วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

KASEM BUNDIT Engineering Journal

ISSN 3027-6519 (Print) ISSN 3027-6527 (Online)

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2568
Vol.15 No.1 January-April 2025

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

Kasem Bundit Engineering Journal (KBEJ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตจัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและพัฒนา ผลงานวิชาการ ตลอดจนองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ของอาจารย์ นักวิชาการอิสระ และวิศวกรทั่วไป และเป็นสื่อกลางระหว่างมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิตกับสังคมภายนอกในการเผยแพร่ความรู้ต่างๆ ด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้เป็นฐานความรู้อันจะนำไปสู่การพัฒนาด้านวิศวกรรมต่อไป โดยมีกำหนดตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ ออกเป็นราย 4 เดือน (ประจำเดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และ กันยายน-ธันวาคม)

วัตถุประสงค์

- เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่งานวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
- เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่งานวิจัยและพัฒนา และผลงานวิชาการของคณาจารย์ทั้งในและนอกสถาบัน ตลอดจนนักวิชาการอิสระและวิศวกรทั่วไป
- เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้เกิดการวิจัยทั้งภายในและภายนอกสถาบัน ส่งผลให้มีการต่อยอดงานวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความเชื่อมโยงระหว่างวิชาการและวิชาชีพ อันจะเป็นประโยชน์แก่ชุมชนและสังคมโดยรวม
- เพื่อสร้างกลไกสนับสนุนการเผยแพร่รวมถึงระบบการรวบรวมและคัดสรรผลงานวิจัยและงานสร้างสรรค์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในวงวิชาการและวิชาชีพ ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการประกันคุณภาพการศึกษา

บทความที่สามารถตีพิมพ์ลงในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

บทความที่สามารถตีพิมพ์ลงในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตจะเน้นเป็นบทความวิจัย (Research Article) หรืออาจจะเป็นบทความวิชาการ (Academic Article) ได้ เช่น บทความปริทัศน์ (Review Article) บทความทางเทคนิค (Technical Article) บทความเชิงปฏิบัติในวิชาชีพ (Professional Practice) เป็นต้น หรือในบางครั้งจะเป็นบทความรับเชิญ (Invited Article) หรือบทความอื่นๆ (Other Article) ด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของกองบรรณาธิการ โดยทุกบทความควรมีลักษณะดังนี้

- เป็นบทความวิจัยหรือบทความทางวิชาการ ในลักษณะที่จะนำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิชาการและวิชาชีพ
- เป็นบทความที่ไม่เคยได้รับการตีพิมพ์มาก่อนทั้งภายในประเทศหรือต่างประเทศ
- เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ในระหว่างการพิจารณาของสื่อสิ่งพิมพ์อื่นๆ
- เป็นบทความที่ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น เนื้อหาในบทความไม่ได้ลอกเลียนหรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่นหรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
- ผู้เขียนได้แก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Reviewer) หรือกองบรรณาธิการแล้ว
- บทความในลักษณะอื่นๆ นอกเหนือจากรายละเอียดข้างต้นจะได้รับการพิจารณาจากกองบรรณาธิการเป็นกรณีเฉพาะ

การประเมินบทความ

การประเมินบทความที่ตีพิมพ์ลงในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตมีรายละเอียดดังนี้

- บทความทุกฉบับจะได้รับการอ่านและตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะในสาขาวิชานั้นๆ จำนวนไม่น้อยกว่า 3 ท่าน ในระบบ Double-blind Review โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนบทความจะถูกปกปิดชื่อระหว่างกระบวนการพิจารณาบทความ
- กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้นเกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบบทความ ถ้าไม่ผ่านการพิจารณา จะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ เมื่อผู้เขียนดำเนินการแก้ไขบทความตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ และ/หรือ กองบรรณาธิการแล้ว จากนั้นจึงจะแจ้งให้ทราบกำหนดการตีพิมพ์บทความนั้นต่อไป
- กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิในการตรวจแก้ไขรูปแบบบทความที่ส่งมาตีพิมพ์และอาจจะส่งเรื่องคืนมายังผู้เขียนให้เพิ่มเติมหรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี
- การยอมรับการตีพิมพ์หรือปฏิเสธการตีพิมพ์บทความเป็นสิทธิของกองบรรณาธิการและกองบรรณาธิการจะไม่รับผิดชอบในเนื้อหาหรือความถูกต้องของบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ทุกเรื่อง ความถูกต้องของเนื้อหา การใช้ภาษาและรูปแบบการเขียนถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน

การส่งบทความ

ผู้เขียนจะต้องจัดเตรียมบทความต้นฉบับที่พิมพ์ตามข้อกำหนดของรูปแบบวารสาร จำนวน 1 ชุด และผู้เขียนบทความกรอกข้อมูลใบนำส่งบทความ พร้อมสแกนใบนำส่งบทความและแนบไฟล์

ต้นฉบับบทความส่งมาที่ E-Mail: engkasemjournal@kbu.ac.th หรือ ผู้เขียนสามารถส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System ได้ที่ https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register

หากมีปัญหาในการส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System โปรดติดต่อกองบรรณาธิการ ที่ 02-320-2777 ต่อ 1211

ลิขสิทธิ์

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ห้ามนำข้อความทั้งหมดไปตีพิมพ์ซ้ำ ยกเว้นได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิตแล้ว หากบทความที่ได้รับการตีพิมพ์นั้นเป็นบทความที่ละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นหรือมีความไม่ถูกต้องในเนื้อหาของบทความ ผู้เขียนบทความนั้นต้องเป็นผู้รับผิดชอบ

กำหนดตีพิมพ์

ปีละ 3 ฉบับ ออกเป็นราย 4 เดือน (ประจำเดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และกันยายน-ธันวาคม)

จัดพิมพ์โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

คณะที่ปรึกษา:

ดร.วัลลภ สุวรรณดี	อธิการบดี มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.สุวัฒน์ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.เสนีย์ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.อธิศ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายทรัพยากรบุคคล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ประสาร มาลากุล ณ อยุธยา	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.อิงอร ตั้นพันธ์	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.สุนิติ สุภาพ	หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บรรณาธิการ:

รศ.ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

รองบรรณาธิการ:

ผศ.อนุชิต เจริญ	รองคณบดีฝ่ายวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

กองบรรณาธิการ:

ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.โจเซฟ เคดารี	สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ศ.ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Prof. Dr.Belkacem Zeghmati	Laboratoire de Mathematiques et Physique des Systeme-Groupe de Mecanique Energetique, Universite de Perpignan, France
รศ.ดร.จีรนุช เสงี่ยมศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.บุญเลิศ สื่อเฉย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย	ที่ปรึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.มนตรี คำเงิน	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.ดร.ยุทธชัย บรรเทิงจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.รัตติกร วรากูลศิริพันธุ์	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.เวคิน ปิยรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.สมิตร ส่งพิริยะกิจ	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.อิทธิพงศ์ ชัยสายัณห์	บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ศันสนีย์ สุภาภา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
อ.ดร.ชาญวิทย์ อุดมศักดิกุล	สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ
อ.ดร.วศิน มหัตนิรันดร์กุล	วิศวกร ที่ปรึกษาโรงงาน อาจารย์พิเศษ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ:

รศ.วิญญู แสวงสินกสิกิจ	อ.ดร.ศักดิ์ชาย รักการ
อ.ธีรยุทธ จันทร์แจ่ม	ผศ.ดร.หนึ่งฤทัย ทิมย้ายงาม
ผศ.วรากร เกิดทรัพย์	อ.อุบลรัตน์ วาริชวัฒนะ

ฝ่ายเลขานุการ:

คุณยุพิน ไชยโคตร	คุณรุ่งนภาพร ภูธรธราช

บทบรรณาธิการ

ในยุคที่ประเทศไทยกำลังก้าวสู่สังคมเทคโนโลยีขั้นสูง (Advanced Technology Society) ด้วยแรงขับเคลื่อนจากนโยบาย BCG Economy Model (Bio-Circular-Green Economy) และการปฏิรูปโครงสร้างด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ บทบาทของงานวิจัยและนวัตกรรมทางด้านวิศวกรรมศาสตร์จึงยิ่งทวีความสำคัญ ทั้งในด้านการยกระดับอุตสาหกรรม การบริหารจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน และการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ ในวาระเข้าสู่ ปีที่ 15 วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นเวทีสำคัญสำหรับนักวิจัยและนักวิชาการในการเผยแพร่ผลงานทางวิศวกรรมศาสตร์ ที่มีคุณภาพทั้งในเชิงวิชาการและการประยุกต์ใช้จริง นอกจากนี้ วารสารฯ ยังดำเนินการตามมาตรฐานของวารสารระดับ TCI กลุ่มที่ 1 (Tier 1) อย่างเข้มงวด ด้วยกระบวนการพิจารณาบทความในรูปแบบ Double Blind Peer Review จากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อรักษาคุณภาพทางวิชาการ และสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้อ่านและผู้ส่งบทความ

ท้ายที่สุดนี้ กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้เขียนบทความทุกท่านที่ได้มอบความไว้วางใจส่งผลงานวิจัยที่ทรงคุณค่ามาเผยแพร่ในวารสาร และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่เสียสละเวลาให้ข้อเสนอแนะอย่างสร้างสรรค์ เพื่อพัฒนาคุณภาพบทความอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ กองบรรณาธิการมุ่งหวังว่า วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตจะยังคงเป็นพื้นที่วิชาการที่เปิดกว้างสำหรับองค์ความรู้ใหม่ ๆ ที่มีส่วนในการขับเคลื่อนประเทศชาติไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนในทุกมิติ ขออาราธนาคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลาย โปรดดลบันดาลให้ทุกท่านมีสุขภาพแข็งแรง เจริญในวิชาชีพ และมีพลังใจในการสร้างสรรค์งานวิชาการต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง

รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ
บรรณาธิการวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

บทความวิจัย (Research Article)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจในพฤติกรรมของคนไทยในการใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารออนไลน์
FACTORS INFLUENCING ON BEHAVIORAL INTENTION BY THAI PEOPLE TO USE ONLINE FOOD DELIVERY PLATFORM 1
ชิดชนก อินทอง สิริรักษ์ ภู่ริยะพันธ์ และ ศรัญญา การุณวรรธนะ

PLANT LAYOUT COMPARATIVE ANALYSIS: A CASE STUDY OF CARTON PRODUCT 23
Wirunpuch Prommachan

รูปแบบการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักหลังคาเหล็ก
OPTIMUM DESIGN PATTERNS FOR STEEL ROOF TRUSSES 37
พันธนะ จิวาลักษณ์ และ วินัย อวยพรประเสริฐ

THERMAL PERFORMANCE AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE HEAT PUMP DRYER 51
Phiched Thanin, Sommai Saramath, Panuwit Puttaraksa, Praphatsorn Rattanaphaiboon, Piyapond Makming, Latthaphonh Kythavone and Monnarin Rueangjit

การจัดการจราจรบริเวณจุดตัดกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้ารางเบาจังหวัดขอนแก่นโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองระดับจุลภาคและอากาศยานไร้คนขับ
TRAFFIC MANAGEMENT AT INTERSECTIONS: A CASE STUDY OF THE KHON KAEN LIGHT RAIL PROJECT USING A MICROSCOPIC SIMULATION MODEL AND UNMANNED AERIAL VEHICLES 69
ทรงพล ทรงแสงฤทธิ์ ธนพล พรหมรักษา วรัญวิชช์ อุทธา วุฒิไกร ไชยปัญหา และ ปิยณัฐ จันโทสุทธิ์5

บทความวิจัย (Research Article) (ต่อ)

การศึกษาองค์ประกอบและกระบวนการผลิตน้ำมันมินต์โดยใช้เครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานบุผนังเตาฉนวนด้วยเซรามิกไฟเบอร์
STUDY OF COMPOSITION AND PRODUCTION PROCESS OF MINT ESSENTIAL OIL USING AN ENERGY-SAVING ELECTRIC DISTILLER WITH CERAMIC FIBER INSULATION FURNACE WALLS 87
สุพัตรา บุตรเสรีชัย

การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุโดยการประยุกต์ใช้วิธีการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ
DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MULTIFUNCTIONAL TABLE-CHAIR SET FOR THE ELDERLY PEOPLE BY USING QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT 103
ธยา ภิรมย์ อภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ ชาตรี หอมเขียว ชัยณรงค์ ศรีวะบุตร และ ชัยวัฒนภัทร เลาสัตย์

การวิเคราะห์ผลการออกแบบหม้อแปลงจำหน่ายเชิงเศรษฐศาสตร์ให้มีต้นทุนวัสดุต่ำและมีความสูญเสียที่เหมาะสม
THE ANALYSIS OF DISTRIBUTION TRANSFORMER DESIGN FROM AN ECONOMIC PERSPECTIVE TO ACHIEVE LOW MATERIAL COSTS AND APPROPRIATE LOSS 124
บุญเลิศ สื่อเฉย

การบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลที่มีการปนเปื้อนยาปฏิชีวนะโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน
TREATING HOSPITAL WASTEWATER CONTAMINATED WITH ANTIBIOTICS USING MEMBRANE BIOREACTOR (MBR) SYSTEM 140
นิติวิศว์ แตงไทย กฤษณะ จิรสารสวัสดิ์ และ สิริลักษณ์ ประเสริฐกุลศักดิ์

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจในพฤติกรรมของคนไทยในการใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารออนไลน์

FACTORS INFLUENCING ON BEHAVIORAL INTENTION BY THAI PEOPLE TO USE ONLINE FOOD DELIVERY PLATFORM

ชิดชนก อินทอง[1] สิริรักษ์ ภู่ริยะพันธ์[2] และ ศรัญญา การุณวรรธนะ[3]
[1,2,3]อาจารย์, สาขาโลจิสติกส์สากลและการจัดการอุตสาหกรรม คณะบริหารธุรกิจ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก
กรุงเทพมหานคร 10530,
[1]chidchanok@mut.ac.th, [2]sirirak@mut.ac.th, [3]saranya@mut.ac.th

Chidchanok Inthong[1], Sirirak Phooriyaphan[2] and Saranya Karoonwattana[3]
[1,2,3]Lecturer, Department of Global Logistics and Industrial Management,
Mahanakorn University of Technology, 140 Cheum-Sampan Road, Krathum Rai, Nongchok,
Bangkok 10530, Thailand,
[1]chidchanok@mut.ac.th, [2]sirirak@mut.ac.th, [3]saranya@mut.ac.th

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์ปัจจุบันของผู้บริโภคที่ใช้บริการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Food Delivery หลังสถานการณ์โรคระบาดโควิด-19 พบว่าพฤติกรรมของผู้บริโภคมีการเปลี่ยนแปลงไป งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมความตั้งใจที่จะสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มอย่างต่อเนื่องในประเทศไทยผ่านแพลตฟอร์ม Grab Food เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบสอบถาม 660 ชุด มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวบ่งชี้ที่ส่งผลต่อความตั้งใจที่จะสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Grab Food ในประเทศไทยอย่างต่อเนื่องโดยใช้แบบจำลองสมการโครงสร้าง การวิเคราะห์ข้อมูลอิทธิพลที่ส่งผลต่อพฤติกรรมความตั้งใจที่จะสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Food Delivery อย่างต่อเนื่อง พบว่า ความคาดหวังประสิทธิภาพ ความคาดหวังในความพยายาม สภาพของสิ่งอำนวยความสะดวก ความเคยชิน และความคุ้มค่าด้านราคา มีผลต่อพฤติกรรมความตั้งใจที่จะสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Grab Food อย่างต่อเนื่องของผู้ใช้งานในเชิงสถิติ มีนัยสำคัญที่ 0.05 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองเชิงสาเหตุของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจที่จะสั่งอาหารออนไลน์

คำสำคัญ: ความตั้งใจอย่างต่อเนื่อง แพลตฟอร์มสั่งอาหาร แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง

ABSTRACT

From the current situation of consumers who use food ordering services via the Food Delivery platform after the COVID-19 pandemic, it was found that consumer behavior has changed. This research continuously studies the relationship between indicators related to behavioral intention to order food via the Grab Food platform in Thailand. The research instrument is a questionnaire with 660 respondents. The purpose of the study is to study the indicators affecting the intention to continuously order food via the Food Delivery platform in Thailand using the structural equation model. The analysis of the influence data on the behavioral intention to continuously order food via the Grab Food platform found that performance expectancy, effort expectancy, facilitating condition, habit, and price value for money affect the behavioral intention to continuously order food via the Grab Food platform of users in a statistically significant manner at 0.05. The results of the causal model analysis of the factors influencing the intention to order food online.

KEYWORDS: Continuous Intention, Food Delivery Platform, Structural Equation Modeling

1. บทนำ

จากผลการสำรวจแนวโน้มและพฤติกรรมการใช้งานแพลตฟอร์ม Food Delivery ของศูนย์วิจัยกสิกรพบว่า ประชาชนยังมีการใช้บริการแต่ลดความถี่ลง เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมหลังสถานการณ์โควิด รวมถึงผู้ใช้บริการส่วนใหญ่กว่า 80% จะใช้บริการมากกว่า 1 แพลตฟอร์ม [1] โดยที่เจ้าของธุรกิจแพลตฟอร์ม Food Delivery จะต้องปรับปรุงคุณภาพการให้บริการ และร่วมมือกับร้านอาหารและผู้ให้บริการขับขี่ เพื่อให้ธุรกิจสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องและส่งผลให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจและใช้บริการอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับทาง Insight ERA [2] ที่ทำการสำรวจเพื่อคาดการณ์ทิศทางธุรกิจ Food Delivery ของประเทศไทย ผลสำรวจพบว่า ตลาด Food Delivery ปี 2567 ยังมีแนวโน้มที่ลดลงต่อเนื่อง ในปี 2567 มูลค่าตลาด Food Delivery จะอยู่ที่ประมาณ 8.6 หมื่นล้านบาท หรือหดตัว 1.0% จากปี 2566 แต่ยังคงสูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงก่อนเกิดการแพร่ระบาดของโรคโควิด 19 โดยที่ค่าใช้จ่ายในการสั่งอาหารเฉลี่ยต่อครั้งจะปรับตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 2.8% จากค่าเฉลี่ยในปี 2566 หรือ มีราคาเฉลี่ยประมาณ 185 บาทต่อการสั่งหนึ่งครั้ง ซึ่งส่งผลให้ทั้งจำนวนครั้งและปริมาณการสั่งมีแนวโน้มลดลง โดยที่พฤติกรรมผู้บริโภคยังมีความคิดว่าการใช้แพลตฟอร์ม Food Delivery เพราะเกิดความเคยชินและต้องการความสะดวกสบายโดยเฉพาะช่วงเวลาจำเป็นหรือเร่งด่วน และจากสถานการณ์ของแพลตฟอร์ม Robinhood ที่ออก

ประกาศว่า จะยุติกิจการภายในเดือนกรกฎาคม แต่ภายหลังได้ประกาศเลื่อนปิดกิจการ เพราะรอผู้ลงทุนเทคโอเวอร์ [3]

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสั่งอาหารออนไลน์พบว่ามีผู้วิจัยที่ทำการศึกษาเรื่องที่เกี่ยวข้องกับแพลตฟอร์ม Food Delivery ดังนี้ การยอมรับนวัตกรรมแอปพลิเคชันสั่งอาหารออนไลน์ของพนักงาน [4] แรงจูงใจ และกลยุทธ์การตลาดบริการที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารของผู้บริโภค [5] ศึกษาพฤติกรรมการเลือกใช้บริการผ่านแอปพลิเคชันสั่งอาหารออนไลน์ของผู้บริโภคในช่วงการระบาดของไวรัสโควิด-19 [6] การยอมรับเทคโนโลยีและปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจสั่งอาหารออนไลน์ของผู้บริโภค [7] และจากการทบทวนวรรณกรรมผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของผู้ใช้บริการแพลตฟอร์ม Grab Food ซึ่งสาเหตุที่เจาะจงเลือกแพลตฟอร์ม Grab Food เพราะเมื่อพิจารณาส่วนแบ่งตลาดแอปพลิเคชัน food delivery ในปีพ.ศ. 2563 จะเห็นได้ว่า Grab มีส่วนแบ่งตลาดมากที่สุด โดยครอบครองสัดส่วนมากถึงร้อยละ 50 ในขณะที่แอปพลิเคชันอื่น ๆ ได้แก่ Food Panda Lineman และ Gojek มีสัดส่วนรองลงมา [8] โดยผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ โดยผู้ประกอบการสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปพัฒนาแพลตฟอร์มสั่งอาหารให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างเหมาะสมต่อไป และสร้างกลยุทธ์เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน พร้อมทั้งขยายฐานลูกค้าเพื่อสร้างการเจริญเติบโตของธุรกิจ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของผู้ใช้บริการสั่งอาหารออนไลน์ผ่านแพลตฟอร์ม Grab Food

3. การทบทวนวรรณกรรม

Venkatesh et al [9] ได้เสนอ ทฤษฎีรวมของการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology หรือ UTAUT) เพื่อใช้อธิบายการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของแต่ละบุคคล และถูกนำไปใช้ศึกษาการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของแต่ละบุคคล โดยใช้ความตั้งใจแสดงพฤติกรรม และ/หรือพฤติกรรมการใช้ เป็นตัวแปรหลักจากทฤษฎีพฤติกรรมตามแบบแผนของ Ajzen [10] ซึ่งหลักการของทฤษฎี UTAUT คือ ศึกษาพฤติกรรมการใช้ที่ได้รับแรงกระตุ้นจากความตั้งใจกระทำ โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจกระทำ ประกอบด้วยปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ (1) ความคาดหวังในประสิทธิภาพ (2) ความคาดหวังในความพยายาม และ (3) อิทธิพลของสังคม ส่วนเงื่อนไขการอำนวยความสะดวกในการใช้งาน มีอิทธิพลทางตรงต่อพฤติกรรมการใช้ โดยตัวแปรปัจจัยต่าง ๆ นั้น มีตัวแปรกำกับ ได้แก่ ปัจจัยส่วนบุคคลของผู้ใช้ จำนวน

4 ตัวแปร ได้แก่ เพศ อายุ ประสบการณ์ และ ความสมัครใจใช้งาน ต่อมา Venkatesh et al [11] พบว่าทฤษฎี UTAUT มีข้อจำกัดจึงพัฒนาโดยศึกษาปัจจัยเพิ่มเติมให้มีความเหมาะสมขึ้น เรียกว่า ทฤษฎีการพัฒนาทฤษฎีรวมของการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี (Modified UTAUT หรือ UTAUT2) ซึ่งปัจจัยที่เพิ่มมีอิทธิพลทางตรงต่อความตั้งใจกระทำ และพฤติกรรมการใช้ ได้แก่ แรงจูงใจด้านความบันเทิง, มูลค่าราคา และความเคยชิน รวมทั้งผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยที่มีอยู่เดิมนั้น มีอิทธิพลทางตรงต่อทั้งความตั้งใจกระทำและพฤติกรรมการใช้ ซึ่งทำให้ UTAUT2 สามารถปรับใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมความตั้งใจในการใช้เทคโนโลยีของกลุ่มผู้บริโภคได้ดีขึ้น สรุปได้ว่า หลักการของ UTAUT2 เป็นการศึกษาพฤติกรรมการใช้ที่ได้รับแรงกระตุ้นจากความตั้งใจกระทำ โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจกระทำ

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัจจัย 6 ประการ ที่ส่งผลต่อความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร (Continuous Intention: CI) ได้แก่ ความคาดหวังประสิทธิภาพ (Performance Expectancy: PE) ความคาดหวังในความพยายาม (Effort Expectancy: EE) เงื่อนไขการอำนวยความสะดวก (Facilitating Conditions: FC) แรงจูงใจด้านความบันเทิง (Hedonic Motivation: HM) ความคุ้มค่าราคา (Price Value: PV) และ ความเคยชิน (Habit: HB) สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ความคาดหวังประสิทธิภาพ (Performance Expectancy: PE) ในการศึกษานี้ หมายถึง ผู้ใช้บริการมีความเชื่อว่าการสั่งอาหารออนไลน์ผ่านแพลตฟอร์ม ช่วยให้ได้บริการที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเห็นได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้ [12] แสดงให้เห็นว่าความคาดหวังประสิทธิภาพของผู้บริโภคที่มีต่อการสั่งอาหารออนไลน์เป็นปัจจัยที่สำคัญของความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารออนไลน์ นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอีกหลายท่านที่ทำการศึกษาเพื่อยืนยันถึงปัจจัยความคาดหวังประสิทธิภาพที่ส่งผลต่อความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร [12-14]

ความคาดหวังในความพยายาม (Effort Expectancy: EE) ในการศึกษานี้ หมายถึง ผู้ใช้บริการเชื่อว่าการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มเป็นเรื่องง่าย ไม่มีความซับซ้อนในการใช้งาน ซึ่งเห็นได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้ [12] แสดงให้เห็นว่าความคาดหวังในความพยายามของผู้บริโภคที่มีต่อการสั่งอาหารออนไลน์เป็นปัจจัยที่สำคัญของความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารออนไลน์ นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอีกหลายท่านที่ทำการศึกษาเพื่อยืนยันถึงปัจจัยความคาดหวังประสิทธิภาพที่ส่งผลต่อความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร [14, 15]

เงื่อนไขการอำนวยความสะดวก (Facilitating Conditions: FC) ในการศึกษานี้ หมายถึง ผู้ใช้บริการเชื่อว่าในแพลตฟอร์มการสั่งอาหารมีสิ่งอำนวยความสะดวกต่อการใช้งาน เช่น การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต การสนับสนุนอุปกรณ์ ความพร้อมใช้งานของแพลตฟอร์มเครือข่ายสังคมออนไลน์ ส่งผลต่อพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ต้องการใช้ [13, 14] ซึ่งเห็นได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้ [12] แสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขการอำนวยความสะดวกของผู้บริโภคที่มีต่อการสั่งอาหารออนไลน์เป็นปัจจัยที่สำคัญของความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารออนไลน์

ความเคยชิน (Habit: HB) ในการศึกษานี้ หมายถึง ผู้ใช้บริการมีแนวโน้มที่จะแสดงพฤติกรรมในการสั่งอาหารออนไลน์ผ่านแพลตฟอร์ม เพื่อสนับสนุนการใช้ชีวิตของพวกเขา เนื่องจากชีวิตประจำวันของพวกเขาจำเป็นต้องสั่งอาหารออนไลน์ [13, 14] ซึ่งเห็นได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้ [12] แสดงให้เห็นว่าความเคยชินของผู้บริโภคที่มีต่อการสั่งอาหารออนไลน์เป็นปัจจัยที่สำคัญของความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารออนไลน์

แรงจูงใจด้านความบันเทิง (Hedonic Motivation: HM) ในการศึกษานี้ หมายถึง ความเพลิดเพลินที่ผู้ใช้บริการได้รับจากการใช้บริการจากสั่งอาหารออนไลน์ผ่านแพลตฟอร์ม เพราะมีคุณสมบัติที่น่าสนใจสำหรับผู้บริโภค ดังนั้นผู้บริโภคจึงให้ความสำคัญกับความเพลิดเพลินในการใช้บริการ [13, 14] ซึ่งเห็นได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้ [12] แสดงให้เห็นว่าหากผู้ใช้บริการมีความเพลิดเพลินกับการใช้บริการก็จะใช้บริการอย่างต่อเนื่องถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญของความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารออนไลน์

ความคุ้มค่าด้านราคา (Price Value: PV) ในการศึกษานี้ หมายถึง ผู้ใช้บริการให้ความสำคัญประโยชน์ของการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม โดยเฉพาะทางด้านค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าที่ต้องจ่ายค่าอาหาร [13, 14] ซึ่งเห็นได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้ [12] แสดงให้เห็นว่าความคุ้มค่าด้านราคาของการใช้บริการของผู้บริโภคที่มีต่อการสั่งอาหารออนไลน์เป็นปัจจัยที่สำคัญของความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารออนไลน์

จากแนวคิดดังกล่าว ขอเสนอสมมติฐานงานวิจัย ดังนี้

H1: ความคาดหวังประสิทธิภาพส่งผลต่อพฤติกรรมความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร Grab Food

H2: ความคาดหวังในความพยายามส่งผลต่อพฤติกรรมความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร Grab Food

H3: เงื่อนไขการอำนวยความสะดวกส่งผลต่อพฤติกรรมความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร Grab Food

H4: ความเคยชินส่งผลต่อพฤติกรรมความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร Grab Food

H5: แรงจูงใจด้านความบันเทิงส่งผลต่อพฤติกรรมความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร Grab Food

H6: ความคุ้มค่าด้านราคาส่งผลต่อพฤติกรรมความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร Grab Food

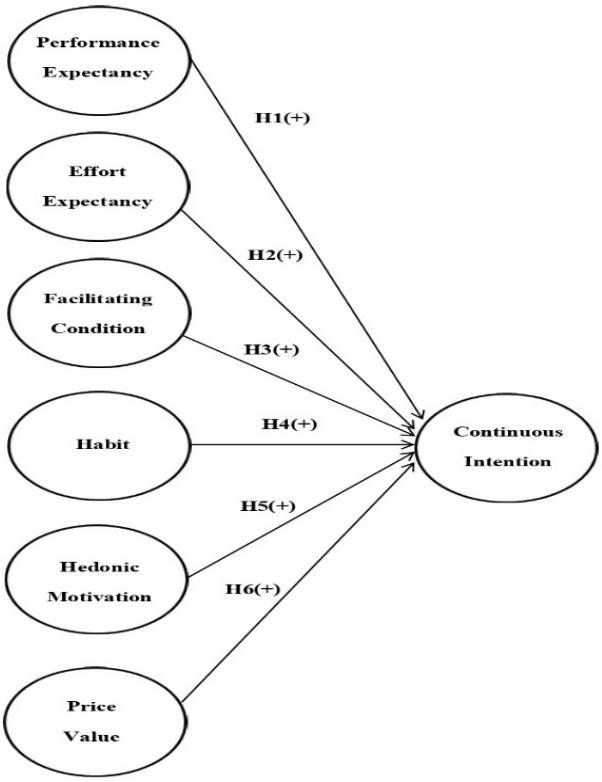
จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมผู้บริโภคในการใช้แพลตฟอร์ม Food Deliveryตลอดจนการศึกษาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง บทความส่วนใหญ่เน้นที่การศึกษาพฤติกรรมการยอมรับและการใช้เทคโนโลยีของ

ผู้บริโภค ซึ่งรายละเอียดของปัจจัยที่ทำการศึกษาจะเป็นปัจจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาทฤษฎีรวมของการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี (Modified UTAUT หรือ UTAUT2) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทของความสัมพันธ์ที่พบในการศึกษาการพัฒนาทฤษฎีรวมของการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี (Modified UTAUT หรือ UTAUT2)

Authors	Methods	PV	HM	HB	FC	EE	PE	CI
Zanetta et al [13]	CFA, SEM	/	/	/	/	/	/	/
Yapp and Kataraian [14]	CFA, SEM	/	/	/	/	/	/	/
Yao et al [16]	PLS-SEM			/	/			/
Wijaya and Sukaatmadja [17]	SEM		/	/	/	/	/	/
Ren et al [15]	SEM	/					/	/
Rasli et al [18]	Linear regression	/	/	/	/	/	/	/
Puriwat and Tripopsakul [19]	CFA, SEM				/	/	/	/
Palau-Saumell et al [20]	CFA, SEM	/	/	/	/	/	/	/
Mensah [21]	SEM					/	/	/
Lam et al [22]	PLS-SEM	/	/				/	/
Karulkar et al [23]	Regression				/	/	/	/
Kadir and Ismail [24]	SEM	/	/	/	/	/	/	/
Gunden et al [25]	CFA, SEM			/			/	/
Alalwan [12]	CFA, SEM	/	/	/	/	/	/	/
This Study		**/**	**/**	**/**	**/**	**/**	**/**	**/**

จากตารางที่ 1 นำเสนอการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี (Modified UTAUT หรือ UTAUT2) ของผู้บริโภค ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ Regression, CFA, Confirmatory Factor Analysis; SEM, Structural equation modeling ดังนั้น ผู้วิจัยได้ทำการเสนอสมมติฐาน H1-H6 โดยได้สร้างกรอบแนวคิดของการศึกษาที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจเชิงพฤติกรรมในการสั่งอาหารมาส่ง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

4. ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้บริการ เพื่อแนะแนวทางที่จะช่วยพัฒนาแพลตฟอร์ม Grab Food ให้สามารถเข้าถึงความต้องการและตอบโจทย์การใช้งานของผู้ใช้ สำหรับขั้นตอนการดำเนินการมีรายละเอียด ดังนี้

4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ประชากร: ผู้ใช้บริการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Grab Food ในประเทศไทย เพราะแพลตฟอร์ม Grab Food ยังคงครองตำแหน่ง No.1 Brand Thailand ในหมวดแพลตฟอร์มบริการจัดส่งอาหารด้วยคะแนน 53.9% [26]

กลุ่มตัวอย่าง: จังหวัดที่เป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจของแต่ละภูมิภาคจำนวน 6 ภูมิภาค ได้แก่ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันตก และภาคใต้ โดยทำการรวบรวมข้อมูลภูมิภาคละ 110 คน ซึ่งโดยแต่ละภูมิภาคจะเลือกจังหวัดที่เป็นเมืองหลักและเมืองรองของแต่ละภูมิภาคและทำการรวบรวมข้อมูลจังหวัดละ 55 คน โดยรวมแล้วมีขนาดกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 660 คน ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

(Confirmatory factor analysis: CFA) ในแบบจำลองของสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling: SEM) ดังนั้นขนาดของตัวอย่างที่เหมาะสมจะต้องมีมากกว่า 20 เท่า ของจำนวนตัวแปร [27] โดยตัวแปรที่เป็น 19 ตัวแปร ดังนั้นขนาดตัวอย่างต้องมีอย่างน้อย 19 x 20 = 380 ตัวอย่าง โดยในการศึกษานี้ใช้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 660 คน ซึ่งพิจารณาแล้วถือว่าเพียงพอและเหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล ทั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มตามพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ และทำการคัดเลือกเพียงบางส่วนด้วยวิธีการสุ่มแบบธรรมดา โดยผู้วิจัยจะสร้างแบบสอบถามจาก Google doc และกระจายแบบสอบถาม โดยการเก็บจากเว็บไซต์ Facebook ในกลุ่มผู้ใช้บริการสั่งอาหารออนไลน์ผ่านแพลตฟอร์ม Grab Food และระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บแบบสอบถามเริ่มตั้งแต่เดือน มกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ.2564

แบบสอบถาม: ผู้วิจัยทำการทบทวนวรรณกรรมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อจัดทำแบบสอบถาม โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ข้อมูลส่วนบุคคล และข้อมูลคุณลักษณะของผู้ตอบ รวมถึงประสบการณ์ในการใช้บริการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Grab Food ส่วนที่ 2 เกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้ใช้บริการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Grab Food ประกอบด้วยข้อคำถาม 19 ข้อ [12] โดยข้อคำถามทั้งหมดสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ และประเมินผลโดย 5 ระดับของ Likert Scale โดยมีช่วงตั้งแต่ 1 คือไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ถึง 5 คือเห็นด้วยอย่างยิ่ง ถึงแม้ว่าตัวแปรอันดับส่วนใหญ่จะมีขีดจำกัดและสามารถประมาณค่าได้ด้วยความน่าจะเป็นสูงสุด (ML) และส่วนที่ 3 เป็นข้อเสนอแนะ

4.2 ความน่าเชื่อถือของแบบสอบถาม

ในการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม ดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านการตลาดและการจัดการ โดยที่ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านเป็นผู้ที่มีประสบการณ์การทำวิจัยเกินกว่า 10 ปี ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและพิจารณาความสอดคล้องของแต่ละคำถามโดยวิเคราะห์และให้คะแนนคำถามกับดัชนีความสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ของรายการ (Index of item: IOC) พบว่า ค่าดัชนี IOC สูงกว่า 0.5 ซึ่งหมายความว่าความถูกต้องของเนื้อหาของแบบสอบถามอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จากนั้นจึงทำการศึกษานำร่องกับผู้ตอบ 30 คน ที่ไม่รวมอยู่ในการวิจัย วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค ผลลัพธ์ระบุค่าอัลฟาของครอนบาคที่ 0.784-0.965 ซึ่งมากกว่า 0.7 [28]

4.3 การวิเคราะห์สมการโครงสร้าง

สมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling: SEM) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยอาจวัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สังเกตได้

(Observed Variables) กับตัวแปรแฝง (Latent Variables or Unobserved Variables) หรือวัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงตั้งแต่สองตัวขึ้นไป คุณสมบัติที่สำคัญคือ ต้องเป็นสมการเส้นตรง (Linear) เท่านั้น และในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้น อาจจะเป็นการหาสาเหตุระหว่างตัวแปร การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกิดขึ้นพร้อมกันในเวลาเดียวกัน หรือการหาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปร SEM มี 2 รูปแบบ (Model) คือ โมเดลการวัด (Measurement Model) กับ โมเดลโครงสร้าง (Structural Model) (1) โมเดลการวัด คือ โมเดลการสร้างตัวแทนประกอบด้วยตัวแปรการวัด และตัวแปรย่อย โมเดลนี้จะชี้ให้เห็นว่า ตัวแทนจะเป็นตัวแทนที่ดีได้หรือไม่ ในโมเดลนี้ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรเรียกว่า Factor Loading (2) โมเดลโครงสร้าง คือ โมเดลการหาสาเหตุ ประกอบด้วยตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม รวมทั้งตัวแปรแฝง โมเดลนี้จะชี้ให้เห็นว่าตัวแปรต้นเป็นสาเหตุของตัวแปรตามหรือไม่ ในโมเดลนี้ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรเรียกว่า Regression Weight และ Factor Loading ซึ่งรายละเอียด SEM ถูกเขียนไว้อย่างละเอียดโดย [27, 29] ดังนั้นการวัด SEM เป็นวิธีที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยพิจารณา Structural model เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความคาดหวังประสิทธิภาพ ความคาดหวังในความพยายาม เงื่อนไขการอำนวยความสะดวก ความเคยชิน แรงจูงใจด้านความบันเทิง และความคุ้มค่า ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีต่อการใช้บริการสั่งอาหารออนไลน์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งหมายถึงการรับรู้ของผู้ใช้บริการแพลตฟอร์ม Food Delivery และทำการวิเคราะห์ แต่ละ Measurement model เพื่อให้ทราบว่าปัจจัยใดมีน้ำหนักมากที่สุด เพื่อนำเสนอแนะนโยบายต่อไป

5. ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคล

ผลจากการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างคือ ผู้ที่ใช้บริการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Food Delivery จากตัวอย่างของผู้ตอบแบบสอบถามมีดังนี้ หญิง 415 ราย (ร้อยละ 62.9) และ ชาย 245 ราย (ร้อยละ 37.1) ส่วนใหญ่อายุระหว่าง 21-30 ปี 276 ราย (ร้อยละ 41.8) และ 31-40 ปี 180 ราย (ร้อยละ 27.3) ระดับการศึกษาส่วนใหญ่ปริญญาตรี 407 ราย (ร้อยละ 61.9) และผู้จบมัธยมปลาย 152 ราย (ร้อยละ 23.0) ส่วนใหญ่เป็นนักศึกษา 205 ราย (ร้อยละ 31.1) และพนักงานบริษัท 167 ราย (ร้อยละ 25.3) ระดับรายได้อยู่ที่ 10,001-20,000 บาท (ร้อยละ 30.9%) ความถี่ของการใช้บริการคือน้อยกว่า 4 ครั้งต่อเดือน 334 ราย (ร้อยละ 50.6%) และ 5-10 ครั้งต่อเดือน 213 ราย (ร้อยละ 32.3)

ส่วนที่ 2 พฤติกรรมของผู้ใช้บริการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Food Delivery

สถิติเชิงพรรณนา จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ และค่าความโด่งของข้อมูลพื้นฐานจากตัวอย่าง 660 ตัวอย่าง สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มสั่งอาหาร

Construct	Variables	Mean	SD	Skewness	Kurtosis
ความคาดหวังต่อการใช้งาน (PE) [12]	I1: ท่านพบว่าแพลตฟอร์มสั่งอาหารบนมือถือมีประโยชน์ในชีวิตประจำวันของท่าน	4.07	0.796	-0.508	-0.313
	I2: แพลตฟอร์มสั่งอาหารบนมือถือช่วยให้ท่านทำงานสำเร็จได้เร็วขึ้น	3.97	0.834	-0.413	-0.493
	I3: การใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารบนมือถือช่วยเพิ่มผลิตภาพของท่าน	3.85	0.854	-0.262	-0.516
ความคาดหวังด้านความพยายาม (EE) [12]	I4: การเรียนรู้วิธีการใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารบนมือถือเป็นเรื่องง่ายสำหรับท่าน	4.00	0.837	-0.519	-0.034
	I5: การโต้ตอบระหว่างท่านกับแพลตฟอร์มสั่งอาหารบนมือถือมีความชัดเจนและเข้าใจง่าย	3.89	0.818	-0.270	-0.406
	I6: เป็นเรื่องง่ายสำหรับท่านที่จะมีความชำนาญในการใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารบนมือถือ	3.94	0.844	-0.533	0.129
สภาพของสิ่งอำนวยความสะดวก (FC) [12]	I7: ท่านมีทรัพยากรที่จำเป็นต่อการใช้แอปสั่งอาหารบนมือถือ	3.89	0.841	-0.380	-0.242
	I8: แอปสั่งอาหารบนมือถือเข้ากันได้กับเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ท่านใช้	3.95	0.839	-0.407	-0.409
นิสัย (HB) [12]	I9: การใช้แอปสั่งอาหารบนมือถือกลายเป็นนิสัยสำหรับท่าน	3.41	1.035	-0.085	-0.664
	I10: ท่านเสพติดการใช้แอปสั่งอาหารบนมือถือ	3.27	1.107	-0.076	-0.756
	I11: การใช้แอปสั่งอาหารบนมือถือกลายเป็นเรื่องปกติสำหรับท่าน	3.52	1.007	-0.349	-0.529

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มสั่งอาหาร (ต่อ)

Construct	Variables	Mean	SD	Skewness	Kurtosis
แรงจูงใจด้านความบันเทิง (HM) [12]	I12: การใช้แอปสั่งอาหารบนมือถือเป็นเรื่องสนุก	3.51	0.982	-0.300	-0.399
	I13: การใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหารบนมือถือให้ความบันเทิง	3.48	1.033	-0.246	-0.523
คุณค่าด้านราคา (PV) [12]	I14: ท่านรู้สึกว่าท่านได้รับผลิตภัณฑ์อาหารที่ดีในราคาที่เหมาะสมเมื่อใช้แพลตฟอร์มส่งอาหาร	3.82	0.810	-0.280	-0.245
	I15: การใช้แพลตฟอร์มส่งอาหารนั้นคุ้มค่าสำหรับท่านที่จะทุ่มเทเวลาและความพยายาม	3.73	0.805	-0.097	-0.286
	I16: เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการซื้ออาหารทั่วไปท่านจะใช้แพลตฟอร์มส่งอาหาร	3.71	0.848	-0.264	-0.145
ความตั้งใจที่จะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร (CI) [30]	I17: ท่านตั้งใจจะใช้แพลตฟอร์มสั่งอาหาร	3.84	0.840	-0.470	0.046
	I18: ถ้าท่านมีโอกาสท่านจะสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มสั่งอาหาร	3.83	0.817	-0.456	0.163
	I19: ท่านตั้งใจจะสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มสั่งอาหารต่อไป	3.79	0.857	-0.477	0.249

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5.1 การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

พบว่าแบบจำลองค่อนข้างสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ χ^2 = 299.061, df = 129, (p < 0.000), χ^2/df = 2.318, RMSEA = 0.045, CFI = 0.983, TLI = 0.978 and SRMR = 0.024 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่แนะนำ คือ (1) χ^2/df ควรมีค่า 2-5 จึงจะเหมาะสม [31] (2) root mean square error of approximation (RMSEA) ควรมีค่าน้อยกว่า 0.07 [32] (3) Comparative fit index (CFI) ควรมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0.90 [33] (4) Tucker–Lewis index (TLI) or Non-Normed Fit

Index (NNFI) ควรมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0.80 [34] และ (5) standardized root mean square residual (SRMR) ควรมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.70 [33]

5.1.1 แบบจำลองการวัด

ค่าสถิติดังกล่าวเป็นไปตามข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยรวมประกอบด้วยตัวแปรแฝง 7 ตัวแปร และปัจจัย 19 ปัจจัย ขณะที่พิจารณาจากค่าโหลดมาตรฐาน เราพบว่าค่าของโหลดมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.789-0.943 ซึ่งตรงตามเกณฑ์ที่มากกว่า 0.4 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้ประกอบขึ้นด้วยวิธีการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และค่าการโหลดที่เป็นมาตรฐานของแต่ละรายการมีดังต่อไปนี้

การประเมินการถ่วงน้ำหนักสัมพัทธ์ของความคาดหวังต่อการใช้งาน จากตัวแปรที่สังเกตได้ 3 ตัว I1 แสดงคะแนนการโหลดสูงสุดที่ 0.885 ตามด้วย I3 ที่มีคะแนนการโหลด 0.864 จาก 3 ตัวแปรที่สังเกตได้ของความคาดหวังด้านความพยายาม I6 แสดงคะแนนการโหลดสูงสุดที่ 0.882 รองลงมาคือ I4 ที่มีคะแนนการโหลด 0.860 จากตัวแปร 2 ตัวของสภาพของสิ่งอำนวยความสะดวก I7 มีคะแนนการโหลดสูงสุดที่ 0.868 รองลงมาคือ I8 มีคะแนนการโหลด 0.838 จากตัวแปร 3 ตัวของนิสัย I9 มีคะแนนการโหลดสูงสุดที่ 0.919 รองลงมาคือ I10 มีคะแนนการโหลด 0.895 จากตัวแปร 2 ตัวของแรงจูงใจด้านความบันเทิง I12 มีคะแนนการโหลดสูงสุดที่ 0.943 รองลงมาคือ I13 มีคะแนนการโหลด 0.881 จากตัวแปร 3 ตัวของคุณค่าด้านราคา I15 มีคะแนนการโหลดสูงสุดที่ 0.826 รองลงมาคือ I16 มีคะแนนการโหลด 0.803 จากตัวแปรสามตัวของความตั้งใจที่จะใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหาร I19 มีคะแนนการโหลดสูงสุดที่ 0.889 รองลงมาคือ I18 มีคะแนนการโหลด 0.886

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ของแบบจำลองการวัด

Construct	Variables	Standardized Loadings*	Standard Error	t-Value	CR	AVE	Cronbach's Alpha
Performance Expectancy	I1	0.885	0.014	61.030	0.901	0.752	0.884
	I2	0.856	0.014	61.419			
	I3	0.864	0.016	55.648			
Effort Expectancy	I4	0.860	0.013	67.287	0.897	0.744	0.897
	I5	0.845	0.014	62.278			
	I6	0.882	0.012	76.342			

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ของแบบจำลองการวัด (ต่อ)

Construct	Variables	Standardized Loadings*	Standard Error	t-Value	CR	AVE	Cronbach's Alpha
Facilitating Conditions	I7	0.868	0.016	52.978	0.842	0.728	0.842
	I8	0.838	0.017	48.461			
Habit	I9	0.919	0.009	106.002	0.926	0.807	0.925
	I10	0.895	0.010	90.780			
	I11	0.880	0.011	80.520			
Hedonic Motivation	I12	0.943	0.013	74.322	0.909	0.833	0.908
	I13	0.881	0.014	62.396			
Price Value	I14	0.789	0.019	42.472	0.848	0.650	0.848
	I15	0.826	0.017	48.626			
	I16	0.803	0.018	44.171			
Continuous Intention	I17	0.829	0.015	55.754	0.902	0.754	0.902
	I18	0.886	0.011	78.533			
	I19	0.889	0.011	80.031			

5.1.2 การทดสอบสมมติฐาน

แบบจำลองสมการโครงสร้างประมาณโดยใช้ค่าความน่าจะเป็นสูงสุด ผลการวิจัยพบว่า ระดับของค่าดัชนีความสอดคล้องที่วัด ได้แก่ χ^2= 299.061, df = 129, (p < 0.000), χ^2/df = 2.318, RMSEA = 0.045, CFI = 0.983, TLI = 0.978 and SRMR = 0.024 ค่าดัชนีความสอดคล้องดังกล่าวบ่งชี้ว่าเหมาะสมเพียงพอ จึงสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองสมการโครงสร้างเป็นไปตามข้อมูลเชิงประจักษ์ นอกจากนี้ เมื่อเราตรวจสอบด้วยสมมติฐาน 6 ประการที่นำเสนอในตารางที่ 4 เราพบว่าสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อความตั้งใจเชิงต่อพฤติกรรมในการสั่งอาหารทางออนไลน์ด้วยวิธีต่อไปนี้

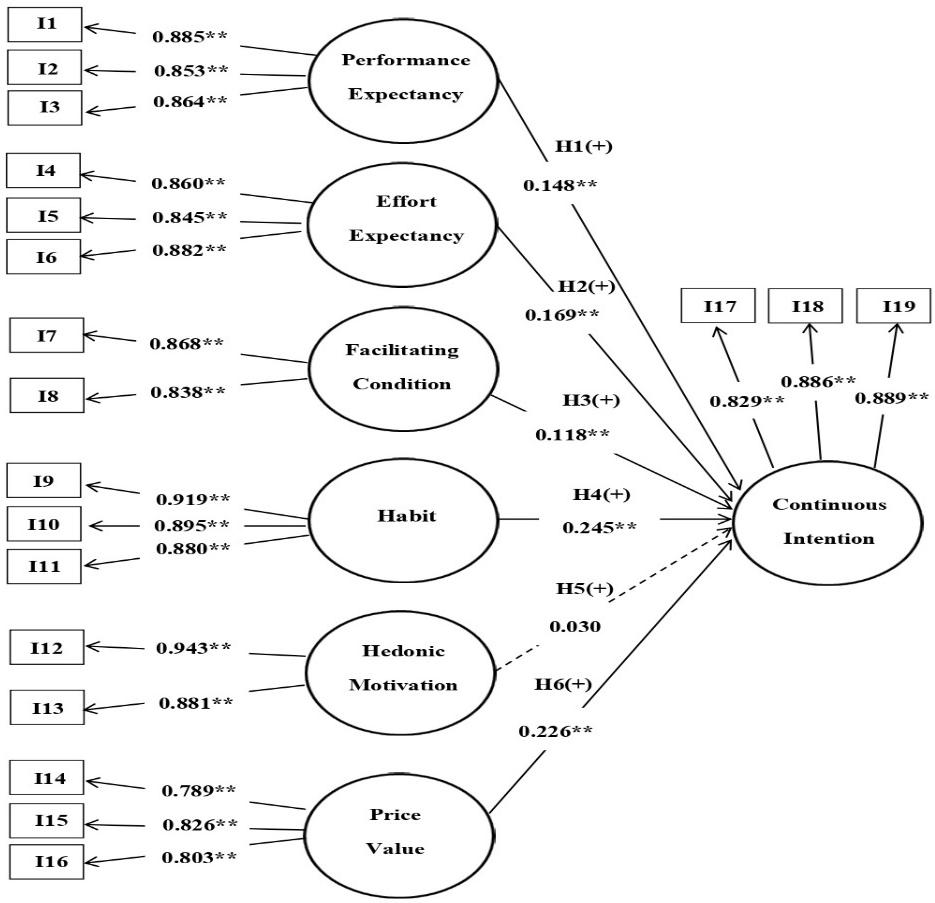
ตารางที่ 4 แสดงผล SEM สำหรับแบบจำลองโครงสร้างซึ่งสำรวจความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภายนอกทั้ง 6 ตัวที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมความตั้งใจที่จะสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Food Delivery ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยมาตรฐาน (Coef.) ระบุว่าปัจจัยทางด้านนิสัย (0.245) ตามด้วยปัจจัยด้านความคุ้มค่าด้านราคา (0.226) ปัจจัยความหวังในความพยายาม (0.169) ปัจจัยด้านความคาดหวังในประสิทธิภาพ (0.148) ปัจจัยด้านเงื่อนไขการอำนวยความสะดวก (0.118) และ

ปัจจัยด้านแรงจูงใจด้านความบันเทิง (0.030) และ ผลลัพธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจเชิงพฤติกรรมในการสั่งอาหารออนไลน์รวมถึงแสดงผลการวิเคราะห์ของการทดสอบสมมติฐานแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ของการทดสอบสมมติฐาน

Hypotheses	Description	Standardized Path Coefficient	t-Value	Result
H1	Performance Expectancy → Continuous Intention	0.148	2.713	Supported
H2	Effort Expectancy → Continuous Intention	0.169	2.580	Supported
H3	Facilitating Condition → Continuous Intention	0.118	2.028	Supported
H4	Habit → Continuous Intention	0.245	4.684	Supported
H5	Hedonic Motivation → Continuous Intention	0.030	0.680	Not Supported
H6	Price Value → Continuous Intention	0.226	4.220	Supported

การตรวจสอบโดยสรุปตามสมมติฐานการวิจัยที่นำเสนอ (H1-H6) พบว่าสมมติฐานดังกล่าวส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความสัมพันธ์ ตามที่ระบุและแสดงไว้ในในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การวิเคราะห์สมการโครงสร้าง

6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างของการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Grab Food ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาครั้งนี้มาจากทฤษฎีรวมการยอมรับการใช้เทคโนโลยี (UTAUT) และส่วนขยายทฤษฎีรวมการยอมรับการใช้ เทคโนโลยี (UTAUT2) ประกอบด้วย ความคาดหวังประสิทธิภาพ ความคาดหวังในความพยายาม สภาพของสิ่งอำนวยความสะดวก ความเคยชิน แรงจูงใจด้านความบันเทิง และความคุ้มค่าราคา วิธีการศึกษาที่ใช้เป็นดัชนีวิเคราะห์ปัจจัยยืนยัน มีสมมติฐาน 6 ข้อ จากการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์ปัจจัยยืนยัน พบว่าสามารถรับรององค์ประกอบของแบบจำลองดังกล่าวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ การวิเคราะห์แบบจำลองสมการเราพบว่าดัชนีความสอดคล้องของแบบจำลองมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี 5 สมมติฐานจากทั้งหมด 6 สมมติฐาน ซึ่งสามารถสรุปผลและอธิบายรายละเอียด ได้ดังนี้

จากแบบจำลองสมการโครงสร้าง พบว่า มีปัจจัยที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อความตั้งใจที่จะสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Grab Food ได้แก่ ความคาดหวังประสิทธิภาพ ความคาดหวังในความพยายาม สภาพของสิ่งอำนวยความสะดวก ความเคยชิน แรงจูงใจด้านความบันเทิง และความคุ้มค่าราคา ขณะตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางที่ได้มาตรฐาน

พบว่าสมมติฐานที่ 4 ความเคยชินมีอิทธิพลต่อความตั้งใจที่จะใช้ต่อไปมากที่สุด เท่ากับ 0.245 หมายความว่า ความเคยชินในการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มมีอิทธิพลทางตรงเชิงบวกต่อความตั้งใจที่จะใช้บริการ ดังนั้นหากผู้ใช้มีแนวโน้มที่จะแสดงพฤติกรรมในการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มเพื่อสนับสนุนการใช้ชีวิตของพวกเขาเนื่องจากชีวิตประจำวันของพวกเขาต้องสั่งอาหารออนไลน์ก็จะส่งผลให้ผู้บริโภคเกิดความเคยชินที่จะใช้บริการ หากต้องการกินอาหารหรือหิวก็จะทำการสั่งอาหารออนไลน์ทันที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [12-14, 16, 18, 20, 24, 25] ที่ผลงานวิจัยออกมาว่าความเคยชินส่งผลในเชิงบวกต่อความตั้งใจเชิงพฤติกรรมในการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Food Delivery

รองลงมาคือสมมติฐานที่ 6 ความคุ้มค่าด้านราคา ซึ่งมีอิทธิพลต่อความตั้งใจที่จะใช้ต่อไปด้วยเท่ากับ 0.226 หมายความว่า ผู้ใช้บริการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มมองว่าประโยชน์ของการใช้บริการมีความคุ้มค่าต่อค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไป หรือผู้ใช้บริการได้รับอาหารตรงตามข้อมูลที่ระบุไว้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [12-15, 18, 22, 24] ที่ผลงานวิจัยออกมาว่าความคุ้มค่าด้านราคาส่งผลในเชิงบวกต่อความตั้งใจเชิงพฤติกรรมในการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มอย่างต่อเนื่อง

ถัดมาคือ สมมติฐานที่ 2 ความคาดหวังในความพยายาม ซึ่งมีอิทธิพลต่อความตั้งใจที่จะใช้ต่อไปด้วย เท่ากับ 0.169 หมายความว่า ผู้ใช้บริการเชื่อว่าการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มเป็นเรื่องง่าย ไม่มีความซับซ้อนและยุ่งยากในการใช้บริการ ไม่ต้องใช้ความพยายามในการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [12-14, 17, 19, 21] ที่ผลงานวิจัยออกมาว่าความคาดหวังในความพยายาม ส่งผลในเชิงบวกต่อความตั้งใจเชิงพฤติกรรมในการสั่งอาหารออนไลน์อย่างต่อเนื่อง

ลำดับต่อมาคือสมมติฐานที่ 1 ความคาดหวังประสิทธิภาพ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความตั้งใจที่จะใช้ต่อไปด้วย เท่ากับ 0.148 หมายความว่า ผู้ใช้บริการเชื่อว่าถ้าหากมีการใช้บริการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม จะได้มาซึ่งการบริการที่มีประสิทธิภาพ ไม่มีอุปสรรคในการใช้งาน และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [12-15, 17-19, 21-25] ที่ผลงานวิจัยออกมาว่าความคาดหวังประสิทธิภาพ ส่งผลในเชิงบวกต่อความตั้งใจเชิงพฤติกรรมในการสั่งอาหารออนไลน์อย่างต่อเนื่อง

ลำดับต่อไปคือสมมติฐานที่ 3 สภาพของสิ่งอำนวยความสะดวกซึ่งมีอิทธิพลต่อความตั้งใจที่จะใช้ต่อเนื่อง เท่ากับ 0.118 หมายความว่า ที่พบว่าการที่แพลตฟอร์มมีระบบสนับสนุนการใช้งานเพิ่มมากขึ้นจะช่วยส่งผลให้ผู้ใช้บริการเกิดความยินดีที่จะใช้งานมากยิ่งขึ้น และการมีสภาพสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งานที่ดีขึ้น จะทำให้ผู้ใช้บริการเกิดความรู้สึกที่ดีต่อบริการและมีโอกาสที่จะ

เกิดการใช้งานง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [12-14, 16-20, 23, 24] ที่ผลงานวิจัยออกมาว่าสภาพของสิ่งอำนวยความสะดวก ส่งผลในเชิงบวกต่อความตั้งใจเชิงพฤติกรรมในการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มอย่างต่อเนื่อง

นอกจากนี้พบว่ามี 1 สมมติฐานที่ไม่เป็นจริงทำให้ไม่ยอมรับสมมติฐานคือ ปัจจัยแรงจูงใจด้านความบันเทิงต่อความตั้งใจเชิงพฤติกรรมในการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มอย่างต่อเนื่อง กล่าวคือ ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้านแรงจูงใจด้านความบันเทิงซึ่งเป็นสมมติฐานที่ 5 ไม่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจที่จะใช้อย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าอิทธิพล = 0.030 หมายความว่า เวลาที่ใช้บริการสั่งอาหารออนไลน์ผ่านแพลตฟอร์ม ผู้ใช้บริการไม่มีความเพลิดเพลินในการใช้งาน และแพลตฟอร์มไม่มีคุณสมบัติที่น่าสนใจหรือดึงดูดใจ

7. ข้อเสนอแนะ

ผู้เขียนได้ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองสมการโครงสร้าง สำหรับการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากกว่าสำหรับการวัดปรากฏการณ์ที่ซับซ้อน แบบจำลองสมการโครงสร้างมีจุดประสงค์คล้ายกับการถดถอยพหุคูณ แต่มีประสิทธิภาพมากกว่าโดยคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ แบบจำลองของการโต้ตอบ ความไม่เชิงเส้น ตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์ ข้อผิดพลาดในการวัด เงื่อนไขข้อผิดพลาดที่สัมพันธ์กัน ตัวแปรอิสระแฝงหลายตัว (ซึ่งแต่ละตัววัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว) และตัวแปรตามแฝงหนึ่งหรือหลายตัว (แต่ละตัวมีหลายตัวบ่งชี้) [27] ข้อมูลถูกเก็บรวบรวมที่ไทยโดยแบ่งออกเป็น 6 ภูมิภาค ได้แก่ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตกและภาคใต้

จากผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้ เราสามารถจัดอันดับตัวแปรภายนอกในแง่ของจุดแข็งของอิทธิพลต่อพฤติกรรมความตั้งใจที่จะสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Food Delivery ปัจจัยด้านความเคยชินของผู้ใช้บริการพบว่าบางท่านใช้บริการสั่งอาหารออนไลน์จนกลายเป็นเรื่องปกติในชีวิตประจำวันและในบางคนเสพติดการสั่งอาหารออนไลน์จนกลายเป็นความเคยชินและมีการใช้บริการอย่างต่อเนื่อง รองลงมาคือ ปัจจัยความคุ้มค่าราคา พบว่า ผู้ใช้บริการแพลตฟอร์ม Food Delivery เข้าใจถึงราคาของอาหารที่อยู่ในแพลตฟอร์มที่มีความสมเหตุสมผลของร้านค้าส่งผลให้ผู้ใช้บริการอย่างต่อเนื่อง เพราะทางร้านค้าก็จะต้องถูกหักค่าคอมมิชชันจากยอดขาย และบางร้านก็ตั้งราคาหรือโปรโมชันใกล้เคียงกับการซื้อจากหน้าร้าน เพราะฉะนั้นผู้ใช้บริการจึงคิดว่าสั่งอาหารออนไลน์คุ้มค่ากว่าการเดินทางออกจากบ้านเพื่อไปซื้อจากหน้าร้าน ถัดมาคือ ความคาดหวังในความพยายาม ถ้าผู้ใช้บริการค้นพบว่าการเรียนรู้วิธีการใช้แพลตฟอร์มเป็นเรื่องง่าย รวมถึงคุณสมบัติของแพลตฟอร์มที่มีการทำงานที่ดีสามารถโต้ตอบสื่อสารระหว่างผู้บริโภคกับแพลตฟอร์มได้ชัดเจนและเข้าใจง่ายก็จะส่งผลให้ผู้บริโภคเกิดความชำนาญในการใช้ ลำดับถัดมาคือ ความคาดหวังประสิทธิภาพ ถ้าผู้ใช้บริการรู้สึกว่าการใช้บริการสั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์มเป็นประโยชน์

ต่อชีวิตประจำวันและสามารถช่วยให้บรรลุผลในการสั่งอาหาร ส่งผลต่อความสะดวกสบาย ก็จะทำให้ผู้บริโภคใช้บริการอย่างต่อเนื่อง ลำดับถัดมาคือ ปัจจัยด้านเงื่อนไขการอำนวยความสะดวก หากเจ้าของธุรกิจแพลตฟอร์ม Food Delivery ทำการพัฒนาแพลตฟอร์มให้มีความง่าย ไม่ซับซ้อนต่อการใช้งาน ก็จะทำให้ผู้บริโภคหันมาใช้บริการอย่างต่อเนื่อง และพฤติกรรมผู้บริโภคที่สั่งอาหารผ่านแพลตฟอร์ม Food Delivery ส่วนใหญ่ต้องการที่จะสั่งอาหารผ่านช่องทางอินเตอร์เน็ต ดังนั้นหน่วยงานภาครัฐหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรจะนำ ผลการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดนโยบายเพื่อเอื้ออำนวยความสะดวกต่อการซื้อขายสินค้าในระบบการตลาดดิจิทัล ถัดมาคือปัจจัยแรงจูงใจด้านความบันเทิง ถ้าผู้บริโภคมีความสนุกและมีความบันเทิงต่อการใช้ใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหาร เช่น การสร้างโปรโมชันเพื่อดึงดูดผู้บริโภครวมถึงการให้โค้ดส่วนลดค่าอาหารและค่าขนส่งเพื่อให้ผู้บริโภคสามารถเลือกสั่งอาหารได้ตรงตามความต้องการ

References

[1] Kasikorn Research Center. Food Delivery in 2023 is likely to slow down [Internet]. 2023 [cited 2024 Jul 30]. Available from: https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/FOOD-DELIVERY-CIS3423-FB-21-07-2023.aspx. (In Thai)

[2] Insight ERA. Food Delivery Industry Analysis of the food delivery industry [Internet]. 2024 [cited 2024 Jul 30]. Available from: https://www.insightera.co.th/free-report-food-delivery/. (In Thai)

[3] Thai PBS. Robinhood postpones closure pending investor takeover [Internet]. 2024 [cited 2024 Jul 30]. Available from: https://www.thaipbs.or.th/news/content/342499. (In Thai)

[4] Ponpitak P, Bussaban K, Emin T, Martsiri A. Technology acceptance affecting food order intention via application of employees in Laem Chabang industrial estate Chonburi. Journal of Graduate School of Commerce Burapha Review 2021;16(2):45-57. (In Thai)

[5] Khetpiyarat P, Areerattanasak W, Vikramprasit S, Saisombut A. Motivation and service marketing strategies affecting the customers' decision to use food delivery applications in Muang district, Uttaradit province. Journal of Management Science Sakon Nakhon Rajabhat University 2024;4(1):59-72. (In Thai)

[6] Sriratana J. Consumer behavior through online food ordering applications during the virus COVID-19 outbreak. Humanities and Social Science Research Promotion Network Journal 2021;4(3):118-28. (In Thai)

[7] Sirichoksopon P, Chitkesorn A. The technology acceptance and marketing mix impacting the decision to order food online of consumers in Mueang Chiang Mai district, Chiang Mai province. Suthiparithat Journal 2021;35(4):19-36. (In Thai)

[8] Kongka K. Food delivery app market share in Thailand [Internet]. 2021 [cited 2021 Jul 30]. Available from: https://www.investerest.co/business/thai-food-delivery/. (In Thai)

[9] Venkatesh V, Morris MG, Davis GB, Davis FD. User acceptance of information technology: toward a unified view. MIS Quarterly 2003;27(3):425-78.

[10] Ajzen I. The theory of planned behavior. Organizational Behavior and Human Decision Processes 1991;50(2):179-211.

[11] Venkatesh V, Thong JY, Xu X. Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology. MIS Quarterly 2012;36(1):157-78.

[12] Alalwan AA. Mobile food ordering apps: an empirical study of the factors affecting customer e-satisfaction and continued intention to reuse. International Journal of Information Management 2020;50:28-44.

[13] Zanetta L, Hakim M, Gastaldi G, Seabra L, Rolim P, Nascimento L, et al. The use of food delivery apps during the COVID-19 pandemic in Brazil: The role of solidarity, perceived risk, and regional aspects. Food Research International 2021;149:110671.

[14] Yapp EHT, Kataraian S. Key determinants of continuance usage intention: An empirical study of mobile food delivery apps among Malaysians. Proceedings of the International Acedemic Symposium of Social Science 2022; 2022 Jul 3;Kota Bharu, Malaysia. doi: 10.3390/proceedings2022082015.

[15] Ren S, Kwon S, Cho W. Online Food Delivery (OFD) services in Cambodia: a study of the factors influencing consumers' behavioral intentions to use [internet]. 2020 [cited 2024 Aug 10]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/349552360_Online_Food_Delivery_OFD_services_in_Cambodia_A_study_of_the_factors_influencing_consumers'_behavioral_intentions_to_use.

[16] Yao P, Osman S, Sabri MF, Zainudin N, Li Y. Do consumers continue to use O2O food delivery services in the post-pandemic era? roles of sedentary lifestyle. Heliyon 2023;9:e19131. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19131.

[17] Wijaya M, Sukaatmadja I. Antecedents of intentions and their consequences on the behavior of using online food delivery messaging applications on the island of Bali. International Journal of Chemistry and Chemical Engineering Systems 2021;6:61-78.

[18] Rasli M, Zulkefli N, Salleh N, Ghani F, Razali N, Idris R. Determinants of behavioural intention on online food delivery (OFD) apps: extending UTAUT2 with information quality. Global Business and Management Research 2020;12(4):679-89.

[19] Puriwat W, Tripopsakul S. Understanding food delivery mobile application technology adoption: a UTAUT model integrating perceived fear of covid-19. Emerging Science Journal 2021;5:94-104.

[20] Palau-Saumell R, Forgas-Coll S, Sánchez-García J, Robres E. User acceptance of mobile apps for restaurants: an expanded and extended UTAUT-2. Sustainability 2019;11(4):1210.

[21] Mensah IK. Factors influencing international students behavioral intention to order online food delivery services. International Journal of Strategic Information Technology and Applications (IJSITA) 2019;10(1):23-39.

[22] Lam TN, Vuong TK, Tran ST. Key factors influencing customer satisfaction and intention to reuse food ordering apps. Management Dynamics in the Knowledge Economy 2023;11(2):152-69.

[23] Karulkar Y, Pahuja J, Uppal BS, Sayed S. Examining UTAUT model to explore consumer adoption in Online Food Delivery (OFD) services. Pramana Research Journal 2019;9(8):146-62.

[24] Kadir RD, Ismail J. Millennials adpot online delivery: analysis using UTAUT2 model during pandemic COVID-19. Journal of Principles Management and Business 2022;1(1):18-26.

[25] Gunden N, Morosan C, DeFranco A. Consumers' intentions to use online food delivery systems in the USA. International Journal of Contemporary Hospitality Management 2020;32(3):1325-45.

[26] Marketeer. Grab is the food delivery champion [Internet]. 2024 [cited 2024 Nov 19]. Available from: https://marketeeronline.co/archives/229328. (In Thai)

[27] Kline RB. Principles and practice of structural equation modeling. 5th ed. New York, USA: Guilford publications; 2023.

[28] Tavakol M, Dennick R. Making sense of Cronbach's alpha. International Journal of Medical Education 2011;2:53-5.

[29] Hair J, Black W, Babin B, Anderson R. Multivariate Data Analysis, 7th ed. New York, USA: Pearson; 2010.

[30] Cho M, Bonn M, Li J. Differences in perceptions about food delivery apps between single-person and multi-person households. International Journal of Hospitality Management 2019;77:108-16.

[31] Marsh HW, Hocevar D. Application of confirmatory factor analysis to the study of self-concept: first-and higher order factor models and their invariance across groups. Psychological bulletin 1985;97(3):562-82.

[32] Steiger JH. Understanding the limitations of global fit assessment in structural equation modeling. Personality and Individual differences 2007;42(5):893-98.

[33] Hu L, Bentler PM. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: conventional criteria versus new alternatives. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal 1999;6(1):1-55.

[34] Hooper D, Coughlan J, Mullen M. Evaluating model fit: a synthesis of the structural equation modelling literature. In: Brown A, editor. Proceeding of the 7th European Conference on research methodology for business and management studies; 2008 Jun 19-20; London, UK. Reading, UK: Acedemic Publishing: 2008. p. 195-200.

ประวัติผู้เขียนบทความ

ชิดชนก อินทอง ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาโลจิสติกส์ สากลและการจัดการอุตสาหกรรม คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร โทรศัพท์ 0-2988-3666 ต่อ 2124 E-mail: chidchanok@mut.ac.th

สิริรักษ์ ภู่ริยะพันธ์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองคณะบดีฝ่ายวิจัย และอาจารย์ประจำสาขาวิชาโลจิสติกส์สากลและการจัดการอุตสาหกรรม คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร โทรศัพท์ 0-2988-3666 ต่อ 2124 E-mail: sirirak@mut.ac.th

ศรัญญา การุณวรรธนะ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายประกันคุณภาพการศึกษา และอาจารย์ประจำสาขาวิชาโลจิสติกส์สากลและการจัดการอุตสาหกรรม คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร โทรศัพท์ 0-2988-3666 ต่อ 2119 E-mail: saranya@mut.ac.th

Article History:

Received: August 26, 2024

Revised: March 2, 2025

Accepted: March 21, 2025

PLANT LAYOUT COMPARATIVE ANALYSIS: A CASE STUDY OF CARTON PRODUCT

Wirunpuch Prommachan
Lecturer, Department of Industrial Technology and Innovation,
Faculty of Science and Technology, Pathumwan Institute of Technology,
833 Rama 1 Road, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand, Wirunpuch.p@pit.ac.th

ABSTRACT

This research aims to investigate and compare the layout of a carton manufacturing plant in the production process to increase productivity, reduce production costs, and minimize the movement time of workers and materials. The study utilizes the Systematic Layout Planning (SLP) method, starting by identifying issues through an experiment (4M) such as Methods, Machinery, Man, and Materials to understand their compatibility and the characteristics of the production process. The subsequent steps involve studying the paper box manufacturing process by analyzing the time and distance used in production. Subsequently, the research applies the SLP method, using Flow Process Charts and Relationship Charts, to design a new plant layout. This layout is then compared with the existing one. The relationship and mutual benefits between each department, which in the traditional layout lacked design based on proper facility layout principles, resulted in adjacent departments that might not have any relationship. However, the newly designed layout ensures that adjacent departments can mutually benefit from one another. In the traditional layout, the distance was 42.99 meters, while the proposed layout reduced the distance to 40.04 meters, representing a 6.86 percent reduction. Regarding time, the traditional layout required 143.846 seconds, whereas the proposed layout reduced the time to 126.189 seconds, a 12.27 percent decrease.

KEYWORDS: Carton Product Plant, Material Flow Process Chart, Relationship Diagram, Systematic Layout Planning

1. Introduction

In the current situation, the corrugated carton product manufacturing industry faces intense competition due to the presence of numerous manufacturers. Additionally, the

economic downturn has reduced customer purchasing power. Moreover, the fluctuation in the cost of corrugated paper, the impact of the minimum wage increase, and the rising overhead production costs driven by market mechanisms are all key factors affecting production costs and the price of the carton product.

Designing a factory layout for an industrial plant is considered the first and most crucial step for ensuring the success of industrial operations. A well-designed layout allows for cost-effective production, enabling easy control over manufacturing processes.

In the case of a carton product manufacturing plant, the facility receives bulk orders from customers, necessitating the storage of production materials in the manufacturing area. This space is also occupied by machinery used in the production process, leading to limited space for material movement and employee mobility, resulting in production delays.

Therefore, this project aims to study and propose improvements to the factory layout, specifically in the production process of the carton product company. The goal is to increase production output, reduce manufacturing costs, and minimize the time spent by employees and materials in transit.

2. Conceptual Framework

2.1 Optimal Space Utilization

The primary thrust of plant layout is the judicious utilization of available space. This encompasses the strategic arrangement of workstations, production lines, and storage areas to minimize wastage and ensure the efficient use of the facility's footprint.

2.1.1 Workflow Optimization

Plant layout targets the harmonization of material and information flow within the facility. The layout mitigates bottlenecks by judiciously positioning workstations and production processes, ensuring a smooth and logical workflow.

2.1.2 Flexibility and Adaptability

A practical plant layout is designed with flexibility, capable of accommodating changes in production volumes, product lines, or technological advancements without significant disruptions or the need for extensive redesign.

2.1.3 Minimization of Material Handling

Plant layout endeavors to curtail material handling distances, reducing the time and effort required to move raw materials, work-in-progress, and finished goods. This results in heightened efficiency and cost-effectiveness.

The methodology employed for plant layout is a thorough and systematic approach focused on strategically arranging diverse components within an industrial facility. This section delineates essential methodologies in plant layout design, underscoring their importance in attaining an effective and productive spatial arrangement.

2.2 Systematic Layout Planning (SLP)

In the Systematic Layout Planning (SLP) research project, the investigators delved into relevant studies to serve as guiding principles. A comparative overview of SLP-based plant layouts is presented, incorporating findings from specific research initiatives. Phonsing et al [1] conducted a study in which they used SLP to shorten material handling lengths and improve overall process efficiency in the LED lighting production sector. Their study demonstrated how SLP may be used to intelligently arrange workstations and optimize material flow, resulting in notable decreases in handling time and travel distance. According to another study by Kumar and Malleswari [2] indicates that by applying SLP, facilities can achieve more efficient material flow, reduced transportation distances, and improved overall operational efficiency. Their work emphasizes the systematic approach of SLP, which includes analyzing relationships between departments, determining space requirements, and developing an optimal layout configuration. In essence, this study reinforces the value of SLP as a tool for enhancing facility layout design to achieve operational improvements, Eksiri and Phromhitathorn [3] focused on utilizing SLP for warehouse layout design and production planning, analyzing the impact of optimized warehouse configurations on operational performance. Their findings revealed that SLP facilitates effective space allocation, efficient stock positioning, and systematic flow design, thereby minimizing picking times, reducing errors, and improving overall warehouse management efficiency.

These studies collectively demonstrate the effectiveness of Systematic Layout Planning in optimizing industrial spatial arrangements, leading to improved efficiency and reduced operational costs. The methodologies employed, including data collection, simulation, and

comparison with traditional layouts, provide valuable insights for implementing systematic plant layout approaches.

3. Experimental Procedure

A case study of a carton manufacturing company with limited and congested space faces challenges in product movement, inter-machine product transfer, employee movement space, and diverse product placement areas. The existing factory layout lacks a systematic design, prompting researchers to recognize the importance of implementing a Systematic Layout Planning (SLP) to enhance the factory layout. [4, 5]

Studying has revealed the main reasons for the need to modify the plant layout to align with current production:

The flow of raw materials and similar products, along with the distances between machinery departments and walkway areas, is relatively narrow.

Due to the factory's production process being a small-scale business with uncertain production and diverse product patterns based on customer orders (Made by order), the production format is semi-industrial. This necessitates finding the most suitable plant layout that aligns with the factory's production capacity.

The research team has outlined the operational process to ensure accuracy, clarity, and detailed documentation.

3.1 General Information Study Related to Carton Manufacturing Plant

The study involves understanding human operations, machinery, workforce, and raw materials. It aims to identify production patterns, considering the variety and quantity of products produced in each production cycle. The lack of a systematic layout has led the researchers to emphasize the need to study and improve manufacturing processes by focusing on a specific product.

3.2 Study of Processes in Carton Manufacturing

The research delves into the production processes of cartons. It collects data on production challenges, such as the extended time required for each product due to product

diversity. The study aims to document and analyze the production steps, facilitating a better understanding of the workflow.

3.3 Systematic Layout Planning (SLP) Theory Study for Factory Layout Improvement

The research team explores the SLP methodology, including steps such as data collection, workflow analysis, qualitative data analysis, relationship chart analysis, space requirement evaluation, space relationship diagram, and consideration of specifications and constraints. Various tools, such as flow process charts, plant layouts, and relationship charts, are employed to assess and select the most suitable factory layout [6].

3.4 Collection of Production Process Data and Determination of Flow Distances

Measurements of distances between departments and machines are taken to identify the flow paths of people and materials. This information aids in creating a new factory layout aligned with current production requirements. Additionally, direct time measurements are taken to refine the factory layout further [7].

3.5 Comparison of Factory Layouts Before and After Adjustment

After designing the new factory layout, a comparison is made between the adjusted and traditional layouts using flow process charts. This analysis helps identify the advantages and disadvantages of each layout, summarizing the time and distance measurements for the flow paths before and after the factory layout adjustment [8].

4. Results and Discussion

The researcher directly measured the time and distances used in moving materials, workpieces, and products to gather data for decision-making in factory layout planning.

1) Production Time of carton Manufacturing: The time study involved capturing time for ten cycles to calculate the average time for each machine's sub-process.

2) Creation of the Current Product Flow Process Chart: After capturing time and studying the material flow, a product flow process chart was generated to illustrate activities, distances, and times for each production step. The chart reflects variations based on the

product type, providing insights into material transportation distances and process times in each production step. The results are presented in Table 1.

Table 1 Carton flow process chart (before adjustment)

	Symbol	Current		Improved		Difference	
		meters	seconds	meters	seconds	meters	seconds
Product: Carton	○	6	33.37				
	⇨	7	99.55				
	□	-	-				
	D	-	-				
	▽	2	-				
	Distance	42.99					

Symbol					Detail	Distance (meters)	Movement Time (seconds)
○	⇨	□	D	▽			
				●	1. Material storage	-	-
	●				2. Move to cutting machine 1	2.44	6.567
●					3. Cut according to pattern	-	0.954
	●				4. Move to cutting machine 2	5.77	13.669
●					5. Cut according to pattern	-	0.690
	●				6. Move to printing machine	6.55	15.486
●					7. Print color according to design	-	1.854
	●				8. Move to grooving machine	12.36	27.457
●					9. Chop groove according to pattern	-	3.673
	●				10. Move to adhesive department	7.85	17.658
●					11. Apply adhesive and assemble	-	14.676
	●				12. Move to packing machine	3.32	7.792
●					13. Pack product	-	11.527
	●				14. Move to storage	4.70	10.923
				●	15. Storage	-	-
Total						42.99	143.846

4.1 Designing the factory layout using systematic layout planning

The factory layout redesign aims to maximize available space to facilitate potential production expansion and accommodate products with changing patterns. Adequate space for product placement becomes crucial when introducing new products. Evaluating the new factory layout compared to the previous one, utilizing metrics like distances and transportation times, assists in identifying the most optimal factory layout.

1) Relationship Chart: The research team has organized diverse activities within each department, each comprising sub-processes with various machines. The researchers have analyzed the relationships between pairs of activities to gauge the degree of interdependence [3, 9] as shown in Table 2.

Table 2 The relationship level.

Level	Relationship
A	Very high
E	High
I	Moderate
O	Low
U	Very low
X	No relationship

The relationships [10] obtained in each pair of each activity can be shown in Figure 1.

2) The obtained relationship diagram is used to create a Relationship Diagram by taking the relationships from the relationship chart of each activity and writing them down in an activity table. This calculates the total closeness rating (TCR) based on predefined criteria. The activity with the highest score will be placed first on the chart [11-13] as shown in Table 3.

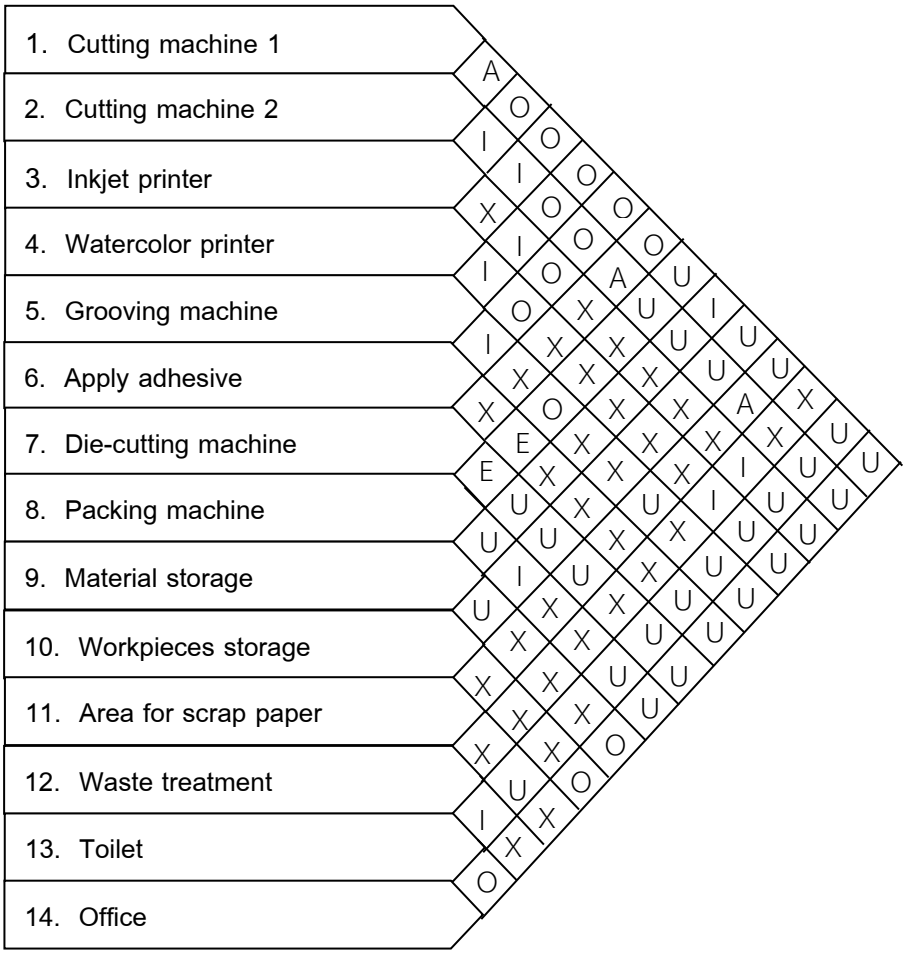


Figure 1 Relationship chart of factory layout

Table 3 The criteria for rating relationship levels.

Level	Criteria for Rating
A	10,000
E	1,000
I	100
O	10
U	0
X	-

The relationships obtained from the relationship diagram are used to calculate the overall closeness rating (Total Closeness Rating: TCR) based on the predefined criteria. The overall closeness rating can be summarized according to the process layout as follows in Table 4.

Table 4 A summary of the overall proximity scores according to plant layout method

No.	Machine														Quantity						Score
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	A	E	I	O	U	X	
1	-	A	O	O	O	O	O	U	I	U	U	X	U	U	1		1	5	5	1	10150
2	A	-	I	I	O	O	A	U	U	U	A	X	U	U	3		2	2	5	1	30220
3	O	I	-	X	I	O	X	X	X	X	X	I	U	U			3	2	2	6	320
4	O	I	X	-	I	O	X	X	X	X	X	I	U	U			3	2	2	6	320
5	O	O	I	I	-	I	X	O	X	X	U	X	U	U			3	3	3	4	330
6	O	O	O	O	I	-	X	E	X	X	X	X	U	U		1	1	4	2	5	1140
7	O	A	X	X	X	X	-	E	U	U	U	X	U	U	1	1		1	5	5	11010
8	U	U	X	X	O	E	E	-	U	I	X	X	U	U		2	1	1	5	4	2110
9	I	U	X	X	X	X	U	U	-	U	X	X	X	O			1	1	4	7	110
10	U	U	X	X	X	X	U	I	U	-	X	X	X	O			1		4	7	100
11	U	A	X	X	U	X	U	X	X	X	-	X	U	X	1				4	7	10000
12	X	X	I	I	X	X	X	X	X	X	X	-	I	X			3			10	300
13	U	U	U	U	U	U	U	U	X	X	U	I	-	O			1	1	9	2	110
14	U	U	U	U	U	U	U	U	O	O	X	X	O	-				3	8	2	30

4.2 Comparing material flow distances and times

Comparing the material flow distances and times of different factory layout methods for analysis. The flowchart and measurements of material flow distances in the factory layout are shown in Table 5.

Table 5 Carton flow process chart (after improvement)

Product: Carton	Symbol	Current		Improved		Difference	
		meters	seconds	meters	seconds	meters	seconds
	○	6	33.37	6	30.29	0	3.08
	⇨	7	99.55	7	95.89	0	3.66
	□	-	-				
	D	-	-				
	▽	2	-				
	Distance	42.99		40.04		2.95	

Symbol					Detail	Distance (meters)	Movement Time (seconds)
○	⇨	□	D	▽			
				●	1. Material storage	-	-
	●				2. Move to cutting machine 1	2.44	6.560
●					3. Cut according to pattern	-	0.859
	●				4. Move to cutting machine 2	5.77	13.660
●					5. Cut according to pattern	-	0.590
	●				6. Move to printing machine	6.45	15.480
●					7. Print color according to design	-	1.584
	●				8. Move to grooving machine	9.63	22.990
●					9. Chop groove according to pattern	-	2.973
	●				10. Move to adhesive department	5.56	12.970
●					11. Apply adhesive and assemble	-	13.766
	●				12. Move to packing machine	4.74	10.855
●					13. Pack product	-	10.527
	●				14. Move to storage	5.45	13.375
				●	15. Storage	-	-
Total						40.04	126.189

5. Conclusion

The researchers have designed and laid out various factory layouts using the principles of the relationship chart and utilized the total closeness rating method. As the factory produces a diverse range of products based on customer orders, the study focused on production processes, material flow, and the transportation of raw and finished products during production. This preliminary data served as a basis for improving the factory layout, emphasizing convenience for the production processes and minimizing the overall distance for material and product transportation.

For the factory layout improvement experiment, the researchers systematically designed a new factory layout by studying the flow of materials and products. The evaluation of the efficiency of the designed layout revealed that the new factory layout could reduce both distance and work time compared to the traditional layout, leading to increased productivity [14, 15].

1) Analysis of the proposed factory layout

Following the evaluation of results and distances, which includes the time required for material transportation in the updated factory layout, the key determining factor is the comparison of distances and time for material transportation, as illustrated below in Tables 6 and 7.

Table 6 Material flow distance comparison

Product	Distance (meters)	
	Before Adjustment	After Improvement
Carton	42.99	40.04
Distance decreased by 6.86 percent.		

Table 7 Material flow time comparison

Product	Time (seconds)	
	Before Adjustment	After Improvement
Carton	143.846	126.189
Time decreased by 12.27 percent.		

2) Analysis of the differences between old and new factory layouts

The interrelations and advantages of each department, which were not structured following standard factory layout principles, led to adjacent departments potentially lacking reciprocal connections. In contrast, the newly designed factory layout ensures that neighboring departments benefit mutually. The traditional factory layout had a distance of 42.99 meters. In comparison, the proposed factory layout reduced the distance to 40.04 meters, representing a reduction of 6.86 percent in the distance and a 12.27 percent reduction in time.

6. Recommendation

From the research conducted on the design and layout of the carton manufacturing plant, it is evident that there should be improvements in the workflow and the internal environment of the plant to ensure efficient operations and produce higher-quality products. The plant should consider making the following improvements based on the recommendations:

The plant should have in-house engineers to oversee and control the employees' work practices, ensuring that operations are carried out correctly and providing knowledgeable guidance to the workers.

The plant should design layouts and positions of machinery, personnel, and raw materials that align with the actual production processes in the facility.

Clear symbols should be implemented to delineate the work areas of the machinery, ensuring a safe working environment.

Acknowledgment

I want to express my sincere gratitude to the Department of Industrial Technology and Innovation Management, Faculty of Science and Technology, Pathumwan Institute of Technology for their generous support. Their commitment has provided researchers with invaluable opportunities to conduct research in this session. This support has been crucial in advancing knowledge and pursuing excellence in our research endeavors. Thank you for fostering an environment that encourages and facilitates meaningful contributions to the field.

References

[1] Phonsing C, Amputra S, Kanchana-anothai J, Tharawetcharak P. Process and plant layout improvement using industrial engineering techniques: a case study sample LED light factory Thai Science and Technology Journal 2019;27(6):1132-46. (In Thai).

[2] Kumar V, Malleswari VN. Improvement of facility layout design using Systematic Layout Planning (SLP) Methodology. Journal of Physics: Conference Series 2022; 2312:012089. doi: 10.1088/1742-6596/2312/1/012089

[3] Eksiri P, Phromhitathorn R. Warehouse design and production plan with Systematic Layout Planning. Proceedings of the 4th National RMUTR Conference and the 1st International RMUTR Conference; 2019 Jun 26-28; Bangkok, Thailand. (In Thai).

[4] Adiasa I, Suarantalla R, Rafi MS, Hermanto K. Redesign of factory facilities layout at CV. Apindo Brother Success using the Systematic Layout Planning (SLP) Method. Performa: Media Llmiah Teknik Industri 2020;19(2):151-8. doi: 10.20961/performa.19.2.43467. (In Indonesian).

[5] Hossain MR, Kamruzzaman R, Talapatra S. Increasing productivity through facility layout improvement using Systematic Layout Planning pattern theory. Global Journal of Researches in Engineering: J General Engineering 2014;14(7):71-5.

[6] Naik SB, Kallurkar S. A literature review on efficient plant layout design. International Journal of Industrial Engineering Research and Development 2016;7(2): 43-51.

[7] Muther R. Systematic Layout Planning. Boston, USA: CBI Publishing; 1973.

[8] Barnwal S., Dharmadhikari P. Optimization of plant layout using SLP method. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 2016;5(3):3008-15.

[9] Jain S, Yadav TK. Systematic Layout Planning: a review of improvement in approach to pulse processing mills. International Research Journal of Engineering and Technology 2017;4(5):503-7.

[10] Weerawat W, Khodtecha S, Taweesubpaiboon H. Selection of production layout by simulation modeling: a case study of a glass processing factory. The Journal of Industrial Technology 2013;9(1):111-22. (In Thai).

[11] Kittipanya-ngam P, Sitthibrun S, Sirikasemsuk K. Comparison of plant layout using CORELAP, ALDEP and SLP methodology: case study of printed circuit board manufacturing plant. Ladkrabang Engineering Journal 2022;39(4):121-37. (In Thai).

[12] Sutari O, Rao S. Development of plant layout using Systematic Layout Planning (SLP) to maximize production: a case study. International Journal of Mechanical and Production Engineering 2014;2(8):63-6.

[13] Sugandhi SD, Bharule A. Fine blanking plant layout improvement using Systematic Layout Planning. International Journal of Scientific Engineering and Research. 2016;4(4):1-4.

[14] Gogi VS, Rohith D, Shashikiran K, Shaikh SM. Efficiency improvement of a plant layout. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 2014;3(4):11203-9.

[15] Treesat S. Plant layout and design. Bangkok, Thailand: S. Asia press; 2011. (In Thai).

Author's Profile

Wirunpuch Prommachan (D.Eng.) is currently a lecturer of Division of Industrial Technology of Faculty of Science and Technology at Pathumwan Institute of Technology (PIT), Thailand. She earned her D.Eng. degree in Advanced Manufacturing Technology in 2023 at Faculty of Engineering from Pathumwan Institute of Technology (PIT), Thailand. Her areas of research of interest include quality management, motion and time study, production management, logistics, and entrepreneurship. E-mail: Wirunpuch.p@pit.ac.th.

Article History:

Received: October 22, 2024

Revised: March 3, 2025

Accepted: March 26, 2025

รูปแบบการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักหลังคาเหล็ก

OPTIMUM DESIGN PATTERNS FOR STEEL ROOF TRUSSES

พันธนะ จิวาลักษณ์[1] และ วินัย อวยพรประเสริฐ[2]
[1]นักศึกษา, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถ.พหลโยธิน ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000,
pantana.j64@rsu.ac.th
[2]อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถ.พหลโยธิน ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000,
owinai@yahoo.com

Pantana Jivaluck[1] and Winai Ouypornprasert[2]
[1]Student, Collage of Engineering, Rangsit University, 52/347 Phahonyothin Rd, Lak Hok,
Mueang Pathum Thani District, Pathum Thani 12000, Thailand, pantana.j64@rsu.ac.th
[2]Lecturer, Collage of Engineering, Rangsit University, 52/347 Phahonyothin Rd, Lak Hok,
Mueang Pathum Thani District, Pathum Thani 12000, Thailand, owinai@yahoo.com[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการหารูปแบบเหมาะที่สุดของโครงถักหลังคาเหล็กที่นิยมใช้ 4 รูปแบบ และน้ำหนักเบาที่สุดของโครงถักรูปแบบมาตรฐาน โดยที่โครงสร้างยังคงมีความแข็งแรงและปลอดภัยภายใต้เงื่อนไขขีดจำกัดการออกแบบโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐาน วสท. 1015-40 วิธีหน่วยแรงใช้งาน (ASD - Allowable Stress Design) การศึกษานี้ใช้ความสูงโครงถักเป็นพารามิเตอร์สำหรับทำให้คำตอบลู่เข้าหาจุดเหมาะสมที่สุด และส่งผลให้โครงสร้างมีน้ำหนักเบาลง จากผลการศึกษาพบว่าโครงถักรูปแบบเบาที่สุดคือ รูปแบบพัด โดยมีน้ำหนักโครงสร้างลดลงจากรูปแบบโครงถักมาตรฐานร้อยละ 29.3 ดังนั้น การศึกษารูปแบบเหมาะที่สุดสำหรับการออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก จึงอาจเป็นทางเลือกในการก่อสร้างที่มีต้นทุนต่ำกว่า

คำสำคัญ: โครงถักหลังคา, สถานะขีดจำกัด, การหาค่าเหมาะสมที่สุด

ABSTRACT

This paper presented an optimum pattern of four most popular roof trusses and the lightest weight of the standard truss. The designed structure maintained strength and safety under

the limit states of standard steel structural design in accordance with the Engineering Institute of Thailand standards 1015-40 by using the Allowable Stress Design (ASD) method. In this study the height of truss was used as the parameter for making results convergent to the optimum point, and resulting in reduction of the structure's weight. Results from the study showed that the lightest truss pattern was the fan truss, and the weight of the truss at the optimal point was reduced from standard pattern by 29.3%. Therefore the study of optimum pattern for steel roof truss design might offer an alternative outcome for lower the cost of construction.

KEYWORDS: Roof Truss, Limit State, Optimization

1. บทนำ

โครงถักหลังคาแบบโครงข้อหมุนเป็นที่นิยมใช้สำหรับอาคารที่มีช่วงยาว เช่น อาคารโกดัง อาคารโรงงานอุตสาหกรรม หอประชุม หรืออาคารโรงยิมอเนกประสงค์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา แต่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มาก ขั้นตอนทั่วไปของการออกแบบนั้นผู้ออกแบบจะเลือกรูปแบบและหน้าตัดของเหล็กขึ้นมาก่อนแล้วนำมาตรวจสอบว่า สามารถรับแรงได้ตามที่มาตรฐานกำหนดหรือไม่ ซึ่งวิธีการนี้จะคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อให้ผลออกมาประหยัดและสามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย การหาค่าเหมาะสม (Optimization) จึงถูกนำมาใช้กับการออกแบบโครงสร้างเพื่อลดต้นทุนในการก่อสร้างและประหยัดทรัพยากร [1, 2]

ในอดีตที่ผ่านมาการออกแบบโครงถักหลังคาเพื่อให้ได้น้ำหนักเบาที่สุด อาจต้องอาศัยการลองถูกลองผิดขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของวิศวกรผู้ออกแบบหรืออาจใช้หลักปฏิบัติตามข้อแนะนำการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่แนะนำไว้ว่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความลึกโครงถักควรอยู่ในช่วง 15 ถึง 20 [3, 4] อย่างไรก็ตามสัดส่วนความสูงที่แนะนำอาจไม่เหมาะสมที่สุดกับที่ช่วงความยาวที่ผู้ออกแบบต้องการ ในปี ค.ศ. 2000 Jiravacharadej et al [5] มีการศึกษาความสูงที่เหมาะสมในการออกแบบโครงถักหลังแบบแพรตต์ของช่วงความยาว 10 ถึง 30 เมตร ซึ่งได้ค่าความสูงโครงหลังคาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40 ถึง 80 เซนติเมตร และในปี ค.ศ. 2011 Chetchotisak et al [6, 7] ได้นำเสนอผลกระทบของเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีต่อคำตอบที่ดีที่สุด เรียกว่า การวิเคราะห์ความไว (Sensitive Analysis) โดยใช้หลักการวิเคราะห์ในรูปแบบของคาน Timoshenko พบว่า สัดส่วนความยาวต่อความสูงของโครงหลังคาที่ใช้ออกแบบเพื่อให้ได้น้ำหนักเบาที่สุดมีค่าไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความยาว จำนวนช่อง และความลาดเอียงของหลังคา โดยควรมีการกำหนดจำนวนช่องให้มีค่าน้อยที่สุด แต่จะต้องไม่ทำให้ระยะช่วงของแปมากเกินไปจนแปรับน้ำหนักวัสดุมุงหลังคาไม่ได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการกำหนดความลาดเอียงและจำนวนช่องของ

โครงถักจะมีผลต่อจำนวนชิ้นส่วนค้ำยันแนวเอียง ซึ่งส่งผลสำคัญกับน้ำหนักโครงถัก จึงน่าสนใจที่จะทำการศึกษารูปแบบที่เหมาะที่สุดสำหรับการออกแบบโครงถักหลังคาเหล็กที่มีการจัดเรียงชิ้นส่วนค้ำยันโดยมีองศา ระยะห่าง และจำนวนชิ้นส่วนแตกต่างกัน เพื่อให้ได้น้ำหนักโครงสร้างที่เบาที่สุด

2. วัตถุประสงค์

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหารูปแบบและความสูงต่อความยาวช่วงที่เหมาะที่สุดสำหรับโครงถักหลังคาเหล็กที่นิยม รวมถึงการออกแบบหาโครงถักเบาที่สุดของรูปแบบโครงถักที่ศึกษาเพื่อให้ได้โครงถักรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างเป็นแบบดีเทอมิเนตทางสถิต (Statically Determinate Structure) โดยจุดรองรับโครงถักด้านหนึ่งเป็นแบบยึดหมุน (Pinned Support) และอีกด้านหนึ่งเป็นแบบล้อเลื่อน (Roller Support)

3.2 การออกแบบโครงสร้างเหล็กใช้วิธีการออกแบบยืดหยุ่น (Elastic Design Methods) มาตรฐาน วสท. 1015-40 ใช้หลักการออกแบบวิธีหน่วยแรงใช้งาน (ASD - Allowable Stress Design)

3.3 ความยาวชิ้นส่วนโครงถักคำนวณตามแนวศูนย์กลางแต่ละชิ้นส่วนที่ต่อกัน ณ จุดศูนย์กลางของรอยต่อชิ้นส่วนนั้น

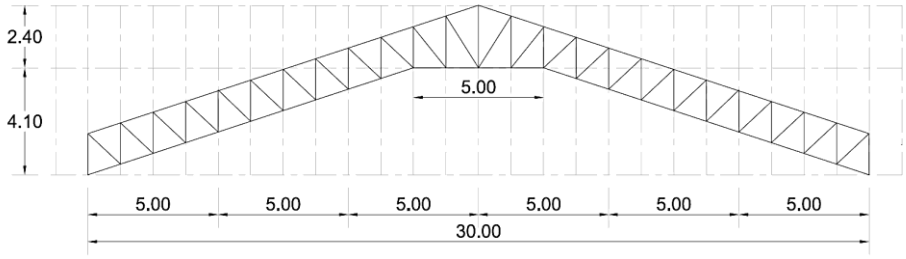
3.4 ใช้เหล็กท่อมาตรฐาน มอก. 107-2533 ชั้นคุณภาพ HS 41 ในการออกแบบชิ้นส่วนโครงถัก

3.5 น้ำหนักบรรทุกจะกระทำที่จุดต่อโครงถักรับแรงในแนวแกนเท่านั้น

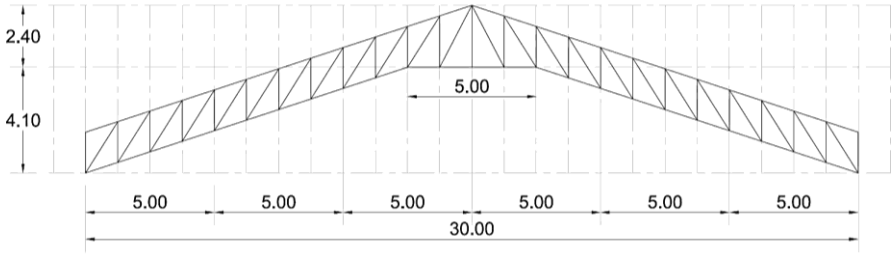
4. ระเบียบการวิจัย

4.1 การกำหนดรูปแบบโครงถัก

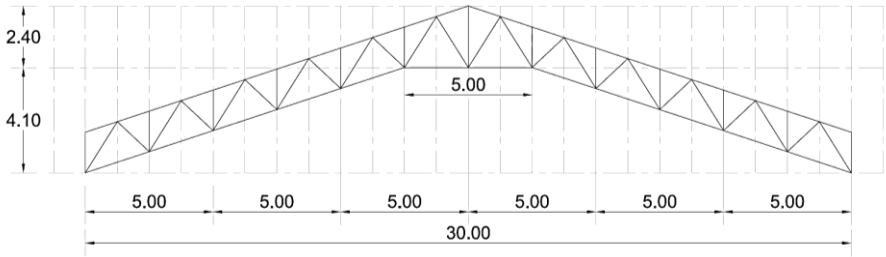
งานศึกษานี้อ้างอิงแบบโครงถักทรงคอร์ดเอียงขนานตามแบบมาตรฐานโรงยิมอเนกประสงค์ กรมพลศึกษา กำหนดรูปแบบโครงถักหลังคาที่นิยมใช้จำนวน 4 ตัวอย่าง คือ รูปแบบแพรตต์ (Pratt) แบบโฮว์ (Howe) แบบพัด (Fan) และแบบฟิงก์ (Fink) ดังรูปที่ 1



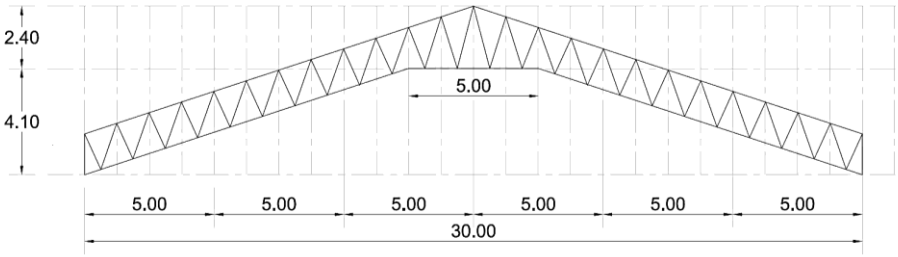
PRATT



HOWE



FAN

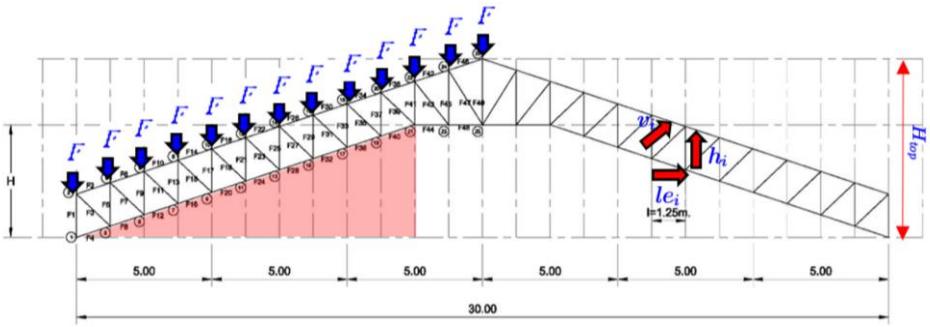


FINK

รูปที่ 1 รูปแบบโครงถักที่นิยม 4 รูปแบบ

4.2 การหาแรงลัพธ์ภายในชิ้นส่วนโดยการวิเคราะห์ที่จุดต่อ

เมื่อกำหนดขนาดรูปร่างและลักษณะโครงถักที่ต้องการได้แล้ว เริ่มทำการวิเคราะห์หาแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้างโดยวิธีการตัดรอบจุดต่อ ออกแบบให้จุดรองรับด้านหนึ่งเป็นแบบยึดหมุน และอีกด้านเป็นแบบล้อเลื่อน ระบุหมายเลขชิ้นส่วนรวมถึงจุดต่อที่ต้องการพิจารณา ทำการใส่แรงกระทำภายนอกลงตามจุดต่อดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การกำหนดแรงกระทำภายนอกที่จุดต่อ

หาความสัมพันธ์ของความยาวชิ้นส่วนระหว่างความสูงในแนวดิ่งและความยาวในแนวราบ เพื่อนำไปใช้หาค่าตัวแปรออกแบบเหมาะที่สุดของความสูงโครงถักได้ดังต่อไปนี้

$$v_i = \begin{bmatrix} l_i \\ h_i \end{bmatrix} \tag{1}$$

โดยที่ v_i คือ เวกเตอร์ชิ้นส่วนที่ i

l_i คือ ความยาวชิ้นส่วนที่ i ในแนวแกน x

และ h_i คือ ความสูงชิ้นส่วนที่ i ในแนวแกน y

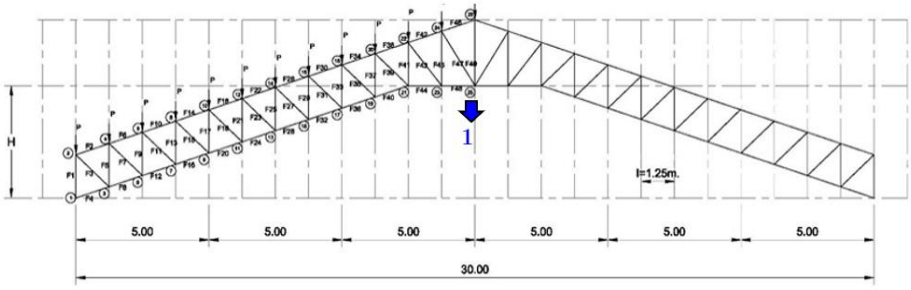
จากนั้นสร้างสมการสมดุลของแรงโดยกำหนดทิศทางเวกเตอร์ให้แรงแนวราบมีค่าบวกในทิศขวาและเวกเตอร์แรงแนวดิ่งมีค่าบวกในทิศขึ้น สร้างสมการให้ครบทุกจุดต่อของโครงถัก โดยพิจารณาตามลำดับการถ่ายแรงภายในของชิ้นส่วนดังสมการ

$$\sum P_i \cdot \frac{v_i}{|v_i|} = \sum F \tag{2}$$

โดยที่ P_i คือ แรงภายในชิ้นส่วนที่ i

และ F คือ แรงภายนอกกระทำบนจุดต่อที่พิจารณา

ในส่วนของการวิเคราะห์หาแรงภายในโดยวิธีงานเสมือนเพื่อนำไปใช้ประกอบการสร้างฟังก์ชันเงื่อนไขขีดจำกัดทางด้านการแอ่นตัวของโครงถัก สามารถใช้หลักการเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์หาแรงภายในชิ้นส่วน โดยทำการกำหนดแรง 1 หน่วยตรงจุดที่ต้องการทราบค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การกำหนดแรงกระทำเสมือนที่จุดต่อ

ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาการแอ่นตัวของโครงข้อหมุนโดยวิธีงานเสมือนได้ดังสมการนี้

$$\Delta = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i N_i L_i}{A_i E_i} \tag{3}$$

โดยที่ Δ คือ ค่าการแอ่นตัวที่จุดต่อโครงถัก

n คือ แรงในแนวแกนชิ้นส่วนโครงถักที่เกิดจากแรงเสมือน 1 หน่วย

N คือ แรงในแนวแกนชิ้นส่วนโครงถักเนื่องจากแรงกระทำจริง

L คือ ความยาวชิ้นส่วนโครงถัก

A คือ พื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วนโครงถัก

และ E คือ มอดุลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำโครงถัก

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์หาแรงภายในและแรงเสมือนจะอยู่ในรูปตัวแปรออกแบบความสูงโครงถัก เพื่อนำไปประกอบการสร้างเงื่อนไขขีดจำกัดในการวิเคราะห์หาค่าความสูงเหมาะที่สุดต่อไป

4.3 การสร้างฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด

การสร้างฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดทางด้านน้ำหนัก ทำได้โดยกำหนดขนาดรัศมีและความหนาของเหล็กท่อตามเงื่อนไขขอบเขตขีดจำกัดทางด้านตัวแปรออกแบบ [8] แบ่งกลุ่มชิ้นส่วนเป็น 3 กลุ่ม คือ คอร์ดบน (Top Chord) ค้ำยัน (Brace) และคอร์ดล่าง (Bottom Chord) เพื่อนำไปหาค่าเหมาะสมที่สุดของรัศมีและความหนาจะได้

$$f(R_i,t_i,H)=\rho(\sum_{T=1}^{n} A_T l_T+\sum_{D=1}^{n} A_D l_D+\sum_{B=1}^{n} A_B l_B) \tag{4}$$

กำหนดให้

$$A_i=\sum_{i=1}^{n} 2\pi R_i t_i l_i \tag{5}$$

โดยที่ A_T คือ พื้นที่หน้าตัดเหล็กท่อคอร์ดบน

A_D คือ พื้นที่หน้าตัดเหล็กท่อค้ำยัน

A_B คือ พื้นที่หน้าตัดเหล็กท่อคอร์ดล่าง

l_T คือ ความยาวคอร์ดบน

l_D คือ ความยาวค้ำยัน

l_B คือ ความยาวคอร์ดล่าง

และ n คือ จำนวนเหล็กท่อของแต่ละกลุ่ม

4.4 การสร้างเงื่อนไขขีดจำกัด

การสร้างเงื่อนไขขีดจำกัดทางพฤติกรรมโครงสร้างและเงื่อนไขตัวแปรออกแบบ ในรูปแบบฟังก์ชันหลายตัวแปรแบบมีข้อจำกัดไม่เท่ากับระบบไม่เชิงเส้น อ้างอิงตามข้อกำหนดการออกแบบวิธีหน่วยแรงใช้งาน (ASD - Allowable Stress Design) วสท.1015-40 และเลือกใช้ขนาดเหล็กท่อตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย มอก. 107-2533 ชั้นคุณภาพ HS 41 โดยเลือกค่าแรงลัพธ์ภายในและความยาวชิ้นส่วนสูงสุดที่วิเคราะห์ได้มาเป็นตัวแทนกลุ่มในการออกแบบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมการเงื่อนไขขีดจำกัด

เงื่อนไขขีดจำกัด	กลุ่มที่พิจารณา	สมการเงื่อนไขขีดจำกัด
ชิ้นส่วนรับแรงอัด	คอร์ดบน	$\sigma t_{allow} A_1 - P_{1\max} \geq 0$
ชิ้นส่วนรับแรงอัด	ค้ำยัน	$\sigma t_{allow} A_2 - P_{2\max} \geq 0$
ชิ้นส่วนรับแรงดึง	คอร์ดล่าง	$\sigma c_{allow} A_3 - P_{3\max} \geq 0$
ชิ้นส่วนรับแรงดึง	ค้ำยัน	$\sigma c_{allow} A_2 - P_{4\max} \geq 0$
อัตราส่วนความชะลูดรับแรงอัด	คอร์ดบน	$\frac{l_{1\max}}{200} - r_1 \leq 0$
อัตราส่วนความชะลูดรับแรงอัด	ค้ำยัน	$\frac{l_{2\max}}{200} - r_2 \leq 0$
อัตราส่วนความชะลูดรับแรงดึง	คอร์ดล่าง	$\frac{l_{3\max}}{240} - r_3 \leq 0$
อัตราส่วนความชะลูดรับแรงดึง	ค้ำยัน	$\frac{l_{4\max}}{240} - r_2 \leq 0$
การแอ่นตัวโครงสร้าง	โครงถัก	$\frac{L}{240} - \Delta_{\max} \geq 0$
ตัวแปรออกแบบ	รัศมีเหล็กท่อ	$10mm \leq R \leq 62.5mm$
ตัวแปรออกแบบ	ความหนาท่อ	$2.3mm \leq t \leq 4.5mm$
ตัวแปรออกแบบ	ความสูงโครงถัก	$1.3m \leq H \leq 4.5m$

4.5 การหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยการใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูป

ในการวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมที่สุดของตัวแปรที่ต้องการทราบค่าภายใต้ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดและเงื่อนไขขีดจำกัดที่กำหนด โดยใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูป Solve Block ของซอฟต์แวร์ Mathcad Prime [9, 10] มีวิธีการกำหนดค่าเพื่อใช้งานของฟังก์ชันดังต่อไปนี้

4.5.1 กำหนดสมการฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดภายใต้ตัวแปรออกแบบที่ต้องการทราบค่าเหมาะสมที่สุดและกำหนดค่าคำตอบเริ่มต้นสำหรับทุกค่าตัวแปรออกแบบในช่อง Guess Value ซึ่งประกอบด้วยค่าความสูงโครงถัก (H) รัศมีเหล็กท่อคอร์ดบน (R_1) รัศมีเหล็กท่อค้ำยัน (R_2) รัศมีเหล็กท่อคอร์ดล่าง (R_3) ความหนาเหล็กท่อคอร์ดบน (t_1) ความหนาเหล็กท่อค้ำยัน (t_2) และความหนาเหล็กท่อคอร์ดล่าง (t_3)

4.5.2 ในช่อง Constraints ให้กำหนดค่าสมการเงื่อนไขขีดจำกัดในรูปตัวแปรออกแบบที่ได้จากการวิเคราะห์จำนวน 12 เงื่อนไขดังตารางที่ 1 เพื่อกำหนดขอบเขตค่าผลลัพธ์ของตัวแปรออกแบบให้เป็นไปตามเงื่อนไขขีดจำกัด

4.5.3 ใช้คำสั่ง Minimize ในช่อง Solver ในการหาคำตอบต่ำสุดของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าตัวแปรออกแบบที่ทำให้โครงถักหลังคามีน้ำหนักเบาที่สุดภายใต้เงื่อนไขขีดจำกัด

โดยหลังจากได้ผลลัพธ์ที่ทำให้น้ำหนักโครงถักเบาที่สุดแล้ว ผู้ออกแบบต้องทำการเลือกหน้าตัดชิ้นส่วนให้สอดคล้องกับขนาดเหล็กท่อตามมาตรฐาน มอก. 107-2533 อีกครั้ง และนำค่าความสูงเหมาะที่สุดของโครงถักคำนวณหาความยาวชิ้นส่วนจริงแต่ละชิ้นที่แปรผันตามความสูงที่เปลี่ยนไป จากนั้น นำความยาวและขนาดเหล็กท่อที่ใช้จริงมาวิเคราะห์หาการตัดเศษน้อยสุดโดยใช้ซอฟต์แวร์ Optimization Cutting ซึ่งจะคำนวณจากปริมาณโครงถักที่ใช้จริงสำหรับอาคารโรงยิมขนาดมาตรฐานจำนวน 1 หลัง แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อสรุปผลวิเคราะห์รูปแบบเหมาะที่สุดของโครงถักหลังคาเหล็กต่อไป

5. ผลการศึกษาและการวิจารณ์ผล

จากการออกแบบหาค่าเหมาะสมที่สุด แสดงการวิเคราะห์และผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์การศึกษาได้ดังต่อไปนี้

5.1 การวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมที่สุดของโครงถัก 4 รูปแบบ

ในการวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมที่สุดของโครงถักที่นิยมทั้ง 4 รูปแบบ อ้างอิงแบบมาตรฐานโครงถักของกรมพลศึกษาความยาวช่วง 30 เมตร ได้คำตอบเหมาะที่สุดของตัวแปรออกแบบ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คำตอบเหมาะที่สุดของตัวแปรออกแบบ

กลุ่มที่พิจารณา	ตัวแปรออกแบบ		ค่าเหมาะสมที่สุด				หน่วย
			แพรตต์	โฮว์	พัด	ฟิงก์	
คอร์ดบน	รัศมีเหล็กท่อ	R_1	40.56	39.78	39.69	40.83	มม.
	ความหนาเหล็กท่อ	t_1	4.50	4.50	4.50	4.50	มม.
ค้ำยัน	รัศมีเหล็กท่อ	R_2	11.31	15.15	21.35	12.98	มม.
	ความหนาเหล็กท่อ	t_2	3.87	3.24	2.30	3.23	มม.
คอร์ดล่าง	รัศมีเหล็กท่อ	R_3	40.53	39.81	39.14	40.21	มม.
	ความหนาเหล็กท่อ	t_3	4.50	4.50	4.50	4..50	มม.
ความสูงโครงถัก	ความสูงท้องโครงถัก	H	1.65	1.30	1.35	2.53	ม.
	ความสูงยอดโครงถัก	H_{top}	3.58	3.16	3.22	4.63	ม.

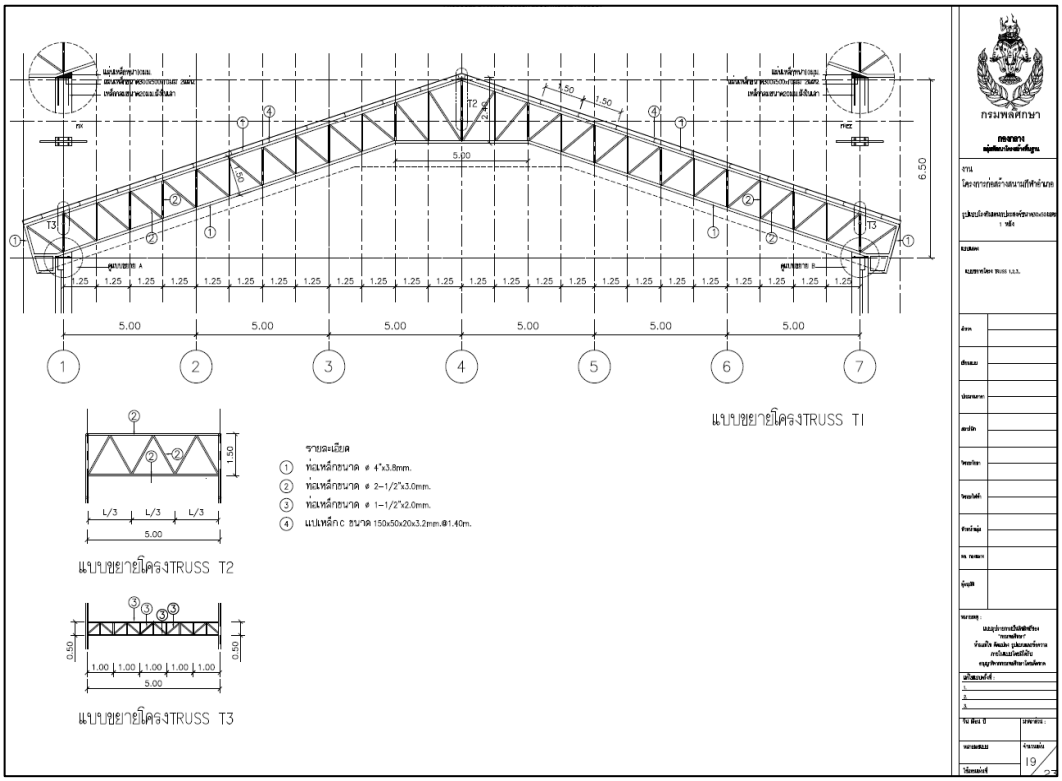
จากการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จะมีการลู่เข้า (Convergence) หาจุดต่ำสุดของฟังก์ชันภายใต้เงื่อนไขขีดจำกัดที่กำหนด ซึ่งพบว่าเงื่อนไขที่ควบคุมคำตอบคือเงื่อนไขทางด้านหน่วยแรงของวัสดุและอัตราส่วนความชะลูด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การออกแบบค่าเหมาะสมที่สุด

กลุ่มที่พิจารณา	สมการเงื่อนไขขีดจำกัด	ผลลัพธ์ค่าเหมาะสมที่สุด				หน่วย
		แพรตต์	โฮว์	พัด	ฟิงก์	
คอร์ดบน	$\sigma t_{allow} A_1 - P_{1\max} \geq 0$	0	0	0	0	กก.
ค้ำยัน	$\sigma t_{allow} A_2 - P_{2\max} \geq 0$	0	1207.30	0	0	กก.
คอร์ดล่าง	$\sigma c_{allow} A_3 - P_{3\max} \geq 0$	0	0	0	0	กก.
ค้ำยัน	$\sigma c_{allow} A_2 - P_{4\max} \geq 0$	380.94	0	830.69	507.86	กก.
คอร์ดบน	$\frac{l_{1\max}}{200} - r_1 \leq 0$	-2.23	-2.17	-2.17	-1.88	ซม.
ค้ำยัน	$\frac{l_{2\max}}{200} - r_2 \leq 0$	0	0	0	0	ซม.
คอร์ดล่าง	$\frac{l_{3\max}}{240} - r_3 \leq 0$	-2.34	-2.28	-1.72	-2.30	ซม.
ค้ำยัน	$\frac{l_{4\max}}{240} - r_2 \leq 0$	0	0	0	0	ซม.
โครงถัก	$\frac{L}{240} - \Delta_{\max} \geq 0$	6.49	3.43	3.87	3.24	ซม.
รัศมีท่อ	$10mm \leq R \leq 62.5mm$	40.56, 11.31, 40.53	39.78, 15.15, 39.81	39.69, 21.35, 39.14	40.83, 12.98, 40.21	มม.
ความหนาท่อ	$2.3mm \leq t \leq 4.5mm$	4.50, 3.87, 4.50	4.50, 3.24, 4.50	4.50, 2.30, 4.50	4.50, 3.23, 4.50	มม.
ความสูงโครงถัก	$1.3m \leq H \leq 4.5m$	3.58	3.16	3.22	4.63	ม.

5.2 ผลวิเคราะห์น้ำหนักรวมชิ้นส่วนโครงถักเบาที่สุดของโครงถักรูปแบบมาตรฐาน

ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักระหว่างโครงถักหลังคารูปแบบแพรตต์ที่กรมพลศึกษาใช้ออกแบบดังรูปที่ 4 และการวิเคราะห์ด้วยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด ได้ผลเปรียบเทียบดังตารางที่ 4



รูปที่ 4 แบบโครงถักมาตรฐานโรงยิมอเนกประสงค์กรมพลศึกษา

ตารางที่ 4 ผลเปรียบเทียบการออกแบบโครงถักหลังคาแบบมาตรฐาน

วิธีการออกแบบ	ขนาดหน้าตัด ศก.x ความหนา (มม.)			ความสูง (ม.)	น้ำหนักโครงถัก (กก.)
	คอร์ดบน	ค้ำยัน	คอร์ดล่าง		
มาตรฐานกรมพลศึกษา	114.3 x 3.8	76.3 x 3.0	114.3 x 3.8	6.5	1098.4
วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด	114.3 x 3.5	42.7 x 2.3	114.3 x 3.5	3.6	780.5

หมายเหตุ: ศก. หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลาง

5.3 ผลวิเคราะห์รูปแบบเหมาะที่สุดสำหรับโครงถักหลังคาเหล็กภายใต้ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดทางด้านน้ำหนัก

การหาน้ำหนักเบาที่สุดของโครงถักในงานศึกษานี้จะพิจารณาการตัดเหล็กให้เหลือเศษน้อยที่สุดของชิ้นส่วนร่วมด้วย เนื่องจากในการก่อสร้างจริงนั้นต้องทำการวางแผนการตัดเหล็กเพื่อบริหารจัดการวัสดุและบริหารต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเลือกพิจารณาเหล็กรูปพรรณ

ความยาวท่อนละ 6 เมตรและคิดจำนวนการตัดเหล็กโครงถักต่ออาคาร 1 หลังขนาด 30x50 เมตร ความยาวช่วงเสาช่วงละ 5 เมตร ทั้งหมด 10 ช่วง คิดเป็นจำนวน 11 โครงถัก ได้ผลเปรียบเทียบการออกแบบดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลเปรียบเทียบการออกแบบโครงถักหลังคาน้ำหนักเบาที่สุดต่ออาคาร 1 หลัง

รูปแบบโครงถัก	ขนาดหน้าตัด ศก.x ความหนา (มม.)			ความสูง (ม.)	น้ำหนักเหล็กต่ออาคาร 1 หลัง (กก.)
	คอร์ดบน	ค้ำยัน	คอร์ดล่าง		
มาตรฐานกรมพลศึกษา					
แพรตต์	114.3 x 3.8	76.3 x 3.0	114.3 x 3.8	6.5	13670.4
วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด					
แพรตต์	114.3 x 3.5	42.7 x 2.3	114.3 x 3.5	3.6	10115.5
โฮว์	114.3 x 3.5	42.7 x 2.5	114.3 x 3.5	3.2	10325.3
พัด	114.3 x 3.5	42.7 x 2.5	114.3 x 3.5	3.3	9671.8
ฟิงก์	114.3 x 3.5	42.7 x 3.2	114.3 x 3.5	4.7	10163.6

หมายเหตุ: ศก. หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลาง

6. สรุป

จากการศึกษา สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

6.1 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักโครงถักหลังคาแบบมาตรฐานที่ออกแบบโดยมาตรฐานกรมพลศึกษาและวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด พบว่าการใช้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดมีน้ำหนักโครงสร้างลดลงร้อยละ 28.9

6.2 รูปแบบเหมาะที่สุดสำหรับโครงถักหลังคาเหล็กภายใต้ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดทางด้านน้ำหนักต่ออาคาร 1 หลัง คือ โครงถักรูปแบบพัด ตามมาด้วยรูปแบบแพรตต์ แบบฟิงก์ และแบบโฮว์ โดยมีน้ำหนักโครงสร้างลดลงจากรูปแบบโครงถักมาตรฐานร้อยละ 29.3, 26.0, 25.7 และ 24.5 ตามลำดับ

6.3 อัตราส่วนความยาวต่อความลึกเหมาะที่สุดของโครงถักแต่ละรูปแบบอยู่ในช่วง 6.4 ถึง 9.4

6.4 อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเศษต่อน้ำหนักรวมของชิ้นส่วนของโครงถักทั้ง 4 รูปแบบอยู่ระหว่างร้อยละ 14.1-15.5 ซึ่งผลที่ต่างกันประมาณร้อยละ 1.4 ของอัตราส่วนดังกล่าว ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงถักที่มีน้ำหนักเบาที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต และกรมพลศึกษา คณะผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

References

[1] Cholsuk D. Optimum design of mechanical parts. Bangkok, Thailand: Thammasat University; 2009. (In Thai)

[2] Pathak U, Garg V. Optimization and rationalization of truss design. International Research Journal of Engineering and Technology 2015;2(5):624-36.

[3] Sangatid S. Theory of structures. Nakhon Ratchasima, Thailand: Suranaree University of Technology; 2020. (In Thai)

[4] Fisher JM. Industrial buildings: roofs to column anchorage. 2nd ed. Chicago, USA: American Institute of Steel Construction; 1993.

[5] Jiravacharadej M. Optimal height for steel roof truss design. Suranaree Journal of Science and Technology 2000;7(2):149-53. (In Thai)

[6] Chetchotisak P. Optimal design and sensitivity analysis of roof truss. KKU Engineering Journal 2011;38(1):1-10. (In Thai)

[7] Chetchotisak P. Analysis of roof truss using Timoshenko beam model. KKU Engineering Journal 2005;32(6):829-40.

[8] Anum B, Abubakar J, Sadiku S. Size optimization of elastic steel trusses using Karush-Kuhn-Tucker conditions based on BS5950. Journal of Engineering, Science and Technology 2021;5(2):86-99.

[9] Maxfield B. Essential PTC® Mathcad Prime® 3.0: a guide for new and current users. Massachusetts, USA: Elsevier; 2014.

[10] Benker H. Practical use of Mathcad®: solving mathematical problems with a computer algebra system. London, UK: Springer; 1999.

ประวัติผู้เขียนบทความ

นายพันธนะ จิวาลักษณ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000
E-mail: pantana.j64@rsu.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: Structural Safety Reliability and Engineering Optimization

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย อวยพรประเสริฐ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 E-mail: owinai@yahoo.com
งานวิจัยที่สนใจ: Structural Safety Reliability and Construction Materials

Article History:

Received: November 6, 2024

Revised: March 29, 2025

Accepted: April 8, 2025

THERMAL PERFORMANCE AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE HEAT PUMP DRYER

Phiched Thanin[1], Sommai Saramath[2], Panuwit Puttaraksa[3], Praphatsorn Rattanaphaiboon[4], Piyapond Makming[5], Latthaphonh Kythavone[6] and Monnarin Rueangjit[7]

[1]Lecturer, Faculty of Engineering and Technology, North-Chiang Mai University, 169 M.3, Nong keaw, Hangdong, Chiang Mai 50230, Thailand, piched@northcm.ac.th

[2]Lecturer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, 128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai 50300, Thailand, saramath@rmutl.ac.th

[3,4,5,6,7]Ph.D. Student, School of Renewable Energy, Maejo University, 63 M.4, Nong Han, San Sai, Chiang Mai 50290, Thailand

[3]golfputtaraksa@gmail.com, [4]pui_p4336@hotmail.com, [5]piyapondmakming@gmail.com, [6]atthaphonh@fe-nuol.edu.la, [7]ruangjitt@gmail.com

ABSTRACT

This work presents the thermal performance and economic perspectives of a high temperature heat pump dryer. The optimal design under the thermodynamic and computational fluid dynamics (CFD) methods are used to develop the prototype heat pump system. A drying chamber of 0.94 m^3 is supplied heat by a 3.2 kW R-134a heat pump. Gymnema tea is used to evaluate the thermal performance at a drying temperature of 45-60 ^oC. The optimal data are found under the testing conditions of an operating time of 240 minutes, a moisture content of 60% Wet-basis, a drying rate of 1.20 $k_{gw}/(kg_G \cdot min)$, and a specific consumption of 3.71 kWh/kg_G. Drying efficiency, energy efficiency ratio (EER), and heating coefficient of performance (COP_H) are approximately 71.56%, 2.42 kW_{th}/kW_e, and 5.37 respectively. Economic results are a payback period of 1.02 years and an internal rate return of 49.9%.

KEYWORDS: Gymnema tea, Coefficient of performance, Drying efficiency, Payback period

1. Introduction

Gymnema is a common ingredient in the northern area, Thailand cuisine as the local vegetable and commercial herb tea. Traditional products are used to prevent diabetics [1, 2]. Many drying techniques are used to dry Gymnema such as solar drying process under a

dying time of 1-2 days. This process reveals disadvantage point as a long operating period, a limit-potential of solar energy, and a climate of the northern area. From above results, an active drying method is presented in commercial product. Heater hot-air over and vapor compression heat pump as directly driven from electrical power are represented in present. In this work, a high temperature heat pump at the range of 40-70 ^{o}C for drying Gymnema is developed to handle the high quality vegetable and price products [3].

Natural antioxidants, color, quality, and consumer acceptance [4-6] are productivity from the expected drying products. Heat pump drying system is a common method for removing moisture, microbial spoilage, and chemical reactions [7]. Heat pump technique was reported by various works such Singh et al [8], who evaluated the suitable drying conditions in terms of the humidity and temperature sensitive values. Mohanraja et al [9] and Tunckal and Doymaz [10] showed energy saving from exhaust heat recovery unit. The integrated systems between heat pump and other technologies in drying process were implemented by Cheng et al. [11] and Cranston et al [12]. Binnisha et al [13] presented a compound parabolic solar dryer to extract moisture from a material of 74% Dry-basis to be a final moisture 7% Dry-basis. Drying time and drying ratio were approximately 12 h and 3.5, respectively. Sanpang [14] focused on a drying kaffir lime leaves from a hybrid heater-heat pump system. The dried kaffir lime leaves revealed the best color at a hot air temperature of 45-55 ^{o}C. Seanmeema et al [15] studied a curcumin-heat pump dryer. An initial moisture content of approximately moisture content of 525-565% Dry-basis was extracted to a final moisture content of 10% Dry-basis. Three step temperatures of 45 ^{o}C, 50 ^{o}C, and 55 ^{o}C are designed as drying performance at a velocity of 0.5 m/s. Coefficient of performance (COP) was found at the range of 2.149-2.919. Chunkaew [16] reported a banana slide of 400 g at an initial moisture content of 281% Dry-basis, which was dried to a low moisture content of 6.24% Dry-basis. The COP values were found in the range of 3.32-4.24. Saengsuwan [17] analyzed chrysanthemum flowers to reduce a product moisture lower than 5%. An optimum temperature of 65 ^{o}C was reported under a testing time of 8 h and a power consumption 1.091 kWh/h. Auprakul et al [18] focused water hyacinth by a R-22 heat pump dryer. Three temperature levels of 40 ^{o}C, 50 ^{o}C, and 60 ^{o}C were conducted for the drying periods of 4 h, 5 h, and 6 h, respectively. The COP results were 5.25, 4.88, and 4.51, respectively. Aktas et al [19] studied a heat pump mint leaves dryer. The dryer—air heat recovery unit, air source, heat pump system, and proportional temperature controller—were developed. The

experiment results were performed at a velocity of 2 m/s, 2.5 m/s, and 3 m/s under the ambient temperature of 35 °C and a COP of 4.06.

As mentioned above, many works reported the analyzing of vegetable drying process. Various types of vegetables used the heat pump system to reduce humidity. The correlation conditions of drying chamber volume, temperature, air pressure drop, velocity, air ventilation, humidity, moisture content, and power consumption are not investigated on an optimal heat pump dryer. Thus, in this work an optimal design based on thermodynamics, computational fluid dynamics (CFD), energy consumption, drying time, and economic perspectives is implemented. The objective of this study are as follows:

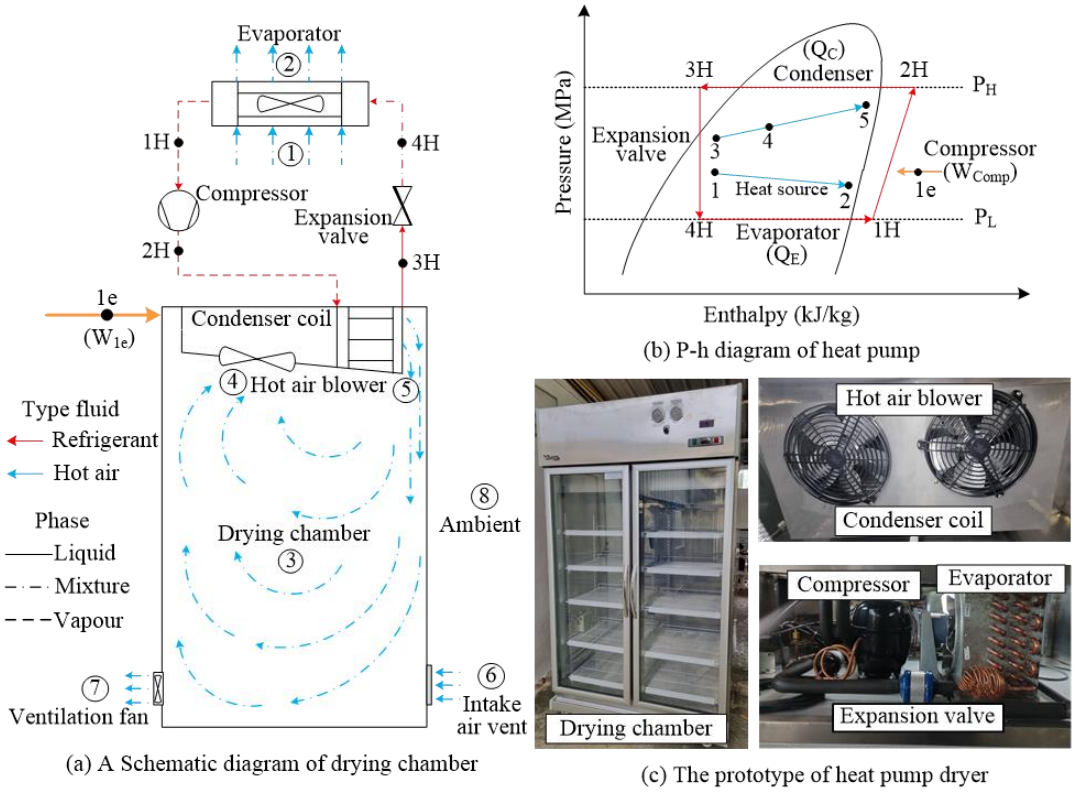
1) To develop a high-temperature heat pump dryer for hot air temperature of 40-70 °C.

2) To optimize the suitable drying conditions under the thermodynamic, CFD, energy consumption, drying time, and economic impacts.

3) To evaluate the drying curve of Gymnema tea.

2. System description

A schematic diagram of the heat pump drying chamber is depicted in Figure 1 (a). The ambient air at points 1-2 is used as heat source of an R-134a vapor compression heat pump cycle. Heat transfer process between the ambient air and refrigerant is conducted at an evaporator, as presented in Figure 1 (b). Working substance at a low-temperature boils at a low-pressure into vapor at point 1H. A compressor is used to increase the vapor working fluid temperature and pressure at point 2H. A super heat vapor rejects heat at a condenser by using the moist air in a drying chamber at point 3. Working fluid is consolidated to be a liquid phase at point 3H. At the same time, hot air is boosted to a high-level heat of approximately 60-70 °C at point 4. A hot air blower is used to circulate hot air with a low-relative humidity (RH, %) through drying material. A high-humidity air at point 5 is rejected by an intake air vent at point 6. At the same time, the fresh air is conducted by a ventilation fan to reduce the relative humidity of drying air at point 7. The liquid working fluid at point 3H is depressurized by an expansion valve at point 4H, and the new vapor compression cycle is restarted. A R-134a heat pump prototype is visualized in Figure 1 (c).



(a) A Schematic diagram of drying chamber

(b) P-h diagram of heat pump

(c) The prototype of heat pump dryer

Figure 1 Heat pump dryer

3. Materials and methods

3.1 CFD analysis

The CFD method is used to simulate the optimal parameters of velocity, pressure, and temperature, as specified in Table 1. The velocity of the air directly affects heat transfer and the evaporation of moisture from the drying object. The pressure inside the dryer may influence the rate of moisture evaporation, while temperature is a critical factor in controlling the evaporation rate of moisture from the material being dried. The heat pump system—R134a refrigerant, 0.746 kW compressor, 2.75 kW evaporator, 3.2 kW condenser, and 1 TR expansion valve—are implemented. The drying chamber is designed at a 1.10 m-width, 0.58 m-deep, 1.47 m-height, and 0.94 m^3-volume.

Table 1 Input parameters for the CFD simulation.

Parameter	Input value	Unit
Fluid	Air	-
Heat source	70	°C
Volume flow rate	0.068	m^3/s
Pressure openings	Environment pressure	-
Outlet velocity	2.5	m/s
Maximum gap size	0.00135	m

3.2 Drying test

Drying material is a Gymnema of 2 kg at a size of 5 mm. Dry bulb temperature, relative humidity, velocity, mass, and power consumption are continuously measured. Temperature and relative humidity sensors are the Tenmars TM305U Humidity Datalogger at a temperature range of -40 °C to 85 °C and a relative humidity range of 1-99% under an accuracy of ±0.61 °C and ±0.58%, respectively. The power logger is the TEKON550 power analyzer at the operation range of 0.016-600 kW and an accuracy of ±0.9%. The drying conditions of 45 °C for 240 minutes, 55 °C for 60 minutes, and 60 °C for 30 minutes are designed for Gymnema tea.

3.3 Thermal performance of heat pump dryer

Thermal performance of the heat pump dryer is presented in terms of the specific moisture extraction rate (SMER, g_w/kWh), heating coefficient of performance (COP_H), drying efficiency (η_{Dry}, %), energy efficiency ratio (EER_{Dry}, kW_{th}/kW_e), and specific energy consumption (SEC, kWh/kg_G), as presented in Figure 2.

3.4 Economic analysis

Economic analysis of the heat pump dryer for Gymnema tea focuses on the payback period (PB, y), net present value (NPV, USD), and internal rate of return (IRR, %). Mathematical correlation is represented in Figure 2. Initials parameters for economic analysis are summarized in Table 2.

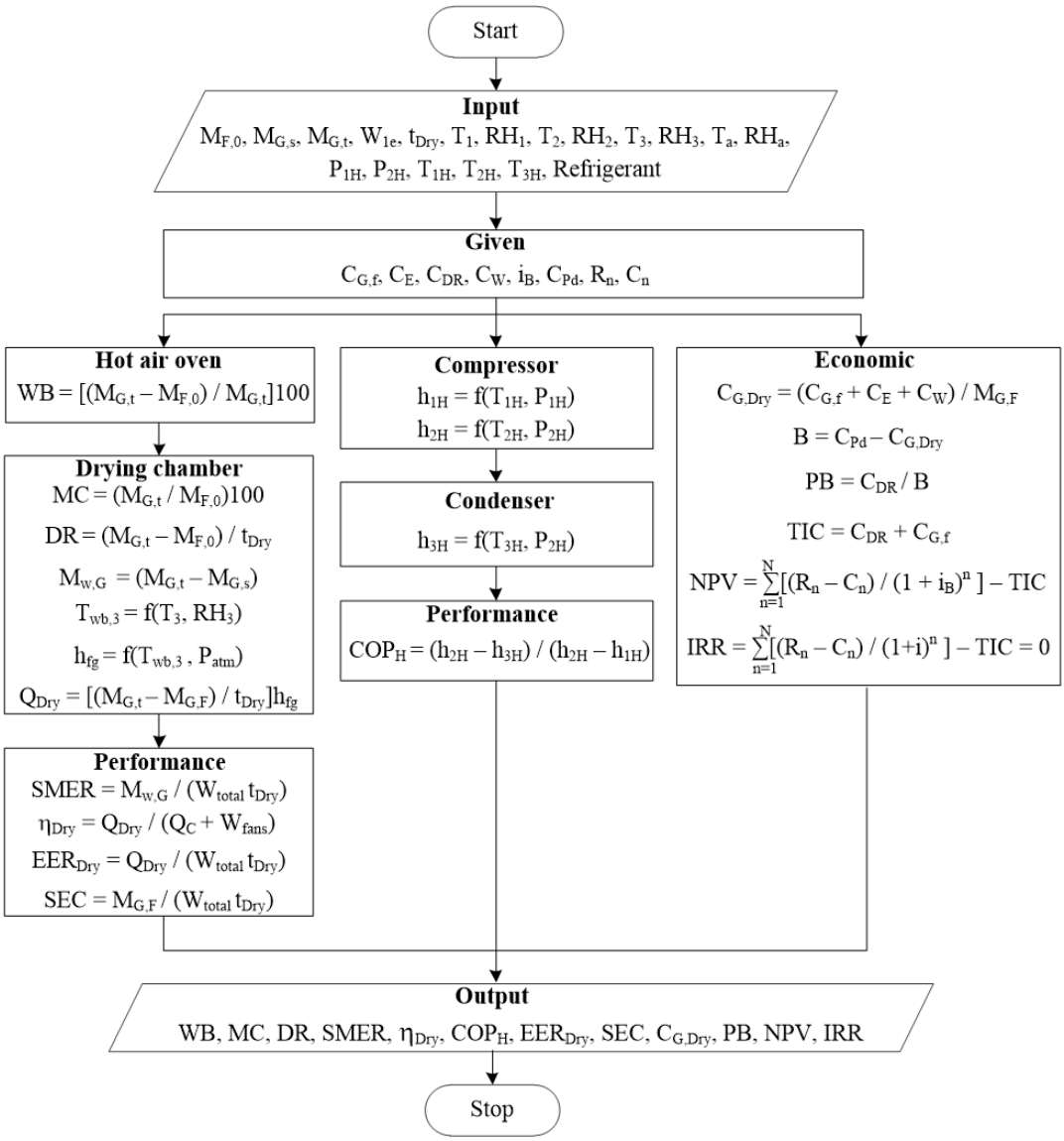


Figure 2 A mathematical model of the drying chamber

Table 2 Initials parameters of economic analysis

Parameters	Value	Unit
Cost of heat pump dryer system (C_{DR})	2,789	USD
Cost of fresh Gymnema ($C_{G,f}$)	1.40	USD/kg
Cost of electricity (C_E)	0.132	USD/kWh
Cost of wage (C_w)	8.39	USD/d
Cost of maintenance (C_m)	279.80	USD/y
Mass of fresh Gymnema ($M_{G,F}$)	400	kg/y
Mass of dried Gymnema ($M_{G,d}$)	96	kg/y
Cost of dried Gymnema (C_{Pd})	55.96	USD/kg
Number of operation days per year (D)	200	d
Discount rate (i)	7.05	%
Life of dryer system (Y)	10	y

4. Results and discussion

4.1 CFD

The CFD simulation of the drying process is presented in Figure 3. The fluid dynamics shows a regular ventilation performance of five drying material shelves. A wind speed of 1.28 m/s, an air pressure of 101,324.56 Pa, and a hot air temperature of 58.77 ^{o}C are the average values under a steady state performance. Double drying blowers with each power of 19 W and a diameter size of 9 inch are selected from the CFD results. A ventilation fan of 10 W and a diameter size of 4 inch is selected to reduce the humidity of drying air for 5 shelves and 10 inch intake air vent.

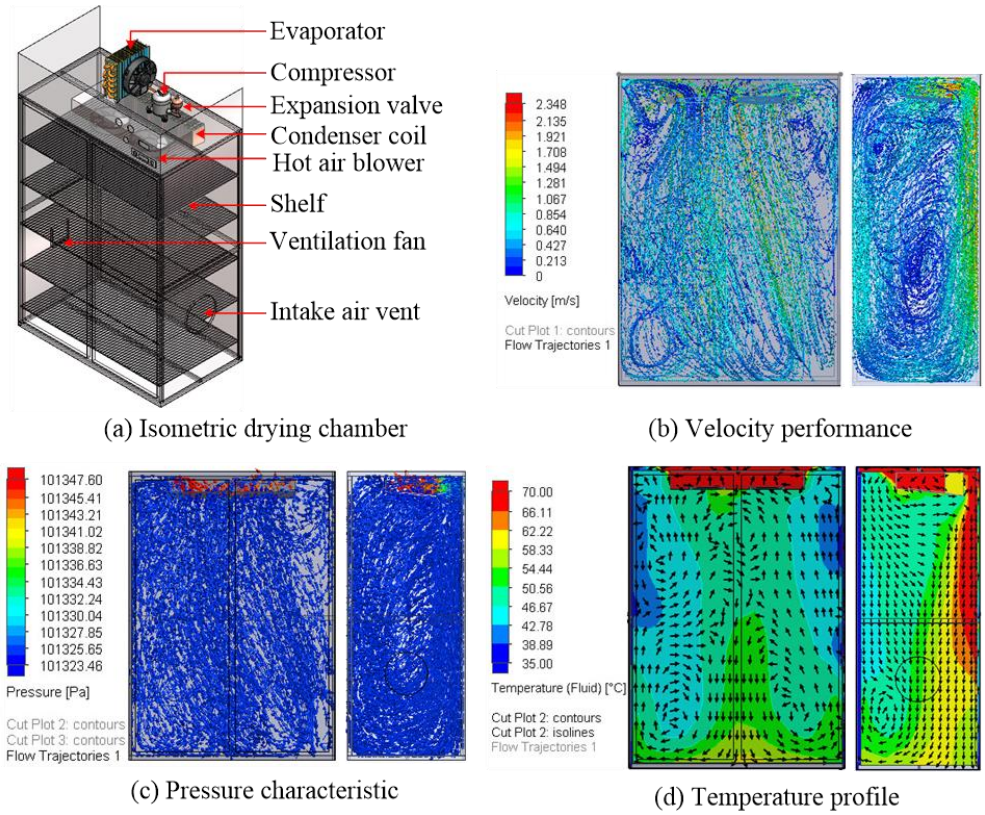


Figure 3 Computational fluid dynamics of drying process

4.2 Thermal performance

Figure 4 displays the moisture, relative humidity, and temperature data in the drying chamber. Gymnema reveals an initial moisture of 84.50% Wet-basis. The moist air property at a temperature of 27.37 °C and a relative humidity of 90.2% transfers heat from the heat pump system. A testing time of 330 minutes is continuously operated with the final drying condition of hot air cycle is a hot air temperature of 60 °C, a relative humidity of 27.67%, and a moisture content of 1.00% Wet-basis. The best dried Gymnema product reveals at an operation time of 240 minutes for a moisture content of 22.50% Wet-basis, a hot air temperature 45 °C, and a relative humidity of 41.00%. This output Gymnema product will be sent to the roast process at a temperature of 80 °C. An essential oil readily volatile of approximately 8.89% Wet-basis and the best aroma tea are found at these drying conditions. The mold and musty odor are the main reasons for the low-moisture content material, which corresponds with Dmowski and Ruszkowska [20] at a lower than 9%.

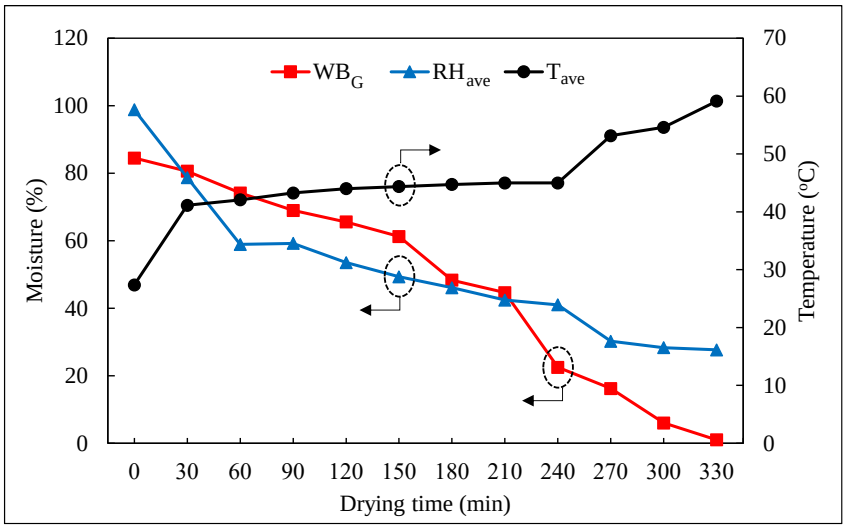


Figure 4 Moisture, relative humidity, and temperature of the drying process

Figure 5 shows the correlation between the moisture content based on the dry-basis standard and drying rate parameters. A moisture content of 676% Dry-basis is sharply increased into a preheat period of 30 minutes at a high-drying rate of 8.72 $kg_w/(kg_G \cdot min)$. In a constant drying rate period of 30-150 minutes, a drying rate of 5.52 $kg_w/(kg_G \cdot min)$ reveals to extract moisture out of the surface of drying materials. In a falling drying rate period of 120-330 minutes illustrates a low-drying rate of 1.45 $kg_w/(kg_G \cdot min)$.

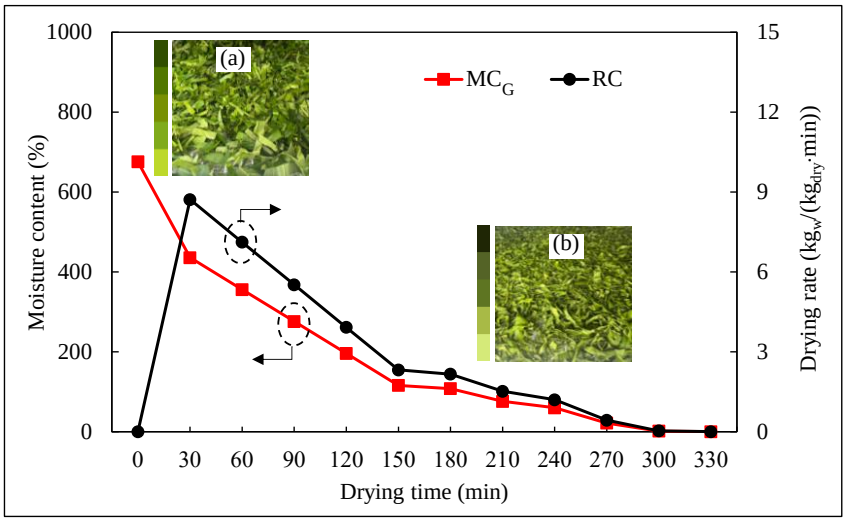


Figure 5 Moisture content and drying rate the drying process

Figure 6 shows the specific moisture extraction rate (SMER) and humidity ratio (ω, g_w/kg_{air}) inside the drying chamber. The average SMER value of the 240-minute drying period is 0.062 kg_W/kWh, which is nearly with that of Hossaina et al [21] of 0.038 kg_W/kWh. At the same time, the humidity ratio of drying air is approximately 29.72 g_W/kg_{da} during the drying period.

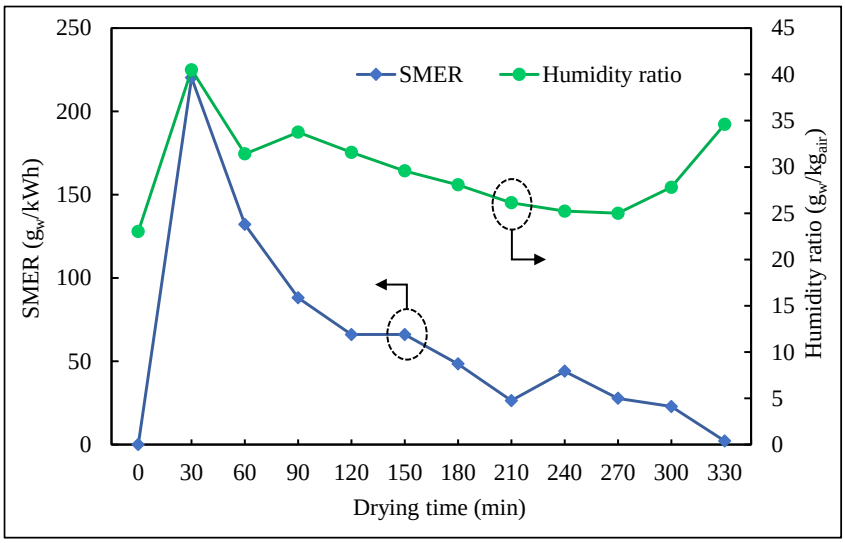


Figure 6 SMER and humidity ratio of the drying chamber

Figure 7 shows the drying efficiency, COP, and EER. Drying efficiency is approximately 51.18-74.92%, which corresponds with that of Singh et al [22] of 50.9% and Hossaina et al [21] of 78.23%. The COP impact slightly decreases, when the condenser temperature increases. This effect is directly driven from the temperature difference between heat source and heat sink. The minimum and maximum COPs of approximately 4.88 and 5.43 are found from the hot air temperature of 60 °C and 45 °C, respectively. The COP of this work is nearly with that of Aktas et al [23] of 5.25 and Hossaina et al [21] of 5.45. Energy efficiency ratio of drying chamber is approximately the range of 2.05-2.59 kW_{th}/kW_e. The EER result is correspondingly with the drying energy. The average thermal impacts of the drying chamber are presented in Table 3.

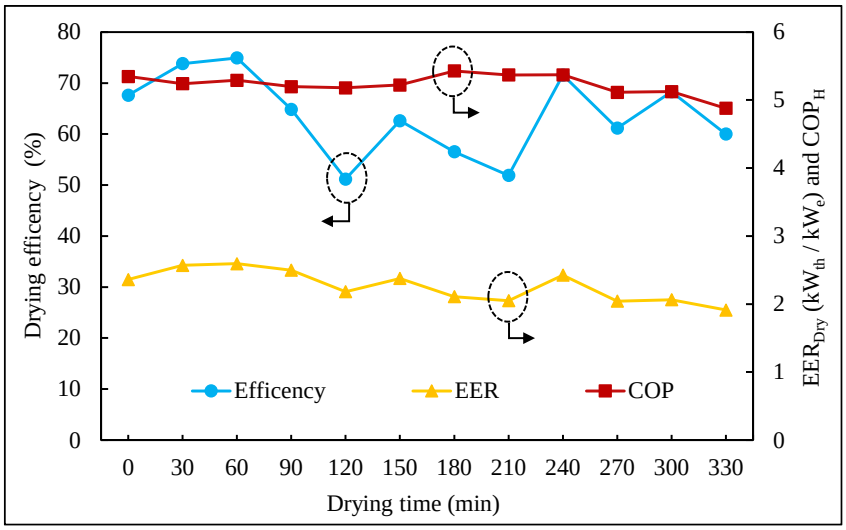


Figure 7 Efficiency and EER of the heat pump system

Table 3 Operating condition of Gymnema tea at the operation time of 240 minutes.

Properties	Value	Unit
Temperature in drying chamber (T_{ave})	45	°C
Temperature ambient (T_{amb})	32.9	°C
Relative humidity in drying chamber (RH_{ave})	41.00	%
Relative humidity ambient (RH_{amb})	62.7	%
Initial mass of Gymnema ($M_{G,s}$)	2	kg_G
Mass of Gymnema ($M_{G,t}$)	0.42	kg_G
Mass water of Gymnema ($M_{G,t}$)	0.09	kg_w
Mass of moisture content 0% ($M_{F,0}$)	0.23	kg_G
Moisture (WB)	22.50	%wb
Drying rate (DR)	0.27	$kg_w/(kg_G \cdot min)$
Moisture content (MC)	60	%
Latent heat of evaporation (h_{fg})	2420.06	kJ/kg_w
High absolute pressure (P_H)	2.29	MPa
Low absolute pressure (P_L)	0.37	MPa
Refrigerant temperature 1H (T_{1H})	28.6	°C
Refrigerant temperature 2H (T_{2H})	53.2	°C

Table 3 Operating condition of Gymnema tea at the operation time of 240 minutes. (continued)

Properties	Value	Unit
Refrigerant temperature 3H (T_{3H})	32.1	°C
Enthalpy 1H (h_{1H})	422.4	kJ/kg
Enthalpy 2H (h_{2H})	461.8	kJ/kg
Enthalpy 3H (h_{3H})	250.5	kJ/kg
Heat capacity of drying chamber (Q_{Dry})	2.01	kW
Heat capacity of condenser (Q_C)	2.94	kW
Power consumption of drying chamber (W_{total})	0.824	kW
COP_H	5.37	-
η_{Dry}	71.56	%
EER_{Dry}	2.42	kW_{th}/kW_e
SEC	3.71	kWh/kg_G

Figure 8 shows the SEC and mass of Gymnema tea. The SEC is directly driven by electrical power consumption. The mass of Gymnema tea is inversely with the SEC and drying time. The appropriate drying time of 240 minutes specifies the SEC and material mass of 3.71 kWh/kg_G and 0.4 kg_G, respectively.

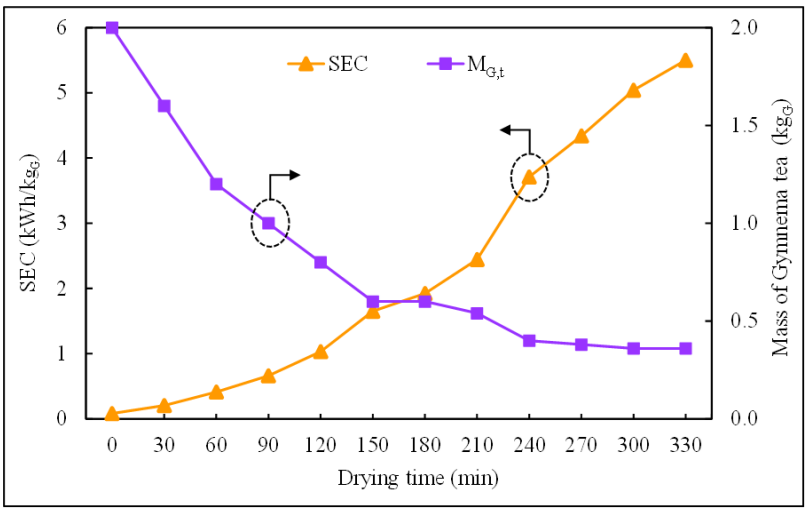


Figure 8 Specific energy consumption and mass of Gymnema tea

Figure 9 shows the correlation between the moisture content based on the dry-basis and drying rate parameters of the simulation and experiment. It was found that the dry-basis value from the simulation was lower than the experiment and was equal to 0 at 270 minutes, while from the experiment it was equal to 0 at 300 minutes because the predicted drying heat value was higher than the experiment and the heat loss due to the drying chamber wall was not taken into account.

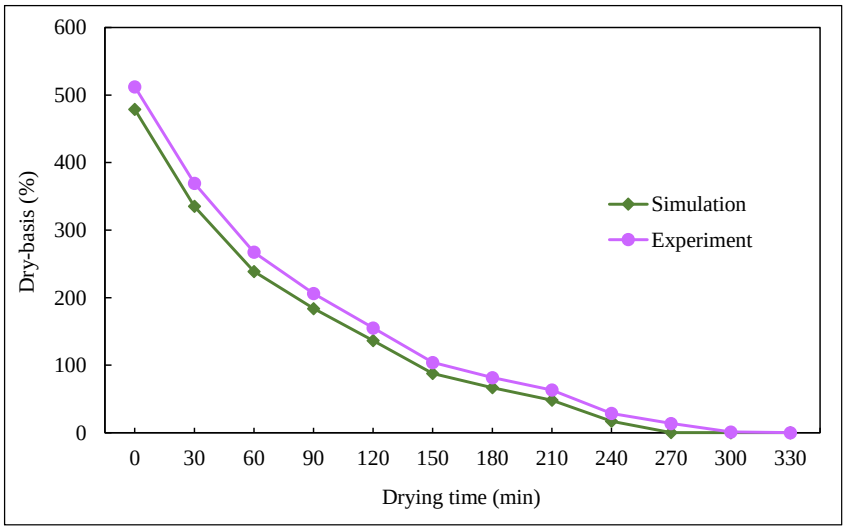


Figure 9 Simulation and experiment of moisture content based on the dry-basis and drying time of Gymnema tea

Currently, drying agricultural products is very important in terms of the economy and food security of Thailand. Therefore, it is an opportunity to expand this innovation to develop the community economy in a commercial way. The survey on reducing moisture of agricultural products uses a temperature range of 40-60 ^{o}C and requires cleanliness and precise temperature control. In the past, the heat pump dryer has been used for other agricultural products that need to be dried in this range, such as Assam tea, herbs, and coffee husks. The quality of the product after drying is very good.

4.3 Economic analysis

A total investment cost (TIC) of 2,789 USD and a maintenance cost of 279.80 USD/y (approximately 10% of investment cost) are the main expense costs of drying chamber. A

discount rate of 7.05% [24], an operation time of 5 h/d and 200 d/y, and a lifespan of 10 y are assumed as the initial conditions to investigate the PB, NPV and IRR parameters. A market cost of dried Gymnema tea of 55.96 USD/kg_G is advantage from drying process, which is higher than a fresh Gymnema tea of 1.40 USD/kg_G or approximately an increase income rate of 40 times. Total income is approximately 5,372 USD/y, while reveals a power consumption of 119 USD/y. Payback period, net present value, and internal rate of return are 1.02 y, 16,366 USD, and 49.4%, respectively.

5. Conclusions

From above study results, it can be concluded as follows:

1) The novel R-134a vapor compression heat pump—R134a refrigerant, 0.746 kW compressor, 2.75 kW evaporator, 3.2 kW condenser, and 1 TR expansion valve—is implemented.

2) The CFD results—1.28 m/s wind speed, 101,324.56 Pa air pressure, and 58.77 ^{o}C hot air temperature—conduct the double drying blowers of 19 W/unit, ventilation fan of 10 W, 5 shelves, and intake air vent of 10 inch.

3) The optimal drying condition is the hot air temperature of 45 ^{o}C, drying time of 240 minutes, moisture content of 60% Wet-basis, drying rate of 1.20 $kg_w/(kg_G \cdot min)$.

4) Thermal performance of the drying chamber is performed as the drying efficiency of 71.56%, COP_H of 5.37, EER_{Dry} of 2.42 $kW_{th}/kW_{e,}$ and SEC of 3.71 kWh/kg_G.

5) Economic results in terms of the payback period, net present value, and internal rate of return are 1.02 y, 16,366 USD, and 49.4%, respectively.

Acknowledgments

This project was supported by National Innovation Agency, Thailand. This work was also partially supported by North-Chiang Mai University and Maejo University. The authors also thank the School of Renewable Energy, Maejo University, for the scholarship support and the research grants for researchers. The authors express their gratitude to the members of the Thermal Design and Technology Laboratory, Maejo University, for their the Gymnema received from Chiang Da Paruay enterprise at Choeng Doi subdistrict, Doi Saket district, Chiang Mai, Thailand.

References

[1] Dunkhunthod B, Talabnin C, Murphy M, Thumanu K, Sittisart P, Eumkeb G. *Gymnema inodorum* (Lour.) Decne. extract alleviates oxidative stress and inflammatory mediators produced by RAW264.7 macrophages. Oxidative Medicine and Cellular Longevity 2021;2021(1):8658314. doi: 10.1155/2021/8658314.

[2] Yingthongchai P, Sirikhum P, Nilsamranchit S, Tateing S. Comparison of nutritional value and bioactive compounds in *Gymnema inodorum* Decne leaves. Journal of agriculture 2018;34(3):363-72. (In Thai)

[3] Sritontip P, Sritontip C, Khunsupa N, Thongdeepan N, Kantiwong J. Study on yield, cost and return of *Gymnema inodorum* (lour.) Decne. production in model community for thailand resources conservation. Agriculture science Journal 2018;49(Suppl 1):80-4.

[4] Chanwitheesuk A, Teerawutgulrag A, Rakariyatham N. Screening of antioxidant activity and antioxidant compounds of some edible plants of Thailand. Food chemistry 2005;92(3):491-7. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.07.035.

[5] Dedvisitsakul P, Watla-iad K. Antioxidant activity and antidiabetic activities of Northern Thai indigenous edible plant extracts and their phytochemical constituents. Heliyon 2022;8(9):10740. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10740.

[6] Nuchuchua O, Inpan R, Srinuanchai W, Karinchai J, Pitchakarn P, Wongnoppavich A, et al. Phytosome supplements for delivering *Gymnema inodorum* phytonutrients to prevent inflammation in macrophages and insulin resistance in adipocytes. Foods 2023;12(11):2257. doi: 10.3390/foods12112257.

[7] Sanpang P, Jaturonglumlert S, Nitatwichit C, Tanongkankit Y. Investigation of physicochemical properties for Kaffir lime leaves drying using heat pump system. Proceedings of the 12th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being; 2020 Jul 24; Nakhon Pathom, Thailand. p. 270-77.

[8] Singh A, Sarkar J, Sahoo R. Experimental energy, exergy, economic and exergoeconomic analyses of batch-type solar-assisted heat pump dryer. Renewable Energy 2020;156:1107-16. doi: 10.1016/j.renene.2020.04.100.

[9] Mohanraja M, Belyayev Y, Jayarajc S, Kaltayev A. Research and developments on solar assisted compression heat pump systems - a comprehensive review (part a: modeling and modifications). Renewable and Sustainable Energy Reviews 2018;83:90-123. doi: 10.1016/j.rser.2017.08.022.

[10] Tunckal C, Doymaz I. Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system. Renewable Energy 2020;150:918-23. doi: 10.1016/j.renene.2020.01.040.

[11] Cheng J, Yu W, Cao X, Shao L, Zhang C. Evaluation of heat pump dryers from the perspective of energy efficiency and operational robustness. Applied Thermal Engineering 2022;215:118995. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2022.118995.

[12] Cranston J, Askalany A, Santori G. Efficient drying in washer dryers by combining sorption and heat pumping. Energy 2019;183:683-92. doi: 10.1016/j.energy.2019.06.141.

[13] Binnisha NV, Nalina L, Mahendiran R, Rajamani K, Uma D. Effect of different drying methods on quality parameters of Gymnema (*Gymnema sylvestre* R.Br). The pharma innovation journal 2021;10(10):41-46.

[14] Sanpang P. Effects of drying with heat pump, heater and hybrid systems on quality of kaffir lime leaves and energy consumption [Thesis]. Chiang Mai, Thailand: Maejo University; 2021. (In Thai)

[15] Seanmeema N, Poomsa-ad N, Wiset L. Drying of turmeric (*Curcuma longa*) using heat pump dryer under different media. Acta horticultural 2018;1213:333-8. doi: 10.17660/ActaHortic.2018.1213.48

[16] Chunkaew P. Development and evaluation of mini heat pump dryer for slice banana. RMUTP Research Journal Sciences and Technology 2021;15(1):179-92. (In Thai)

[17] Saengsuwan T. Heat pump oven for drying chrysanthemum flower. Journal of energy and environment technology 2021;8(1):32-41. (In Thai)

[18] Auprakul U, Khonrang J, Duangnakhorn P. Water hyacinth drying by heat pump. The Golden Teak: Science and Technology Journal 2015;2(1):35-9. (In Thai)

[19] Aktas M, Khanlari A, Aktekeli B, Amini A. Analysis of a new drying chamber for heat pump mint leaves dryer. International Journal of Hydrogen Energy 2017;42(28):18034-44. doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.03.007.

[20] Dmowski P, Ruszkowska M. Equilibrium moisture content importance in safe maritime transport of black tea. TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation 2018;12(2):399-404. doi: 10.12716/1001.12.02.22.

[21] Hossaina MA, Gottschalkb K, Hassanc MS. Mathematical model for a heat pump dryer for aromatic plant. Procedia Engineering 2013;56:510-20. doi: 10.1016/j.proeng.2013.03.154.

[22] Singh A, Sarkar J, Sahoo RR. Experimentation on solar-assisted heat pump dryer: thermodynamic, economic and exergoeconomic assessments. Solar Energy 2020;208: 150-9. doi: 10.1016/j.solener.2020.07.081.

[23] Aktas M, Sevik S, Aktekeli B. Development of heat pump and infrared-convective dryer and performance analysis for stale bread drying. Energy Conversion and Management 2016;113:82-94. doi: 10.1016/j.enconman.2016.01.028.

[24] Kasikorn Bank. Real interest rate [Internet]. 2023 [cited 2023 Dec 1]. Available from: https://www.kasikornbank.com/th/rate/pages/default.aspx. (In Thai)

Author's Profile

Phiched Thanin, Lecturer at Faculty of Engineering and Technology, North-Chiang Mai University, 169 M.3, Nong keaw, Hangdong, Chiang Mai 50230, Thailand

Email: piched@northcm.ac.th

Domain: Energy conservation, Photovoltaic system, Heat pump system, Embedded system and IoT

Sommai Saramath, Assistant Professor at Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, 128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai 50300, Thailand

Email: saramath@rmutl.ac.th

Domain: Computer-aided design, Design of Experiment, Water Turbine, Foundry engineering

Panuwit Puttaraksa, Ph.D. student at School of Renewable Energy, Maejo University, San Sai District, Chiang Mai 50290, Thailand

Email: golfputtaraksa@gmail.com

Domain: Solar thermal energy, Solar Photovoltaic system, Energy in greenhouse, Heat pump system, Carbon footprint

Praphatsorn Rattanaphaiboon, Ph.D. student at School of Renewable Energy, Maejo University, San Sai District, Chiang Mai 50290, Thailand
Email: pui_p4336@hotmail.com
Domain: Renewable energy, Biomass, Pyrolysis

Piyapond Makming, Ph.D. student at School of Renewable Energy, Maejo University, San Sai District, Chiang Mai 50290, Thailand
Email: piyapondmakming@gmail.com
Domain: Solar energy, Perovskite solar cells

Latthaphonh Kythavone, Ph.D. student at School of Renewable Energy, Maejo University, San Sai District, Chiang Mai 50290, Thailand
Email: latthaphonh@fe-nuol.edu.la
Domain: Organic Rankine Cycle, Life Cycle Assessment, Simulation model and waste to energy

Monnarin Rueangjit, Ph.D. student at School of Renewable Energy, Maejo University, San Sai District, Chiang Mai 50290, Thailand
Email: Ruangjitt@gmail.com
Domain: Renewable energy, Energy in greenhouse, Mycology

Article History:
Received: March 16, 2024
Revised: April 8, 2025
Accepted: April 11, 2025

การจัดการจราจรบริเวณจุดตัดกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้ารางเบา จังหวัดขอนแก่นโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองระดับจุลภาค และอากาศยานไร้คนขับ

TRAFFIC MANAGEMENT AT INTERSECTIONS: A CASE STUDY OF THE KHON KAEN LIGHT RAIL PROJECT USING A MICROSCOPIC SIMULATION MODEL AND UNMANNED AERIAL VEHICLES

ทรงพล ทรงแสงฤทธิ์ [1] ธนพล พรหมรักษา[2*] วรัญวิชช์ อุทธา[3]
วุฒิไกร ไชยปัญหา[4] และ ปิยณัฐ จันโทสุทธิ์[5]
[1,2*,3,4]อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
150 ถนนศรีจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000,
[1]songphol.so@rmuti.ac.th, [2*]thanapol.pr@rmuti.ac.th, [3]warunvit.au@rmuti.ac.th,
[4]wuttikrai.ca@rmuti.ac.th
[5]อาจารย์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม คณะวิศวกรรมศาสตร์ 41/20 อำเภอกันทรวิชัย
จังหวัดมหาสารคาม 44150, Piyanat.j@msu.ac.th

Songphol Songsaengrit[1], Thanapol Promraksa[2*], Warunvit Auttha[3]
Wuttikrai Chaipanha[4] and Piyanat Jantosut[5]
[1,2*,3,4]Lecturer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan,
Khon Kaen Campus, 150 Srichan Road, KhonKaen 40000, Thailand,
[1]songphol.so@rmuti.ac.th, [2*]thanapol.pr@rmuti.ac.th, [3]warunvit.au@rmuti.ac.th,
[4]wuttikrai.ca@rmuti.ac.th
[5]Lecturer, Mahasarakham University, Faculty of Engineering, 41/20 Kantarawichai District,
Maha Sarakham, Thailand 44150, Piyanat.j@msu.ac.th

** ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding author)*

บทคัดย่อ

รถไฟฟ้ารางเบาจังหวัดขอนแก่น (Light Rail Transit, LRT) ได้ถูกออกแบบให้วิ่งบนเกาะกลางถนนเพื่อลดความขัดแย้งระหว่างยานพาหนะประเภทอื่น อย่างไรก็ตามที่บริเวณทางแยกยังคงเป็นจุดที่เป็นปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อนำเสนอการออกแบบช่องจราจร การเปิดทางแยกเพิ่ม

และใช้สัญญาณไฟจราจรที่ให้สิทธิ์แก่ระบบขนส่งมวลชน (Transit Signal Priority, TSP) เพื่อลดปัญหาความขัดแย้งที่ทางแยก วิธีการวิจัยประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับสำรวจข้อมูลปริมาณจราจรและลักษณะทางกายภาพ และพัฒนาแบบจำลองจราจรระดับจุลภาควิเคราะห์ 4 กรณีศึกษา ได้แก่ 1) ไม่ดำเนินโครงการใด ๆ 2) เปิดให้บริการ LRT และใช้สัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ 3) เปิดให้บริการ LRT พร้อมปรับปรุงทางแยกแต่ยังใช้สัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ และ 4) เปิดให้บริการ LRT พร้อมปรับปรุงทางแยกและใช้สัญญาณไฟแบบ TSP ผลการศึกษา ในปี พ.ศ. 2569 พบว่า กรณีที่ 1 ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด เนื่องจากความจุถนนยังเพียงพอต่อปริมาณจราจรในปัจจุบัน โดยไม่ต้องลดช่องทางจราจรเพื่อใช้เป็นเขตทาง LRT อีกทั้งสัดส่วนการเลือกใช้ LRT ยังไม่สูง ในทางกลับกัน ปี พ.ศ. 2589 พบว่า กรณีที่ 4 มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากปริมาณจราจรเกินความจุและมีระบบขนส่งมวลชนเป็นทางเลือก ระบบ TSP ทำให้ LRT สามารถผ่านทางแยกพร้อมกับยานพาหนะสายหลักโดยไม่ต้องหยุดรอ การจัดช่องจราจรใหม่และการเปิดทางแยกเพิ่มยังช่วยลดเวลาการเดินทางและความล่าช้าได้ นัยทางทฤษฎี/นโยบาย การพัฒนาแบบจำลองนี้จะช่วยประเมินผลกระทบมาตรการแต่ละกรณีเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจและวางแผนการจราจร

คำสำคัญ: ระบบขนส่งมวลชน, แบบจำลองการจราจร, อากาศยานไร้คนขับ

ABSTRACT

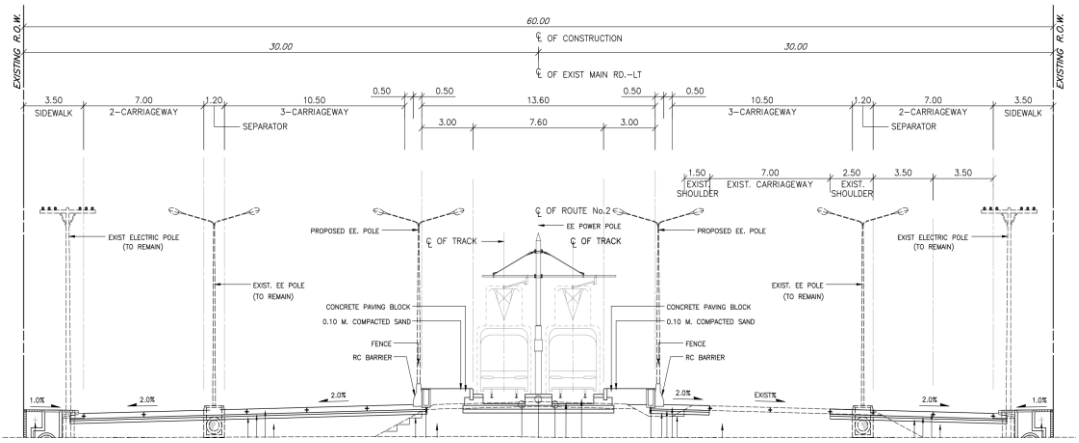
The Khon Kaen Light Rail Transit (LRT) system is designed to operate on median lanes to minimize conflicts with other vehicles. However, intersections remain critical conflict points. This study aims to propose traffic lane redesigns, the addition of new intersections, and the application of Transit Signal Priority (TSP) to mitigate intersection conflicts. UAVs were employed to collect traffic volume and physical data, while a micro-level traffic simulation model was used to analyze four scenarios: (1) no project implementation, (2) LRT with fixed-time traffic signals, (3) LRT with intersection improvements and fixed-time signals, and (4) LRT with intersection improvements and TSP. Results for 2026 show that Scenario (1) yields the best outcome, as current road capacity is sufficient, and LRT adoption is low. By 2046, Scenario (4) is most effective due to increased traffic and the availability of public transit as an alternative. TSP allows LRT and main road vehicles to pass through intersections simultaneously, reducing delays. The redesigned lanes and new intersections also significantly cut travel time and congestion. Theoretical/Policy Implications: This research provides a framework for managing conflict points, aligning traffic systems, and improving connectivity

KEYWORDS: Public transit system, Traffic simulation model, Unmanned aerial vehicles

1. บทนำ

กระทรวงคมนาคมได้กำหนดกรอบยุทธศาสตร์เพื่อพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานการคมนาคมและขนส่งอย่างยั่งยืน โดยมีเป้าหมายในการสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจและสังคม เพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางให้มีความปลอดภัยและสะดวกสบาย เตรียมพร้อมต่อโอกาสในการแข่งขันทางของประเทศ การพัฒนาครั้งนี้เน้นที่การปรับปรุงโครงข่ายคมนาคมในเขตเมืองใหญ่และภูมิภาคต่าง ๆ ซึ่งมีความสำคัญในการรองรับการเติบโตของประชากร คุณภาพชีวิตและการขยายตัวของเมือง [1] ขอนแก่นเป็นหนึ่งในจังหวัดที่มีการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาณความต้องการการเดินทางสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้การวางแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่งในจังหวัดมีความจำเป็นอย่างยิ่ง รัฐบาลจึงได้ริเริ่มโครงการศึกษาระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้ารางเบาจังหวัดขอนแก่น โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการเดินทาง ลดความแออัดทางจราจร และสนับสนุนเศรษฐกิจในภูมิภาค

โครงการรถไฟฟ้ารางเบาสายเหนือ-ใต้ (Light Rail Transit, LRT) เป็นโครงการสำคัญที่มีแนวเส้นทางอยู่บริเวณเกาะกลางถนนมิตรภาพ (ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2) อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยมีระยะทางรวม 22.8 กิโลเมตร LRT มีทั้งระดับดินและแบบยกระดับ การออกแบบเส้นทางนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ LRT สามารถสัญจรร่วมกับยานพาหนะประเภทอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับส่วนที่เป็นโครงสร้างระดับดิน ดังรูปที่ 1 LRT และยานพาหนะอื่น ๆ จะต้องใช้ถนนร่วมกันโดยเฉพาะบริเวณทางแยก [1] ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและความขัดแย้งสูง การยกระดับรางข้ามทางแยกจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามต้นทุนการยกระดับรางมีมูลค่าสูงมากอาจทำให้ไม่สามารถยกระดับราง LRT ได้ทั้งโครงการ



รูปที่ 1 แบบโครงสร้างระดับดิน LRT [1]

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยจึงเสนอแนวทางในการบริหารจัดการจราจรภายใต้เงื่อนไขจำกัดที่ไม่สามารถยกระดับรางข้ามทางแยกได้ เช่น การปรับปรุงช่องจราจร การจัดการจราจร การประยุกต์ใช้สัญญาณไฟจราจรในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของ LRT หนึ่งในมาตรการที่สำคัญคือการใช้สัญญาณไฟจราจรที่ปรับแต่งให้เหมาะสมกับ LRT และยานพาหนะบนถนนสายหลัก โดยมุ่งเน้นให้กระแสจราจรสามารถผ่านทางแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดปัญหาความล่าช้าและความขัดแย้งที่ทางแยก ทั้งนี้งานวิจัยได้ประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในการสำรวจพื้นที่ศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลองจราจรระดับจุลภาค เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการเหล่านี้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถพัฒนาระบบขนส่งมวลชนในจังหวัดขอนแก่นได้อย่างยั่งยืน

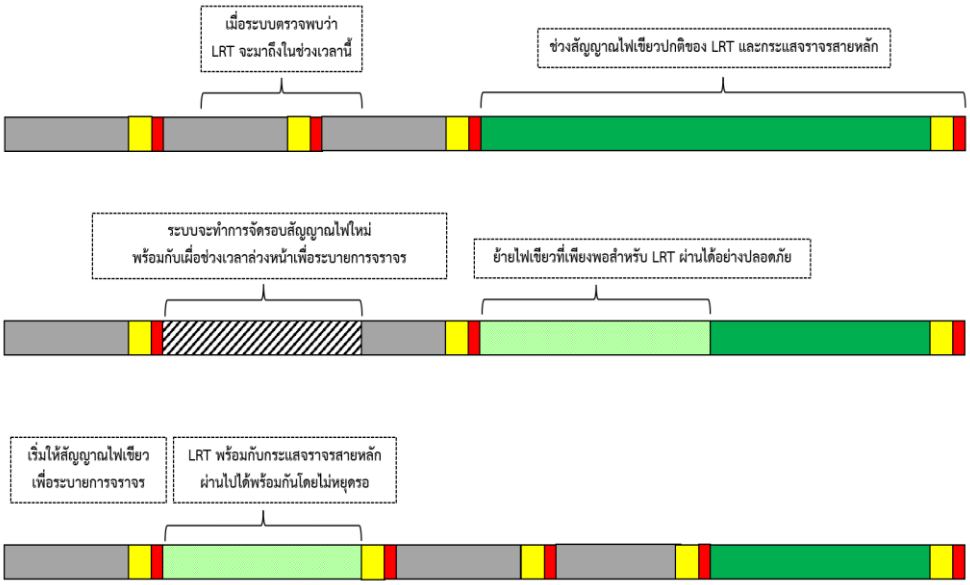
2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ระบบสัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาแบบคงที่ (Fixed-Time Signals)

เป็นระบบควบคุมการจราจรที่ออกแบบโดยอิงตามช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรสูงสุด นิยมใช้กับทางแยกที่ปริมาณจราจรค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยระยะเวลาของรอบสัญญาณไฟ (Cycle Length) จะถูกกำหนดให้คงที่ตามการออกแบบ อย่างไรก็ตามข้อเสียของระบบนี้คือ เมื่อปริมาณจราจรมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่คงที่ จะส่งผลให้สัญญาณไฟเขียวไม่สอดคล้องกับปริมาณจราจรจริงที่มีอยู่ในขณะนั้น ส่งผลให้เกิดความล่าช้า เพิ่มโอกาสในฝ่าฝืนสัญญาณไฟ และใช้ไฟเขียวไม่เต็มประสิทธิภาพ [2]

2.2 ระบบสัญญาณไฟประเภทให้สิทธิแก่ระบบขนส่งมวลชน (Transit Signal Priority, TSP)

ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในบริเวณจุดตัดที่มีการใช้พื้นที่ร่วมกันระหว่างระบบขนส่งมวลชนและยานพาหนะอื่น ๆ ระบบนี้สามารถปรับเปลี่ยนระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวหรือแดงเพื่อให้รถขนส่งสาธารณะสามารถผ่านทางแยกได้โดยไม่ต้องหยุดดังรูปที่ 2 ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและดึงดูดผู้ใช้จากยานพาหนะส่วนตัว โดยยังคงรักษาความสมดุลของรอบสัญญาณไฟเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรโดยรวม [3-5]



รูปที่ 2 ระบบสัญญาณไฟ TSP

จากกรณีศึกษาในต่างประเทศพบว่า TSP สามารถลดเวลาล่าช้าของรถโดยสารได้มากถึง 20-30% และมีศักยภาพในการรักษาสมดุลระหว่างการให้สิทธิแก่ระบบขนส่งมวลชนและการจราจรโดยรวม [3-5] กรณีศึกษาในไทยซึ่งวิเคราะห์การใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบระบบตรวจจับตำแหน่งของยานพาหนะและปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรแบบเรียลไทม์ซึ่งคล้ายกับระบบ TSP ในเมืองที่มีความหนาแน่นสูงพบว่า สามารถลดปริมาณการหยุดรถที่ทางแยกได้ถึง 15% เมื่อเทียบกับระบบสัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาแบบคงที่ [6]

2.3 การจัดช่องจราจร (Channelization)

เป็นการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ถนนผ่านการใช้เครื่องหมายจราจรหรือโครงสร้างทางกายภาพ เช่น เกาะกลางถนน ป้าย และสัญญาณไฟจราจร มาตรการนี้มีเป้าหมายเพื่อลดอุบัติเหตุและทำให้การจราจรไหลลื่นมากขึ้น รูปแบบของการจัดช่องจราจรมีหลายประเภท ได้แก่ การปรับปรุงทิศทางช่องจราจร (Lane Marking) เพื่อแยกทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ลดความสับสนและการเปลี่ยนช่องจราจรกะทันหัน การปรับปรุงเกาะกลางถนน (Median Islands) เป็นโครงสร้างที่ใช้เพื่อแยกทิศทางจราจร ป้องกันการข้ามช่องจราจรหรือกลับรถในจุดที่เสี่ยงต่ออุบัติเหตุ การปรับปรุงช่องทางเลี้ยว (Turning Lanes) เพื่อลดผลกระทบต่อการจราจรหลัก จัดระเบียบกระแสจราจร ลดการชนกันในจุดตัด โดยสรุปแล้วการจัดช่องจราจรมีบทบาทสำคัญในการลดความขัดแย้งกระแสจราจร และช่วยให้การจราจรมีประสิทธิภาพมากขึ้น [7]

2.4 แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Microsimulation)

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ระบบจราจรและการขนส่งผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ สามารถจำลองสถานการณ์การจราจรได้อย่างละเอียดในทุกวินาที โดยอ้างอิงจากตรรกะทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์การเคลื่อนที่ของยานพาหนะแบบพลวัต ข้อดีของการใช้แบบจำลองนี้คือ ความสามารถในการคาดการณ์และแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้า อีกทั้งยังสามารถทดสอบและปรับปรุงมาตรการที่เสนอเพื่อช่วยลดความเสี่ยง และลดระยะเวลาการดำเนินงาน

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคยังมีข้อจำกัด โดยความแม่นยำของแบบจำลองขึ้นอยู่กับกระบวนการปรับเทียบ (Calibration) ซึ่งหมายถึงการปรับให้แบบจำลองมีความสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงก่อนที่จะนำไปใช้งาน การปรับเทียบนี้พิจารณาจากตัวแปรที่นำเข้าสู่แบบจำลอง (Input) และผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง (Output) ซึ่งผลลัพธ์นั้นจะต้องไม่แตกต่างจากเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในเชิงวิศวกรรมจราจร [8]

3. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ รหัสโครงการ HEC-02-67-023

3.1 การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

ผู้วิจัยคัดเลือกพื้นที่ศึกษาตามแนวเส้นทางระดับดินของ LRT โดยเน้นบริเวณที่มีความซับซ้อนและมีปริมาณการจราจรเข้าออกจำนวนมาก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสำเร็จของโครงการ พื้นที่ศึกษาที่เลือกคือบริเวณทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ บนถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 (มิตรภาพ) ดังรูปที่ 3

พื้นที่ศึกษามีจำนวน 3 ช่องจราจรต่อทิศทาง โดยช่องจราจรด้านในมีการตีเส้นทแยงเพื่อห้ามใช้งาน นอกจากนี้ยังมีช่องจราจรคู่ขนาน 2 ช่องจราจรต่อทิศทาง โดยทุกช่องจราจรมีความกว้างเท่ากันที่ 3.5 เมตร และมีเกาะกลางขนาด 4 เมตร ถนนสายนี้เป็นเส้นทางคมนาคมสายหลักที่เชื่อมต่อไปยังมหาวิทยาลัยฯ หมู่บ้าน และศูนย์การค้า

โดยโครงการรถไฟฟ้ารางเบาขอนแก่น (LRT) มีกำหนดเริ่มให้บริการในปี พ.ศ. 2569 มีแนวเส้นทางวิ่งตามแนวเกาะกลางถนนมิตรภาพ ครอบคลุมระยะทาง 22.8 กิโลเมตร พร้อมสถานีจำนวน 16 สถานี ในช่วงเวลาเร่งด่วน

รูปที่ 3 ทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และภาพรวมของโครงการ

3.2 การสำรวจพื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) แบบปีกหมุนขนาดเล็ก ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจราจรโดยไม่มีการรบกวนพฤติกรรมของผู้ใช้ถนน ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยความเร็ว อัตราเร่ง การเว้นระยะห่างระหว่างยานพาหนะ และพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจร เป็นต้น การสำรวจปริมาณจราจรดำเนินการในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า (07.00-08.00 น.) และเย็น (16.00-17.00 น.) ในวันทำงานปกติ ภายใต้สภาพแวดล้อมการจราจรปกติ กระบวนการถอดข้อมูลดำเนินการผ่านการสังเกตจากวิดีโอที่บันทึก

นอกจากนี้ ยังได้ดำเนินการสำรวจลักษณะทางกายภาพของพื้นที่โดยใช้ภาพถ่ายออร์โธ (Orthophoto) ที่ได้จากเทคนิคการถ่ายภาพทางอากาศแบบ UAV Photogrammetry ซึ่งใช้หมุดควบคุมภาพแบบเป้าสัญญาณ (Signalized Photo-Control Points) ที่อ้างอิงกับหมุดควบคุมพิกัด GNSS โดยทำการรังวัดพิกัดด้วยวิธี Real-Time Kinematic (RTK)

การใช้เทคนิคดังกล่าวช่วยให้สามารถบันทึกภาพและวิดีโอความละเอียดสูงจากมุมมองทางอากาศ (Bird’s Eye View) ส่งผลให้การเก็บรวบรวมข้อมูลของพื้นที่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง [9-12] ดังรูปที่ 4

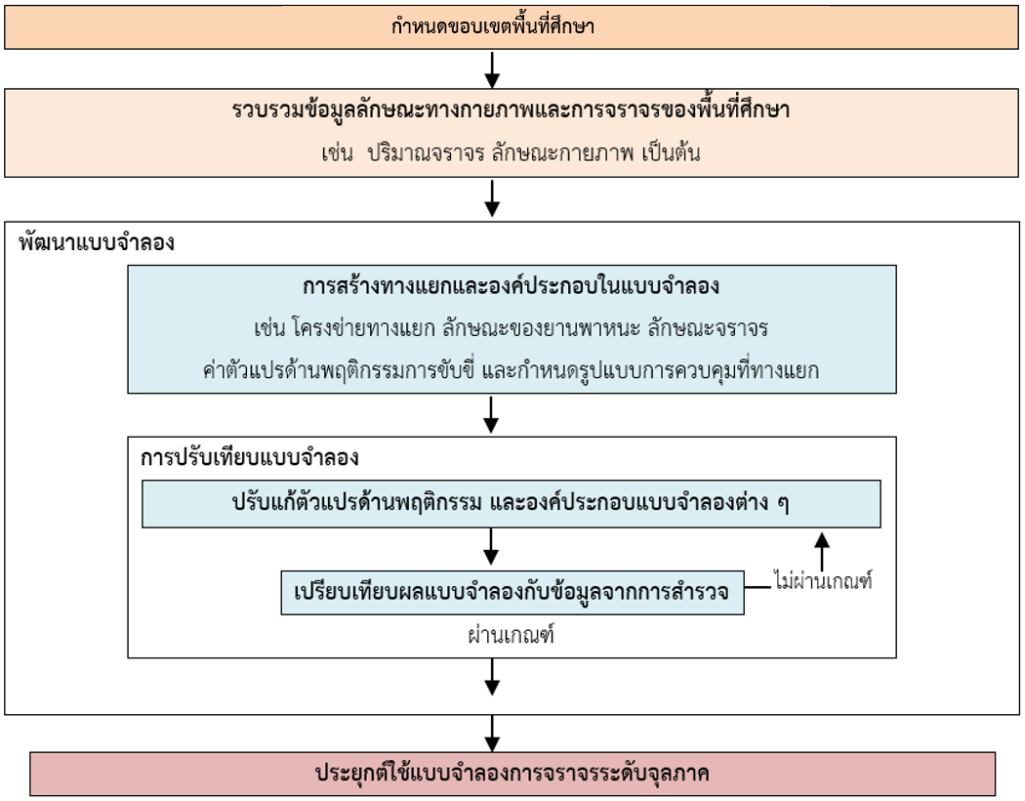
รูปที่ 4 การสำรวจด้วย UAV และ RTK

3.3 ปริมาณจราจรและสัดส่วนยานพาหนะ

การคาดการณ์ปริมาณการจราจรและสัดส่วนการเลือกรูปแบบการขนส่งในปีอนาคต พัฒนาขึ้นโดยใช้แบบจำลองการคาดการณ์ 4 ขั้นตอน (4-Step Model) โดยพิจารณาข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมในจังหวัดขอนแก่น ผลคาดการณ์ระบุว่าในปี พ.ศ. 2569 ปริมาณการเดินทางจะอยู่ที่ 861,000 เที่ยวต่อวัน โดยมีสัดส่วนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 32% รถจักรยานยนต์ 54% และรถขนส่งสาธารณะ 14% และในปี พ.ศ. 2589 ปริมาณการเดินทางจะเพิ่มขึ้นเป็น 1,518,00 เที่ยวต่อวัน โดยมีสัดส่วนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 30% รถจักรยานยนต์ 51% และรถขนส่งสาธารณะ 19% โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของปริมาณการเดินทางจะอยู่ที่ประมาณ 2.76% ต่อปี [1]

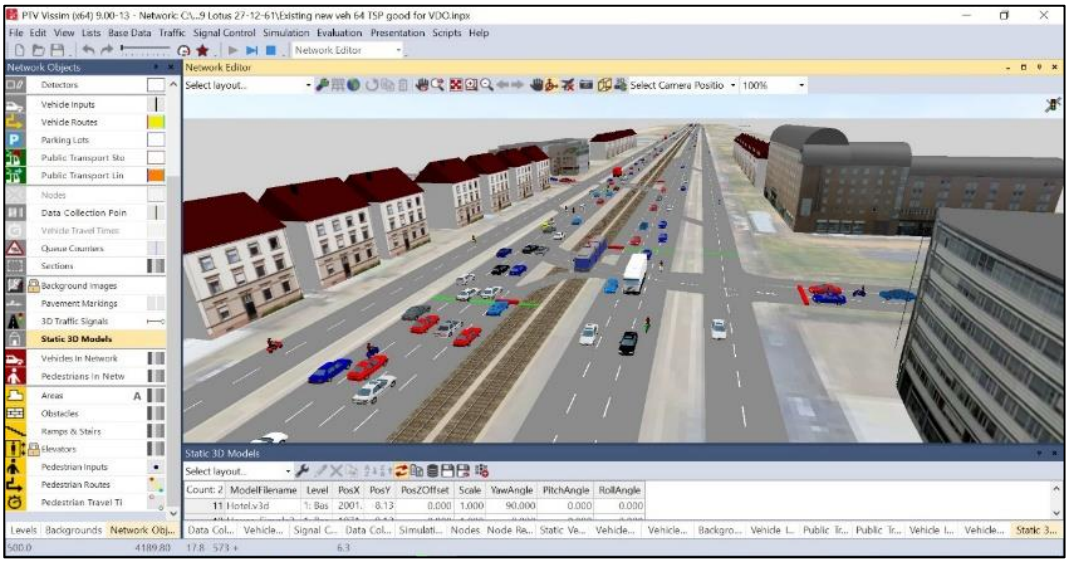
3.4 แบบจำลองจราจรระดับจุลภาค

ผู้วิจัยใช้โปรแกรม PTV Vissim ในการพัฒนาแบบจำลองจราจรระดับจุลภาค โดยนำข้อมูลจากพื้นที่ศึกษามาใช้เป็น ข้อมูลนำเข้า (Input Data) เพื่อสร้างแบบจำลองที่สะท้อนสภาพการจราจรในพื้นที่ประกอบไปด้วย ข้อมูลปริมาณการจราจร ความเร็ว อัตราเร่ง กายภาพของถนน ประเภทยานพาหนะ และพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ใช้ถนน นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กระบวนการพัฒนาแบบจำลอง

วัตถุประสงค์ของการพัฒนาแบบจำลองจราจรระดับจุลภาคคือ เพื่อวิเคราะห์สภาพการจราจรในปัจจุบันและอนาคตรวมถึงการประเมินผลกระทบโครงการรถไฟฟ้ารางเบา (LRT) ร่วมกับระบบสัญญาณไฟจราจรและมาตรการอื่น ๆ โดยกำหนดให้เวลาที่ให้บริการผู้โดยสารที่ความถี่เฉลี่ย 10 นาที ใช้ขบวนรถจำนวน 15 ขบวน แต่ละขบวนมีความจุ 250 คนต่อขบวน ภายใต้ 4 กรณีศึกษา (Scenario) ในปี พ.ศ. 2569 และ พ.ศ. 2589 รายละเอียดของแต่ละกรณีมีดังนี้ 1) ไม่ดำเนินโครงการใดๆ 2) เปิดให้บริการ LRT โดยคงสภาพกายภาพถนนเดิม และติดตั้งสัญญาณไฟคงที่ 3) เปิดให้บริการ LRT พร้อมเปิดทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และติดตั้งสัญญาณไฟคงที่ 4) เปิดให้บริการ LRT พร้อมเปิดทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และติดตั้งสัญญาณไฟที่ให้สิทธิ์รถไฟฟ้ารางเบา (TSP Coordinated)



รูปที่ 6 แบบปรับปรุงกายภาพทางแยก และพัฒนาแบบจำลองในมุมมองสามมิติ

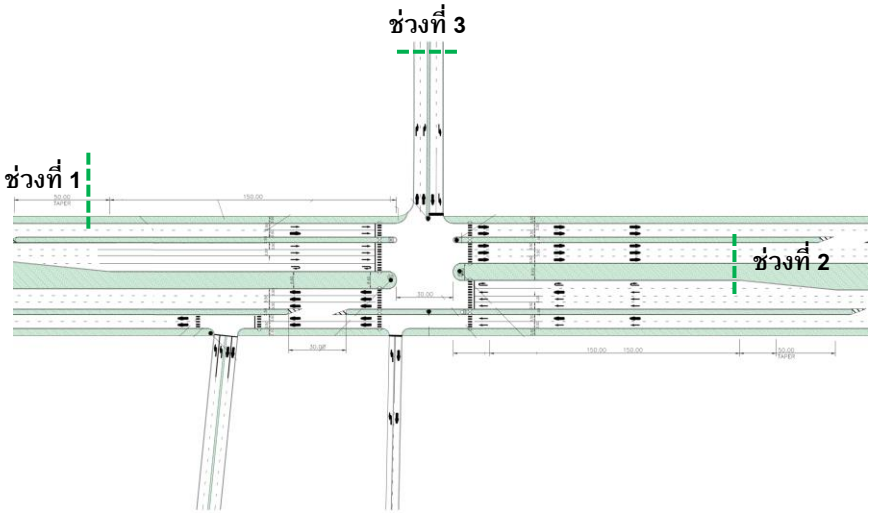
ตัวแปรชี้วัดหลักในแบบจำลองกระแสจราจรระดับจุลภาค ได้แก่ 1) ความล่าช้าเฉลี่ยต่อยานพาหนะ (Average Total Delay per Vehicle, sec.) โดยวัดเวลาที่แต่ละยานพาหนะต้องรอหรือหยุดเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ในสภาวะปกติ ความล่าช้าอาจเกิดจากสัญญาณไฟ การจราจรติดขัด หรือจุดขัดแย้งอื่น ๆ การวัดนี้ช่วยประเมินประสิทธิภาพการไหลของจราจร 2) ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (Average Queue Length, m.) โดยวัดความยาวเฉลี่ยของแถวรถที่รออยู่ตามจุดตัดหรือบริเวณหยุดชะงัก ผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยประเมินความสามารถของทางแยกในการจัดการปริมาณจราจร หากแถวคอยยาวเกินไปบ่งบอกถึงความหนาแน่น

3.5 การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองคือกระบวนการปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น ปริมาณจราจร พฤติกรรมการขับขี่ และลักษณะทางกายภาพของถนน เพื่อให้ผลลัพธ์จากแบบจำลองสอดคล้องกับข้อมูลพื้นที่ศึกษาจริง ผลการจำลองจะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม โดยค่าความแตกต่างต้องไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ในเชิงวิศวกรรมจราจร ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 7

ตารางที่ 1 การปรับเทียบแบบจำลอง

ปริมาณจราจร (คัน/ชั่วโมง)					
ช่วงถนน	แบบจำลอง (คัน)	ค่าจริง (คัน)	ความแตกต่าง (%)	เงื่อนไข	GEH < 5
เกณฑ์: ปริมาณจราจรต้องอยู่ระหว่าง 700 ถึง 2,700 คันต่อชั่วโมง					
ช่วงที่ 1	1954	2050	4.91%	15%	ผ่าน
ช่วงที่ 2	2147	2260	5.26%		ผ่าน
ช่วงที่ 3	426	440	3.93%		ผ่าน
รวมทุกช่วง	4527	4750	4.93%	5%	ผ่าน



รูปที่ 7 ตำแหน่งของช่วงถนนที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาณจราจร

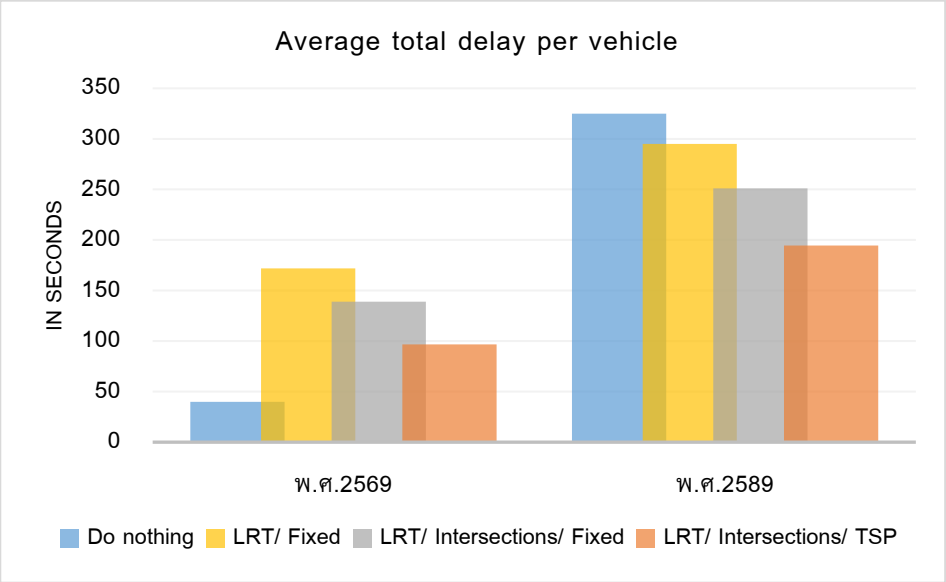
จากตารางที่ 1 พบว่าผลการปรับเทียบแบบจำลองการจราจร (Model Calibration) โดยเปรียบเทียบ ปริมาณจราจรที่ได้จากแบบจำลอง กับ ข้อมูลภาคสนามจริง สำหรับ 3 ช่วงถนน (Sections) ผ่านเกณฑ์ทั้งหมดแสดงให้เห็นว่ามีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงตามเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

4. ผลการวิจัย

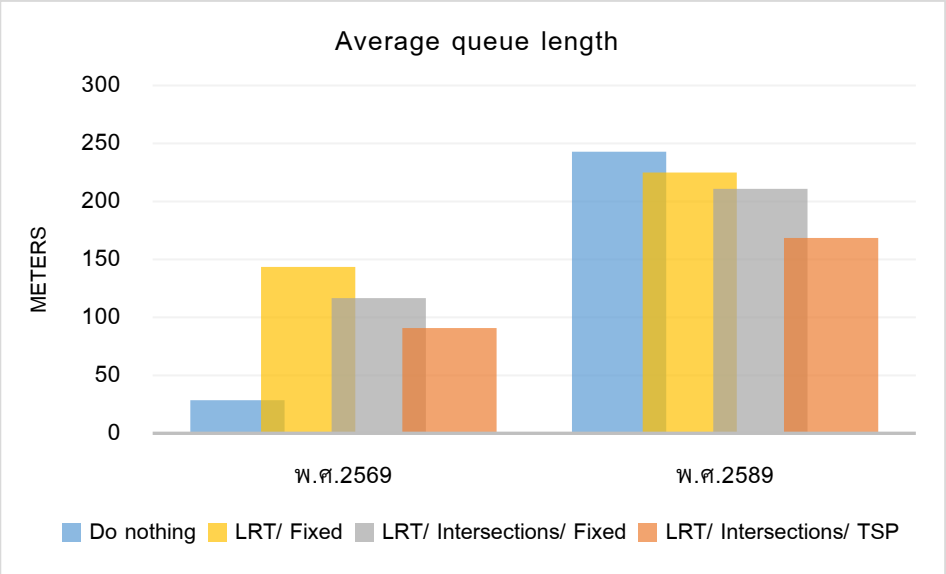
4.1 กรณีศึกษาในปี พ.ศ. 2569

กรณีที่ 2 (เปิดให้บริการ LRT โดยคงลักษณะกายภาพเดิมและติดตั้งสัญญาณไฟแบบคงที่) ส่งผลให้ความล่าช้าและความยาวแถวคอยเพิ่มขึ้น 82% และ 76% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ 1

(ไม่ดำเนินโครงการใด ๆ) ซึ่งสอดคล้องกับ กรณีที่ 3 ปัญหาหลักเกิดจากการใช้ลักษณะกายภาพเดิมที่จำกัดการเข้าออกระหว่างชุมชนทั้งสองฝั่งให้อยู่ที่จุดกลับรถในระยะไกล ทำให้ต้องเพิ่มระยะเวลาในการเดินทางและส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากขึ้น



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ย 4 กรณี



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบความยาวแถวคอยเฉลี่ย 4 กรณี

กรณีที่ 3 (เปิดให้บริการ LRT, เปิดทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และติดตั้งสัญญาณไฟแบบคงที่) ส่งผลให้ความล่าช้าและความยาวแถวคอยเพิ่มขึ้น 75% และ 71% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ 1 (ไม่ดำเนินโครงการใด ๆ) สาเหตุหลักมาจากการจัดรอบสัญญาณไฟจราจรที่ไม่สอดคล้องกับสภาพการจราจร ทำให้เกิดความล่าช้าทั้งสำหรับรถยนต์ส่วนบุคคลและ LRT

กรณีที่ 4 (เปิดให้บริการ LRT, เปิดทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และติดตั้งสัญญาณไฟ TSP) ส่งผลให้ความล่าช้าเฉลี่ยต่อยานพาหนะและความยาวแถวคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 68% และ 58% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ กรณีที่ 1 (ไม่ดำเนินโครงการใด ๆ) สาเหตุหลักมาจากการลดจำนวนช่องจราจรบางช่วง เพื่อใช้เป็นเขตทางสำหรับ LRT ซึ่งทำให้ความจุถนนลดลง นอกจากนี้มาตรการจำกัดความเร็วที่บังคับใช้ยังส่งผลต่อระดับการให้บริการถนนในพื้นที่ อย่างไรก็ตาม แม้การดึงดูดให้ผู้ใช้รถส่วนบุคคลหันมาใช้ LRT ยังไม่สูงมากนัก การจัดช่องทางจราจรใหม่และการเปิดทางแยกช่วยลดเวลาในการเดินทางและลดความล่าช้าได้บ้าง

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทั้ง 4 กรณี

รายละเอียด	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4	
	ไม่ดำเนินการใด ๆ	เปิดให้บริการ LRT กายภาพเดิม และสัญญาณไฟคงที่		เปิดให้บริการ LRT ปรับปรุงทางแยก และสัญญาณไฟคงที่		เปิดให้บริการ LRT ปรับปรุงทางแยก และสัญญาณไฟ TSP	
ปี พ.ศ. 2569							
ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (เมตร)	28.51	143	82%	117	75%	91	68%
ความล่าช้าเฉลี่ยต่อคัน (วินาที)	39.90	172	76%	139	71%	97	58%
ปี พ.ศ. 2589							
ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (เมตร)	243	225	8%	211	16%	168	44%
ความล่าช้าเฉลี่ยต่อคัน (วินาที)	325	295	10%	251	29%	195	69%

4.2 กรณีศึกษาในปี พ.ศ. 2589

กรณีที่ 1 ไม่ดำเนินโครงการใด ๆ เกิดความล่าช้า ความยาวแถวคอยเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สภาพการจราจรติดขัดและจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เหตุมาจากความจุของถนนและเขตทางที่จำกัด ไม่สามารถรองรับยานพาหนะส่วนบุคคลที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปีได้ เนื่องจากไม่มีระบบขนส่งสาธารณะที่มีประสิทธิภาพเป็นทางเลือกแทนยานพาหนะ

กรณีที่ 2 มีประสิทธิภาพมากกว่ากรณีที่ 1 ความยาวแถวคอยและความล่าช้าลดลง 8% และ 10% ตามลำดับ เนื่องจากการเปิดให้บริการ LRT ช่วยลดสัดส่วนการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล การใช้ LRT ช่วยลดความหนาแน่นของจราจรได้มากกว่ารถส่วนบุคคล

กรณีที่ 3 มีประสิทธิภาพมากกว่ากรณีที่ 1 ความยาวแถวคอยและความล่าช้าลดลง 16% และ 29% ตามลำดับ รวมถึงมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีที่ 2 อย่างไรก็ตาม ระบบสัญญาณไฟจราจรยังคงเป็นแบบคงที่ไฟไม่สอดคล้องกับสภาพการจราจร ทำให้ยังคงเกิดความล่าช้าสำหรับทั้งรถส่วนบุคคลและ LRT

กรณีที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ ความยาวแถวคอยและความล่าช้าลดลง 44% และ 69% ตามลำดับ เนื่องจากการจัดช่องทางจราจรใหม่และการเปิดทางแยกช่วยลดเวลาในการเดินทางและความล่าช้า การควบคุม LRT ด้วยระบบสัญญาณไฟ TSP ซึ่งทำงานแบบประสานสัมพันธ์ระหว่างทางแยก (Coordinated Control) ช่วยกำหนดเวลาการมาถึงของ LRT และจัดการรอบสัญญาณไฟเพื่อให้ยานพาหนะทุกประเภทสามารถผ่านทางแยกร่วมกันได้อย่างราบรื่นเมื่อ LRT เข้าใกล้ทางแยก ระบบ TSP จะปรับให้ LRT ได้รับสัญญาณไฟเขียวโดยไม่ต้องหยุดรอ แต่ต้องลดความเร็วล่วงหน้าเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเบรกฉุกเฉินหากจำเป็น ในกรณีเหตุฉุกเฉิน ศูนย์ควบคุมสามารถปรับความเร็ว LRT แบบอัตโนมัติ ทำให้สามารถควบคุมการผ่านของ LRT ทั้งสองทิศทางได้พร้อมกัน รวมถึงยานพาหนะบนถนนมิตรภาพ หลังจาก LRT ผ่านทางแยก ระบบจะปรับลดระยะเวลาไฟเขียวในจังหวะถัดไปเพื่อชดเชยเวลาให้กับสัญญาณไฟอื่น ๆ ทำให้การจราจรสมดุลยิ่งขึ้น ระบบนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการจราจร ส่งเสริมให้ผู้ใช้รถยนต์ส่วนบุคคลหันมาใช้ LRT มากขึ้น ลดปริมาณการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลในระยะยาว

4.3 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

ผลการศึกษาพบว่า การใช้ TSP ที่ประสานกันระหว่างทางแยกในกรณีที่ 4 ช่วยลดเวลาล่าช้าได้สูงสุด (ลดลง 69% ในปี พ.ศ. 2589) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ He et al [5] ที่พบว่าการใช้ Multi-Modal TSP สามารถลดเวลาการเดินทางของ LRT เฉลี่ย 60% ขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจร

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Skabardonis and Christofa I [3] และ Christofa and Skabardonis [4] พบว่าระบบ Actuated TSP ลดเวลาล่าช้าเฉลี่ย 25% แต่ในกรณีจังหวัดขอนแก่นการประยุกต์ใช้ Coordinated Adaptive TSP ทำให้ลดความล่าช้าได้สูงกว่าเนื่องจากการประสานกันระหว่างจุดตัดหลายจุด

นอกจากนี้ Shao et al [7] พบว่าการปรับปรุงทางกายภาพของทางแยก เช่น การเพิ่มช่องจราจรและทางเบี่ยง สามารถเสริมประสิทธิภาพของ TSP ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่า การเพิ่มช่องทางและการเปิดทางแยกใหม่ช่วยลดเวลาล่าช้าลงอย่างมีนัยสำคัญ

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

ในปี พ.ศ. 2569 กรณีที่ 1 (ไม่ดำเนินการใด ๆ) ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด เนื่องจากความจุของถนนยังเพียงพอที่จะรองรับปริมาณจราจรในปัจจุบัน ช่องทางจราจรไม่ถูกลดลงเพื่อใช้เป็นเขตทางสำหรับ LRT และการดึงดูดให้ผู้ใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลหันมาใช้ LRT ยังไม่สูงมากในช่วงปีแรก อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาในระยะยาว ความจุถนนที่มีอยู่อาจไม่เพียงพอในการรองรับปริมาณยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นทุกปี

ในปี พ.ศ. 2589 กรณีที่ 4 (ให้บริการ LRT, เปิดทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และติดตั้งสัญญาณไฟ TSP) ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด เนื่องจากมีระบบขนส่งมวลชนเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับผู้เดินทางช่วยลดการจราจรติดขัด การควบคุม LRT ด้วยระบบสัญญาณไฟ TSP ที่ประสานกับสัญญาณไฟที่ทางแยก (Coordinated Control) ช่วยให้ LRT ทั้งสองทิศทางสามารถผ่านทางแยกได้พร้อมกัน และยานพาหนะบนช่องจราจรของถนนสายหลักสามารถผ่านได้พร้อมกันเช่นกัน

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้ Transit Signal Priority (TSP) แบบ Coordinated Adaptive มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดความล่าช้าและเพิ่มประสิทธิภาพของ LRT โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า [3-5, 7] ที่แสดงให้เห็นว่า TSP สามารถลดความล่าช้าได้ในช่วง 20-70% ขึ้นอยู่กับประเภทของระบบที่ใช้

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของ TSP คือ การใช้งานอาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ถนนทั่วไป หากไม่มีการออกแบบรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม ดังนั้น การใช้ TSP ควรดำเนินการร่วมกับมาตรการเสริม เช่น การเพิ่มช่องทางเดินรถ การปรับปรุงการจัดการจราจร และการส่งเสริมให้ประชาชนเปลี่ยนมาใช้ระบบขนส่งมวลชนมากขึ้น การศึกษาลำดับถัดไปการใช้ AI-based Adaptive TSP ที่สามารถเรียนรู้และปรับเปลี่ยนตามสภาพการจราจรแบบเรียลไทม์ ซึ่งอาจให้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นในการจัดการทางแยกที่มีปริมาณจราจรสูง

แนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจัดการจราจรที่จุดตัด คือการยกระดับราง LRT เพื่อข้ามผ่านทางแยกซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการจราจรได้ อย่างไรก็ตามแนวทางนี้มาพร้อมกับการลงทุนที่สูงซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถดำเนินการได้ ดังนั้นการพิจารณายกระดับรางเฉพาะในจุดตัดที่มีปัญหาวิกฤต และใช้รางระดับดินในพื้นที่ชานเมือง อาจเป็นวิธีที่ช่วยลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มโอกาสความเป็นไปได้ในการดำเนินโครงการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน (SIRDC) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ขอนแก่นมหาวิทยาลัยขอนแก่น และ หน่วยวิจัยการขนส่งในเมืองอย่างยั่งยืน

(SUMR) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น สำหรับความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล บุคลากร และแบบจำลองสภาพการจราจร

References

[1] Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Faculty of Engineering, Khon Kaen University. A detailed design study of the Khon Kaen public transportation system and environmental impact assessment office of transport and traffic policy and planning. Khon Kaen: Office of Transport and Traffic Policy and Planning; 2018.

[2] Roess RP, Prassas ES, McShane WR. Traffic engineering. New Jersey, USA: Pearson; 2011.

[3] Skabardonis A, Christofa E. Impact of transit signal priority on level of service at signalized intersections. Procedia - Social and Behavioral Sciences 2011;16:612-9. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.04.481.

[4] Christofa E, Skabardonis A. Traffic signal optimization with application of transit signal priority to an isolated intersection. Transportation Research Record 2011;2259(1):192-201. doi: 10.3141/2259-18.

[5] He Q, Head KL, Ding J. Multi-modal traffic signal control with priority, signal actuation and coordination. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 2014;46: 65-82. doi: 10.1016/j.trc.2014.05.001.

[6] Promraksa T, Satiennam T, Satiennam W. Vehicle actuated signal control for low carbon society. International Journal of GEOMATE 2019;16(55):86-91.

[7] Shao Y, Han X, Wu H, Claudel CG. Evaluating signalization and channelization selections at intersections based on an entropy method. Entropy. 2019 Aug 18;21(8):808. doi: 10.3390/e21080808.

[8] Currin TR. Introduction to traffic engineering: a manual for data collection and analysis. 2nd ed. Stamford, USA: Cengage Learning; 2012.

[9] Barmpounakis EN, Vlahogianni EI, Golias JC. Unmanned aerial aircraft systems for transportation engineering: current practice and future challenges. International Journal of Transportation Science and Technology 2016;5(3):111-22. doi: 10.1016/j.ijtst.2017.02.001.

[10] Gupta SG, Ghonge MM, Jawandhiya PM. Review of unmanned aircraft system (UAS). International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology 2013;2(4):1646-58.

[11] Khan MA, Ectors W, Bellemans T, Janssens D, Wets G. Unmanned aerial vehicle-based traffic analysis: a case study for shockwave identification and flow parameters estimation at signalized intersections. Remote Sensing 2018;10(3):458. doi: 10.3390/rs10030458.

[12] Wang L, Chen F, Yin H. Detecting and tracking vehicles in traffic by unmanned aerial vehicles. Automation in Construction 2016;72(Pt 3):294–308. doi: 10.1016/j.autcon.2016.05.008.

ประวัติผู้เขียนบทความ

ทรงพล ทรงแสงฤทธิ์ ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 Email: songphol.so@rmuti.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมสำรวจ และวิศวกรรมขนส่ง

ธนพล พรหมรักษา ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 Email: thanapol.pr@rmuti.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมขนส่ง และวิศวกรรมสำรวจ

วรัญวิชช์ อุทธา ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 Email: warunvit.au@rmuti.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมขนส่ง

วุฒิไกร ไชยปัญหา ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 Email: wuttikrai.ca@rmuti.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมขนส่ง

ปิยณัฐ จันโทสุทธิ์ ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสารคาม 41/20 ต.ขามเรียง อ. กันทรวิชัย จ. มหาสารคาม 44150 Email: Piyanat.j@msu.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมขนส่ง

Article History:

Received: November 16, 2024

Revised: April 9, 2025

Accepted: April 11, 2025

การศึกษาองค์ประกอบและกระบวนการผลิตน้ำมันมินต์โดยใช้เครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานบุผนังเตาฉนวนด้วยเซรามิกไฟเบอร์

STUDY OF COMPOSITION AND PRODUCTION PROCESS OF MINT ESSENTIAL OIL USING AN ENERGY-SAVING ELECTRIC DISTILLER WITH CERAMIC FIBER INSULATION FURNACE WALLS

สุพัตรา บุตรเสรีชัย
อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000, pla.supattra.cpru@gmail.com

Supattra Budsaereechai
Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Arts and Science,
Chaiyaphum Rajabhat University, 167 Nafai Subdistrict, Mueang District, Chaiyaphum,
36000, Thailand, pla.supattra.cpru@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเขียนแบบ และสร้างเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงาน ด้วยผนังเตาหุ้มฉนวนเซรามิกไฟเบอร์ โดยใช้ขดลวดไฟฟ้าขนาด 1,800 วัตต์ ให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า ซึ่งผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้ม เพื่อทำการกลั่นน้ำด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ 2) ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้มในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากมินต์ ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ 3) วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปมินต์ด้วยเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงาน พบว่า ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้ม เพื่อทำการกลั่นน้ำและกลั่นใบมินต์ ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ ใช้เวลาในการกลั่นใกล้เคียงกัน ค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับการใช้เครื่องต้นแบบงานวิจัยที่ใช้ไปเพียง 11.67 ถึง 37.82 บาท ซึ่งมีต้นทุนค่าใช้จ่ายของค่าพลังงานน้อยกว่าการกลั่นให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม LPG ถึง 4 เท่า และในส่วนของการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากใบมินต์ด้วยเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้มนั้นมีค่าใกล้เคียง

กัน โดยความหนาแน่นน้ำมันที่ได้ในกระบวนการผลิตเครื่องต้นแบบจากงานวิจัยนี้กับเตาแก๊สหุงต้ม LPG ก็มีค่าใกล้เคียงกัน โดยความหนาแน่นของน้ำมันมินต์ที่ได้เฉลี่ย คือ 0.902 กรัมต่อมิลลิลิตร แต่ค่าพลังงานไฟฟ้าหรือค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการกลั่นด้วยเครื่องต้นแบบเกิดต้นทุนที่ต่ำกว่าเตาที่ให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้มถึง 4 เท่า แต่น้ำมันมินต์ที่ได้มีคุณสมบัติคล้ายกัน ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีที่มีความเหมือนกันมากที่สุด 5 อันดับของน้ำมันมินต์ คือ Water, L-menthone, Methyl acetate, Menthol และ Alpha-pinene เหมือนกัน และมี %Match ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นกระบวนการผลิตน้ำมันมินต์ด้วยเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ มีความเหมาะสมที่นำมาเป็นเครื่องมือในการผลิตน้ำมันมินต์หรือกลั่นสารอื่นที่ต้องการ เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการเลือกใช้เครื่องมือที่ลดการใช้พลังงานได้ดี
คำสำคัญ: น้ำมันมินต์, เครื่องกลั่น, ฉนวนกันความร้อน, เซรามิกไฟเบอร์, การกลั่นด้วยไอน้ำ

ABSTRACT

This research aims to design and construct an energy-saving electric distiller with a ceramic fiber insulated furnace wall using 1,800-watt electric coil and an electrical heating system. The research results are divided into 2 parts: 1) The results of an energy-saving electric distiller covered with ceramic fiber insulation compared to heating with a cooking gas stove to distill water using the steam distillation method. 2) The results of an energy-saving electric distiller covered with ceramic fiber insulation compared to heating with a cooking gas stove to distill mint essential oil using the steam distillation method. 3) Analysis of various properties of products obtained from mint processing using an energy-saving electric distiller found that the results of an energy-saving electric distiller covered with ceramic fiber insulation compared to heating with a cooking gas stove to distill water and mint leaves using the steam distillation method took similar distillation times. The electricity cost for using the research prototype is only 11.67 to 37.82 baht, which has a lower energy cost than distillation by heating with LPG cooking gas by 4 times, and in the distillation of essential oil from mint leaves with an energy-saving electric distiller covered with ceramic fiber insulation, compared to heating with cooking gas the values are similar. The density of the oil obtained in the production process of the prototype from this research and the LPG cooking gas stove are also close to each other. The average density of mint oil obtained is 0.902 grams per milliliter, but the cost of electricity or fuel used in distillation by the prototype is 4 times lower than the stove that heats with cooking gas, but the mint oil obtained has similar properties. The top

5 chemical components of mint oil are Water, L-menthone, Methyl acetate, Menthol and Alpha-pinene, and have a similar %Match. Therefore, the mint oil production process with an energy-saving electric distillation machine covered with ceramic fiber insulation is suitable to be used as a tool for producing mint oil or distilling other desired substances as an alternative in selecting tools that reduce energy consumption.

KEYWORDS: mint essential oil, distiller, insulation, ceramic fiber, steam distillation

1. บทนำ

ปัจจุบันคนไทยนิยมใช้สมุนไพรเพิ่มขึ้น รวมทั้งรัฐบาลให้ความสำคัญกับสมุนไพรไทยโดยสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์จากสมุนไพร เช่น ผลิตภัณฑ์ยา อาหารเสริม และผลิตภัณฑ์สุขภาพ ให้มีมาตรฐาน มีคุณภาพ สร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ และสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยพืชสมุนไพรที่ชุมชนรู้จักสรรพคุณและนำมาใช้ประโยชน์มีประมาณ 1,800 ชนิดและมี 300 ชนิด ที่เป็นวัตถุดิบสมุนไพรสามารถนำมาพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรจำหน่ายในท้องตลาดได้ อาทิ ขมินต์ชัน ฟ้าทะลายโจร ไพล และกระชายดำ เป็นต้น ให้มีคุณภาพระดับสากล โดยมีเป้าหมายให้ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากสมุนไพรและน้ำมันหอมระเหย มีมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล เพื่อตอบสนองนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรให้มีคุณภาพ สมุนไพรถูกใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเครื่องสำอางอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มอุตสาหกรรมยาสมุนไพร และผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ล้วนส่งผลให้ตลาดสมุนไพรเป็นตลาดที่มีการเติบโตสูงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการแปรรูปสมุนไพรสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร และสร้างรายได้ให้กับผู้ผลิตและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเป็นอย่างมาก

ผู้วิจัยลงพื้นที่สำรวจ พบว่า ปัจจุบันวิสาหกิจชุมชน กลุ่มสมุนไพรเพื่อสุขภาพบ้านท่าทางเกวียน ของตำบลท่ามะไฟหวาน อ.แก้งคร้อ จ. ชัยภูมิ ได้ทำการปลูกพืชทางการเกษตร และสมุนไพรอื่นๆ มากมาย ได้แก่ มินต์ ไพรสด หญ้าหวาน เขยตายแม่ยายปลูก บัวบกโขด บอระเพ็ด ขมิ้นชัน ว่านไพร กระชายดำ ผักคาดหัวแหวน กระดุมทอง และไมยราพ เป็นต้น โดยที่มินต์นั้นชุมชนสามารถปลูกได้มากในพื้นที่ ดินเหมาะแก่การปลูก และปลูกได้ง่ายจากการปักชำราก ดูแลรักษาง่าย ไม่ต้องดูแลมากนัก ชอบแดด ทนแล้ง ทำให้เติบโต และแพร่พันธุ์ได้ง่าย สรรพคุณของมินต์นั้นเป็นสมุนไพรที่เมื่อสูดดมกลิ่นน้ำมันมินต์เข้าไปแล้ว พบเกิดการเปลี่ยนแปลงของความดันโลหิต และอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น มีผลต่อร่างกาย อารมณ์ จิตใจ โดยอาจส่งผลกระตุ้นต่อระบบประสาททำให้รู้สึกตื่นตัว เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน[1] รวมทั้งสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราได้ [2-6] แต่ข้อจำกัดของมินต์ คือ เมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยว พบว่า ชุมชนไม่สามารถ

เก็บมินต์ไว้ได้นานได้ ทำให้มินต์ที่เก็บมาได้เกิดความเสียหาย หมดกลิ่นหอมก่อนจัดจำหน่าย หรือส่งขายได้ราคาต่ำมาก จึงจำเป็นต้องหาวิธีการแปรรูปให้ทันเวลา กลุ่มวิสาหกิจฯ จึงได้นำมินต์มาแปรรูปเบื้องต้นด้วยเทคนิคตามภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยได้ทำการกลั่นน้ำมันหอมระเหยเพื่อแปรรูปขาย เพื่อลดปัญหาการจัดเก็บเพิ่มการถนอมอาหารให้นานขึ้น จากการที่ผู้วิจัยเข้าสำรวจพบปัญหาในด้านการขาดเทคโนโลยีที่ถูกต้อง ปลอดภัย และได้มาตรฐาน เนื่องจากกลุ่มวิสาหกิจฯ ยังใช้เตาถ่านตามภูมิปัญญาพื้นบ้านเพื่อให้ความร้อนในการกลั่น ส่งผลให้ยากต่อการควบคุมอุณหภูมิได้สภาวะที่ไม่เหมาะสม ขาดอุปกรณ์การกลั่นที่ปลอดภัยและทันสมัย รวมทั้งกลุ่มวิสาหกิจฯ ยังต้องคอยเติมถ่านให้ความร้อน และคอยเปลี่ยนน้ำเพื่อให้ไอน้ำของพืชกลั่นตัวเป็นของเหลวได้อย่างเหมาะสมอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้ไม่สะดวก และเสียเวลาต่อการผลิตเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกลั่นไฟฟ้าแบบประหยัดพลังงานขึ้น ซึ่งเดิมทีมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการพัฒนาปรับปรุง และการออกแบบเครื่องกลั่นที่หลากหลาย [7–8] แต่งานวิจัยนี้เน้นเครื่องต้นแบบที่มีวัสดุอุปกรณ์หาง่ายและราคาถูก มีขนาดกะทัดรัด เคลื่อนย้ายง่าย ซึ่งหม้อกลั่นนี้เป็นระบบแบบแยกส่วน กับเตาบุผนังกันความร้อนแบบประหยัดพลังงาน ทำให้ยกถอดล้างทำความสะอาดได้ง่าย สามารถใช้ไฟฟ้าขดลวดขนาดเพียง 1800 วัตต์เป็นแหล่งพลังงานในการทำความร้อนได้ โดยที่เตาบุผนังฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์นี้ทำให้ประหยัดพลังงาน ข้อดีที่โดดเด่นกว่าวัสดุฉนวนกันร้อนอื่น คือ สามารถป้องกันความร้อนได้ถึง 1,200 °C ลดการสูญเสียความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ดี มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นจึงถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย [9-11] และสามารถควบคู่กับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้ในอนาคต ควบคุมความร้อน และตั้งเวลาในการปิดได้ วิธีการใช้งานง่าย ชุมชนสามารถสร้างและดูแลรักษาซ่อมบำรุงได้เอง เพื่อการพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน รวมทั้งพัฒนาแปรรูปเป็นเมนูอาหารเพื่อสุขภาพอื่นๆ เพื่อเพิ่มรายได้และสนับสนุนการท่องเที่ยวหมู่บ้านเชิงสุขภาพ ส่งผลให้กลุ่มวิสาหกิจฯสามารถพึ่งตนเอง และพัฒนาชุมชนได้อย่างยั่งยืนต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา เขียนแบบ ปรับปรุง และสร้างเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานด้วยการบุผนังเตาหุ้มฉนวนเซรามิกไฟเบอร์ โดยใช้ขดลวดไฟฟ้าขนาด 1,800 วัตต์ ในการให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า ซึ่งผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ศึกษาผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้ม เพื่อทำการกลั่นน้ำ ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ 2) ศึกษาผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้มในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากมินต์ ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ 3) วิเคราะห์

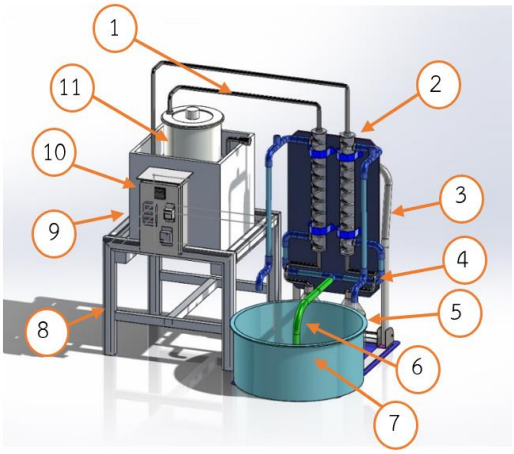
คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปมินต์ด้วยเครื่องกลั่นประหยัดพลังงาน ซึ่งมีรายละเอียดของการเขียนแบบเครื่อง การเตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

2.1 การเขียนแบบและออกแบบเครื่องกลั่นไฟฟ้าเพื่อสกัดน้ำมันมินต์

ดำเนินการเขียนแบบ ปรับปรุง และสร้างเครื่องกลั่นไฟฟ้าแบบ 2 ชั้น โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS ซึ่งหม้อกลั่นนี้เป็นระบบแบบแยกส่วน กับเตาบุผนังกันความร้อนแบบประหยัดพลังงาน ทำให้ยกถอดล้างทำความสะอาดได้ง่าย ดังรูปที่ 1 เมื่อหมายเลข 1 คือ ท่อเกลียวสแตนเลสขนาดครึ่งนิ้ว สามารถดัดโค้งงอได้ เพื่อเป็นท่อให้ไอร้อนจากหม้อต้มผ่านไปยังเครื่องควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ หมายเลข 2 คือท่ออะคริลิคใส ขนาด 2 นิ้ว จำนวน 2 ชุด ภายในท่อจะมีท่อสแตนเลสคดเกลียวอยู่ และใช้ปั๊มน้ำเพื่อให้น้ำไหลผ่านเข้าออกสำหรับการหมุนเวียนน้ำในระบบชุดควบแน่น หมายเลข 3 คือ รถเข็นของ 4 ล้อ สำหรับวางเครื่องและถังรองรับน้ำป้อนเข้าเครื่องชุดควบแน่น หมายเลข 4 คือ ท่อน้ำขาออกจากระบบหมุนเวียนน้ำภายในชุดควบแน่น หมายเลข 5 คือ ขวดแก้วเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ หมายเลข 6 คือ ท่อน้ำขาเข้าระบบหมุนเวียนน้ำภายในชุดควบแน่น หมายเลข 7 คือ ถังรองรับน้ำสำหรับระบบชุดควบแน่น หมายเลข 8 คือ โครงสร้างขาตั้งเครื่องกลั่น หมายเลข 9 คือ กล่องเตาให้ความร้อนขนาดสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยผนังเตาบุฉนวนกันความร้อน ชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เพื่อกักเก็บความร้อนลดการสูญเสียพลังงานจากการถ่ายเทความร้อนออกนอกเตาทั้ง 4 ด้าน หมายเลข 10 คือ กล่องควบคุมวงจรไฟฟ้าของเครื่องกลั่น หมายเลข 11 คือ หม้อต้มสแตนเลสแบบ 2 ชั้น มีขนาด 10 และ 50 ลิตร สำหรับหลักการทำงานของวงจรไฟฟ้าของชุดเครื่องกลั่นไฟฟ้า ดังรูปที่ 2 หมายเลข 1 คือ ชุดควบคุมเวลา Timer Switch KG316T-II หมายเลข 2 คือ เทอร์โมคัปเปิล Type K หมายเลข 3 คือ ชุดควบคุมอุณหภูมิ Digital LCD PID REX-C100 หมายเลข 4 คือ Solid State รีเลย์ SSR 40A DC AC หมายเลข 5 คือ เทอร์มินอลกราวด์ หมายเลข 6 คือ เต้าเสียบสามขา หมายเลข 7 คือ ขดลวด ให้ความร้อนไม่เกิน 1800 W 220 V เส้นผ่านศูนย์กลาง 19.5 ซม. ลวดหนา 0.7เซนติเมตรหมายเลข 8 คือ มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าด้วยระบบดิจิตอล หมายเลข 9 คือ RCBO เบรกเกอร์กันดูด หมายเลข 9 คือ ปลั๊กเสียบไฟ หมายเลข 10 คือ ปั๊มน้ำ

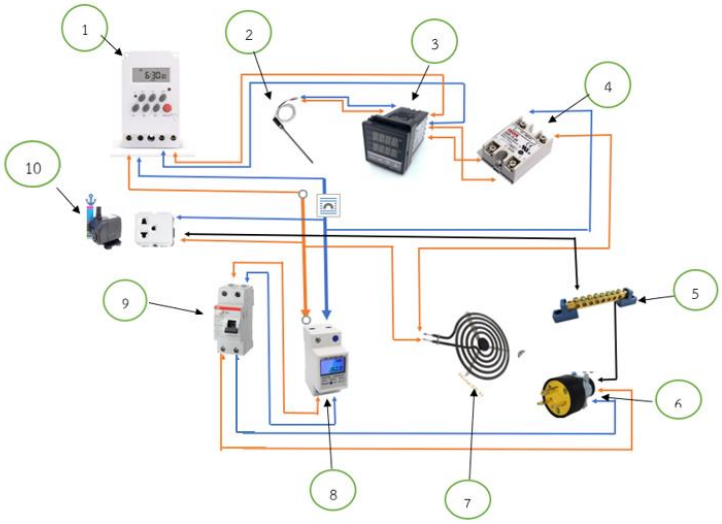
เครื่องกลั่นนี้ ใช้ภาชนะหม้อกลั่นต้มแบบ 2 ชั้น มีคุณภาพปลอดภัยไร้สารเคมี หม้อสแตนเลสชนิด 304 สามารถเลือกภาชนะกลั่นได้ 3 แบบขนาดไม่เกิน 10 ลิตร หรือ 40 ลิตร แบบชั้นเดียว หรือ 50 ลิตรแบบ 2 ชั้นได้ เลือกกลั่นพืชและสมุนไพรต่าง ๆ หลากหลายชนิด หรือ 2 สูตรพร้อมกันได้ สามารถมองเห็นลักษณะภายในหม้อต้มได้ชัดเจน เนื่องจากหม้อต้มและฝาปิดชั้นบนทำจากแก้วใสทนความร้อน สำหรับลักษณะเตาภายนอกมีขนาดเป็นทรงสี่เหลี่ยมกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 55 เซนติเมตร สูง 35 เซนติเมตร ทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตรเปลือกหุ้มชั้นที่ 2 หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน ชนิดเซรามิไฟเบอร์หนา 1 นิ้ว เพื่อกักเก็บความร้อนทำให้ประหยัดพลังงาน ส่วน

ชั้นที่ 3 ชั้นในสุดหุ้มด้วยแผ่นสังกะสี เพื่อถ่ายเทความร้อนภายในระบบความร้อนได้อย่างทั่วถึง รวมทั้งสามารถตั้งเวลาเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องได้ ปลอดภัยต่อผู้ใช้งานโดยมีเทอร์มินอลกราวด์ และระบบตัดไฟ RCBO อัตโนมัติเพื่อป้องกันไฟดูดไฟรั่ว โครงเตาทำด้วยเหล็กหนา ขาตั้งมีล้อล็อคสะดวกต่อการใช้งาน และการเคลื่อนย้ายได้ เครื่องกลั่นใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน โดยต่อไปยังขดลวดความร้อนขนาด 1.8 KW ให้ความร้อนจากก้นหม้อ ความร้อนนั้นจะแผ่ไปยังหม้อสแตนเลสชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เพื่อใช้ในการต้มน้ำ ไอน้ำก็จะนำพาน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในมินต์ออกมาผ่านท่อเกลียวสแตนเลสที่หล่อเลี้ยงด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการลดอุณหภูมิและควบแน่นกลายเป็นของเหลว หลังจากนั้นของเหลวจากการควบแน่นที่ได้ก็จะไหลผ่านท่อควบแน่นเข้าสู่ขวดแก้วบรรจุผลิตภัณฑ์ ซึ่งเครื่องกลั่นสามารถความคุณอุณหภูมิในการกลั่นได้โดยใช้ Temp Control PID REX-C100 ตั้งเวลาเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องได้โดยใช้ Timer Switch KG316T-II มีเทอร์มินอลกราวด์ และเบรกเกอร์ RCBO ป้องกันไฟรั่วหรือระบบไฟที่ทำงานผิดปกติ ดังรูปที่ 2 สำหรับระบบน้ำเข้า-ออกจากกระบวนการกลั่นจะใช้ปั๊มน้ำ Sonic AP1600 และมีระบบวาล์วเปิด-ปิดเพื่อปรับระดับความดันน้ำ ซึ่งหม้อกลั่นนี้เป็นระบบแบบแยกส่วนกับเตาบุผนังกันความร้อนแบบประหยัดพลังงาน ทำให้ยกถอดล้างทำความสะอาดได้ง่าย



หมายเลข 1 คือ ท่อเกลียวสแตนเลสขนาดครึ่งนิ้ว หมายเลข 2 คือ ท่ออะคริลิคใส ขนาด 2 นิ้ว
หมายเลข 3 คือ รถเข็นของ 4 ล้อ หมายเลข 4 คือ ท่อน้ำทางออก
หมายเลข 5 คือ ขวดแก้วเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ หมายเลข 6 คือ ท่อน้ำทางเข้า
หมายเลข 7 คือ ถังรองรับน้ำระบบควบแน่น หมายเลข 8 คือ โครงสร้างขาตั้งเครื่องกลั่น
หมายเลข 9 คือ เตาให้ความร้อนบุผนังด้วยฉนวนกันความร้อน ชนิดเซรามิกไฟเบอร์
หมายเลข 10 คือ กล่องควบคุมวงจรไฟฟ้า หมายเลข 11 คือ หม้อต้มสแตนเลส

รูปที่ 1 แบบเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงาน



หมายเลข 1 คือ Timer Switch KG316T-II
หมายเลข 2 คือ เทอร์โมคัปเปิล Type K
หมายเลข 3 คือ Temp Control PID REX-C100
หมายเลข 4 คือ Solid State SSR40A DC AC
หมายเลข 5 คือ เทอร์มินอลกราวด์
หมายเลข 6 คือ เต้าเสียบสามขา
หมายเลข 7 คือ ขดลวด ให้ความร้อน
หมายเลข 8 คือ มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า
หมายเลข 9 คือ เบรกเกอร์ RCBO
หมายเลข 10 คือ ปั๊มน้ำ Sonic AP1600

รูปที่ 2 ระบบการต่อวงจรไฟฟ้าของเครื่องกลั่นไฟฟ้า

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

นำต้นมินต์ที่พร้อมเก็บเกี่ยวจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มสมุนไพรเพื่อสุขภาพบ้านท่าทางเกวียน ต. ท่ามะไฟหวาน อ.แก้งคร้อ จ. ชัยภูมิ เด็ดส่วนใบมินต์ไปล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง ชั่งน้ำหนักตามปริมาณที่ต้องการใช้ ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ตัวอย่างใบมินต์

2.3 วิธีการศึกษาคุณสมบัติของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้มแบบไม่มีการบุผนังเตาด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เพื่อทำการกลั่นน้ำด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ

2.3.1 ทำการเติมน้ำจำนวน 1 ลิตร ลงไปในหม้อต้ม ของเคลื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานและเตาบุผนังด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ ดังรูปที่ 1 แล้ว ปิดฝาให้สนิท

2.3.2 ติดตั้งอุปกรณ์ และตรวจสอบความเรียบร้อยของข้อต่อท่อ จุดต่อของเครื่อง และระบบไฟฟ้าดังรูปที่ 2 ให้พร้อมใช้งาน ไม่มีจุดรั่ว

2.3.3 ทำการเปิดเครื่องชุดให้ความร้อน เสียบปลั๊กไฟฟ้าของเตาตั้งค่าอุณหภูมิที่เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ไปที่ 105 °C และทำการเสียบปลั๊กเปิดระบบปั๊มน้ำของชุดควบแน่น เพื่อให้น้ำหล่อเย็นไหลเข้าส่วนของชุดเครื่องควบแน่น

2.3.4 สังเกต และบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของ เวลา และปริมาตรของน้ำที่ได้จากการกลั่น

2.3.5 ทำการปิดเตา หลังจากพบว่าไม่มีน้ำไหลออกมาในภาชนะรองรับบรรจุผลิตภัณฑ์

2.3.6 ทำการทดลองซ้ำลำดับที่ 1–5 โดยเติมน้ำจำนวน 3 5 และ 7 ลิตร ตามลำดับ

2.3.7 ทำการทดลองซ้ำลำดับที่ 1–6 โดยใช้เตาแก๊สหุงต้มในการให้ความร้อนแบบไม่มีการบุผนังเตาด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์แทน

2.3.8 ทำการวิเคราะห์ผลของเวลา ปริมาตร และร้อยละผลได้ของน้ำที่ได้จากการกลั่น

2.4 วิธีการศึกษาคุณสมบัติของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้มในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากมินต์

2.4.1 นำใบมินต์ที่เตรียมไว้ 500 กรัม บรรจุลงในตะแกรงภายในหมอกลั่น และเติมน้ำจำนวน 1 ลิตร ลงไปในหม้อต้ม ของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงาน แบบเตาบุผนังด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ ดังรูปที่ 1 แล้ว ปิดฝาให้สนิท

2.4.2 ติดตั้งอุปกรณ์ และตรวจสอบความเรียบร้อยของข้อต่อท่อ จุดต่อของเครื่อง และระบบไฟฟ้าดังรูปที่ 2 ให้พร้อมใช้งาน ไม่มีจุดรั่ว หรือเสียหาย

2.4.3 ทำการเปิดเครื่องชุดให้ความร้อน เสียบปลั๊กไฟฟ้าของเตาตั้งค่าอุณหภูมิที่เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ไปที่ 105 °C และทำการเสียบปลั๊กเปิดระบบปั๊มน้ำของชุดควบแน่น เพื่อให้น้ำหล่อเย็นไหลเข้าส่วนของชุดเครื่องควบแน่น

2.4.4 สังเกต และบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของ เวลา และปริมาตรของน้ำที่ได้จากการกลั่น

2.4.5 ทำการปิดเตา หลังจากพบว่าไม่มีน้ำไหลออกมาจากภาชนะรองรับบรรจุผลิตภัณฑ์

2.4.6 ทำการทดลองซ้ำลำดับที่ 1–5 โดยใช้ใบมินต์ที่ปริมาณ 750 และ 1,000 กรัม ตามลำดับ

2.4.7 ทำการทดลองซ้ำลำดับที่ 1–5 โดยใช้เตาแก๊สหุงต้มในการให้ความร้อนแบบไม่มีการบุผนังเตาด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์

2.4.8 ทำการวิเคราะห์ผลของคุณสมบัติความหนาแน่น เวลา ปริมาตร และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่น

2.5 วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จาการแปรรูปมินต์ด้วยเครื่องกลั่นประหยัดพลังงาน

2.5.1 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Density) ทำได้โดยการนำไปชั่งน้ำหนักเป็นกรัมต่อหน่วยปริมาตรมิลลิลิตร โดยการเติมผลิตภัณฑ์ลงในขวดวัดความหนาแน่นขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส [9]

2.5.2 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยทดสอบปริมาณสารสำคัญและหมู่ฟังก์ชันในน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นด้วยแสงอินฟาเรด FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY (FTIR) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

3. ผลการศึกษา

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้ม เพื่อทำการกลั่นน้ำ ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ 2) ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้มในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากมินต์ ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ 3) วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปมินต์ด้วยเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้ม เพื่อทำการกลั่นน้ำ ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ

จากตารางที่ 1 ผลของการกลั่นน้ำด้วยเครื่องต้นแบบงานวิจัยนี้ พบว่าการทดลองการกลั่นน้ำที่ปริมาตรน้ำ 1, 3, 5 และ 7 ลิตร ปริมาณการกลั่นที่ได้คิดเป็นร้อยละการกลั่นน้ำที่ได้คือ 93, 90, 88.6 และ 87.2 ซึ่งร้อยละการกลั่นน้ำเฉลี่ยที่ได้สูงสุด คือ ร้อยละ 93 ซึ่งมีค่าสูงกว่าการกลั่นให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้ม ซึ่งคิดเป็นร้อยละการกลั่นน้ำที่ได้คือ 89, 86, 84 และ 82 แต่ใช้เวลาใน

การกลั่นน้อยกว่าการกลั่นด้วยเครื่องต้นแบบ โดยที่ปริมาตรน้ำที่ใช้ในการกลั่นมากขึ้น ร้อยละการกลั่นน้ำที่ได้ลดลง และเมื่อคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการกลั่นน้ำ 1, 3, 5 และ 7 ลิตร ซึ่งมีระยะเวลาในการกลั่นคือ 0.77, 2.43, 3.88 และ 5.20 ชั่วโมง นั้น พบว่า การกลั่นให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า ที่ขดลวดไฟฟ้าให้ความร้อนขนาด 1860 วัตต์ สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า คือ 1.43, 4.52, 7.21 และ 9.7 หน่วย คิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ไปเพียง 11.67, 20.39, 29.10, และ 37.82 บาท ตามลำดับ อ้างอิงประมาณการค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [9] ซึ่งพบว่ามีต้นทุนค่าใช้จ่ายของค่าพลังงานน้อยกว่าการกลั่นให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม LPG ถึง 4 เท่า โดยอ้างอิงราคาก๊าซ LPG บรรจุถัง (ก๊าซหุงต้ม) ขนาด 15 กิโลกรัม ราคา 423 บาท อ้างอิงราคาแก๊สหุงต้ม LPG จากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน [10]

ตารางที่ 1 ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้ม เพื่อทำการกลั่นน้ำ ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ

ชนิดเตาให้ความร้อน	ปริมาตรของน้ำที่ใช้ในการกลั่น (ลิตร)	เวลาที่เริ่มควบแน่นเป็นของเหลว (นาที)	ปริมาตรของน้ำที่กลั่นได้ (ลิตร)	ร้อยละการกลั่นน้ำที่ได้	เวลาที่ใช้ในการกลั่น (ชั่วโมง)	ค่าพลังงานไฟฟ้า/ ค่าเชื้อเพลิง LPG (บาท)
เครื่องต้นแบบจากงานวิจัยนี้	1	8.58	0.930	93.00	0.77	11.67
	3	22.25	2.690	90.00	2.43	20.39
	5	29.36	4.430	88.60	3.88	29.10
	7	37.29	6.110	87.20	5.20	37.82
เตาแก๊สหุงต้ม LPG	1	9.25	0.890	89.00	0.65	18.33
	3	23.15	2.580	86.00	2.25	63.45
	5	30.45	4.200	84.00	3.67	103.50
	7	38.10	5.740	82.00	5.05	142.41

3.2 ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้มในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากมินต์ ที่ปริมาตรน้ำเริ่มต้น 1 ลิตร

จากตารางที่ 2 ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้มในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากมินต์ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ พบว่า น้ำมันมินต์ที่ได้มีสีใส ซึ่งปริมาตรที่กลั่นได้จากใบมินต์ที่ใช้ในการกลั่น 500, 750 และ1,000 กรัม ต่อน้ำ 1 กิโลกรัม ของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้มมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.85, 0.80 และ 0.61 กิโลกรัมโดยประมาณ ตามลำดับ โดยเมื่อใช้ใบมินต์มากขึ้นทำให้ปริมาณที่กลั่นได้ลดลง และความหนาแน่นน้ำมันที่ได้ในกระบวนการผลิตเครื่องต้นแบบจากงานวิจัยนี้กับเตาแก๊สหุงต้ม LPG มีค่าใกล้เคียงกัน โดยความหนาแน่นของน้ำมันมินต์ที่ได้เฉลี่ย คือ 0.902 กรัมต่อมิลลิลิตร แต่ค่าพลังงานไฟฟ้าหรือค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการกลั่นด้วยเครื่องต้นแบบมีค่าต้นทุนต่ำกว่ากว่าเตาที่ให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้มถึง 4.5 เท่า เนื่องจากขดลวดไฟฟ้าให้ความร้อนมีขนาดเพียง 1860 วัตต์ และเตาบุฉนวนกันความร้อนด้วยเซรามิกไฟเบอร์สามารถกักเก็บความร้อน ลดการสูญเสียความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ดี [11-14]

ตารางที่ 2 ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้มในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากมินต์ ที่ปริมาตรน้ำเริ่มต้น 1 ลิตร

ชนิดเตาให้ความร้อน	ปริมาณใบมินต์ที่ใช้ในการกลั่นต่อน้ำ 1 กิโลกรัม (กรัม)	ปริมาตรที่กลั่นได้ (กิโลกรัม)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	เวลาที่ใช้ในการกลั่น (ชั่วโมง)	ค่าพลังงานไฟฟ้า/ ค่าเชื้อเพลิง LPG (บาท)
เครื่องต้นแบบจากงานวิจัยนี้	500	0.85	0.905	1.31	7.91
	750	0.80	0.901	1.57	9.5
	1,000	0.61	0.901	1.85	11.2
เตาแก๊สหุงต้ม LPG	500	0.85	0.903	1.35	38.1
	750	0.80	0.902	1.60	45.1
	1,000	0.60	0.901	1.87	51.9

3.3 ปริมาณสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยมินต์ที่ได้จากการแปรรูปมินต์ด้วยเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงาน กับเตาให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม LPG

จากตารางที่ 3 เมื่อนำน้ำมันมินต์ที่ได้ มาทดสอบปริมาณสารสำคัญและหมู่ฟังก์ชันในน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นด้วยแสงอินฟาเรด FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY (FTIR) พบว่า เมื่อนำชนิดของตัวอย่างที่ได้จากการกลั่นด้วยเครื่องต้นแบบกับเตาแก๊สหุงต้ม LPG ไปทดสอบสารประกอบที่มีความเหมือนกันกับเครื่อง FTIR พบว่า ตัวอย่างที่ได้มีคุณสมบัติคล้ายกัน ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีที่มีความเหมือนกันมากที่สุด 5 อันดับ คือ Water, L-menthone, Methyl acetate, Menthol และ Alpha-pinene เหมือนกัน และมี %Match ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่ง%Match องค์ประกอบเคมีของ L-menthone ด้วยการกลั่นมินต์ต่อน้ำชนิด 1 ต่อ 1 มี %Match มากที่สุด รองลงมาคือชนิด 1 ต่อ 0.75 และ ชนิด 1 ต่อ 0.5 โดยใช้เครื่องต้นแบบจากงานวิจัยนี้ คือ 54.71, 51.25 และ 49.37 %Match ตามลำดับ และทั้งนี้ชื่อสารประกอบ %Match ที่มีความเหมือนกันมากที่สุด 5 ลำดับแรก มีชื่อสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการกลั่นน้ำมันมินต์ [5, 15, 16]

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปมินต์ด้วยเครื่องกลั่นประหยัดพลังงาน ได้แก่ ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Density) และปริมาณสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยมินต์ที่ได้

ส่วนผสมในการกลั่นน้ำมันมินต์	ชนิดเตาให้ความร้อน	สารที่ได้จากการกลั่น	
		%Match	ชื่อสารประกอบที่มีความเหมือนกันกับตัวอย่างมากที่สุด 5 ลำดับแรก
น้ำ 1.0 kg + ใบมินต์ 0.5kg	เครื่องต้นแบบจากงานวิจัยนี้	55.00	1. Water
		49.37	2. L-menthone
		13.35	3. Methyl acetate
		5.61	4. Menthol
		2.55	5. Alpha-pinene
	เตาแก๊สหุงต้ม LPG	55.10	1. Water
		49.97	2. L-menthone
		13.85	3. Methyl acetate
		5.24	4. Menthol
		2.15	5. Alpha-pinene

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปมินต์ด้วยเครื่องกลั่นประหยัดพลังงาน ได้แก่ ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Density) และปริมาณสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยมินต์ที่ได้ (ต่อ)

ส่วนผสมในการกลั่นน้ำมันมินต์	ชนิดเตาให้ความร้อน	สารที่ได้จากการกลั่น	
		%Match	ชื่อสารประกอบที่มีความเหมือนกันกับตัวอย่างมากที่สุด 5 ลำดับแรก
น้ำ 1.0 kg + ใบมินต์ 0.75 kg	เครื่องต้นแบบจากงานวิจัยนี้	50.00	1. Water
		51.25	2. L-menthone
		15.65	3. Methyl acetate
		6.32	4. Menthol
		4.15	5. Alpha-pinene
	เตาแก๊สหุงต้ม LPG	50.15	1. Water
		51.47	2. L-menthone
		15.38	3. Methyl acetate
		6.65	4. Menthol
		4.55	5. Alpha-pinene
น้ำ 1.0 kg + ใบมินต์ 1.0 kg	เครื่องต้นแบบจากงานวิจัยนี้	48.52	1. Water
		54.71	2. L-menthone
		16.68	3. Methyl acetate
		7.75	4. Menthol
		5.15	5. Alpha-pinene
	เตาแก๊สหุงต้ม LPG	48.91	1. Water
		54.32	2. L-menthone
		16.25	3. Methyl acetate
		7.28	4. Menthol
		5.37	5. Alpha-pinene

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาของงานวิจัยนี้ได้เขียนแบบ ปรับปรุง และสร้างเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานด้วยการบุผนังเตาหุ้มฉนวนด้วยเซรามิกไฟเบอร์ โดยใช้ขดลวดไฟฟ้าขนาด 1,800 วัตต์ ในการให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ผลของเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วย

ฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์เทียบกับการให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้ม เพื่อทำการกลั่นน้ำและกลั่นใบมินต์ ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ ใช้เวลาในการกลั่นใกล้เคียงกัน ร้อยละการกลั่นน้ำที่ได้สูงสุดด้วยเครื่องต้นแบบงานวิจัยนี้ คือ ร้อยละ 93 ซึ่งมีค่าสูงกว่าการกลั่นให้ความร้อนด้วยเตาแก๊สหุงต้ม ซึ่งคิดเป็นร้อยละการกลั่นน้ำที่ได้คือ ร้อยละ 89 ค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับการใช้เครื่องต้นแบบงานวิจัยที่ใช้ไปเพียง 11.67, 20.39, 29.10 และ 37.82 บาท สำหรับกลั่นน้ำ 1, 3, 5, และ 7 ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีต้นทุนค่าใช้จ่ายของค่าพลังงานน้อยกว่า การกลั่นให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม LPG ถึง 4 เท่า และในส่วนของการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากใบมินต์ด้วยเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เทียบกับการให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้มนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.85, 0.80 และ 0.61 กิโลกรัม ที่ใบมินต์ปริมาณ 500, 750 และ 1,000 กรัม ต่อน้ำ 1 กิโลกรัม โดยประมาณ ตามลำดับ โดยความหนาแน่นน้ำมันที่ได้ในกระบวนการผลิตเครื่องต้นแบบจากงานวิจัยนี้กับเตาแก๊สหุงต้ม LPG ก็มีค่าใกล้เคียงกัน โดยความหนาแน่นของน้ำมันมินต์ที่ได้เฉลี่ย คือ 0.902 กรัมต่อมิลลิลิตร แต่ค่าพลังงานไฟฟ้าหรือค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการกลั่นด้วยเครื่องต้นแบบเกิดต้นทุนที่ต่ำกว่ากว่าเตาที่ให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้มถึง 4.5 เท่า แต่น้ำมันมินต์ที่ได้มีคุณสมบัติคล้ายกัน ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีที่มีความเหมือนกันมากที่สุด 5 อันดับของน้ำมันมินต์ คือ Water, L-menthone, Methyl acetate, Menthol และ Alpha-pinene เหมือนกัน และมี %Match ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น กระบวนการผลิตน้ำมันมินต์ด้วยเครื่องกลั่นไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ มีความเหมาะสมที่นำมาเป็นเครื่องมือในการผลิตน้ำมันมินต์ หรือกลั่นสารอื่นที่ต้องการ เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการเลือกใช้เครื่องมือที่ลดการใช้พลังงานได้ดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐานประจำปีงบประมาณ 2566 ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น และสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ

References

[1] Sayowan W, Saetan T, Otbamrung W, Phungphol J. The effects of peppermint oil Inhalation on autonomic nervous system and spatial abilities. Journal of Prapokklao Hospital Clinical Medical Education Center 2018;35(1):8-17. (In Thai)

[2] Jabbar M, Baboo I, Majeed H, Farooq Z, Palangi V. Characterization and antibacterial application of peppermint essential oil nano emulsions in broiler. Poultry Science 2024; 103(12):104432. doi: 10.1016/j.psj.2024.104432.

[3] Zhao H, Ren S, Yang H, Tang S, Guo C, Liu M, et al. Peppermint essential oil: its phytochemistry, biological activity, pharmacological effect and application. Biomedicine & Pharmacotherapy 2022;154:113559. doi: 10.1016/j.biopha.2022.113559.

[4] Pavlic B, Teslic N, Zengin G, Durovic S, Rakic D, Cvetanovic A, et al. Antioxidant and enzyme-inhibitory activity of peppermint extracts and essential oils obtained by conventional and emerging extraction techniques. Food Chemistry 2021;338:127724. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127724.

[5] Mahboubi M, Kazempour N. Chemical composition and antimicrobial activity of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil. Songklanakarin Journal of Science and Technology 2014;36(1):83-7.

[6] Prabuseenivasan S, Jayakumar M, Ignacimuthu S. In vitro antibacterial activity of some plant essential oils. BMC Complementary and Alternative Medicine 2006;6:39. doi: 10.1186/1472-6882-6-39.

[7] Somchaiwong N, Phiboonsin J, Injae T, Chaikam P. Designing and constructing an essential oil distiller with closed-loop control. Journal of Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University 2022;9(1):25-36. (In Thai)

[8] Jaijhan B, Jumpa E, Jansuya P, Senabut J. Developing an herbal essential oil distiller using solar cells and automatic electric control. Journal of Engineering RMUTL Engineering Journal 2016;1(1):16-24. (In Thai)

[9] Provincial Electricity Authority. Electric Monthly Calculation [Internet]. 2025 [cited 2025 Feb4]. Available from: https://eservice.pea.co.th/EstimateBill/

[10] Energy Policy and Planning office. Ministry of Energy. LPG Price [Internet]. 2025 [cited 2025 Feb4]. Available from: https://www.eppo.go.th/index.php/th/

[11] Budsaereechai S, Sangsida W. Study of fuel oil production process from plastic waste with reactor ceramic fiber insulated and non-insulated. Kasem Bundit Engineering Journal 2023;13(3):33-47. (In Thai)

[12] Li J, Hu X, Jiang J, Guo A, Yan L, Du H, et al. Gradient coating increases the temperature resistance of ceramic fiber fabric. Ceramics International 2024;50(23 Pt A): 49989–97. doi: 10.1016/j.ceramint.2024.09.344.

[13] Jaipradidtham C. Analysis of electric arc furnace effects for power quality of system and increasing energy efficiency to reduce heat loss in the energy balance condition of steelmaking process. The Journal of Industrial Technology 2015;11(1):62-77

[14] Jongmee T. Reuse of disposed natural fibers as heat insulator [thesis]. Pathum Thani, Thailand: Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2010. (In Thai)

[15] Hudz N, Kobylinska L, Pokajewicz K, Sedlackova VH, Fedin R, Voloshyn M, et al. *Mentha piperita*: essential oil and extracts, their biological activities, and perspectives on the development of new medicinal and cosmetic products. Molecules 2023;28:7444. doi: 10.3390/molecules28217444.

[16] Cohen SM, Eisenbrand G, Fukushima S, Gooderham NJ, Guengerich FP, Hecht SS, et al. FEMA GRAS assessment of natural flavor complexes: mint, buchu, dill and caraway derived flavoring ingredients. Food and Chemical Toxicology Journal 2020;135:110870. doi: 10.1016/j.fct.2019.110870.

ประวัติผู้เขียนบทความ

สุพัตรา บุตรเสรีชัย ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000 โทรศัพท์ 08-0929-5499 E-Mail: pla.supattra.cpru@gmail.com

Article History:

Received: November 22, 2024

Revised: April 17, 2025

Accepted: April 18, 2025

การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุโดยการประยุกต์ใช้วิธีการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MULTIFUNCTIONAL TABLE-CHAIR SET FOR THE ELDERLY PEOPLE BY USING QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

ธยา ภิรมย์[1] อภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ[2] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์[3*] ชาตรี หอมเขียว[4] ชัยณรงค์ ศรีวะบุตร[5] และ ชัยวัฒนภัทร เลาสัตย์[6]

[1,2,3*,4,5]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000

[1]thaya.p@rmutsv.ac.th, [2]apichon.tk@rmutsv.ac.th, [3*]surasit.r@rmutsv.ac.th, [4]chatree.h@rmutsv.ac.th, [5]chainarong.s@rmutsv.ac.th

[6]อาจารย์ สาขาการออกแบบ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000, chaiwattanapat@gmail.com

Thaya Pirom[1], Apichon Thongmung Kamnerdwam[2], Surasit Rawangwong[3*], Chatree Homkhiew[4] Chainarong Srivabut[5] and Chaiwattanapat Laosat[6]

[1,2,3*,4,5]Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamankala University of Technology Srivijaya, Ratchadamnoennok Rd. Boyang Sub-district, Muang District, Songkhla 90000, Thailand

[1]thaya.p@rmutsv.ac.th, [2]apichon.tk@rmutsv.ac.th, [3*]surasit.r@rmutsv.ac.th, [4]chatree.h@rmutsv.ac.th, [5]chainarong.s@rmutsv.ac.th

[6]Lecturer, Program in Design, Faculty of Fine Arts, Songkhla Rajabhat University, Khao Rup Chang Sub-district, Muang District, Songkhla 90000, Thailand, chaiwattanapat@gmail.com

** ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding author)*

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของประชากรสูงวัยนำไปสู่ความต้องการผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ที่ตอบสนองต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้

อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) การวิจัยเริ่มต้นด้วยการศึกษาพฤติกรรมการใช้ชีวิตประจำวันของผู้สูงอายุ รวบรวมความคิดเห็นของกลุ่มเป้าหมายผ่านแบบสอบถามเพื่อตรวจสอบระดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้า จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้เมทริกซ์ QFD จำนวน 2 เมทริกซ์ ได้แก่ 1) เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ เพื่อแปลงความต้องการของลูกค้าเป็นข้อกำหนดทางเทคนิค และ 2) เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคและระบุจุดที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติม ผลลัพธ์ของงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาใหม่นี้มีการปรับปรุงด้านรูปแบบ คุณภาพ วัสดุ การใช้งาน และราคาที่เหมาะสม การประเมินต้นแบบผลิตภัณฑ์ในกลุ่มลูกค้า ได้แก่ ผู้ที่ต้องการซื้อผลิตภัณฑ์ ผู้ผลิต และผู้ใช้เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา พบว่าปัจจัยที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงสุด ได้แก่ ความทันสมัยของรูปแบบและโครงสร้าง (ค่าเฉลี่ย 4.59) รองลงมาคือ ฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย (ค่าเฉลี่ย 4.53) ผลการวิจัยยืนยันว่าผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การออกแบบผลิตภัณฑ์, การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ, เมทริกซ์ QFD, เฟอร์นิเจอร์ใหม่

ABSTRACT

The increasing elderly population has led to a growing demand for furniture designed to enhance their quality of life. This research aims to design and develop a multifunctional table and chair set for the elderly by applying the Quality Function Deployment (QFD) technique. The study began with an investigation of the daily activities of the elderly, followed by an analysis of customer preferences regarding multifunctional furniture. A questionnaire was developed to assess the importance of various customer needs, which were then used as input data for QFD analysis. The analysis was conducted using two matrices: (1) a product planning matrix, which translates customer requirements into technical specifications, and (2) a design transformation matrix, which identifies the correlation between design elements and pinpoints weaknesses in sub-assemblies requiring further refinement. The research results show that the newly developed product has improved design, quality, materials, functionality, and cost-effectiveness. A prototype was subsequently evaluated by three groups: (1) potential buyers of multifunctional furniture for the elderly, (2) manufacturers, and (3) rubberwood furniture users. The findings indicate that customers rated modernity of form and structure as the most satisfying factor, with an average satisfaction score of 4.59.

Additionally, functionality and versatility ranked second, receiving an average satisfaction score of 4.53. The research demonstrates that the designed products can effectively meet the needs of their users.

KEYWORDS: Product design, Quality function deployment, QFD matrix, New furniture

1. บทนำ

ปัจจุบันหลาย ๆ ประเทศกำลังเจอปัญหาด้านความเป็นอยู่ทางสังคม เนื่องจากกำลังเผชิญกับสถานการณ์ผู้สูงอายุที่เพิ่มมากขึ้น และแนวโน้มของประชากรวัยเด็กลดลง สำหรับประเทศไทยพบว่ามีประชากรผู้สูงอายุที่มีอัตราเพิ่มขึ้น 3% ต่อปี ในขณะที่ประชากรวัยเด็กมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นประมาณ 0.5% ต่อปี และในปัจจุบันปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged Society) [1] ซึ่งความสำคัญของผู้สูงอายุนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนที่เพิ่มขึ้นอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุอีกด้วย ทั้งนี้เมื่อมีอายุมากขึ้นย่อมมีปัญหาเกี่ยวกับสภาพร่างกายที่เปลี่ยนแปลงในทางที่เสื่อมถอยลง เช่น สุขภาพ จิตใจ และความทรงจำ เป็นต้น การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ที่ผิดปกติ ร่างกายหรืออวัยวะที่ใช้งานมานานอาจเกิดความขัดข้องและเจ็บป่วย และการทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การฟัง การเคลื่อนไหว จะมีการตอบสนองที่ช้าลง ซึ่งจะส่งผลให้พฤติกรรมและวิถีการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมาก [2]

ร่างกายของมนุษย์มีการเปลี่ยนแปลงไปตามวัยและกาลเวลา ทั้งนี้สิ่งอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับผู้สูงอายุก็มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานในทุก ๆ ด้าน เช่น เครื่องออกกำลังกาย อุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนไหว และเฟอร์นิเจอร์ภายในบ้าน โดยข้อจำกัดของเฟอร์นิเจอร์นั้นไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามสภาพของร่างกาย จึงมีผลต่อพฤติกรรมการใช้งานของผู้สูงอายุ ซึ่งถ้าเฟอร์นิเจอร์มีลักษณะการใช้งานที่ไม่เหมาะสมหรือขนาดของเฟอร์นิเจอร์ที่ไม่เป็นไปตามขนาดสัดส่วนของผู้สูงอายุ ก็เป็นสาเหตุหนึ่งของการเจ็บป่วย และส่งผลให้ผู้สูงอายุดำรงชีวิตประจำวันได้ไม่สะดวก [3] จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจในการดำเนินกิจกรรมของผู้สูงอายุหากมีสิ่งอำนวยความสะดวกจำพวกเฟอร์นิเจอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อผู้สูงอายุ โดยนำขนาดสัดส่วนของผู้สูงอายุมาทำการออกแบบเพื่อช่วยในการกำหนดขนาดและสร้างนวัตกรรมชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุรูปแบบใหม่ ก็จะส่งผลให้ผู้สูงอายุมีการเคลื่อนไหวร่างกายที่ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น

จากความสำคัญด้านคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุและปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของร่างกายที่กล่าวไว้เบื้องต้น จะส่งผลให้ในปัจจุบันมีการหาสิ่งอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับผู้สูงอายุมากขึ้น โดยเฉพาะเฟอร์นิเจอร์ที่ออกแบบมาเพื่อผู้สูงอายุเป็นหลัก โดยปัจจุบันโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องเรือนตามคำสั่งซื้อของลูกค้าทั่วไป แต่โรงงานมีความต้องการ

การออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สำหรับผู้สูงอายุเพื่อสนองความต้องการของลูกค้ากลุ่มใหม่ ดังนั้น คณะผู้วิจัยร่วมกับโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา กรณีศึกษา จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ เพื่อให้สามารถใช้งานและเคลื่อนไหวของร่างกายได้สะดวก จากความสนใจของผู้วิจัยที่มองเห็นถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์สำหรับผู้สูงอายุ ส่งผลให้เกิดแนวคิดร่วมกันระหว่าง ผู้วิจัย กลุ่มผู้สูงอายุ ศูนย์บริบาลผู้สูงอายุ จังหวัดสงขลา และโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา กรณีศึกษา ได้ร่วมกันพัฒนาด้วยการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ เพื่อให้ได้ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุรูปแบบใหม่ที่ตรงกับความต้องการของผู้สูงอายุมากที่สุด อีกทั้งอาจจะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับไม้ยางพาราซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบในภาคใต้ของประเทศไทยมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีวิธีการวิจัย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และวิธีการวิจัย

2.1 การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD)

เทคนิค QFD ได้รับการพัฒนาในปี 1966 โดย Yoji Akao ในญี่ปุ่น QFD เป็นวิธีการแปลงความต้องการของลูกค้าในรูปแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือลักษณะทางวิศวกรรมและต่อมาเป็นลักษณะชิ้นส่วน แผนกระบวนการ และข้อกำหนดทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการผลิต [4] การใส่ใจต่อความต้องการของลูกค้าเป็นหลักการสำคัญของ QFD เริ่มตั้งแต่การนำความต้องการและข้อมูลเรียกร้องของลูกค้า (Voice of Customer: VOC) มาประเมินหาแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ QFD เป็นที่รู้จักกันในอีกชื่อว่าบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) [5] เป็นเครื่องมือที่วิศวกรใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ และช่วยให้วิศวกรระบุคุณลักษณะที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาในระหว่างการออกแบบผลิตภัณฑ์ [6] แต่ละเมทริกซ์จะแสดงถึงทุกขั้นตอนของกระบวนการและยังแสดงเฟสต่าง ๆ ของเทคนิค QFD ซึ่งแต่ละเฟสจะแสดงผลของข้อกำหนดสำหรับการออกแบบ ซึ่งได้มาจากข้อมูลเบื้องต้นในแต่ละส่วนและความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดกับข้อมูลในการให้คะแนนความสัมพันธ์แบบเมทริกซ์ หลังจากนั้น นำค่าคะแนนแบบเมทริกซ์ในรูปแบบตัวเลขไปกำหนดความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น เพื่อจัดลำดับความสำคัญของข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ [7] โดยมีรายละเอียดแต่ละส่วนมีดังนี้ เฟสที่ 1 เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) เป็นการแปลงความต้องการของลูกค้าให้เป็นข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements) เฟสที่ 2 เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ (Product Design) เป็นการแปลงผลลัพธ์ของการวางแผนผลิตภัณฑ์เป็นคุณลักษณะของชิ้นส่วนที่สำคัญและสำรวจความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางวิศวกรรมกับลักษณะชิ้นส่วน เฟสที่ 3 การวางแผนกระบวนการ

(Process Planning) เป็นการแยกกระบวนการที่สำคัญออกมา เพื่อที่จะทราบถึงกระบวนการที่มีความสามารถเพียงพอที่จะปฏิบัติการได้นอกจากนี้ ยังต้องการพารามิเตอร์สำคัญต่าง ๆ ด้วย เฟสที่ 4 เมทริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operations Planning) ในขั้นตอนนี้มักจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของการใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ซึ่งอาจจะไม่ได้อะไรในรูปของเมทริกซ์เสมอไปข้อมูลอาจจะมาจากลำดับที่ของพารามิเตอร์และกระบวนการที่ต้องใช้

2.2 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kapuria et al [8] การออกแบบโต๊ะและเก้าอี้ตามหลักสรีรศาสตร์ด้วยเทคนิค QFD และขนาดสัดส่วนร่างกาย สำหรับออกแบบผลิตภัณฑ์โต๊ะและเก้าอี้นักเรียน ผลการวิจัยพบว่าการออกแบบผลิตภัณฑ์โต๊ะและเก้าอี้ที่เหมาะสมจะส่งผลที่ดีในการใช้งานและไม่ส่งผลต่อความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูก Ginting et al [9] ได้ออกแบบนวัตกรรมเครื่องตัดหนังเทียมด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ผลการวิจัยพบว่าเครื่องตัดหนังเทียมแบบใหม่ช่วยลดความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูก โดยเฉพาะบริเวณคอ หลัง และเอว อีกทั้งสามารถเพิ่มคุณภาพและการใช้ประโยชน์สะดวกขึ้น ในขณะที่ Ghani et al [10] ทำการออกแบบเครื่องมือเก็บผลมะม่วงโดยใช้เทคนิค QFD และใช้หลักการยศาสตร์ในส่วนของขนาดสัดส่วนร่างกาย โดยเครื่องมือเก็บผลมะม่วงไม่สามารถปรับระยะการใช้งานได้ จึงมีปัญหาในการใช้งาน เช่น ความสูงของต้นมะม่วงที่ต่างกัน ผลการวิจัยพบว่าทำให้ได้เครื่องมือเก็บผลมะม่วงที่ตรงตามความต้องการผู้ใช้ เช่นเดียวกับ Pirom et al [11] ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค QFD เพื่อการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ในชั้นเรียนระดับอนุบาลจากไม้ยางพารา ผลการวิจัยพบว่าเฟอร์นิเจอร์ในชั้นเรียนระดับอนุบาลให้ตอบสนองต่อกลุ่มผู้ใช้งาน ทั้งรูปร่าง และลักษณะการใช้งานที่ตรงต่อความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน

2.3 วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้เนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ เริ่มเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม จำนวน 3 ชุด โดยงานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลแบบสอบถามในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน 2565 ซึ่งแบบสอบถามแต่ละชุดมีรายละเอียดของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน คือ แบบสอบถามที่ 1 เป็นแบบสอบถามสำรวจเสียงเรียกร้องหรือความต้องการของผู้บริโภค แบบสอบถามที่ 2 เป็นแบบสอบถามสำรวจระดับคะแนนความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในประเด็นต่าง ๆ โดยกลุ่มผู้ประเมินเป็นกลุ่มลูกค้าที่ต้องการซื้อผลิตภัณฑ์สำหรับผู้สูงอายุ กลุ่มผู้สูงอายุ กลุ่มผู้ผลิต และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา และแบบสอบถามที่ 3 เป็นการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive

Sampling) ซึ่งเป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุที่อยู่ในช่วงอายุของการวิจัยคือ เพศชายและหญิงที่มีอายุตั้งแต่ 55 ปี ขึ้นไป ในพื้นที่อำเภอเมืองสงขลา อำเภอหาดใหญ่ และอำเภอใกล้เคียง จังหวัดสงขลา เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นชุมชนเมือง และมีกลุ่มผู้สูงอายุที่มีกำลังซื้อเฟอร์นิเจอร์ผู้สูงอายุ สามารถสรุปวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

2.3.1 การสำรวจความต้องการของลูกค้า

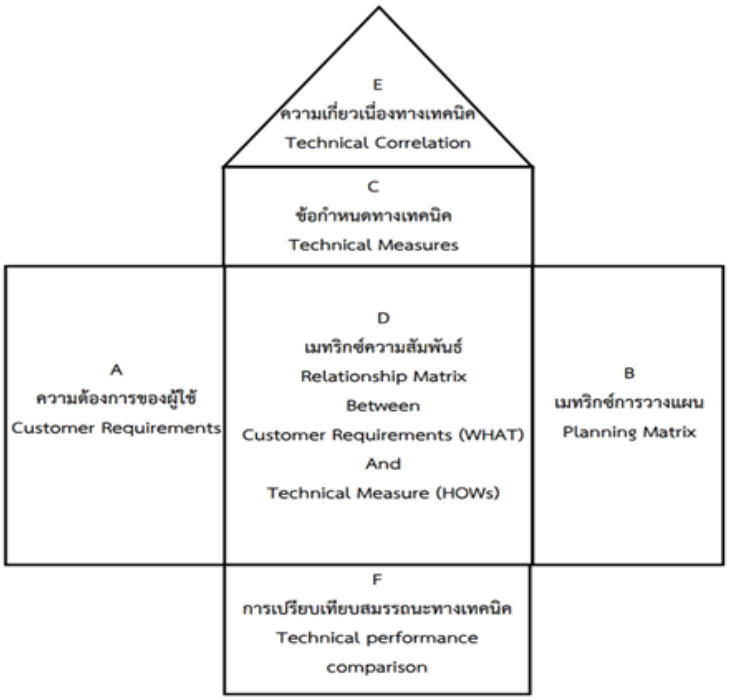
การสำรวจความต้องการของผู้ใช้ ได้ทำการสำรวจจากกลุ่มผู้สูงอายุ กลุ่มลูกค้าที่ต้องการซื้อผลิตภัณฑ์สำหรับผู้สูงอายุ กลุ่มผู้ผลิตและผู้ใช้ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ สำรวจโดยใช้การสัมภาษณ์และแบบสอบถามสำรวจความต้องการของลูกค้า จำนวน 246 ตัวอย่าง จากนั้นนำเสียงของลูกค้ามาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ด้วยเครื่องมือทางคุณภาพ คือแผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) และแผนผังต้นไม้ (Tree Diagrams) ซึ่งเป็นการกลั่นกรองข้อมูลเพื่อแก้ไขความสับสนและทำให้เห็นถึงความต้องการของลูกค้าที่ชัดเจนยิ่งขึ้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปจัดทำแบบสอบถาม เพื่อสำรวจคะแนนความสำคัญในแต่ละความต้องการจากขั้นตอนก่อนหน้า เพื่อเข้าสู่การนำไปประยุกต์ใช้ในเมทริกซ์การวางแผน (Product Planning)

2.3.2 การประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผน (Product Planning)

การประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผน เริ่มต้นจากการนำเสียงของลูกค้า (Voice of Customer; VOC) ซึ่งเป็นตัวแทนของคุณลักษณะทางด้านคุณภาพที่แสดงให้อยู่ในรูปของผลงานที่สามารถวัดค่าได้ เช่น ข้อกำหนดทางเทคนิค และค่าเป้าหมาย อัตราในการปรับปรุงเพื่อนำไปใช้เป็นตัวชี้วัดข้อกำหนดที่นำไปเป็นแนวทางในการออกแบบ จากนั้นคำนวณค่าความสำคัญของตัววัดผลงาน ซึ่งทั้งตัวแทนของคุณลักษณะทางด้านคุณภาพ และค่าความสำคัญของตัววัดผลงาน จะนำไปใช้ต่อไปในเมทริกซ์ที่ 2 ดังนั้นในการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ เป็นการสร้างบ้านคุณภาพ (House of Quality; HOQ) จะมีองค์ประกอบในเมทริกซ์ย่อย 6 ส่วน แสดงดังรูปที่ 1 [12-13]

ส่วน A สร้างความต้องการของลูกค้า โดยการนำความต้องการของลูกค้าที่ได้มาคัดกรองและจัดเรียบเรียงใหม่ ส่วน B สร้างเมทริกซ์การวางแผน ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมและรูปแบบใหม่ เพื่อทำการกำหนดอัตราการปรับปรุงในผลิตภัณฑ์ ส่วน C การกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิค ซึ่งข้อกำหนดที่ต้องการเป็นคำอธิบายทั่วไปของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นตัวแทนคุณลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ (Substitute Quality Characteristics: SQCs) หรือเรียกว่าความต้องการของผลิตภัณฑ์ด้านเทคนิค (Product Technical Requirement: PTR) โดยเกี่ยวข้องกับผู้บริโภค ในการกำหนดเทคนิคเกิดจากการระดมสมอง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ คือข้อกำหนดทางเทคนิค และค่ากำหนดเป้าหมายทางเทคนิคมาใส่ในส่วน C ของบ้านคุณภาพ เพื่อรับรู้ถึงทิศทางในการทำการปรับปรุง

ส่วน D สร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้บริโภค (ส่วน A) และข้อกำหนดทางเทคนิค (ส่วน C) ของบ้านคุณภาพ การสร้างขั้นตอนนี้มีความเข้าใจถึงความสามารถของแต่ละเทคนิคต่อระดับความพึงพอใจลูกค้า ส่วนใหญ่มีการใช้สัญลักษณ์ตัวเลข คือ 0, 1, 3 และ 9 แทนความสัมพันธ์ คือ ไม่มีความสัมพันธ์ มีความสัมพันธ์น้อย มีความสัมพันธ์ปานกลาง และมีความสัมพันธ์มาก ตามลำดับ ส่วน E ความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค เป็นส่วนของหลังคาของบ้านคุณภาพ แสดงถึงความเกี่ยวเนื่องของเทคนิคที่นำมาใช้เป็นตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ เป็นการระบุว่าเทคนิคใดที่มีความเกี่ยวเนื่องกันมากน้อย โดยมีการใช้สัญลักษณ์ “O” คือ มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก “X” คือ มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย และ “ช่องว่าง” คือ ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันเลย และส่วน F การเปรียบเทียบสมรรถนะทางเทคนิค ในส่วนนี้บ่งบอกถึงความสำคัญในปริมาณต่าง ๆ เพื่อให้ผู้พัฒนาทราบว่าความต้องการและตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพใดที่ต้องการปรับปรุงหรือต้องการเอาใจใส่มากขึ้น โดยประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ และส่วนของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ หลังจากนั้นสร้างเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ และการนำเข้าสู่เมทริกซ์แปลงการออกแบบหรือเมทริกซ์ที่ 2 ของเทคนิค QFD



รูปที่ 1 ส่วนประกอบย่อยของบ้านคุณภาพ [14]

2.3.3 การประยุกต์ใช้เมทริกซ์แปลงการออกแบบ (Design Deployment)

เมทริกซ์แปลงการออกแบบ เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยทำการกระจายส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์หรือแยกส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ทำการพิจารณา โดยนำข้อมูลจากเมทริกซ์การวางแผนมาใช้ มีขั้นตอนดังนี้

1) เลือกเทคนิคที่นำมาใช้ (Technical Requirements) ในการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคจากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพ มาแปลงเป็นข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ โดยในที่นี้ได้ทำการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อกำหนด โดยข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อมีความสำคัญและมีผลต่อความต้องการของลูกค้า จากนั้นจะนำข้อกำหนดทางเทคนิคทั้งหมดมาใส่ทางช่องซ้ายมือของเมทริกซ์แปลงการออกแบบ

2) นำค่าน้ำหนักความสำคัญของความต้องการ (IMP) มาใส่ในเมทริกซ์แปลงการออกแบบ โดยค่า IMP นี้มาจากค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยจะนำมาใส่ทางด้านซ้ายของเมทริกซ์แปลงการออกแบบติดกับข้อกำหนดทางเทคนิค

3) กำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) โดยในการกำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยจะได้มาจากการระดมสมอง (Brain Storming) ช่วยในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยและข้อกำหนดทางเทคนิคที่จะส่งผลต่อความต้องการของลูกค้าหลังจากนั้นทำการกำหนดเป้าหมายของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย

4) สร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) เป็นการให้ค่าระดับคะแนนความสัมพันธ์แบบ 1, 3, 9

5) คำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority Relationships) ซึ่งจะมีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ ส่วนนี้จะเป็นการบ่งบอกถึงความสำคัญในปริมาณที่ต่างกัน เพื่อให้ทราบว่าความต้องการใดและตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพใดที่ต้องได้รับการเอาใจใส่อย่างสูง โดยจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนย่อย คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ เป็นการบอกลำดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ และค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบเป็นการแสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์เป็นเปอร์เซ็นต์ โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$IA = \sum(IC \times W) \quad (1)$$

เมื่อ IA คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (Absolute Technical Requirement Important) IC คือ ค่าความสัมพันธ์ของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคต่อความต้องการของลูกค้า และ W คือ ค่าลำดับที่ของการให้น้ำหนักเริ่มต้น

$$IMP = (IA \div \sum IA) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ IMP คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ (Relative Technical Requirement Important)

หลังจากสร้างเมทริกซ์ย่อยทั้ง 6 ส่วนของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ หรือบ้านคุณภาพแล้ว ต่อไปก็จะเข้าสู่เมทริกซ์ที่ 2 ของ QFD นั่นคือ เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ ซึ่งทำให้ทราบถึงคุณลักษณะของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยตัวใดที่มีความสำคัญต่อความพึงพอใจของลูกค้า และมีการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยโดยเปรียบเทียบ ซึ่งเป็นตัววัดผลคุณลักษณะเหล่านั้นว่ามีความสำคัญมากหรือน้อยเพียงใดจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุต่อไป

2.3.4 ออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์

การนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลจากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามในกลุ่มผู้สูงอายุ โดยประยุกต์ใช้วิธีการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ ส่งต่อให้กับนักออกแบบเพื่อกำหนดเป็นแนวทางที่ช่วยให้นักออกแบบมีข้อมูลทางเทคนิคพื้นฐานในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์

2.3.5 การประเมินความพึงพอใจผลิตภัณฑ์

หลังจากขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุเรียบร้อยแล้ว จากนั้นผู้วิจัยนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปลงพื้นที่เก็บข้อมูลในกลุ่มผู้บริโภคโดยสำรวจความพึงพอใจของลูกค้ากลุ่มเป้าหมายเดิม ประกอบด้วย กลุ่มลูกค้าที่มีความต้องการผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ผู้สูงอายุ และตัวแทนกลุ่มผู้ใช้ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ผู้สูงอายุ ในพื้นที่อำเภอเมืองสงขลา อำเภอหาดใหญ่ และอำเภอใกล้เคียง จังหวัดสงขลา และเปรียบเทียบระดับคะแนนความพึงพอใจในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลของการประยุกต์ใช้วิธีการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

3.1 การเตรียมก่อนการประยุกต์ใช้วิธีการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์ รวมทั้งทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และจากการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์และเก็บแบบสอบถาม พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มความต้องการได้เป็น 7 กลุ่ม คือ รูปแบบ ความสะดวก โครงสร้าง วัสดุ คุณภาพ การใช้งาน และอื่น ๆ ซึ่งใน 7 กลุ่มนี้ มีความต้องการของลูกค้าทั้งหมด 29 ความต้องการ จากความต้องการของลูกค้าได้สำรวจระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์ จากนั้นได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (IMP) เพื่อนำไปใช้ในเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านคุณภาพต่อไป

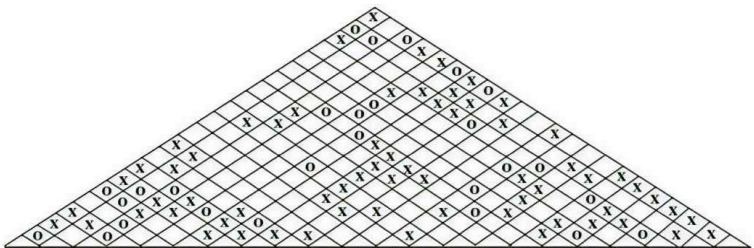
3.2 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผน

นำผลที่ได้จากการเตรียมก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพเข้าสู่เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ความต้องการของลูกค้า (Customer Need) เป็นการนำข้อมูลความต้องการของลูกค้าทั้ง 7 กลุ่ม จำนวนทั้งหมด 29 ความต้องการ มาใส่ด้านซ้ายมือของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 2

2) การสร้างเมทริกซ์การวางแผน (Planning Matrix) หลังจากที่ได้ความต้องการของลูกค้า จากนั้นนำค่า IMP ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตที่ได้จากแบบสอบถาม มาใส่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าแต่ละตัว แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าความต้องการของลูกค้าให้ความสำคัญกับด้านการใช้งาน คือ ความปลอดภัย (4.58) รองลงมาเป็นความต้องการด้านโครงสร้าง คือสามารถรองรับน้ำหนักได้ดี (4.54)

3) ข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) เป็นเทคนิคที่ได้จากการระดมสมองของทีมผู้วิจัย ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ด้านการผลิต และตัวแทนผู้สูงอายุ ช่วยกันวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ เพื่อหาเทคนิคที่จะสามารถทำให้ตอบสนองแต่ละความต้องการของลูกค้าได้ จากนั้นได้ทำการกำหนดเป้าหมายทางด้านเทคนิค นอกจากนี้จะทำการกำหนดค่าการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายเพื่อให้ทราบถึงทิศทางในการทำการปรับปรุง ซึ่งสามารถกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุได้ 22 ข้อกำหนด



	ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement)			รูปแบบ										คุณภาพ					วัสดุ			การใช้งาน			อื่น ๆ
				ขนาดและรัศมีที่เรียบ	น้ำหนัก	ความสวยงาม	ที่นั่งและพนักพิงตามหลักศาสตร์	สีสัน	มีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย	รูปร่างไม่ซับซ้อน	ความทันสมัย	ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์	ความทนทานของเก้าอี้	มีความประณีต	การป้องกันยอดแมลงกัดกินเนื้อไม้	ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและการติดตั้ง	ฝีมือช่างดี	รูปของผลิตภัณฑ์	วัสดุที่มีคุณภาพ	ความคงทนของสี	ความทนทานของน้ำมันเคลือบ	การดูแลรักษาทำความสะอาด	อายุการใช้งาน	การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์	ราคาของผลิตภัณฑ์
		No.		B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18	B-19	B-20	B-21	B-22
ความต้องการของลูกค้า (Customer Requirement)		No.	IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
รูปแบบ	ความสวยงาม	A-1	4.37			9	3	9	3	3	9		3	9		3	3	9	3						9
	สีสันสวยงาม	A-2	4.24			9		9			9			9			3		3	9	9	3			9
	ลวดลายตามธรรมชาติไม้	A-3	4.33			9		3			3						3					1			3
	รูปแบบรูปทรงที่ทันสมัย	A-4	4.46	9	9	9	9	3	9	3	9	9	1	9		9	3	9	3			3	1	3	9
	รูปทรงไม่อันตราย	A-5	4.52	3	1		9		9	9	3	9	3			9	3	9	1			3		9	
	รูปร่างมีความหลากหลาย	A-6	4.34	9	9	9	9		9	9	9	9	1	3		3		9				1		9	9
ความสะดวก	ขนาดที่เหมาะสม	A-7	4.44	9	9	3	9		3	3	3	1	9									1		9	9
	เคลื่อนย้ายได้สะดวก	A-8	4.38	9	9		3		3	3	1	1	1			3	1	9	1			1		9	
	ดูแลทำความสะอาดง่าย	A-9	4.42	3					3	9					3		3	1		1	3	9	1	9	
	น้ำหนักเหมาะสม	A-10	4.33	3	9		3		3	1			3			3			3			1		9	
	ซ่อมบำรุงได้ง่าย	A-11	4.35		3			3	3	3					1	9	3		3	3	3	9	3		
โครงสร้าง	ความแข็งแรงทนทาน	A-12	4.50	9	3		9		9	9		9	3		9	9		3	9	3	3		9	9	3
	ถอดประกอบได้	A-13	4.13	9	3	1	1		9	9	9					9			9			3		3	1
	สามารถรองรับน้ำหนักได้ดี	A-14	4.53	9	9		9		9	3			9			9			9			1	9	3	
	โครงสร้างไม่โยกคลอน	A-15	4.40	3	3		9		9	9		9			1	9			9				9	3	
วัสดุ	ใช้วัสดุตกแต่งที่มีคุณภาพ	A-16	4.51		3	9		9	9	1	3	9		3	3	9	3		9	1	1	3	9	9	3
	ใช้วัสดุที่เด่นตามรูปทรง	A-17	4.48		3		3					9			3	9	3	9	9	3	3	1	9	3	9
	ส่วนประกอบย่อยมีคุณภาพ	A-18	4.40				3			3	1	9			3	9	9		9			3	9	3	
	ทนต่อความเปียกชื้น	A-19	4.37	3											9	9	1		9	9	9	9	9		
คุณภาพ	พื้นผิวเรียบ	A-20	4.39			3		1			1			9			9	9	9		9	3			
	ไม่มีคำพนิหรือแตกร้าว	A-21	4.42			9		3						9		9	9	9	9	9	9	1	9		
	ความเงางาม	A-22	4.31			9		9			3			3	1		9		1	9	9	3			1
	ไม่เป็นเชื้อรา	A-23	4.43			9		9							9	3	3		9	3	3	3	3		3
	สีไม่ซีดหรือลอกออกง่าย	A-24	4.37			9		9			1			3					3	9	9	3	1		
	ปลวก มอด และแมลงไม่กินเนื้อไม้	A-25	4.41									9			9	3	1		9		3	3	9		3
การใช้งาน	ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย	A-26	4.38	9	3		9		9	3	9					9			3			1	1	3	9
	อายุการใช้งานยาวนาน	A-27	4.52	9			9		3				1	1	9	9	3		9	3	3	3	9	1	9
	ความปลอดภัย	A-28	4.58	3	3		9		3	3		9	3		3	9	3	9	9			1	1	3	1
อื่น ๆ	ราคาเหมาะสม	A-29	4.39	9	1	9	9	9	9	3	9	1		9	3	9	3		9	3	3		3		9
ลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์				5	14	6	3	17	4	11	13	10	22	19	20	1	16	12	2	21	15	18	7	9	8	รวม
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์				476.49	353.22	464.15	511.55	332.65	503.61	378.47	356.66	414.61	165.33	293.54	293.47	717.24	343.64	377.38	702.85	284.33	345.91	320.54	462.58	429.56	436.14	8963.92
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ				5.32	3.94	5.18	5.71	3.71	5.62	4.22	3.98	4.63	1.84	3.27	3.27	8.00	3.83	4.21	7.84	3.17	3.86	3.58	5.16	4.79	4.87	100.00
เป้าหมายทางด้านเทคนิค				ผลิตภัณฑ์มีขนาดที่เหมาะสมกับที่นั่งในการใช้งาน	ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักที่สัมพันธ์กับขนาดอย่างเหมาะสม	ผู้ใช้งานอายุเฉลี่ยว่าได้ความพอใจมากกว่า 80%	เหมาะสมและถูกต้องตามหลักศาสตร์	ใช้สีสันสวยงาม	สามารถใช้ประโยชน์ได้มากกว่า 1อย่าง	ไม่เลียนการใช้งานที่ทำความสะอาดได้	ตกแต่งเส้นเลื่อนเพื่อความทันสมัย	รูปทรงมีความปลอดภัย 90%	เหมาะสมกับการรองรับน้ำหนักและถูกหลักศาสตร์	ผลิตภัณฑ์ต้องมีการเจียรขอบและไม่มีคำหยิกที่ขีดเขน	สามารถป้องกัน ปลวก มอด และแมลง ได้มากกว่า 5 ปี	การยึดชิ้นส่วนทุกชิ้นต้องแน่นหนาและมีความทำปาตรรยอดต่อ	พื้นผิวเรียบและไม่ตีน	เปลี่ยนมุมของพนักให้เป็นไปตามเดิม	วัสดุที่มีคุณภาพและได้มาตรฐาน	ไม่ออกฤทธิ์ซีดภายใน 5 ปี	น้ำยาเคลือบไม่ออกฤทธิ์เหลืองภายใน 5 ปี	ไม่มีสารที่ทำความสะอาดง่าย	อายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี	เคลื่อนย้ายได้สะดวก	ราคาเหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์	

รูปที่ 2 เมทริกซ์การวางแผนของผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์

4) เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) เป็นการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างส่วนที่ 1 (ความต้องการของผู้บริโภค) และส่วนที่ 3 (ข้อกำหนดทางเทคนิค) ของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยจะได้ผลจากการให้คะแนนความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์ แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งการให้คะแนนในที่นี้จะทำการเปรียบเทียบเป็นคู่ โดยใช้การระดมสมองของทีมผู้วิจัย ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ด้านการผลิต และตัวแทนผู้สูงอายุ ตลอดจนฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

5) ความเกี่ยวเนื่องของข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Correlation) ทำการระดมสมองของฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ของเทคนิคที่จะนำมาใช้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งผลการกำหนดความสัมพันธ์ของเทคนิคต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2

6) ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ พบว่ามีผลการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ และเปรียบเทียบของผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์ สรุปได้ว่าการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ และโดยเปรียบเทียบของผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์มีคุณลักษณะการออกแบบที่มีคะแนนสูงสุด 16 ข้อ หรือสิ่งที่ผู้ผลิตต้องให้ความสำคัญเป็นลำดับแรก ๆ แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งข้อกำหนดที่เป็นคุณลักษณะในการออกแบบ ประกอบด้วย 1) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและการยึดติด 2) วัสดุที่ใช้มีคุณภาพ 3) ที่นั่งและพนักพิงตามหลักสรีรศาสตร์ 4) ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและการยึดติด 5) มีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย 6) ขนาดและพื้นที่ใช้สอย 7) ความสวยงาม 8) 8) อายุการใช้งาน 9) ราคาของผลิตภัณฑ์ 10) การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ 11) ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ 12) รูปร่างไม่ซับซ้อน 13) มุมของผลิตภัณฑ์ 14) ความทันสมัย 15) น้ำหนัก และ 16) ความคงทนของน้ำยาเคลือบ

ตารางที่ 1 การจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ

No.	Technical Requirements	Absolute Tech. Req.	%Relative Tech. Req.
*B-13	ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและการยึดติด	24.717	8.00
*B-16	วัสดุที่ใช้มีคุณภาพ	702.85	7.84
*B-4	ที่นั่งและพนักพิงตามหลักสรีรศาสตร์	511.55	5.71
*B-13	ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและการยึดติด	24.717	8.00
*B-6	มีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย	503.61	5.62
*B-1	ขนาดและพื้นที่ใช้สอย	476.49	5.32
*B-3	ความสวยงาม	464.15	5.18
*B-20	อายุการใช้งาน	462.58	5.16
*B-22	ราคาของผลิตภัณฑ์	436.14	4.87

ตารางที่ 1 การจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ (ต่อ)

No.	Technical Requirements	Absolute Tech. Req.	%Relative Tech. Req.
*B-21	การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์	429.56	4.79
*B-9	ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์	414.61	4.63
*B-7	รูปร่างไม่ซับซ้อน	378.47	4.22
*B-15	มุมของผลิตภัณฑ์	377.38	4.21
*B-8	ความทันสมัย	356.66	3.98
*B-2	น้ำหนัก	353.22	3.94
*B-18	ความคงทนของน้ำยาเคลือบ	345.91	3.86
*B-14	ผิวสัมผัส	343.64	3.83
B-5	สีสัน	332.65	3.71
B-19	การดูแลรักษาทำความสะอาด	320.54	3.58
B-11	มีความประณีต	293.54	3.27
B-12	การป้องกันมอดแมลงกัดกินเนื้อไม้	293.47	3.27
B-17	ความคงทนของสี	284.33	3.17
B-10	ความหนาของโต๊ะและเก้าอี้	165.33	1.84

3.3 ผลการประยุกต์ใช้เมทริกซ์แปลงการออกแบบ

เป็นการนำข้อกำหนดทางเทคนิค ที่ผ่านการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบจากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ มาทำการแปลงให้เป็นข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย โดยสามารถแบ่งข้อมูลออกได้เป็น 4 ส่วน สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ข้อกำหนดทางเทคนิคและค่า IMP พบว่าได้เลือกข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อจากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการจัดเรียงลำดับความสำคัญจากค่ามากไปหาค่าน้อย แสดงดังรูปที่ 3 จากนั้นนำข้อกำหนดทางเทคนิคและค่า IMP อยู่ช่องซ้ายมือของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

2) ข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย พบว่าเป็นข้อกำหนดที่ได้จากการระดมสมองของทีมวิจัยและฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยที่จะสามารถทำให้ตอบสนองต่อข้อกำหนดทางเทคนิคที่ส่งผลไปยังความต้องการของลูกค้า ซึ่งสามารถกำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยของผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์ทั้งหมด 20 ข้อกำหนด แสดงดังรูปที่ 3

3) เมทริกซ์ความสัมพันธ์ พบว่าเป็นการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคและข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ โดยการใช้การระดมสมองของผู้วิจัย ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ด้านการผลิต และฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

		ลำดับความสำคัญของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristic)	วัสดุของชิ้นส่วน	ขนาดของชิ้นส่วน	จำนวนชิ้นส่วน	ความคงทนของอุปกรณ์ยึดจับ	การเคลื่อนย้าย	ราคาของชิ้นส่วน	ความคงทนของชิ้นส่วน	การออกแบบชิ้นส่วนให้ประกอบกันได้	น้ำหนักของวัสดุและชิ้นส่วนประกอบ	อายุการใช้งานของชิ้นส่วนประกอบย่อย	ใช้ชิ้นส่วนที่มีความทันสมัย	ใช้ชิ้นส่วนที่มีความปลอดภัย	ชิ้นส่วนที่มีการรับประกัน	ความละเอียดเรียบในการรับประกัน	การชำรุด, เสียหายของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว	ความหลากหลายของสี	ความคงทนของชิ้นส่วนที่ออกประกอบได้	ความหลากหลายของรูปแบบวัสดุและชิ้นส่วน	ลักษณะและรูปทรงสวยงาม	ส่วนประกอบที่สามารถปรับระดับได้
			C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	C-18	C-19	C-20
ค่าการเคลื่อนที่ของค่าเป้าหมาย (Movement of Target Value)			○	○	↓	↑	↓	○	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	○
ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement)	No.	IMP																				
ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและการยึดติด	B-13	7.63	9		3	9	9	3	3	9	3	3	3	9	9		1		3	3		9
วัสดุที่ใช้มีคุณภาพ	B-16	7.48	9			9	3	3	9	3		9	1	9	9	3	3		9	1	9	9
ที่นั่งและพนักพิงตามหลักสรีรศาสตร์	B-4	5.44		9		9		3		3				9								1
มีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย	B-6	5.36		3	9			1	9	3			3	3			1			3		9
ขนาดและพื้นที่ใช้สอย	B-1	5.07		9	1		3															
ความสวยงาม	B-3	4.94	3	1	1			3					3					9		1		
อายุการใช้งาน	B-20	4.92	9		3	9		1	9		3	9			9	3	3		9		9	9
ราคาของผลิตภัณฑ์	B-22	4.64	9		1			9		3			3	3	1	1		1	3	1		
การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์	B-21	4.57		9	3	1	9		1	9	3	3		9			3		3	1		9
ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์	B-9	4.41	9	3	1	9	1		9		3		3	9	9	3	9		3	3		3
รูปร่างไม่ซับซ้อน	B-7	4.03		3	9		9	1		9							1			3		1
มุมของผลิตภัณฑ์	B-15	4.01																				
ความทันสมัย	B-8	3.79						3	3				9									9
น้ำหนัก	B-2	3.76	9	9	9		9			3	9			3			9		1			
ความคงทนของน้ำยาเคลือบ	B-18	3.68						9	1			9						1			9	
ผิวสัมผัส	B-14	3.66	9				1						1				9			1		
สีสัน	B-5	3.54	1					1					3				3	9				
การดูแลรักษาทำความสะอาด	B-19	3.41	9	1	9							3	1								3	
มีความประณีต	B-11	3.12		1						9								1		3		
การป้องกันมอดแมลงกัดกินเนื้อไม้	B-12	3.12	3			1		3	3			1				3	3		1		3	
ความคงทนของสี	B-17	3.02	1					3				3			3		3				9	
ความหนาของไต้และเก้าอี้	B-10	1.76	3	9	3	9	1		3	1	9						1		3	3		1
ลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย			1	7	10	4	9	13	5	6	17	12	16	3	8	20	11	19	15	18	14	2
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยสมบูรณ์			395.21	238.27	224.74	292.45	227.39	198.99	256.68	255.95	114.27	203.73	140.22	307.05	233.66	64.43	205.20	87.76	187.51	104.22	191.49	328.21
ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยโดยเปรีย			9.28	5.60	5.28	6.87	5.34	4.67	6.03	6.01	2.68	4.79	3.29	7.21	5.49	1.51	4.82	2.06	4.40	2.45	4.50	7.71
เป้าหมายของส่วนประกอบย่อย			ใช้วัสดุที่เหมาะสม	ชิ้นส่วนมีขนาดเหมาะสมตามหลักสรีระวิทยา	ใช้ชิ้นส่วนชิ้นส่วนให้น้อยที่สุด	ใช้อุปกรณ์ยึดจับที่ได้มาตรฐานและทนทานต่อการใช้งาน	สามารถเคลื่อนย้าย จัดรูปแบบได้สะดวก	ราคาต่อชุดเหมาะสมกับการใช้งานและความยากง่ายในการแปรรูป	ไม่เกิดการชำรุดจากการใช้งานภายในเวลา 3 ปี	ชิ้นส่วนประกอบติดกันได้สะดวก	มีน้ำหนักต่อชุดไม่เกิน 15 กิโลกรัม	มีอายุการใช้งานได้นานกว่า 5 ปี	ใช้ชิ้นส่วนที่มีความทันสมัยตามยุคสมัย	ชิ้นส่วนที่ความปลอดภัยที่สูงกว่าที่ใช้ในปัจจุบัน	ชิ้นส่วนที่มีการรับประกันไม่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปัจจุบัน	ความละเอียดเรียบในการรับประกันความเรียบ	ไม่เกิดการชำรุดของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวภายในเวลา 3 ปี	สามารถเลือกสีได้หลากหลาย	ออกประกอบได้มากกว่า 10 ครั้ง โดยไม่เกิดการชำรุด	วัสดุและชิ้นส่วนมีรูปแบบที่หลากหลาย	ไม่ชำรุดจากความเสียดสีและสนิมภายในเวลา 3 ปี	สามารถปรับได้ตามความเหมาะสม	รวม
																						4257.43

รูปที่ 3 เมทริกซ์แปลงการออกแบบของผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์

4) การคำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ พบว่ามีผลการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดส่วนประกอบย่อยสมบูรณ์ และโดยเปรียบเทียบของผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์ และสามารถสรุปผลได้ว่าการจัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของผลิตภัณฑ์ มีคุณลักษณะการออกแบบทั้งหมด 13 ข้อ แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย ประกอบด้วย 1) วัสดุของชิ้นส่วน 2) ส่วนประกอบที่สามารถปรับระดับได้ 3) ใช้ชิ้นส่วนที่มีความปลอดภัย 4) ความคงทนของอุปกรณ์ยึดจับ 5) ความคงทนของชิ้นส่วน 6) การออกแบบชิ้นส่วนให้ประกอบกันได้ 7) ขนาดของชิ้นส่วน 8) ใช้ชิ้นส่วนที่มีการรับประกัน 9) การเคลื่อนย้าย 10) จำนวนชิ้นส่วน 11) การชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว 12) อายุการใช้งานของชิ้นส่วนประกอบ และ 13) ราคาของชิ้นส่วน

ตารางที่ 2 การจัดลำดับค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยสมบูรณ์และโดยเปรียบเทียบ

No.	Technical Requirements	Absolute Tech. Req.	% Relative Tech. Req.
*C-1	วัสดุของชิ้นส่วน	21.395	9.28
*C-20	ส่วนประกอบที่สามารถปรับระดับได้	328.21	7.71
*C-12	ใช้ชิ้นส่วนที่มีความปลอดภัย	307.05	7.21
*C-4	ความคงทนของอุปกรณ์ยึดจับ	292.45	6.87
*C-7	ความคงทนของชิ้นส่วน	256.68	6.03
*C-8	การออกแบบชิ้นส่วนให้ประกอบกันได้	95.255	6.01
*C-2	ขนาดของชิ้นส่วน	238.27	5.60
*C-13	ใช้ชิ้นส่วนที่มีการรับประกัน	233.66	5.49
*C-5	การเคลื่อนย้าย	227.39	5.34
*C-3	จำนวนชิ้นส่วน	224.74	5.28
*C-15	การชำรุด, เสียหายของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว	205.20	4.82
*C-10	อายุการใช้งานของชิ้นส่วนประกอบ	203.73	4.79
*C-6	ราคาของชิ้นส่วน	198.99	4.67
C-19	ต้านทานสารเคมีหรือจากแสงแดด	191.49	4.50
C-17	ความคงทนของชิ้นส่วนที่ถอดประกอบได้	187.51	4.40
C-11	ใช้ชิ้นส่วนที่มีความทันสมัย	140.22	3.29
C-9	น้ำหนักของวัสดุและชิ้นส่วนประกอบ	114.27	2.68
C-18	ความหลากหลายของรูปแบบวัสดุและชิ้นส่วน	104.22	2.45
C-16	ความหลากหลายของสี	87.76	2.06
C-14	รายละเอียดเงื่อนไขการรับประกัน	64.43	1.51

3.4 ผลการออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ และได้ข้อกำหนดทางเทคนิคของทั้ง 2 เมทริกซ์ จากนั้นนำไปสู่กระบวนการออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ แสดงดังรูปที่ 4 ทั้งนี้ได้คำนวณต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์ ประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบทางตรง 1,950 บาท ค่าแรงงานทางตรง 1,200 บาท และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในการผลิต 425 บาท รวมต้นทุนการผลิต เท่ากับ 3,575 บาท

รูปที่ 4 ต้นแบบผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

3.5 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์

หลังจากออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุเรียบร้อยแล้ว จากนั้นได้ทำการสำรวจความพึงพอใจผลิตภัณฑ์ต้นแบบชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ จากกลุ่มเป้าหมายกลุ่มเดิม โดยทดลองการใช้งานจริง จำนวน 120 ตัวอย่าง ประกอบด้วย กลุ่มลูกค้าที่มีความต้องการผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ผู้สูงอายุ และตัวแทนกลุ่มผู้ใช้ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ผู้สูงอายุ ในพื้นที่อำเภอเมืองสงขลา อำเภอหาดใหญ่ และอำเภอใกล้เคียง จังหวัดสงขลา พบว่ามีความพึงพอใจในด้านคุณลักษณะเชิงเทคนิคในด้านรูปแบบ/รูปทรงที่ทันสมัยมากที่สุดเป็นอันดับแรก ซึ่งมีคะแนนอยู่ในระดับดีมากและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 โดยผลิตภัณฑ์ต้นแบบ มีการออกแบบที่ทันสมัย เรียบง่าย สามารถใช้งานได้หลากหลาย และความพึงพอใจในคุณลักษณะด้านฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลายเป็นอันดับสอง มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 โดยผลิตภัณฑ์ต้นแบบ สามารถปรับระดับได้ รองรับหลักสรีรศาสตร์เหมาะกับการใช้งานของผู้สูงอายุ

ทั้งนี้จากผลการประเมินความพึงพอใจผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุต้นแบบพบว่าผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงในหลายด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านรูปแบบ มีการออกแบบที่ทันสมัยขึ้น เรียบง่ายแต่สามารถใช้งานได้หลากหลาย ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงสุด 2) ด้านคุณภาพ โครงสร้างมีความแข็งแรงขึ้น รองรับน้ำหนักได้ดีขึ้น และเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน 3) ด้านวัสดุ ใช้ไม้ยางพาราคุณภาพสูง พร้อมเคลือบสารกันเชื้อราและมอดแมลงเพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน 4) ด้านการใช้งาน สามารถปรับระดับได้ รองรับหลักสรีรศาสตร์ เหมาะกับการใช้งานของผู้สูงอายุ ได้คะแนนความพึงพอใจด้านฟังก์ชันการใช้งานสูง 5) ด้านราคา แม้ราคาจะสูงขึ้นจากเดิม แต่สะท้อนถึงคุณภาพและความคุ้มค่า โดยใช้วัสดุภายในประเทศเพื่อลดต้นทุนบางส่วน

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ เพื่อสร้างความพึงพอใจของลูกค้าและการตอบสนองความต้องการของลูกค้ามากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ได้มีการแปลงความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เข้าสู่เมทริกซ์ของวิธีการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) 2 เมทริกซ์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kapuria et al [8] ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับออกแบบและพัฒนาโต๊ะและเก้าอี้ตามหลักการยศาสตร์สำหรับนักศึกษา ทำให้ลดความเสี่ยงจากความผิดปกติของกล้ามเนื้อและโครงกระดูกจากการนั่งกับโต๊ะและเก้าอี้ที่ไม่เหมาะสมเป็นเวลานาน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wongsangnoi [15] ที่ได้นำความต้องการของลูกค้าที่ได้จากการสำรวจเข้าสู่เมทริกซ์ 2 เฟส โดยเริ่มจากเก็บข้อมูลเพื่อสำรวจความต้องการของลูกค้า ซึ่งนำความต้องการเหล่านั้นจัดถ้อยคำใหม่และจัดกลุ่มคุณลักษณะที่มีความหมายคล้ายคลึงหรือซ้ำซ้อนเข้าด้วยกัน จากนั้นจัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความสำคัญของความต้องการ ซึ่งเป็นคะแนนความสำคัญที่ได้จากการประเมิน จากนั้นนำความต้องการของลูกค้าเข้าสู่เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ และเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาขึ้นมาใหม่นี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านรูปแบบ คุณภาพ วัสดุ การใช้งาน และราคา เป็นต้น จากนั้นนำคุณลักษณะเหล่านั้นมาทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้อเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ หลังจากนั้นได้นำผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปสำรวจความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มลูกค้า ร้านค้าตัวแทนจำหน่าย และลูกค้าที่ใช้ผลิตภัณฑ์สำหรับผู้สูงอายุ พบว่ามีความพึงพอใจในด้านคุณลักษณะเชิงเทคนิคในด้านรูปแบบ/รูปทรงที่ทันสมัยมากที่สุดเป็นอันดับแรก ซึ่งมีคะแนนอยู่ในระดับดีมาก และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 และความพึงพอใจในคุณลักษณะด้านการใช้งานที่หลากหลายเป็นอันดับสอง มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 โดยเฉพาะในด้านของรูปแบบที่มีความทันสมัยและมีจุดเด่นที่สามารถสร้างความพึงพอใจมากที่สุดเป็นอันดับแรก ซึ่งผลความพึงพอใจมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pirom et al [11] ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับออกแบบและขึ้นรูปเฟอร์นิเจอร์ในชั้นเรียนระดับอนุบาลที่สามารถตอบสนองต่อกลุ่มผู้ใช้งาน ทั้งรูปร่าง และลักษณะการใช้งานที่ตรงต่อความต้องการ และสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Rawangwong et al [16] ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับออกแบบและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดโซฟาจากไม้ไผ่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านรูปแบบ วัสดุ ความสะดวก และคุณภาพ ที่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ponatong et al [17] ที่ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพในการพัฒนาเครื่องกวนจันทน์เทศ ที่มีลักษณะการใช้งาน ความปลอดภัย ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกวนจากเครื่องถูกตามหลักอนามัย และรูปทรงที่สนองความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังพบว่าสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ

Rodjananugoon et al [18] ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะเก้าอี้ไม้ไผ่ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางด้านรูปแบบ วัสดุ ความสะดวก คุณภาพ และสื่อถึงความรู้สึก เรียบง่าย มีสไตล์ และสวยงาม ซึ่งมีความสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า

แม้ว่าผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้เนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุจะได้รับการออกแบบและขึ้นรูปให้มีคุณภาพดีขึ้น แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น เป็นต้น ซึ่งกรณีที่ต้องผลิตในปริมาณหลาย ๆ ชุด หรือปริมาณที่มาก ยังสามารถลดต้นทุนคงที่ได้ หรืออาจจะปรับลดต้นทุนการผลิตอื่น ๆ โดยไม่ลดคุณภาพและหน้าที่สำคัญ ๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากผลการวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะ-เก้าอี้เนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุต้นแบบ มีศักยภาพในการพัฒนาสู่ตลาดเชิงพาณิชย์ โดยเน้นที่ คุณภาพ ความปลอดภัย และฟังก์ชันการใช้งานที่ตอบโจทย์ผู้สูงอายุ อีกทั้งควรมีกลยุทธ์การตลาดและแนวทางสนับสนุนการใช้งาน เพื่อเพิ่มโอกาสในการยอมรับของผู้บริโภคในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณ เงินกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมประจำปี 2565 และขอบคุณศูนย์บริบาลผู้สูงอายุ และชมรมผู้สูงอายุ จังหวัดสงขลา

References

[1] Jarinthong K, Somboonrod B, Song-Inn S, Pornmalairungrueang W. Design of chair enable for the elderly. Proceedings of the 8 th Hatyai National and International Conference; 2017 Jun 22; Songkhla, Thailand. p. 705-712. (In Thai).

[2] Chewasopit W. Aging society: the changed marketing factor. Journal of MCU Nakhondhat 2019;6(1):38-54. (In Thai).

[3] Ruisungnoen S. Development of a model for household furniture design according to the elderly's needs in the northeast community village of Thailand case study: None muang village in KhonKaen province. Journal of Fine and Applied Arts, Khon Kaen University 2014;6(1):199-223. (In Thai)

[4] Zheng LY, Chin KS. QFD based optimal process quality planning. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2005;26(7):831-41.

[5] Akbar R, Noor S, Shah W. QFD as a tool for improvement of car dashboard. Journal of Quality and Technology Management 2010;5(1):1-22.

[6] Akao Y. Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design. New York, USA: Productivity Press;1990.

[7] Yodwangjai S. Product design and development process. Journal of Engineering and Innovation 2015;8(1):131-42. (In Thai).

[8] Kapuria TK, Rahman M, Zaman MA, Gazi MU. Ergonomic design of table and chair based on QFD and anthropometric measurement and improved facility layout. Ergonomics International Journal 2018;2(3):000146. doi: 10.23880/EOIJ-16000146.

[9] Ginting R, Tarigan U, Panjaitan N. The application of quality function deployment and ergonomics: a case study for a new product design of a texon cutting tool. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019;495:012009. doi: 10.1088/1757-899X/495/1/012009.

[10] Ghani IF, Susandi D, Whydiantoro W. Design of a mango picking tool with using quality function deployment (QFD) and ergonomic for determining standard diameter grand galah. Journal of Mechanical and Manufactur 2021;1(1):70-83.

[11] Pirom T, Rawangwong S, Thongkamkaew A, Hutyee C. Design and developed product the kindergarten classroom furniture with rubber wood using quality function development. The Journal of Industrial Technology 2019;15(3):76-92. (In Thai).

[12] Sritong C, Sritong O. Product development using quality function deployment (QFD) in furniture industry: A case study of office chair design. Valaya Alongkorn Review Journal 2016;6(2):111-24. (In Thai).

[13] Gonzalez ME, Quesada G, Bahill AT. Improving product design using quality function deployment: the school furniture case in developing countries. Quality Engineering 2003;16(1):45-56. doi: 10.1081/QEN-120020770.

[14] Vongvit R, Anuwedh T, Nimyeam N. The QFD approach to the automated storage machine development. Engineering Journal of Research and Development 2017;28(4): 37-48. (In Thai).

[15] Wongsangnoi P. The application of quality function deployment for the development of beef products. UBU Engineering Journal 2020;13(2):149-55. (In Thai)

[16] Rawangwong S, Rodjananugoon J, Homkhiew C, Kamnerdwam AT. Products design of bamboo sofa set using quality function deployment technique with kansei engineering. Ladkrabang Engineering Journal 2022;39(3):11-28. (In Thai).

[17] Ponatong BP, Rodkaew Y, Getpun S, Rachapukdee P. Application of quality function deployment technique in the development of nutmeg stirring machine by the participation of nutmeg processing community enterprises in Nakhon Si Thammarat Province. Journal of Engineering and Innovation 2022;15(4):50-61. (In Thai)

[18] Rodjananugoon J, Rawangwong S, Homkhiew C, Kamnerdwam AT, Chumsri P. Design and development of bamboo table and chair set products with the application of quality function deployment technique and kansei engineering. Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal 2023;15(2):552-69. (In Thai).

ประวัติผู้เขียนบทความ

ธยา ภิรมย์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: thaya.p@rmutsv.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: Product design, Simulation modelling, Ergonomics

อภิชล ทองมั่ง กำเนิดว้ำ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: apichon.tk@rmutsv.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: Optimization, Simulation modelling, Ergonomics, Work improvement, Mathematical modelling

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: surasit.r@rmutsv.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: Product design, Manufacturing engineering, Machining, Ergonomics, Design of experiments for engineering

ชาตรี หอมเขียว อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: chatree.h@rmutsv.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: Work improvement, Manufacturing technology

ชัยณรงค์ ศรีวะบุตร อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: chainarong.s@rmutsv.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: Manufacturing technology, Design of experiments

ชัยวัฒนภัทร เลาสัตย์ อาจารย์ประจำโปรแกรมการออกแบบ สาขาการออกแบบ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: chaiwattanapat@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: Product design, Arts and crafts

Article History:

Received: November 24, 2024

Revised: April 23, 2025

Accepted: April 23, 2025

การวิเคราะห์ผลการออกแบบหม้อแปลงจำหน่ายเชิงเศรษฐศาสตร์ให้มีต้นทุนวัสดุต่ำและมีความสูญเสียที่เหมาะสม

THE ANALYSIS OF DISTRIBUTION TRANSFORMER DESIGN FROM AN ECONOMIC PERSPECTIVE TO ACHIEVE LOW MATERIAL COSTS AND APPROPRIATE LOSS

บุญเลิศ สื่อเฉย
อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160, tdlert@hotmail.com

Boonlert Suechoey
Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Southeast Asia University, 19/1 Phetkasem Road, Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand,
tdlert@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายให้มีต้นทุนวัสดุต่ำ มีค่าความสูญเสียที่เหมาะสมและเป็นไปตามข้อกำหนด ขั้นตอนการวิจัยจะทำการออกแบบหม้อแปลงโดยจะคำนึงถึงค่าความสูญเสียและทำการเปรียบเทียบต้นทุนวัสดุหลัก ในงานวิจัยได้เลือกขนาดหม้อแปลงที่มีใช้เป็นจำนวนมากในภาคอุตสาหกรรมและติดตั้งในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) หม้อแปลง 3 Phase 50 Hz 22000-416/240 V Dyn11 ขนาด 250 kVA และ 500 kVA ตามข้อกำหนดใหม่ที่การไฟฟ้าประกาศใช้ ผลจากการวิเคราะห์ออกแบบสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการออกแบบหม้อแปลงให้มีต้นทุนต่ำ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และความสูญเสียเป็นไปตามข้อกำหนด และใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้หม้อแปลงให้มีค่าความสูญเสียต่ำได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การออกแบบหม้อแปลง กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ประสิทธิภาพ ราคาต้นทุน

ABSTRACT

This research presents an analysis of the design of transformers used in distribution systems to minimize material costs, achieve acceptable loss values, and comply with regulations. The

research process involves designing the transformer while considering loss values and comparing the costs of key materials. The study focuses on transformer sizes commonly used in the industrial sector and installed in the distribution systems of the Provincial Electricity Authority (PEA). The selected transformer 3 Phase 50 Hz 22000-416/240 V Dyn11 sizes are 250 kVA and 500 kVA, in accordance with the new regulations announced by the electricity authority. The results from the design analysis can serve as guidelines for improving transformer designs to reduce costs, increase efficiency, and ensure that loss values meet regulatory requirements. Additionally, it provides a good basis for decision-making when selecting transformers with low loss values.

KEYWORDS: transformer design, power losses, efficiency, costs

1. บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันการใช้พลังงานอย่างประหยัดเป็นสิ่งที่สำคัญ ต้นทุนเชื้อเพลิงพลังงานมีความผันผวน ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคส่วนต่างๆ เช่นภาคการผลิต ภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น [1] ในภาคอุตสาหกรรมก็จะมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องจักรต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ลดค่าความสูญเสียให้ต่ำลง หม้อแปลงไฟฟ้าจึงนับเป็นเครื่องจักรที่สำคัญที่สามารถลดค่าความสูญเสียได้ ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มีการปรับปรุงข้อกำหนดรายละเอียด (Specification) [2] ของหม้อแปลงไฟฟ้าให้มีค่าความสูญเสียต่ำลงจากเดิม และปรับลดอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันหม้อแปลงและขดลวดให้มีค่าต่ำลง ทางบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าจึงต้องทำการออกแบบและสร้างหม้อแปลงให้มีคุณสมบัติ (Specification) เป็นไปตามข้อกำหนดใหม่ และมีต้นทุนวัสดุต่ำ โดยกล่าวถึงงานวิจัยของ Suechoey [3] ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาและปรับปรุงการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าให้ทนต่อสภาวะการใช้งานโหลดเกิน และทนต่อการลัดวงจร งานวิจัยของ Suechoey [4] ได้นำเสนอแนวทางในการเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าให้มีขนาดที่เหมาะสมกับโหลดมีต้นทุนต่ำ ลดค่าพลังงานสูญเสีย โดยได้นำราคาเริ่มต้นของหม้อแปลง อายุการใช้งานอัตราดอกเบี้ย ค่าเสื่อมราคา ค่าความสูญเสียของหม้อแปลง และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย มาทำการวิเคราะห์หาค่าราคาของหม้อแปลงไฟฟ้า (Cost to Own Transformer; COT) งานวิจัยของ Dawood et al [5] ได้นำเสนอผลการศึกษาวิเคราะห์ราคาและตัวประกอบที่เหมาะสมในการออกแบบและผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า จากการปรับปรุงข้อกำหนดรายละเอียดของหม้อแปลง [2] อาจส่งผลให้ต้นทุนการผลิตหม้อแปลงสูงขึ้น การออกแบบและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ดีจะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด มีค่าความสูญเสียต่ำ และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลของการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า โดยพิจารณาถึง

ค่าต้นทุนวัสดุหลักในการผลิต ค่าความสูญเสียของหม้อแปลง และประสิทธิภาพของหม้อแปลงโดยให้มีจุดที่เหมาะสมให้มากที่สุด ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าให้มีต้นทุนวัสดุต่ำ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และเลือกใช้หม้อแปลงให้เกิดประโยชน์สูงสุด ลดต้นทุนการผลิต และช่วยลดค่าพลังงานสูญเสียได้เป็นอย่างดี

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง [4]

พลังงานสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลดและขณะจ่ายโหลด ค่าความสูญเสียหากมีค่ามากทำให้ประสิทธิภาพในการจ่ายโหลดลดลง สำหรับประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อแปลงเกิดขึ้นเมื่อค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลดเท่ากันกับขณะจ่ายโหลด ประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อแปลงสามารถพิจารณาจากเปอร์เซนต์ในการจ่ายโหลด ดังสมการที่ 1

$$\%Load = 100\sqrt{\frac{No\ load\ loss}{load\ loss}} \tag{1}$$

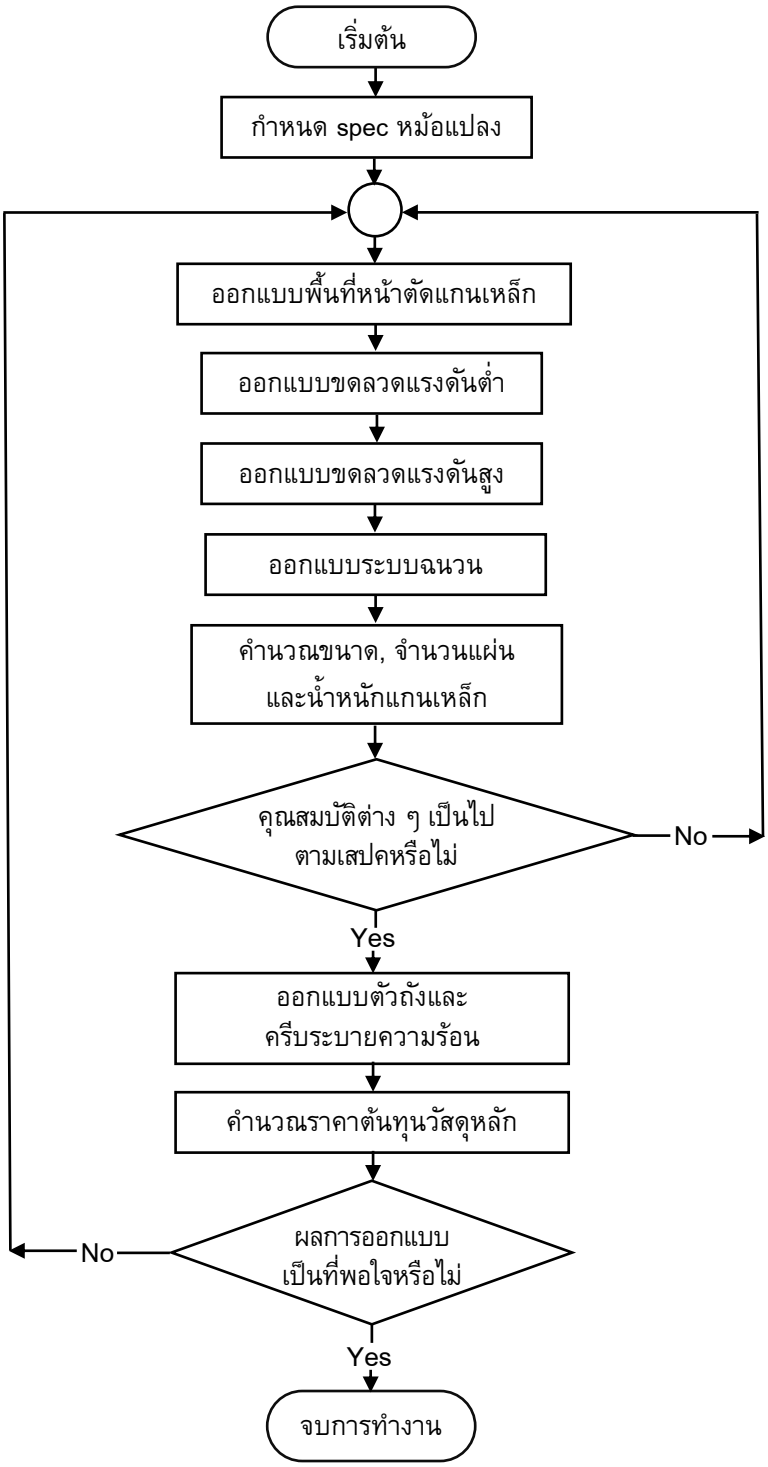
สำหรับค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงสามารถหาได้จากสมการ

$$Efficiency = \frac{Input - Losses}{Input} \times 100 \tag{2}$$

ค่าสูญเสียของหม้อแปลงจะถูกกำหนดโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตัวอย่างเช่น หม้อแปลงขนาด 250 kVA 22000-416/240V Dyn11 มีค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลด 360 วัตต์ ขณะมีโหลด 2750 วัตต์ หรือมีค่าสูญเสียรวมเท่ากับ 3110 วัตต์ [2] หม้อแปลงขนาด 500 kVA (ข้อกำหนดเดิม) 22000-400/230V Dyn11 มีค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลด 860 วัตต์ ขณะมีโหลด 4950 วัตต์หรือมีค่าสูญเสียรวมเท่ากับ 5810 วัตต์ [6] และหม้อแปลงขนาด 500 kVA (ข้อกำหนดใหม่) 22000-416/240V Dyn11 มีค่าความสูญเสียขณะไม่มีโหลด 610 วัตต์ ขณะมีโหลด 4600 วัตต์ หรือมีค่าสูญเสียรวมเท่ากับ 5210 วัตต์ [2] ดังนั้นในการออกแบบและสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าจึงต้องทำการออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนด และได้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีต้นทุนวัสดุต่ำ และมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์ [7]

ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า มีขั้นตอนหลักในการออกแบบคือ ออกแบบแกนเหล็กของหม้อแปลง ออกแบบขดลวดและฉนวนของขดลวดแรงดันต่ำและแรงดันสูง คำนวณคุณสมบัติของหม้อแปลง และออกแบบตัวถังและครีบระบายความร้อน รายละเอียดของขั้นตอนการออกแบบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะแสดงผลการออกแบบหม้อแปลงที่มีการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม และมีการติดตั้งในระบบจำหน่ายจำนวนมาก หม้อแปลง 3 Phase 50 Hz 22000-416/240V Dyn11 ขนาด 250 kVA และ 500 kVA ตามข้อกำหนดใหม่ [2] และหม้อแปลง 3 Phase 50 Hz 22000-400/230 V ขนาด 500 kVA ตามข้อกำหนดเดิม [6] ในการวิเคราะห์ได้ทำการออกแบบหม้อแปลงขนาดดังกล่าวให้มีค่าความสูญเสียที่แตกต่างกัน โดยปรับเปลี่ยนวัตถุดิบหลักคือแกนเหล็กและลวดตัวนำ ดังนั้นถ้าพิจารณาพารามิเตอร์ระหว่างต้นทุนวัตถุดิบหลัก กับค่าความสูญเสียสำหรับการออกแบบหม้อแปลงสามารถพิจารณาหาจุดที่เหมาะสมได้ ซึ่งจะส่งผลให้มีต้นทุนวัตถุดิบต่ำและหม้อแปลงมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบหม้อแปลงให้มีค่าต้นทุนวัตถุดิบและค่าความสูญเสียที่ดีและเหมาะสมสำหรับการออกแบบหม้อแปลงในแต่ละแบบ (Design A - H) จำนวน 8 แบบ สามารถพิจารณาเป็นค่าเปอร์เซนต์โดยเทียบกับแบบมาตรฐาน ซึ่งมีต้นทุนวัตถุดิบต่ำที่สุด โดยกำหนดให้แบบมาตรฐานมีค่าราคาต้นทุนและค่าความสูญเสียเป็น 100% ผลการออกแบบแสดงได้ดังตารางที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของต้นทุนวัตถุดิบหลัก ค่าความสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 250 kVA (ข้อกำหนดใหม่) ที่ออกแบบในลักษณะต่าง ๆ

Design	Cost (%)	Total Loss (%)	Efficiency (%)	Total loss (W)
A	127.26	93.97	98.87	2855.35
B	121.83	95.31	98.85	2896.11
C	115.11	96.21	98.84	2923.18
D	109.85	97.96	98.82	2976.62
E	103.50	98.82	98.81	3002.70
F	**100.00**	**100.00**	**98.80**	**3038.50**
G	102.32	100.78	98.79	3062.36
H	105.21	101.96	98.78	3098.18

หมายเหตุ: Design F คือ แบบมาตรฐานมีค่าราคาต้นทุนและค่าความสูญเสียเป็น 100 %

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของต้นทุนวัตถุดิบหลัก ค่าความสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่าย 500 kVA (ข้อกำหนดใหม่) ที่ออกแบบในลักษณะต่าง ๆ

Design	Cost (%)	Total Loss (%)	Efficiency (%)	Total loss (W)
A	129.66	95.52	99.04	4868.70
B	123.49	96.58	99.03	4922.72
C	116.93	97.51	99.02	4970.18
D	108.87	98.56	99.01	5023.80
E	105.32	99.31	99.00	5062.12
F	**100.00**	**100.00**	**98.99**	**5097.16**
G	102.93	101.21	98.98	5158.91
H	107.71	101.94	98.97	5196.22

หมายเหตุ: Design F คือ แบบมาตรฐานมีค่าราคาต้นทุนและค่าความสูญเสียเป็น 100 %

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของต้นทุนวัตถุดิบหลัก ค่าความสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่าย 500 kVA (ข้อกำหนดเดิม) ที่ออกแบบในลักษณะต่าง ๆ

Design	Cost (%)	Total Loss (%)	Efficiency (%)	Total loss (W)
A	129.18	95.35	98.92	5436.40
B	123.27	95.85	98.92	5464.50
C	117.51	96.81	98.91	5519.50
D	109.38	97.30	98.90	5547.60
E	104.61	99.06	98.88	5647.50
F	**100.00**	**100.00**	**98.87**	**5701.30**
G	103.28	100.97	98.86	5756.60
H	106.86	101.50	98.86	5787.10

หมายเหตุ: Design F คือ แบบมาตรฐานมีค่าราคาต้นทุนและค่าความสูญเสียเป็น 100 %

จากตารางที่ 1, 2 และ 3 Design A ถึง H เป็นการออกแบบหม้อแปลงที่ดีที่สุดที่ค่าความสูญเสียและต้นทุนวัตถุดิบหลักที่แตกต่างกัน โดยหม้อแปลงมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกัน ในงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบที่ดีและเหมาะสมจะทำให้ได้หม้อแปลงที่มี

ค่าความสูญเสียต่ำ และมีต้นทุนวัสดุต่ำที่สุด การออกแบบที่มีค่าความสูญเสียมากไม่ได้แสดงว่าจะมีต้นทุนวัสดุต่ำที่สุด ราคาต้นทุนวัตถุดิบหลัก (Cost) จากตารางที่ 1, 2 และ 3 ได้จากการออกแบบหม้อแปลงที่ค่าความสูญเสียต่าง ๆ กัน โดยคำนวณราคาต้นทุนจากวัสดุหลักที่ใช้ในการสร้างหม้อแปลงคือ แกนเหล็กซิลิคอน, ลวดตัวนำ, น้ำมันฉนวน (insulating oil) และกระดาษฉนวน ค่าต้นทุนวัตถุดิบหลักของหม้อแปลงจะลดลงเมื่อค่าความสูญเสียเพิ่มขึ้น จนกระทั่งค่าความสูญเสียมีค่าใกล้เคียงกับ Design F โดย Design F คือ หม้อแปลงที่ออกแบบให้มีราคาต่ำต้นทุนที่สุด ถ้าพิจารณา Design G และ H จะเห็นว่ามีค่าความสูญเสียมากกว่า Design F แต่จะมีต้นทุนที่สูงกว่าโดย Design H จะมีค่าความสูญเสียใกล้เคียงกับข้อกำหนดมากที่สุด ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าการออกแบบให้มีค่าความสูญเสียมาก หรือใกล้เคียงกับค่าความสูญเสียตามข้อกำหนดมากที่สุดอาจจะไม่ทำให้มีต้นทุนวัตถุดิบต่ำที่สุด พารามิเตอร์ที่ทำให้ต้นทุนวัตถุดิบเปลี่ยนแปลงไปก็คือแกนเหล็กและลวดตัวนำ ถ้าพิจารณาสมการพื้นฐานของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในชุดขดลวดดังสมการที่ 3 [7]

$$E = 4.44fNAB_m \tag{3}$$

โดยที่ E คือ แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (volt)

f คือ ความถี่ (Hz)

N คือ จำนวนรอบของขดลวด (Turn)

A คือ พื้นที่หน้าตัดสุทธิของแกนเหล็ก (m^2)

B_m คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Tesla)

จากสมการที่ 3 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในชุดขดลวดคือ พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กซิลิคอน จำนวนรอบของขดลวด และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก โดยพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวนี้จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของหม้อแปลง ดังนั้นในการออกแบบอย่างเหมาะสม จะต้องทำการปรับตัวแปรดังกล่าวให้มีความสัมพันธ์กันซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ของการออกแบบที่เหมาะสม (Optimum) มากที่สุด มีต้นทุนวัสดุต่ำที่สุด

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบหม้อแปลงตัวอย่างที่ผลิตตามแบบมาตรฐาน (Design F) ที่มีต้นทุนวัสดุต่ำที่สุด ในการทดสอบจะทำการทดสอบประจำ (Routine test) และทดสอบอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันและขดลวดของหม้อแปลงผลการทดสอบหม้อแปลงทั้งสามเครื่องมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด [2, 6-10] สำหรับตารางที่ 5 แสดงเปอร์เซนต์ความสูญเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดตั้งแต่ 0-100% [2, 6, 8-11]

ตารางที่ 4 คุณสมบัติและผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่พิกัดโหลดของแบบมาตรฐาน

คุณสมบัติหม้อแปลงไฟฟ้า	250 kVA Design F ข้อกำหนดใหม่	500 kVA Design F ข้อกำหนดใหม่	500 kVA Design F ข้อกำหนดเดิม
High voltage (V)	22000	22000	22000
Low Voltage (V)	416/240	416/240	400/230
HV. Current (A)	6.560	13.12	13.12
LV. current (A)	360.84	693.93	721.69
Vector Group	Dyn 11	Dyn 11	Dyn 11
No Load Loss (W)	351.20	581.96	832.80
Load Loss (W)	2678.30	4515.20	4868.50
Total Loss (W)	3038.50	5097.16	5701.30
Short circuit impedance (%)	4.05	6.48	6.35
Voltage regulation (%)	1.16	1.10	1.16
Efficiency (%)	98.80	98.99	98.87
HV. Winding temp. rise (^{o}C)	51.35	50.90	53.60
LV. Winding temp. rise (^{o}C)	52.12	51.30	53.90
Top oil temp. rise (^{o}C)	43.80	43.00	44.00

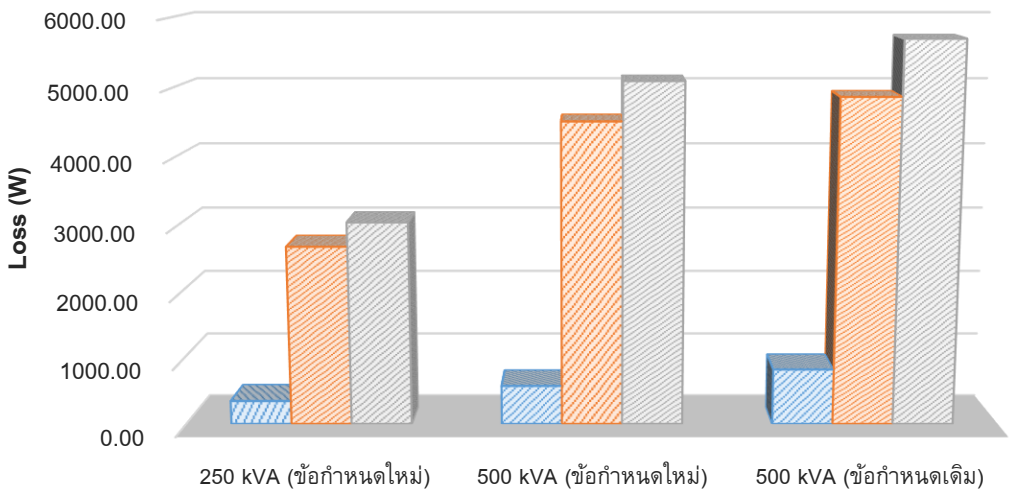
ตารางที่ 5 เปอร์เซนต์ความสูญเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดตั้งแต่ **0-100%** ของหม้อแปลง **Design F** ได้จากการทดสอบ

% Load Loss	% Load Loss ที่เพิ่มขึ้น		
	250 kVA ข้อกำหนดใหม่	500 kVA ข้อกำหนดใหม่	500 kVA ข้อกำหนดเดิม
0	0.00	0.00	0.00
10	100.00	100.00	100.00
20	300.00	300.00	300.00
30	125.00	125.00	125.00

ตารางที่ 5 เปอร์เซนต์ความสูญเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดตั้งแต่ 0-100% ของหม้อแปลง Design F ได้จากการทดสอบ (ต่อ)

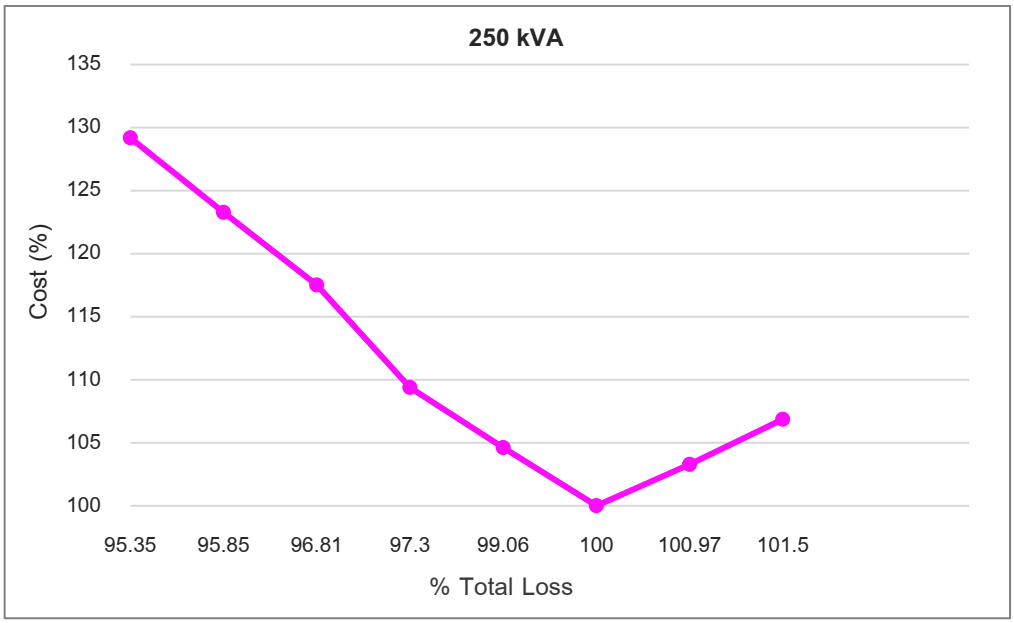
% Load Loss	% Load Loss ที่เพิ่มขึ้น		
	250 kVA ข้อกำหนดใหม่	500 kVA ข้อกำหนดใหม่	500 kVA ข้อกำหนดเดิม
40	77.78	77.78	77.78
50	56.25	56.25	56.25
60	44.00	44.00	44.00
70	36.11	36.11	36.11
80	30.61	30.61	30.61
90	26.56	26.56	26.56
100	23.46	23.46	23.46

จากตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบหม้อแปลงตัวอย่างที่สร้างจาก Design F โดยทำการทดสอบหาค่าความสูญเสียขณะจ่ายโหลดตั้งแต่ 0-100 % ของพิกัดโหลด จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดมากขึ้นจะทำให้มีค่าความสูญเสียเพิ่มสูงขึ้น ถ้าต้องการให้หม้อแปลงจ่ายโหลดโดยมีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถคำนวณหาเปอร์เซนต์โหลดได้ดังสมการที่ 1 จากหม้อแปลงตัวอย่างในงานวิจัยนี้หม้อแปลงจะทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด หม้อแปลง 250 kVA จะจ่ายโหลดประมาณ 36.21% หม้อแปลง 500 kVA (ข้อกำหนดใหม่) จ่ายโหลดประมาณ 35.90 % และหม้อแปลง 500 kVA (ข้อกำหนดเดิม) จ่ายโหลดประมาณ 41.36% รูปที่ 2, 3 และ 4 จะแสดงผลการทดสอบและเปรียบเทียบหม้อแปลงตัวอย่างโดยรูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดที่พิกัดทั้งสามขนาด รูปที่ 3, 4 และ 5 แสดงการเปรียบเทียบราคาต้นทุนวัสดุกับค่าความสูญเสียของหม้อแปลง Design A ถึง H ของหม้อแปลงทั้งสามขนาด และรูปที่ 6, 7 และ 8 แสดงผลการทดสอบค่า Load Loss ที่เปอร์เซนต์โหลดต่าง ๆ ของหม้อแปลงตัวอย่าง

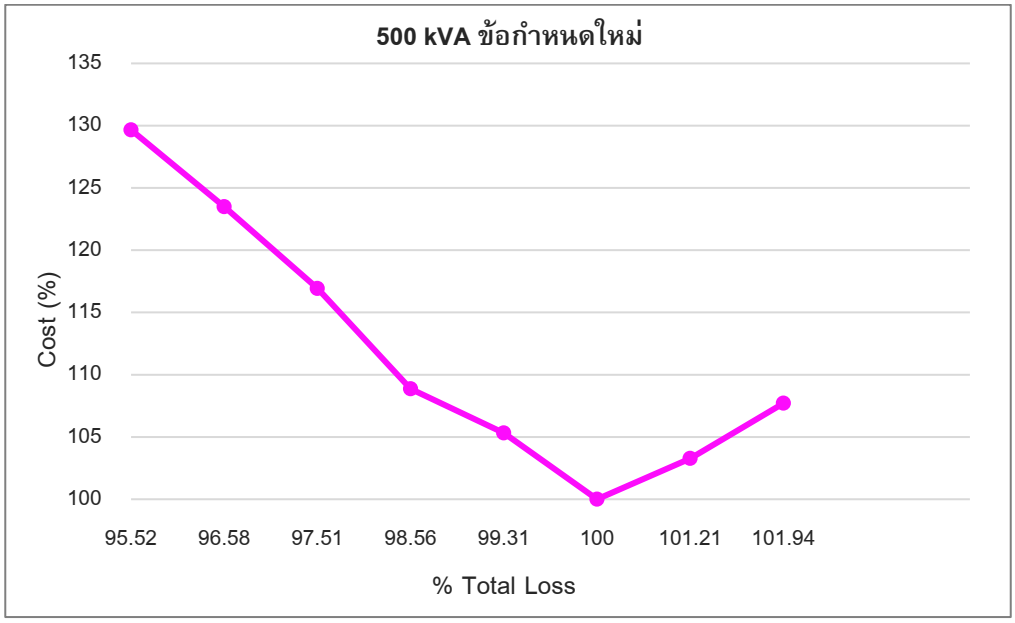


	250 kVA (ข้อกำหนดใหม่)	500 kVA (ข้อกำหนดใหม่)	500 kVA (ข้อกำหนดเดิม)
No load loss (W)	351.20	581.96	832.80
Load loss (W)	2678.30	4515.20	4868.50
Total loss (W)	3038.50	5097.16	5701.30

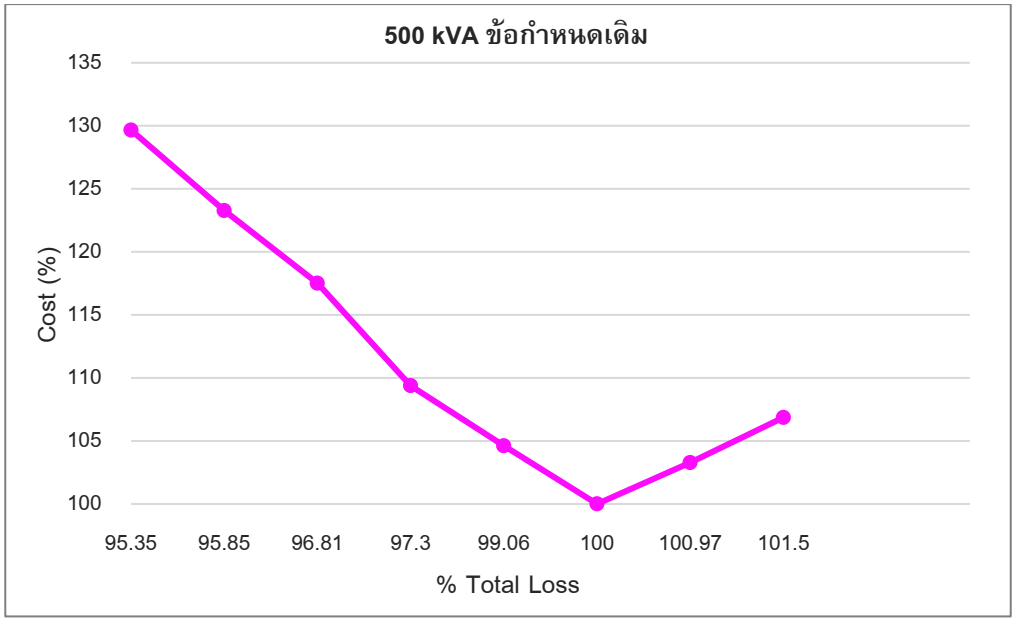
รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าความสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดที่พิกัด



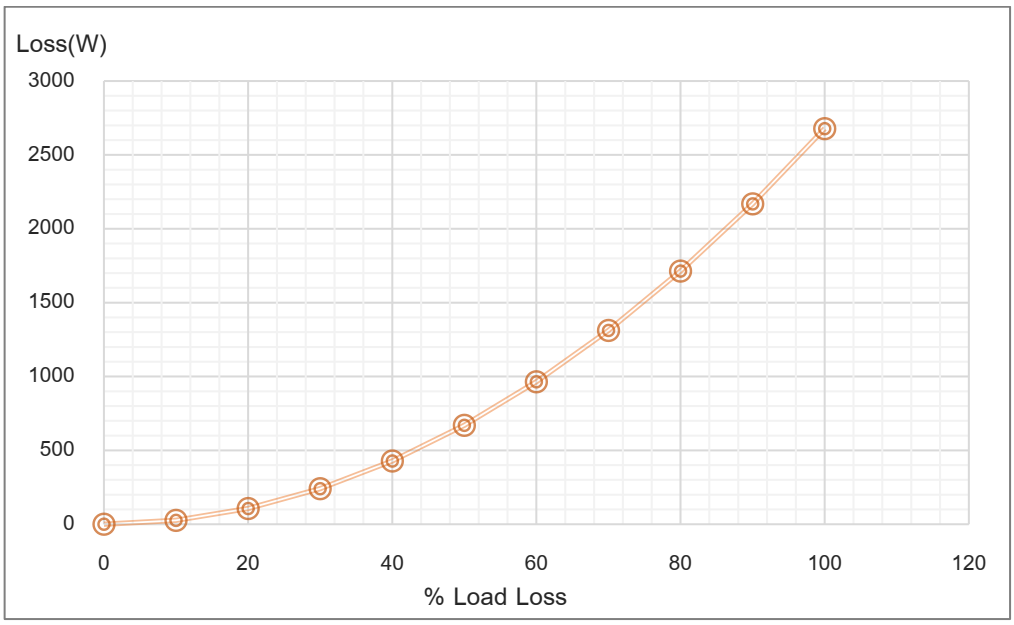
รูปที่ 3 เปรียบเทียบราคาต้นทุนวัสดุกับค่าความสูญเสียของหม้อแปลง Design A - H ขนาด 250 kVA



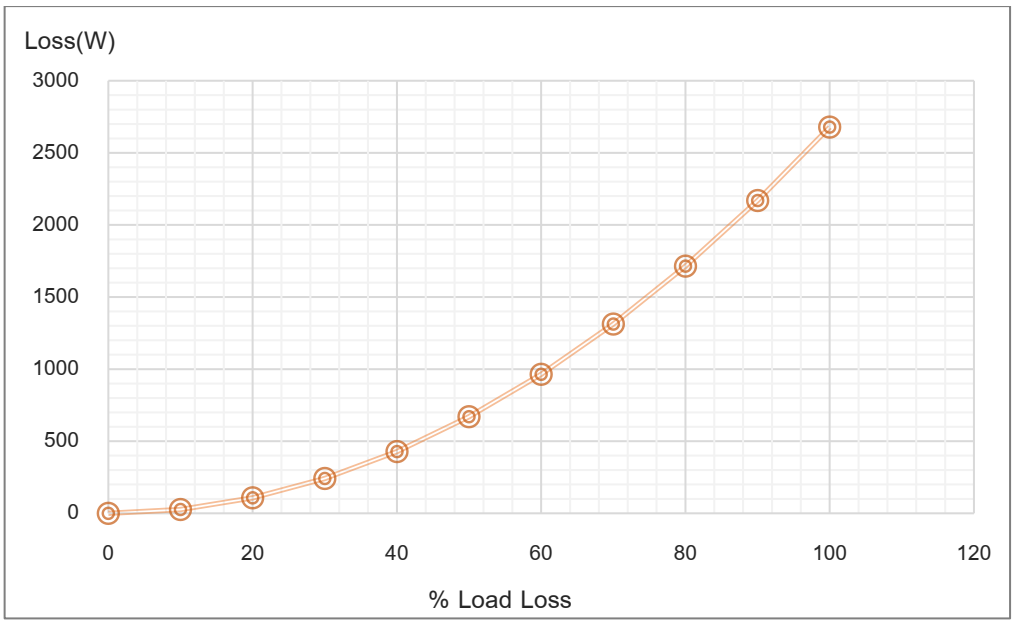
รูปที่ 4 เปรียบเทียบราคาต้นทุนวัสดุกับค่าความสูญเสียของหม้อแปลง **Design A - H** ขนาด **500 kVA** ข้อกำหนดใหม่



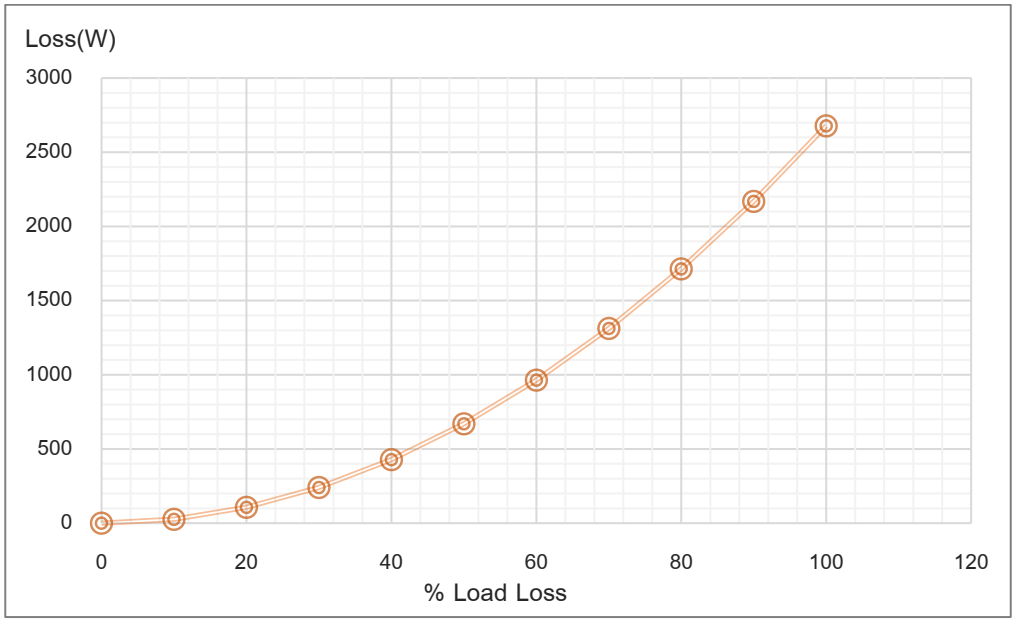
รูปที่ 5 เปรียบเทียบราคาต้นทุนวัสดุกับค่าความสูญเสียของหม้อแปลง **Design A - H** ขนาด **500 kVA** ข้อกำหนดเดิม



รูปที่ 6 ผลการทดสอบ **Load Loss** ที่เปอร์เซนต์โหลดต่าง ๆ ของหม้อแปลง **250 kVA (ข้อกำหนดใหม่)**



รูปที่ 7 ผลการทดสอบ **Load Loss** ที่เปอร์เซนต์โหลดต่าง ๆ ของหม้อแปลง **500 kVA (ข้อกำหนดใหม่)**



รูปที่ 8 ผลการทดสอบ Load Loss ที่เปอร์เซนต์โหลดต่าง ๆ ของหม้อแปลง 500 kVA (ข้อกำหนดเดิม)

4. สรุป

จากตัวอย่างที่ศึกษาดังตารางที่ 1, 2 และ 3 จะเห็นว่าการออกแบบที่เหมาะสมจะทำให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพที่ดี มีค่าความสูญเสียต่ำและมีต้นทุนวัสดุต่ำ ผู้ออกแบบสามารถทำการพิจารณาผลลัพธ์ของการออกแบบโดยทำการเลือกวัสดุและปรับปรุงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้มีค่าที่เหมาะสมก็จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้มาก การออกแบบหม้อแปลงให้มีค่าความสูญเสียต่ำส่งผลให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น มีค่า Regulation ต่ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าลงได้

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่พิกัดโหลดของแบบมาตรฐาน (Design F) ของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 3 ขนาด มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด [2, 6] จากตารางที่ 5 เมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความสูญเสียเพิ่มขึ้นสูงมาก ถ้ามีการวางแผนการจ่ายโหลดของหม้อแปลง ก็จะทำให้สามารถลดค่าพลังงานสูญเสียลงได้มากและยังช่วยให้หม้อแปลงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงลดลง ค่าความสูญเสียของหม้อแปลงจ่ายโหลดที่เปอร์เซนต์ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 6, 7 และ 8 ปริมาณของเปอร์เซนต์โหลดที่เหมาะสมที่ทำให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพสูงสุด คำนวณได้จากสมการที่ 1 โดยจะมีค่าเปอร์เซนต์โหลดประมาณ 35-42 % และยังทำให้สามารถลดค่าพลังงานสูญเสียลงได้อีกทางหนึ่ง ทำให้

หม้อแปลงทำงานต่ำกว่าพิกัดโหลดโดยจะส่งผลดีคือทำให้หม้อแปลงมีอุณหภูมิขณะทำงานต่ำ ทำให้ฉนวนที่ส่วนต่าง ๆ และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ของหม้อแปลงมีอายุการใช้งานยาวนานยิ่งขึ้น และยังมีการเผื่อโหลดสำหรับอนาคตได้ด้วย

เมื่อพิจารณาการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าดังตัวอย่างประกอบการพิจารณา เช่น ถ้ามีโหลด 420 kVA

(1) ถ้าเลือกหม้อแปลง 250 kVA จำนวนสองเครื่องจะจ่ายโหลดประมาณ 84 % ของพิกัด (จ่ายโหลดเครื่องละ 210 kVA)

(2) ถ้าเลือกหม้อแปลง 500 kVA จำนวนหนึ่งเครื่องจะจ่ายโหลดประมาณ 84 % ของพิกัด

ดังนั้นสามารถพิจารณาค่าความสูญเสีย และประสิทธิภาพของหม้อแปลงแต่ละเครื่อง เมื่อจ่ายโหลดประมาณ 84% ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าความสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลง 500 kVA และ 250 kVA เมื่อจ่ายโหลด 84% ของพิกัด

รายการ	500 kVA (ข้อกำหนดเดิม)	500 kVA (ข้อกำหนดใหม่)	250 kVA (แต่ละเครื่อง)
No-load loss (W)	832.80	581.96	351.20
Load loss (W)	3435.21	3185.93	1889.81
Total loss (W)	4268.01	3767.89	2241.01
Efficiency (%)	99.15	99.25	99.11

การจ่ายโหลดของหม้อแปลงที่ต่ำกว่าพิกัดทำให้ความสูญเสียขณะจ่ายโหลดมีค่าลดลง ดังผลการทดสอบหม้อแปลงในรูปที่ 6-8 และตารางที่ 6 การคำนวณหาความสูญเสียที่เปอร์เซนต์ต่าง ๆ ขณะหม้อแปลงจ่ายโหลดสามารถหาได้ดังสมการที่ 4 [4]

$$Loss_{\%Load} = (\%Load)^2 \times Loss_{Rated} \quad (4)$$

โดยที่ $Loss_{\%Load}$ คือ ความสูญเสียขณะจ่ายโหลดที่เปอร์เซนต์ต่างๆ ของหม้อแปลง (วัตต์)

$\%Load$ คือ เปอร์เซนต์การจ่ายโหลดของหม้อแปลง (%)

$Loss_{Rated}$ คือ ความสูญเสียขณะจ่ายโหลดที่พิกัดของหม้อแปลง (วัตต์)

จากการเปรียบเทียบดังตารางที่ 6 พบว่าค่าความสูญเสียของหม้อแปลง 250 kVA จำนวนสองเครื่องจะมีค่าสูงกว่า 500 kVA เครื่องเดียว ทั้งข้อกำหนดเดิมและข้อกำหนดใหม่ จากหลักการที่

นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้หม้อแปลงให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดยจะส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายในการลงทุน ลดค่าความสูญเสียได้มากยิ่งขึ้น

จากผลการศึกษาวิเคราะห์นี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหม้อแปลงที่ขนาดพิกัดอื่น ๆ ได้และยังสามารถศึกษาวิจัยต่อไปได้ในเรื่องของการกำหนดโหลดในการใช้งานของหม้อแปลงก็จะสามารถลดค่าพลังงานสูญเสียลงได้อีกทางหนึ่ง และยังเป็นการยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงให้ยาวนานมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมและบำรุงรักษาหม้อแปลงและยังช่วยให้ระบบจำหน่ายมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทพงษ์พิมานการไฟฟ้า จำกัด และบริษัท ที.ดี.ทรานสฟอร์เมอร์ จำกัด ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

References

[1] Suechoey B, Siriporananon S, Wannaraj O. Impact analysis of a solar rooftop with batteries installed on the roof of an organic fertilizer plant. Kasem Bundit Engineering Journal 2022;12(2):51-66. (In Thai)

[2] Provincial Electricity Authority of Thailand (PEA). Three-phase transformer for 22 kV and 33 kV distribution systems with ability to withstand short circuit, specification no. RTRN035/2561. Bangkok, Thailand: Provincial Electricity Authority Thailand; 2018. (In Thai)

[3] Suechoey B. Analysis and design of distribution transformer for short circuit withstand capability. Kasem Bundit Engineering Journal 2019;9(1):120-35. (In Thai)

[4] Suechoey B. Estimating the economically optimal size of distribution transformer to suitable the load and reduce electrical power losses. Kasem Bundit Engineering Journal 2024;14(1):48-61. (In Thai)

[5] Dawood K, Cakir MA, Komurgoz G, Tursun S. Cost analysis and economic factors in transformer design and production. Proceedings of the 8th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM); 2024 Nov 21-22; Medan, Indonesia. p. 303-7.

[6] Provincial Electricity Authority of Thailand (PEA). Three-phase transformer for 22 kV and 33 kV distribution systems with ability to withstand short circuit, specification no. RTRN035/2558. Bangkok, Thailand: Provincial Electricity Authority Thailand; 2015. (In Thai)

[7] Suechoey B. Design and use of distribution transformer. 8th ed. Bangkok, Thailand: Southeast Asia University; 2020. (In Thai)

[8] International Electrotechnical Commission. IEC60076-1. Power transformer part 1: General. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission; 2011.

[9] International Electrotechnical Commission. IEC60076-2. Power transformer part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission; 2011.

[10] Suechoey B, Siriporananon S, Petchjarern N. Using artificial neural networks to analyze power losses of distribution transformer under normal load and over load conditions. Kasem Bundit Engineering Journal 2024;14(2):166-83. (In Thai)

[11] Suechoey B, Siriporananon S. Power losses analysis in 3 phase distribution transformer in normal load and over load condition using artificial neural networks technique. Srinakarinwirot University Journal of Science and Technology 2023;15(29):249768. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ

บุญเลิศ สื่อเฉย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160 เบอร์โทรศัพท์ 02-8074500 ต่อ 312 E-mail: tdlert@hotmail.com

Article History:

Received: February 14, 2025

Revised: April 23, 2025

Accepted: April 24, 2025

การบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลที่มีการปนเปื้อนยาปฏิชีวนะโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

TREATING HOSPITAL WASTEWATER CONTAMINATED WITH ANTIBIOTICS USING MEMBRANE BIOREACTOR (MBR) SYSTEM

นิติวิศว์ แตงไทย[1] กฤษณะ จิรสารสวัสดิ์[2] และ สิริลักษณ์ ประเสริฐกุลศักดิ์[3*]
[1,2,3*]อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
217 ถนนนนทบุรี ตำบลสวนใหญ่ อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000,
[1]nitiwis.t@rmutsb.ac.th, [2]kridsana.j@rmutsb.ac.th, [3*]sirilak.b@rmutsb.ac.th

Nitiwis Taengthai[1], Kridsana Jirasansawat[2] and Sirilak Prasertkulsak[3*]
[1,2,3*]Lecturer, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,
217 Nonthaburi Road, Suan Yai Subdistrict, Mueang Nonthaburi District,
Nonthaburi 11000, Thailand,
[1]nitiwis.t@rmutsb.ac.th, [2]kridsana.j@rmutsb.ac.th, [3*]sirilak.b@rmutsb.ac.th

** ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding author)*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดยาปฏิชีวนะจากน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน โดยเดินระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 ชั่วโมง ทำการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ความเข้มข้นที่ 4 และ 6 g/L เริ่มเดินระบบเมื่อตะกอนจุลินทรีย์บำบัดน้ำเสียได้ค่าเสถียร แต่ละการทดลองใช้เวลาในการเดินระบบประมาณ 60 วัน ผลการทดลองพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 6 g/L สามารถบำบัดยาปฏิชีวนะได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 4 g/L โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 4 g/L สามารถบำบัด Lincomycin และ Trimethoprim ได้ 100% ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัด Clarithromycin, Ciprofloxacin และ Norfloxacin ได้ระหว่าง 17.0-57.0% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เป็น 6 g/L สามารถบำบัด Lincomycin, Erythromycin และ Trimethoprim ได้ 100% ขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัด Norfloxacin, Ofloxacin, Levofloxacin และ Doxycycline ได้ระหว่าง 42.0-53.3% อย่างไรก็ตาม

ระบบไม่สามารถกำจัด Ampicillin และ Sulfamethoxazole ได้ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 4 และ 6 g/L ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

คำสำคัญ: ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน, ยาปฏิชีวนะ, น้ำเสียโรงพยาบาล

ABSTRACT

This research investigated the efficiency of antibiotic removal from hospital wastewater using a membrane bioreactor system. The system was operated with a hydraulic retention time of 3 hours, comparing microbial sludge concentrations of 4 g/L and 6 g/L. The system was initiated once the microbial sludge reached a stable treatment state, with each experiment running for approximately 60 days. The results showed that a higher microbial sludge concentration (6 g/L) exhibited superior antibiotic removal efficiency compared to a concentration of 4 g/L. At the concentration of 4 g/L, the system achieved 100% removal of lincomycin and trimethoprim, while clarithromycin, ciprofloxacin, and norfloxacin removal efficiencies ranged between 17.0% and 57.0%. Increasing the microbial sludge concentration to 6 g/L resulted in 100% removal of lincomycin, erythromycin, and trimethoprim, while the removal efficiencies for norfloxacin, ofloxacin, levofloxacin, and doxycycline ranged between 42.0% and 53.3%. However, the system was unable to eliminate ampicillin and sulfamethoxazole at both sludge concentrations (4 and 6 g/L). These findings indicate that microbial sludge concentration significantly influences antibiotic removal efficiency and can be utilized to optimize hospital wastewater treatment systems for improved performance.

KEYWORDS: Antibiotics, Hospital Wastewater, Membrane bioreactor

1. บทนำ

ปัจจุบันยาปฏิชีวนะถูกใช้อย่างแพร่หลายเพื่อใช้ในการรักษาโรคทั่วไปเนื่องจากช่วยยับยั้งหรือลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อย่างไรก็ตามการใช้และการกำจัดยาปฏิชีวนะได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากแบคทีเรียและยาปฏิชีวนะเกิดการสัมผัสและแพร่กระจายส่งผลให้เกิดการดื้อต่อยาปฏิชีวนะในสิ่งแวดล้อมได้ [1] งานวิจัยมากมายยืนยันว่าโรงพยาบาลยังคงปล่อยของเสียที่มียาปฏิชีวนะโดยไม่ผ่านการบำบัดหรือบำบัดอย่างไม่เหมาะสมลงสู่ระบบนิเวศทางน้ำโดยรอบ [2] หากไม่ได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสม ยาปฏิชีวนะที่ตกค้างก็สามารถซึมเข้าสู่น้ำผิวดิน น้ำบาดาล

ตะกอน ฯลฯ ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและเพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ [3] ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ยังไม่ค่อยมีการศึกษาเกี่ยวกับยาปฏิชีวนะที่ตกค้างในน้ำเสียของโรงพยาบาล [4] ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีอัตราการบริโภคยาปฏิชีวนะค่อนข้างสูง [4, 5] ทำให้มีนักวิจัยเริ่มศึกษาเกี่ยวกับยาปฏิชีวนะที่ปนเปื้อนในน้ำเสียโรงพยาบาล Chiemchaisri et al [6] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดยาปฏิชีวนะ 19 ชนิดในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลขนาดต่างๆ 60 แห่งทั่วประเทศไทย พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดยาปฏิชีวนะทั้งหมด (79-84%) ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบบำบัดน้ำเสีย ยาปฏิชีวนะที่พบในปริมาณสูง ได้แก่ amoxicillin, ciprofloxacin, tetracycline, ampicillin และ norfloxacin ตามลำดับ โดย amoxicillin และ ampicillin ถูกกำจัดได้สูง (90-99%) ในระบบบำบัดน้ำเสียทุกขนาด เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการบำบัด เช่น ระบบตะกอนเร่ง (CAS) ระบบคลองวนเวียน (OD) และระบบเอสบีอาร์ (SBR) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดยาปฏิชีวนะโดยรวมไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยระบบจุลชีพแบบเกาะผิวตัวกลาง เช่น ระบบบำบัดแบบฟิล์มตรึงจมอยู่ใต้น้ำ ให้ประสิทธิภาพการกำจัดยาปฏิชีวนะที่ค่อนข้างต่ำ ระบบบำบัดด้วยกระบวนการทางธรรมชาติสามารถย่อยสลายยาปฏิชีวนะที่ตกค้างบางชนิดได้ เช่น fluoroquinolones, sulfamethoxazole และ trimethoprim ได้ การเติมคลอรีนช่วยกำจัดยาปฏิชีวนะบางชนิดได้เพิ่มขึ้น เช่น amoxicillin และ ampicillin เป็นต้น ซึ่งยาปฏิชีวนะห้าอันดับแรกที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำผ่านทางน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมา ได้แก่ amoxicillin, tetracycline, ampicillin, ciprofloxacin และ Imipenem ตามลำดับ

ในน้ำเสียชุมชน น้ำเสียโรงพยาบาลเป็นแหล่งสำคัญของการปนเปื้อนของยาปฏิชีวนะ [2, 7] โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียของโรงพยาบาลประกอบด้วยไวรัส/แบคทีเรีย จุลินทรีย์ก่อโรค กลุ่มยาปฏิชีวนะ, ยาที่ถูกเปลี่ยนแปลงไปบางส่วน สารประกอบอินทรีย์ ธาตุกัมมันตภาพรังสี และไอออนต่าง ๆ [8-10] ดังนั้นโรงบำบัดน้ำเสียแบบรวมจะได้รับน้ำเสียที่มียาปฏิชีวนะ หากไม่ย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ ยาปฏิชีวนะจะตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมของน้ำผ่านทางน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาในแต่ละวัน แม้ว่าระดับการปล่อยยาปฏิชีวนะจะต่ำมากเมื่อเทียบกับมลพิษหลัก แต่ยาปฏิชีวนะบางชนิด เช่น azithromycin และ ciprofloxacin อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบางชนิดในสิ่งแวดล้อม [7, 11, 12] ส่วนผสมของยาปฏิชีวนะที่ตกค้างในระดับนาโนกรัมถึงไมโครกรัมในน้ำเสียของโรงพยาบาลอาจขัดขวางการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดในน้ำผิวดิน เช่น หอยแมลงภู่น้ำจืด (*Elliptio complanata*) [12] ไมโครครัสเตเชียน (*Moina macrocopa*) และสาหร่ายน้ำจืด (*Chlorella vulgaris* และ *Scenedesmus quadricauda*) รวมถึงตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย [13]

โดยทั่วไปน้ำเสียในโรงพยาบาลจะใช้กระบวนการทางชีววิทยาในการบำบัด เนื่องจากคุณสมบัติพื้นฐานคล้ายคลึงกับน้ำเสียในครัวเรือน ยาปฏิชีวนะหลายชนิดยังคงมีตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในระดับสูงหลังการบำบัดผ่านการดูดซับ [14] เมื่อไม่นานมานี้มีการสำรวจการประยุกต์ใช้

กระบวนการทางชีววิทยาขั้นสูง เช่น ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเมมเบรน [5, 15] รวมถึงการเพิ่มกระบวนการบำบัด [16, 17] เพื่อเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพของยาปฏิชีวนะในการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล การแยกสารด้วยเมมเบรนเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงในการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลเนื่องจากใช้พลังงานค่อนข้างต่ำ, ง่ายความสามารถในการปรับขนาดและด้านเศรษฐศาสตร์ [18, 19] เมมเบรนถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียเพื่อแยกสารปนเปื้อน (เช่น แบคทีเรีย และโปรโตซัว) หรือไอออน [20-22] ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเมมเบรน (MBR) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกระบวนการตะกอนเร่งและการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน/อัลตราฟิลเตรชันการกรองเมมเบรน (UF/MF) สำหรับการบำบัดน้ำเสียและการรีไซเคิล เมื่อเปรียบเทียบกับการเปิดใช้งานทั่วไประบบบำบัดตะกอน ถังตกตะกอนขั้นที่สอง และระบบกรองทรายถูกแทนที่ด้วยเมมเบรน UF/MF ในกระบวนการ MBR แบบคลาสสิก MBR จะกำจัดไวรัสจากน้ำเสียผ่านกลไกแบบผสมผสานได้แก่ การกำจัดอนุภาค การดูดซับ และการทำให้ไม่สามารถออกฤทธิ์จากกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา [23] ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยี MBR แสดงให้เห็นความคุ้มค่าด้วยประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและพลังงานต่ำการบริโภค [24] ซึ่งเป็นวิธีการขั้นสูงในการแยกสารผสมปนเปื้อนที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและจุลินทรีย์ก่อโรคจากน้ำเสีย [25] งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดยาปฏิชีวนะด้วยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่แตกต่างกัน ซึ่งจะช่วยในการปรับสภาวะการเดินระบบ MBR ให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดยาปฏิชีวนะเพิ่มมากขึ้น

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดนนทบุรี ซึ่งมีระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียนที่รับน้ำเสียจากอาคารผู้ป่วยและโรงอาหารคิดเป็นอัตราการรับน้ำเสียประมาณ ประมาณ 100 m^3/d ลักษณะสมบัติของน้ำเสียโรงพยาบาลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียโรงพยาบาล

Parameter	Wastewater Quality
pH ที่ 25 °C	6.8±0.07
BOD (mg/L)	241±18.25
COD (mg/L)	455±91.02
TKN (mg/L)	38±15.59
NH_3-N (mgN/L)	31±8.72

ตารางที่ 1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียโรงพยาบาล (ต่อ)

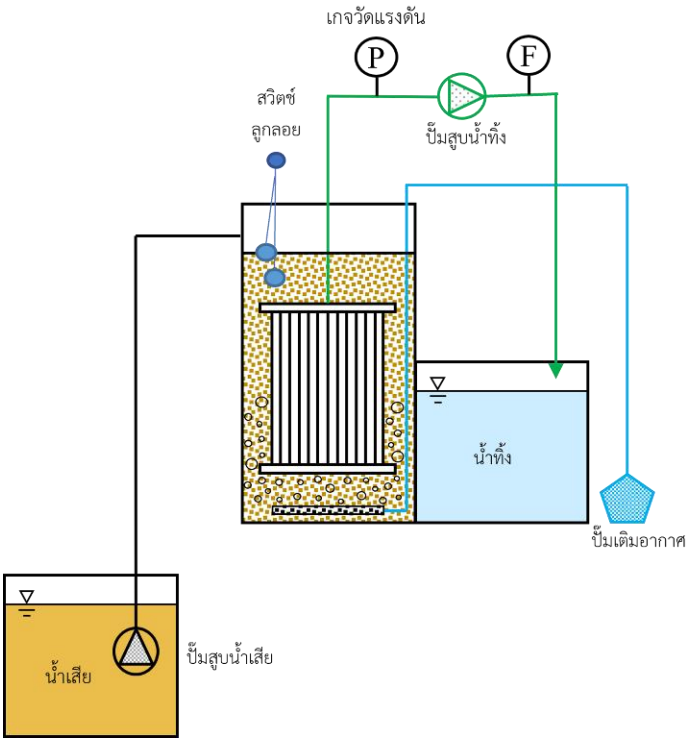
Parameter	Wastewater Quality
NO_2-N (mgN/L)	0.048±0.02
NO_3-N (mgN/L)	0.4±0.2
Total Phosphate (mg/L)	11.5±2.4
TSS (mg/L)	118±114
TS (mg/L)	723±245

หมายเหตุ: จำนวนตัวอย่างทั้งหมด เท่ากับ 8 ตัวอย่าง (n = 8)

2.2 ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนและการเดินระบบ

ทำการติดตั้งระบบ MBR ระดับภาคสนาม ไว้ที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล โดยถัง MBR มีขนาดกว้าง 0.8 m ยาว 1.0 m และสูง 1.6 m ตามลำดับ ปริมาตรถังในการเดินระบบเท่ากับ 1.2 m^3 ปริมาตรถังพักน้ำทิ้งขนาด 0.5 m^3 ติดตั้งไว้ข้างถัง (รูปที่ 1) ระบบ MBR ได้ติดตั้งระบบ PLC เพื่อควบคุมการเดินระบบ เติมอากาศด้วยปั๊มเติมอากาศขนาด 100 L/min โดยกำหนดระยะเวลาการเติมอาการศ 7 min หยุดเติมอากาศ 1 min ในถัง MBR จะติดตั้งเมมเบรนแบบ Hollow Fibre ด้วยวัสดุ Polyvinylidene Fluoride (PVDF) จำนวน 2 แผ่น แต่ละแผ่นมีขนาดพื้นที่ผิวการกรอง 6 m^2 มีขนาดรูพรุนเท่ากับ 0.4 micron ในการศึกษาครั้งนี้ออกแบบอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 400 L/h ได้อัตราการกรองของเมมเบรนเท่ากับ 33 L/m^2.h ระยะเวลาเก็บกักที่ 3 h ช่วงเริ่มต้นการเดินระบบได้นำตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลซึ่งเป็นระบบแอคติเวเต็ดจ์สลัดจ์แบบคลองวนเวียน เป็นเชื้อเริ่มต้นโดยใช้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ประมาณ 3 g/L ทำการเดินระบบจนเชื้อจุลินทรีย์สามารถบำบัดน้ำเสียได้ประสิทธิภาพคงที่แล้วเริ่มดำเนินงานวิจัยต่อไป

การเดินระบบ MBR ได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ใช้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ 4 g/L และการทดลองที่ 2 ใช้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ 6 g/L เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและการกำจัดยาจากโรงพยาบาลที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 1 Flow Diagram ของระบบ MBR

2.3 การเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงพยาบาลสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยเก็บตัวอย่างที่จุดน้ำเข้าระบบตะกอนจุลินทรีย์ในถัง MBR และจุดน้ำทิ้งจากถัง MBR วิเคราะห์ดัชนีพื้นฐาน 10 ดัชนี ดังนี้ (1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (2) ความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC (3) อุณหภูมิ (4) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) (5) บีโอดี (Biological Oxygen Demand, BOD) (6) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) (7) แอมโมเนีย (Ammonia Nitrogen, NH_3-N) (8) ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) (9) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) (10) ของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids, TDS) ในห้องปฏิบัติการดำเนินการตามวิธีมาตรฐานที่กำหนดใน Standard Methods for Examination of Water and Wastewater [26] โดยส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์ตรวจวัดในห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ยกเว้น (1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (2) ความนำไฟฟ้า (3) อุณหภูมิ (4) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือตรวจวัดแบบพกพาที่เป็นมาตรฐานรับรอง เนื่องจากค่าเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว

ยาปฏิชีวนะที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้คัดเลือกจากยาปฏิชีวนะที่พบในน้ำเสียโรงพยาบาลในประเทศไทย จำนวน 19 ชนิด ได้แก่ Amoxicillin (AMC), Ampicillin (AMP), Tetracycline (TC),

Chlortetracycline (CTC), Oxytetracycline (OTC), Doxycycline (DOX), Erythromycin (ERY), Clarithromycin (CLA), Tylosin (TYL), Lincomycin (LCM), Sulfadiazine (SDI), Sulfamethoxazole (SMX), Nalidixic acid (NAL), Norfloxacin (NOR), Ofloxacin (OFX), Levofloxacin (LFX), Ciprofloxacin (CIP), Enrofloxacin (ENO) และ Trimethoprim (TMP) ซึ่งประกอบด้วย 7 กลุ่มยา คือ Penicillin, Tetracyclines, Macrolides, Lincosamide, Sulfonamides, Quinolones [6, 17]

การสกัดยาปฏิชีวนะจากส่วนของแข็งและของเหลวจากตัวอย่างน้ำเสียได้ดำเนินการตามวิธีการของ U.S. Environmental Protection Agency [27] โดยการสกัดสารให้ผ่านตัวกลาง Oasis HLB 200 mg ปริมาณ 6 mL (Water, MA, USA) โดยความเข้มข้นของยาปฏิชีวนะที่ตรวจด้วยเครื่อง liquid chromatography ร่วมกับ mass spectrometry (LC-MS/MS) โดยมีส่วนประกอบเป็น Thermo Scientific, TSQ Endura, Column: Polaris 3 คอลัมน์ชนิด C18-A50.0 x 2.0 mL Varian, injection volume 10 μL โดยมี spray voltage ที่ 3500 Volt โดยติดตั้ง iron transfer tube และ vaporizer ที่อุณหภูมิ 325 และ 275 °C และตั้งค่าคำสั่งที่ mode of ionization probe ที่การใช้ electrospray ionization plus (EST+) ใช้ mobile phase A: 0.1 % formic acid ในน้ำ AO; mobile phase B: 0.1% formic acid ในสารละลาย 50% โดยปริมาตร Acetonitrile และ 50% โดยปริมาตร Methanol [6] โดยวัดความเข้มข้นของยาปฏิชีวนะ มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับค่า lower limit of detection เท่ากับ 1 μg/L และโดยมีค่า coefficient of determination of all calibration curves ของยาทั้ง 19 ชนิดที่ค่า $r^2 > 0.98$ โดยใช้สารมาตรฐานของยาปฏิชีวนะที่ความบริสุทธิ์มากกว่า 99% จากบริษัท Sigma-Aldrich (USA)

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์แตกต่างกัน

การทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาเก็บกักต่ำเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2 ความเข้มข้น ได้แก่ ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยในน้ำผสมของแข็งแขวนลอยในของเหลวผสม (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS) ที่ 4 และ 6 g/L ตามลำดับ และมีอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ 400 L/h ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเดินระบบ MBR แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ MBR ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างกัน

Parameter	Influent	1st Condition (4,000 mg/L)		2nd Condition (6,000 mg/L)	
		Effluent	Removal Efficiency (%)	Effluent	Removal Efficiency (%)
pH ที่ 25 °C	7.5±0.31	7.4±0.5	-	7.5±0.4	-
Conductivity (μS/cm)	1170±499	826±23	-	783±29	-
BOD (mg/L)	328±41	7.8±0.8	97.6	2.5±0.4	99.2
COD (mg/L)	462±9.5	40±20	91.3	14.5±3.2	96.9
TSS (mg/L)	117±4.6	5±3.2	95.7	5±2.9	95.7
TDS (mg/L)	830±295	640±21	22.9	550±16	33.7
TKN (mg/L)	52±7.1	5.6±5.3	89.2	0.34±0.06	99.5
Ammonia (mg/L)	40±5.1	3.4±2.7	91.5	0.14±0.08	99.7
Nitrate (mg/L)	0.6±0.01	18.5±0.8	-	22±1.2	-
Total Coliform (MPN/100 mL)	>160,000	48±7.8	99.9	11±6.4	100.0
E.coli (MPN/100 mL)	>160,000	20±2.8	99.9	2±1.6	100.0

หมายเหตุ : - จำนวนตัวอย่างทั้งหมด เท่ากับ 8 ตัวอย่าง (n = 8)
- Influent คือ น้ำเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย
- Effluent คือ น้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย
- Removal Efficiency คือ ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ MBR (%)

ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสีย ผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 4 และ 6 g/L พบว่า pH มีค่าเท่ากับ 7.4 และ 7.5 ตามลำดับ น้ำทิ้งมีค่า BOD คงเหลือเท่ากับ 7.8 mg/L (97.6%) และ 2.5 mg/L (99.2%) ตามลำดับ ซึ่งน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภทโรงพยาบาล (น้อยกว่า 20 mg/L) ตลอดการทดลอง ส่วนค่า COD คงเหลือเท่ากับ 40 mg/L (91.3%) และ 14.5 mg/L (96.9%) ตามลำดับ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (น้อยกว่า120 mg/L) สอดคล้องกับงานวิจัยของ

Dos Santos et al [28] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล โดยเปรียบเทียบการเดินระบบที่ไม่มีการควบคุมความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์และควบคุมความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ พบว่าเมื่อควบคุมตะกอนจุลินทรีย์ให้มีความเข้มข้นไม่เกิน 13 g/L จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด BOD และ COD สูง ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการบำบัด BOD และ COD มีความสัมพันธ์กับการควบคุมอายุตะกอนให้เหมาะสมด้วย ในงานวิจัยนี้ควบคุมตะกอนให้มีความเข้มข้นที่ 4 และ 6 g/L พบว่าเมื่ออายุตะกอนเพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด BOD และ COD อีกด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Prasertkulsak et al [29] ที่ศึกษาผลของอายุตะกอนต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล พบว่าเมื่อควบคุมอายุตะกอนจุลินทรีย์น้อยกว่า 15 d จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและการกำจัดยาลดลงด้วย ซึ่งการควบคุมอายุตะกอนจุลินทรีย์ตั้งแต่ 30 d ขึ้นไปจะช่วยให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพและช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดกลุ่มยาได้ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณ TKN ในน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 4 g/L มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.6 mg/L (89.2%) ปริมาณ Ammonia คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.4 mg/L (91.5%) หลังจากนั้นเพิ่มเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เป็น 6 g/L ปริมาณ TKN ในน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 mg/L (99.5%) ปริมาณ Ammonia คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.14 mg/L (99.7%) โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า TKN อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภทโรงพยาบาล (น้อยกว่า 35 mg/L) จะเห็นได้ว่าเมื่ออายุตะกอนสูงขึ้นจะส่งผลให้ออโตโทรฟิคไนตริไฟอิงแบคทีเรียเพิ่มจำนวน และช่วยให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดได้สมบูรณ์ เป็นผลทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้มากกว่า 95% ที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 4 g/L ปริมาณ Total Coliform มีค่าเฉลี่ยที่ 48 MPN/100 mL (99.9%) และ *E.coli* มีค่าเฉลี่ยที่ 20 MPN/100 mL (99.9%) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์เป็น 6 g/L ปริมาณ Total Coliform มีค่าเฉลี่ยที่ 11 MPN/100 mL (100.0%) และ *E.coli* มีค่าเฉลี่ยที่ 2 MPN/100 mL (100.0%) จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 4 g/L ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์มากกว่า 90% แสดงว่าระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนสำหรับบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสามารถใช้ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ตั้งแต่ 4 g/L ขึ้นไปจะช่วยให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น

3.2 วิเคราะห์สารกลุ่มยาที่พบในน้ำเสียโรงพยาบาลและผลของสารกลุ่มยาต่อเชื้อจุลินทรีย์ในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมแบรน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนในการกำจัดกลุ่มยาปฏิชีวนะที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของยาปฏิชีวนะเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังที่

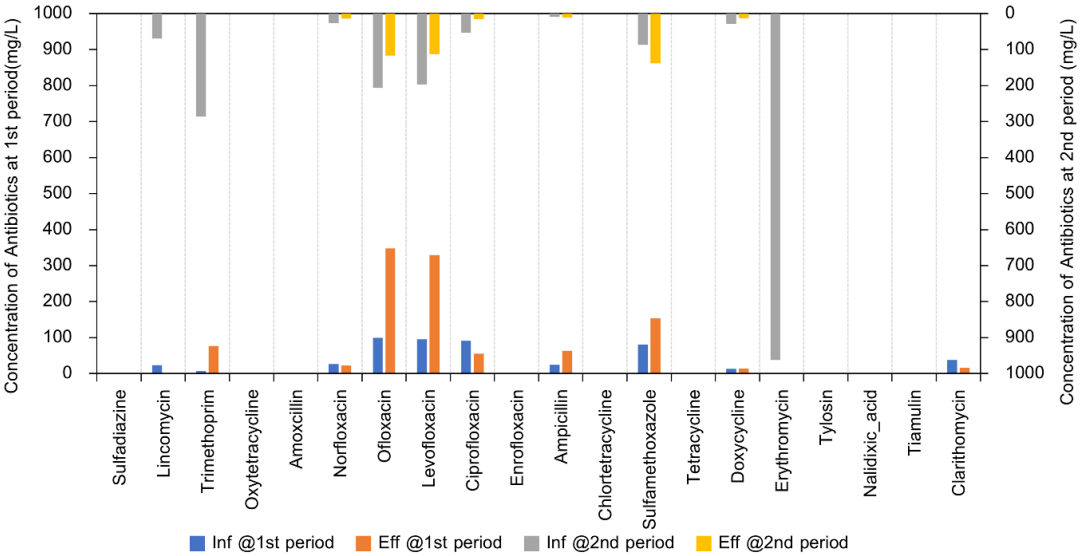
ความเข้มข้น 4 และ 6 g/L ตามลำดับ โดยกลุ่มยาปฏิชีวนะที่ทำการวิเคราะห์มีทั้งสิ้น 19 ชนิด โดยผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดกลุ่มยาปฏิชีวนะแสดงดังตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดยาปฏิชีวนะที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 4 กรัมต่อลิตร พบยาปฏิชีวนะ 10 ชนิด ในน้ำเสีย ได้แก่ LCM, NOR, OFX, LFX, CIP, AMC, SMX, DOX, CLA และ TMP ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านระบบ MBR พบยา 2 ชนิด ที่บำบัดได้ 100% ได้แก่ LCM และ TMP ซึ่งอยู่ในกลุ่มยา Lincosamides และ Other ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ CLA, CIP และ NOR พบประสิทธิภาพในการบำบัดได้เท่ากับ 57.3, 39.4 และ 17.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยกลไกหลักในการกำจัดสารออกฤทธิ์ทางเภสัชกรรม (PhACs) ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ได้แก่ (1) การระเหยและการลอกออก (Volatilization and Stripping) ขึ้นอยู่กับความดันไอของ PhACs ซึ่งวัดโดย Henry's Law Constant เนื่องจาก PhACs ส่วนใหญ่มีค่าความดันไอต่ำ กลไกนี้จึงมีบทบาทในการกำจัดน้อย (2) กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation Processes) สามารถเกิดขึ้นเมื่อของเสียสัมผัสกับแสงแดด โดยเฉพาะในบ่อเปิดกลไกนี้จึงมีบทบาทน้อยในระบบ MBR (3) การดูดซับ (Sorption) กลไกการดูดซับขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ PhACs เช่น ความชอบน้ำ/ความชอบไขมัน (hydrophobicity) คุณสมบัติของตะกอน และลักษณะการเดินระบบ เช่น pH และอุณหภูมิ (4) การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) เป็นกระบวนการหลักในการกำจัด PhACs โดยจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ส่งผลต่อการย่อยสลาย ได้แก่ โครงสร้างทางเคมีของ PhACs การย่อยสลายภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน ระยะเวลากักเก็บ (HRT) และ ระยะเวลากักเก็บตะกอน (SRT) ส่งผลต่อโอกาสที่จุลินทรีย์จะสัมผัสและย่อยสลายยาได้ [28] ดังนั้นกลไกหลักที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการดูดติดผิวโดยตะกอนจุลินทรีย์และการย่อยสลายทางชีวภาพ งานวิจัยที่ผ่านมากำจัด TMP มีประสิทธิภาพการกำจัดในระดับกลางถึงสูง (47-63%) โดยใช้ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ตั้งแต่ 2 กรัมต่อลิตร ขึ้นไป [29-31] และนอกจากนี้ Chiemchaisri et al [6] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาลทั่วประเทศ พบว่า โรงพยาบาลแบ่งระดับสถานบริการสาธารณสุขไว้หลายระดับ ประกอบด้วย โรงพยาบาลชุมชน โรงพยาบาลทั่วไป โรงพยาบาลศูนย์ โดยระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาลส่วนใหญ่สามารถบำบัด LCM ได้ระหว่าง 71.4-96% ซึ่งยาปฏิชีวนะกลุ่ม Quinolones ส่วนใหญ่จะดูดติดผิวตะกอนจุลินทรีย์กับพื้นผิวที่มีประจุลบของตะกอนจุลินทรีย์ อีกทั้งยังพบว่ามียาปฏิชีวนะอีก 6 ชนิดไม่สามารถบำบัดได้และพบความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งอยู่ในกลุ่มยา Penicillins, Tetracyclines, Sulfonamides และ Quinolones ได้แก่ AMP, DOX, SMX, OFX และ LFX

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของยาปฏิชีวนะในน้ำเสีย (ng/L) และประสิทธิภาพการบำบัดกลุ่มยาปฏิชีวนะด้วยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

Class	Antibiotics	1st Condition (MLSS at 4 g/L)			2nd Condition (MLSS at 6 g/L)		
		Inf (ng/L)	Eff (ng/L)	%R*	Inf (ng/L)	Eff (ng/L)	%R*
Penicillins	Amoxcillin (AMC)	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	-
	Ampicillin (AMP)	24±6	63±51	0.0	9±7	15±10	0.0
Tetracyclines	Tetracycline (TC)	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	-
	Chlortetracycline (CTC)	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	-
	Oxytetracycline (OTC)	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	-
	Doxycycline (DOX)	13±8	21±15	0.0	28±19	13±5	53.3
Macralides	Erythromycin (ERY)	N.D.	N.D.	-	962±361	0.0	100.0
	Clarithromycin (CLA)	38±9	16±13	57.3	0.0	0.0	0.0
	Tylosin (TYL)	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	-
Lincosamides	Lincomycin (LCM)	23±14	0.0	100.0	69±18	0.0	100
Sulfonamides	Sulfadiazine (SDI)	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	-
	Sulfamethoxazole (SMX)	81±8	154±138	0.0	87±54	138±77	0.0
Quinolones	Nalidixic acid (NA)	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	-
	Norfloxacin (NOR)	26±17	22±10	17.0	26±6	13±1	48.0
	Ofloxacin (OFX)	99±10	348±75	0.0	206±16	117±18	44.0
	Levofloxacin (LFX)	95±10	329±80	0.0	197±14	112±15	42.8
	Ciprofloxacin (CIP)	91±5	55±26	39.4	53±25	15±12	72.0
	Enrofloxacin	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	-
Other	Trimethoprim	7±11	0.0	100.0	286±40	0.0	100.0

หมายเหตุ: *%R = Removal Efficiency; N.D. = Not Detected; MLSS = Mixed liquor suspended solids

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เป็น 6 g/L พบยาปฏิชีวนะ 3 ชนิด ได้แก่ LCM, ERY และ TMP ที่สามารถบำบัดได้ 100 % แสดงให้เห็นว่ากลุ่มยา Lincosamides และ Other สามารถบำบัดด้วยระบบ MBR ที่มีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ได้ตั้งแต่ 4 g/L ขึ้นไปได้ ($p < 0.05$) อีกทั้งพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด Norfloxacin เพิ่มขึ้นจาก 17.0% เป็น 48.0% และประสิทธิภาพในการบำบัด CIP เพิ่มขึ้นจาก 39.4% เป็น 72.0% ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อเดินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนเท่ากับ 4 g/L พบปริมาณยาปฏิชีวนะในน้ำทิ้งมากกว่าในน้ำเสีย ได้แก่ AMP DOX SMX OFX และ LFX ซึ่งยาปฏิชีวนะเหล่านี้ตรวจพบที่ความเข้มข้นต่ำ ในระดับนาโนกรัม น่าจะเกิดจากการปลดปล่อย (de-sorption) ของยาถูกปล่อยกลับเข้าสู่เฟสน้ำ (liquid phase) โดยกลไกการ de-sorption สามารถเกิดขึ้นได้หลายปัจจัย ได้แก่ (1) ผลของการเจือจาง (Dilution effect) เมื่อมีปริมาณยาในน้ำเสียที่เข้ามาต่ำกว่าปกติ ระบบจะปล่อยยาที่สะสมอยู่ในของแข็งกลับเข้าสู่เฟสน้ำ (2) คุณสมบัติของยา ยาบางชนิด เช่น fluoroquinolones และ tetracyclines มักมีการดูดซับสูง แต่สามารถถูกปลดปล่อยกลับออกมาได้เมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป (3) ค่า pH และศักย์รีดอกซ์ (Redox potential) ส่งผลต่อสมดุลระหว่างการดูดซับและการ de-sorption และ (4) ประเภทของระบบบำบัด ระบบบำบัดที่มีการหมุนเวียนของตะกอน เช่น CAS (Conventional Activated Sludge) และ OD (Oxidation Ditch) อาจทำให้ยาเกิดการ de-sorption ได้มากขึ้น [6, 32] เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เป็น 6 g/L ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดของ OFX LFX DOX ดีขึ้น โดยบำบัดอยู่ในช่วงระหว่าง 42.8-53.3% มีเพียง AMP และ SMX ยังพบการ de-sorption แม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นตะกอนที่ 6 g/L งานวิจัยที่ผ่านมาได้อธิบายถึงความเข้มข้นของ MLSS มีผลโดยตรงต่อการกำจัดยาปฏิชีวนะในระบบ MBR เมื่อความเข้มข้น MLSS สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการดูดซับและการย่อยสลายทางชีวภาพของยาปฏิชีวนะ Zheng et al [33] พบว่า ความเข้มข้นของ MLSS ระหว่าง 8.39-11.01 g/L มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดยาปฏิชีวนะ สอดคล้องกับ Zhu et al [34] อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ MLSS ที่สูงขึ้นจะช่วยลดการ de-sorption ได้ ซึ่ง AMP มีกลไกกำจัดผ่านการย่อยสลายเป็นหลัก ซึ่งต้องอาศัย MLSS สูงเพื่อเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด SMX ลดลงเมื่อ MLSS ต่ำกว่า 8 g/L เนื่องจากจุลินทรีย์มีความหนาแน่นลดลง [35] แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ MLSS ที่ 4 และ 6 g/L ยังไม่สามารถบำบัด AMP และ SMX ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดกลุ่มยาปฏิชีวนะที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างกัน

รูปที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดยาปฏิชีวนะ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดยาพบว่าที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 6 g/L สามารถบำบัดยาปฏิชีวนะได้มากกว่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 4 g/L เนื่องจากความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์มีผลต่ออัตราการย่อยสลายยาปฏิชีวนะ ซึ่งยาที่สามารถบำบัดได้ดีอาจจะมีคุณสมบัติในการย่อยสลายได้ง่ายและสามารถดูดติดที่ผิวของจุลินทรีย์ได้ ทำให้เกิดการกำจัดยาในระบบ MBR ส่วนยาปฏิชีวนะที่บำบัดได้บางส่วนอาจจะมาจากคุณสมบัติของยาที่มีการดูดติดในตะกอนจุลินทรีย์ต่ำและสามารถละลายในน้ำได้ดี ทำให้ไม่สามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้การบำบัดยาปฏิชีวนะย่อยสลายได้ต่ำเนื่องจากใช้ระยะเวลาเก็บกักค่อนข้างต่ำ ต้องเพิ่มระยะเวลาในการบำบัดเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายและดูดติดมากขึ้น แม้ว่ายาปฏิชีวนะบางชนิดที่ตรวจพบในน้ำเสียมีความเข้มข้นต่ำระดับนาโนกรัมก็มีโอกาสตกค้างในน้ำทิ้งได้ ดังนั้น กลไกการเดินระบบ (ระยะเวลาเก็บกัก ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ อายุตะกอน) จึงมีความสำคัญในการกำจัดยาเหล่านี้ในระบบ MBR

จากการศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนโดยใช้ระยะเวลาเก็บกักเพียง 3 h ทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 4 และ 6 g/L ในการบำบัดสารอินทรีย์และกลุ่มยาปฏิชีวนะนั้น พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์สามารถเดินระบบได้ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่ำ (4 g/L) ก็สามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้มากกว่า 80% เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดสารกลุ่มยาปฏิชีวนะพบว่า LIN และ TMP สามารถ

บำบัดได้ 100% ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ตั้งแต่ 4 g/L ขึ้นไป ERY สามารถบำบัดได้ 100% ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ตั้งแต่ 6 g/L โดยยาปฏิชีวนะส่วนใหญ่สามารถบำบัดได้น้อยถ้าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่ำ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์จะช่วยให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น ชี้ให้เห็นว่า หากต้องการกำจัดกลุ่มยาปฏิชีวนะให้ได้ประสิทธิภาพดีนั้น ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต้องสูงกว่า 6 g/L ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารกลุ่มยาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพของยาปฏิชีวนะ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ อายุตะกอนจุลินทรีย์ ระยะเวลาเก็บกัก และความโดดเด่นของชนิดสายพันธุ์จุลินทรีย์ สภาวะการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียทั้งสิ้น

แม้ว่าระบบ MBR จะมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล โดยเฉพาะในด้านการกำจัดยาปฏิชีวนะและสารอินทรีย์ แต่การใช้งานในประเทศไทยยังคงเผชิญกับข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ ต้นทุนการลงทุนและค่าบำรุงรักษาสูง เนื่องจากระบบ MBR มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป เช่น ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) หรือระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) เป็นต้น ปัญหาการอุดตันของเมมเบรน ข้อจำกัดด้านพลังงานและอัตราการไหล โดยเฉพาะระบบ MBR ต้องใช้พลังงานสูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบดั้งเดิม มีการใช้ปั๊มสูบจ่ายน้ำผ่านเมมเบรนและระบบเติมอากาศ การพัฒนากลไกการเดินระบบ MBR ให้เหมาะสมจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มศักยภาพของระบบ MBR ในการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์และช่วยลดมลพิษลงสู่สิ่งแวดล้อมได้

4. บทสรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ MBR ในการกำจัดยาปฏิชีวนะจากน้ำเสียโรงพยาบาล ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ 6 g/L ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าที่ 4 g/L โดยสามารถกำจัด Lincomycin, Erythromycin และ Trimethoprim ได้ 100% อย่างไรก็ตาม Ampicillin และ Sulfamethoxazole ยังคงตกค้างในน้ำทิ้ง เป็นผลจากความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่ำทำให้กลไกการกำจัดยาปฏิชีวนะไม่มีประสิทธิภาพ ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ให้ได้ปริมาณความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดยาปฏิชีวนะได้ทุกกลุ่ม สำหรับใช้เป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดยาปฏิชีวนะของระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาลให้สามารถกำจัดยาปฏิชีวนะได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนทุนสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) จากงบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

References

[1] Naquin A, Shrestha A, Sherpa M, Nathaniel R, Boopathy R. Presence of antibiotic resistance genes in a sewage treatment plant in Thibodaux, Louisiana, USA. Bioresource Technology. 2015;188:79-83.

[2] Rodriguez-Mozaz S, Chamorro S, Marti E, Huerta B, Gros M, Sànchez-Melsió A, et al. Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river. Water research 2015;69:234-42.

[3] Christou A, Agüera A, Bayona JM, Cytryn E, Fotopoulos V, Lambropoulou D, et al. The potential implications of reclaimed wastewater reuse for irrigation on the agricultural environment: The knowns and unknowns of the fate of antibiotics and antibiotic resistant bacteria and resistance genes – a review. Water Research 2017;123:448-67.

[4] Al Aukidy M, Al Chalabi S, Verlicchi P. Hospital wastewater treatments adopted in Asia, Africa, and Australia. In: Verlicchi P, editor. Hospital Wastewaters: Characteristics, Management, Treatment and Environmental Risks. Cham, Switzerland: Springer; 2018. p. 171-88.

[5] Thai Working Group on Health Policy Systems Research on Antimicrobial Resistance (HPSR-AMR). Consumption of antimicrobial agents in Thailand in 2017. Bangkok, Thailand; 2018.

[6] Chiemchaisri W, Chiemchaisri C, Hamjinda NS, Jeensarut C, Buranapakdee P, Thammalikitkul V. Field investigation of antibiotic removal efficacies in different hospital wastewater treatment processes in Thailand. Emerging Contaminants 2022;8:329-39.

[7] Ata R, Töre GY. Characterization and removal of antibiotic residues by NFC-doped photocatalytic oxidation from domestic and industrial secondary treated wastewaters in Meric-Ergene Basin and reuse assessment for irrigation. Journal of Environmental Management 2019;233:673-80.

[8] Liu Y, Gu P, Yang Y, Jia L, Zhang M, Zhang G. Removal of radioactive iodide from simulated liquid waste in an integrated precipitation reactor and membrane separator (PR-MS) system. Separation and Purification Technology 2016;171:221-8.

[9] Feng X, Zong Z, Elsaidi SK, Jasinski JB, Krishna R, Thallapally PK, et al. Kr/Xe separation over a chabazite zeolite membrane. Journal of the American Chemical Society 2016;138(31):9791-4.

[10] Liu Y, Lo S, Liou Y, Hu C. Removal of nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) by electrocoagulation-flotation with a cationic surfactant. Separation and Purification Technology 2015;152:148-54.

[11] Rodriguez-Mozaz S, Vaz-Moreirac I, Giustina SVD, Llorca M, Barcelo D, Schuberte S, et al. Antibiotic residues in final effluents of European wastewater treatment plants and their impact on the aquatic environment. Environment International 2020;140:105733.

[12] Gagné F, André C, Fortier M, Fournier M. Immunotoxic potential of aeration lagoon effluents for the treatment of domestic and hospital wastewaters in the freshwater mussel, Elliptio complanate. Journal of Environmental Sciences 2012;24(5):781-9.

[13] Hamjinda NS, Chiemchaisri W, Watanabe T, Honda R, Chiemchaisri C. Toxicological assessment of hospital wastewater in different treatment processes. Environmental Science and Pollution Research 2018;25:7271-9.

[14] Prasertkulsak S, Chiemchaisri C, Chiemchaisri W. Pharmaceutical compound removal during mixed liquor filtration in membrane bioreactor operated under long sludge age. Jurnal Teknologi 2018;80(3-2):45-50.

[15] Schröder HF, Tambosi JL, Sena RF, Moreira RFPM, José HJ, Pinnekamp J. The removal and degradation of pharmaceutical compounds during membrane bioreactor treatment. Water Science and Technology 2012;65(5):833-9.

[16] Nguyen T, Bui X, Luu V, Nguyen P, Guo W, Ngo H. Removal of antibiotics in sponge membrane bioreactors treating hospital wastewater: comparison between hollow fiber and flat sheet membrane systems. Bioresource Technology 2017;240:42-9.

[17] Hamjinda NS, Chiemchaisri W, Chiemchaisri C. Upgrading two-stage membrane bioreactor by bioaugmentation of Pseudomonas putida entrapment in PVA/SA gel beads in treatment of ciprofloxacin. International Biodeterioration & Biodegradation 2017;119:595-604.

[18] Tang Y, Luo L, Thong Z, Chung T. Recent advances in membrane materials and technologies for boron removal. Journal of Membrane Science 2017;541:434-46.

[19] Nunes SP, Culfaz-Emecen PZ, Ramon GZ, Visser T, Koops GH, Jin W, et al. Thinking the future of membranes: perspectives for advanced and new membrane materials and manufacturing processes. Journal of Membrane Science 2020;598:117761.

[20] Li X, Mo Y, Qing W, Shao S, Tang CY, Li J. Membrane-based technologies for lithium recovery from water lithium resources: a review. Journal of Membrane Science 2019;591:117317.

[21] Li P, Wang Z, Qiao Z, Liu Y, Cao X, Li W, et al. Recent developments in membranes for efficient hydrogen purification. Journal of Membrane Science 2015;495:130-68.

[22] Uliana AA, Bui NT, Kamcev J, Taylor MK, Urban JJ, Long JR. Ion-capture electrodialysis using multifunctional adsorptive membranes. Science. 2021;372(6539):296-9.

[23] Chaudhry RM, Nelson KL, Drewes JE. Mechanisms of pathogenic virus removal in a full-scale membrane bioreactor. Environmental Science & Technology 2015;49(5):2815-22.

[24] Vieira WT, de Farias MB, Spaolonzi MP, Carlos da Silva MG, Adeodato Vieira MG. Removal of endocrine disruptors in waters by adsorption, membrane filtration and biodegradation. A review. Environmental Chemistry Letters 2020;18(4):1113-43.

[25] Bradshaw JL, Ashoori N, Osorio M, Luthy RG. Modeling cost, energy, and total organic carbon trade-offs for stormwater spreading basin systems receiving recycled water produced using membrane-based, ozone-based, and hybrid advanced treatment trains. Environmental Science & Technology 2019;53(6):3128-39.

[26] APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Denver, USA: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation; 2017.

[27] U.S. Environmental Protection Agency. Method 1694: Pharmaceuticals and personal care products in water, soil, sediment, and biosolids. Washington, D.C., USA: U.S. EPA; 2007.

[28] Dos Santos CR, Lebron YAR, Moreira VR, Koch K, Amaral MCS. Biodegradability, environmental risk assessment and ecological footprint in wastewater technologies for pharmaceutically active compounds removal. Bioresource Technology 2022;343:126150. doi: 10.1016/j.biortech.2021.126150.

[29] Prasertkulsak S, Chiemchaisri C, Chiemchaisri W, Itonaga T, Yamamoto K. Removals of pharmaceutical compounds from hospital wastewater in membrane bioreactor operated under short hydraulic retention time. Chemosphere 2016;150:624-31.

[30] Prasertkulsak S, Chiemchaisri C, Chiemchaisri W, Yamamoto K. Removals of pharmaceutical compounds at different sludge particle size fractions in membrane bioreactors operated under different solid retention times. Journal of Hazardous Materials 2019;368:124-32.

[31] Vo T, Bui X, Chen S, Nguyen P, Cao N, Vo T, et al. Hospital wastewater treatment by sponge membrane bioreactor coupled with ozonation process. Chemosphere 2019;230:377-83.

[32] Kaewmanee A, Chiemchaisri W, Chiemchaisri C. Influence of high doses of antibiotics on anoxic-aerobic membrane bioreactor in treating solid waste leachate. International Biodeterioration & Biodegradation 2019;138:15–22. doi: 10.1016/j.ibiod.2018.12.011.

[33] Zheng W, Wen X, Zhang B, Qiu Y. Selective effect and elimination of antibiotics in membrane bioreactor of urban wastewater treatment plant. Science of The Total Environment 2019;646:1293-303. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.400.

[34] Zhu T, Su Z, Lai W, Zhang Y, Liu Y. Insights into the fate and removal of antibiotics and antibiotic resistance genes using biological wastewater treatment technology. Science of The Total Environment 2021;776:145906. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145906.

[35] Xia S, Jia R, Feng F, Xie K, Li H, Jing D, et al. Effect of solids retention time on antibiotics removal performance and microbial communities in an A/O-MBR process. Bioresource Technology 2012;106:36-43. doi: 10.1016/j.biortech.2011.11.112.

ประวัติผู้เขียนบทความ

นายนิติวิศว์ แตงไทย สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 217 ม.1 ถ.นนทบุรี ต.สวนใหญ่ อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี 11000 Email: nitiwis.t@rmutsb.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ: การประเมินวัฏจักรชีวิต การบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีขั้นสูง

ดร.กฤษณะ จิรสารสวัสดิ์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 217 ม.1 ถ.นนทบุรี ต.สวนใหญ่ อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี 11000 Email: kridsana.j@rmutsb.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: Organic waste recycling การบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีขั้นสูง

ดร.สิริลักษณ์ ประเสริฐกุลศักดิ์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 217 ม.1 ถ.นนทบุรี ต.สวนใหญ่ อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี 11000 Email: sirilak.b@rmutsb.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: การจัดการน้ำเสีย การจัดการขยะมูลฝอย การบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีขั้นสูง การบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนยาด้วยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

Article History:

Received: October 22, 2024

Revised: April 23, 2025

Accepted: April 24, 2025

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต:

ศ.ดร.กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์	สาขาวิศวกรรมขนส่ง สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.แคทลียา ปัทมพรหม	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศ.ดร.โจเซฟ เคดารี	สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ศ.ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ.ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห	สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศ.ดร.สุวัฒนา จิตตลดากร	ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Prof. Dr. Belkacem Zeghmati	Laboratoire de Mathematiques et Physique des Systeme-Groupe de Mecanique Energetique, Universite de Perpignan, France
รศ.ดร.กมลวัลย์ ลือประเสริฐ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.กรองแก้ว เลาหลิดานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.กัณวริช พลูปราชญ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.กิติพงศ์ อัศตรกุล	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.จีรนุช เสงี่ยมศักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพ็ชร์	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
รศ.ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ณกร อินทร์พยุง	คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

รศ.ดร.ณฐา คุปตัษเฐียร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ณัฐพงศ์ มกระธัช	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ดนุพล ตันนโยภาส	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์	ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ธนู ฉุยฉาย	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.นคร ภู่วโรคม	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.นิตย์ เพ็ชรรักษ์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
รศ.ดร.นิติมา อัจฉริยะโพธา	ศูนย์บริการทางการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี
รศ.ดร.เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.บุญเลิศ สื่อเฉย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ประยูร สุรินทร์	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รศ.ดร.ปราโมทย์ ศรีน้อย	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ปรีดา ไชยมหาวัน	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพะเยา
รศ.ดร.พนิต ภู่จินดา	ภาควิชาการวางแผนภาคและเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.พรฤดี เนติโสภากุล	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.ดร.พาสิทธิ์ หล่อธีรพงศ์	บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย	ที่ปรึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.พิศิษฏ์ โภคารัตน์กุล	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ไพโรจน์ สิงหถนัดกิจ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ฟูศักดิ์ ชีวสุวิทย์	ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.ภาวิณี เอี่ยมตระกูล	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.มนตรี คำเงิน	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.มาโนช สรรพกิจทิพากร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ยุทธชัย บรรเทิงจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.รัตติกร วรากูลศิริพันธุ์	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รศ.ดร.ระพี กาญจนะ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.วรนุช แจ้งสว่าง	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร.วรพจน์ กรีสุระเดช	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รศ.ดร.วัชระ เพียรสุภาพ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.เวคิน ปิยรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.สถาพร โอภาสานนท์	สาขาวิชาบริหารธุรกิจระหว่างประเทศ โลจิสติกส์และการขนส่ง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.สมใจ จันทร์อุดม	สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย
รศ.ดร.สมศักดิ์ มิตะถา	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.สมิตร ส่งพิริยะกิจ	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.สโรช บุญศิริพันธ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สินชัย ชินวรรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.สิริพร โรจนนันต์	สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.เสรี เศวตเศรณี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สุชาติ เหลืองประเสริฐ	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุนิติ สุภาพ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.สุรพล บุญลือ	ภาควิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.อดิรักษ์ กาญจนหฤทัย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.อรฉัตร จิตต์โสภักตร์	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.อิทธิพงศ์ ชัยสายันห์	บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.วัชรินทร์ วิทยกุล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

รศ.วิญญู แสวงสินกสิกิจ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ศันสนีย์ สุภาภา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รศ.เอกชัย วิมลมาลา	ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.เอนก ศิริพานิชกร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.กรกช ทวีสิน	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร.กฤษ สุจริตตั้งธรรม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผศ.ดร.กัมพล พรหมจิระประวัติ	สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์	สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ
ผศ.ดร.กุณฑล ทองศรี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.เขมพัฒน์ ตันติวัฒนกูล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.จักร จันทลักขณา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.จักรินทร์ กลั่นเงิน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.จารุวรรณ เกษมทรัพย์	สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.ดร.จิราพรรณ สุนทรโชติ	ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.จิราวรรณ อุ่นเมตตาอารี	สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโฉม	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.ฉัตร สุจินดา	ธุรกิจส่วนตัว
ผศ.ดร.ชลัท ทิพากรเกียรติ	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผศ.ดร.ชัยรัตน์ ธีระวัฒนสุข	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.ชูชัย สุจิวรกุล	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ณพล ศรีศักดา	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพะเยา
ผศ.ดร.ณัตวิภา เจียระไนวชิระ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.ณัฏฐ์ โอธนาทรัพย์	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ พันธ์น้อย	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ดนัย เผ่าหฤหรรษ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ดวงพร กาซาสบิ	สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผศ.ดร.ดาวุด ทองทา	ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ติกะ บุนนาค	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผศ.ดร.ตรี วาทกิจ	สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม
ผศ.ดร.ทวีศักดิ์ แตะกระโทก	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.นที ศรีสวัสดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.นิพนธ์ วรรณโสภาคย์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน	สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผศ.ดร.ประภาพรรณ เกษราพงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ	สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.พงศกร บำรุงไทย	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ผศ.ดร.พงษ์สัญ ประกฤตศรี	ภาควิทยาศาสตร์พื้นฐานและพลศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.พิพัฒน์พงศ์ วัฒนวันยู	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ดร.พิมพ์เพชร สระทองอุ่น	สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ผศ.ดร.มนฑล นาวงษ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.มนูญ มาศนิยม	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร
ผศ.ดร.รัฐวุฒิ รู้แทนคุณ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ.ดร.วรัญญู วงษ์เสรี	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.วัชรินทร์ ดงบัง	สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง
ผศ.ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.วินัย ใจกล้า	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.วิรัตน์ จอมขวา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ศิรดล ศิริธร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.สนิท วงษา	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมโพธิ อยู่ไว	สาขาวิชาวิศวกรรมเทคนิคธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมศักดิ์ มีนคร	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผศ.ดร.สิตางศุ์ พิลัยหล้า	ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผศ.ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.สุธิดา ทีปรักษพันธุ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.สุมล แซ่เฮง พิสิษฐ์สังฆการ	ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.อรกมล วังอภิสิทธิ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.กัมปนาท ไชยเพชร	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผศ.กานดิส สุดสาคร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.จิรเมธา สังข์เกษม	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.นราธิป แสงซ้าย	ศูนย์แห่งความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเรือน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.พรสิริ ชาติปรีชา	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
ผศ.วรรธนะ ประภาภรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผศ.วรากร เกิดทรัพย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.สาธิต รุ่งฤดีสมบัติกิจ	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอตุสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.อุษณีย์ ระหา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.อนุชิต เจริญ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.กฤษณ์ อภิญญาวิศิษฐ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

อ.ดร.คมพันธ์ ชมสมุทร	สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อ.ดร.จักรภพ วงศ์วิวัฒน์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อ.ดร.ฉัตรเพชร ยศพล	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.ชัชพันธ์ ขำญาติ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
อ.ดร.ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อ.ดร.ชาติ ฤทธิ์หิรัญ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
อ.ดร.ชาญวิทย์ อุดมศักดิกุล	สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ
อ.ดร.ชานินทร์ ศรีสุวรรณนภา	ภาควิชาสถิติประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อ.ดร.ณัฐภรณ์ เจริญธรรม	สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.ณัฐวุฒิ ธนศรีสถิต	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.ดร.ดุษฎี สถิรเศรษฐทวี	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร
อ.ดร.ตันติกร พิชญ์พิบุล	คณะการจัดการโลจิสติกส์และการคมนาคมขนส่ง สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
อ.ดร.บุญเลิศ วงศ์เจริญแสงสิริ	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
อ.ดร.ปริญญา บุญมาเลิศ	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.ประภาส ผ่องสนาม	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
อ.ดร.ปรารถนา อินต๊ะวิน	สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.ดร.พงศกร พรมสวัสดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
อ.ดร.พิชญุตม์ จรัสบำรุงโรจน์	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.ภัควัฒน์ แสนเจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

อ.ดร.ภาสินี ศิริประภา	คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อ.ดร.วรศิริ เดอ กาเดอเนต์	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.วทัญญู รอดประพัฒน์	สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อ.ดร.วศิน มหัตนิรันดร์กุล	ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.ดร.วิทยา พวงสมบัติ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อ.ดร.วีรเดช กีรติธนวิทย์	สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.ดร.ศรินรัตน์ วงษ์ลี	กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
อ.ดร.ศักดิ์ชาย รักการ	สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.สำเริง เนตรภู่	บริษัท เอส. เอช. เค. เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
อ.ดร.สุชัญญา วงศ์รอด	คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
อ.ดร.สุวรรณี สายสิน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
อ.ดร.อติเทพ ศรีคงศรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.อภิชาต บัวกล้า	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
อ.ดร.อนันต์ เดอร์ซิง	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
ดร.จุฑา สุนิตย์สกุล	สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง
ดร.พุทธิพงศ์ หะลีห์รัตนวัฒนา	สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวงชนบท
ดร.อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์	สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง
อ.จีรวัฒน์ ปล้องใหม่	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ณัฐนนท์ รัตนไชย	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.นิตยา จันทร์เรือง มหาผล	เลขาธิการสภาวิศวกร ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

อ.ว่าที่ ร.ต.สราวุฒิ ดาแก้ว
อ.สมเดช อิงคะวะระ

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ปรัชญา ปณิธาน

1. ผลิตบัณฑิตทางวิศวกรรมที่มีคุณภาพ เพื่อสนองความต้องการของส่วนราชการ เอกชน ให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ
2. ค้นคว้าและวิจัยทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะสิ่งที่จะยังประโยชน์ให้เกิดแก่ประเทศไทยโดยตรง
3. บริการวิชาการ และให้คำปรึกษาแนะนำทางวิศวกรรมศาสตร์แก่หน่วยงานของรัฐและเอกชน รวมทั้งประชาชนทั่วไป

เป้าหมาย และวัตถุประสงค์

1. ผลิตบัณฑิตทางวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อแสวงหาเทคโนโลยีที่ทันสมัย อันนำไปสู่การพึ่งตนเองทางเทคโนโลยีในการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ
2. ให้บริการวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์แก่สังคม

วิสัยทัศน์

"คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต เป็นคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ติดอันดับ 1 ใน 10 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอกชน ที่เป็นที่ยอมรับ โดยมุ่งเน้นผลิตบัณฑิตวิศวกรนักปฏิบัติที่มั่นคงและยั่งยืน"

ผู้เขียนจะต้องจัดเตรียมบทความต้นฉบับที่พิมพ์ตามข้อกำหนดของรูปแบบวารสาร จำนวน 1 ชุด และผู้เขียนบทความกรอกข้อมูลใบนำส่งบทความ พร้อมสแกนใบนำส่งบทความและแนบไฟล์ต้นฉบับบทความ มาที่

E-mail: engkasemjournal@kbu.ac.th

และสมัครสมาชิกพร้อมส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System ได้ที่

https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register

ท่านที่สนใจสามารถดูรายละเอียดและดาวน์โหลดแบบฟอร์มต่างๆ หรือสอบถามเพิ่มเติม ได้ที่

- เว็บไซท์: http://eng.kbu.ac.th/home/?main_page=research&page=engineer_journal
- E-mail: engkasemjournal@kbu.ac.th
- https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register
- โทรศัพท์: 0-2320-2777 ต่อ 1211

KASEM
BUNDIT
UNIVERSITY

www.kbu.ac.th

วิทยาเขตพัฒนาการ
1761 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง
กรุงเทพฯ 10250
โทร. 0-2320-2777
Fax : 0-2321-4444

วิทยาเขตร่มเกล้า
60 ถนนร่มเกล้า เขตมีนบุรี
กรุงเทพฯ 10510
โทร. 0-2904-2222
Fax : 0-2904-2200