อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์	
1	33.70	67.30	90.3396
2	33.70	68.40	90.6637
3	33.70	68.60	90.7226
4	33.70	69.30	90.9289
5	33.70	69.60	91.0172
6	33.70	69.80	91.0762
7	33.70	70.00	91.1351
8	33.70	70.10	91.1645
9	33.70	70.20	91.1940
10	33.70	70.50	91.2824
ค่าเฉลี่ย	33.70	69.38	90.9524

จากตารางที่ 2-5 พบว่า ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิขณะทำงานของคอมเพรสเซอร์สูงขึ้น การลดลงในประสิทธิภาพนี้อาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของวัสดุภายในคอมเพรสเซอร์ที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในทางบวกโดยทำให้ประสิทธิภาพลดลงได้ และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\eta = 4.146T \quad (5)$$

ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากค่าความถี่ที่ต่างกัน จะได้ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง โดยความสัมพันธ์นี้อาจเป็นเส้นตรงตรงในเชิงลบ ซึ่งหมายความว่า เมื่อค่าความถี่ที่มากขึ้น ประสิทธิภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างสัมพันธ์กันแบบตรง ๆ โดยไม่มีการเกิดการเบี่ยงเบน การสร้างกราฟที่เส้นตรงนี้จะช่วยให้เราเข้าใจความสัมพันธ์นี้ได้ชัดเจนขึ้น และสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 5 พบว่า เมื่อ $T = T_a$ จะเกิดข้อผิดพลาดจากในการคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ดังนั้น จากสมการที่ 5 จะสามารถใช้ได้เฉพาะกรณีที่คอมเพรสเซอร์มีการทำงานเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากค่าคาปาซิเตอร์มีค่าที่แตกต่างกัน

5. สรุปผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ในระบบปรับอากาศ โดยใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายความร้อน (Thermal Imaging) เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์การทำงานของคอมเพรสเซอร์ในเงื่อนไขที่ค่าคาปาซิเตอร์ เกิดการเสื่อมสภาพ การทดลองได้ดำเนินการในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 9000 BTU โดยมีขั้นตอนการทดสอบที่ชัดเจนและเป็นระบบ ดังนี้ 1) การสร้างชุดสวิตช์เครื่องปรับอากาศและวัดขนาดคาปาซิเตอร์ที่ต่ออนุกรมกับขดสตาร์ทของคอมเพรสเซอร์ 2) ทดสอบด้วยคาปาซิเตอร์ขนาดต่าง ๆ ได้แก่ $21\mu F$ $24\mu F$ $27\mu F$ และ $30\mu F$ 3) ภาพถ่ายความร้อนถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การกระจายความร้อนและประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ และ 4) วัดค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสว่างในภาพเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ในการระบายความร้อน ผลการวิเคราะห์และประสิทธิภาพ พบว่าการวิเคราะห์การระบายความร้อนโดยใช้ภาพถ่ายความร้อนมีความสอดคล้องกับมาตรฐานการระบายความร้อน ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ภายใต้การใช้งานคาปาซิเตอร์ขนาดต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงตามค่าอุณหภูมิที่วัดได้ โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์สูงสุดอยู่ที่ 90.9524% เมื่อใช้คาปาซิเตอร์ขนาด $30\mu F$ และประสิทธิภาพเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ต่ำสุดอยู่ที่ 88.2657% เมื่อใช้คาปาซิเตอร์ขนาด $21\mu F$ การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนสามารถนำมาใช้ประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศได้กรณีค่าความถี่มีการเสื่อมสภาพตามการใช้งานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Fang, J., Li, X., and Wang, K. (2022) Optimization of Air Conditioning Energy Consumption Based on Indoor Comfort Degree, *34th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Hefei, China, 3791-3796.
- [2] Kim, J. H., Kim, D. M., Jung, Y. H. and Lim, M. S. (2021) 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, 2850-2860.
- [3] Xue, W., Wang, H. and Li, K. (2022) PMV inverse model-based indoor thermal environment control for thermal comfort and energy saving, *41st Chinese Control Conference (CCC)*, Hefei, China. 5294-5299.
- [4] Wu, D., Wei, W., Bai, J., and Mei, S., Energy and Exergy Efficiency Analysis of Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage Based Trigenation Energy Hub. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 9, no. 6, 2409-2422.
- [5] Yoo, H., S. Sul, K., Jang, H., and Hong, Y. (2007). Design of a Variable Speed Compressor Drive System for Air-Conditioner without Electrolytic Capacitor. *IEEE Industry Applications Annual Meeting*, New Orleans, LA, USA, 305-310.
- [6] Li, H. (2021). Thermal Fault Detection and Diagnosis of Electrical Equipment Based on the Infrared Image Segmentation Algorithm. *Advances in Multimedia*, vol. 2021, Article ID 9295771.
- [7] Trivedi, S., Bhola, S., Talegaonkar, A., Gaur, P. and Sharma, S. (2019) Predictive Maintenance of Air Conditioning Systems Using Supervised Machine Learning. *20th International Conference on Intelligent System Application to Power Systems (ISAP)*, New Delhi, India, pp. 1-6.
- [8] Trongtirakul, T. and Agaian, S., New Retinex model-based infrared image enhancement, *Proc. SPIE 12526, Multimodal Image Exploitation and Learning 2023*, 1252606, 15 June 2023, doi: 10.1117/12.2661334.
- [9] T. Trongtirakul, S. Agaian, A. Oulefki, and K. Panetta, "Method for remote sensing oil spill applications over thermal and polarimetric imagery," in *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 48, no. 3, pp. 1-15, 8 May 2023.
- [10] Oulefki, A., Trongtirakul, T., S. Agaian, and Chiracharit, W. (2020). Detection and Visualization of Oil Spill Using Thermal Images," *Proc. SPIE 11399, Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications 2020*, 113990L.
- [11] Trongtirakul, T., Agaian, S. and Oulefki A. (2023). Accurate Tumor Segmentation in Thermograms Breast Images. *Mathematical Biosciences and Engineering*, vol. 20, no. 9, 16786-16806.
- [12] Oulefki, A., Agaian, S., Trongtirakul, T., Benbelkacem, S., Aouam, D., Henda, N. Z., and Abdelli M. L. Virtual Reality Visualization for Computerized COVID-19 Lesion Segmentation and Interpretation. *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 73, 103371, 2022.
- [13] Benbelkacem, S., Oulefki, A., Agaian, S., Zenati-Henda, N., Trongtirakul, T., Aouam, D., Masmoudi, M., and Zemmouri, M. (2022). COVID Automatic COVID-19 CT Image-Based Classification and Visualization Platform Utilizing Virtual and Augmented Reality Technologies. *Diagnostics*, vol. 12, no. 3, 649.
- [14] Oulefki, A., Agaian, S., Trongtirakul, T., and Laouar, A. K. (2021) Automatic COVID-19 Lung Infected Region Segmentation and Measurement Using CT-Scans Images, *Pattern Recognition*, vol. 114, 1-13.

- [15] Benbelkacem, S., Oulefki, A., Agaian, S., Trongtirakul, T., Aouam, D., Henda, N. Z., and Amara, K. (2021) Lung Infection Region Quantification, Recognition, and Virtual Reality Rendering of CT-Scan of COVID-19, *Proc. SPIE 11734, Multimodal Image Exploitation and Learning 2021*, 117340I.
- [16] T. Trongtirakul, A. Oulefki, S. Agaian, and W. Chiracharit, "Enhancement and Segmentation of Breast Thermograms," *Proc. SPIE 11399, Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications 2020*, 113990F, 21 April 2020.
- [17] Trongtirakul, T., Chiracharit, W., and Agaian, S. (2020). Color Restoration of Multispectral Images Near-Infrared (NIR) filter-to-Color (RGB) image. *Proc. IS&T International Symposium on Electronic Imaging 2020, Image Processing: Algorithms and Systems XVIII*, vol. 2020, 180-1-180-5.
- [18] Trongtirakul, T., and Agaian, S. (2022). Unsupervised and Optimized Thermal Image Quality Enhancement and Visual Surveillance Applications. *Signal Processing: Image Communication*. vol. 105, pp. 116714.
- [19] 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, 50-61.
- [20] Ribas, F., Deschamps, C., Fagotti, F. Morriesen, A. and Dutra, T. (2008). Thermal Analysis of Reciprocating Compressors - A Critical Review. *in Proceedings of the International Compressor Engineering Conference*, West Lafayette, IN, USA, 17–20 July 2008.
- [21] Deng, Rongfeng; Lin, Yubin; Tang, Weijie et al., "Fault Diagnosis of Reciprocating Compressors Based on Thermal Imaging and Support Vector Machines." *Proceedings of IncoME-V & CEPE Net-2020: Condition Monitoring, Plant Maintenance and Reliability*, Springer Nature Switzerland AG., vol.105, p. 206-216, 2021.
- [22] Katircioglu, F. and Cingiz, Z. (2024). Fault diagnosis for overcharge and undercharge conditions in refrigeration systems using infrared thermal images. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. vol.238, no.2, 837-850.

การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก

DEVELOPMENT MOBILE APPLICATION TO PROMOTE WEIGHT CONTROL

สุทธิลักษณ์ ชุนประวัต^{1*} ศุภลักษณ์ จาริยศิลป์¹ ธิติ อาจนนลา¹ และ วุฒิชัย เกษพานิช¹
Suttilug Choonprawat¹, Suppaluk Jariyasin¹, Thiti Arjnonla¹ and Vutichai Kespianich¹

¹สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

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

Received: June 4, 2024

Revised: June 20, 2024

Accepted: June 22, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ 1) พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก 2) หาประสิทธิภาพของโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก 3) หาความพึงพอใจของผู้ใช้โมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก โดยกลุ่มตัวอย่างที่ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นพนักงานบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งที่มีความสนใจในการควบคุมการรับประทานอาหารจำนวน 28 คน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ โมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก แบบประเมินประสิทธิภาพของโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้โมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า โมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก ที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย 6 ฟังก์ชัน คือ 1) การบันทึกข้อมูลส่วนตัว 2) การคำนวณแคลอรีที่ต้องการใน 1 วัน 3) แบบบันทึกการรับประทานอาหารในแต่ละวัน 4) รายการอาหารและจำนวนแคลอรี 5) รายงานจำนวนแคลอรีที่รับประทานในแต่ละสัปดาห์และรายเดือน และ 6) การให้ความรู้ด้านโภชนาการ ผลการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก (ด้านเนื้อหา) ภาพรวมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.36$, S.D.=0.52) ผลการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก (ด้านประสิทธิภาพ) ภาพรวมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.91$, S.D.=0.78) และความพึงพอใจในภาพรวมของโมบายแอปพลิเคชันความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}=3.20$, S.D.=0.48)

คำสำคัญ: แอปพลิเคชัน แคลอรี ควบคุมน้ำหนัก

Abstract

This research aims to 1) develop a mobile application to promote weight control, 2) determine the effectiveness of the mobile application for weight control promotion, and 3) assess user satisfaction with the mobile application for weight control promotion. The sample for this research was 28 employees from a private company who are interested in dietary control, selected through purposive sampling. The research tools included the mobile application for weight control promotion, an effectiveness evaluation form for the mobile application, and a user satisfaction evaluation form for the mobile application. The statistical methods used for data analysis included mean and standard deviation.

The research findings indicated that the developed mobile application for weight control promotion comprised six functions: 1) personal data recording, 2) daily calorie requirement calculation, 3) daily food intake recording, 4) food items and calorie content, 5) weekly and monthly calorie intake reports, and 6) nutritional knowledge. The evaluation of the mobile application's effectiveness in terms of content showed a high level of suitability (Mean=4.36, S.D.=0.52). The evaluation of the mobile application's performance indicated a high level of suitability (Mean=3.91, S.D. = 0.78). Overall user satisfaction with the mobile application was moderate (Mean=3.20, S.D.= 0.48).

Keywords: application, calories, weight control

1. บทนำ

ปัญหาจากการวิจัยในสังคมไทยพบว่า ปัญหาภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วน เกิดจากภาวะทางสภาพแวดล้อมและทางสังคมที่เปลี่ยนไป โดยเฉพาะการบริโภคอาหารที่ไม่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากสาเหตุหลัก ๆ เกิดจากการไม่มีเวลา การใช้ชีวิตแบบรีบเร่ง ทำให้การเลือกอาหารที่จะนำมาบริโภคเป็นจำพวกอาหารจานด่วน หรือ ฟาสต์ฟู้ด เป็นส่วนมาก เพราะด้วยการที่สามารถบริโภคง่ายไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ในการรับประทานมากมาย และใช้เวลาในการบริโภคค่อนข้างน้อย หรือบางคนอาจจะเคยชินเพราะอาจติดใจในรสชาติของอาหาร แต่ผู้บริโภคก็หาไม่รู้ว่าอาหารจำพวกฟาสต์ฟู้ด หรือน้ำอัดลมต่าง ๆ นั้นมีปริมาณแคลอรีสูงเพียงใด และไม่ได้คำนึงถึงปริมาณของแคลอรีที่ได้รับประทานไปในแต่ละวันนั้นว่าเกินกว่าความจำเป็นที่ร่างกายต้องการได้รับมากน้อยเพียงใด สาเหตุสำคัญของภาวะ น้ำหนักเกิน คือ พฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ไม่เหมาะสม และการมี กิจกรรมทางกายที่ใช้พลังงานไม่มากพอ ก่อให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างพลังงานที่ได้รับ และ พลังงานที่เผาผลาญ ทำให้เกิดการสะสมพลังงานในรูปแบบไขมัน [1]

โรคอ้วนถือเป็นหนึ่งในโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable Diseases, NCDs) เช่นเดียวกับโรคเบาหวานชนิดที่ 2, โรคความดันโลหิตสูง และโรคมะเร็ง โรคอ้วนนี้เป็นปัญหาสุขภาพระดับโลกที่ทุกคนต้องร่วมมือกันแก้ไข เพราะไม่เพียงแต่ส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกายโดยตรงเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบทางอ้อมต่อเศรษฐกิจและสังคมอีกด้วย องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) ได้นิยามไว้ โรคอ้วนเป็นภาวะที่ร่างกายมีไขมันสะสมมากเกินไป ซึ่งส่งผลให้ระบบต่าง ๆ ในร่างกายไม่สามารถทำงานได้ปกติ นำไปสู่ภาวะอื่น ๆ เช่น ภาวะหยุดหายใจขณะหลับ (Obstructive Sleep Apnea, OSA) ปัญหาข้อต่อ ภูมิคุ้มกันอ่อนแอ ความผิดปกติทางเมตาบอลิก ระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดสูง การอักเสบในร่างกาย เพิ่มความเสี่ยงต่อโรคเบาหวานชนิดที่ 2 โรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular Diseases, CVDs) และโรคมะเร็ง [2]

ภาวะน้ำหนักเกินหรือโรคอ้วน คือ ภาวะที่ร่างกายมีการสะสมไขมันมากผิดปกติหรือมากกว่าที่ร่างกายจะเผาผลาญออกไป จนทำให้เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสุขภาพ เหนื่อยง่าย หายใจลำบาก ทำกิจกรรมต่าง ๆ ยากลำบากขึ้น สูญเสียความมั่นใจ นอนกรน ปวดข้อ ปวดหลัง ไขมันในเลือดสูง หอบหืด โรคเบาหวาน โรคหัวใจ ไปจนถึงมะเร็งลำไส้ และโรคร้ายแรงอื่นๆ ที่อาจพัฒนาตามหลังจากภาวะอ้วนได้ ผู้ที่มีภาวะอ้วน คือ ผู้ที่มีไขมันส่วนเกินสะสมอยู่ในร่างกายปริมาณมาก ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ คือ หายใจติดขัด นอนกรน เหนื่อยง่าย ร้อนง่าย เหงื่อออกง่าย ทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ยากลำบาก จนอาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพอื่นๆ รวมถึงความไม่มั่นใจในตนเอง อาจทำให้มีปัญหาด้านความสัมพันธ์หรือการเข้าสังคมและปัญหาสุขภาพจิตอย่างภาวะซึมเศร้าที่อาจเกิดขึ้นตามมา การศึกษาใหม่ที่เผยแพร่ในวารสาร Lancet แสดงให้เห็นว่าในปี 2565 ผู้คนมากกว่า 1 พันล้านคนทั่วโลกต้องทนทุกข์ทรมานจากโรคอ้วน สถิติจากทั่วโลกพบว่าโรคอ้วนในผู้ใหญ่เพิ่มขึ้นมากกว่าสองเท่าตั้งแต่นั้นปี พ.ศ. 2533 และเพิ่มขึ้นสี่เท่าในเด็กและวัยรุ่น (อายุ 5 ถึง 19 ปี) ข้อมูลยังแสดงให้เห็นว่า ร้อยละ 43 ของประชากรวัยผู้ใหญ่ที่มีภาวะน้ำหนักเกินในปี 2565 [3]

มนุษย์เปรียบเสมือนเครื่องจักรที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงาน พลังงานนี้มาจากอาหารที่รับประทาน โดยผ่านกระบวนการย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนเป็นสารอาหารที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ แคลอรี (Calorie) เป็นหน่วยวัดพลังงานที่ใช้กันทั่วไป 1 แคลอรี หมายถึง ปริมาณความร้อนที่จำเป็นในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำหนักน้ำ 1 กรัม ขึ้น 1 องศาเซลเซียส ในทางโภชนาการ มักใช้หน่วยกิโลแคลอรี (kcal) แทนแคลอรี 1 กิโลแคลอรี หมายถึง ปริมาณความร้อนที่จำเป็นในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำหนักน้ำ 1 กิโลกรัม ขึ้น 1 องศาเซลเซียส ร่างกายต้องการพลังงานในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น เพศ น้ำหนัก อายุ ระดับกิจกรรม และองค์ประกอบของร่างกาย โดยทั่วไป ร่างกายต้องการพลังงานประมาณ 25 กิโลแคลอรี ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน อัตราการเผาผลาญพลังงานพื้นฐาน (Basal Metabolic Rate - BMR) หมายถึง พลังงานขั้นต่ำที่ร่างกายต้องการเพื่อคงไว้ซึ่งฟังก์ชันการทำงานพื้นฐาน เช่น การหายใจ การเต้นของหัวใจ และการรักษาอุณหภูมิร่างกายโดยเฉลี่ย ผู้ชายต้องการพลังงานประมาณ 1,800–2,500 กิโลแคลอรีต่อวัน ส่วนผู้หญิงต้องการพลังงานประมาณ 1,500–2,000 กิโลแคลอรีต่อวัน [4]

ปัจจุบันสังคมไทยมีการใช้อุปกรณ์เคลื่อนที่อย่างโทรศัพท์มือถือ อย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีแอปพลิเคชัน มากมายถูกพัฒนาให้สามารถรองรับการทำงานจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ โดยในแต่ละแอปพลิเคชันนั้น สามารถที่จะตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ทั้งยังมีการพัฒนาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้อุปกรณ์เคลื่อนที่เหล่านั้นได้ง่ายและสะดวกสบายมากขึ้น และในปัจจุบันอุปกรณ์เคลื่อนที่เหล่านี้มีหลากหลายระบบปฏิบัติการที่พัฒนาออกมาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกบริโภคได้ตามความต้องการ แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ถือได้ว่าเป็นสิ่งที่อยู่ติดตัวของผู้ใช้ตลอดเวลา และในอนาคตจะมีความสำคัญมากขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากทุกๆ อย่างจะรวมอยู่ในแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ [5] ดังนั้นการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้จึงไม่ใช่เรื่องยากและสามารถพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้ในชีวิตประจำวัน

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้งานบนอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่หรือสมาร์ทโฟนมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคและสนับสนุนให้ผู้ใช้สมาร์ทโฟนสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น ปัจจุบันมีหลายระบบปฏิบัติการที่ได้รับการพัฒนาออกมาเพื่อให้ผู้บริโภคได้ใช้งาน ซึ่งระบบปฏิบัติการที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับมากที่สุดคือ iOS และ Android ทำให้เกิดการพัฒนาแอปพลิเคชันต่าง ๆ บนสมาร์ทโฟนอย่างมากมาย อาทิ ระบบซื้อของออนไลน์ ระบบสั่งอาหารออนไลน์ ระบบจองคิวล่วงหน้า โปรแกรมการสนทนาออนไลน์ แผนที่ และเกมส์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มช่องทางในการสื่อสารและให้บริการแก่ลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [6]

จากปัญหาดังกล่าวนั้น ผู้วิจัยจึงคิดจัดทำแอปพลิเคชันที่ใช้ในการควบคุมแคลอรีในแต่ละวัน เพื่อให้ผู้ใช้ได้บันทึกการรับประทานอาหารในแต่ละวัน เพื่อให้ได้ผลจากการบันทึกแคลอรีไปพิจารณาการควบคุมอาหารในแต่ละวัน ไม่ให้เกิดเกินเกณฑ์ที่ร่างกายสามารถเผาผลาญเองได้ และเมื่อทราบถึงพลังงานที่ได้รับแล้ว ก็จะได้มีการเลือกรับประทานอาหารในครั้งต่อ ๆ ไปภายในวันนั้น ๆ ได้ เมื่อสามารถที่จะควบคุมการรับประทานอาหารได้แล้ว ก็จะทำให้ร่างกายได้รับพลังงานที่เหมาะสม ไม่เกิดการสะสมของพลังงานที่เป็นส่วนเกิน ก็จะไม่นำไปสู่การเกิดภาวะน้ำหนักเกินหรือโรคอ้วนได้ ทั้งนี้การออกกำลังกายควบคู่กันไปก็จะส่งผลให้สุขภาพดีขึ้นไปอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก
- 2) เพื่อหาประสิทธิภาพของโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก
- 3) เพื่อหาความพึงพอใจของผู้ใช้โมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก

3. ขอบเขตของงานวิจัย

การทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ พนักงานบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งที่มีความสนใจในการควบคุมการรับประทานจำนวน 30 คน

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการวิจัยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยอ้างอิงหลักการของ Krejcie & Morgan คือ พนักงานบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งที่มีความสนใจในการควบคุมการรับประทานอาหารจำนวน 28 คน [7]

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนาครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

4.1.1 โมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก

โมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนักมีขั้นตอนในการออกแบบโครงสร้างโมบายแอปพลิเคชัน ออกแบบหน้าจอเพื่อรองรับการใช้งาน ผู้วิจัยจัดออกแบบหน้าจอให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน โดยมีหน้าจอหลักดังนี้ 1) การบันทึกข้อมูลส่วนตัว 2) การคำนวณแคลอรีที่ต้องการใน 1 วัน 3) แบบบันทึกการรับประทานอาหารในแต่ละวัน 4) รายการอาหารและจำนวนแคลอรี 5) รายงานจำนวนแคลอรีที่รับประทานในแต่ละสัปดาห์และรายเดือน 6) การให้ความรู้ด้านโภชนาการ

4.1.2 แบบประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก

การประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก ผู้วิจัยได้นำโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนักที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ โดยผู้เชี่ยวชาญได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ ทางด้านของการออกแบบหน้าจอของโมบายแอปพลิเคชัน ผู้เชี่ยวชาญได้ให้คำแนะนำว่าควรจัดให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นมาตรฐานทั่วไปของโมบายแอปพลิเคชัน ด้านการเน้นข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญได้ให้คำแนะนำว่าในแต่ละหน้าที่มีข้อมูลสำคัญให้ออกแบบให้เด่นชัด และควรมีรูปภาพที่สอดคล้องกับโมบายแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญได้ให้คำแนะนำในส่วนต่าง ๆ คือ การใช้ภาษาควรใช้ภาษาไทยในการอธิบายหรือยกตัวอย่าง ตรวจสอบคำผิดให้ละเอียด จากนั้นนำแบบประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมิน และได้แบ่งการประเมินออกเป็น 2 ด้าน ๆ ดำเนินการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก ดังนี้ ด้านเนื้อหา และ ด้านประสิทธิภาพ โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากสถิติค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้เกณฑ์ประเมินและการแปรผล [6] ดังนี้ 4.50–5.00 หมายถึง ความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก 3.50–4.49 หมายถึง ความเหมาะสมอยู่ในระดับดี 2.50–3.49 หมายถึง ความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง 1.50–2.49 หมายถึง ความเหมาะสมอยู่ในระดับน้อย อาจต้องปรับปรุงบ้าง 1.00–1.49 หมายถึง ความเหมาะสมอยู่ในระดับน้อยที่สุด ควรปรับปรุงอย่างยิ่ง

4.1.3 การประเมินความพึงพอใจ

แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้โมบายแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก แบบประเมินที่ออกแบบไว้ให้ผู้ทดลองใช้โมบายแอปพลิเคชันประเมินผล เก็บรวบรวมผล ที่ได้จากแบบประเมิน มาทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติเข้ามาช่วยในการสรุปผล การประเมินความพึงพอใจของโมบายแอปพลิเคชัน ใช้เกณฑ์ประเมินและการแปรผลเป็นช่วงคะแนนได้ 5 ระดับ ดังนี้ 4.50–5.00 โมบายแอปพลิเคชันอยู่ในระดับดีมาก 3.50–4.59 โมบายแอปพลิเคชันอยู่ในระดับดี

2.50–3.49 โมบายแอปพลิเคชันอยู่ในระดับพอใช้ 1.50–2.49 โมบายแอปพลิเคชันอยู่ในระดับที่ควรปรับปรุง และ 1.00–1.49 โมบายแอปพลิเคชันอยู่ในระดับไม่พึงพอใจ [6] การประเมินด้านความพึงพอใจนั้น เป็นการประเมินเพื่อให้ทราบว่าโมบายแอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นมานั้นมีความถูกต้องเหมาะสม อำนาจความสะดวกและใช้งานได้ประโยชน์มากน้อยเพียงใด โดยแบ่งหัวข้อในการใช้ประเมินโมบายแอปพลิเคชันออกเป็น 10 หัวข้อ ดังนี้

- 1) การออกแบบหน้าจอโดยรวม
- 2) ความถูกต้องของโมบายแอปพลิเคชัน
- 3) รายการอาหารมีความหลากหลายตรงตามความต้องการ
- 4) โมบายแอปพลิเคชันใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน
- 5) ความเหมาะสมของโมบายแอปพลิเคชัน
- 6) ประโยชน์ของโมบายแอปพลิเคชัน
- 7) โมบายแอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้จริง
- 8) โมบายแอปพลิเคชันมีความทันสมัย
- 9) ความน่าสนใจของโมบายแอปพลิเคชัน และ
- 10) ในภาพรวมท่านมีความพึงพอใจกับโมบายแอปพลิเคชัน

5. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมฐานข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทดลองใช้โมบายแอปพลิเคชัน MyKcal โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

การทดลองด้วยโมบายแอปพลิเคชัน MyKcal ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น โดยผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุมกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยจะกำหนดเวลาในการทดลองช่วงวันจันทร์–วันอาทิตย์ เวลา 06.00–18.00 น. และชั่วโมงแรกมีการอธิบายถึงการใช้โมบายแอปพลิเคชัน MyKcal อย่างละเอียดก่อนทำการทดสอบโมบายแอปพลิเคชัน MyKcal โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำความเข้าใจในวิธีการใช้โมบายแอปพลิเคชัน MyKcal จากนั้นกลุ่มตัวอย่างจึงดำเนินการทดสอบการใช้งานโมบายแอปพลิเคชัน MyKcal ด้วยตัวเอง โดยผู้วิจัยเป็นผู้คอยควบคุม และให้คำแนะนำเวลาที่ใช้ทดลองโมบายแอปพลิเคชัน MyKcal จะใช้เวลา 7 วัน จากนั้นผู้วิจัยนำผลแบบประเมินให้กลุ่มตัวอย่างทำการประเมินและนำผลที่ได้ได้จากกลุ่มตัวอย่างมาคิดหาค่าเฉลี่ย

6. ผลของการวิจัย

ผลการวิจัยเป็นลำดับดังนี้

6.1 ผลการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน



(1)



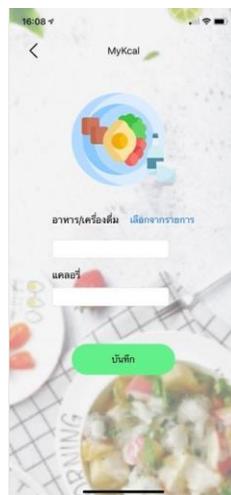
(2)



(3)



(4)



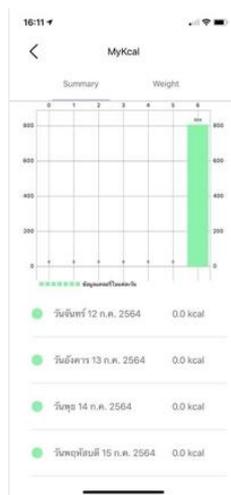
(5)



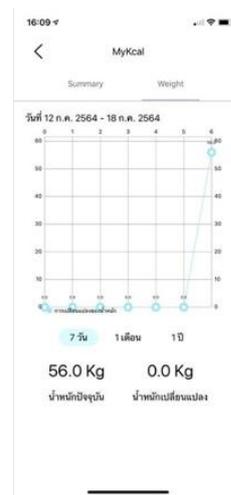
(6)



(7)



(8)



(9)

ภาพที่ 1 ตัวอย่างโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก

6.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก

จากแบบประเมินการใช้งานโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก ที่สร้างขึ้นนี้มีการนำไปทดลองใช้งานกับผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันจำนวน 5 ท่าน ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก (ด้านเนื้อหา)

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	แปลผล
1. เนื้อหาที่มีความถูกต้องเหมาะสม	4.60	0.54	ความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก
2. เนื้อหาถูกต้องตามวัตถุประสงค์	4.00	0.70	ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก
3. การจัดลำดับเนื้อหา	4.40	0.54	ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก
4. การแบ่งหมวดหมู่	4.20	0.44	ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก
5. ความถูกต้องในการใช้ภาษา	4.60	0.54	ความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก
ภาพรวม	4.36	0.52	ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก (ด้านเนื้อหา) เนื้อหาที่มีความถูกต้องเหมาะสมและความถูกต้องในการใช้ภาษา มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}=4.60$, S.D.=0.54) รองลงมาเป็นการจัดลำดับเนื้อหาที่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.40$, S.D.=0.54) รองลงมาเป็น การแบ่งหมวดหมู่ ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.20$, S.D.=0.44) รองลงมาเป็น เนื้อหาถูกต้องตามวัตถุประสงค์ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.00$, S.D.=0.70) ภาพรวมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.36$, S.D.=0.52)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก (ด้านประสิทธิภาพ)

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	แปลผล
1. การออกแบบจอภาพ	4.80	0.44	ความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก
2. การออกแบบให้ใช้งานง่าย	3.60	0.54	ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก
3. ประสิทธิภาพในการทำงาน	3.80	0.44	ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก
4. ความสะดวกในการใช้งาน	3.20	0.44	ความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง
5. ความปลอดภัยของข้อมูล	3.20	0.44	ความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง
6. ความสวยงาม ความทันสมัย	4.20	0.83	ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก
7. ความเหมาะสมในการใช้สี	4.60	0.54	ความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก
ภาพรวม	3.91	0.78	ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก (ด้านประสิทธิภาพ) การออกแบบจอภาพมีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}=4.80$, S.D.=0.44) รองลงมาเป็น ความเหมาะสมในการใช้สีมีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}=4.60$, S.D.=0.54) รองลงมาเป็น ความสวยงาม ความทันสมัยความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.20$, S.D.=0.83) รองลงมาเป็น ประสิทธิภาพในการทำงานความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.80$, S.D.=0.44) รองลงมาเป็น การออกแบบให้ใช้งานง่าย ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.60$, S.D.=0.54) รองลงมาเป็น ความสะดวกในการใช้งานและความปลอดภัยของข้อมูลความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}=3.20$, S.D.=0.44) ภาพรวมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.91$, S.D.=0.78)

6.3 ผลการประเมินความพึงพอใจ

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก กลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มพนักงานบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งที่ต้องการลดน้ำหนักจำนวน 28 คน เพื่อหาความพึงพอใจของผู้ใช้โมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก ซึ่งผลการประเมินเป็นค่าเฉลี่ยและเกณฑ์ ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	แปลผล
1 การออกแบบหน้าจอโดยรวม	3.07	0.45	ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
2. ความถูกต้องของโมบายแอปพลิเคชัน	3.00	0.26	ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
3. รายการอาหารมีความหลากหลายตรงตามความต้องการ	3.60	0.62	ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
4. โมบายแอปพลิเคชันใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน	3.57	0.63	ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
5. ความเหมาะสมของโมบายแอปพลิเคชัน	3.20	0.55	ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
6. ประโยชน์ของโมบายแอปพลิเคชัน	3.67	0.80	ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
7. โมบายแอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้จริง	3.60	0.89	ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
8. โมบายแอปพลิเคชันมีความทันสมัย	3.20	0.41	ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
9. ความน่าสนใจของโมบายแอปพลิเคชัน	3.07	0.25	ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
10. ในภาพรวมท่านมีความพึงพอใจกับโมบายแอปพลิเคชัน	3.20	0.48	ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลการความพึงพอใจของผู้ใช้งานโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก ด้านประโยชน์ของโมบายแอปพลิเคชันความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.67$, S.D.=0.80) รองลงมาเป็นด้านรายการอาหารความหลากหลายตรงตามความต้องการและด้านโมบายแอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้จริงความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.60$, S.D.=0.89) รองลงมาเป็นด้านโมบายแอปพลิเคชันใช้งานง่ายไม่ซับซ้อนความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.57$, S.D.=0.63) รองลงมาเป็นด้านความเหมาะสมของโมบายแอปพลิเคชัน โมบายแอปพลิเคชันมีความทันสมัยความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}=3.20$, S.D.=0.41) รองลงมาเป็นด้านการออกแบบหน้าจอโดยรวมและความน่าสนใจของโมบายแอปพลิเคชันความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}=3.07$, S.D.=0.48) รองลงมาเป็นความถูกต้องของโมบายแอปพลิเคชันความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}=3.00$, S.D.=0.26) และความพึงพอใจในภาพรวมของโมบายแอปพลิเคชันความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}=3.20$, S.D.=0.48)

7. อภิปรายผล

ผลสรุปการประเมินโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก ผู้วิจัยได้ทำการสรุปและอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ 3 ข้อ ดังนี้

- 1) ผลการออกแบบโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนักประกอบด้วย 6 ฟังก์ชัน คือ 1) การบันทึกข้อมูลส่วนตัว 2) การคำนวณแคลอรีที่ต้องการใน 1 วัน 3) แบบบันทึกการรับประทานอาหารในแต่ละวัน 4) รายการอาหารและจำนวนแคลอรี 5) รายงานจำนวนแคลอรีที่รับประทานในแต่ละสัปดาห์และรายเดือน 6) การให้ความรู้ด้านโภชนาการ
- 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก (ด้านเนื้อหา) ภาพรวมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.3$, S.D.=0.52) ผลการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก (ด้านประสิทธิภาพ) ภาพรวมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.9$, S.D.=0.78) สอดคล้อง

กับงานวิจัยของ ดร.วัชรีย์ เพ็ชรวงษ์ และคณะเรื่องการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการบริโภคผักปลอดภัยตามแนวคิดเกมมิฟิเคชัน ผลการประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันส่งเสริมการบริโภคผักปลอดภัยตามแนวคิดเกมมิฟิเคชันด้านความสามารถในการใช้งาน (Usability) พบว่า ทุกข้อ มีประสิทธิภาพในระดับมาก ทุกข้อ ทั้งนี้ข้อแอปพลิเคชันใช้สัญลักษณ์ ข้อความ สีและรูปภาพที่สื่อสาร เข้าใจง่ายและข้อความสามารถในการควบคุมและความเป็นอิสระในการใช้งานของแอปพลิเคชัน มีความเหมาะสมมีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{X}=4.14$ S.D. = 0.77 และ $\bar{X}=4.14$ S.D.=0.83) ตามลำดับ [9]

- 3) ผลการความพึงพอใจของผู้ใช้งานโมบายแอปพลิเคชันส่งเสริมการควบคุมน้ำหนัก ภาพรวมของโมบายแอปพลิเคชันความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}=3.20$, S.D.=0.48) สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภรณ์ แก้วเสริม ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนสำหรับการดูแลผู้สูงอายุ ประกอบด้วย 3 ฟังก์ชัน คือ 1) ช่องทางการให้คำปรึกษาทางการแพทย์สำหรับผู้สูงอายุ 2) ช่องทางการเรียกใช้หน่วยแพทย์ฉุกเฉิน และ 3) ช่องทางการให้ความรู้ด้วยบทความเกร็ดความรู้เกี่ยวกับการดูแลผู้สูงอายุ และผลการศึกษาความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพการใช้งานแอปพลิเคชันจากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความพึงพอใจภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.46$, S.D. = 0.57) [5] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศศิพิมพ์ ชราลักษณ์ และคณะ ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันด้วยหลักการประสบการณ์ผู้ใช้งานเชิงลึก เพื่อส่งเสริมการประชาสัมพันธ์เชิงรุกวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผลการวิจัย พบว่า 1) โมบายแอปพลิเคชันด้วยหลักการประสบการณ์ผู้ใช้งานเชิงลึกที่พัฒนาขึ้นมีองค์ประกอบ 2 ระบบ (1.1) ระบบผู้ดูแลระบบ และ (1.2) ระบบผู้ใช้งาน และ 2) ผลการใช้โมบายแอปพลิเคชันด้วยหลักการประสบการณ์ผู้ใช้งานเชิงลึกที่พัฒนาขึ้น พบว่า (2.1) ผลการประเมินประสิทธิภาพโมบายแอปพลิเคชันด้วยหลักการประสบการณ์ ผู้ใช้งานเชิงลึกที่พัฒนาขึ้นในภาพรวม มีความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.32$, S.D.=0.54) และ (2.2) ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานโมบายแอปพลิเคชันด้วยหลักการประสบการณ์ผู้ใช้งานเชิงลึกที่พัฒนาขึ้นในภาพรวมทั้ง 4 ด้าน (ด้านการออกแบบ ด้านประสิทธิภาพ ด้านการนำไปใช้งาน และด้านคู่มือการใช้งาน) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.62$, S.D.=0.42) ตามลำดับ จากผลการวิจัยข้างต้นสรุปได้ว่า โมบายแอปพลิเคชันด้วยหลักการประสบการณ์ผู้ใช้งานเชิงลึกที่พัฒนาขึ้นสามารถนำมาใช้ในการประชาสัมพันธ์เชิงรุกผ่านอุปกรณ์สื่อสารให้กับวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากมีกระบวนการออกแบบและพัฒนาอย่างเป็นระบบก่อให้เกิดประสิทธิภาพต่อการบริหารจัดการข้อมูลข่าวสารส่งผลให้การประชาสัมพันธ์เกิดความสะดวก รวดเร็ว ผู้ใช้งานได้รับข้อมูลข่าวสารที่ตรงกันได้ในทุกที่ทุกเวลาและในทิศทางเดียวกัน ช่วยในด้านการเพิ่มความพึงพอใจต่อการรับรู้ข้อมูลข่าวสารเชิงรุกได้ [8]

8. ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรดำเนินการให้ความรู้ด้านโภชนาการให้มากขึ้น รวมถึงการให้ความรู้ในด้านของอาหารแต่ละชนิดข้อดี ข้อเสียของการบริโภคอาหารแต่ละชนิดมากเกินไปหรือน้อยเกินไป
- 2) ควรเพิ่มการแนะนำอาหาร โดยการใช้การสแกนหรือถ่ายรูป และให้คำแนะนำปริมาณแคลลอรี่
- 3) เพิ่มการสร้าง Challenge การแข่งขันหรือการตั้งเป้าหมาย โดยสามารถจัดตั้งกลุ่มหรือเชิญเพื่อนมาร่วมในการแข่งขันได้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] จตุพร จ้ารองเพ็ง. (2560). ผลของโปรแกรมควบคุมน้ำหนักต่อพฤติกรรมการบริโภคอาหาร พฤติกรรมการมีกิจกรรมทางกาย และน้ำหนักตัว ของเด็กวัยเรียนตอนปลายที่มีภาวะน้ำหนักเกิน. กรุงเทพมหานคร: คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [2] นายแพทย์ตฤพล วิรุฬหกการุญ. (4 มีนาคม 2567). วิกฤตโรคอ้วน กับคุณหมอแอมป์. เข้าถึงได้จาก <https://www.bdmswellness.com/>: <https://www.bdmswellness.com/>
- [3] World Health Organization Thailand. (1 March 2024). ปัจจุบันประชากร 1 ใน 8 คนเป็นโรคอ้วน. เข้าถึงได้จาก Thailand, World Health Organization: <https://www.who.int/thailand/th/news>
- [4] คุณหมอลูกหนู. (4 มิถุนายน 2021). สูตรลับกำหนดอาหาร ลดน้ำหนักยังไงก็เห็นผล. เข้าถึงได้จาก KMB: <https://doctorlooknuu.com/>
- [5] ศุภรัตน์ แก้วเสริม. (2565). การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการดูแลผู้สูงอายุบนสมาร์ตโฟน. วารสารวิจัยวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, 44-59.
- [6] none. (2020, เมษายน 27). Mobile Application. Retrieved from Knowledge Room: <https://www.uds.co.th/article/2020/04/27/mobile-application/>
- [7] วัลลภ รัฐฉัตรานนท์. (2562). การหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการวิจัยมายาคติในการใช้สูตรของทาโร่ ยามาเน่ และเครทซ์ซิมเมอร์แกน. วารสารสหวิทยาการวิจัย: ฉบับบัณฑิตศึกษา, 11-28.
- [8] ศศิพิมพ์ ชราลักษณ์. (2022). การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันด้วยหลักการประสบการณ์ผู้ใช้งานเชิงลึก เพื่อส่งเสริมการประชาสัมพันธ์เชิงรุกวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. เทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา, 17-33.
- [9] วัชรีย์ เพ็ชรวงษ์ และคณะ. (2561). การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อส่งเสริมการบริโภคผักปลอดภัย. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าทางบกด้วยรถบรรทุก
กรณีศึกษา บริษัท เอ็มอีทรานส์ จำกัด

EVALUATING THE CARBON FOOTPRINT OF ENERGY USE IN ROAD FREIGHT TRUCKING SYSTEMS: A CASE STUDY OF M.E. TRANS COMPANY LIMITED

ชลิดา โปะะมา^{1*} วรวิทย์ โปะะมา² สานิตย์ สงสุรินทร์³ และ สิวัทธม ธรรมประดิษฐ์¹

Chalida Pohma^{1*}, Worawut Poma², Sanit Songsurin³ and Sisawat Thammapradit¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Received: June 5, 2024

²คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Revised: June 18, 2024

³นักวิจัยอิสระ

Accepted: June 21, 2024

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

บทคัดย่อ

จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนของ
ประเทศทั่วโลก ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นหนึ่งในความสำคัญที่สุดในยุคนี้ และอุตสาหกรรมขนส่งมี
บทบาทสำคัญในการสร้างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่สร้าง
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง จึงมีความตระหนักถึงการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้
พลังงานในระบบขนส่งทางบกด้วยรถบรรทุกสินค้า ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นวิธีการคำนวณปริมาณการ
ปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีหน่วยเป็นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
ตามแนวทางของหน่วยงานองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูล
พลังงานของกิจกรรมระบบขนส่งสินค้าทางบกของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบกด้วยรถบรรทุก และเพื่อศึกษา
การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบก จึงมีการเก็บ
ข้อมูลรายปีจากผู้ประกอบการขนส่งสินค้าไปยังจังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทย จากงานวิจัยศึกษาข้อมูลพลังงาน
ของกิจกรรมระบบขนส่งสินค้าทางบกของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบก โดยมีปริมาณและจังหวัดปลายทางของเส้นทาง
การขนส่งสินค้าต่อปี โดยพบว่าการดำเนินการขนส่งสินค้าต้นทางจากจังหวัดสมุทรปราการ และขนส่งไปยังจังหวัด
ปลายทางจังหวัดสงขลาซึ่งมีการขนส่งสินค้า ซึ่งมีระยะทางเฉลี่ย 991.9 กิโลเมตร โดยการใช้รถบรรทุก 6 ล้อ ขนาดใหญ่
น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง การบรรทุกเต็มคัน และการวิ่งเปล่า ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 3,255.42 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี และในส่วนของการใช้รถบรรทุก 10 ล้อ
ขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุดเฉลี่ย 16 ตัน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าในการ
Load สินค้าเที่ยวกลับเป็นเที่ยวเปล่า 100% จะมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการขนส่งสินค้าโดยมีการ
ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงรถสำหรับการขนส่งของผู้ประกอบการเท่ากับ 7,275.59 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
ด้วยเหตุผลดังกล่าวเพื่อให้มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยลง จึงมีแนวทางการบริหารจัดการรถบรรทุกโดย
การนำเชื้อเพลิงทางเลือกไบโอดีเซลหรือพลังงานสะอาดอื่นๆ มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้
ดีเซลหรือเบนซิน และปรับปรุงเทคโนโลยีเครื่องยนต์ของการใช้พลังงานทดแทนสามารถลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการ
ขนส่งสินค้าได้อย่างมีนัยสำคัญ ตลอดจนการนำรถบรรทุกไฟฟ้า (EV) มาให้บริการ

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ การขนส่ง ก๊าซเรือนกระจก

Abstract

Climate change is a significant factor impacting the environment and the sustainability of countries worldwide. Climate change is one of the most crucial issues of our time, and the transportation industry plays a vital role in generating carbon dioxide (CO₂), which is a part of greenhouse gases (GHGs) that directly affect climate change. There is an awareness of the need to assess the carbon footprint of energy use in land freight transportation using trucks. Therefore, this research focuses on calculating GHG emissions using the greenhouse gas emission coefficient in units of carbon dioxide equivalent (CO₂eq), following the guidelines of the Greenhouse Gas Management Organization (TGO). The objective is to study the energy data of land freight transportation activities by land freight operators using trucks and to evaluate the carbon footprint of energy use in the freight transportation system. Annual data collection from freight operators transporting goods to the southern provinces of Thailand was conducted. The research studied energy data from land freight operators' land freight transportation activities, including the quantity and destination provinces of the transportation routes per year. The transportation of goods originates from Samut Prakan province has transported to Songkhla province, with an average distance of 991.9 kilometers by large six-wheel trucks with a maximum load of 11 tons. The vehicles have consumed some diesel fuel, From the data recorded on the full truckload and empty running This makes the annual carbon dioxide emissions equal to 3,255.42 kgCO₂eq/year and in the case of using large 10-wheel trucks the average maximum load weight is 16 tons. Using diesel as fuel emits carbon dioxide. It was found that when loading goods on the return trip, it was a 100% empty trip. There would be an amount of carbon dioxide released from the transportation of goods, with the use of vehicle fuel for transport by the operator equal to 7,275.59 kgCO₂eq / year. For these reasons, in order to reduce greenhouse gas emissions, truck management methods using alternative fuels, biodiesel or other clean energy sources have lower emissions compared with diesel or gasoline, improving engine technology of renewable energy sources can significantly reduce the carbon footprint of cargo transportation, and adopting electric vehicles (EV) to provide services.

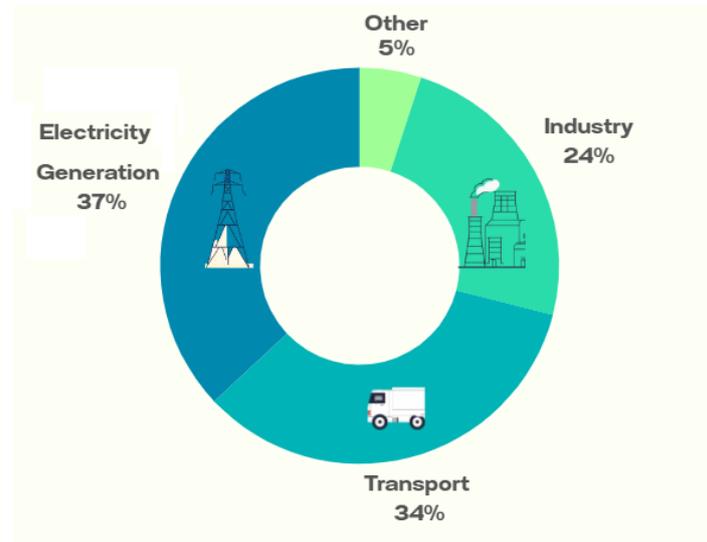
Keywords: Carbon Footprint, Transportation, Greenhouse Gases

1. บทนำ

ทุกประเทศทั่วโลกต่างตระหนักถึงปัญหาจากอุณหภูมิโลกที่เพิ่มสูงขึ้นมากจนเกินไป ประเทศไทยจึงให้ความสำคัญในการทำแผนพัฒนาทางแผนมาตรการควบคุม โดยมีเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 25 เป็นร้อยละ 40 ในปี พ.ศ. 2573 จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยตรงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนของประเทศทั่วโลก ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นหนึ่งในความสำคัญที่สุดในยุคนี้ และอุตสาหกรรมการขนส่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ที่เป็นตัวกำหนดของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากรายงานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂) การใช้พลังงานแยกภาคเศรษฐกิจ ปี พ.ศ. 2566 ในภาพรวมมีการปล่อย CO₂ ลดลงร้อยละ 2.4 เมื่อเทียบกับปีก่อน โดย ภาคอุตสาหกรรม ที่มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ ร้อยละ 24 พบว่าในปี 2566 มีการปล่อยก๊าซ CO₂ ลดลงร้อยละ 9.7 เมื่อเทียบกับปีก่อน ภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ ซึ่งมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ ร้อยละ 5 มีการปล่อยก๊าซ CO₂ ลดลงร้อยละ 3.5 ในขณะที่ ภาคการขนส่ง ซึ่งมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ ร้อยละ 33 มีการปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1 และ ภาคการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ ร้อยละ 37 มีการปล่อย

<http://jeet.siamtechu.net>

ก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.8 เมื่อเทียบกับปีก่อน และการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงานแยกรายชนิดเชื้อเพลิง พบว่า การปล่อยก๊าซ CO₂ จากน้ำมันสำเร็จรูปมีสัดส่วนการปล่อยสูงที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 43 รองลงมาคือ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน/ลิกไนต์ มีสัดส่วนร้อยละ 33 และ 24 ตามลำดับ ทั้งนี้ การปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้ถ่านหิน/ลิกไนต์ และน้ำมันสำเร็จรูป ในปี 2566 เมื่อเทียบกับปีก่อน ลดลงร้อยละ 15.0 และ 1.1 ตามลำดับ ในขณะที่การปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้ก๊าซธรรมชาติ เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.5 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการใช้ถ่านหิน/ลิกไนต์ ดังรูปที่ 1 ภาวะรวมการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงานของประเทศในภาคการขนส่งคิดเป็นร้อยละ 34 ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [1]



รูปที่ 1 การปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงานรายสาขาเศรษฐกิจ ปี พ.ศ. 2566

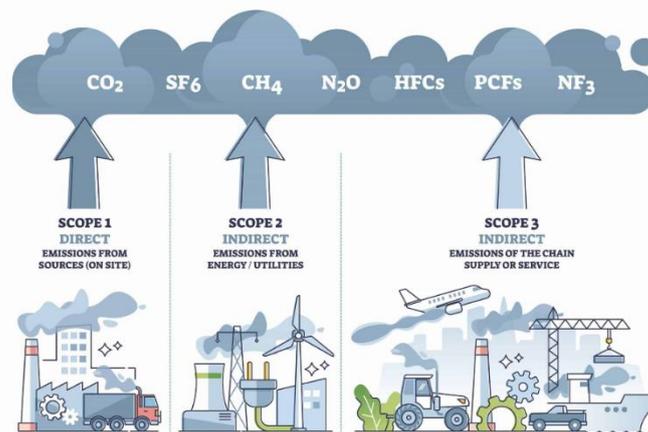
ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

จากที่กล่าวมาข้างต้น การลดก๊าซเรือนกระจกเพื่อแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศถือเป็นประเด็นที่ทวีความเข้มข้นขึ้นในระยะข้างหน้า เพราะนอกจากก๊าซเรือนกระจกจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อชีวิต ความเป็นอยู่ของประชาชนและสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อกิจกรรมทางเศรษฐกิจในอนาคตอีกด้วย อุตสาหกรรมขนส่งสินค้า (โลจิสติกส์) ถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายที่ทั่วโลกต่างให้ความสำคัญในการพยายามลดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่งโลจิสติกส์สีเขียว (Green Logistics) เป็นกระบวนการจัดการทั้งหมดที่เกี่ยวกับการขนส่งสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นแนวทางที่ถูกยกเป็นวาระสำคัญและสอดคล้องกับแผนการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย พ.ศ. 2564-2573 สาขาคมนาคมขนส่งที่ต้องการลดก๊าซเรือนกระจกรวม 41 ล้านตันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (MtCO₂e) ซึ่งแบ่งเป็น 1) มาตรการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง โดยมีเป้าหมายในการลดเท่ากับ 23 MtCO₂e 2) มาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานคมนาคมขนส่ง ซึ่งมีเป้าหมายในการลดเท่ากับ 8 MtCO₂e และ 3) มาตรการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในยานพาหนะ ซึ่งมีเป้าหมายในการลดเท่ากับ 10 MtCO₂e [2]

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. ได้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการขนส่ง (Transportation Sector) ภายใต้โครงการ Low Emissions Capacity Building (LECB) ซึ่งเป็นโครงการที่ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากสหภาพยุโรป รัฐบาลของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน และรัฐบาลออสเตรเลีย ผ่านทาง UNDP ประเทศไทย มีวัตถุประสงค์ในการเสริมสร้างศักยภาพของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกภาคการจัดการของเสียให้สามารถบ่งชี้อุปสรรครวมทั้งข้อจำกัดของการส่งผ่านข้อมูลระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งเสนอแนวทางที่เหมาะสม เพื่อให้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลและปรับปรุงข้อมูลกิจกรรมให้เป็นปัจจุบัน สำหรับผลการ

จัดทำข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการขนส่ง [3] และองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกได้ให้ความสำคัญกับการดำเนินการของประเทศไทยเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero GHG Emission) ความเชื่อมโยงของก๊าซเรือนกระจกกับภาคพลังงาน แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงานและขนส่ง เช่น การเพิ่มการใช้พลังงานทดแทน การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและใช้พลังงาน การใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) รวมทั้งการปรับตัวเพื่อเตรียมรับมือกับการแข่งขันทางการค้า มาตรการและภาษีคาร์บอนของต่างประเทศที่มีผลต่อธุรกิจ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในตลาดคาร์บอนภายในประเทศไทย จากโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (T-VER) และความร่วมมือจากภาคส่วนต่างๆ ผ่านเครือข่ายคาร์บอนนิวทรัลประเทศไทย (TCNN)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การใช้พลังงาน การเกษตร การพัฒนาและขยายตัวของอุตสาหกรรม การขนส่ง การตัดไม้ทำลายป่า และการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรูปแบบต่างๆ ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน ซึ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ ประเทศต่างๆ ทั่วโลกจึงตื่นตัวในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization หรือ Corporate Carbon Footprint: CCF) เป็นวิธีหนึ่ง que แสดงข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่องค์กรปล่อยออกมา ซึ่งช่วยกำหนดแนวทางการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในระดับโรงงาน อุตสาหกรรม และประเทศ



รูปที่ 2 Scopes of Emissions

ที่มา: Glen Winkfield (2023)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กร เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การจัดการของเสีย และการขนส่ง วัตถุประสงค์ในการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์แบ่งเป็นขอบเขต (Scope) 3 ประเภท ตามตัวอย่างภาพที่ 2 ดังนี้

ขอบเขต 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร (Direct Emissions) จากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กรโดยตรง เช่น การเผาไหม้ที่อยู่กับที่ เมาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ กระบวนการผลิต การใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย การรั่วซึม/รั่วไหล ชีวมวล (ดินและป่าไม้)

ขอบเขต 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Indirect Emissions) ได้แก่ ไฟฟ้าที่ถูกรับเข้าจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร พลังงานนำเข้าอื่น ๆ เช่น ไอน้ำ ความร้อน ความเย็น อากาศอัด

ขอบเขต 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (Other Indirect Emissions) ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ นอกเหนือจากที่ระบุใน ขอบเขต 1 และ ขอบเขต 2 เช่น วัตถุดิบตั้งต้นที่ซื้อเข้ามา ของเสียจากกิจกรรมในองค์กร การขนส่งจากผู้ผลิตวัตถุดิบ การเดินทางที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจขององค์กร การเดินทางของลูกค้าและ

ผู้มาติดต่อ การขนส่งและกระจายสินค้า เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการวัดออกมาในรูปตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมของการขนส่งและกระจายสินค้าต้นน้ำจากการบริการขนส่งสินค้า [4]

โดยผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบก ซึ่งเป็นบริษัทขนส่งสินค้า ประกอบไปด้วย ขนส่งรถกระบะ 4 ล้อ รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 8 ล้อรถบรรทุก 10 ล้อ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในการขนส่งจำนวนมาก ซึ่งพบปัญหาจากผู้ประกอบการขนส่งสินค้ายังไม่เข้าใจในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าทางบก และในปัจจุบันผู้ประกอบการเริ่มมีการตระหนักในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคธุรกิจการขนส่งต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมต้นทุนและการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอน [5] การดำเนินธุรกิจและการระดมทุน ในกรณีศึกษาบริษัทผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบกที่มีการดำเนินการขนส่งสินค้าจากกรุงเทพมหานครไปยังการส่งสินค้าไปยังภาคใต้ เป็นการขนส่งสินค้าอุปโภคบริโภค มีการขนส่งสินค้าแบบเต็มคันรถและไม่เต็มคันรถ

คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าวและตระหนักถึงความรับผิดชอบของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบก และเลือกบริษัทกรณีศึกษาเพื่อทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าทางบก จึงได้จัดทำกรวิจัยในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าทางบก ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินการขนส่งสินค้าในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาข้อมูลพลังงานของกิจกรรมระบบขนส่งสินค้าทางบกของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบกด้วยรถบรรทุก กรณีศึกษา บริษัท เอ็มอีทรานส์ จำกัด
- 2) เพื่อศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบก กรณีศึกษา บริษัท เอ็มอีทรานส์ จำกัด

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) เป็นรูปแบบเชิงพรรณนา เพื่อศึกษาข้อมูลพลังงานของกิจกรรมระบบขนส่งสินค้าทางบกของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบก เพื่อนำมาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าทางบก กรณีศึกษาดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ขอบเขตการวิจัย

- 1) บริษัทที่เลือกนำมาเป็นกรณีศึกษา บริษัท เอ็มอีทรานส์ จำกัด
- 2) ขอบเขตด้านพื้นที่ในจังหวัดภาคใต้ จำนวน 4 จังหวัดได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นพื้นที่ในการรับสินค้าจากจังหวัดสมุทรปราการ

3.2 การเก็บข้อมูลและการคำนวณ

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการคำนวณปริมาณการระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดำเนินการโดย ศึกษารายละเอียดประกอบและวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่งสินค้า โดยประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

- 1) ชนิดของยานพาหนะ ขนาด ความจุ น้ำหนัก ที่ใช้สำหรับการขนส่ง ประกอบด้วย
 - รถบรรทุก 6 ล้อ ยี่ห้อ Hino น้ำหนักบรรทุก 11,000 กิโลกรัม อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน 5.5 กิโลเมตรต่อลิตร
 - รถบรรทุก 10 ล้อ ยี่ห้อ ISUZU น้ำหนักบรรทุก 16,000 กิโลกรัม อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน 9.5 กิโลเมตรต่อลิตร
- 2) น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นพลังงานที่ใช้ในการขนส่งทางบก ได้แก่ น้ำมันดีเซล เป็นน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานกลั่นน้ำมัน มีจุดเดือดสูงถึง 180–370 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันดีเซล
- 3) ปริมาณ (ตัน) สัดส่วนการบรรทุก และลักษณะการวิ่งของยานพาหนะทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ

- 4) ระยะทางจริงและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง หรือพลังงานของยานพาหนะจากโรงงานไปยังศูนย์กระจายสินค้า

ตารางที่ 1 ค่า Emission Factor กลุ่มการขนส่งโดยรถบรรทุก [6]

ชนิดรถ	ค่าแฟคเตอร์ (kgCO ₂ e/หน่วย)	
	น้ำหนักบรรทุก (tkm)	น้ำหนักบรรทุก (km)
รถตู้บรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน ขนาดใหญ่วิ่งปกติ 0% Loading		0.4373
รถตู้บรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน ขนาดใหญ่วิ่งปกติ 50% Loading	0.1021	
รถตู้บรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน ขนาดใหญ่วิ่งปกติ 75% Loading	0.0716	
รถตู้บรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน ขนาดใหญ่วิ่งปกติ 100% Loading	0.0547	
รถตู้บรรทุกเปิด 10 ล้อ 16 ตัน ขนาดใหญ่วิ่งปกติ 0% Loading		0.6053
รถตู้บรรทุกเปิด 10 ล้อ 16 ตัน ขนาดใหญ่วิ่งปกติ 50% Loading	0.0881	
รถตู้บรรทุกเปิด 10 ล้อ 16 ตัน ขนาดใหญ่วิ่งปกติ 75% Loading	0.0617	
รถตู้บรรทุกเปิด 10 ล้อ 16 ตัน ขนาดใหญ่วิ่งปกติ 100% Loading	0.0489	

3.3 วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

- 1) นำ Activity data มาแปลงให้อยู่ในรูปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคูณเข้ากับค่า emission factor
- 2) แปลงค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า โดยการนำไปคูณกับค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด
- 3) แปลงค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าอยู่ในหน่วยกิโลกรัมหรือตัน
- 4) การแสดงผลค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของขนส่งแสดงเป็น ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการขนส่งสินค้า ดังสมการที่ (1)

$$\text{Emission} = \text{Fuel (Liter)} \times \text{EF (kgCO}_2) \quad (1)$$

โดยที่	Emission	=	การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากข้อมูลการขนส่งโดยรถบรรทุก (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการขนส่งโดยรถบรรทุกต่อปี)
	Fuel	=	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง (ลิตรต่อปี)
	EF	=	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของตามชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์)

$$\text{Emission} = \text{Average Distance} \times \text{Cargo Volume} \times \text{EF Vehicle Type (kgCO}_2) \quad (2)$$

โดยที่	Emission	=	การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากข้อมูลการขนส่งโดยรถบรรทุก (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการขนส่งโดยรถบรรทุกต่อปี)
	Average distance	=	ข้อมูลระยะทางเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อปี)
	Cargo Volume	=	ปริมาณของที่บรรทุก (กิโลกรัมต่อปี)

EF Vehicle Type = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทที่ใช้ขนส่ง
(กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์)

4. ผลการศึกษาวิจัย

4.1 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบก

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าทางบก ในการวิเคราะห์ของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งเป็นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีปัจจัยของขนาดรถ น้ำหนักบรรทุก ระยะทางในการขนส่งสินค้า จำนวนเที่ยวรถ น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจากที่ได้รวบรวมข้อมูลและรายละเอียดของการขนส่งนำมาคำนวณของการขนส่งสินค้าทางบกนั้น โดยการใช้รถตู้บรรทุก 6 ล้อ ขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี โดยพบว่ามีการขนส่งต่อเที่ยวมีการขนส่งไปยังจังหวัดสงขลา ซึ่งมีระยะทาง 991.9 กิโลเมตร มีการบรรทุกเต็มคัน และการวิ่งเปล่า ทำให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการขนส่งสินค้าโดยมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงรถสำหรับการขนส่งของผู้ประกอบการเท่ากับ 3255.42 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี รองลงมาจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีระยะทาง 692.8 กิโลเมตร ทำให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 3,031.69 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ปัจจัยจำนวนเที่ยวรถส่งผลต่อการคำนวณ ต่อมาจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีระยะทาง 765.0 กิโลเมตร ทำให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1,255.37 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี และจังหวัดเพชรบุรีซึ่งมีระยะทาง 198.2 กิโลเมตร ทำให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 433.66 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งมีการคำนวณจากปริมาณน้ำหนักสินค้าเพิ่มเติมด้วย

ตารางที่ 2 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถตู้บรรทุก 6 ล้อ ขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน*

จังหวัดปลายทาง	ระยะทาง (km.)	จำนวนเที่ยวรถต่อปี	Load 0% (0.4373)	Load 50% (0.1021)	Load 75% (0.0716)	Load 100% (0.0547)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (kgCO _{2eq} /year)
สงขลา	991.9	6	4337.58	1012.73	710.20	542.57	3255.42
นครศรีธรรมราช	765.0	3	3345.35	781.07	547.74	418.46	1255.37
สุราษฎร์ธานี	692.8	8	3029.61	707.35	496.04	378.96	3031.69
เพชรบุรี	198.2	4	866.73	202.36	141.91	108.42	433.66

*รถตู้บรรทุก 6 ล้อ ขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

การใช้รถตู้บรรทุกเปิด 10 ล้อ ขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี พบว่าการขนส่งต่อเที่ยวมีการขนส่งไปยังจังหวัดสงขลา ซึ่งมีระยะทาง 991.9 กิโลเมตร มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการขนส่งสินค้าโดยมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงรถสำหรับการขนส่งของผู้ประกอบการเท่ากับ 7,275.59 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี รองลงมาจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีระยะทาง 692.8 กิโลเมตร ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 4,573.52 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ปัจจัยจำนวนเที่ยวรถส่งผลต่อการคำนวณ ต่อมาจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีระยะทาง 765.0 กิโลเมตร ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1,122.26 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ละจังหวัดเพชรบุรีซึ่งมีระยะทาง 198.2 กิโลเมตร ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 145.38 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี แสดงดังตารางที่ 3 จึงสรุปได้ว่า การเลือกใช้ขนาดของรถเป็นปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งในงานวิจัยนี้คำนวณการปล่อย

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการใช้รถบรรทุก 6 ล้อ ขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตันและการใช้รถบรรทุก 10 ล้อขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน

ตารางที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถบรรทุกเปิด 10 ล้อ ขนาดใหญ่*

จังหวัดปลายทาง	ระยะทาง (km)	จำนวน เที่ยวรถ ต่อปี	Load	Load	Load	Load	ปริมาณการปลดปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (kgCO ₂ eq/year)
			0% (EF=0.6053)	50% (EF=0.0881)	75% (EF=0.0617)	100% (EF=0.0489)	
สงขลา	991.9	10	9005.96	1310.80	918.00	727.56	7,275.59
นครศรีธรรมราช	765.0	2	6945.82	1010.95	708.01	561.13	1,122.26
สุราษฎร์ธานี	692.8	9	6290.28	915.54	641.19	508.17	4573.52
เพชรบุรี	198.2	1	1799.56	261.92	183.43	145.38	145.38

*รถบรรทุกเปิด 10 ล้อ ขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

5. อภิปรายผล

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้พลังงานในระบบขนส่งสินค้าทางบก ซึ่งดำเนินการขนส่งสินค้าต้นทางจากจังหวัดสมุทรปราการ และขนส่งไปยังจังหวัดปลายทางได้แก่ จังหวัดสงขลามีปริมาณระยะทางในการขนส่งสินค้าต่อปีเฉลี่ยอยู่ที่ 3375.69 กิโลเมตรต่อปี คิดเป็นร้อยละ 42.16 โดยการใช้รถบรรทุก 6 ล้อ ขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี 1,184.59 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี และการใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี เท่ากับ 1,608.12 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี สอดคล้องกับงานวิจัยของสุพรรณิ มีสุข และสุพรรณนิภา วัฒนะ (2565) [7] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เบียร์และนำเสนอแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเบียร์โดยกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 47 สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรายุทธ เรืองผล (2559) [8] การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งทางบก กลุ่มจังหวัดอันดามัน ประเทศไทย โดยจังหวัดที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด 3 อันดับคือ จังหวัดภูเก็ต จังหวัดตรัง และจังหวัดกระบี่ โดยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 33.90 18.68 และ 17.56 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐสิมา โทษันท์ ณหทัย โชติกลาง กนกวรรณ ปุณณะตระกูล และอัจฉราพร สมภาร (2566) [9] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ ซึ่งศึกษาพบว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การกำจัดซาก การปรุงอาหาร และการขนส่งวัตถุดิบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.2962, 0.3213, 0.0411 และ 0.0053 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของสุรวุฒิ สุทธา และดุซฎีพร หิรัญ (2566) ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อมในการกำหนดนโยบายระบบขนส่งสาธารณะภายในสถาบันการศึกษาและชุมชนเพื่อเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ [10] ได้มีการออกแบบและจัดทำแบบสอบถามเพื่อวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมกรรมการใช้ยานพาหนะและเชื้อเพลิง ผลการสำรวจพบว่าเชื้อเพลิงที่ใช้มากที่สุดคือเบนซิน คิดเป็นร้อยละ 88.68 และดีเซลร้อยละ 11.05 ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดเห็นว่ามหาวิทยาลัยควรมีสถานีชาร์จรถไฟฟ้า โดยควรตั้งอยู่ใกล้ประตู 1 มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 78.17 นอกจากนี้ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาคการขนส่งมีปริมาณถึง 553.13 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 1.49 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อคนต่อปี

แนวทางในการจัดการขนส่งสินค้าทางบกด้วยรถบรรทุกที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง ซึ่งเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก สามารถบริหารจัดการรถบรรทุกโดยใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลหรือพลังงานสะอาดอื่นๆ มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดีเซลหรือรถบรรทุกไฟฟ้า (EV) โดยการปรับปรุงเทคโนโลยีเครื่องยนต์ของ

<http://jeet.siamtechu.net>

การใช้พลังงานทดแทนสามารถลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการขนส่งสินค้าได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแนวโน้มการพัฒนาไฟฟ้าเป็นทางเลือกที่เริ่มเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะภาคการขนส่ง หากพิจารณาความต้องการในการขนส่ง ตลอดจนจำนวนสินค้าที่มีความต้องการในการขนส่งจะพบว่ายังมีปริมาณสินค้าในการขนส่งในภาคอุตสาหกรรมยังต้องมีความต้องการในการขนส่งเพิ่มขึ้น การขนส่งที่เพิ่มขึ้นย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะในอากาศ การปล่อยไอเสียหลังจากกระบวนการสันดาป สิ่งที่มาคือคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดมลภาวะในอากาศ อีกทั้งยังก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกที่ต่างทราบกันดีว่าเป็นภาวะโลกร้อน จากที่กล่าวมาข้างต้นทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องได้ตระหนักถึงผลกระทบดังกล่าว และพยายามค้นคว้าทดลองในการนำเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเข้ามาปรับปรุงกระบวนการการทำงานของเครื่องยนต์เชื้อเพลิง เพื่อทดแทนระบบเครื่องยนต์เก่าที่การสันดาปไม่บริสุทธิ์ ดังจะเห็นได้จากรถบรรทุกในภาคการขนส่งมีการดัดแปลง ใช้เชื้อเพลิงแบบก๊าซธรรมชาติ (NGV) เพื่อลดต้นทุนเชื้อเพลิงในการขนส่งแต่ไม่อาจปฏิเสธได้ถึงผลจากการปล่อยเขม่าและไอเสียสู่บรรยากาศเป็นจำนวนมาก หากพิจารณานำรถบรรทุกไฟฟ้ามาใช้บริการก็พบปัญหาในเรื่องของจุดชาร์จแบตเตอรี่ที่ยังไม่ครอบคลุมเส้นทางต่าง ๆ ของประเทศ ดังนั้นหากมีการพัฒนาเชื้อเพลิงต้นท่อน้ำมันที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นทางเลือกของผู้ประกอบการขนส่งย่อมส่งผลให้ผู้ประกอบการปรับตัวมาใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวอย่างแน่นอน ดังเช่นน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งก่อนหน้านี้ก็ได้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการขนส่ง แต่พอนำมาใช้ก็พบว่าสามารถลดต้นทุนด้านน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณบริษัท เอ็มอีทรานส์ จำกัด ที่ให้ข้อมูลในการดำเนินการทำวิจัยเป็นอย่างดี และสนับสนุนองค์ความรู้จากผู้มีประสบการณ์ที่มีความเชี่ยวชาญ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2566). การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงาน ปี 2566. รายงานสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [2] Krungthai Compass. Green Logistics เมื่อบริษัทโลกเปลี่ยนไป การขนส่งสินค้าทางถนนไทยต้องเปลี่ยนตาม. รายงานธนาคารกรุงไทย. 2566.
- [3] ศูนย์ข้อมูลก๊าซเรือนกระจก รายงานผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการขนส่ง (Transportation Sector) องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2023, Dec. 8). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/Article/2016/Article_GHG_Emissions_TransportSector_Final.pdf
- [4] Glen Winkfield. GHG INSIGHT. (2023, Apr.3). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.ghginsight.com/uncategorized/what-are-scopes/>
- [5] Jin Li Qihui Lu and Peihua Fu, "Carbon Footprint Management of Road Freight Transport under the Carbon Emission Trading Mechanism", *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*, 2015, Article ID 814527
- [6] Thai National LCI Database. Emission Factor Classified by Industry Group Type 2020. (2023, Dec.8). [online]: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_117a1351b6.pdf
- [7] สุพรรณิ มีสุข และ สุพรรณนิภา วัฒนะ. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เบียร์. ใน *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 23*. (น. 213-225). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

<http://jeet.siamtechu.net>

- [8] ศรายุทธ เรืองผล. (2559). การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งทางบกกลุ่มจังหวัดอันดามัน ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [9] ณัฐสิมา โทชนันท์ ณหทัย โชติกลาง กนกวรรณ ปุณณะตระกูล และอัจฉราพร สมภาร. (2566) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับเมนูผ้าไทยวไลยอลงกรณ์” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 11(1), 93-107.
- [10] สุรวุฒิ สุดหา และ ดุษฎีพร หิรัญ (2566). ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อมในการกำหนดนโยบายระบบขนส่งสาธารณะภายในสถาบันการศึกษาและชุมชนเพื่อเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ. วารสารการบริหารการปกครองและนวัตกรรมท้องถิ่น, 7(3), 171-190

การวิเคราะห์โครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ตามข้อกำหนดในการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge 2023 ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

STRUCTURAL ANALYSIS OF THE STC-4 SOLAR ELECTRIC VEHICLE ENERGY STORAGE UNIT ACCORDING TO THE BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE 2023 COMPETITION REQUIREMENTS USING FINITE ELEMENT METHOD

รัฐพล โปธิศรี^{1*} วิโรจน์ ขาวละออ² วรรษญา ชื่นเมือง³ และจักรพันธ์ มีอาษา⁴

Rattapon Phosri^{1*} Wiroj Khawlaor² Warunya Chuenmueang³ and Jackkapan Mearsa⁴

¹สาขาวิชาเทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

²สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและโรจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

³แผนกช่างพื้นฐาน วิทยาลัยเทคนิคมวกเหล็ก

⁴คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Received: June 12, 2024

Revised: June 25, 2024

Accepted: June 26, 2024

*Corresponding author, Email: rattaponp@siamtechno.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 เพื่อให้ได้ตามข้อกำหนดในรายการ Bridgestone World Solar Challenge 2023 ในข้อกำหนด ทีมเข้าร่วมการแข่งขันต้องติดตั้งชุดกักเก็บพลังงานในรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ทนต่อความเร่งในทุกทิศทางไม่น้อยกว่า 20 เท่าของแรงโน้มถ่วง (G) โดยขนาดโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานมีขนาด กว้าง 600 มิลลิเมตร และยาว 1,600 มิลลิเมตร การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 นั้นใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อทำการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานด้านหน้า เกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Y เท่ากับ 4.16 มิลลิเมตร ตามลำดับ เกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน X เท่ากับ 1.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Z เท่ากับ 1.52 มิลลิเมตร จากผลกาวิจัยแสดงให้เห็นว่า จากการขยายตัวตามแนวแกน XYZ เป็นไปตามข้อกำหนดของรายการ Bridgestone World Solar Challenge ทำให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่และผู้โดยสาร

คำสำคัญ: โครงสร้างชุดกักเก็บพลังงาน รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 การขยายตัวตามแนวราบ

Abstract

This research aims to analyze the structural strength of the STC-4 solar electric vehicle's energy storage unit built in compliance with the Bridgestone World Solar Challenge 2023 requirements. According to the competition's regulations, participating teams must equip their solar-powered vehicles with an energy storage unit capable of withstanding an acceleration of 20 G in all directions. The specified dimensions for the energy storage unit's structure are 600 millimeters in width and 1,600 millimeters in length. The structural strength of the STC-4

solar electric vehicle's energy storage unit was analyzed using the finite element method (FEM). It was found that the front energy storage structure has horizontal expansion due to acceleration along the Y axis equal to 4.16 mm, respectively. Horizontal expansion due to acceleration along the X axis is equal to 1.31 mm, respectively, and horizontal expansion occurs due to acceleration along the Z axis is equal to 1.52 millimeters. The expansion along the XYZ axis meets Bridgestone World Solar Challenge requirements, ensuring safety for drivers and passengers.

Keywords: Energy Storage Structure, STC-4 solar electric vehicle, Horizontal Expansion

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าที่ออกมาจำหน่ายต้องให้มีความปลอดภัยต่อการใช้งาน ดังนั้นหน่วยงานควบคุมทั้งในสหรัฐอเมริกาเช่น Society of Automotive Engineer(SAE) และหน่วยงาน CISPR และ ISO/IEC ของสหภาพยุโรปได้กำหนดมาตรฐานขึ้นเพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของรถยนต์ ซึ่งแบตเตอรี่เป็นส่วนหนึ่งในมาตรฐานด้านความปลอดภัยในการผลิตรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน

การแข่งขันรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการแข่งขันด้วยระยะทาง 3,022 กิโลเมตร จากเมือง ดาร์วิน - เมืองแอดิเลด ประเทศออสเตรเลีย ดังรูปที่ 1 โดยแบ่งประเภทรถด้วยกัน 2 ประเภท คือ Challenger และ Cruiser โดยรถที่สามารถเข้าร่วมการแข่งขันของ BWSC (Bridgestone World Solar Challenge) ได้ต้องผ่านการตรวจสอบสภาพรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตามกฎหมายของ BWSC ซึ่งหนึ่งในหัวข้อสำคัญต้องผ่านการตรวจสอบคือ ชุดกักเก็บพลังงานทาง BWSC ได้สร้างกฎข้อที่ 2.5.13 ของ BWSC กล่าวว่า ต้องติดตั้งชุดกักเก็บพลังงานในรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยจะถูควบคุมด้วยความเร่ง 20 G ในทุกทิศทาง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ขับขี่ และผู้โดยสารในระหว่างการแข่งขัน



รูปที่ 1 แผนที่การแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge

ที่มา: Bridgestone World Solar Challenge

จากกติกาการแข่งขันข้างต้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วัสดุเป็นเหล็ก (SS400) เป็นเหล็กฉากขนาด 4 X 4 นิ้ว ความหนา 5 มิลลิเมตร ที่มีความแข็งแรงมาออกแบบโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ซึ่งเป็นโมเดลรถพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบและสร้างเข้าร่วมการแข่งขัน เพื่อให้ทนต่อความเร่งในทุกทิศทางไม่น้อยกว่า 20 เท่าของแรงโน้มถ่วง (G) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในรายการ BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE 2023

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

3. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในรายการ BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE 2023 โดยการติดตั้งชุดเก็บพลังงานในรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์ต้องทนต่อความเร่งในทุกทิศทางไม่น้อยกว่า 20 เท่าของแรงโน้มถ่วง (G)

3.1 ศึกษาเปรียบเทียบและข้อกำหนดรายการแข่งขัน

ในรายการแข่งขัน BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE เป็นรายการแข่งขันรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อส่งเสริมและฝึกฝนให้นักคิดจากทั่วโลกคิดค้นนวัตกรรมการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนยานพาหนะสู่การใช้งานบนท้องถนนจริง ซึ่งได้รับความสนใจจากสถาบันอุดมศึกษา และมีธยมศึกษาจากทั่วโลกเข้าร่วมการแข่งขัน โดยการแข่งขันทุกทีมต้องทำตามข้อกำหนดของรายการแข่งขัน ซึ่งผู้วิจัยได้สนใจศึกษาในเรื่อง ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงาน เป็นข้อกำหนดที่ทางรายการบังคับให้ทุกทีมต้องผ่านการตรวจสอบจากคณะกรรมการในหัวข้อที่ 2.5.13 ทีมเข้าร่วมการแข่งขันต้องติดตั้งชุดเก็บพลังงานในรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ถูกควบคุมด้วยความเร่ง 20 G ในทุกทิศทาง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ และผู้โดยสารในการขับขี่บนท้องถนน ดังแสดงในรูปที่ 2



2.5.13 Energy storage packs must be mounted in the solar car so that they will be restrained in a 20 g acceleration in any direction.

รูปที่ 2 ข้อกำหนดรายการ

ที่มา: Bridgestone World Solar Challenge

3.2 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ

การออกแบบชิ้นส่วนให้สามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัย ต้องแน่ใจว่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานไม่เกินค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้าง วัสดุที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กโครงสร้าง (SS400) ที่สามารถจัดหาได้ง่าย และมีคุณสมบัติตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเหล็กเหนียว (SS400)

มาตรฐาน	ประเภทโลหะ	ความแข็งแรง		
		จุดคราก (Yield) (N/mm ²)	แรงดึง (Tensile) (N/mm ²)	ความยืด (Elongation) (%)
TIS 1479	SS400	235	402	23

ที่มา : บริษัท ทักษิณาเมทัล จำกัด

จากตารางที่ 1 คุณสมบัติของเหล็ก SS400 มาตรฐาน TIS 1479 มีจุดคราก Yield Point อยู่ที่ 235 N/mm² ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้จุดนี้ในการออกแบบโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 และโครงสร้างเหล็กรูปพรรณจะมีค่าแอนตัวที่ยอมรับได้เมื่อได้รับแรงกระทำดังแสดงในตาราง 2

ตารางที่ 2 ค่าแอนตัวที่ยอมให้โครงสร้างเหล็ก SS400

น้ำหนักบรรทุก	ค่าแอนตัวที่ยอมรับได้
น้ำหนักบรรทุกคงที่	L/120
น้ำหนักบรรทุกจร	L/360

ที่มา : บริษัท แปซิฟิกไพพ์ จำกัด (มหาชน)

จากตารางที่ 2 แสดงค่าแอนตัวของเหล็ก SS400 ขนาดมาตรฐาน โดย มี 2 ชนิด ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่เท่ากับ L/120 และ น้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ L/360 โดยใช้ระยะจตุรรองรับเป็นตัวตั้ง และค่าความปลอดภัยในการออกแบบโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ที่เพิ่มความปลอดภัยในการออกแบบให้วัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนยานพาหนะ ยังรักษาสภาพไว้ในระดับที่ยอมรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความปลอดภัย (Safety Factor = S.F.)

ชนิดของวัสดุ	กรณีรับภาระ	Safety Factor
เหล็กเหนียว SS400	มีลักษณะสปริงจนล้า	1.8 – 2.4

ที่มา : บรรเลง ศรีนิล และ สมนึก วัฒนศรีกุล, 2562

จากตารางที่ 3 เป็นค่า Safety Factor ของเหล็กเหนียว SS400 กรณีรับภาระลักษณะสปริงจนล้าให้ใช้ค่า Safety Factor เท่ากับ 1.8–2.4 ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ และจากนั้นนำค่า Safety Factor มาคำนวณหาความเค้นที่ยอมให้ใช้ได้ ดังสมการที่ 1

$$\sigma_{allw} = \frac{\sigma_{lim}}{S.F.} \quad (1)$$

โดยที่ σ_{allw} = ความเค้นที่ยอมให้ใช้ได้ N/mm²

σ_{lim} = ความเค้นจำกัดขึ้นอยู่กับกรณีรับภาระและลักษณะการใช้งาน N/mm²

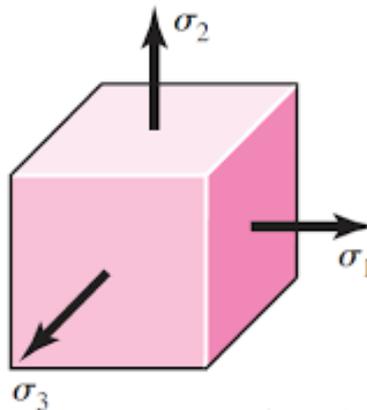
3.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม

การใช้วิธีวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะช่วยให้มองเห็นภาพแรงที่มากกระทำในจุดต่าง ๆ ของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงาน โดยมีขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลองดังต่อไปนี้

1. การสร้างรูปร่างของแบบจำลอง โดยการแบ่งโดเมนออกเป็นอิลิเมนต์ย่อย ๆ ต่อกัน โดยแต่ละอิลิเมนต์จะประกอบไปด้วยโหนด การกำหนด shape function ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมทางกายภาพของอิลิเมนต์ หรือผลเฉลยของอิลิเมนต์ (ค่าประมาณ) สร้างสมการสำหรับอิลิเมนต์ กำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้น สภาวะโหลดและสภาวะพินต์อิลิเมนต์ (Finite element analysis) วิธีการศึกษาใช้อุปกรณ์และเครื่องมือประกอบด้วย
 - 1) เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา
 - 2) โปรแกรม Solidworks
2. ขั้นตอนการหาคำตอบ (Solution phase) การแก้หาคำตอบของสมการซึ่งอยู่ในรูปสมการเชิงเส้นหรือสมการไม่เชิงเส้น ซึ่งคำตอบคือค่าการกระจัดที่โหนดต่าง ๆ
3. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Postprocessing phase) การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เราสนใจเพิ่มเติมเช่นเรา อาจอยากจะทราบค่าความเค้นหลัก 3 มิติ (Von Mises Stress) เป็นต้น

3.4 ศึกษาความเสียหายวัสดุ

ความเค้นเกิดจากแรงกระทำในทิศทาง 3 แนวแกน และการหาค่าความเค้นสูงสุดในแต่ละระนาบเรียกว่า ความเค้นหลัก ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบซึ่งมีค่าความเค้นเฉือนเท่ากับศูนย์ สามารถเขียนแทนด้วยตัวแปร σ_1 , σ_2 และ σ_3



รูปที่ 3 ความเค้นเกิดจากแรงกระทำในทิศทาง 3 แนวแกน

ที่มา ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี และ สถาพร ว่างฉาย, 2543

จากรูป 3 แสดงความเค้นต่าง ๆ ในระนาบ 3 มิติ และสามารถนำมาแสดงในระนาบสองมิติเพื่อหาความเค้นเฉือนสูงสุดได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 2

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \tau_{yz} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}; \tau_{xz} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (2)$$

ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดสมบูรณ์ ($\tau_{max})_{abs} = \tau_{xz}$ เมื่อความเค้นหลักที่เกิดตามเงื่อนไข $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

นอกจากนี้ ทฤษฎีความเสียหายได้กำหนดสมการความเค้นเฉือนสูงสุดไว้ดังสมการที่ 3

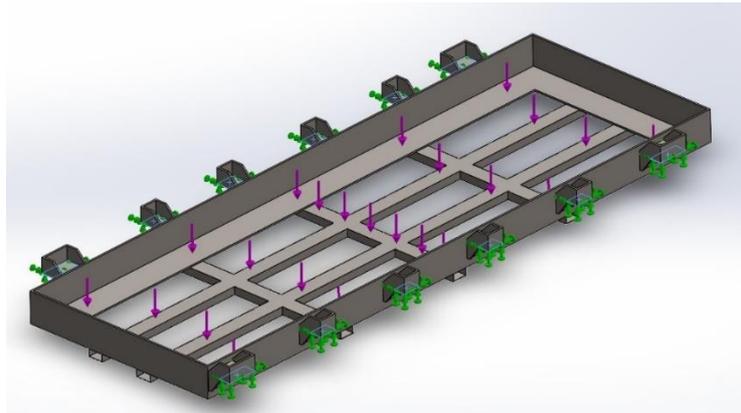
$$\tau_{max} = \frac{S_y}{S.F.} \quad (3)$$

โดยที่ τ_{max} = ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด
 S_y = ค่าความเค้นจุดครากสูงสุด

S.F. = ค่าความปลอดภัย

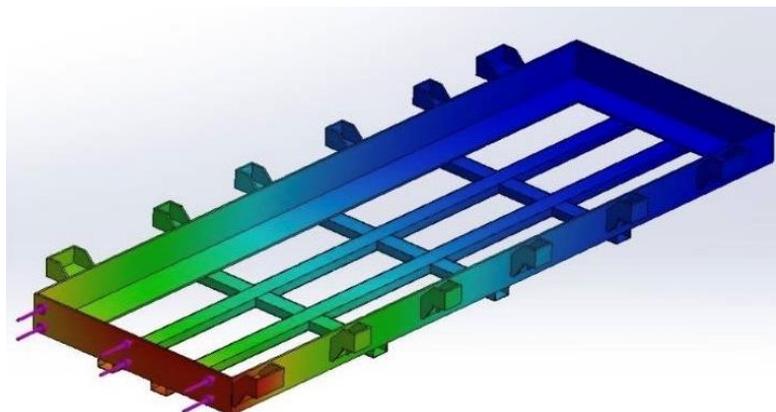
3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงาน

โครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย โครงสร้างชุดรองรับแบตเตอรี่ที่ยึดติดกับโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ วัสดุที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ เหล็กฉาก (SS400) ได้รับเลือกให้ทำโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานในกระบวนการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidworks ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยการวิเคราะห์นั้นจัดทำการยึดจุด Fixed Support ที่รูโครงเหล็ก 12 รู ดังแสดงในรูปที่ 4

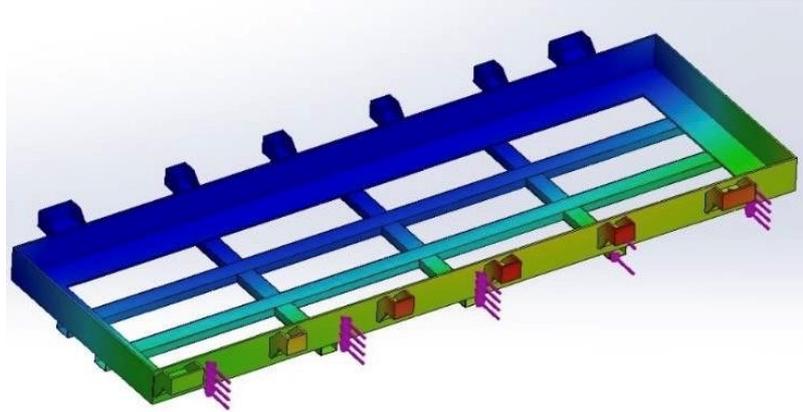


รูปที่ 4 จุด Fixed Support

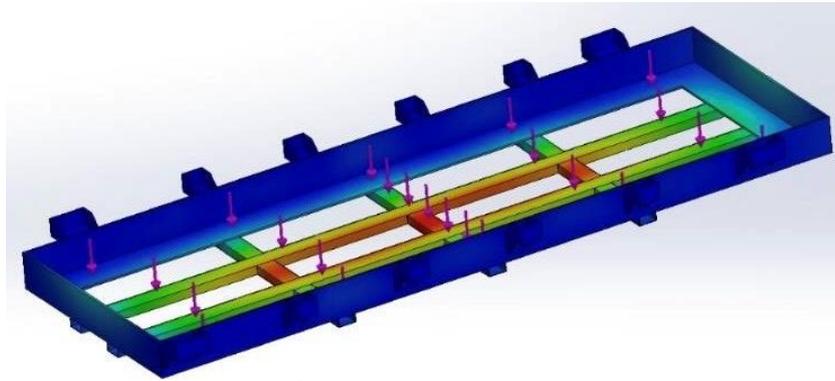
หลังจากการสร้างโมเดล 3 มิติของชุดกักเก็บพลังงานในโปรแกรม Solidworks และนำเข้าสู่ซอฟต์แวร์สำหรับการทดสอบความแข็งแรงโดยผู้วิจัยทำการทดสอบในทางด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบน โดยแรงที่กระทำกับโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานถูกกระทำด้วยความเร่ง 20 G ตามข้อกำหนดทางรายการ Bridgestone World Solar Challenge 2023 ดังแสดงในรูปที่ 5 6 และ 7



รูปที่ 5 การทดสอบในทางด้านหน้า



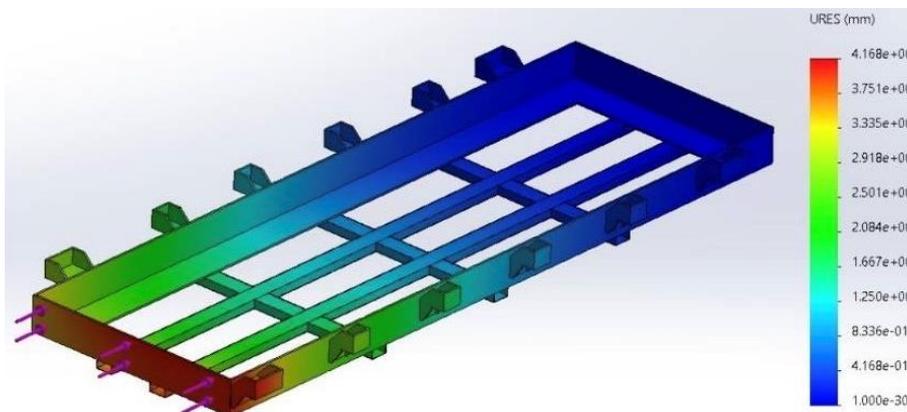
รูปที่ 6 การทดสอบในทางด้านข้าง



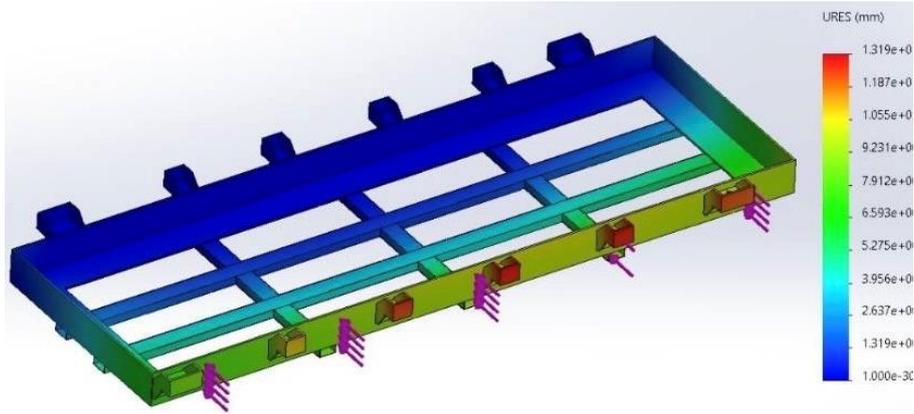
รูปที่ 7 การทดสอบในทางด้านบน

4. ผลการวิจัย

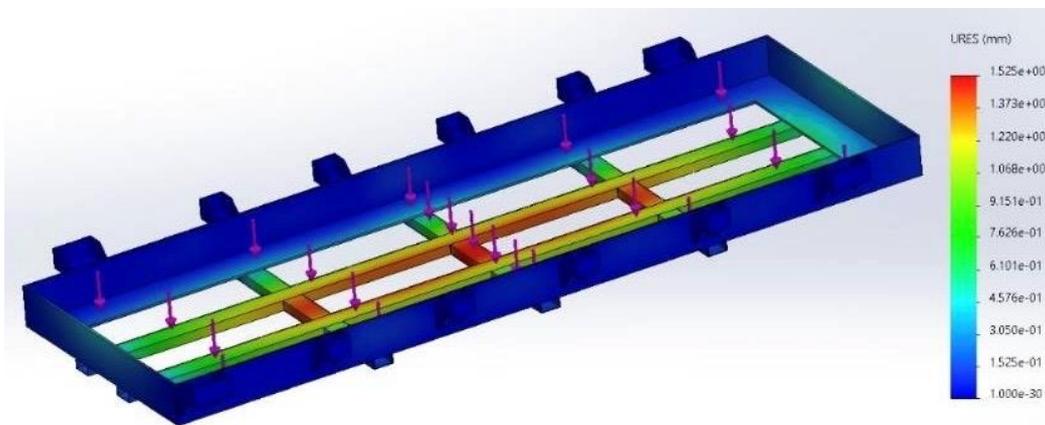
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ในรายการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 ในข้อกำหนด ทีมเข้าร่วมการแข่งขันต้องติดตั้งชุดเก็บพลังงานในรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ถูกควบคุมด้วยความเร่ง 20 G ในทิศทาง ด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบน พบว่า การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานในทิศทางด้านหน้า เท่ากับ 4.16 มิลลิเมตร (ตั้งรูปที่ 8) ด้านข้าง คือ 1.32 มิลลิเมตร (ตั้งรูปที่ 9) และด้านบน 1.52 มิลลิเมตร (ตั้งรูปที่ 10)



รูปที่ 8 การทดสอบแรงด้วยความเร่ง 20 G ในทิศทางด้านหน้า



รูปที่ 9 การทดสอบแรงด้วยความเร่ง 20 G ในทิศทางด้านข้าง



รูปที่ 10 การทดสอบแรงด้วยความเร่ง 20 G ในทิศทางด้านบน

5. การอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานที่ออกแบบโดยใช้วัสดุเหล็กจากโครงสร้าง (SS400) สามารถทนต่อแรงที่กระทำกับโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานด้วยความเร่ง 20G ในทุกทิศทาง โดยขนาดโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานมีขนาด กว้าง 600 มิลลิเมตร และยาว 1,600 มิลลิเมตร การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 นั้นใช้วิธีการทางไฟไนท์อีเลเมนต์ เพื่อทำการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานด้านหน้า เกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Y เท่ากับ 4.16 มิลลิเมตร ตามลำดับ เกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน X เท่ากับ 1.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Z เท่ากับ 1.52 มิลลิเมตร ทำให้สามารถนำโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานมาใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ไปเข้าร่วมในรายการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 ได้อย่างปลอดภัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] REGULATIONS. 2023. 2023 BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE. [ระ บ บ อ น ไ ล น์]. 3290_2023_bwsc_regulations_release_v10_published_05062024.pdf . (3/4/2023)
- [2] Zhao, H.W., Chen, X.K., L, Y. (2009) Topology optimization of power battery packs for electric vehicles. Journal of Jilin University, 39: 846-850.

- [3] Zhang, H.B. (2013) Study on optimization of stiffener structure of battery box of electric vehicle based on dynamic and static characteristics. Hunan University, Changsha.
- [4] Yang, S.J. (2012) Dynamic and static characteristics analysis and structural optimization design of battery box for electric vehicle. Hunan University, Changsha.
- [5] บริษัท ทักษิณาเมทัล จำกัด. (2559). ตารางสเปค เหล็กรูปพรรณ มอก. 107. [ระบบออนไลน์]. <http://www.taksinametal.com/>. (15/5/2023)
- [6] ชาตรี บุญเชิดชู. (2559). การวิเคราะห์โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 5. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพฯ.
- [7] นรินทร์ ชัยธานี, พิชญา ฟูปลื้ม และ ภาณุเทพ พัวพัธุ์. (2559). การวิเคราะห์โครงของแบตเตอรี่รถฟอร์มูล่าไฟฟ้า นักศึกษาด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา.
- [8] บรรเลง ศรีนิล และ รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล. (2562). Tabellenbuch Metall [ตารางคู่มืองานโลหะ]. (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์ตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [9] กฤษฎาภรณ์ สุกระมล, ศักย บุญชูวิทย์, วัชระ เพิ่มชาติ, ชัยชโย ชื่อดตรง และสัญลักษณ์ กิ่งทอง. (2566). การตรวจสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบแชสซี สำหรับยานพาหนะการเกษตร. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. ปีที่ 11. ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2566. หน้า 94-106
- [10] สุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี และ สถาพร ว่างาย. (2543). กลศาสตร์ของแข็ง ฉบับเสริมประสบการณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ สสท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม

Journal of Energy and Environment Technology

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

คำแนะนำในการเรียงลำดับเนื้อหา: ให้เรียงลำดับตามหัวข้อต่อไปนี้

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

ชื่อผู้เขียน: ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของชื่อผู้เขียนให้ครบทุกคน และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับท้ายรายชื่อสำหรับผู้ประสานงาน ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

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

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

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

เนื้อหา (Text): บทความวิจัยประกอบด้วย

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

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods): กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์ และการทดลองที่กระชับและชัดเจน

ผลการทดลอง (Results): บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน อาจมีรูปภาพหรือตารางที่ชัดเจนประกอบคำอธิบายได้

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

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

ภาคผนวก (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง (References): บทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงเอกสารในบทความโดยเอกสารอ้างอิงระบบ Vancouver ดังตัวอย่างต่อไปนี้

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

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

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

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

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

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

เกณฑ์การพิจารณา: บทความจะต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชานั้น 2-3 คน ซึ่งกองบรรณาธิการ อาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และทรงไว้ ซึ่งสิทธิ์ในการตัดสินใจพิมพ์หรือไม่ก็ได้

“บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

