

วารสารวิศวกรรม และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 (2025)

มกราคม – กุมภาพันธ์ 2568

ISSN 2985 0274 (Print)

ISSN 2985 0282 (Online)



กำหนดการเผยแพร่

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 (มกราคม – กุมภาพันธ์ 2568)

Vol. 3 No. 1 (January – February 2025)

ISSN 2985-0274 (Print)

ISSN 2985-0282 (Online)



วัตถุประสงค์

จัดทำขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) เปิดรับทั้งบทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ที่มีคุณภาพในด้านวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และเพื่อส่งเสริมและเป็นแหล่งในการเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความวิชาการที่เป็นองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ทันสมัย นอกจากนี้ยังเป็นสื่อกลางแลกเปลี่ยนความรู้และแนวคิดทางวิชาการ ของบุคลากรทั้งภายในและนอกสถาบัน โดยมีขอบเขตของวารสาร ดังนี้

- วิศวกรรมทั่วไป (General Engineering)
- วิศวกรรมอุตสาหการและวิศวกรรมการผลิต (Industrial and Manufacturing Engineering)
- วิศวกรรมเครื่องกล (Mechanical Engineering)
- เทคโนโลยีสื่อและประยุกต์ใช้ (Media Technology and Application)
- สถาปัตยกรรม (Architecture)

เงื่อนไขการตีพิมพ์

บทความที่ส่งเข้ามายังวารสารจะได้รับการประเมินคุณภาพของผลงานทางวิชาการโดยหัวหน้ากองบรรณาธิการ (Editor in Chief) ถ้าบทความมีคุณภาพที่อาจได้รับการตีพิมพ์ หัวหน้ากองบรรณาธิการจะมอบหมายให้บรรณาธิการประจำเรื่อง (Section editor) เป็นผู้พิจารณาและดำเนินการส่งบทความให้ผู้ประเมินบทความ (Peer reviewers) ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง จำนวนอย่างน้อย 3 ท่าน ต่างสถาบัน ซึ่งบทความที่ถูกส่งไปยังผู้ประเมินจะเป็นแบบปกปิดรายชื่อทั้งผู้เขียนบทความ และผู้ประเมิน (Double -Blinded Review) เมื่อผู้ประเมินบทความส่งข้อคิดเห็นมายังบรรณาธิการประจำเรื่อง บทความที่ถูกประเมินจะได้รับการตัดสินใจจากกองบรรณาธิการโดยอาศัยความคิดเห็นของผู้ประเมินเสียงข้างมาก ดังนี้ ยอมรับให้ตีพิมพ์โดยไม่มีเงื่อนไข (Accept Submission) บทความมีการแก้ไข (Revisions Required) และ ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ (Decline Submission)

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ จิระพันธ์ ห้วยแสน	อธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ สุตสนธิ์	รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษุทธิ์ จันทร์ตรี	รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์ลิขิต แก้วหานาม	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.วิจิตรา โพธิสาร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

บรรณาธิการ

ดร.สรายุทธ ฐิตะภาส	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
--------------------	----------------------

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สฤติพงษ์ เสี่ยงมศักดิ์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ดร.สวลี อุตรา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสี่ยงมิบูล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ ปัตติยะ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ชูพงษ์ ทองคำสมุทร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิปาก	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา ปรมะฐานุวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สกุลตลา วรรณปะเช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สัจจากาจ จอมโนนเขวา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.เกษร ดวงอุปมา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รองศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ วิชามา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลลาหา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศานาถ แก้ววินิต	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว วัฒนากลาง	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ แสงผ่อง	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา กิตติเลิศไพศาล	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑนา ทองสุพล	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา ชุมพล	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไทยทัศน์ สุดสวนสี	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรพจน์ สมมูล	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยณัฐ โตอ่อน	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ทีมจัดการบทความและรูปแบบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี อนุชา ศรีบุญรัมย์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
นางสาวนภัทรธิดา พรหมดีราช	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ออกแบบปกวารสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพนธ์ เนียมมสา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
--	----------------------

กำหนดการเผยแพร่ :

ปีละ 6 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์

ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน

ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน

ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม

ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม

ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม

สำนักงาน

กองบรรณาธิการวารสาร "วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์"

"Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University"

คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

62/1 ถนนเกษตรสมบูรณ์ ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ 46000

บรรณาธิการ

ดร.สรายุทธ จูฑะภาส

โทร: 088-574-2199

Email: jeit@ksu.ac.th

ISSN 2985-0274 (Print)

ISSN 2985-0282 (Online)

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – เดือนกุมภาพันธ์ ปีพุทธศักราช 2568 จัดทำขึ้นตามเป้าหมายและยุทธศาสตร์ของการดำเนินงานตามแนวทางการพัฒนาและขับเคลื่อนของมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ซึ่งวารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ที่มีคุณภาพในด้านวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อส่งเสริมและเป็นแหล่งในการเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความวิชาการที่เป็นองค์ความรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ทันสมัย สนับสนุนให้คณาจารย์ นักวิชาการ และผู้ทรงคุณวุฒิในด้านวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเสนอผลงานวิชาการ นอกจากนี้ยังเป็นสื่อกลางแลกเปลี่ยนความรู้และแนวคิดทางวิชาการ ของบุคลากร ทั้งภายในและนอกสถาบัน

ในโอกาสนี้ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง รวมทั้งผู้เขียนบทความทุกท่านที่ส่งบทความ มาลงตีพิมพ์เผยแพร่และขอขอบพระคุณผู้อ่านทุกท่าน หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านทุกท่านคงได้รับประโยชน์จาก ผลงานทางวิชาการในวารสารฉบับนี้

ดร.สรายุทธ จีตะภาส

บรรณาธิการ

สารบัญ (Content)

	หน้า
กองบรรณาธิการ	II
บทบรรณาธิการ	IV
บทความวิจัย	
การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางกลร่วมกับวิธีทางชีวภาพ ภักดี สิทธิฤทธิ์กวิน ไพบูลย์ ยศภาศ และ ฤทธิชัย บุญทาศรี	1-15
การปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคนิค Weighted Aggregated Sum Product Assessment โดยใช้ Gibbs Entropy สำหรับการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ นรงค์ วิชาผา และ อนุชา ศรีบุรัมย์	16-29
การเปรียบเทียบการจัดเส้นทางรถขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและ วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด: กรณีศึกษาโรงงานน้ำตาลมุกเพชร อำเภอกุกระดิง จังหวัดเลย ขวัญข้าว สามารถกุล ศิริรินทร์า ทิพย์เนตร อธิติยา นิมาลา พัลลภ พรหมสาเพ็ชร วนิตา บุญโถม และ วาสนา พ่วงพรพิทักษ์	30-41
การออกแบบและพัฒนาเครื่องบรรจุดินปลูกอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ปิยณัฐ โตอ่อน รัชฎา แต่งภูเขียว อามิณท์ หล้าวงศ์ และ มัลลิกา ชีระกุล	42-57
การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักการลดความสูญเปล่า ECRS: กรณีศึกษา กระบวนการผลิตขาธงญี่ปุ่นตั้งป้ายไวโนล สุภาพร แสนกุล ณ์ภูธรณ์ชัย สุพัฒน์ธนานนท์ เจษฎา แจ่มแสง วัชรพล แสงตานุช เตวิช รุ่งนภากานต์ และ นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์	58-70

บทความวิจัย (Research Article)

การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางกลร่วมกับวิธีทางชีวภาพ

ภักดี สิทธิฤทธิ์กวิน^{1,*}, ไพฑูรย์ ยศกาศ¹ และ ฤทธิชัย บุญทาศรี¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: pakdee.me@gmail.com โทรศัพท์: 092-9963978

(รับบทความ: 21 มกราคม 2568; แก้ไขบทความ: 11 กุมภาพันธ์ 2568; ตอรับบทความ: 15 กุมภาพันธ์ 2568)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตกระดาษจากฟางข้าวโดยใช้วิธีทางกลร่วมกับวิธีทางชีวภาพ และศึกษาคุณสมบัติกระดาษจากฟางข้าวที่ได้มาจากกระบวนการผลิต โดยจะมีการเลือกฟางข้าวของต้นข้าวสองชนิดคือข้าวหอมมะลิ กข15 และข้าวเหนียวเขี้ยวงู มาทดสอบทำเยื่อกระดาษด้วยวิธีทางกล ได้แก่ การบดสับด้วยเครื่องจักร และการต้มในถังแรงควบคุมแรงดันที่มีการออกแบบและสร้างขึ้นมาให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยใช้อุณหภูมิในการต้ม 140 องศาเซลเซียส ความดัน 361 กิโลปาสกาล เพื่อลดเวลาและประหยัดเชื้อเพลิงในการต้มเยื่อกระดาษในส่วนวิธีทางชีวภาพจะนำฟางข้าวมาหมักกับน้ำที่มีสารจุลินทรีย์ย่อยสลาย พด.2 จากนั้นนำเยื่อฟางที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นกระดาษและนำไปทดสอบหาคุณสมบัติ หลังการทดสอบพบว่า ฟางข้าวจากข้าวหอมมะลิ กข15 สามารถนำไปผลิตเป็นกระดาษจากฟางได้ดีกว่า เนื่องจากให้ปริมาณเยื่อกระดาษได้มากกว่า เมื่อนำฟางข้าวไปผ่านขั้นตอนทางกลและนำไปแช่ในน้ำที่มีเชื้อจุลินทรีย์ พด.2 เป็นเวลา 30 วัน จะสามารถนำไปต้มในถังควบคุมแรงดันเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถลดเวลาการต้มเยื่อฟางได้ดีกว่าวิธีการผลิตด้วยสารโซดาไฟจึงทำให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่า โดยที่ความยาวของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่เหมาะสมจะใช้ที่ขนาด 33.4 มิลลิเมตร น้ำหนักเยื่อกระดาษ 45 กรัม ความหนากระดาษ 0.33 มิลลิเมตร และใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวปรับปรุงคุณภาพกระดาษจะทำให้ความต้านทานแรงดึงของกระดาษมากที่สุด 142.1 นิวตัน มีดัชนีต้านทานแรงดึง 58.42 นิวตันเมตรต่อกรัม เพิ่มมากขึ้นแต่การชั่งน้ำลดลงเหลือร้อยละ 75.58 ซึ่งมีคุณสมบัติเพียงพอต่อการนำไปพัฒนาอัดขึ้นรูปไปเป็นบรรจุภัณฑ์ใส่อาหารได้

คำสำคัญ: กระดาษ ฟางข้าว วิธีทางกล ชีวภาพ

การอ้างอิงบทความ: ภักดี สิทธิฤทธิ์กวิน, ไพฑูรย์ ยศกาศ และ ฤทธิชัย บุญทาศรี, "การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางกลร่วมกับวิธีทางชีวภาพ," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 1-15, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

Development of Paper Production Process from Rice Straw by Mechanical and Biological Methods

Pakdee Sittiritkawin^{1,*}, Paitoon Yotkat¹ and Ritthichai Boontasri¹

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Rai College

* Corresponding Author: pakdee.me@gmail.com, Tel: 092-9963978

(Received: January 21, 2025; Revised: February 11, 2025; Accepted: February 13, 2025)

Abstract

The objective of this research is to study the production process of paper from rice straw using mechanical methods combined with biological methods and to study the properties of paper from rice straw obtained from the production process. Rice straw from two types of rice, namely, jasmine rice RD15 and glutinous rice Khieo Ngu, will be selected to test the production of paper pulp by mechanical methods, namely, grinding by machine and boiling in a pressure vessel designed to be suitable for the application using a boiling temperature of 140 °C and a pressure of 361 kPa to reduce boiling time and save fuel. For the biological method, rice straw will be fermented with water containing microorganisms that decompose PD2. Then, the obtained straw pulp will be molded into paper and tested for properties. After testing, it was found that rice straw from jasmine rice RD15 can be used to produce paper from straw better because it gives more pulp. When the rice straw goes through the mechanical process and is soaked in water containing microorganisms PD2 for 30 days, it can be boiled in a pressure-controlled tank for 30 minutes. This method can reduce the boiling time of the straw pulp better than the production method using caustic soda, so it saves more energy. Where the length of rice straw pulp fibers is suitable to use at 33.4 mm, pulp weight 45 g, paper thickness 0.33 mm and using rice flour as a paper quality modifier, the maximum tensile strength of the paper is 142.1 N, with a tensile strength index of 58.42 N.m/g, increasing but water absorption is reduced to 75.58%, which has sufficient properties to be developed for compression molding into food packaging.

Keywords: Paper, Rice straw, Mechanical method, Biological

Please cite this article as: P. Sittiritkawin, P. Yotkat and R. Boontasri, "Development of Paper Production Process from Rice Straw by Mechanical and Biological Methods," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 1, pp. 1-15, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 65 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งประเทศ ได้ผลผลิตข้าว 24 ล้านตัน มีฟางข้าวเฉลี่ยประมาณปีละ 25.45 ล้านตัน [1] ซึ่งฟางข้าวเหล่านี้ส่วนใหญ่เกษตรกรจะนำไปใช้ในกิจกรรมทางเกษตรอย่างเช่น เพาะเห็ดฟาง ปุ๋ยหมัก ฯลฯ และก็มีเกษตรกรบางส่วนนำฟางมาอัดก้อนในราคาขาย 28 - 35 บาทต่อก้อน แต่ถ้าสามารถแปรรูปฟางเหล่านั้นได้จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้นไปอีก เช่น การแปรรูปฟางข้าวให้เป็นกระดาษและนำไปทำเป็นภาชนะใส่อาหารที่ปลอดภัยให้กับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการความปลอดภัยจากสารเคมี เป็นอีกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าฟางให้สูงขึ้น

จากการศึกษาข้อมูลพบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากวัสดุธรรมชาติ เพื่อสนองการเติบโตของภาคธุรกิจอาหารและเครื่องดื่มในปัจจุบันซึ่งมีการใช้บรรจุภัณฑ์เป็นปริมาณมาก ทั้งนี้มาตรฐานสำคัญสูงสุดของบรรจุภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ความปลอดภัยต่อสุขภาพและวัสดุที่สัมผัสอาหารโดยตรงจะต้องปราศจากสารอันตราย ที่อาจปนเปื้อนลงไปในอาหาร แต่กระบวนการผลิตภาชนะจากกระดาษฟางข้าวในกลุ่มเกษตรกรที่นิยมทำกันโดยส่วนใหญ่จะต้องใช้สารเคมีร่วมด้วย เช่น โซดาไฟ และสารฟอกขาว ซึ่งทำให้กระดาษฟางเหล่านั้นมีโอกาสปนเปื้อนสารเคมีไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและยุ่งยากในการกำจัดสารเคมีรวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ก็มีงานวิจัยที่พยายามลดการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตกระดาษอย่างเช่น ชัยพร และคณะ (2550) [2] มีการพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าวแบบพื้นบ้านและหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีให้น้อยที่สุด

สำหรับต้มฟางข้าวด้วยสารโซดาไฟ ในการพัฒนากระดาษฟางข้าวที่ทำด้วยมือโดยใช้สารที่ความเข้มข้น 15% ของน้ำหนักฟางข้าวแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้เยื่อ 44.12% มีคุณสมบัติทางเชิงกลน้ำหนักมาตรฐาน 104.12 กรัม/ตารางเมตร (g/m^2) ความต้านแรงดึง 15.80 นิวตันเมตร/กรัม ($\text{N.m}/\text{g}$) ความต้านแรงฉีกขาด 26.58 $\text{N.m}/\text{g}$ และความต้านการซึมน้ำ 63.48 % และ ชนกานต์ แยมภูิกา และคณะ (2565) [3] มีการศึกษาของอิทธิพลของน้ำหมักชีวภาพต่อการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของฟางข้าว โดยศึกษาชนิดของน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ 1) น้ำหมักปลา 2) น้ำหมักสับปะรด และ 3) สารเร่งซูเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าชนิดและความเข้มข้นของน้ำหมักเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของฟางข้าวและสารละลายหลังการหมัก

การศึกษการผลิตกระดาษจากฟางข้าวโดยไม่ใช้สารเคมีเพื่อนำกระดาษไปผลิตเป็นภาชนะใส่อาหารจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ โดยพบว่าการผลิตกระดาษฟางข้าวที่ไม่ใช้สารเคมีซึ่งสามารถใช้วิธีทางกลได้เช่นกันได้แก่ การต้ม บดสับ การปั่นละเอียดเพื่อให้ได้เยื่อกระดาษฟาง ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้วิธีทางความร้อนที่สูงกว่าระดับปกติที่ใช้กันอยู่ในการต้มเยื่อกระดาษอย่างเช่น อุดมเดชา พลเยี่ยม และ นิภาพร ปัญญา (2563) [4] ศึกษาพัฒนากระดาษและผลิตภัณ์กระดาษจากเศษของป่านครนารายณ์โดยใช้อุณหภูมิ 200°C ระยะเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมงร่วมกับสารโซดาไฟ (NaOH) เข้มข้น 2% และ 4% โดยปริมาตร นอกจากนั้นยังมีการใช้วิธีทางชีวภาพ

บทความวิจัย (Research Article)

นำมาช่วยในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ เช่น ฟินิกานต์ อารีวงษ์ และ วรณิษา นาคแกมทอง (2555) [5] ศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับกรรมวิธีโซดาไฟและการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวด้วยกรรมวิธีโซดาไฟทั้ง 2 วิธีใช้ระยะเวลาในการหมัก 20, 30 และ 40 วัน พบว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับกรรมวิธีโซดาไฟมีความต้านทานแรงฉีกขาดได้ดี และยังพบงานวิจัยที่มีการศึกษาการใช้วิธีทางชีวภาพ เช่น การใช้เชื้อราช่วยในการย่อยลิกนิน (Lignin) ในเส้นใยของพืชในงานศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากชานอ้อยใบสับปะรดและปอสาโดยวิธีทางชีวภาพ [6] การใช้เชื้อราย่อยลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าโดยวิธีทางชีวภาพ [7] และการกำจัดลิกนินโดยวิธีทางชีวภาพออกจากฟางข้าวเพื่อพัฒนาการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวโดยเชื้อราไวท์ร็อท [8]

ในส่วนของ การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับกระดาษอย่างเช่น L. Nortoualee (2564) [9] มีการเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมข้าวโพงงาม 3 และข้าวถิ่นแก้ว ใช้อุณหภูมิ 90 – 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อนำไปผสมกับแป้งมันและแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุก พบว่ากระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุก 5 % จะได้กระดาษที่มีความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด

จากข้อมูลงานวิจัยที่กล่าวทั้งหมดทำให้ทราบว่า การใช้วิธีการผลิตเยื่อกระดาษด้วยการต้มที่ความดันปกติอุณหภูมิ 100 °C จะใช้เวลานานและต้องใส่โซดาไฟในขณะที่ต้ม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการทำ

กระดาษด้วยทางชีวภาพจะมีข้อดีในแง่ความปลอดภัย ไม่มีการใช้สารเคมีและต้มภายใต้แรงดันที่สูงกว่าปกติ และการบดสับ ร่วมกับวิธีทางชีวภาพในการผลิตกระดาษจึงเป็นทางเลือกที่ช่วยลดเวลาในการผลิตกระดาษรวมไปถึงการไม่ใช้สารโซดาไฟ และศึกษาคูณสมบัติกระดาษที่ผลิตจากฟางข้าวและการปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษด้วยการใช้แป้งมันและแป้งข้าวเจ้า

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ขอบเขตงานวิจัย

1) ศึกษาขั้นตอนการผลิตกระดาษจากฟางข้าว ฟางจากต้นข้าวหอมมะลิ กข15 และฟางจากต้นข้าวเหนียวเขี้ยวงู โดยใช้วิธีทางกล ได้แก่ การใช้ความร้อนด้วยการต้มภายใต้หม้อควบคุมแรงดันและการสับละเอียด

2) ออกแบบถังต้มแรงดันที่เหมาะสมกับการใช้งานโดยเลือกวัสดุที่เป็นสแตนเลส

3) การใช้วิธีทางชีวภาพคือ ใช้สารเร่งซูเปอร์พด. 2 ที่ขยายเชื้อ

4) ศึกษาคุณสมบัติกระดาษ ได้แก่ การดูดซับน้ำและความต้านทานแรงดึง

5) ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษด้วยการใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 อัตราการนำความร้อนของถังต้มดังสมการที่ (1)

$$Q_{cond} = -kA \frac{dt}{dx} \quad (1)$$

บทความวิจัย (Research Article)

เมื่อ Q_{cond} คือ อัตราการนำความร้อนของถังต้ม
หน่วยวัตต์ (W)

k คือ ค่านำความร้อนของวัสดุเหล็กกล้า
ไร้สนิมมีค่า 14.4 วัตต์ต่อเมตร-องศาเคลวิน
(W/m.K)

A คือ พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน
หน่วยตารางเมตร (m^2)

$\frac{dt}{dx}$ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อระยะ
การเคลื่อนที่ของความร้อน

2.2.2 อัตราการพาความร้อนของถังต้มดังสมการที่ (2)

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_f) \quad (2)$$

เมื่อ Q_{conv} คือ อัตราการพาความร้อนของถังต้ม
หน่วยวัตต์ (W)

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน
ซึ่งเกิดขึ้นกับของไหล หน่วยวัตต์ต่อ
ตารางเมตร-องศาเคลวิน ($W/m^2.K$)

$T_s - T_f$ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิใน
กระบวนการพาความร้อนระหว่าง
ผิวของถังกับของไหล
หน่วยองศาเคลวิน (K)

2.2.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ในการถ่ายเทความร้อนที่มีการถ่ายเทความร้อน
เกิดขึ้นที่การนำและการพา การคำนวณจะต้องหา
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนโดยรวมเอา
ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนทั้งการนำและการ
พาเข้าด้วยกันสมการที่ (3) ดังนี้

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}\right)} \quad (3)$$

เมื่อ U คือ สัมประสิทธิ์รวมการถ่ายเทความร้อน
หน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเคลวิน
($W/m^2.K$)

2.2.4 พลังงานความร้อนที่ใช้ในการต้ม

ในการคำนวณหาพลังงานความร้อนสำหรับต้มน้ำ
ให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับความจุความร้อน
จำเพาะ มวลของของเหลวและความแตกต่างของ
อุณหภูมิของของเหลว ขณะเริ่มต้มจนถึงจุดที่ต้องการ
แสดงดังสมการที่ (4) ดังนี้

$$Q = mc_p \Delta t \quad (4)$$

เมื่อ Q คือ พลังงานความร้อนที่ใช้
หน่วยกิโลจูล (kJ)

m คือ มวลของของเหลว หน่วยกิโลกรัม (kg)

C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ หน่วยกิโล
จูลต่อกิโลกรัม-องศาเคลวิน (kJ/kg.K)

Δt คือ ความแตกต่างอุณหภูมิขณะที่เริ่มต้น
จนถึงจุดสุดท้าย หน่วยองศาเคลวิน (K)

2.2.5 ความต้านทานต่อแรงดึงในสภาวะแห้ง

ตัดกระดาษขนาด 1.5 เซนติเมตร (cm) x 14
เซนติเมตร (cm) จำนวน 5 ชิ้น เพื่อใช้สำหรับวัดค่า
ความต้านทานต่อแรงดึงด้วยเครื่อง universal
testing machine โดยใช้ load cell ขนาด 500 นิวตัน
(N) ความละเอียด +/- 0.1 N มาวัดความต้านแรง
ดึงด้วยเครื่องวัดความต้านแรงดึงมีระยะห่างระหว่าง

บทความวิจัย (Research Article)

ตัวหนีบเท่ากับ 100 มิลลิเมตร (mm) จะวัดได้จำนวน 5 ค่า เมื่อผลรวมหารด้วย 5 จะเป็นค่าความต้านแรงดึงของแผ่นเยื่อกลุ่มนี้แล้วนำไปคำนวณดัชนีความต้านแรงดึงมีหน่วยนิวตันเมตร/กรัม (N.m/g)

2.2.6 การดูดซึมน้ำของกระดาษ

ทำโดยเตรียมชิ้นกระดาษตัวอย่างขนาด 10 cm x 10 cm บันทึกค่าน้ำหนักแห้งก่อนแช่น้ำแช่ขึ้นตัวอย่างในน้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 2 นาที แล้วผึ่งให้เสด็จน้ำเป็นระยะเวลา 45 วินาที บันทึกค่าน้ำหนักขณะเปียกหลังแช่น้ำ จากนั้นเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ แล้วนำไปคำนวณค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเพื่อใช้ในการคำนวณค่าการดูดซึมน้ำ (% water absorption และ water absorption) ของกระดาษตามสมการที่ (5) โดยค่าที่รายงานเป็นค่าเฉลี่ยจาก 3 ตัวอย่าง

$$\% \text{ water absorption} = \frac{M_i - M_o}{M_i} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{water absorption} = \frac{M_i - M_o}{A} \quad (6)$$

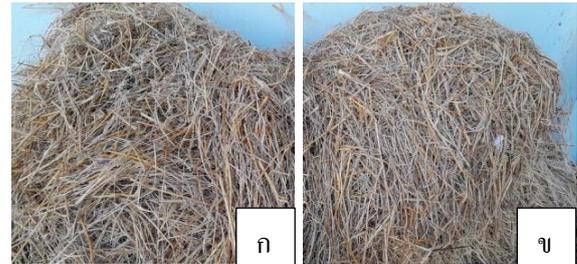
เมื่อ M_i คือ น้ำหนักเปียกหลังแช่น้ำ
 M_o คือ น้ำหนักแห้งก่อนแช่น้ำ
 A คือ พื้นที่ของแผ่นกระดาษ

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

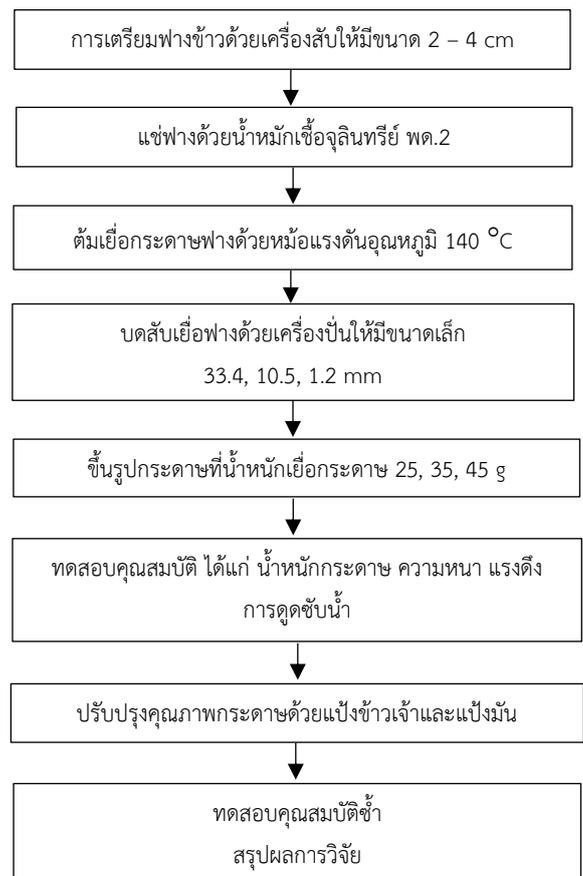
1) ออกแบบหม้อต้มแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยคำนวณหาความหนาของหม้อต้มจากค่าความเค้นที่เกิดจากแรงดันภายในหม้อต้ม และดำเนินการสร้างหม้อต้มแรงดันวัสดุสแตนเลสเพื่อใช้ในขบวนการต้มเยื่อกระดาษ

2) การเตรียมฟางด้วยเครื่องสับย่อยเอนกประสงค์ นำฟางข้าวจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ฟาง

ข้าวหอมมะลิ กข. และ ข้าวเหนียวเขี้ยวงู แสดงดังรูปที่ 1 และใช้เครื่องสับฟางเอนกประสงค์ให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 2 – 4 cm



รูปที่ 1 ฟางข้าวจากแปลงเกษตรอินทรีย์ : ก.ฟางข้าวหอมมะลิ กข15 ข.ฟางข้าวเหนียวเขี้ยวงู



รูปที่ 2 แผนภาพกระบวนการทดลอง

บทความวิจัย (Research Article)

3) การเตรียมฟางด้วยวิธีทางชีวภาพด้วยน้ำหมักชีวภาพกำจัดต่อซังข้าว โดยใช้สารเร่งซูเปอร์ พด. 2 ที่ขยายเชื้อ (Microbial activators PD2; M) ใช้ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ เจือจาง 10 เท่า และใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1 กิโลกรัม : 10 ลิตร (กก./ล.) และ นำน้ำหมักชีวภาพ สารเร่งซูเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ ผลิตโดยการหมักสารเร่งซูเปอร์ พด.2 ร่วมกับกากน้ำตาล [10] หลังจากนั้นนำน้ำหมักชีวภาพที่ได้มากรองเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง แช่ในฟางข้าวเป็นเวลา 30 วัน

4) การต้มฟางเพื่อผลิตเป็นเยื่อกระดาษฟาง เป็นการนำฟางที่ผ่านการแช่ด้วยจุลินทรีย์มาแล้วเป็นเวลา 30 วันจนฟางมีความอ่อนนุ่ม จากนั้นนำมาต้มด้วยแก๊ส LPG ในถังต้มแรงดันที่ได้ออกแบบในตอนต้นเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ฟางจำนวน 3 kg ต่อการต้มหนึ่งครั้ง โดยการใช้หม้อควบคุมแรงดันใช้อุณหภูมิ 140°C

5) บดฟางด้วยเครื่องบดเอนกประสงค์ บดสับละเอียด ขนาดกำลัง 800 W ความเร็วรอบ 3 ระดับ โดยที่ระดับ 1 ความเร็วรอบ 15,000 รอบต่อนาที (rpm) จะได้ฟางที่มีขนาดความยาว 33.4 mm ระดับ 2 ความเร็วรอบ 20,000 rpm จะได้ฟางที่มีขนาดความยาว 10.5 mm ระดับที่ 3 ความเร็วรอบ 25,000 rpm จะได้ฟางที่มีขนาดความยาว 1.2 mm

6) ขึ้นรูปกระดาษในการทดสอบหาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากฟางข้าว จะใช้เฟรมขนาด 20×30 cm โดยมีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ ใช้ความยาวของเยื่อฟาง 3 ระดับได้แก่ 33.4, 10.5, 1.2 mm และ น้ำหนักเยื่อกระดาษ 25, 35, 45 g

7) การใช้แป้งเพื่อปรับปรุงกระดาษให้มีความแข็งแรงในครั้งนี้โดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าโดยการนำแป้งทั้ง 2 ชนิดผสมน้ำแล้วต้มสุกที่มี

ความเข้มข้นของแป้ง 6 % ผสมลงไปนึ่งน้ำในขั้นตอนขึ้นรูปกระดาษด้วยเฟรมด้วยกระดาษ จากนั้นนำกระดาษที่ปรับปรุงด้วยแป้งทั้ง 2 ชนิด นำกระดาษไปทดสอบคุณสมบัติกระดาษเพื่อหาว่าแป้งชนิดใดจะมีความเหมาะสมมากกว่า

3. ผลการวิจัย

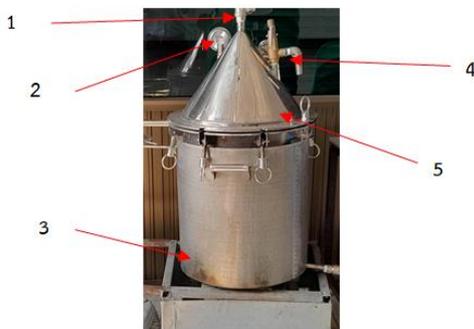
3.1 การออกแบบหม้อต้มแรงดัน

จากการคำนวณออกแบบหม้อต้มทำให้ได้ถังต้มเยื่อกระดาษแสดงดังรูปที่ 3 โดยการเลือกใช้วัสดุเป็นสแตนเลสความหนาของผนังที่ 6 mm เนื่องจากการขึ้นรูปมีการเชื่อมประกอบและเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm มีความสูง 80 cm มีอัตราการนำความร้อนของถังต้มเท่ากับ 90.2 kW ในส่วนการพาความร้อนของถังต้มเท่ากับ 85.1 kW ค่าสัมประสิทธิ์รวมการถ่ายเทความร้อนจากถังหนา 6 mm อุณหภูมิสูงสุด 180°C และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 30°C ความสามารถในการนำความร้อนของสแตนเลส (k) 14.4 W/m².K ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านใน (h_1) $2,400$ W/m².K ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านนอก (h_2) 81.2 W/m².K ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมได้จากสมการที่ (3) 76.5 W/m².K พลังงานความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำเมื่อคิดจากปริมาตรถึง 282 ลิตร แต่การต้มน้ำจะใช้น้ำสำหรับต้มเยื่อกระดาษเพียงครั้งของปริมาตรถังต้ม ดังนั้นน้ำที่ใช้ต้มจะมีเพียง 113 ลิตรหรือ 113 kg

จากสมบัติของน้ำเมื่อนำไปคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ต้องการจากสมการที่ (4) โดยกำหนดเวลา

บทความวิจัย (Research Article)

ที่จะใช้ในการต้มน้ำต้องไม่เกิน 2 ชั่วโมง ได้พลังงานความร้อน 5,821 W จะเลือกใช้เตาแบบฝัง 2 หัว Lucky Flame รุ่น LGS-992 นวัตกรรมหัวเตารุ่นใหม่ เปลวไฟ 3 วง ออกแบบมาเพื่อให้ไฟแรงสูงสุดถึง 6,000 W จะทำให้ใช้เวลาในการต้มเยื่อกระดาษประมาณ 2 ชั่วโมง และเมื่อนำหม้อต้มไปทดสอบการใช้งานด้วยการต้มเยื่อฟางด้วยอุณหภูมิ 140°C จะใช้เวลาในการต้ม 30 นาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรต้มแบบเดิมที่ไม่ควบคุมแรงดันจะใช้เวลาในการต้มนานกว่า 3 – 4 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอุดมเดชา พลเยี่ยม และ นิภาพร ปัญญา (2563) [4] ที่ศึกษาพัฒนากระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษจากเศษของป่านศรนารายณ์โดยใช้สารละลายโซดาไฟทำการต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 200°C ใช้ระยะเวลา 2 – 6 ชั่วโมง



รูปที่ 3 หม้อต้มแรงดันสำหรับต้มเยื่อกระดาษจากฟางข้าวประกอบด้วย 1.เทอร์โมคัปเปิล 2.เกจวัดแรงดัน 3.ถังต้ม 4.วาล์วลดแรงดัน 5.ฝาถังความดัน

3.2 การทดสอบการทำเยื่อกระดาษฟางข้าว

1) การศึกษาชนิดของฟางข้าวที่เหมาะสมต่อการผลิตเยื่อกระดาษ

เมื่อนำฟางทั้ง 2 ชนิดได้แก่ ฟางข้าวหอมมะลิ กข 15 และฟางข้าวเหนียวเขี้ยววง มาสับย่อยด้วยเครื่อง

สับเอนกประสงค์ให้มีขนาดความยาวประมาณ 7 – 9 cm แล้วนำไปหมักในน้ำที่มีจุลินทรีย์ พด.2 เป็นเวลา 30 วัน และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าฟางข้าวหอมมะลิ กข ให้ผลผลิตของเยื่อมากที่สุดในการต้มเยื่อเมื่อทำการเปรียบเทียบจากฟางข้าวทั้ง 2 ชนิด โดยพบว่าที่ฟางข้าวหอมมะลิ กข ให้ผลผลิตเยื่อมากที่สุด 31.55 % ในขณะที่ฟางข้าวเหนียวเขี้ยววงให้ผลผลิต 25.42 % ดังนั้นจึงเลือกฟางข้าวหอมมะลิ กข ใช้ในการทำเยื่อกระดาษจากฟางข้าวในลำดับถัดไป

2) การเตรียมฟางข้าว

จากการเตรียมฟางข้าวก่อนนำไปหมักด้วยจุลินทรีย์ จะใช้เครื่องสับเอนกประสงค์ย่อยฟางข้าวให้มีขนาดเล็กลงโดยทำการสับย่อย 2 ครั้ง จะได้ฟางมีความยาว 10 – 15 cm แสดงดังรูปที่ 4 ข ในครั้งแรก จากนั้นนำไปย่อยให้ละเอียดอีกครั้งให้มีความยาว 3 – 6 cm. แสดงดังรูปที่ 4 ค



รูปที่ 4 ฟางข้าวที่ผ่านการสับย่อยด้วยเครื่องจักร : ก. ฟางก่อนสับ ข. ฟางสับยาว 10 – 15 cm. วัน และ ค. ฟางสับยาว 3 – 6 cm.

การใช้จุลินทรีย์โดยเลือกสารเร่งซูเปอร์ พด.2 [11] ขนาด 100 กรัม ที่ขยายเชื้อผลิตโดยร่วมกับ

บทความวิจัย (Research Article)

กากน้ำตาล นำไปหมักกับฟางข้าวที่ผ่านการสับย่อย แล้วด้วยอัตราส่วนน้ำหมัก 200 ลิตรต่อฟางข้าว 4 kg ทำการหมักเป็นเวลา 30 วัน ดังรูปที่ 5 ก – ค



รูปที่ 5 ฟางข้าวที่ผ่านการหมักด้วยน้ำหมัก พด.2
: ก. ฟางหมัก 10 วัน ข. ฟางหมัก 20 วัน
และ ค. ฟางหมัก 30 วัน

หลังจากการหมักพบว่าฟางข้าวมีลักษณะอ่อนนุ่ม ดังรูปที่ 5 ค มีลักษณะของเส้นใยแยกออกจากกัน อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ กลุ่มต่างๆ ที่พบในน้ำหมัก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์สาร เช่น *Bacillus* sp. *Aspergillus* sp. และ *Lactobacillus* sp. จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำให้หน้าที่ในการผลิตเอนไซม์บางชนิดออกมาย่อยสลาย ฟางข้าว เช่น เอนไซม์เซลลูเลสทำหน้าที่ย่อยสลายเซลลูโลส เอนไซม์โปรติเอสทำหน้าที่ย่อยโปรตีน และเอนไซม์ฟอสฟาเทสทำหน้าที่ปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้เป็นประโยชน์ต่อพืชเป็นต้น [12] สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิณารัตน์ มุรธาพันธ์และสมชาย โชคตระการ (2553) [13] ที่พบว่าหลังจากกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพจากปลาทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสเพิ่มขึ้น และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายฟางข้าว

มากตามไปด้วย และการศึกษาของ นวลจันทร์ ชบา (2557) [14] ที่ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายฟางข้าว โดยการใช้ น้ำหมักชีวภาพ พบว่าการใช้น้ำหมักปลาทำให้มีปริมาณแบคทีเรียและแอคติโนมัยซีทย่อยสลายเซลลูโลสเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมักและส่งผลต่อการย่อยสลายฟางข้าว นอกจากนี้ อมรรัตน์ ชุมทอง และภัทรพร ภัคดีฉนวน (2562) [15] ได้ทำการทดลองหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่มีเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* spp. เป็นเวลา 28 วัน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายฟางข้าวอยู่ในช่วง 37.27-39.30%



รูปที่ 6 ฟางที่ผ่านการต้มเยื่อและผ่านการล้างเยื่อด้วยถังต้ม

หลังจากการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 วัน แล้วนำไปต้มในน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 30 นาที ก็จะได้เยื่อฟางดังรูปที่ 6 แสดงฟางที่ผ่านการต้มเยื่อและผ่านการล้างเยื่อด้วยถังขนาด 200 ลิตรและจากการนำเยื่อฟางที่ผ่านการต้มแล้วมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดให้เยื่อฟางมีขนาดความยาว 3 ขนาด ได้แก่ขนาด 33.4, 10.5 และ 1.2 mm แสดง

บทความวิจัย (Research Article)

ดังรูปที่ 7 แล้วจึงนำเยื่อฟางไปขึ้นรูปเป็นกระดาษเพื่อทำการทดสอบต่อไป

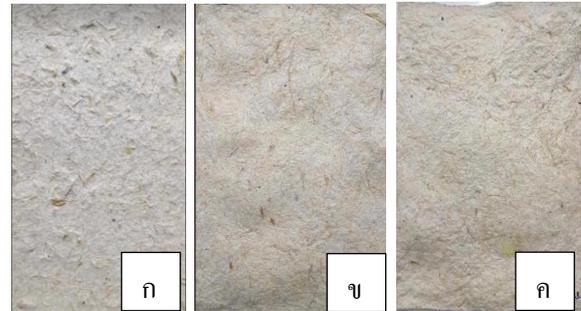


รูปที่ 7 เยื่อฟางที่ผ่านการบดละเอียด: ก. เยื่อฟางขนาด 33.4 mm ข. เยื่อฟางขนาด 10.5 mm และ ค. เยื่อฟางขนาด 1.2 mm

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระดาษจากฟางข้าวเจ้า

จากการนำเยื่อฟางทั้ง 3 ขนาดมาขึ้นรูปกระดาษด้วยเฟรมขนาด 20 x 30 cm. แล้วนำไปตากแห้งเป็นเวลา 2 วันทำให้ได้กระดาษจากฟางข้าวแสดงดังรูปที่ 8 ก-ค ขนาดเยื่อฟาง 33.4, 10.5 และ 1.2 mm ตามลำดับ โดยพบว่ากระดาษจากเยื่อฟางขนาด 33.4 mm เนื้อกระดาษจะเห็นเส้นใยฟางข้าวอย่างชัดเจน

แต่กระดาษที่มีเนื้อละเอียดเนียนที่สุดจะเป็นขนาดเส้นใย 1.2 mm



รูปที่ 8 กระดาษจากเยื่อกระดาษฟางข้าวที่ขนาดต่างๆ ก่อนนำไปทดสอบ ก. เยื่อฟางขนาด 33.4 mm ข. เยื่อฟางขนาด 10.5 mm และ ค. เยื่อฟางขนาด 1.2 mm

จากการทดสอบแผ่นกระดาษขนาด 20 x 30 cm ที่ผลิตจากเยื่อกระดาษฟางข้าวโดยใช้เยื่อฟางที่มีขนาดความยาวของเส้นใยทั้ง 3 ขนาด และใช้น้ำหนักเยื่อกระดาษที่ 25, 35 และ 45 g ของเยื่อเปียกแล้วนำแผ่นกระดาษไปทดสอบคุณสมบัติกระดาษซึ่งได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

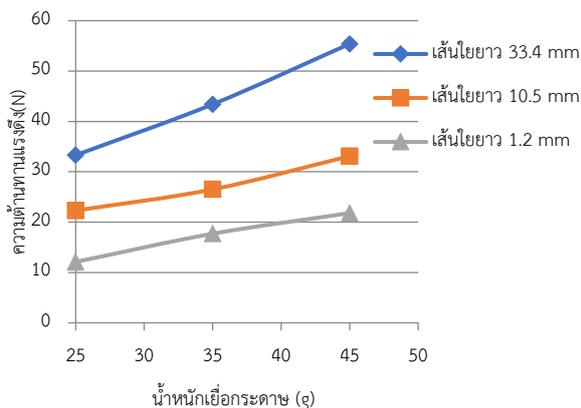
ตารางที่ 1 คุณสมบัติกระดาษจากฟางข้าว

ความยาวของเส้นใยเยื่อกระดาษฟางข้าว (mm)	น้ำหนักเยื่อกระดาษ (g)	ความหนา (mm)	น้ำหนักมาตรฐาน (g/m ²)	ความต้านทานแรงดึง (N)	ดัชนีต้านทานแรงดึง (N.m/g)	การดูดซับน้ำ (%)	ค่าการดูดซึมน้ำ (g/m ²)
33.4	25	0.17	115.3	33.3	14.52	84.11	842.1
	35	0.27	161.5	43.4	17.69	85.89	853.4
	45	0.38	221.1	55.4	19.33	87.73	861.8

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติกระดาษจากฟางข้าว (ต่อ)

ความยาวของเส้นใยเยื่อกระดาษฟางข้าว (mm)	น้ำหนักเยื่อกระดาษ (g)	ความหนา (mm)	น้ำหนักมาตรฐาน (g/m ²)	ความต้านทานแรงดึง (N)	ดัชนีต้านทานแรงดึง (N.m/g)	การดูดซับน้ำ (%)	ค่าการดูดซึมน้ำ (g/m ²)
10.5	25	0.18	116.2	22.3	8.15	83.01	845.3
	35	0.25	167.7	26.5	10.57	85.11	855.3
	45	0.41	222.8	33.1	12.18	86.87	862.2
1.2	25	0.17	114.2	12.1	4.54	82.74	870.3
	35	0.26	163.8	17.7	6.95	84.21	875.2
	45	0.39	220.3	21.8	8.11	85.98	878.3



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของความยาวของเยื่อฟางข้าว น้ำหนักเยื่อฟาง และความต้านทานแรงดึง

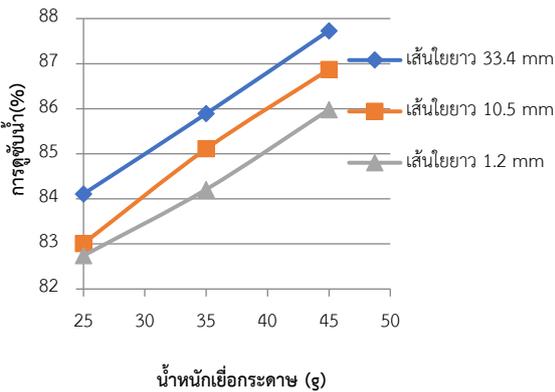
จากผลการทดสอบกระดาษจากฟางข้าวแสดงในตารางที่ 1 พบว่าความหนาของแผ่นกระดาษและน้ำหนักมาตรฐานมีความแตกต่างกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเยื่อเปียกที่ใช้ในการทำแผ่นกระดาษ โดยเฉพาะที่น้ำหนักเยื่อกระดาษ 45 g จะทำให้กระดาษมีความหนามากที่สุด ทุกขนาดความ

ยาวของเส้นและมือน้ำหนักมาตรฐานอยู่ระหว่าง 115.3 – 221.1 g/m² ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกระดาษชนิดผิวกล่องของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมที่ใช้สำหรับขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่าง 125 – 230 g/m² [16]

ในส่วนของคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงของกระดาษจากการทดสอบตัวอย่างกระดาษพบว่า ที่ความยาวของเส้นใยเยื่อกระดาษฟางข้าวขนาด 33.4 mm และน้ำหนักเยื่อกระดาษ 45 g จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด และที่ค่าต้านทานแรงดึงน้อยสุดจะเกิดขึ้นที่เส้นใยขนาด 1.2 mm น้ำหนักเยื่อกระดาษที่ 25 g แสดงดังรูปที่ 9 เนื่องจากเส้นที่มีความยาวมากกว่าจะมีปริมาณเส้นใยและการซ้อนทับกันรวมถึงความยาวของเส้นที่ยาวกว่า จะเกิดแรงยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยได้มากกว่าเส้นใยสั้นรวมไปถึงปริมาณของเส้นใยเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลต่อคุณสมบัติกระดาษในด้านความต้านทานแรงดึงรวมไปถึงดัชนีต้านทานแรงดึงที่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณน้ำหนักเยื่อกระดาษ

บทความวิจัย (Research Article)

ด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระดาษที่มีความหนา 0.38 mm ทุกความยาวของเส้นใยจะทำให้ดัชนีต้านทานแรงดึงสูงสุด 19.33 N.m/g

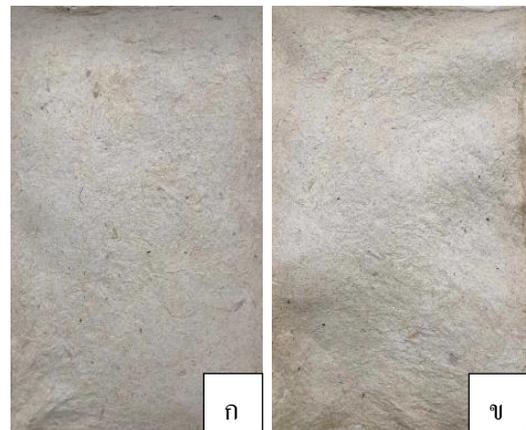


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของความยาวของเยื่อฟางข้าว น้ำหนักเยื่อกระดาษ ค่าการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบด้านการดูดซึมน้ำของกระดาษพบว่าความยาวของเส้นใยเยื่อกระดาษฟางข้าวไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำของกระดาษ เมื่อพิจารณาที่ความยาวของเส้นใยเยื่อ 33.4 – 1.2 mm มีน้ำหนักเยื่อกระดาษเท่ากันทำให้ค่าการดูดซึมน้ำ 85.98 % ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณน้ำหนักเยื่อกระดาษหรือความหนากระดาษจะมีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำ ยกตัวอย่างเช่นที่ความหนา 0.17 mm ดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าที่ความหนา 0.38 mm แสดงดังรูปที่ 10 เนื่องจากเมื่อน้ำหนักเยื่อกระดาษหรือความหนาที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยมีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดอยู่ที่ 87.73 g/m² เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อต่อตารางเมตรมากขึ้นจะทำให้กระดาษมีความหนาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กระดาษมีปริมาตรในการรับน้ำได้มากสูงตามไปด้วยเช่นกัน

3.4 การทดสอบสมบัติกระดาษที่ปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษดังตารางที่ 2 เพื่อให้กระดาษให้มีความแข็งแรงมากขึ้นโดยเลือกใช้เยื่อกระดาษ 35 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้าต้มสุกที่มีความเข้มข้น 6 % ของน้ำหนักเยื่อเปียกต่อปริมาตร ผสมกับน้ำ 200 ลิตรสำหรับขึ้นรูปกระดาษแสดงดังรูปที่ 10 ก. แป้งข้าวเจ้า และ ข. แป้งมันสำปะหลัง กระดาษมีลักษณะพื้นผิวเรียบขึ้น และเมื่อนำกระดาษมาทดสอบพบว่าความหนาและน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่ผ่านการเติมแป้งเพิ่มเล็กน้อย ในส่วนของความต้านทานแรงดึงและดัชนีต้านทานแรงดึงเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 43.4 N เพิ่มเป็น 142.1 N และ จากเดิม 17.69 N.m/g เพิ่มไปเป็น 58.42 N.m/g ตามลำดับ



รูปที่ 11 กระดาษจากฟางข้าวที่ปรับปรุง :
ก. แป้งข้าวเจ้า ข. แป้งมันสำปะหลัง

เนื่องจากการเติมแป้งเปียกลงไปในกระบวนการผลิตกระดาษ ตัวแป้งทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อใยขนาดเล็กและอนุภาคจับตัวกันอยู่ในเนื้อเยื่อกระดาษ และยัง

บทความวิจัย (Research Article)

ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยกันเอง รวมทั้งเส้นใยกับอนุภาคได้ดีขึ้น กระจกาศที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น [17] แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดนี้

ด้านทานแรงดึงที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าแป้งข้าวเจ้าทำให้กระจกาศด้านทานแรงดึงได้มากกว่า

ตารางที่ 2 คุณสมบัติกระจกาศที่ปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

แผ่นกระจกาศ	ความหนา (mm)	น้ำหนัก (g/m ²)	ความต้านทานแรงดึง (N)	ดัชนีต้านทานแรงดึง (N.m/g)	การดูดซับน้ำ (%)
กระจกาศยังไม่ปรับปรุง	0.27	161.5	43.4	17.69	85.89
กระจกาศปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้า	0.33	164.2	142.1	58.42	75.58
กระจกาศปรับปรุงด้วยแป้งมัน	0.32	164.8	140.1	55.32	73.41

4. สรุปผลการวิจัย

การผลิตกระจกาศจากฟางข้าวพบว่าฟางข้าวจากข้าวหอมมะลิ กข15 สามารถนำไปผลิตเป็นกระจกาศจากฟางได้ดีกว่าฟางข้าวจากข้าวเหนียวเขี้ยวงู เนื่องจากให้ปริมาณเยื่อกระจกาศได้มากกว่า และในขั้นตอนทางกลโดยการบดสับละเอียดด้วยเครื่องสับอเนกประสงค์และนำไปแช่ในน้ำที่มีเชื้อจุลินทรีย์ พด.2 เป็นเวลา 30 วัน ก็จะสามารถนำไปต้มด้วยแก๊ส LPG ด้วยหม้อต้มแรงดันสามารถลดเวลาในการต้มเยื่อฟางให้ลดลงได้เหลือเวลา 30 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการต้มด้วยสารโซดาไฟจึงทำให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่าและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่ใช้สารโซดาไฟช่วยในการต้มจึงไม่สารตกค้างเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและความยาวของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่เหมาะสมจะใช้ที่ขนาด 33.4 mm น้ำหนักเยื่อกระจกาศ 45 g ความหนากระจกาศ 0.33 mm และใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวปรับปรุงคุณภาพกระจกาศจะทำให้ความต้านทานแรงดึงของกระจกาศมากที่สุด 142.1 N มีดัชนีต้านทานแรงดึง 58.42 N.m/g และลดการซับน้ำลง

เหลือ 75.58 % และเพื่อพิจารณาจากน้ำหนักกระจกาศต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร จะทำให้กระจกาศมีความหนามากที่สุดทุกขนาดความยาวของเส้นใยและมีน้ำหนักมาตรฐานอยู่ระหว่าง 115.3 – 221.1 g/m² ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกระจกาศชนิดผิวกล่องของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมที่ใช้สำหรับขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่าง 125 – 230 g/m² ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาอัดขึ้นรูปไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหารได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติกระจกาศเบื้องต้นทำให้ทราบว่ากระจกาศที่ผลิตจากฟางข้าวด้วยวิธีข้างต้นสามารถนำไปพัฒนาต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์ภาชนะใส่อาหารที่ปลอดภัยได้แต่ยังไม่ได้ทดสอบการนำไปใช้งานขึ้นรูปเป็นภาชนะใส่อาหารซึ่งยังต้องทดสอบการใช้งานจริงในการวิจัยครั้งต่อไป

บทความวิจัย (Research Article)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเครือข่ายวิจัยภาคเหนือตอนบน
ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มุลนิธิเกษตรกรรมสิ่งแวดล้อม (ประเทศไทย), "ข้าว", [ออนไลน์]. Available: <http://www.aecth.org/upload/13823/Yg2qaxoQyg.pdf>. [เข้าถึงเมื่อ: 2 ธันวาคม 2566].
- [2] ชัยพร สามพุ่มพวง, รังสิณี ไสธวิทย์, วุฒินันท์ คงทัด และ วารณี ธนะแพสย์, "การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าวแบบพื้นบ้าน," ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550, หน้า 332-337.
- [3] ชนากานต์ แยมฎีกา, ผานิตย์ นาขยัน, สาวิกา กอนแสง, ภาวิณี อารีศรีสม และ วิณา นิลวงศ์, "อิทธิพลของน้ำหมักชีวภาพต่อการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของฟางข้าว," วารสารแก่นเกษตร, ปีที่ 50, ฉบับที่ 6, หน้า 1797-1807, 2565.
- [4] อุดมเดชา พลเยี่ยม และ นิภาพร ปัญญา, "การพัฒนากระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษจากเศษของป่านศรนารายณ์ของชุมชนหุบกระพง จังหวัดเพชรบุรี เพื่อส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน," รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ, 2563.
- [5] พิณจกานต์ อารีวงศ์ และ วรณิษา นาคแกมทอง, "การผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับกรรมวิธีโซดาไฟ," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาชีววิทยา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555.
- [6] กัลยวัต พงสุรัตน์, "การใช้รายย่อยลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากขานอ้อยใบสับประดและปอสา โดยวิธีทางชีวภาพ," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- [7] กรกนก กอวงศ์, นริศรา ศรีเมฆ และ อภิญญา แจ็กภู, "การใช้รายย่อยลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าโดยวิธีทางชีวภาพ," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554.
- [8] จารุกร สุวรรณเมือง, "การกำจัดลิกนินโดยวิธีทางชีวภาพออกจากฟางข้าวเพื่อพัฒนาการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวโดยเชื้อราไวท์ร็อท," รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2547.
- [9] L. Nortoualee, "การเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาสสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2564.
- [10] สำนักนิเทศและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน, "การขยายเชื้อผลิตโดยร่วมกับกากน้ำตาล," กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ, 2550.
- [11] กรมพัฒนาที่ดิน, "การใช้จุลินทรีย์โดยเลือกสารเร่งซูปเปอร์ พด.2," กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ, 2558.

บทความวิจัย (Research Article)

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคนิค Weighted Aggregated Sum Product Assessment โดยใช้ Gibbs Entropy สำหรับการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์

นรงค์ วิชาผา^{1,*} และ อนุชา ศรีบุรีรัมย์¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: narong.wi@ksu.ac.th โทรศัพท์: 0850028205

(รับบทความ: 30 มกราคม 2568; แก้ไขบทความ: 7 กุมภาพันธ์ 2568; ตอรับบทความ: 13 กุมภาพันธ์ 2568)

บทคัดย่อ

การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) เป็นแนวทางสำคัญที่ใช้ในกระบวนการตัดสินใจที่มีปัจจัยหลายด้าน โดยได้รับความนิยมในสาขาต่าง ๆ เช่น วิศวกรรม การจัดการ และโลจิสติกส์ เทคนิค Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) เป็นหนึ่งในเทคนิค MCDM ที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถผสมผสานจุดแข็งของ Weighted Sum Model (WSM) และ Weighted Product Model (WPM) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของ WASPAS คือ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ λ เท่ากับ 0.5 เป็นค่าคงที่ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการจัดอันดับตัวเลือก งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางใหม่โดยใช้ Gibbs Entropy เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ λ และใช้ค่าเอนโทรปีเป็นตัวชี้วัดในการจัดลำดับทางเลือก โดยทำการทดสอบกับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC (Computer Numerical Control Lathe) ผลการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (r) สูงมาก โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ WASPAS ($r = 1.000$) และ COPRAS ($r = 0.937$) แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีความน่าเชื่อถือสูงและให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับวิธีมาตรฐาน งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหา MCDM ที่ต้องการพิจารณาผลกระทบของพารามิเตอร์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการตัดสินใจยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (MCDM), WASPAS, Gibbs entropy, การเลือกเครื่อง CNC

การอ้างอิงบทความ: นรงค์ วิชาผา และ อนุชา ศรีบุรีรัมย์, "การปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคนิค Weighted Aggregated Sum Product Assessment โดยใช้ Gibbs Entropy สำหรับการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 16-29, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

Enhancing the Efficiency of Weighted Aggregated Sum Product Assessment Using Gibbs Entropy for Multi-Criteria Decision-Making Problems

Narong Wichapa^{1,*} and Anucha Sriburum¹

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

* Corresponding Author: narong.wi@ksu.ac.th, Tel: 0850028205

(Received: January 30, 2025; Revised: February 7, 2025; Accepted: February 13, 2025)

Abstract

Multi-Criteria Decision Making (MCDM) is a crucial approach in decision-making processes involving multiple factors. It is widely applied in various fields such as engineering, management, and logistics. The Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) technique is one of the most efficient MCDM methods, as it integrates the strengths of the Weighted Sum Model (WSM) and Weighted Product Model (WPM). However, a key limitation of WASPAS is the fixed assignment of the parameter $\lambda = 0.5$, which may impact the accuracy of ranking alternatives. This study proposes a novel approach incorporating Gibbs Entropy to analyze the sensitivity of the λ parameter and uses entropy values as a ranking criterion. The proposed method was tested on a Computer Numerical Control (CNC) lathe selection problem, demonstrating a high Spearman correlation coefficient (r) when compared with WASPAS ($r = 1.000$) and COPRAS ($r = 0.937$). These results confirm that the proposed method is highly reliable and produces rankings consistent with established MCDM techniques. This study can be applied to MCDM problems where parameter sensitivity analysis is necessary, enhancing decision-making accuracy and reliability.

Keywords: Multi-criteria decision making, WASPAS, Gibbs entropy, CNC machine selection

Please cite this article as: N. Wichapa and A. Sriburum, "Enhancing the Efficiency of Weighted Aggregated Sum Product Assessment Using Gibbs Entropy for Multi-Criteria Decision-Making Problems," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 1, pp. 16-29, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการประเมินและเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ปัจจัยหรือเกณฑ์หลายด้าน มีบทบาทสำคัญในสาขาต่าง ๆ เช่น วิศวกรรม [1] การจัดการ [2] และ โลจิสติกส์ [3] โดยช่วยให้สามารถพิจารณาข้อมูลที่ซับซ้อนและเปรียบเทียบเกณฑ์หลายข้ออย่างเป็นระบบ ลดความคลาดเคลื่อน และเพิ่มความโปร่งใสในกระบวนการตัดสินใจ MCDM ยังช่วยลดความไม่แน่นอนของข้อมูลและรองรับความแปรปรวนของปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ของการตัดสินใจ ด้วยแนวทางที่มีหลักเกณฑ์ชัดเจน ทำให้การประเมินผลมีประสิทธิภาพและสามารถอธิบายผลลัพธ์ได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ยังช่วยให้การตัดสินใจในกรณีที่ซับซ้อน เช่น การจัดสรรทรัพยากร หรือการคัดเลือกเทคโนโลยี เป็นไปอย่างเหมาะสมและรอบคอบ ด้วยข้อได้เปรียบเหล่านี้ MCDM จึงเป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ [4-6]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า หนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยมสำหรับการแก้ปัญหา MCDM คือ วิธี Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) ได้รับการพัฒนาโดย Zavadskas et al. [7] ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่าง Weighted Sum Model (WSM) และ Weighted Product Model (WPM) วิธีนี้ใช้หลักการถ่วงน้ำหนักและการคูณเพื่อสร้างดัชนีที่สามารถเปรียบเทียบและจัดลำดับทางเลือก ปัญหาที่สำคัญของวิธี WASPAS คือ ค่าพารามิเตอร์ λ ซึ่งมักถูกกำหนดเป็นค่าคงที่

($\lambda = 0.5$) เพื่อสร้างสมดุลระหว่าง WSM และ WPM อย่างไรก็ตาม การใช้ค่า λ ที่คงที่อาจไม่สามารถสะท้อนลักษณะเฉพาะของข้อมูลในแต่ละกรณีได้อย่างถูกต้อง ทำให้ผลลัพธ์ของการจัดลำดับอาจมีความคลาดเคลื่อนและแตกต่างจากวิธี MCDM อื่น ๆ

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์ความไวของค่าพารามิเตอร์ λ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Gibbs Entropy ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการคำนวณค่าเอนโทรปีของข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ [8-10] การนำ Gibbs Entropy มาใช้ช่วยให้สามารถวัดความไม่แน่นอนของค่าคะแนน WASPAS ที่พารามิเตอร์ λ ที่แปรค่า โดยขั้นตอนแรกจะใช้วิธี WASPAS ในการสร้างตารางวิเคราะห์ความไวของค่าคะแนนโดยการแปรค่าพารามิเตอร์ λ จากนั้นค่าคะแนนที่ได้รับจะถูกนำไปคำนวณค่าเอนโทรปีโดยใช้ Gibbs Entropy เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดลำดับทางเลือกที่มีความเหมาะสมสูงสุด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาแนวทางใหม่สำหรับการจัดลำดับทางเลือกในปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ โดยมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ λ ที่เปลี่ยนแปลงต่อผลลัพธ์ของ WASPAS และนำแบบจำลอง Gibbs Entropy มาใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจ วิธีการที่นำเสนอจะถูกทดสอบผ่านตัวอย่างการคำนวณการเลือกเครื่องกลึง CNC (Computer Numerical Control Lathe) ในบทความวิจัยของ Krilomsom et al. [11] และแสดงผลลัพธ์ที่ได้รับจากแนวทางที่พัฒนาเปรียบเทียบกับวิธี MCDM อื่น ๆ เพื่อประเมิน

บทความวิจัย (Research Article)

ประสิทธิภาพและศักยภาพของแนวทางที่เสนอในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์

โครงสร้างของบทความนี้ประกอบด้วย หัวข้อที่ 2 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง หัวข้อที่ 3 เป็นวิธีการวิจัย ส่วนหัวข้อที่ 4 และ หัวข้อที่ 5 เป็นผลการวิจัย และสรุปผลการวิจัย ตามลำดับ

2. การทบทวนวรรณกรรม

วิธี WASPAS เป็นหนึ่งในเทคนิคการตัดสินใจหลายเกณฑ์ ที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขหรือเกณฑ์การตัดสินใจหลายประการพร้อมกัน โดย WASPAS เป็นการผสมผสานระหว่างเทคนิคการตัดสินใจหลายเกณฑ์ดั้งเดิมสองวิธีได้แก่ WSM และ WPM ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจมากขึ้นกว่าวิธีดั้งเดิมแบบแยกกัน วิธี WASPAS ได้ถูกนำเสนอโดย Zavadskas et al. [7] ซึ่งได้นำจุดแข็งของ WSM และ WPM มาคำนวณค่าคะแนนของ WASPAS โดยกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละวิธีเท่ากันคือ 0.5 (ค่าพารามิเตอร์ $\lambda = 0.5$) หลักการพื้นฐานของ WASPAS ประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก

(1) WSM: วิธีนี้ใช้แนวคิดของผลรวมถ่วงน้ำหนัก โดยคำนวณค่าคะแนนของตัวเลือกแต่ละตัวจากผลรวมของค่าของเกณฑ์ที่ถูกคูณด้วยน้ำหนักที่กำหนด

(2) WPM: วิธีนี้ใช้การคูณค่าของเกณฑ์ที่ถูกยกกำลังด้วยน้ำหนักสัมพัทธ์ ทำให้สามารถประเมินตัวเลือกได้โดยคำนึงถึงสัดส่วนเชิงเปรียบเทียบของแต่ละเกณฑ์

วิธี WASPAS ได้รับการยอมรับในงานวิจัยหลายแขนง [12-14] เนื่องจากเทคนิค WASPAS เป็นการ

ผสมผสานจุดแข็งของ WSM และ WPM เพื่อลดข้อจำกัดของแต่ละวิธีเมื่อใช้แยกกัน ทำให้สามารถลดความไม่แน่นอนและให้ผลลัพธ์ที่เสถียรมากขึ้น อีกทั้งยังมีการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เช่น การจัดลำดับทางเลือก การคัดเลือกซัพพลายเออร์ และการบริหารจัดการทรัพยากร นอกจากนี้ WASPAS ยังมีความง่ายในการคำนวณเมื่อเทียบกับวิธี MCDM อื่น ๆ เช่น Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) [15] Complex Proportional Assessment (COPRAS) [16] หรือ Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis [17] จึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตัดสินใจหลายเกณฑ์

จากการศึกษาวรรณกรรมพบว่า วิธี WASPAS ถูกนำไปใช้ในหลายสาขา เช่น De Assis et al. [18] ได้นำเสนอบทความวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิค WASPAS สำหรับการคัดเลือกเฮลิคอปเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมทางอากาศของตำรวจและทหาร ในรัฐริโอเดจาเนโร Akram et al. [19] ได้นำเสนอวิธีการตัดสินใจหลายเกณฑ์ โดยใช้ Fuzzy logic ร่วมกับ วิธี WASPAS เพื่อคัดเลือกสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในภาคอุตสาหกรรม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถจัดการกับความไม่แน่นอนในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องและเสถียรมากกว่าวิธีการเดิมที่ใช้ในการคัดเลือกสถานที่ Badalpuret al. [20] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธี WASPAS ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของความเสี่ยง โดยใช้กรณีศึกษาจากโครงการก่อสร้างถนนในประเทศอิหร่าน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธีนี้สามารถประเมินความเสี่ยงได้อย่างแม่นยำและมี

บทความวิจัย (Research Article)

ประสิทธิภาพสูงในสภาพแวดล้อมการก่อสร้างจริง ซึ่งช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียสามารถจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงและปรับกลยุทธ์การจัดการความเสี่ยงได้อย่างเหมาะสม

Lukić et al. [21] ได้ประยุกต์ใช้วิธี WASPAS เพื่อประเมินประสิทธิภาพของบริษัทเกษตรกรรมในเซอร์เบีย โดยวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทเหล่านี้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธี WASPAS สามารถประเมินและจัดอันดับประสิทธิภาพของบริษัทเกษตรกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทในภาคเกษตรกรรม Zavadskas et al. [22] ได้ประยุกต์ใช้วิธี WASPAS เพื่อปรับแต่งพารามิเตอร์ในกระบวนการเครื่องจักรกล โดยมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตชิ้นงานที่มีความแม่นยำสูงและรูปทรงซับซ้อน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธี WASPAS มีประสิทธิภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต Torkayesh et al. [23] ได้ประยุกต์ใช้วิธีการผสมผสานระหว่าง Best-Worst Method (BWM) และ WASPAS เพื่อแก้ปัญหาการคัดเลือกซัพพลายเออร์ดิจิทัลในธุรกิจค้าปลีกออนไลน์ โดยใช้ BWM เพื่อกำหนดน้ำหนักของเกณฑ์การตัดสินใจ และใช้ WASPAS เพื่อจัดอันดับซัพพลายเออร์ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธีการผสมผสานนี้มีประสิทธิภาพในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ดิจิทัล ช่วยให้ผู้จัดการสามารถตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในสภาพแวดล้อมการค้าปลีกออนไลน์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการประยุกต์ใช้ของ WASPAS ในการแก้ปัญหาหลายรูปแบบใน

หลากหลายอุตสาหกรรม ข้อจำกัดที่สำคัญของ WASPAS คือความอ่อนไหวต่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์ λ ซึ่งแม้ว่าค่าเริ่มต้นที่นิยมใช้คือ 0.5 แต่หากเลือกค่า λ ไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ทำให้การตัดสินใจอาจเบี่ยงเบนไปจากทางเลือกที่ดีที่สุด

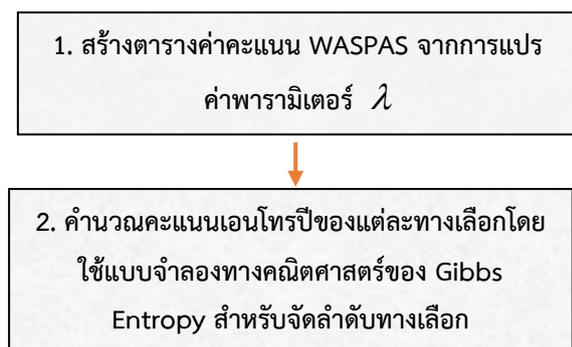
Gibbs Entropy เป็นแนวคิดสำคัญในทฤษฎีสารสนเทศและพลศาสตร์เชิงสถิติ ซึ่งถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ เพื่อช่วยลดความไม่แน่นอนในการจัดอันดับและเลือกตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด แนวทางนี้ช่วยให้สามารถบูรณาการผลลัพธ์จากข้อมูลที่ไม่แน่นอน ทำให้การจัดอันดับมีความแม่นยำขึ้น และลดปัญหาการเบี่ยงเบนของผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่แน่นอนโดยพิจารณาจากผู้วิจัยหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้ นอกจากนี้ Gibbs Entropy สามารถปรับใช้ได้กับปัญหาหลากหลายประเภทและเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพสูงในการช่วยลดความไม่แน่นอนของข้อมูลและเพิ่มความแม่นยำของการตัดสินใจ สามารถช่วยให้องค์กรและนักวิจัยสามารถตัดสินใจได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าวิธี Gibbs Entropy จะมีประโยชน์มาก แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากแบบจำลองดั้งเดิมเป็น Nonlinear Programming Model ซึ่งทำให้การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมต้องใช้เครื่องมือเชิงเพิ่มประสิทธิภาพที่มีความซับซ้อนสูง ส่งผลให้ต้องมีการพัฒนา Linear Programming Model เพื่อเพิ่มความสามารถในการคำนวณและรองรับปัญหาขนาดใหญ่ได้ดีขึ้น [8-10]

บทความวิจัย (Research Article)

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นการบูรณาการร่วมกันระหว่างวิธี WASPAS และ Gibbs Entropy เพื่อเพิ่มศักยภาพในการประเมินทางเลือก และจัดลำดับทางเลือกภายใต้ข้อมูลที่มีความไม่แน่นอน ทำให้วิธีที่ผสมผสานที่น่าเสนอในงานวิจัยนี้มีความเชื่อมั่นสูงขึ้น เนื่องจากพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ λ หรือน้ำหนักความสำคัญสำหรับเทคนิค WSM และ WPM ไปพร้อม ๆ กัน

3. วิธีการ

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีที่น่าเสนอสำหรับการประเมินและการจัดลำดับทางเลือก ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกสร้างตารางค่าคะแนน WASPAS ที่ λ แตกต่างกัน จากนั้นใช้ Gibbs Entropy ในการคำนวณค่าเอนโทรปี เพื่อจัดลำดับทางเลือกของตัวอย่างการคำนวณ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานของงานวิจัยนี้

3.1 สร้างตารางค่าคะแนน WASPAS จากการแปรค่าพารามิเตอร์ λ

WASPAS เป็นหนึ่งในวิธีการตัดสินใจหลายเกณฑ์ที่รวมคุณสมบัติของ WSM และ WPM เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและเชื่อถือได้มากขึ้น โดยขั้นตอนการคำนวณค่าคะแนน WASPAS มี 6 ขั้นตอนดังนี้:

1) กำหนดปัญหาและสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจ

กำหนดจำนวนทางเลือก (Alternatives) เป็น A_i ($i=1,2,\dots,m$) และเกณฑ์การตัดสินใจ C_j ($j=1,2,\dots,n$) โดยมีค่าการประเมินของแต่ละทางเลือกภายใต้แต่ละเกณฑ์เป็น x_{ij} ดังนั้นสามารถสร้างตารางการตัดสินใจดังสมการที่ (1)

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) ทำให้ข้อมูลเป็นค่ามาตรฐาน (Normalization)

2.1 สำหรับเกณฑ์ที่ต้องการค่าสูงสุด (Benefit Criteria) ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (2)$$

2.2 สำหรับเกณฑ์ที่ต้องการค่าน้อยที่สุด (Cost Criteria) ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$r_{ij} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (3)$$

บทความวิจัย (Research Article)

ได้เมทริกซ์ที่ถูกทำให้เป็นค่ามาตรฐาน R

3) คำนวณค่าตามแบบ WSM โดยใช้สมการที่ (4)

$$Q_1(i) = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (4)$$

โดยที่ค่า w_j เป็นค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์

4) คำนวณค่าตามแบบ WPM โดยใช้สมการที่ (5)

$$Q_2(i) = \prod_{j=1}^n r_{ij}^{w_j} \quad (5)$$

5) รวมค่า WSM และ WPM ด้วยพารามิเตอร์ λ โดยใช้สมการที่ (6)

$$Q(i) = \lambda Q_1(i) + (1 - \lambda) Q_2(i) \quad (6)$$

โดยวิธี WASPAS ดังเดิม ค่าพารามิเตอร์ λ จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 0.5 เพื่อให้ทั้งสองโมเดลมีอิทธิพลเท่ากัน อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์ความไวต่อค่าพารามิเตอร์ λ ที่มีผลต่อค่าคะแนนของ WASPAS หรือ ค่า $Q(i)$ ที่แตกต่างกัน จากนั้นนำข้อมูลค่า $Q(i)$ ที่สร้างขึ้น ไปคำนวณค่าเอนโทรปีเพื่อวัดความไม่แน่นอนของระบบ ดังแสดงในหัวข้อถัดไป

3.2 คำนวณคะแนนเอนโทรปีของแต่ละทางเลือก โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gibbs Entropy

การคำนวณค่าคะแนนเอนโทรปีเพื่อจัดอันดับทางเลือกในงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1) สร้างเมทริกซ์คะแนนของ WASPAS ดังนี้

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

โดยที่ q_{ij} เป็นคะแนน WASPAS ของทางเลือก i ภายใต้ค่าพารามิเตอร์ λ_j

2) คำนวณค่าเอนโทรปีเพื่อจัดลำดับทางเลือก

Wichapa et al. [9] นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gibbs Entropy เพื่อจัดอันดับหน่วยผลิต (DMU) ในปัญหา DEA งานวิจัยนี้พัฒนาแนวคิดของ Liu and Liu [10] จาก Non-Linear เป็น Linear Programming แบบจำลองใหม่นี้สามารถจัดอันดับหน่วยผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังสมการที่ (8)

$$\begin{aligned} \text{Min } H_i &= (-Q_i \sum_{j=1}^n t_j q_{ij} \ln t_j q_{ij}) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n t_j q_{ij} &= 1, \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \\ t_j &> 0, \quad \forall j \end{aligned} \quad (8)$$

เมื่อ H_i คะแนนเอนโทรปี

t_j เป็นตัวแปรตัดสินใจที่มีค่ามากกว่าศูนย์

บทความวิจัย (Research Article)

Q_i เป็นคะแนน WASPAS ของทางเลือก i ภายใต้ค่าพารามิเตอร์ $\lambda = 0.5$

จากนั้นนำค่าคะแนนเอนโทรปีของแต่ละทางเลือกมาทำการจัดลำดับความสำคัญของทางเลือก โดยที่ค่าคะแนนเอนโทรปีมากกว่าจะมีลำดับดีกว่า

4. ผลการวิจัย

วิธีการที่นำเสนอสำหรับการจัดอันดับทางเลือกในงานวิจัยนี้จะถูกทดสอบกับปัญหาการจัดลำดับเครื่องกลึง CNC ซึ่งนำเสนอในงานวิจัยของ Krilomsom et al. [11] โดยทางเลือกเป็นชนิดของเครื่องกลึง CNC จำนวน 12 ทางเลือก ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ จำนวน 7 เกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางนิยามของเกณฑ์การตัดสินใจ

เกณฑ์	ความหมาย	ชนิด
C_1	ราคา	ต้นทุน
C_2	ความเร็วรอบ	ผลประโยชน์
C_3	ความจุของเครื่องมือ	ผลประโยชน์
C_4	อัตราการเคลื่อนที่ของแกน X	ผลประโยชน์
C_5	อัตราการเคลื่อนที่ของแกน Z	ผลประโยชน์
C_6	เส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด	ผลประโยชน์
C_7	ความยาวสูงสุดของการกลึง	ผลประโยชน์

โดยตารางการตัดสินใจสำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางการตัดสินใจสำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
CNC1	36,900	3000	16	165	600	750	1860
CNC2	30,400	4000	12	180	465	266	700
CNC3	88,900	3500	8	250	760	165	2440
CNC4	20,000	1600	6	330	1500	300	500
CNC5	10,000	1600	8	240	1050	400	850
CNC6	89,200	6000	12	215	605	340	554
CNC7	120,000	5000	12	215	605	340	535
CNC8	86,150	4000	12	140	305	250	264
CNC9	129,200	4000	12	215	1155	340	1055
CNC10	50,400	2500	4	160	550	145	750
CNC11	39,800	4000	6	165	600	275	600
CNC12	50,400	2500	8	250	760	400	900

สำหรับน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ถูกคำนวณโดยใช้วิธี BWM ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$w_1^* = 0.1169, w_2^* = 0.1669, w_3^* = 0.1889, w_4^* = 0.1218, w_5^* = 0.1155, w_6^* = 0.1599 \text{ และ } w_7^* = 0.1302.$$

จากข้อมูลในตารางที่ 2 นำมาคำนวณค่ามาตรฐานโดยใช้สมการที่ (2) และ สมการที่ (3) สามารถสร้างตารางการตัดสินใจมาตรฐานสำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางการตัดสินใจมาตรฐานสำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
CNC1	0.271	0.500	1.000	0.848	0.508	1.000	0.762
CNC2	0.329	0.667	0.750	0.778	0.656	0.355	0.287
CNC3	0.112	0.583	0.500	0.560	0.401	0.220	1.000

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 3 ตารางการตัดสินใจมาตรฐานสำหรับ
ปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC (ต่อ)

ทางเลือก	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
CNC4	0.500	0.267	0.375	0.424	0.203	0.400	0.205
CNC5	1.000	0.267	0.500	0.583	0.290	0.533	0.348
CNC6	0.112	1.000	0.750	0.651	0.504	0.453	0.227
CNC7	0.083	0.833	0.750	0.651	0.504	0.453	0.219
CNC8	0.116	0.667	0.750	1.000	1.000	0.333	0.108
CNC9	0.077	0.667	0.750	0.651	0.264	0.453	0.432
CNC10	0.198	0.417	0.250	0.875	0.555	0.193	0.307
CNC11	0.251	0.667	0.375	0.848	0.508	0.367	0.246
CNC12	0.198	0.417	0.500	0.560	0.401	0.533	0.369

จากข้อมูลในตารางที่ 3 นำมาคำนวณ ตารางการตัดสินใจถ่วงน้ำหนักของ WSM และ WPM ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4 และ ตารางที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ตารางการตัดสินใจถ่วงน้ำหนักของ WSM
สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
CNC1	0.032	0.083	0.189	0.061	0.046	0.160	0.099
CNC2	0.038	0.111	0.142	0.066	0.036	0.057	0.037
CNC3	0.013	0.097	0.094	0.092	0.058	0.035	0.130
CNC4	0.058	0.045	0.071	0.122	0.115	0.064	0.027
CNC5	0.117	0.045	0.094	0.089	0.081	0.085	0.045
CNC6	0.013	0.167	0.142	0.079	0.047	0.072	0.030
CNC7	0.010	0.139	0.142	0.079	0.047	0.072	0.029
CNC8	0.014	0.111	0.142	0.052	0.023	0.053	0.014
CNC9	0.009	0.111	0.142	0.079	0.089	0.072	0.056
CNC10	0.023	0.070	0.047	0.059	0.042	0.031	0.040
CNC11	0.029	0.111	0.071	0.061	0.046	0.059	0.032
CNC12	0.023	0.070	0.094	0.092	0.058	0.085	0.048

ตารางที่ 5 ตารางการตัดสินใจถ่วงน้ำหนักของ WPM
สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
CNC1	0.858	0.891	1.000	0.919	0.900	1.000	0.965
CNC2	0.878	0.935	0.947	0.929	0.874	0.847	0.850
CNC3	0.775	0.914	0.877	0.967	0.925	0.785	1.000
CNC4	0.922	0.802	0.831	1.000	1.000	0.864	0.814
CNC5	1.000	0.802	0.877	0.962	0.960	0.904	0.872
CNC6	0.774	1.000	0.947	0.949	0.900	0.881	0.824
CNC7	0.748	0.970	0.947	0.949	0.900	0.881	0.821
CNC8	0.777	0.935	0.947	0.901	0.832	0.839	0.749
CNC9	0.741	0.935	0.947	0.949	0.970	0.881	0.897
CNC10	0.828	0.864	0.770	0.916	0.891	0.769	0.858
CNC11	0.851	0.935	0.831	0.919	0.900	0.852	0.833
CNC12	0.828	0.864	0.877	0.967	0.925	0.904	0.878

จากนั้นนำข้อมูลในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 มาคำนวณค่าคะแนน WSM (Q₁) และ WPM (Q₂) โดยใช้สมการที่ (4) และ สมการที่ (5) ตามลำดับ โดยการแปรค่า λ ตั้งแต่ $\lambda = 0.50$, $\lambda = 0.40$, $\lambda = 0.30$, $\lambda = 0.20$, $\lambda = 0.1$ และ $\lambda = 0.0$ เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาแนะนำให้ค่า λ ควรน้อยกว่า 0.5 ซึ่งสามารถสร้างตารางการตัดสินใจค่าคะแนน WASPAS ที่ค่าพารามิเตอร์ λ ที่แตกต่าง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางคะแนน WASPAS สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
CNC1	0.640	0.634	0.628	0.622	0.616	0.610
CNC2	0.471	0.468	0.464	0.461	0.458	0.454
CNC3	0.478	0.470	0.461	0.453	0.444	0.436
CNC4	0.467	0.460	0.453	0.446	0.439	0.432
CNC5	0.534	0.530	0.525	0.521	0.516	0.512

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 6 ตารางคะแนน WASPAS สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC (ต่อ)

ทางเลือก	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
CNC6	0.502	0.493	0.484	0.474	0.465	0.455
CNC7	0.471	0.462	0.453	0.443	0.434	0.425
CNC8	0.366	0.358	0.349	0.341	0.332	0.324
CNC9	0.518	0.510	0.502	0.494	0.486	0.478
CNC10	0.304	0.303	0.301	0.299	0.298	0.296
CNC11	0.398	0.396	0.394	0.392	0.390	0.388
CNC12	0.458	0.456	0.453	0.451	0.448	0.445

นำข้อมูลในตารางที่ 6 มาคำนวณโดยใช้สมการที่ 8 ซึ่งสมการที่ 8 จะถูกนำไปเขียนโค้ดโดยใช้ซอฟต์แวร์ Lingo เพื่อคำนวณค่าเอนโทรปีของแต่ละทางเลือก โดยวิธีการคำนวณเอนโทรปีนี้จะช่วยให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเพิ่มเติมเกี่ยวกับการกระจายตัวของข้อมูลและความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกเครื่องกลึง CNC ผลการคำนวณที่ได้จะถูกนำมาแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งจะแสดงค่าเอนโทรปีของแต่ละทางเลือก ซึ่งถ้าค่าเอนโทรปีมากกว่าจะมีลำดับที่ดีกว่า

ตารางที่ 7 ตารางคะแนน WASPAS สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	H	ลำดับ
CNC1	1.147	1
CNC2	0.844	7
CNC3	0.857	5
CNC4	0.836	8
CNC5	0.957	2
CNC6	0.900	4
CNC7	0.844	6
CNC8	0.656	11
CNC9	0.928	3
CNC10	0.545	12

ตารางที่ 7 ตารางคะแนน WASPAS สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC (ต่อ)

ทางเลือก	H	ลำดับ
CNC11	0.714	10
CNC12	0.821	9

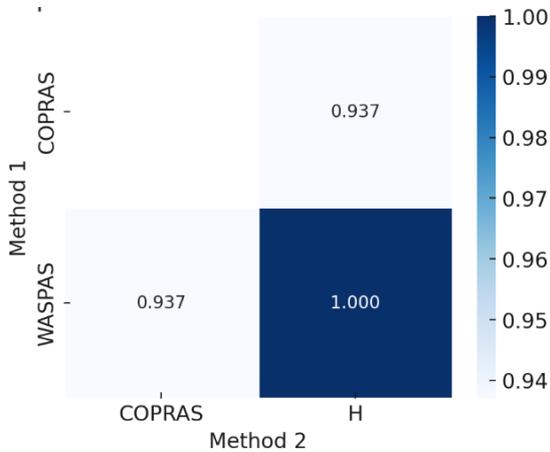
จากนั้นนำผลการจัดอันดับทางเลือกเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตารางคะแนน WASPAS สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	WASPAS	อันดับ	COPRAS	อันดับ	H	อันดับ
CNC1	0.640	1	1.000	1	1.147	1
CNC2	0.471	7	0.701	7	0.844	7
CNC3	0.478	5	0.764	4	0.857	5
CNC4	0.467	8	0.756	5	0.836	8
CNC5	0.534	2	0.922	2	0.957	2
CNC6	0.502	4	0.743	6	0.900	4
CNC7	0.471	6	0.698	8	0.844	6
CNC8	0.366	11	0.550	11	0.656	11
CNC9	0.518	3	0.776	3	0.928	3
CNC10	0.304	12	0.460	12	0.545	12
CNC11	0.398	10	0.594	10	0.714	10
CNC12	0.458	9	0.681	9	0.821	9

นำข้อมูลในตารางที่ 8 ไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (Spearman's Rank Correlation Coefficient) ของวิธีการที่นำเสนอเทียบกับวิธีการอื่น ดังรูปที่ 2

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมนของวิธีการที่นำเสนอเทียบกับวิธีการอื่น

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (r) แสดงให้เห็นว่าทั้งสามวิธี ได้แก่ WASPAS, COPRAS และวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ มีความสัมพันธ์สูงในการจัดอันดับตัวเลือกเครื่อง CNC โดยเฉพาะ WASPAS กับวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ที่มีค่าความสัมพันธ์สมบูรณ์แบบ ($r = 1.000$) ซึ่งหมายความว่าวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ให้ผลลัพธ์การจัดอันดับที่เหมือนกับ WASPAS อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ COPRAS กับ WASPAS และ COPRAS กับวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ มีค่าความสัมพันธ์ที่ $r = 0.937$ ซึ่งยังคงสูงและบ่งบอกว่าทั้งสามวิธีมีแนวโน้มการตัดสินใจที่คล้ายคลึงกันอย่างมาก แม้ว่าจะมีความแตกต่างเล็กน้อยในอันดับที่ COPRAS กำหนด ดังนั้นหากต้องการเลือกใช้เพียงวิธีเดียวสำหรับกระบวนการตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกเครื่อง CNC วิธี WASPAS หรือวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ อาจเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากให้ลำดับตัวเลือกที่เหมือนกันโดย

สมบูรณ์ ขณะที่ COPRAS ยังคงเป็นแนวทางที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับสองวิธีแรกในระดับสูง

5. สรุปผล

การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (MCDM) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการเลือกตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ปัจจัยหลายประการ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขา เช่น วิศวกรรม การบริหารจัดการ และโลจิสติกส์ วิธี WASPAS เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมใน MCDM เนื่องจากสามารถผสมผสานจุดแข็งของ WSM และ WPM อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของ WASPAS คือ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ $\lambda=0.5$ เป็นค่าคงที่ ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับปัญหาทั้งหมด และอาจส่งผลให้ผลลัพธ์การจัดลำดับมีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับวิธี MCDM อื่น ๆ งานวิจัยนี้แนะนำแนวทางใหม่ที่ใช้ Gibbs Entropy เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของ WASPAS โดยการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ λ ที่แตกต่างกัน จากนั้นใช้ค่าเอนโทรปีเป็นตัวชี้วัดในการจัดอันดับตัวเลือก ในการทดลองกับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถให้ลำดับที่สอดคล้องกับ WASPAS และ COPRAS อย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (r) ระหว่าง WASPAS กับวิธีที่นำเสนอ เท่ากับ 1.000 และระหว่าง COPRAS กับวิธีที่นำเสนอ เท่ากับ 0.937 แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความเสถียรสูง อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือการใช้ Gibbs Entropy อาจต้องอาศัยการปรับแต่งพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาเฉพาะด้าน และอาจต้องมีการศึกษา

บทความวิจัย (Research Article)

ความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ในปัญหา MCDM ประเภทอื่น ๆ ในอนาคตควรมีการพัฒนาแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้กับการตัดสินใจเชิงปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น การประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธี Machine Learning หรือ Deep Learning หรือ Meta heuristic Optimization เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ λ โดยอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มศักยภาพของระบบการตัดสินใจแบบอัตโนมัติ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์สำหรับการสนับสนุนบทความวิจัยนี้ และผู้แต่งขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงคุณภาพของบทความวิจัยนี้ให้ดียิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. S. Goswami and D. K. Behera, "Solving material handling equipment selection problems in an industry with the help of entropy integrated COPRAS and ARAS MCDM techniques," *Process Integration and Optimization for Sustainability*, vol. 5, pp. 947–973, 2021.
DOI: 10.1007/s41660-021-00192-5.
- [2] I. Ajripour, M. Asadpour, and L. Tabatabaie, "A model for organization performance management applying MCDM and BSC: A case study," *Journal of Applied Research on Industrial*

Engineering, vol. 6, no. 1, pp. 52–70, 2019.
DOI: 10.22105/jarie.2019.171886.1080.

- [3] Z. Wen *et al.*, "Cold chain logistics management of medicine with an integrated multi-criteria decision-making method," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, no. 23, p. 4843, 2019.
DOI: 10.3390/ijerph16234843.
- [4] D. G. B. de Souza, E. A. dos Santos, N. Y. Soma, and C. E. S. da Silva, "MCDM-based R&D project selection: A systematic literature review," *Sustainability*, vol. 13, no. 21, p. 11626, 2021.
DOI: 10.3390/su132111626.
- [5] S. K. Sahoo and S. S. Goswami, "A comprehensive review of multiple criteria decision-making (MCDM) methods: Advancements, applications, and future directions," *Decision Making Advances*, vol. 1, no. 1, pp. 25–48, 2023.
DOI: 10.31181/dma1120237.
- [6] S. Alvarez Gallo and J. Maheut, "Multi-criteria analysis for the evaluation of urban freight logistics solutions: A systematic literature review," *Mathematics*, vol. 11, no. 19, p. 4089, 2023. DOI: 10.3390/math11194089.
- [7] E. K. Zavadskas, Z. Turskis, J. Antucheviciene, and A. Zakarevicius,

บทความวิจัย (Research Article)

- "Optimization of weighted aggregated sum product assessment," *Elektronika ir Elektrotechnika*, vol. 122, no. 6, pp. 3–6, 2012. DOI: 10.5755/j01.eee.122.6.1810.
- [8] N. Thongmual, C. Laoha, and N. Wichapa, "An optimistic-pessimistic game cross-efficiency method based on a Gibbs entropy model for ranking decision making units," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 13, no. 2, pp. 1411–1423, 2024. DOI: 10.11591/eei.v13i2.5747.
- [9] N. Wichapa, W. Khanthirat, and T. Sudsuansee, "A novel Gibbs entropy model based upon cross-efficiency measurement for ranking decision making units," *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, vol. 9, no. 2, pp. 390–396, 2022. DOI: 10.18280/mmep.090212.
- [10] T. Lu and S. T. Liu, "Ranking DMUs by comparing DEA cross-efficiency intervals using entropy measures," *Entropy*, vol. 18, no. 12, p. 452, 2016. DOI: 10.3390/e18120452.
- [11] P. Kailomsom, P. Nasawat, W. Khunthirat, and W. Phuangpornpitak, "A hybrid method based on BWM and TOPSIS-LP model to assess computer numerical control machines," *Engineering Access*, vol. 11, no. 1, pp. 108–118, 2025. DOI: 10.14456/mijet.2025.9.
- [12] M. Zolfani, A. Zavadskas, M. Turskis, and Z. L. Saparauskas, "A hybrid MCDM model encompassing SWARA and WASPAS methods for supporting the contractor selection," *Applied Soft Computing*, vol. 25, pp. 1–9, 2014. DOI: 10.1016/j.asoc.2014.07.014.
- [13] S. Chakraborty, R. D. Raut, T. M. Rofin, and S. Chakraborty, "A narrative literature review on optimization of manufacturing processes using weighted aggregated sum product assessment (WASPAS) method," *OPSEARCH*, vol. 61, no. 4, pp. 1001–1022, 2024. DOI: 10.1007/s12597-024-00858-x.
- [14] I. Otay *et al.*, "Multi-criteria oil station location evaluation using spherical AHP & WASPAS: A real-life case study," in *Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions*, In C. Kahraman *et al.*, Eds., *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1197, Springer, Cham, 2020, pp. 591–598. DOI: 10.1007/978-3-030-51156-2_68.
- [15] C. L. Wang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer, Berlin Heidelberg, 1981.

บทความวิจัย (Research Article)

- [16] E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas, and V. Šarka, "The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 1, pp. 131–139, 1994.
DOI: 10.5937/ekopolj2102375l.
- [17] W. K. Brauers and E. K. Zavadskas, "The MOORA method and its application to privatization in a transition economy," *Control and Cybernetics*, vol. 35, no. 2, pp. 445–469, 2006.
- [18] G. S. de Assis, M. dos Santos, and M. P. Basilio, "Use of the WASPAS method to select suitable helicopters for aerial activity carried out by the military police of the state of Rio de Janeiro," *Axioms*, vol. 12, no. 1, p. 77, 2023.
DOI: 10.3390/axioms12010077.
- [19] M. Akram *et al.*, "2-tuple linguistic Fermatean fuzzy MAGDM based on the WASPAS method for selection of solid waste disposal location," *Mathematical Biosciences and Engineering*, vol. 20, no. 2, pp. 3811–3837, 2023.
DOI: 10.3934/mbe.2023179.
- [20] R. Lukić *et al.*, "Application of WASPAS method in the evaluation of efficiency of agricultural enterprises in Serbia," *Economics of Agriculture*, vol. 68, no. 2, pp. 375–388, 2021.
- [21] E. K. Zavadskas *et al.*, "Application of WASPAS method as an optimization tool in non-traditional machining processes," *Information Technology and Control*, vol. 44, no. 1, pp. 77–88, 2015.
DOI: 10.5755/j01.itc.44.1.7124.

บทความวิจัย (Research Article)

การเปรียบเทียบการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด: กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มภูเพชร อำเภอกุกระดิง จังหวัดเลย

ขวัญข้าว สามารถกุล¹, ศรินทรา ทิพย์เนตร¹, อรุณิยา นิมาลา¹, พัลลภ พรหมสาเพ็ชร¹,
วนิดา บุญโฉม¹ และ วาสนา พ่วงพรพิทักษ์^{1,*}

¹ สาขาวิชาโลจิสติกส์ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: wasana.ch@rmuti.ac.th โทรศัพท์: 086-2191529

(รับบทความ: 5 กุมภาพันธ์ 2568; แก้ไขบทความ: 14 กุมภาพันธ์ 2568; ตอรับบทความ: 17 กุมภาพันธ์ 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดเส้นทางรูปแบบเดิมและนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบการจัดเส้นทางรูปแบบใหม่ เพื่อให้สามารถลดต้นทุนการขนส่งได้ การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลเส้นทางขนส่งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จากนั้นทำการวิเคราะห์และคำนวณเส้นทางโดยใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกัน จากผลการวิจัยพบว่า ในการจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มในหนึ่งสัปดาห์ โดยเส้นทางรูปแบบเดิมมีจำนวนเส้นทาง 14 เส้นทาง ระยะทางรวม 413.1 กิโลเมตร และต้นทุนรวมในการขนส่ง 1,659.84 บาทต่อสัปดาห์ ขณะเดียวกันการใช้อัลกอริทึมแบบประหยัดสามารถลดจำนวนเส้นทางลงเหลือ 12 เส้นทาง ระยะทางรวมลดลงเหลือ 333 กิโลเมตร และต้นทุนรวมในการขนส่ง 1,459.17 บาทต่อสัปดาห์ ส่วนวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดสามารถลดจำนวนเส้นทางลงเหลือ 12 เส้นทาง ระยะทางรวมลดลงเหลือ 354 กิโลเมตร และต้นทุนรวมในการขนส่ง 1,652.41 บาทต่อสัปดาห์

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางขนส่ง อัลกอริทึมแบบประหยัด เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด การเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ การลดต้นทุนขนส่ง

การอ้างอิงบทความ: ขวัญข้าว สามารถกุล, ศรินทรา ทิพย์เนตร, อรุณิยา นิมาลา, พัลลภ พรหมสาเพ็ชร, วนิดา บุญโฉม และ วาสนา พ่วงพรพิทักษ์, "การเปรียบเทียบการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด: กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มภูเพชร อำเภอกุกระดิง จังหวัดเลย," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 30-41, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

Transportation Routing Comparison between Saving Algorithm and Nearest Neighbor Method: A Case Study of Phu Phet Drinking Water Plant, Phu Kradueng District, Loei

Khunkaow Samadkul¹, Sirintha Thipnate¹, Athitiya Nimala¹, Panlop Promsapeth¹,
Vanita Boonchom¹ and Wasana Phuangpornpitak^{1,*}

¹ Department of Logistics Management, Faculty of Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus

* Corresponding Author: wasana.ch@rmuti.ac.th โทรศัพท์: 086-2191529

(Received: February 5, 2025; Revised: February 14, 2025; Accepted: February 17, 2025)

Abstract

This research aims to analyze the existing transportation route planning method and compare it with an optimized approach to optimize transportation cost reduction. The study begins with data collection on the current transportation routes. Subsequently, route analysis and calculations are performed using the Saving Algorithm and the Nearest Neighbor Algorithm. The results obtained from these methods are then compared to determine the most effective routing. From the research findings, in one week of water delivery, the original route plan consisted of 14 routes, covering a total distance of 413.1 kilometers, with a transportation cost of 1,659.84 THB per week. By applying the Saving Algorithm, the number of routes was reduced to 12, with the total distance decreasing to 333 kilometers and the transportation cost dropping to 1,459.17 THB per week. Similarly, the Nearest Neighbor Method also reduces the number of routes to 12. However, the total distance traveled is 354 kilometers, with a total transportation cost of 1,652.41 THB per week.

Keywords: Transportation routing, Saving algorithm, Nearest neighbor method, Route planning efficiency, Transportation cost reduction

Please cite this article as: K. Samadkul, S. Thipnate, A. Nimala, P. Promsapeth, V. Boonchom and W. Phuangpornpitak, "Transportation Routing Comparison between Saving Algorithm and Nearest Neighbor Method: A Case Study of Phu Phet Drinking Water Plant, Phu Kradueng District, Loei," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 1, pp. 30-41, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

น้ำดื่มเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ร่างกายต้องการน้ำเพื่อช่วยในการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายทำงานได้อย่างสมดุล [1] ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากขึ้นกับการเลือกบริโภคน้ำดื่มที่มีความสะอาดและผ่านมาตรฐานการผลิตที่ดี ทำให้แนวโน้มของตลาดน้ำดื่มยังมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องเนื่องจากพฤติกรรมของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับสุขภาพมากขึ้น และยังมีผู้ใช้บริการน้ำดื่มส่งถึงบ้าน การจัดการขนส่งน้ำดื่มจึงเป็นกระบวนการสำคัญของห่วงโซ่อุปทานที่ต้องรักษาคุณภาพและความปลอดภัยของน้ำดื่มตั้งแต่การผลิตจนถึงมือผู้บริโภค [2] ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีในการขนส่งยังมีบทบาทสำคัญในการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพภายในระบบโลจิสติกส์อีกด้วย เช่น GPS, AI-Based Routing Systems, หรือการใช้ Big Data Analytics

โรงงานน้ำดื่มภูเพชร เป็นโรงงานผลิตน้ำดื่มและดำเนินการจัดส่งน้ำดื่มให้แก่ลูกค้ากว่า 300 ราย ในพื้นที่ 22 หมู่บ้านของอำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย ในการดำเนินธุรกิจขนส่งรูปแบบปัจจุบัน ยังไม่มีการวางแผนที่ชัดเจน อาศัยประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการตัดสินใจ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งสูงและไม่สามารถสร้างประสิทธิภาพได้มากนัก

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การวางแผนการจัดเส้นทางขนส่ง โดยทำการศึกษารูปแบบการขนส่งแบบเดิม เปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Algorithm) เพื่อนำไปปรับปรุงการวางแผนการจัดส่งของโรงงานน้ำดื่มภูเพชรให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

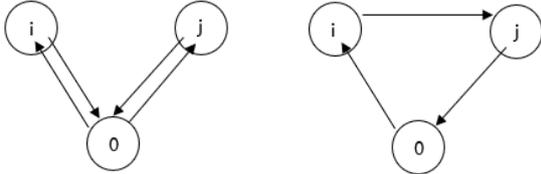
2. ทบทวนวรรณกรรม

การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการขนส่ง โดยเป็นกระบวนการที่จะกระจายสินค้าจากกลุ่มผู้ผลิตไปยังกลุ่มผู้บริโภค หรือการสร้างเส้นทางเลือกเริ่มจากจุดต้นทางไปยังปลายทาง [3] การวางแผนเส้นทางและตารางเวลาของยานพาหนะ (Routing and Scheduling of Vehicles) เป็นหนึ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการขนส่ง ในปัจจุบันสถานะการแข่งขันที่รุนแรงส่งผลให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางขนส่งเพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง ระยะเวลาในการจัดส่งสินค้า และสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4]

อัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) ใช้ในปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ [5] ซึ่งต้องการหาวิธีการเดินทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดภายใต้การขนส่งสินค้า [6] วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการจัดการปัญหาการขนส่ง [7] เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สามารถคำนวณหาคำตอบได้โดยปราศจากการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือเพียงอาศัยคอมพิวเตอร์ช่วยในการประมวลผลเพียงเล็กน้อย อัลกอริทึมแบบประหยัดได้นำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งหลากหลายประเภท ได้แก่ การจัดเส้นทางขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ [8] ขั้นตอนการวางแผนดำเนินงานและปรับปรุงเส้นทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยติดเชื้อ [9] การจัดเส้นทางขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง [10] โดยผลวิจัยพบว่า วิธีการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดสามารถช่วยลดระยะทางในการขนส่งและต้นทุนใน

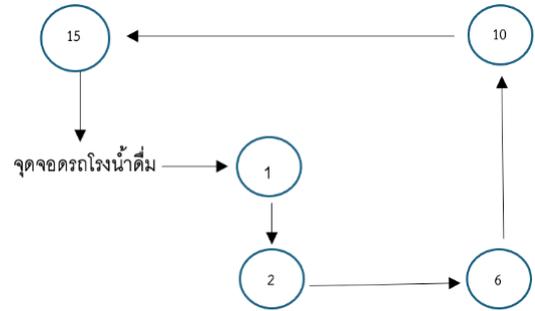
บทความวิจัย (Research Article)

การขนส่งทำให้การจัดเส้นทางขนส่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 1 ตัวอย่างการจัดเส้นทางแบบอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm)

วิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Method) เป็นวิธีการเลือกเส้นทางโดยการเยี่ยมชมจุดที่ใกล้ที่สุดถัดไป โดยได้พัฒนามาจากการศึกษาเกี่ยวกับปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP) เริ่มมีการใช้กันแพร่หลายมากขึ้นในช่วงปี 1960 มีการเผยแพร่ในงานวิจัยต่างๆทำให้ วิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด กลายเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการหาทางที่มีประสิทธิภาพ [11] แม้ว่าจะไม่สามารถรับประกันผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเสมอไป แต่ก็ใช่วิธีที่ง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งได้รับความนิยมในหลายสาขา เช่น การวิเคราะห์ข้อมูล และการค้นหาข้อมูล [12] งานวิจัยโดยส่วนใหญ่จะใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง โดยเปรียบเทียบกับวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด เช่น งานวิจัยการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ [13] การจัดเส้นทางขนส่งวัสดุก่อสร้าง [14] การจัดเส้นทางรับส่งนักเรียน [15] โดยผลวิจัยพบว่า วิธีการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด และวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดสามารถช่วยลดระยะทางและต้นทุนขนส่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางแบบเดิม



รูปที่ 2 ตัวอย่างการจัดเส้นทางด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Method)

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การเก็บรวบรวมและศึกษาข้อมูลรูปแบบการขนส่งในปัจจุบันของกรณีศึกษา และการจัดเส้นทางรถขนส่งน้ำดื่มด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Method) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมและศึกษาข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งในปัจจุบัน รวบรวมข้อมูลจุดส่งสินค้า (ลูกค้า) และจุดเริ่มต้น (โรงงานน้ำดื่ม) เก็บข้อมูลระยะทางระหว่างแต่ละจุด ความจุของรถขนส่ง และปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละจุด โดยมีจุดลูกค้าทั้งหมด 22 จุด แสดงดังข้อมูลในตารางที่ 1

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 1 รายชื่อหมู่บ้านที่มีการจัดส่งน้ำดื่มและความต้องการของแต่ละหมู่บ้าน

ลำดับ	รายชื่อ (หมู่บ้าน)	ปริมาณความต้องการ (ถัง)
1	บ้านนาน้อย	40
2	บ้านนาโก	60
3	บ้านนาแปน	40
4	บ้านอีเล็ด	60
5	บ้านวังยาง	55
6	บ้านศรีฐาน	32
7	บ้านพลทอง	30
8	บ้านทุ่งใหญ่	104
9	บ้านสงป่าเปลือย	120
10	บ้านหนองตุม	60
11	บ้านวงเวียน	60
12	บ้านมะลิวัลย์	120
13	บ้านนายาง	40
14	บ้านผาซ้อง	192
15	บ้านโนนสะอาด	40
16	บ้านห้วยส้ม	30
17	บ้านโนนงาม	20
18	บ้านซำบาง	20
19	บ้านซำทอง	30
20	บ้านน้อยสะพานยาว	20
21	บ้านน้อยมีชัย	25
22	บ้านห้วยไผ่	50
รวม		1,248

3.2 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ Saving Algorithm

3.2.1 คำนวณค่าความประหยัด (Saving) จากสมการที่ (1)

$$S_{ij} = C_{Di} + C_{Dj} - C_{ij} \quad (1)$$

S_{ij} คือ ระยะทางที่ประหยัดเมื่อรวมเส้นทางระหว่างจุด i และ j เป็นเส้นทางเดียว

C_{Di} คือ ระยะทางจากจุดเริ่มต้นไปยัง จุด i

C_{Dj} คือ ระยะทางจากจุดเริ่มต้นกลับไปยัง จุด j

C_{ij} คือ ระยะทางจากจุด i ไปยังจุด j

ค่าความประหยัด (Saving) ที่คำนวณโดยใช้โปรแกรม Excel ดังรูปที่ 3

3.2.2 จัดเรียงค่าประหยัดจากมากไปน้อย

สร้างเส้นทางขนส่งโดยเริ่มจากคู่ที่มีค่าประหยัดสูงสุด ทำการรวมลูกค้า i และ j ให้อยู่ในเส้นทางเดียวกัน เลือกรถขนส่ง โดยพิจารณาเลือกรถที่มีอัตราสิ้นเปลืองต่ำก่อน ทำขั้นตอนซ้ำๆ เช่นนี้ จนกระทั่งตรวจสอบแล้วว่าน้ำหนักที่ต้องการจัดส่ง ไม่เหลือแล้ว จึงหยุดการทำขั้นตอนซ้ำ รายละเอียดแสดงภาพรถคันที่ 1 คือ รถประเภท 4 ล้อยกสูง (ดังรูปที่ 4) และรถคันที่ 2 คือ รถกระบะ 4 ล้อ (ดังรูปที่ 5) รายละเอียดความจุของรถบรรทุก แสดงดังตารางที่ 2 และรายละเอียดวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) แสดงได้ดังรูปที่ 6

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 2 แสดงความจุของรถบรรทุกแต่ละประเภท

ลำดับ	ประเภท	น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน (ตัน)	ความจุ (ถัง)	ความจุ (ตัน)	อัตราสิ้นเปลืองกม./ลิตร
1	รถ 4 ล้อยกสูง	3	120	2.4	7
2	รถกระบะ 4 ล้อ	1.5	50	1	13



รูปที่ 4 รถขนส่งน้ำดื่มประเภท รถ 4 ล้อยกสูง

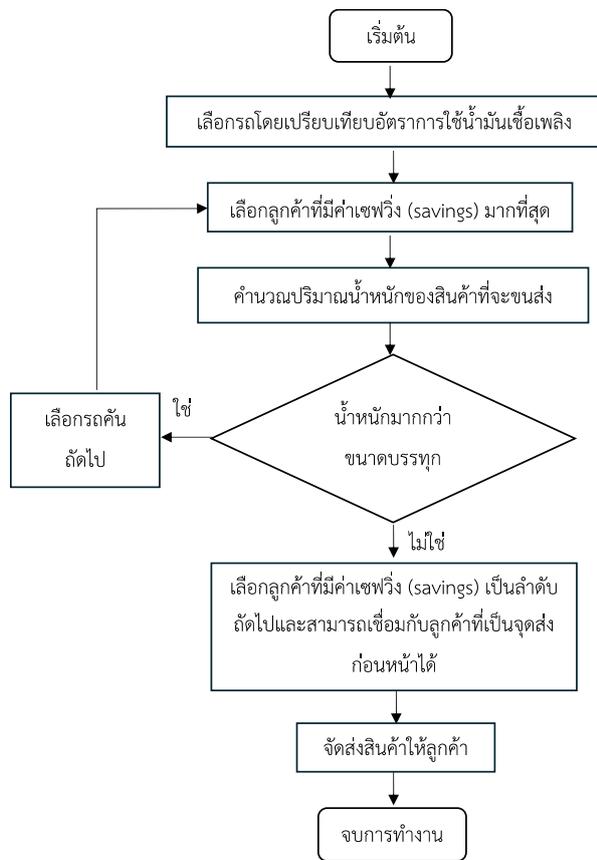
รูปที่ 5 รถขนส่งน้ำดื่มประเภท รถ 4 ล้อยกสูง

Node	1.บ้านนาอ้อย	2.บ้านนาโก	3.บ้านนาแปน	4.บ้านอีเล็ด	5.บ้านวังยาง	6.บ้านศรีฐาน	7.บ้านพลทอง	8.บ้านทุ่งใหญ่	9.บ้านสงป่าเป็ลือ	10.บ้านหนองชุม	11.บ้านวงเวียน	12.บ้านมะลิวัลย์	13.บ้านนาเขย	14.บ้านผาดอง	15.บ้านโนนสะอาด	16.บ้านห้วยต้ม	17.บ้านโนนงาม	18.บ้านข้าบ่าง	19.บ้านข้าบ่าง	20.บ้านน้อยสะพานยาว	21.บ้านน้อยชัย	22.บ้านห้วยไผ่
1.บ้านนาอ้อย	0.0	27.1	13.3	13.3	13.2	13.5	3	9.3	20.9	3.9	8.9	3	16.7	4.4	4.7	4	3.9	-10.3	4	3.9	4	3.9
2.บ้านนาโก	27.1	0.0	13.3	13.3	13.2	13.5	3	9.3	20.9	3.9	8.9	3	16.7	4.3	4.6	3.9	3.9	5.2	4	3.9	3.9	3.9
3.บ้านนาแปน	13.3	13.3	0.0	20.7	20.7	13.9	3	9.3	13	4	8.9	3	7.1	4.4	4.7	4	4	5.3	4	4	4	4
4.บ้านอีเล็ด	13.3	13.3	20.7	0.0	34	13.9	3	9.3	13	4	8.9	3	7.1	4.4	4.7	4	4	5.3	4	4	4	4
5.บ้านวังยาง	13.2	13.2	20.7	34	0.0	13.9	3	9.3	13	3.9	8.9	3	7.1	4.3	4.6	3.9	3.9	5.2	4	3.9	3.9	3.9
6.บ้านศรีฐาน	13.5	13.5	13.9	13.9	13.9	0.0	2.9	9.2	13.3	3.9	8.9	2.9	7	4.3	4.6	3.9	3.9	5.2	3.9	3.9	3.9	3.9
7.บ้านพลทอง	3	3	3	3	3	2.9	0.0	3	2.8	2	3	3	3.1	4.4	-0.8	2.9	2.9	3	2.9	2.9	2.9	2.9
8.บ้านทุ่งใหญ่	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.2	3	0.0	12.2	3.9	9	3	12.2	5.5	4.6	3.9	3.9	5.2	4	3.9	3.9	3.9
9.บ้านสงป่าเป็ลือ	20.9	20.9	13	13	13	13.3	2.8	12.2	0.0	3.7	8.7	2.7	20.3	4.1	4.4	3.7	3.7	5	3.7	3.7	3.7	3.7
10.บ้านหนองชุม	3.9	3.9	4	4	3.9	3.9	2	3.9	3.7	0.0	4.2	-1	2.6	-1.8	2.9	4.2	4.2	5.5	4.2	4.2	4.2	4.2
11.บ้านวงเวียน	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	3	9	8.7	4.2	0.0	1.9	6	3.3	3.8	3.1	3.1	4.4	3.1	3.1	3.1	3.1
12.บ้านมะลิวัลย์	3	3	3	3	3	2.9	3	2.7	-1	1.9	0.0	13.9	11.2	11.4	10.7	10.7	12	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
13.บ้านนาเขย	16.7	16.7	7.1	7.1	7.1	7	3.1	12.2	20.3	2.6	6	13.9	0.0	17.4	11.1	10.4	10.4	11.7	10.5	10.4	10.4	10.4
14.บ้านผาดอง	4.4	4.3	4.4	4.4	4.3	4.3	4.4	5.5	4.1	-1.8	3.3	11.2	17.4	0.0	-4	1.5	1.5	-4.7	1.5	1.5	1.5	1.5
15.บ้านโนนสะอาด	4.7	4.6	4.7	4.7	4.6	4.6	-0.8	4.6	4.4	2.9	3.8	11.4	11.1	-4	0.0	9.6	9.6	10.9	9.6	9.6	9.6	9.6
16.บ้านห้วยต้ม	4	3.9	4	4	3.9	3.9	2.9	3.9	3.7	4.2	3.1	10.7	10.4	1.5	9.6	0.0	19.6	3.1	19.8	16.7	19.8	19.8
17.บ้านโนนงาม	3.9	3.9	4	4	3.9	3.9	2.9	3.9	3.7	4.2	3.1	10.7	10.4	1.5	9.6	19.6	0.0	-3.7	12.7	9.9	12.7	12.7
18.บ้านข้าบ่าง	-10.3	5.2	5.3	5.3	5.2	5.2	3	5.2	5	5.5	4.4	12	11.7	-4.7	10.9	3.1	-3.7	0.0	27.1	27.1	27.1	27.1
19.บ้านข้าบ่าง	4	4	4	4	4	3.9	2.9	4	3.7	4.2	3.1	10.7	10.5	1.5	9.6	19.8	12.7	27.1	0.0	-0.1	5.2	17.1
20.บ้านน้อยสะพานยาว	3.9	3.9	4	4	3.9	3.9	2.9	3.9	3.7	4.2	3.1	10.7	10.4	1.5	9.6	16.7	9.9	27.1	-0.1	0.0	17.9	25.2
21.บ้านน้อยชัย	4	3.9	4	4	3.9	3.9	2.9	3.9	3.7	4.2	3.1	10.7	10.4	1.5	9.6	19.8	12.7	27.1	5.2	17.9	0.0	35
22.บ้านห้วยไผ่	3.9	3.9	4	4	3.9	3.9	2.9	3.9	3.7	4.2	3.1	10.7	10.4	1.5	9.6	19.8	12.7	27.1	17.1	25.2	35	0.0

รูปที่ 3 ค่าความประหยัดของคู่ลูกค้า 22 ราย (หน่วย : กิโลเมตร)

ขวัญข้าว สามารถกุล และคณะ, การเปรียบเทียบการจัดเส้นทางรถขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด: กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มภูเพชร อำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย

บทความวิจัย (Research Article)

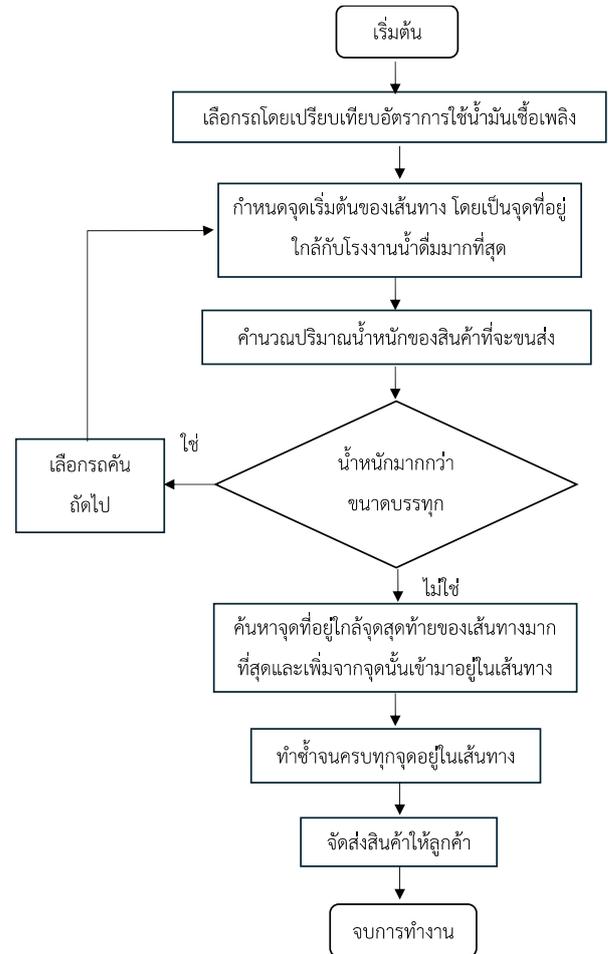


รูปที่ 6 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm)

3.4 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor)

จากข้อมูลจุดส่งสินค้า (ลูกค้า) และจุดเริ่มต้น (โรงงานน้ำดื่ม) ข้อมูลระยะทางระหว่างแต่ละจุด ความจุของรถขนส่ง และปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละจุด โดยพิจารณาจากจุดเริ่มต้น (โรงงานน้ำดื่ม) ให้เลือกรถบรรทุก จากนั้น เลือกลูกค้าที่อยู่ใกล้ที่สุด เป็นจุดแรกในการเดินทาง จากจุดที่เลือกแล้ว ให้ค้นหาลูกค้าถัดไปที่อยู่ใกล้ที่สุด ทำซ้ำกระบวนการนี้จนกว่ารถจะบรรทุกสินค้าเต็มขนาด

บรรทุก และครบทุกเส้นทาง รายละเอียดวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor) แสดงได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำผลที่ได้ศึกษาวิจัยแล้ว จะนำมาเปรียบเทียบระยะทางการขนส่งกับรูปแบบเดิม เส้นทางที่ได้จากการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมแบบประหยัด และเส้นทางที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

ขวัญข้าว สามารถกุล และคณะ, การเปรียบเทียบการจัดเส้นทางรถขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด: กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มภูเพชร อำเภอกุกระดิง จังหวัดเลย

บทความวิจัย (Research Article)

4. ผลการดำเนินการศึกษา

ผลการจัดเส้นทางด้วยการขนส่งรูปแบบเดิม การจัดเส้นทางด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Method) โดยมียานพาหนะ 2 ประเภท มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการจัดเส้นทางขนส่งรูปแบบเดิม

ผลการจัดเส้นทางด้วยการขนส่งรูปแบบเดิม โดยมียานพาหนะ 2 ประเภท ในการขนส่งน้ำดื่มในหนึ่งสัปดาห์ โดยมีเส้นทางจัดส่งตามหมู่บ้านต่างๆ ปริมาณการขนส่ง (ถัง) และระยะทางรวมในแต่ละเส้นทาง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่มรูปแบบเดิม

เส้นทางที่	ประเภทรถ	เส้นทางขนส่ง	ปริมาณการขนส่ง (ถัง)	ระยะทางรวม (กม.)
1	รถคันที่ 1	0-8-0	104	12.2
2	รถคันที่ 1	0-9-0	120	24.4
3	รถคันที่ 2	0-16-17-0	50	21.7
4	รถคันที่ 1	0-2-1-10-0	120	35.6
5	รถคันที่ 1	0-10-15-6-0	112	16.9
6	รถคันที่ 2	0-18-19-0	50	47.3
7	รถคันที่ 1	0-14-0	100	39
8	รถคันที่ 1	0-14-0	92	39
9	รถคันที่ 2	0-20-21-0	45	21
10	รถคันที่ 1	0-5-7-0	85	47
11	รถคันที่ 2	0-22-0	50	40.8
12	รถคันที่ 1	0-4-3-0	100	35.7

ตารางที่ 3 ข้อมูลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่มรูปแบบเดิม (ต่อ)

เส้นทางที่	ประเภทรถ	เส้นทางขนส่ง	ปริมาณการขนส่ง (ถัง)	ระยะทางรวม (กม.)
13	รถคันที่ 1	0-13-11-0	100	25.5
14	รถคันที่ 1	0-12-0	120	7
รวม			1,248	413.1

จากตารางที่ 3 การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าในช่วง 6 วัน พบว่าการจัดเส้นทางเดินรถไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน โดยมีเส้นทางขนส่งน้ำดื่มทั้งหมด 14 เส้นทาง 22 หมู่บ้าน และใช้รถขนส่งจำนวน 2 คัน การคำนวณและวางแผนเส้นทางยังดำเนินการโดยพนักงานขับรถและตัดสินใจด้วยตนเอง ไม่มีการนำเครื่องมือหรือวิธีการที่มีระบบและชัดเจนมาใช้ ส่งผลให้การจัดเส้นทางขนส่งไม่มีรูปแบบที่ชัดเจนและถูกต้อง เกิดความเสี่ยงในการบริหารต้นทุนที่สูงขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยต้นทุนในการขนส่งสามารถคำนวณได้ ดังนี้

- ค่าเชื้อเพลิง (ณ วันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2567) ราคาน้ำมันดีเซล อยู่ที่ 32.94 บาทต่อลิตร

- รถขนส่งน้ำดื่มประเภท รถ 4 ล้อยกสูง อัตราสิ้นเปลืองเฉลี่ยอยู่ที่ 7 กิโลเมตรต่อลิตร ระยะทางที่ใช้เดินทางใน 1 สัปดาห์ คือ 282.3 กิโลเมตร ต้นทุนในการขนส่ง $(282.3 \times 32.94) / 7 = 1,328.42$ บาท

- รถขนส่งน้ำดื่มประเภท รถกระบะ 4 ล้อ ระยะทางสำหรับใช้เดินทางใน 1 สัปดาห์ คือ 130.8 กิโลเมตร ต้นทุนในการขนส่ง $(130.8 \times 32.94) / 13 = 331.42$ บาท

ขวัญข้าว สามารถกุล และคณะ, การเปรียบเทียบการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด: กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มภูเพชร อำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย

บทความวิจัย (Research Article)

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งใน 1 สัปดาห์ ของรถ ทั้ง 2 คัน คือ $1,328.42+331.42 = 1,659.84$ บาท

4.2 ผลการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

ผลการจัดเส้นทางด้วยการขนส่งด้วยวิธี อัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) มี เส้นทาง การขนส่ง ปริมาณการขนส่ง (ถัง) และ ระยะทางรวมในแต่ละเส้นทาง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลการปรับปรุงเส้นทาง การขนส่ง โดยการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

เส้นทางที่	ประเภทรถ	เส้นทางขนส่ง	ปริมาณการขนส่ง (ถัง)	ระยะทางรวม (กม.)
1	รถคันที่ 1	0-8-0	104	12.2
2	รถคันที่ 1	0-9-0	120	24.4
3	รถคันที่ 1	0-21-22-20-18-0	115	30.8
4	รถคันที่ 2	0-19-17-0	50	49.4
5	รถคันที่ 1	0-1-2-0	100	34.9
6	รถคันที่ 1	0-15-7-0	70	11.1
7	รถคันที่ 1	0-14-0	120	39
8	รถคันที่ 1	0-16-14-0	102	38.3
9	รถคันที่ 1	0-12-0	120	7
10	รถคันที่ 1	0-3-6-13-0	112	30.5
11	รถคันที่ 1	0-10-11-0	120	9.6
12	รถคันที่ 1	0-4-5-0	115	45.8
รวม			1,248	333

จากตารางที่ 4 การจัดเส้นทาง การขนส่ง มี ทั้งหมด 12 เส้นทางสามารถคำนวณต้นทุนในการขนส่งได้ ดังนี้

- รถขนส่งน้ำดื่ม ประเภท รถ 4 ล้อยกสูง ระยะทางที่ใช้เดินทางใน 1 สัปดาห์ คือ 283.6 กิโลเมตร ต้นทุนในการขนส่ง $(283.6 \times 32.94) / 7 = 1,334.54$ บาท

- รถขนส่งน้ำดื่ม ประเภท รถกระบะ 4 ล้อ ระยะทางที่ใช้เดินทางใน 1 สัปดาห์ คือ 49.4 กิโลเมตร ต้นทุนในการขนส่ง $(49.4 \times 32.94) / 13 = 125.17$ บาท ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งใน 1 สัปดาห์ ของรถทั้ง 2 คัน คือ $1,334.54+125.17 = 1459.17$ บาท

4.3 ผลการประยุกต์ใช้วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

ผลการจัดเส้นทางด้วยการขนส่งด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Method) มี เส้นทาง การขนส่ง ปริมาณการขนส่ง (ถัง) และ ระยะทางรวมในแต่ละเส้นทาง ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลการปรับปรุงเส้นทาง การขนส่ง โดยการประยุกต์ใช้วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

เส้นทางที่	ประเภทรถ	เส้นทางขนส่ง	ปริมาณการขนส่ง (ถัง)	ระยะทางรวม (กม.)
1	รถคันที่ 1	0-8-0	104	12.2
2	รถคันที่ 1	0-9-0	120	24.4
3	รถคันที่ 1	0-15-10-18-0	120	10.8
4	รถคันที่ 1	0-7-11-0	90	10.8
5	รถคันที่ 2	0-20-16-0	50	18.6
6	รถคันที่ 1	0-6-3-1-0	112	45.6

ขวัญข้าว สามารถกุล และคณะ, การเปรียบเทียบการจัดเส้นทาง การขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด: กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มภูเพชร อำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 5 ข้อมูลการปรับปรุงเส้นทางการขนส่งโดยการประยุกต์ใช้วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (ต่อ)

เส้นทางที่	ประเภทรถ	เส้นทางการขนส่ง	ปริมาณการขนส่ง (ถัง)	ระยะทางรวม (กม.)
7	รถคันที่ 1	0-14-0	120	39
8	รถคันที่ 1	0-17-21-22-0	95	40
9	รถคันที่ 1	0-12-0	120	7
10	รถคันที่ 1	0-13-2-0	100	33.9
11	รถคันที่ 1	0-14-19-0	102	65.9
12	รถคันที่ 1	0-4-5-0	115	45.8
รวม			1,248	413.1

จากตารางที่ 5 การจัดเส้นทางการขนส่งมีทั้งหมด 12 เส้นทาง ระยะทางรวมไป-กลับของทุกเส้นทางเท่ากับ 354 กิโลเมตร สามารถคำนวณต้นทุนในการขนส่งได้ ดังนี้

- รถขนส่งน้ำดื่ม ประเภท รถ 4 ล้อยกสูง ระยะทางที่ใช้เดินทางใน 1 สัปดาห์ คือ 335.4 กิโลเมตร ต้นทุนในการขนส่ง $(335.4 \times 32.94)/7 = 1,578.29$ บาท

- รถขนส่งน้ำดื่มประเภทรถกระบะ 4 ล้อ ระยะทางที่ใช้เดินทางใน 1 สัปดาห์ คือ 18.6 กิโลเมตร ต้นทุนในการขนส่ง $(18.6 \times 32.94)/13 = 47.12$ บาท

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งใน 1 สัปดาห์ ของรถทั้ง 2 คัน คือ $1,578.29 + 47.12 = 1,625.41$ บาท

4.4 การเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางเดิม เส้นทางที่ประยุกต์ใช้ด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และเส้นทางที่ประยุกต์ใช้วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

ผลการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยรูปแบบเดิม กับการจัดเส้นทางขนส่งโดยการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และเส้นทางที่ประยุกต์ใช้วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Method)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางเดิม เส้นทางที่ประยุกต์ใช้ด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และเส้นทางที่ประยุกต์ใช้วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

ระยะทาง (กิโลเมตร)	ผลต่างแบบเดิม และวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด	ผลต่างแบบเดิม และวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด
ระยะทาง (กม.)	80.1	59.1
เส้นทาง	12	12
ต้นทุนการขนส่ง (บาทต่อสัปดาห์)	200.67	7.43
ต้นทุนการขนส่ง (บาทต่อเดือน)	803	29.72
ต้นทุนการขนส่ง (บาทต่อปี)	9,632.16	356.64

จากตารางที่ 6 การจัดเส้นทางโดยการประยุกต์ใช้ด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางมีประสิทธิภาพที่สุด โดยสามารถลดระยะทางรวมลงได้ 80.1 กิโลเมตร ลดจำนวนเส้นทางลงได้ 2 เส้นทางและลดต้นทุนลงได้ 200.67 บาทต่อสัปดาห์ 803 บาทต่อเดือน หรือ 9,632.16 บาทต่อปี ทั้งนี้ การจัดเส้นทางดังกล่าวไม่มีข้อจำกัดในการใช้รถ

บทความวิจัย (Research Article)

ในแต่ละวัน ทำให้สามารถบริหารจัดการขนส่งได้อย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5. อภิปรายและสรุปผล

จากการจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มด้วยรูปแบบเดิม มีจำนวนเส้นทางทั้งหมด 14 เส้นทาง ซึ่งมีระยะทางรวม 413.1 กิโลเมตร ต้นทุนในการขนส่งอยู่ที่ 1,659.84 บาทต่อสัปดาห์ ซึ่งหลังจากทำการจัดเส้นทางขนส่งด้วยการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด พบว่า วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด สามารถลดจำนวนเส้นทางลงได้ 2 เส้นทางและลดระยะทางรวมลงได้ 80.1 กิโลเมตร ลดต้นทุนลงได้ 200.67 บาทต่อสัปดาห์ 803 บาทต่อเดือน หรือ 9,632.16 บาทต่อปี และวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด สามารถลดจำนวนเส้นทางลงได้ 2 เส้นทาง ลดระยะทางรวมลงได้ 59.1 กิโลเมตร ลดต้นทุนลงได้ 7.43 บาทต่อสัปดาห์ 29.72 บาทต่อเดือน หรือ 356.64 บาทต่อปี จากผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มโดยการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบการจัดเส้นทางรูปแบบเดิม วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด พบว่า โรงน้ำดื่มภูเพชรเหมาะแก่การใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด เนื่องจากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดสามารถจัดเส้นทางได้ระยะที่มีระยะทางที่สั้นกว่าแบบเดิมและจำนวนเส้นทางรวมน้อยกว่าแบบเดิม สอดคล้องกับงานวิจัย การจัดเส้นทางรถเก็บขยะ [13] การจัดเส้นทางขนส่งวัสดุก่อสร้าง [14] และการ

จัดเส้นทางรับส่งนักเรียน [15] วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดสามารถช่วยลดระยะทางและต้นทุนขนส่งได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด และวิธีการจัดเส้นทางรูปแบบเดิม ทั้งนี้ วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดถึงแม้จะได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า สามารถลดต้นทุนรวมได้ดีกว่า แต่ก็ต้องใช้เวลาคำนวณที่ซับซ้อนขึ้น ในขณะที่วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุดเป็นวิธีที่ง่ายและสามารถหาคำตอบได้รวดเร็วกว่า วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุดจึงเหมาะสำหรับปัญหาขนาดเล็กที่ไม่ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเชิงกลยุทธ์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, *คู่มือมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย*, นนทบุรี: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 2561.
- [2] จารุพงษ์ บรรเทา, ปวีณา อาสาชาติ และ สุจิตรา สรภูมิ, "การวิเคราะห์อิทธิพลของการประยุกต์ในการจัดเส้นทางรับส่งนักเรียน," *วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 1-11, 2565.
- [3] ฤทัย ลำประเสริฐ, "การดูเส้นทางเดินรอบส่งที่เราในการเดินทางขึ้นอยู่กับช่วงเวลาสำหรับคลังสินค้ารูปแบบครอสต็อก," *วิศวกรรมสาร มก.*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 96, หน้า 53-64, 2559.
- [4] วศิน ศรีเสน, "การจัดเส้นทางขนส่งเพื่อการลดต้นทุน กรณีศึกษา บริษัท ทีทีเค โลจิสติกส์ จำกัด," *สารนิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, การจัดการโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*, 2556.

บทความวิจัย (Research Article)

- [5] R. Baldacci, A. Mingozzi, and G. Righini, "An exact algorithm for the vehicle routing problem based on a new formulation," *Mathematical Programming*, vol. 128, no. 2, pp. 505-527, 2012.
- [6] วรพล อารีย์ และคณะ, "การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง: กรณีศึกษา บริษัท เอปซี จำกัด," *วารสารเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 14, ฉบับที่ 3, หน้า 1-20, 2564.
- [7] ภควัต ชุ่มเจริญ, "อัลกอริทึมในการหาเส้นทางที่พิจารณาปริมาณการเข้าคิวของข้อมูลบนระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์," *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2560.
- [8] รวีโรจน์ ป้องทรัพย์, "การจัดเส้นทางขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์: กรณีศึกษาบริษัทขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์," *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, การจัดการโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2564.
- [9] ชลิตา มีแสง และคณะ, "การวางแผนการดำเนินงานและปรับปรุงเส้นทางจัดเก็บขยะมูลฝอยติดเชื้อโดยใช้วิธีเซฟวิงอัลกอริทึมกรณีศึกษา บริษัท ABC จำกัด," *วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม ชลบุรี*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, หน้า 22-33, 2564.
- [10] นวพล เกษมธรรนันท์ และ หัตถญา ทิวธง, "การจัดเส้นทางขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง: กรณีศึกษาบริษัทให้บริการขนส่งน้ำมัน," *วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม ชลบุรี*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, หน้า 91-98, 2563.
- [11] P. Toth and D. Vigo, *The Vehicle Routing Problem*, SIAM, 2002.
- [12] Z. Zhang, B. Wang, B. Danish, and B. Wang, "Renewable energy consumption, economic growth, and human development index in Pakistan: Evidence from a simultaneous equation model," *Journal of Cleaner Production*, vol. 184, pp. 1081-1090, 2018.
- [13] กนกกรรณ ลีโรจนาประภา และคณะ, "การจัดเส้นทางรถเก็บขยะ: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลท่าเรือ อำเภوتاเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา," *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 1, หน้า 79-102, 2567.
- [14] เกศินี สือนิ, "การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าโดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช่วิธีเซฟวิงอัลกอริทึม และวิธีขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด อัลกอริทึม," *วารสารเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 2, หน้า 1-14, 2563.
- [15] จารุพงษ์ บรรเทา, ปวีณา อาสาชาติ และ สุจิตรา สรภูมิ, "การวิเคราะห์ฮิวริสติกส์สำหรับการประยุกต์ในการจัดเส้นทางรับส่งนักเรียน," *วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 1-11, 2565.

บทความวิจัย (Research Article)

การออกแบบและพัฒนาเครื่องบรรจุดินปลูกอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

ปิยณัฐ โตอ่อน^{1,*}, รัชฎา แต่งภูเขียว¹, อามินท์ หล้าวงศ์² และ มัลลิกา ชีระกุล³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และเทคโนโลยีขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

² สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

³ สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: piyanat.tn@ksu.ac.th โทรศัพท์: 081-7180180

(รับบทความ: 10 กุมภาพันธ์ 2568; แก้ไขบทความ: 24 กุมภาพันธ์ 2568; ตอรับบทความ: 25 กุมภาพันธ์ 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตดินปลูกโดยการสร้างเครื่องบรรจุดินปลูกอัตโนมัติ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิคการศึกษางานในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตดินปลูก โดยที่กระบวนการผลิตเดิมประกอบด้วย 11 ขั้นตอน ใช้เวลารวม 80 นาที มีระยะทางเคลื่อนที่ 6 เมตร และใช้แรงงานทั้งหมด 4 คน ซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้นกระบวนการผลิตรูปแบบเดิม ในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากศึกษากระบวนการทำงานด้วยเทคนิคการศึกษางานและเทคนิค ECRS ร่วมกับการใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) สำหรับนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตดินปลูก และออกแบบเครื่องบรรจุดินปลูกอัตโนมัติ ให้สามารถลดขั้นตอนการทำงาน ลดเวลา และเพิ่มกำลังการผลิตได้ จนนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตดินปลูกที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสมตามคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่า เครื่องบรรจุอัตโนมัติที่ออกแบบตามหลักการ ECRS ร่วมกับ QFD สามารถลดขั้นตอนการผลิตลงเหลือเพียง 6 ขั้นตอน โดยใช้เวลาเพียง 35 นาที ทำให้ความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตเดิมโดยไม่มีเครื่องบรรจุอัตโนมัติ แนวทางที่นำเสนอนี้สามารถพัฒนาเครื่องบรรจุดินปลูกระบบอัตโนมัติให้สามารถตอบโจทย์ด้านคุณภาพตามความต้องการของลูกค้า

คำสำคัญ: เครื่องบรรจุดินปลูกระบบอัตโนมัติ การศึกษางาน เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ เทคนิค ECRS

การอ้างอิงบทความ: ปิยณัฐ โตอ่อน, รัชฎา แต่งภูเขียว, อามินท์ หล้าวงศ์ และ มัลลิกา ชีระกุล, "การออกแบบและพัฒนาเครื่องบรรจุดินปลูกอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 42-57, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

Design and Development of an Automatic Soil Packing Machine for Enhanced Production Efficiency Using Quality Function Deployment Technique

Piyanat To-on^{1,*}, Ratchada Taengphukieo¹, Amin Lawong² and Mullika Teerakun³

¹ Department of Logistics engineering and Transportation Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

³ Department of Biotechnology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University

* Corresponding Author: piyanat.tn@ksu.ac.th, Tel: 081-7180180

(Received: February 10, 2025; Revised: February 24, 2025; Accepted: February 25, 2025)

Abstract

This research aims to design and develop the soil production process by creating an automatic soil packing machine to enhance operational efficiency. Work study techniques were applied to analyze and optimize the production process. The existing production process consists of 11 steps, requiring a total of 80 minutes, a movement distance of 6 meters, and a workforce of four people, serving as the baseline data for the conventional process. The research methodology involved analyzing the production process using work study techniques and the ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify) technique, in conjunction with the application of Quality Function Deployment (QFD) to enhance the potting soil production process. The automated packing machine was designed to reduce operational steps, shorten production time, and increase production capacity, ultimately leading to enhanced efficiency in potting soil production that meets user requirements according to product specifications. The results indicate that the automated packing machine, designed based on ECRS principles combined with QFD, successfully reduced the production steps to six, cutting down processing time to only 35 minutes. This led to a 50% increase in production capacity compared to the conventional process without automation. The proposed approach demonstrates the potential for developing an automated potting soil packing machine that meets quality requirements and customer demands effectively.

Keywords: Automatic soil packing machine, Work study, Quality function deployment (QFD), ECRS

Please cite this article as: P. To-on, R. Taengphukieo, A. Lawong and M. Teerakun, "Design and Development of an Automatic Soil Packing Machine for Enhanced Production Efficiency Using Quality Function Deployment Technique," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 1, pp. 42-57, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

วัสดุดินปลูกที่มีการจัดจำหน่ายตามร้านขายสินค้าทั่วไปจะแบ่งตามประเภทไม้ดอก ไม้ผล และไม้ยืนต้น ซึ่งดินที่นำมาผสมเป็นส่วนผสมจะมีความแตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช โดยทั่วไปดินปลูกจะต้องมีคุณสมบัติที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของพืช ดินปลูกส่วนมากจะมีส่วนผสมของแกลบดำ และขุยมะพร้าวเป็นองค์ประกอบหลัก รวมถึงเอาวัสดุอื่น ๆ มาใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มเติม อาทิ ปุ๋ยหมัก มูลสัตว์ ไข่ไก่ ก้ามปูสับละเอียด เป็นต้น ปัจจุบันมีดินผสมหลายชนิดที่บรรจุจัดจำหน่ายตามร้านเกษตรทั่วไป ทำให้ดินผสมสำหรับปลูกพืชเป็นสิ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก จากการศึกษาพบว่าวัสดุปลูกควรจะต้องมีส่วนผสมของอินทรีย์วัตถุประมาณร้อยละ 60 จะมีธาตุอาหารหลัก พร้อมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพที่มีประสิทธิภาพสูง [1]

จากกรณีศึกษาบริษัท ABC เป็นบริษัทผลิตดินปลูกมีทำเลที่ตั้งในพื้นที่ อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่าในกระบวนการผลิตดินปลูก ยังมีบางขั้นตอนที่ซ้อนทับกัน ทำให้ระยะในการเคลื่อนที่มากเกินความจำเป็น รอบการผลิตต่ำ (Cycle Time) เกิดความสูญเสียในกระบวนการผลิต (Waste) ซึ่งสายการผลิตนี้ใช้ผู้ปฏิบัติงานจำนวน 3 – 4 คน ด้วยเหตุดังกล่าวจึงส่งผลทำให้กำลังการผลิตต่ำกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ ปัญหาดังกล่าวยังส่งผลต่อต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นในบริษัท ABC ทีมวิจัยจึงได้คิดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยทำการศึกษากระบวนการผลิตดินปลูก และทำการออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบเครื่องบรรจุ

ด้วยระบบอัตโนมัติ โดยการนำหลักเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) และเทคนิค ECRS มาช่วยการวิเคราะห์ และปรับปรุงกระบวนการทำงาน โดยเน้นการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการให้สูงขึ้นกว่าปัจจุบัน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)

ภาณุวัฒน์ วงศ์แสงน้อย ได้นำเทคนิค QFD มาพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อโคขุนให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อโคขุนที่พัฒนาขึ้นตามข้อกำหนดทางเทคนิค มีคะแนนโดยเฉลี่ยในด้านรสชาติ สี กลิ่น และการยอมรับโดยรวมคือ 8.81, 8.62, 8.37 และ 8.32 ตามลำดับจากคะแนนเต็ม 10 [2]

นุรฮุดา วายู และสมทบ เวทโอสถ ได้ศึกษาประสิทธิภาพของส่วนผสมดินปลูกจากวัสดุขานอ้อย และขี้เลื่อยไม้ยางพาราต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางฟ้า พบว่าการใช้ขานอ้อยร่วมกับขี้เลื่อยไม้ยางพาราสามารถลดต้นทุนการผลิตได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตและผลผลิตของเห็ดนางฟ้า [3]

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะ ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ในการผลิตชุดโซฟาซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพ และเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้ใช้งานเทียบกับผลิตภัณฑ์แบบเดิม โดยใช้เทคนิค QFD มาช่วยในการ

บทความวิจัย (Research Article)

ปรับปรุงครั้งนี้ พบว่าผลิตภัณฑ์แบบใหม่มีค่าความพึงพอใจโดยรวมสูงกว่าแบบดั้งเดิม [4]

ณัฐวุฒิ แสงภาศนีย์ ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มที่มีการเสริมกลิ่นธรรมชาติ และมีการรสชาติใหม่ที่ตอบสนองความพึงพอใจของผู้บริโภค ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่พัฒนานั้นสอดคล้องตามเป้าหมายสุดท้ายที่ตั้งไว้ [5]

2.2 เทคนิค ECRS

นันทพันธ์ กนกศิริรุจิษา ได้ทำการปรับปรุงสายการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD) โดยได้ใช้เทคนิค ECRS เพื่อทำการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พบว่าสามารถลดจำนวนคนลดลงจาก 5 คน เหลือ 3 คน เวลาว่างลดลงจาก 5,463 วินาทีต่อล็อต เหลือ 1,597 วินาทีต่อล็อต ซึ่งลดลงถึงร้อยละ 70 ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นจากเดิมได้ถึงร้อยละ 41 เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตแบบเดิม [6]

อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา และวิบูลย์ สำราญรัมย์ ได้ใช้หลักการ ECRS เพื่อลดต้นทุนการผลิตในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ ตำบลคงอิจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่า ช่วยลดจำนวนขั้นตอนการผลิตจากเดิม 19 ขั้นตอน เหลือเพียง 15 ขั้นตอน ลดลงได้ถึง 4 ขั้นตอน พร้อมทั้งช่วยลดเวลาในการทำงานลงได้ [7]

วรพจน์ ศิริรักษ์ และคณะ ต้องการลดรอบเวลาการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยเน้น

การแก้ไขปัญหาคอขวดในกระบวนการผลิต โดยใช้เทคนิค ECRS ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตผ่านแนวทางการจัดสมดุลสายการผลิต นอกจากนี้ยังออกแบบจิ๊ก (Jig) และฟิกเจอร์ (Fixture) เพื่อช่วยให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น หลังการปรับปรุงพบว่า รอบเวลาการผลิตในขั้นตอนที่ 4 ลดลงจาก 250.05 วินาทีต่อชิ้น เหลือ 173.9 วินาทีต่อชิ้น (ลดลงร้อยละ 30.23) และ ขั้นตอนที่ 5 ลดลงจาก 285.15 วินาทีต่อชิ้น เหลือ 242.4 วินาทีต่อชิ้น (ลดลงร้อยละ 14.68) ส่งผลให้ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.88 และสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตเป็น 2,602 ชิ้นต่อวัน นอกจากนี้สามารถลดความสูญเสียในการเคลื่อนย้าย เพิ่มความสะดวกให้แก่พนักงานในการทำงาน การผลิตมีความต่อเนื่อง และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ดีขึ้น [8]

2.3 แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart - FPC)

ชัยวัฒน์ กิตติเดชา และอภิชาติ ชัยกลาง ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดด้วยเทคนิคการศึกษางาน โดยได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดเพื่อลดระยะทางและเวลาในการขนย้าย ซึ่งได้ใช้แผนภูมิกระบวนการผลิต แผนภาพการไหล แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบสองมือ และเทคนิค ECRS ส่งผลทำให้การย้ายสถานีงานติดฉลากขวดไปยังห้องเก็บขวดช่วยลดระยะทางขนย้ายลง 8 เมตร และลดเวลา 10 วินาที [9]

บทความวิจัย (Research Article)

ธาริณี มีเจริญ และคณะ ได้ทำการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มผลิตภาพแรงงานในกระบวนการบรรจุห่อขวดพลาสติก เพิ่มผลิตภาพแรงงานและลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการบรรจุห่อขวดพลาสติก ใช้แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) แผนภาพการไหลของกระบวนการเทคนิค ECRS จากจำนวนพนักงานลดลงจาก 4 คน เหลือ 2 คน ลดรอบเวลาการผลิตลง 1.07 นาทีต่อแพ็ค และเพิ่มผลิตภาพแรงงาน [10]

เดโชชัย สาพิมพ์ ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์ตกแต่งรถยนต์ ปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์ตกแต่งรถยนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุน ใช้แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) วิเคราะห์การทำงานและปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถลดระยะทางการทำงานลงร้อยละ 29.41 ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น [11]

งานวิจัยนี้ได้นำเอา QFD, FPC และ ECRS มาใช้ทำงานร่วมกัน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ โดย QFD ถูกใช้เป็นแนวทางหลักในการรวบรวม และแปลงความต้องการของลูกค้าให้เป็นข้อกำหนดทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ ซึ่งช่วยให้มั่นใจว่าการปรับปรุงที่ดำเนินการนั้นสอดคล้องกับความคาดหวังของผู้ใช้งาน จากนั้น FPC จะถูกนำมาใช้เพื่อลงรายละเอียดขั้นตอนของกระบวนการผลิต ทำให้สามารถวิเคราะห์จุดที่เกิดความสูญเสียเปล่า รวมถึงโอกาสในการปรับปรุงการไหลของงานและลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น ในขณะที่ ECRS ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงกระบวนการ

โดยเฉพาะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และลดความสูญเสียเปล่า

ข้อดีของการใช้แนวทางนี้ร่วมกัน คือ สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การกำหนดข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (QFD) การระบุปัญหาและโอกาสปรับปรุงผ่านการวิเคราะห์กระบวนการ (FPC) ไปจนถึงการดำเนินการปรับปรุงอย่างมีประสิทธิภาพ (ECRS) อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค คือ QFD อาจใช้เวลานานและต้องการข้อมูลจากลูกค้าอย่างครบถ้วน FPC อาจซับซ้อนหากกระบวนการผลิตมีหลายจุดเชื่อมโยงกัน และ ECRS อาจมีข้อจำกัดในบางอุตสาหกรรมที่มีข้อกำหนดทางกฎหมายหรือมาตรฐานที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ง่าย การนำทั้ง 3 แนวคิดมาใช้ร่วมกันนับว่าเป็นแนวทางที่สมบูรณ์แบบในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตอย่างเป็นระบบและตอบสนองความต้องการของตลาดได้อย่างเหมาะสม

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

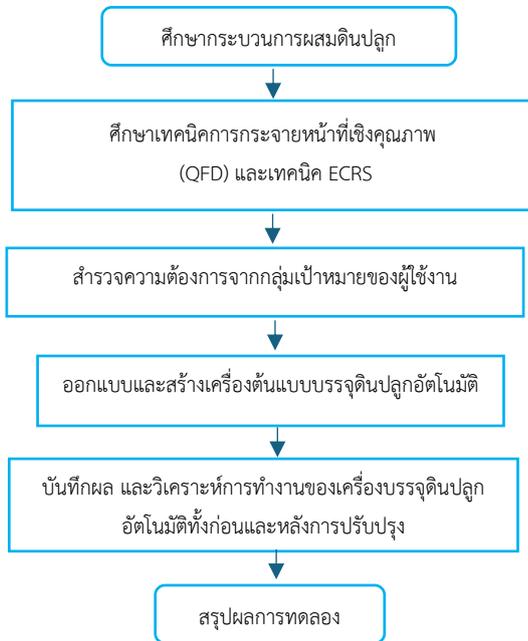
ทีมวิจัยได้ทำการออกแบบขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 1 โดยสรุปวิธีการดำเนินงานของงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. ศึกษาขั้นตอนการผลิตสินค้า เพื่อไปใช้เป็นข้อมูลนำการออกแบบเครื่องบรรจุสินค้าอัตโนมัติ

บทความวิจัย (Research Article)

2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเน้นการใช้เทคนิค ECRS และ QFD ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต

3. นำเสนอการใช้แผนผังไหลของกระบวนการ (Flow Process Chart) โดยรวบรวมและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตรูปแบบเดิม เพื่อเสนอแนวทางในการแก้ไข



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

4. นำเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหา ซึ่งได้นำปัญหาที่พบมาทำการวิเคราะห์แนวทางแก้ไขปัญหานั้นเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคการระดมสมองจากคณะผู้วิจัย ผู้ประกอบการ และผู้ใช้งาน เพื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุพร้อมทั้งหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต

5. นำเสนอ และวิเคราะห์โดยใช้หลักการ ECRS และเทคนิค QFD ทำการออกแบบ และสร้างเครื่องบรรจุดินปลุกอัตโนมัติ

6. สรุปผลการทดลอง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการเก็บข้อมูลครั้งนี้ ได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นได้เลือกใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมมาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการดังต่อไปนี้

1. การศึกษางาน (Work Study) โดยใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการ แสดงถึงขั้นตอนของกระบวนการ

2. เทคนิค ECRS มาช่วยในการลดความสูญเปล่าของกระบวนการที่ส่งผลต่อต้นทุนซึ่งกระทบไปถึงผลตอบแทนที่ได้จากกระบวนการ

3. เทคนิค QFD เป็นวิธีการที่แปลงความต้องการของลูกค้าให้เป็นคุณลักษณะทางวิศวกรรมที่นำไปใช้ในการออกแบบให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า

4. ผลการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทำให้ทราบถึงขั้นตอนการผลิตดินปลุก และปัญหาในด้านต่างๆ ของการผสมดินปลุก โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องบรรจุดินปลุกอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการปรับปรุงการทำงานและสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ซึ่งผลการดำเนินงานแสดงดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)

4.1 การศึกษากระบวนการผลิตดินปลูก

ทีมวิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตดินปลูกกรณีศึกษาบริษัท ABC โดยมีขั้นตอนการผลิตดินปลูกดังนี้

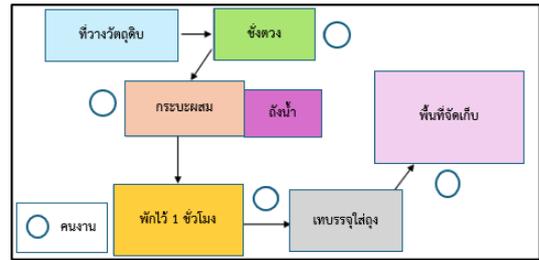
1) เตรียมวัตถุดิบ (ใบก้ามปูแห้ง ปุ๋ยคอก ดินร่วน กาบมะพร้าว ไยมะพร้าว และแกลบเผา) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วัตถุดิบในการผสมดินปลูก

- 2) เดินไปที่เครื่องชั่ง
- 3) ชั่งตวงให้ได้ตามอัตราส่วน 1:1:1:1:2 (ใบก้ามปู: ปุ๋ยคอก: ดินร่วน: ไยมะพร้าว: กาบมะพร้าว: แกลบเผา)
- 4) เทส่วนผสมลงในกระบะผสม
- 5) เดินไปเอาน้ำ
- 6) พรมน้ำให้เกิดความชื้น
- 7) ผสมให้เข้ากัน
- 8) ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
- 9) เทบรรจุใส่ถุงขนาด 5 กิโลกรัม
- 10) เคลื่อนย้ายถุงดินปลูกไปยังพื้นที่จัดเก็บ
- 11) จัดเก็บสินค้า

จากการศึกษากระบวนการผลิตดินปลูก สามารถแสดงผังพื้นที่การทำงาน (Process Layout) ก่อนการปรับปรุง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผังพื้นที่การทำงานก่อนการปรับปรุง

ทำการศึกษาผังกระบวนการไหลของการผลิตดินปลูกก่อนการปรับปรุง ซึ่งผลการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4

Flow Process Chart						
ขั้นตอนการผลิตดินปลูกหลังการปรับปรุง						
ขั้นตอน	กระบวนการ	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์		
1	เตรียมวัตถุดิบ	-	3	●	⇒	D □ ▽
2	เดินไปที่เครื่องชั่ง	2	1	○	→	D □ ▽
3	ชั่งตวงให้ได้ตามอัตราส่วน	-	2	●	⇒	D □ ▽
4	เทส่วนผสมลงในกระบะผสม	-	1	●	⇒	D □ ▽
5	เดินไปเอาน้ำ	1	1	○	→	D □ ▽
6	พรมน้ำให้เกิดความชื้น	-	1	●	⇒	D □ ▽
7	ผสมให้เข้ากัน	-	5	●	⇒	D □ ▽
8	ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง	-	60	○	⇒	□ ▽
9	เทบรรจุใส่ถุงขนาด 5 กิโลกรัม	-	2	●	⇒	D □ ▽
10	เคลื่อนย้ายถุงดินปลูกไปยังพื้นที่จัดเก็บ	3	2	○	→	D □ ▽
11	จัดเก็บสินค้า	-	2	○	⇒	D □ ▽
รวม		6	80	6	3	1 0 1

รูปที่ 4 ผังกระบวนการไหลก่อนการปรับปรุง

บทความวิจัย (Research Article)

จากรูปที่ 4 พบว่า ผังกระบวนการไหลก่อนการปรับปรุงทั้งหมด 11 ขั้นตอน ใช้เวลาทั้งหมด 80 นาที โดยมีระยะทางรวมเท่ากับ 6 เมตร โดยมีการใช้คนงานจำนวน 3-4 คน และมีการใช้เวลามากเกินความจำเป็น ซึ่งจากการเก็บข้อมูลประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบดำเนินการโดยการวัดระยะเวลาการผลิต 5 รอบ ส่งผลทำให้สามารถผลิตดินปลูกขนาดบรรจุต่อถุง 5 กิโลกรัมได้เพียงประมาณ 120 ถุงต่อวัน

ด้วยเหตุดังกล่าวจึงเลือกใช้เทคนิค ECRS ซึ่งได้ใช้หลักการ Simplify คือ การทำให้ง่ายและสร้างความสะดวกรวดเร็ว มาช่วยปรับปรุงขั้นตอนการบรรจุที่ต้องใช้ทรัพยากรที่มากเกินไป (คนงาน) พร้อมทั้งส่งผลต่อต้นทุน และมีรอบเวลาที่ใช้ในการผลิตที่เป็นจุดคอขวด

ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบเครื่องต้นแบบกระบวนการผลิตดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติ สำหรับช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้เทคนิค QFD มาปรับปรุงการทำงานของเครื่องต้นแบบตามความต้องการของผู้ใช้งาน

4.2 การออกแบบเครื่องบรรจุดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)

จากความต้องการของผู้ประกอบการ และผู้ใช้งาน มาทำการปรับรูปแบบกระบวนการผลิตให้เครื่องบรรจุดินปลูกสามารถตอบสนองต่อการใช้งาน พบว่า พื้นที่ใน

การทำงานที่ลดลง และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากขึ้นกว่าเดิม ในการออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องบรรจุดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพในการดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบฯ โดยผลการออกแบบตามเทคนิค QFD โดยมีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

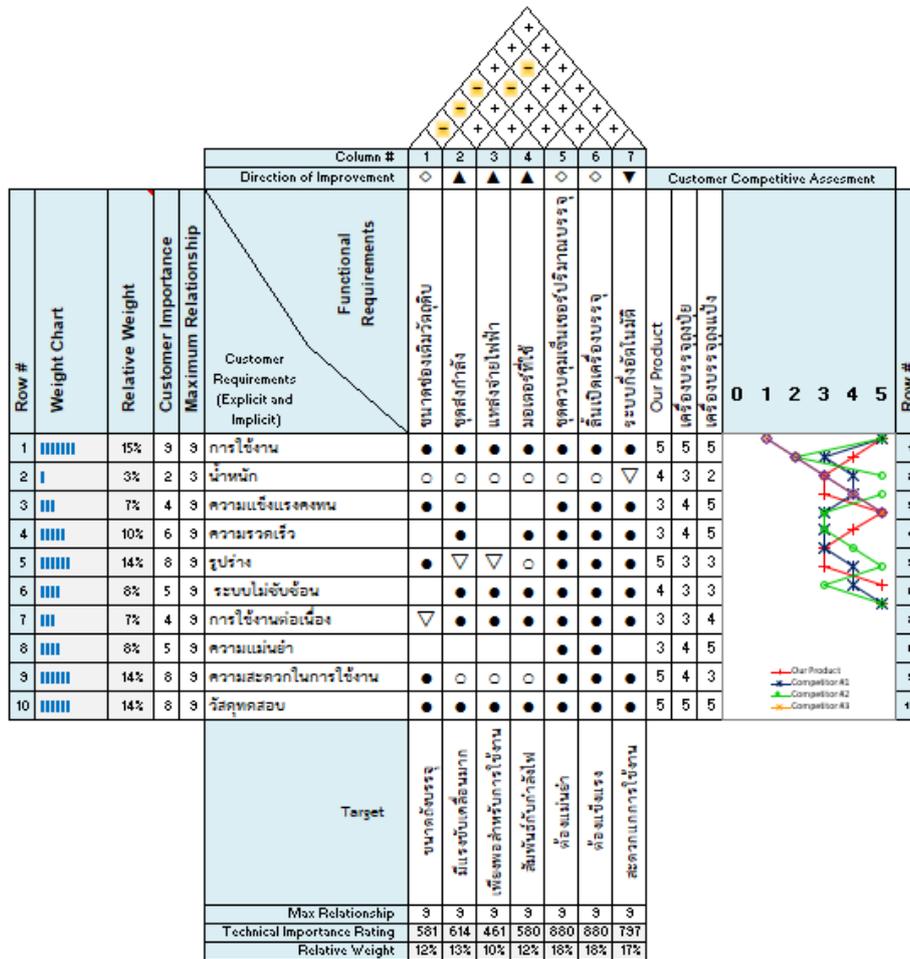
4.2.1 เครื่องบรรจุดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติ

1) ผลของความต้องการของผู้ใช้งานเครื่องบรรจุดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค QFD โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1) การรับฟังความต้องการที่ได้จากกลุ่มเป้าหมายของผู้ใช้งาน ซึ่งได้เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสำรวจความคิดเห็นจำนวน 10 ชุด แบ่งเป็นเพศชายจำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 80 เพศหญิงจำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 20 ซึ่งมีอายุอยู่ระหว่าง 31- 40 ปี จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 70 และอายุระหว่าง 41- 50 ปี จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 30 จากผลการสำรวจ พบว่าความคิดเห็นส่วนใหญ่ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการใช้งาน และระบบการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการฯ มากถึงร้อยละ 70 ส่วนอีกร้อยละ 30 จะอยู่ในส่วนความสะดวก วัสดุ และรูปทรงของเครื่อง

1.2) ผลของความต้องการจากผู้ประกอบการ สามารถนำไปสร้างเป็นบ้านคุณภาพ (House of Quality) ได้ดังรูปที่ 5

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 5 บ้านคุณภาพ (House of Quality)

จากรูปที่ 5 บ้านคุณภาพ ได้ทำการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานร่วมกับระบบการทำงานของเครื่องต้นแบบฯ โดยการหาความสัมพันธ์ทางเทคนิค โดยมีสัญลักษณ์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ คือ

- เลข 9 สัญลักษณ์ ● หมายถึง ระดับความสัมพันธ์มาก
- เลข 3 สัญลักษณ์ ○ หมายถึง ระดับความสัมพันธ์กลาง
- เลข 1 สัญลักษณ์ ▽ หมายถึง ระดับความสัมพันธ์น้อย
- ช่องว่าง หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์กัน

จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการทางเทคนิคแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยมีสัญลักษณ์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ดังนี้

- เครื่องหมาย + คือ ระดับความสัมพันธ์สูง
- เครื่องหมาย - คือ ระดับความสัมพันธ์ต่ำ
- ช่องว่าง คือ ไม่มีระดับความสัมพันธ์กัน
- เนื่องจากมีค่าน้ำหนักความสัมพันธ์ (Relative Weight) การใช้งานที่ร้อยละ 15 และรูปร่าง ความสะดวกในการใช้งาน วัสดุทดสอบ ร้อยละ 14

บทความวิจัย (Research Article)

ตามลำดับ จึงเลือกใช้ 4 อันดับสูงสุด ทำการจัดกลุ่มด้วยแผนภาพกลุ่มเชื่อมโยงเพื่อความสะดวกในการดำเนินงานโดยเรียงความต้องการที่ได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความต้องการของผู้ใช้งาน

ความต้องการระดับที่ 1	ความต้องการระดับที่ 2
รูปร่าง	(1) มีความสวยงาม (2) ไม่ก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบาย (3) สัดส่วนที่เหมาะสม สามารถรับแรงกระทำได้ (4) มีขนาดที่เหมาะสมต่อการใช้งาน (5) รูปทรงไม่ทำให้เกิดอันตราย
การใช้งาน	(1) สามารถเพิ่มเซ็นเซอร์ได้อีกในอนาคต (2) มีปุ่มเรียกฉุกเฉิน (3) มีอายุการใช้งานยาวนาน (4) อุปกรณ์ไม่มีความร้อน (5) ไม่ขัดขวางลักษณะการทำงาน
วัสดุ	(1) มีความแข็งแรงทนทาน (2) ไม่สกปรกง่าย (3) มีน้ำหนักเบา (4) ป้องกันน้ำ (5) ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
ความสะดวก	(1) ทำความสะอาดอุปกรณ์ได้ง่าย (2) มีความเหมาะสมกับตำแหน่งที่ติดตั้ง (3) เคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ (4) ซ่อมบำรุงง่าย (5) อะไหล่สามารถจัดหาได้ง่าย

การรวบรวมคะแนนความสำคัญของแต่ละความต้องการจากการวิเคราะห์ความสอดคล้องเพื่อเข้าสู่เฟสที่ 2 เมตริกซ์การแปลงการออกแบบ (Design Deployment) เป็นไปตามตารางที่ 2 พบว่าระดับน้ำหนักของความต้องการทางเทคนิคเป็นคะแนนที่บอกถึงความต้องการทางเทคนิคตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยจะทำการหาค่า IMP ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากขั้นตอนในการเก็บข้อมูลจากแบบสำรวจความคิดเห็นแล้วนำมาหารูปจากนั้นทำการคำนวณหาค่า Raw Score และ % Relative โดยมีตัวอย่างดังนี้

- ค่า Raw Score = (คะแนนการสอดคล้องกับความต้องการ 1*IMP 1) + (คะแนนการสอดคล้องกับความต้องการ 2*IMP 2) +...

ตัวอย่างเช่น

% Relative

= $\frac{\text{Raw Score ของแต่ละคุณลักษณะ}}{\text{ผลรวม Raw Score ทั้งหมด}} \times 100$

ผลรวม Raw Score ทั้งหมด

ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณ พบว่า ความต้องการทางเทคนิคที่มีระดับความสำคัญของความต้องการทางเทคนิคโดยการเปรียบเทียบมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ ลักษณะของการใช้งาน (17.7) วัสดุที่ใช้ (13.8) และ ระยะการซ่อมบำรุง (11.9) ตามลำดับ โดยระดับความสำคัญของความต้องการทางเทคนิค โดยที่เมตริกซ์การออกแบบขึ้นส่วน แสดงดังตารางที่ 3

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 2 การวางแผนผลิตภัณฑ์

	ความต้องการทางเทคนิค	ลักษณะการใช้งาน	วัสดุที่ใช้	ระยะเวลาซ่อมบำรุง	ระบบในการควบคุม	ความกว้างของเครื่องฯ	ความยาวของเครื่องฯ	ความทันสมัยของระบบการทำงาน	รูปทรงภายนอก	ระบบสั่งการ	แรงกระทำ	น้ำหนักเครื่อง	แหล่งพลังงาน
ความต้องการของผู้ใช้งาน	IPM	0	0	0	↓	↓	0	0	↓	↑	↑	↑	↑
มีความสุขงาม	6.5		9			3	3	9	9			3	
ไม่ก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบาย	6.3					3	3	9	9			6	
สัดส่วนที่เหมาะสมสามารถรับแรงกระทำได้	9.2	9	9	3				3	3		9		
มีขนาดที่เหมาะสมต่อการใช้งาน	8.5	9	3	6	3	6	6	6	6	9	9		9
รูปทรงไม่ทำให้เกิดอันตราย	8.4	9											
สามารถเพิ่มเซ็นเซอร์ได้อีกในอนาคต	7.2	6		6	9					9			
มีปุ่มเรียกฉุกเฉิน	7.7	6		6	9					9			
มีอายุการใช้งานยาวนาน	7.5		9	9	6								
อุปกรณ์ไม่มีความร้อน	6.9			3									3
ไม่ขัดขวางลักษณะการทำงาน	8.1	9		3	9	6	6						
มีความแข็งแรงทนทาน	9.5	9	9	3		3	3	3	3		6		
ไม่สกรง่าย	8.7		9										
มีน้ำหนักเบา	7.5		6			3	3	3	3		9		
ป้องกันน้ำ	7.9	9			9								
ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ	7.3	9				6	6						
ทำความสะอาดอุปกรณ์ได้ง่าย	8.9	6	9										
มีความเหมาะสมกับตำแหน่งที่ติดตั้ง	6.1					6	6						
เคลื่อนย้ายตำแหน่งได้	7.1												
ซ่อมบำรุงง่าย	8.2			9	3					3			
อะไหล่สามารถจัดหาได้ง่าย	7.5			9	9								
ระดับน้ำหนัก (Raw Score)		673	523	450	441	269	269	254	254	235	216	215	97.2
ระดับความสำคัญ (% Relative)		17.7	13.8	11.9	11.6	7.09	7.09	6.69	6.44	6.19	5.69	3.29	2.56
ลำดับ (Rank)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์เมตริกซ์การออกแบบชิ้นส่วนเป็นไปตามตารางที่ 3 และจากระดับความสำคัญของข้อกำหนดคุณลักษณะของชิ้นส่วนโดยการเปรียบเทียบ พบว่าข้อกำหนดคุณลักษณะของชิ้นส่วนที่มีความสำคัญ โดยการเปรียบเทียบมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ เหล็กสแตนเลส (12.7) เซ็นเซอร์สั่ง

การระบบ (12.4) และระบบเปิด-ปิดการควบคุมการทำงาน (10.3) ตามลำดับ แล้วได้นำเอาปัจจัยที่จำเป็นต้องมีของของเครื่องที่ทำการออกแบบ โดยจะส่งผลต่อโครงสร้าง และระบบการทำงาน ซึ่งทางคณะทำงานได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ แล้วจึงได้ทำการออกแบบเครื่องต่อไป

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 3 เมตริกซ์การออกแบบชิ้นส่วน

	ความต้องการทางเทคนิค	เซ็นเซอร์ตั้งการระบบ	เหล็กสแตนเลส	ระบบเปิด-ปิดการควบคุมการทำงาน	โพลีคาร์บอเนต	ไฟฟ้ากระแสสลับ	ระบบการทำงานที่ง่ายและสะดวก	การติดตั้งที่มั่นคง	รูปร่างทนทานต่อการใช้งาน	อะไหล่หาง่าย	มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	สเปกตรัมของเครื่อง
ความต้องการของผู้ใช้งาน	IPM	0	0	0	▲	▲	0	▲	▲	▲	▼	0
ลักษณะการใช้งาน	17.7	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9
ระยะเวลาซ่อมบำรุง	11.9	3	9	3		6	3	6		9	3	
ระบบในการควบคุม	11.6	9		9		3	9	6		3	3	
ความกว้างของเครื่องฯ	7.1		3		3			3	3			3
ความยาวของเครื่องฯ	7.1		3		3			3	3			3
ความทันสมัยของระบบการทำงาน	6.7	9	6	9	3	6	3			3	3	
รูปทรงภายนอก	6.4	3	6		6			6	9			3
ระบบตั้งการ	6.2	9		9		3	9				3	
แรงกระทำ	5.7		9		6						6	
น้ำหนักเครื่องฯ	3.3		3		3			3	6			
วัสดุที่ใช้	13.8	9	9	3	9	3	3		3	9	3	3
แหล่งพลังงาน	2.6			3		9					3	
ระดับน้ำหนัก (Raw Score)		559	573	465	2392	389	417	391	321	339	352	263
ระดับความสำคัญ (% Relative)		12.4	12.7	10.3	53.2	8.65	9.27	8.7	7.13	7.55	7.83	5.84
ลำดับ (Rank)		2	1	3	4	7	5	6	10	9	8	11

4.3 การออกแบบอุปกรณ์

การออกแบบอุปกรณ์สามารถจำแนกรายละเอียดของการออกแบบได้ดังนี้

- 1) ส่วนของโครงเครื่อง เนื่องจากไม่ได้เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของอาหารจึงไม่จำเป็นต้องใช้สแตนเลส ซึ่งอาจส่งผลทำให้ต้นทุนการสร้างเครื่องสูงขึ้นจึงได้เลือกใช้วัสดุทดแทนเป็นเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 2 นิ้ว
- 2) ระบบควบคุมการทำงานเปิด-ปิดของเครื่องที่ทำการออกแบบได้ใช้เซ็นเซอร์สั่งการระบบและควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมระบบ

เปิด-ปิด ฝาถ้ำด้วยเซอร์โวมอเตอร์ และระบบการซึ่งมวลของน้ำหนัก

- 3) ในส่วนตัวเครื่องใช้เหล็กแผ่นขนาด 1.2 x 2.4 เมตรหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยมีค่าความคาคเคลื่อนร้อยละ 0.5
- 4) ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อสะดวกในการใช้งาน
- 5) ชุดส่งกำลังควรใช้เซอร์โวมอเตอร์เพื่อช่วยให้ทำงานได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

บทความวิจัย (Research Article)

จากนั้นได้นำเอาแนวคิดที่ได้จากการจำแนกรายละเอียดไปทำการออกแบบเครื่องบรรจุถุงดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6

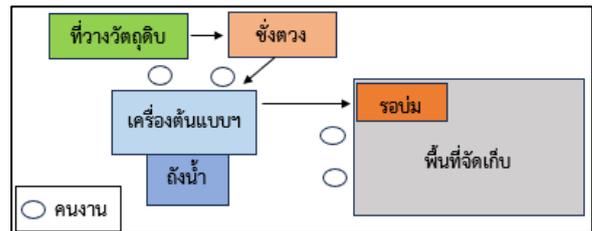


รูปที่ 6 แบบเครื่องบรรจุถุงดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติ

เครื่องบรรจุถุงดินปลูกควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ เมื่อ กดปุ่มที่กล่องควบคุม ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมปริมาณน้ำหนักของดิน และการเปิด/ปิดของฟาลิ้น เมื่อดินปลูกที่ผสมเรียบร้อยแล้วตกลงมาในปริมาณ 5 กิโลกรัม จากนั้นระบบลิ้นจะปิดตัวลง และดินที่อยู่ ด้านบนจะตกลงมาแทนที่ดินที่ถูกบรรจุลงในถุงปริมาณ 5 กิโลกรัม ซึ่งระบบการทำงานทั้งหมดใช้เซอร์โวมอเตอร์ เครื่องบรรจุถุงดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติที่ได้ทำการสร้างครั้งนี้มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด (วัสดุและอุปกรณ์) ราคา 40,000 บาทถ้วน

4.3.1 การวัดประสิทธิภาพ

ทำการทดสอบการใช้เครื่องบรรจุดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติ มีกำลังผลิตสูงสุดอยู่ที่ 1.5 ตัน ต่อวัน หรือ ประมาณ 300 ถุง สามารถแสดงผังพื้นที่การทำงาน (Process Layout) แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผังพื้นที่การทำงานหลังปรับปรุง

นำเอาเครื่องไปการประยุกต์ใช้เป็นไปตามผังกระบวนการไหลของการผลิตดินปลูกหลังการปรับปรุง แสดงดังรูปที่ 8

Flow Process Chart						
ขั้นตอนการผลิตดินปลูกหลังการปรับปรุง						
ขั้นตอน	กระบวนการ	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์		
1	นำวัตถุดิบมากรวมกัน	1	7	●	⇒	D □ ▽
2	ชั่งตวงให้ได้ตามอัตราส่วน	1	5	●	⇒	D □ ▽
3	เทส่วนผสมลงในเครื่องบรรจุถุงอัตโนมัติ	1	12	●	⇒	D □ ▽
4	รอปม	1	10	○	⇒	● □ ▽
5	เคลื่อนย้ายถุงดินปลูกไปยังพื้นที่จัดเก็บ	1	2	○	⇒	● □ ▽
6	จัดเก็บสินค้า	1	3	○	⇒	D □ ▽
รวม		6	45	3	1	1 0 1

รูปที่ 10 ผังกระบวนการไหลหลังการปรับปรุง

บทความวิจัย (Research Article)

ผังพื้นที่การทำงานของกระบวนการผลิตดินปลูก หลังปรับปรุงมีการใช้คนงานทั้งหมด 4 คน และใช้พื้นที่ในการทำงานน้อยกว่า ซึ่งได้ใช้เทคนิค ECRS ทั้งหมด 2 แบบมารวมกัน

แบบที่ 1 C : Combine คือ รวมขั้นตอนที่ 4 5 และ 6 เป็นขั้นตอนที่ 3 ของกระบวนการหลังการปรับปรุง

แบบที่ 2 S : Simplify คือ ออกแบบเครื่องจักรต้นแบบฯ มาช่วยในการผลิตซึ่งสามารถลดเวลาการทำงานได้ถึง 35 นาทีคิดเป็นร้อยละ 43.75 จากกระบวนการเดิมเปรียบเทียบกับผลจากการใช้เครื่องบรรจุดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติ แสดงตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลผลิต

การเปรียบเทียบ	ก่อนการปรับปรุง (ถุง)*	หลังการปรับปรุง (ถุง)*	ร้อยละ
ผลผลิต	120	240	50

*ขนาดบรรจุถุงละ 5 กิโลกรัม

5. อภิปรายและสรุปผล

จากการทำการศึกษาวิจัยนี้ โดยได้มาจากการลงพื้นที่ดูงาน จึงได้พบเห็นกระบวนการผลิตดินปลูกบรรจุถุงจำหน่าย ซึ่งใช้แรงงานในกระบวนการผลิตอย่างน้อย 3 - 4 คน และส่งผลต่อต้นทุนที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการผลิต และยังมีขั้นตอนในการดำเนินงานที่ซับซ้อนหลายขั้นตอนทำให้กำลังการผลิตที่ได้ต่อวันน้อย ทำให้ทีมวิจัยจึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุดินปลูกอัตโนมัติ โดยได้ใช้เทคนิค QFD มาทำการวิเคราะห์หน้าที่และรูปแบบการผลิตที่เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน จากนั้นจึงทำการออกแบบ

เครื่องต้นแบบกระบวนการผลิตดินปลูกด้วยระบบอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องต้นแบบที่ได้เป็นไปตามรูปที่ 6

ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องบรรจุดินปลูกอัตโนมัติ พบว่ากำลังการผลิตดินปลูกบรรจุถุงขนาดบรรจุถุงละ 5 กิโลกรัม กระบวนการหลังการปรับปรุงโดยใช้เทคนิค ECRS มาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตซึ่งหลังจากการปรับปรุงกระบวนการสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ถึงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกระบวนการเดิม (ก่อนการปรับปรุง) และเพิ่มยอดขายได้มากถึง 5,100 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 33.33 เมื่อเทียบกับยอดขายเดิมต่อเดือน

จากงานวิจัยนี้สามารถสามารถขยายขอบเขตการใช้งานได้โดยปรับปรุงให้รองรับประเภทของดินที่หลากหลายขึ้น ปรับเพิ่มกำลังการผลิต และนำเทคโนโลยี IoT และ AI มาใช้ ส่วนแนวทางการวิจัยในอนาคตสามารถเน้นที่การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องในภาคสนาม การพัฒนาเครื่องจักรให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการใช้เทคโนโลยีอัจฉริยะในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นแนวคิงานวิจัยในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

7. เอกสารอ้างอิง

[1] พิณรัตน์ นุชโพธิ์, ชัยณรงค์ ศรีพรหมมา และ ธีรวัฒน์ พันผา, “เกษตรแบบธรรมชาติด้วยจุลินทรีย์จากธรรมชาติเบญจคุณ กรณีศึกษา: ศูนย์เรียนรู้โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริบ้าน

บทความวิจัย (Research Article)

- วัดใหม่ หมู่ที่ 3 ตำบลบึงสามัคคี อำเภอบึงสามัคคี จังหวัดกำแพงเพชร,” *วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, ปีที่ 2 ฉบับที่ 1, หน้า 88-103, ม.ค. – เม.ย. 2563.
- [2] P. Wongsangnoi, "The application of quality function deployment for the development of beef products", *Journal of Engineering and Innovation*, vol. 13, no. 2, pp. 149-155, 2020. (in Thai)
- [3] N. Wayu and S. Wet-o-sot, "Efficiency of bagasse and pararubber sawdust on growth and yield of sarjor-caju mushroom (*Pleurotus sarjor-caju* (Fr.) Sing)," in *Proceedings of The 6th National Science and Technology Conference*, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, Thailand, Apr. 1-2, 2021, pp. 492-496. (in Thai)
- [4] S. Rawangwong *et al.*, "Application of quality function deployment technique for design and development of bamboo furniture sofa set product," *RMUTL Engineering Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 1-11, 2021. (in Thai)
- [5] N. Sangkaasinee, "An application of quality function deployment for orange juice product development," M.S. thesis, Prince of Songkla Univ., 2022. (In Thai)
- [6] N. Kanoksirirujisaya, "Wastes reduction in HDD part production line using ECRS techniques," *Journal of Science and Technology Thonburi University*, vol. 5, no. 2, pp. 77-91, 2021. (in Thai)
- [7] U. Ketsripongsa and W. Samranrum, "Developing entrepreneurial potential by using ECRS principles to reduce production costs of Ban Don Somboon banana processing community enterprise group, Dong Eichan Sub-district, Non Suwan District, Buriram Province," *The Journal of Industrial Technology Thepsatri Rajabhat University*, vol. 17, no. 1, pp. 69-78, 2022. (in Thai)
- [8] W. Sirirak, T. Nanthamajcha, W. Saengbunrueang, A. Pinchaimoon, and C. Seeta, "Process improvement of electronic part assembly with ECRS technique," *Journal of Manufacturing Management and Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, Jan.–Jun. 2023. (in Thai)
- [9] C. Kittidecha and A. Chaiklang, "The productivity improvement of bottled water manufacturing using work study technique," *Journal of Manufacturing Management and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, Jan.–Jun. 2022. (in Thai)
- [10] T. Meecharoen, S. Singkhon, N. Burana, N. Kaewwinat, and S. Nanna, "Application of industrial engineering tools for increasing the labor productivity in plastic bottle packaging process," *Journal of Engineering*

บทความวิจัย (Research Article)

and Technology Udon Thani Rajabhat University, vol. 2, no. 2, pp. 53–68, Jul.–Dec. 2023. (in Thai)

- [11] D. Sapim, "Improvement of production process of car accessories," *Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University*, vol. 1, no. 1, pp. 9–18, Jan.–Jun. 2021. (in Thai)

บทความวิจัย (Research Article)

การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักการลดความสูญเปล่า ECRS: กรณีศึกษา กระบวนการผลิตยางญี่ปุ่นตั้งป้ายไวเนล

สุภาพร แสนกุล¹, ณิชฐัตถ์น้อย สุพัฒน์ธนานนท์^{2,*}, เจษฎา แจ่มแสง¹, วัชรพล แสงदानุช¹,
เทวิช รุ่งนภากานต์¹ และ นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์¹

¹คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

²คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: natdhanai.su@rmuti.ac.th, โทรศัพท์: 088-5997829

(รับบทความ: 11 กุมภาพันธ์ 2568; แก้ไขบทความ: 25 กุมภาพันธ์ 2568; ตอรับบทความ: 26 กุมภาพันธ์ 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตยางญี่ปุ่นตั้งป้ายไวเนลโดยใช้หลักการลดความสูญเปล่า ECRS เพื่อลดเวลาและระยะทางในการผลิต รวมถึงกำหนดกระบวนการมาตรฐาน ซึ่งเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตในปัจจุบันด้วยแผนภูมิกระบวนการไหลและแผนภาพไดอะแกรม จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหารากที่แท้จริงของปัญหาโดยการระดมสมองร่วมกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องผ่านแผนภูมิแกงปลา จากนั้นระบุปัจจัยที่ทำให้เกิดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นมาตรฐาน การเปรียบเทียบผลการวิจัยจะพิจารณาถึงจำนวนขั้นตอน การปฏิบัติงาน เวลา และระยะทางที่ลดลง ผลการวิจัยแสดงว่า กระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงมี 39 ขั้นตอน ใช้เวลา 12 ชั่วโมง 4 นาที 29 วินาที และระยะทาง 176 เมตร หลังการปรับปรุง จำนวนขั้นตอนลดลงเหลือ 29 ขั้นตอน ใช้เวลา 8 ชั่วโมง 45 นาที 7 วินาที และระยะทาง 127.5 เมตร นั่นคือ สามารถลดขั้นตอนในการปฏิบัติงานได้ร้อยละ 25.64 เวลาในการผลิตลดลงร้อยละ 27.52 และระยะทางลดลงร้อยละ 27.56 จึงสรุปว่าการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักการลดความสูญเปล่า ECRS สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: การลดความสูญเปล่า การเพิ่มประสิทธิภาพ การปรับปรุงกระบวนการผลิต

การอ้างอิงบทความ: สุภาพร แสนกุล, ณิชฐัตถ์น้อย สุพัฒน์ธนานนท์, เจษฎา แจ่มแสง, วัชรพล แสงदानุช, เทวิช รุ่งนภากานต์ และ นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์, "การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักการลดความสูญเปล่า ECRS: กรณีศึกษา กระบวนการผลิตยางญี่ปุ่นตั้งป้ายไวเนล," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 58-70, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

The Manufacturing Improvement with ECRS: A Case Study of The J Flag Manufacturing Process

Supaporn Sankul¹, Natdhanai Supattananon^{2,*}, Jatesada Jamsaeng¹, Watcharaphon Saengdanuch¹,
Tewich Rungnapakan¹ and Naratip Supattananon¹

¹ Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan, Khonkaen Campus

² Faculty of Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Khonkaen Campus

* Corresponding Author: natdhanai.su@rmuti.ac.th, Tel: 088-5997829

(Received: February 11, 2025; Revised: February 25, 2025; Accepted: February 26, 2025)

Abstract

This research aims to improve the production process of Japanese flagpoles for vinyl signboards by applying the ECRS waste reduction principle to minimize production time and distance while establishing a standardized process. The study begins with an analysis of the current production process using flow process charts and diagrams. Subsequently, data was analyzed to identify the root causes of inefficiencies through brainstorming sessions with stakeholders, utilizing a fishbone diagram. The ECRS principle is then employed to pinpoint waste factors and optimize the production process into a standardized workflow. The research results are evaluated based on reductions in the number of operational steps, time, and distance. The findings reveal that before the improvement, the production process consisted of 39 steps, taking 12 hours, 4 minutes, and 29 seconds, with a total production distance of 176 meters. After the improvement, the number of steps was reduced to 29, the production time decreased to 8 hours, 45 minutes, and 7 seconds, and the distance was shortened to 127.5 meters. This represents a 25.64% reduction in operational steps, a 27.52% decrease in production time, and a 27.56% reduction in production distance. In conclusion, the application of the ECRS waste reduction principle effectively enhances production efficiency and improves the competitiveness of the manufacturing process.

Keywords: Waste reduction, Productivity improvement, Production process improvement

Please cite this article as: S. Sankul, N. Supattananon, J. Jamsaeng, W. Saengdanuch, T. Rungnapakan and N. Supattananon, "The Manufacturing Improvement with ECRS: A Case Study of The J Flag Manufacturing Process," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 1, pp. 58-70, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันต้องเผชิญกับความท้าทายจากการแข่งขันที่รุนแรง ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น และความต้องการของตลาดที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ผู้ประกอบการจึงต้องหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุน ลดเวลาการผลิต และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หนึ่งในแนวทางที่ได้รับความนิยมคือการนำหลักการ ECRS มาใช้เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต [1] โดยมีการศึกษาและประยุกต์ใช้หลักการดังกล่าวในอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและความสามารถในการแข่งขันขององค์กร เช่น ในภาคอุตสาหกรรมยานยนต์มีการนำหลักการ ECRS มาปรับใช้ในการจัดการสายการผลิต ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาการผลิตลงได้อย่างมีนัยสำคัญ และปรับปรุงการจัดการวัสดุให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [2] ในขณะเดียวกันภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ECRS ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการประกอบชิ้นส่วน ลดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า และช่วยเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยเวลาได้มากขึ้น [3] และภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับหลักการจัดสมดุลสายการผลิต ทำให้สามารถลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตและกระจายงานไปยังสถานี่งานอื่นๆ ได้อย่างเหมาะสม [4] รวมถึงสามารถทำให้บางขั้นตอนสามารถทำงานร่วมกันได้ [5] เป็นต้น กลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่ต้องการลดระยะเวลาการผลิต ลดต้นทุน และเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับมาตรฐานสากล นอกจากนี้ ยังมีการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและลดระยะเวลาในการรอคอยเข้ารับบริการ ทั้งใน

ภาคการบริหารสาธารณสุข [6] และภาคการศึกษา [7] ดังนั้น การศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ในกระบวนการผลิต จึงเป็นสิ่งสำคัญที่สามารถช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมสามารถปรับปรุงกระบวนการทำงาน ลดความสูญเปล่าหรือกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนำไปสู่ความสามารถในการแข่งขันที่สูงขึ้นและการพัฒนาอย่างยั่งยืนในอนาคต [8]

กระบวนการผลิตเชิงญี่ปุ่นตั้งป้ายไวเนลในปัจจุบัน มีปัญหาด้านประสิทธิภาพในการผลิต ได้แก่ การใช้เวลาผลิตนานกว่าที่กำหนด การใช้ทรัพยากรที่ไม่มีประสิทธิภาพ และการผลิตที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ส่งผลให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นและเกิดความล่าช้า การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเชิงญี่ปุ่นตั้งป้ายไวเนลโดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) และวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความล่าช้าในกระบวนการผลิตด้วยแผนภาพก้างปลา (Fishbone Diagram) เพื่อนำหลักการ ECRS มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีมาตรฐานและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตเชิงญี่ปุ่นตั้งป้ายไวเนลเพื่อลดความสูญเปล่า ลดเวลาและระยะทางในกระบวนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน ซึ่งจะช่วยให้สามารถแข่งขันในตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทความวิจัย (Research Article)

2. การทบทวนวรรณกรรม

แนวคิดหรือหลักการ ECRS เป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดความสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพ หลักการนี้ได้รับการศึกษาและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตและลดต้นทุน [9] โดย ECRS มีองค์ประกอบสำคัญ 4 ประการ ได้แก่ 1) การกำจัดกิจกรรมที่ไม่จำเป็น (Eliminate) 2) การรวมกิจกรรมที่สามารถทำร่วมกันได้ (Combine) 3) การจัดลำดับใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Rearrange) และ 4) การทำให้กระบวนการง่ายขึ้น (Simplify) [10]

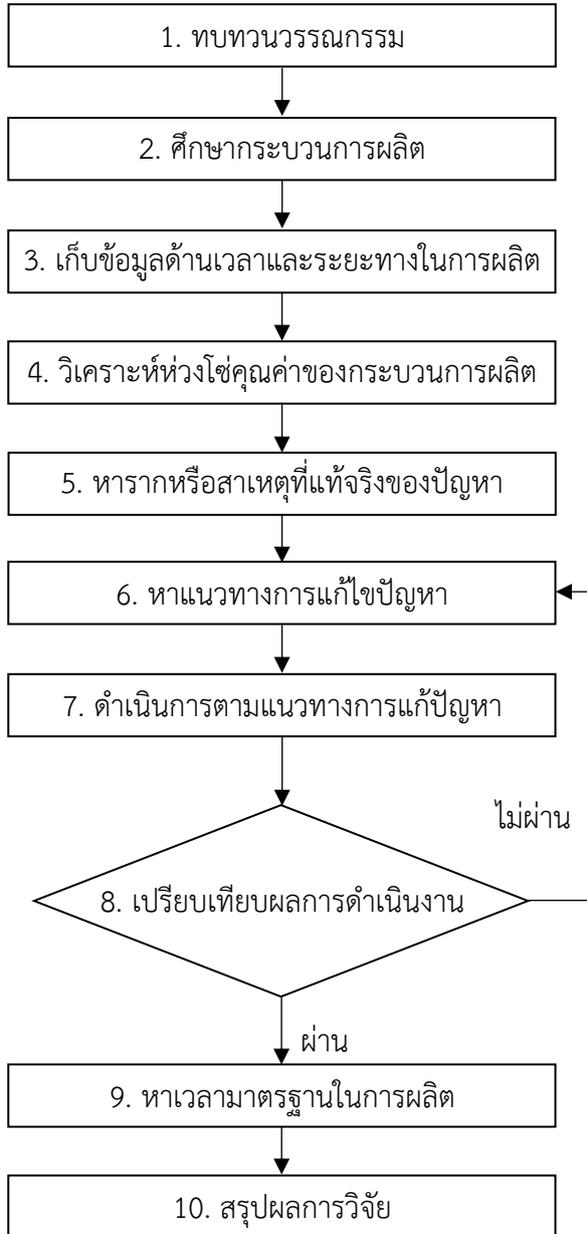
ECRS ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่น ในอุตสาหกรรมยานยนต์ มีการนำหลักการนี้มาใช้ร่วมกับ Lean Manufacturing และ Six Sigma เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และลดเวลาการประกอบชิ้นส่วน [10] ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ECRS ถูกนำมาใช้เพื่อลดของเสียและปรับปรุงการจัดการวัสดุ ส่งผลให้สามารถลดการสูญเสียวัตถุดิบและเพิ่มผลผลิตได้ [3, 11] ในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีการใช้ ECRS ในการจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดความสูญเสียและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของสายการผลิต [4-5, 12] นอกจากนี้ หลักการ ECRS ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้ในภาคบริการ เช่น การบริหารสาธารณสุข โดยใช้เพื่อวิเคราะห์และลดระยะเวลาการรอคอยในระบบบริการสุขภาพ [6, 13] และในอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ มีการนำหลักการ ECRS ไปใช้ในการวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ [14-15]

สำหรับกรณีศึกษาการผลิตขาธงญี่ปุ่นตั้งป้ายไวเนล ซึ่งเป็นกระบวนการที่ยังขาดประสิทธิภาพ มีการใช้เวลาผลิตที่ยาวนานและต้นทุนที่สูง การนำหลักการ ECRS มาใช้สามารถช่วยลดความสูญเสียและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการตัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น ลดการใช้ทรัพยากรที่เกินความจำเป็น และเพิ่มความคล่องตัวของกระบวนการ ซึ่งจะส่งผลให้การผลิตมีคุณภาพสูงขึ้น ลดต้นทุน และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้รวดเร็วขึ้น [16] ดังนั้น การประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ในกระบวนการผลิตขาธงญี่ปุ่นตั้งป้ายไวเนล จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการลดต้นทุน ลดเวลาในการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการผลิต ซึ่งจะช่วยให้ธุรกิจสามารถแข่งขันได้ดีขึ้นในสภาพแวดล้อมที่มีการแข่งขันสูง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องได้ดำเนินการพิจารณาขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้โดยการเรียงลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยเริ่มจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง การศึกษากระบวนการผลิต เก็บข้อมูลด้านเวลาและระยะทางในการผลิต วิเคราะห์ห่วงโซ่คุณค่าของกระบวนการผลิต หารากหรือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา หาแนวทางการแก้ไขปัญหา ดำเนินการตามแนวทางการแก้ปัญหา เปรียบเทียบผลการดำเนินงานหาเวลามาตรฐานในการผลิต ตลอดจนสรุปผลการวิจัย ดังรูปที่ 1

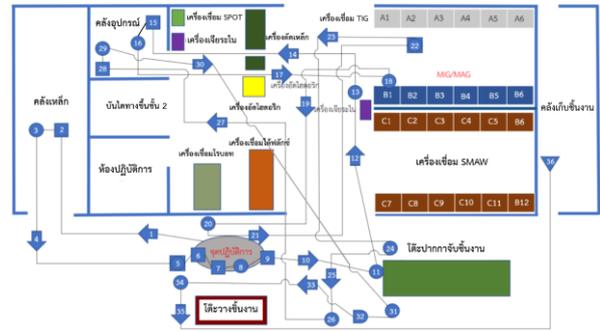
บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษากระบวนการผลิตของรถปั๊มตั้งป้ายไวเนล

การศึกษานี้เป็นการปรับปรุงกระบวนการผลิตของรถปั๊มตั้งป้ายไวเนล โดยเริ่มจากการศึกษาขั้นตอนการผลิตและบันทึกเป็นแผนภาพไดอะแกรม ซึ่งประกอบ 39 ขั้นตอน รูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตในปัจจุบัน

3.2 การเก็บข้อมูลด้านเวลาและระยะทางในการผลิต

ในขั้นตอนนี้ได้จับเวลาทั้ง 39 ขั้นตอน โดยพิจารณาว่าขั้นตอนที่ทำงานมากกว่า 2 นาที จะจับเวลา 5 รอบ ส่วนขั้นตอนที่ทำงานน้อยกว่า 2 นาที จะจับเวลา 10 รอบ [17] เพื่อหาเวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นตอน พบว่า การผลิตของรถปั๊มตั้งป้ายไวเนลในปัจจุบันใช้เป็นเวลาทั้งสิ้นเฉลี่ย 43,469.19 วินาที และระยะทางทั้งหมด 176 เมตร ซึ่งสามารถยกตัวอย่างใบบันทึกเวลาได้ ดังรูปที่ 3

ใบบันทึกเวลา (TIME STUDY OBSERVATION SHEET)											
ชื่อผลิตภัณฑ์: รถปั๊มตั้งป้ายไวเนล	กรรพการ: ผลิตของรถปั๊มตั้งป้ายไวเนล ขนาดสูง 1,758 มม. กว้าง 600 มม.										
แผนก: เข็มประกอบ	วิธีการ: <input checked="" type="checkbox"/> ปัจจุบัน <input type="checkbox"/> ปรึษา	วันที่: 30 มกราคม 2566									
	ผู้ปฏิบัติงาน: นายสมชาย สันติวง										
	เพศ: <input checked="" type="checkbox"/> ชาย <input type="checkbox"/> หญิง										
	ผู้บันทึก: นายชญา แซ่มะ										
ขั้นตอน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย (AVG.)
9. นำชุดท่อเชื่อมไปเชื่อม	45.28	46.12	45.45	43.84	44.23	44.29	43.86	44.04	43.33	45.13	44.55
10. นำชุดที่นำท่อเชื่อมไปเชื่อม	5.56	6.42	6.23	6.61	6.13	6.25	5.87	6.52	5.91	6.12	6.16
11. นำชุดท่อเชื่อมไปเชื่อม	446.61	445.97	445.85	445.73	446.46						446.12
12. นำชุดที่นำท่อเชื่อมไปเชื่อม	26.36	26.14	25.43	26.24	25.59	25.74	26.18	25.69	27.11	27.08	26.15
13. วางชุดท่อเชื่อมให้ตรง	6.56	6.51	7.13	6.84	6.61	7.03	6.57	7.11	6.89	7.16	6.84
14. นำชุดท่อเชื่อมไปเชื่อม	10.35	10.41	11.13	11.08	10.42	10.81	11.02	11.19	10.15	11.21	10.77
15. นำชุดท่อเชื่อมไปเชื่อม	15.09	13.95	15.12	14.61	14.17	15.15	13.87	13.57	15.18	15.16	14.58
16. นำชุดท่อเชื่อมไปเชื่อม	4.49	5.26	5.14	5.06	5.08	4.45	4.61	4.68	5.24	4.85	4.88
17. นำชุดท่อเชื่อมไปเชื่อม	10.13	11.14	10.13	10.15	11.04	10.19	11.16	10.25	11.24	10.61	10.60
18. เชื่อมชุดท่อเชื่อม	51.11	49.69	50.47	49.46	50.18	49.47	50.45	50.58	49.41	50.66	50.14
19. นำชุดท่อเชื่อมไปเชื่อม	19.98	20.21	20.13	20.24	19.23	20.29	19.21	20.41	20.09	20.05	19.98
20. ทิ้งเหล็กไว้บนโต๊ะ	10.12	9.12	10.16	10.19	9.14	10.13	10.51	9.91	10.41	9.82	9.95

รูปที่ 3 ใบบันทึกเวลา

บทความวิจัย (Research Article)

3.3 การวิเคราะห์ห่วงโซ่คุณค่าของกระบวนการผลิต

สำหรับในขั้นตอนนี้ได้ดำเนินการพิจารณาขั้นตอนในการผลิตทั้ง 39 ขั้นตอน โดยบันทึกในแผนภูมิกระบวนการไหล และวิเคราะห์คุณค่าของแต่ละขั้นตอน ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างได้ ดังรูปที่ 4

แผนภูมิกระบวนการไหล (FLOW PROCESS CHART)									
แผนภูมิหมายเลข 001 แผ่นที่ 1/3			สรุป						
แผนภูมิติดตาม	<input type="checkbox"/> ผลิตภัณฑ์/วัสดุ	<input checked="" type="checkbox"/> คน/พนักงาน	กิจกรรม	ปัจจุบัน					
รายละเอียดสิ่งที่ติดตาม	ช่างญี่ปุ่น ตั้งป้ายไวโอล ขนาดสูง 1,780 มม. กว้าง 600 มม.		<input type="radio"/> การปฏิบัติงาน	14					
ชื่อกระบวนการ	ช่างญี่ปุ่น ตั้งป้ายไวโอล		<input type="radio"/> การเคลื่อนที่/ย้าย	14					
ชื่อแผนก	เชื่อมประกอบ		<input type="radio"/> การรอคอย	1					
ชื่อผู้ปฏิบัติงาน	นายเสกสรร สันโตะ		<input type="radio"/> การตรวจสอบ	9					
กระบวนการ	<input checked="" type="checkbox"/> ปัจจุบัน	<input type="checkbox"/> ปรับปรุง	<input type="radio"/> การจัดเก็บ	1					
ชื่อผู้บันทึกนายเจษฎา แจ่มแสง			เวลารวม (วินาที)	30,124.26					
			ระยะทางรวม (เมตร)	176.00					
			วันที่บันทึก	30 มกราคม 2566					
คำอธิบาย/ ขั้นตอน	จำนวน (หน่วย)	ระยะ (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
				○	⇨	□	▽	▽	
1.เดินจากจุดเตรียมงานไปติดตั้งเหล็ก		11.00	12.00	○	⇨	□	▽		NNVA
2.มอของเหล็กกล่อง 3.0*3.0 มม. เหล็กกลมไดมิตอร์ 2.0 มม. และไดมิตอร์ 3.0 มม.			10.06	○	⇨	□	▽		NNVA
3.หยิบเหล็กทั้ง 3 ขนาด			31.17	●	⇨	□	▽		NNVA
4.นำเหล็ก 3 ขนาดไปจุดติดตั้งเหล็ก		11.00	48.98	○	⇨	□	▽		เดินถือเหล็ก, NVA
5.วัดขนาดและตัดเหล็กตามแบบงาน			1,104.70	●	⇨	□	▽		นำเหล็กยึดกับเครื่องตัดแล้ววัด, NVA
6.วัดมุม 45 องศาเหล็กกล่องทั้งหมด ตามแบบงาน			144.03	○	⇨	□	▽		ทั้งสองฝั่งของเหล็กเพื่อเชื่อมขอขึ้นให้ได้ฉาก, VA
7.วัดมุม 45 องศาเหล็กกลม ไดมิตอร์ 2.0 ยาว 600 มม. 1 ชิ้น และไดมิตอร์ 3.0 ยาว 1,750 มม.			42.36	○	⇨	□	▽		ฝั่งไม่ฝั่งหนึ่งของเหล็กกลมทั้ง 2 ขนาด, VA
8.ตัดมุม			224.28	●	⇨	□	▽		VA
9.มาร์คจุดเจาะรูเหล็กกลม ไดมิตอร์ 3.0 ยาว 350 มม. 2 รู และยาว 60 มม. 1 รู			44.55	○	⇨	□	▽		VA
10.นำเหล็กที่มาร์คจุดเจาะรูไปจุดเจาะ		5.00	6.16	○	⇨	□	▽		NVA

รูปที่ 4 แผนภูมิกระบวนการไหลและการวิเคราะห์คุณค่าของแต่ละขั้นตอน

จากการวิเคราะห์คุณค่าของแต่ละขั้นตอน พบว่ามีขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมการปฏิบัติงาน (Operation) 14 ขั้นตอน แบ่งเป็นกิจกรรมที่สร้างมูลค่าเพิ่ม (Value Added Activities; VA) 5 ขั้นตอน กิจกรรมที่ไม่สร้าง

มูลค่าเพิ่ม (Non Value Added Activities; NVA) 5 ขั้นตอน และกิจกรรมที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่มแต่จำเป็น (Necessary but Non Value Added Activities; NNVA) 4 ขั้นตอน ส่วนกิจกรรมการเคลื่อนที่ (Transportation) มีทั้งหมด 14 ขั้นตอน เป็นขั้นตอนที่เป็น NVA 12 ขั้นตอน และ NNVA 2 ขั้นตอน กิจกรรมการรอคอย (Delay) มีทั้งหมด 1 ขั้นตอน ซึ่งเป็น NNVA กิจกรรมการตรวจสอบ (Inspection) มีทั้งหมด 9 ขั้นตอน แบ่งเป็น VA 6 ขั้นตอน NVA 1 ขั้นตอน และ NNVA 2 ขั้นตอน และสุดท้ายกิจกรรมการจัดเก็บ (Storage) มี 1 ขั้นตอน เป็น VA ซึ่งจะนำผลการวิเคราะห์ทั้งหมดนี้ไปการหารากหรือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาต่อไป

3.4 การหารากหรือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

จากข้อที่ 3.3 พบว่า กระบวนการในการผลิตช่างญี่ปุ่นตั้งป้ายไวโอลมีความล่าช้า ซึ่งก่อให้เกิดการผลิตที่ไม่ทันตามความต้องการ ดังนั้น จึงพิจารณากำหนดให้การผลิตที่ล่าช้าเป็นปัญหาหลักของการศึกษา และระดมสมองร่วมกับผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสีย ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากรูปที่ 5 พบว่า ปัญหาหลักคือการผลิตที่มีความล่าช้า เกิดจากขั้นตอนในการดำเนินงานไม่เป็น

บทความวิจัย (Research Article)

มาตรฐาน และยังมีขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแฝงอยู่ ดังนั้น จึงประชุมระดมสมองร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อหาแนวทางการแก้ไขต่อไป

3.5 การหาแนวทางการแก้ไขปัญหา

การประยุกต์ใช้หลักการ ECRS เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญห พบว่า มีกิจกรรมที่เกิดความสูญเปล่าจากการทำงานที่ซ้ำซ้อนและไม่ก่อให้เกิดมูลค่า ซึ่งเป็นกิจกรรมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ และการปฏิบัติงาน จึงตัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นด้วย E-Eliminate สำหรับกิจกรรมการเคลื่อนที่ทั้งหมด 9 ขั้นตอน จากนั้นรวมขั้นตอนเข้าด้วยกันโดยใช้ C-Combine ทั้งหมด 4 ขั้นตอน ต่อมาทำการจัดเรียงลำดับงานใหม่ด้วย R-Rearrange ทั้งหมด 6 ขั้นตอน สุดท้ายทำให้ขั้นตอนการทำงานง่ายขึ้นด้วย S-Simplify 2 ขั้นตอน ซึ่งตัวอย่างแนวทางการแก้ไขปัญหาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยหลักการ ECRS

ขั้นตอนที่แก้ไข	ปัญหาที่เกิดขึ้น	วิธีการทำงานก่อนการปรับปรุง	หลัก ECRS	วิธีการปรับปรุง
5. วัดขนาดและตัดเหล็กตามแบบงาน	เกิดความล่าช้าเนื่องจากใช้เวลาในการวัดขนาดและตัดเหล็กตามแบบงาน เพราะปัจจุบันมีการสั่งเหล็กในขนาดตามประสบการณ์	เดินตัวเปล่าไปคลังเหล็ก นำเหล็กไปยึดกับเครื่องตัดแล้วทำการวัดและตัด	E	สั่งเหล็กตามขนาดของแบบงาน
9.มาร์คจุดเจาะรูเหล็กกลมโตมิติเตอร์ 3.0 ยาว 350 มม.และยาว 60 มม.ตามแบบงาน	เกิดความสูญเปล่าในการนำไปเชื่อมต้องประกอบ และหมุนให้ตรงรู	มาร์คจุดเจาะรูแล้วนำไปเจาะรู	R	ย้ายขั้นตอนการมาร์คจุดเจาะรูไปหลังการเชื่อมประกอบเสร็จ
10.นำเหล็กที่มาร์คจุดเจาะรูไปจุดเจาะ	เกิดความล่าช้าเพราะต้องเดินไปยังจุดเจาะ	เดินถือเหล็กจากจุดตัดเหล็กไปจุดเจาะ	E	ไม่ต้องมีการเดินหรือเคลื่อนที่เนื่องจากมีการรวมจุดเจาะกับจุดเชื่อมเป็นจุดเดียวกัน
12.นำเหล็กที่เจาะรูแล้วไปจุดเชื่อม	เกิดความล่าช้าและต้องเดินกลับไปกลับมา	เดินถือเหล็กจากจุดเจาะไปจุดเชื่อม	E	สั่งเหล็กตามขนาดของแบบงาน
13.วางเหล็กที่เจาะรูไว้จุดเชื่อม	เกิดความสูญเปล่าเนื่องจากไม่จำเป็นในกระบวนการผลิต	วางเหล็กไว้จุดเชื่อม	E	ย้ายขั้นตอนการมาร์คจุดเจาะรูไปหลังการเชื่อมประกอบเสร็จ

3.6 ดำเนินการตามแนวทางการแก้ปัญหา

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามหลัก ECRS พบว่า มีขั้นตอนที่เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต จึงดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบขั้นตอนการปรับปรุง

ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ลำดับขั้นตอนที่ 22 ขั้นตอนการใช้มือในการวัดและยึดให้ได้ฉาก 	ลำดับขั้นตอนที่ 9 ขั้นตอนการทำมุมฉากโดยทำจิ๊กฟิกซ์เจอร์ 
ลำดับขั้นตอนที่ 11 ใช้ดอกสว่านเจาะนำศูนย์ขนาด M6 	ลำดับขั้นตอนที่ 11 ใช้สกัดดอกนำศูนย์ 
ลำดับขั้นตอนที่ 9 มาร์คจุดเจาะรูก่อนนำไปเชื่อม 	ลำดับขั้นตอนที่ 10 มาร์คจุดเจาะรูหลังเชื่อมเสร็จ 

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบขั้นตอนการปรับปรุง (ต่อ)

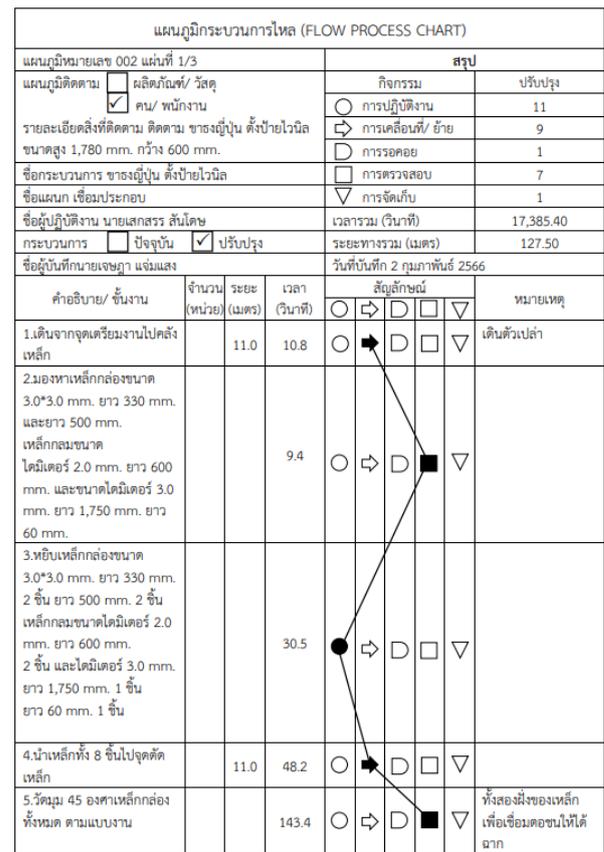
ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
<p>ลำดับขั้นตอนที่ 23 นำชิ้นงานจากจุดเชื่อมมา จุดเจียรไน</p> 	<p>ลำดับขั้นตอนที่ 17 นำจุดเจียรมารวมกับ จุดเชื่อม</p> 
<p>ลำดับขั้นตอนที่ 31 ใช้แปรงทาสี</p> 	<p>ลำดับขั้นตอนที่ 23 ใช้เครื่องพ่นสี</p> 

จากตารางที่ 2 พบว่า ขั้นตอนการวัดและยึดให้ได้ฉากของชิ้นงานมีความคลาดเคลื่อน จึงเปลี่ยนเป็นการทำมุมด้วยทำจิ๊กฟิกซ์เจอร์ ขั้นตอนที่ใช้ดอกสว่านเจาะนำศูนย์ก่อนใช้ดอกสว่านขนาด M6 ใช้เวลานาน จึงเปลี่ยนเป็นการใช้สกัดดอกนำศูนย์ก่อนเจาะในขั้นตอนมาร์คจุดเจาะรูก่อนนำไปเชื่อม เนื่องจากต้องหมุนรูให้ตรงกับชิ้นงาน จึงเปลี่ยนเป็นมาร์คจุดเจาะรูหลังเชื่อมเสร็จ ในขั้นตอนนำชิ้นงานจากจุดเชื่อมมาจุดเจียรทำให้ต้องเคลื่อนที่ช้าซ้อน จึงเปลี่ยนเป็นการรวมจุดปฏิบัติงานเป็นจุดเดียว ได้แก่ จุดเจาะ จุดเจียร และจุดเชื่อม ในขั้นตอนการใช้แปรงทาสีด้วยมือ ใช้เวลาในการทาสีและรอให้สีแห้งนาน จึงเปลี่ยนเป็นการใช้เครื่องพ่นสี ทำให้ใช้เวลาในการปฏิบัติงานเร็วขึ้น

และสีแห้งเร็วกว่าการใช้แปรงทาสีด้วยมือ จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลหลังการปรับปรุง

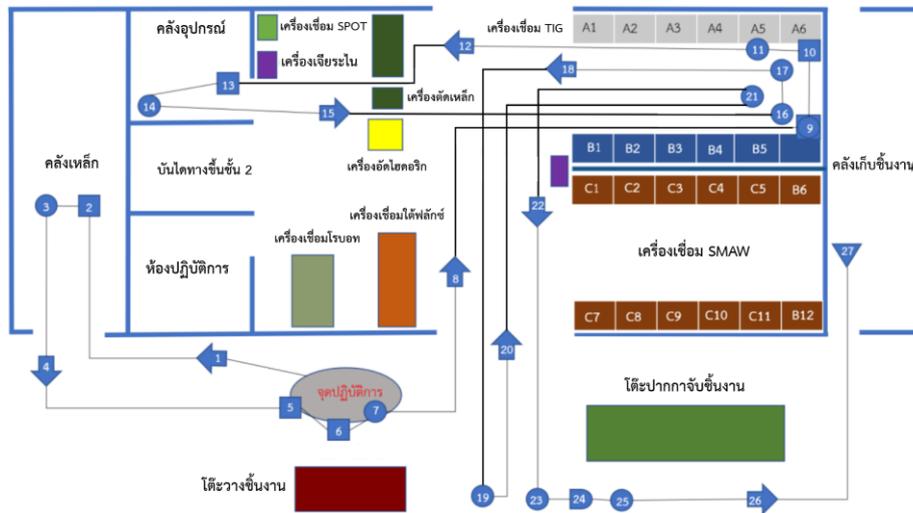
4. ผลการวิจัย

หลังจากดำเนินการแก้ไขปัญหारेียบร้อยแล้ว จึงได้เก็บรวบรวมข้อมูลด้านเวลาและระยะทางในการดำเนินงาน โดยบันทึกในรูปของแผนภูมิกระบวนการไหลและบันทึกเป็นแผนภาพไดอะแกรม ดังรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 แผนภูมิกระบวนการไหลหลังการปรับปรุง

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 7 กระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 6 และ 7 พบว่า ขั้นตอนการผลิตก่อนปรับปรุงมีทั้งหมด 39 ขั้นตอน ลดลงเหลือ 29 ขั้นตอน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังโดยพิจารณาการเปรียบเทียบ 3 รูปแบบ ได้แก่ เปรียบเทียบกระบวนการดำเนินงาน เปรียบเทียบเวลา และระยะทางที่ใช้ในกระบวนการ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

กิจกรรม	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง
ปฏิบัติงาน	14	11	3
เคลื่อนที่	14	9	5
รอคอย	1	1	-
ตรวจสอบ	9	7	2
จัดเก็บ	1	1	-
เวลารวม (วินาที)	30,124.26	17,385.40	12,738.86
ระยะทางรวม (เมตร)	176.00	127.50	48.50

หลังจากได้ขั้นตอนการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานแล้ว ได้ดำเนินการหาเวลามาตรฐาน โดยเริ่มจากการจัดเวลาในขั้นตอนที่มีการปรับปรุงใหม่ทั้งหมด จากนั้นคำนวณหาจำนวนรอบในการจับเวลา พบว่าเวลาตัวแทนของทั้ง 29 ขั้นตอน สามารถใช้เป็นตัวแทนของเวลาได้ ยกตัวอย่างเช่น ในขั้นตอนที่ 5 คือ การวัดมุม 45 องศาเหล็กกล่องทั้งหมดตามแบบงาน ใช้เวลามากกว่า 2 นาที จึงจับเวลา 5 รอบ ดังนี้ 143.55, 145.21, 145.14, 142.83 และ 143.46 วินาที ตามลำดับ จากนั้นหาค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยได้เท่ากับ 143.402 วินาที และ 2.19 วินาที ตามลำดับ นั่นคือ ดังนี้ ค่า R/\bar{x} เท่ากับ 0.01527 นำไปเทียบกับตาราง Maytag [17] จากนั้นดำเนินการกับทั้ง 29 ขั้นตอน พบว่า ทั้ง 29 ขั้นตอน มีจำนวนรอบที่เหมาะสมหรือเพียงพอที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถใช้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวในขั้นตอนต่อไป

บทความวิจัย (Research Article)

การประเมินอัตราความเร็วในการทำงาน (Rating Factor; RF) ถูกประเมินโดยใช้วิธีการประเมินตามวิธีของ (Westinghouse System of Rating) ซึ่งอาศัยองค์ประกอบ 4 ด้าน และประเมินคะแนนในกรณีศึกษา [17] พบว่า พนักงานที่ปฏิบัติงานมีทักษะในการปฏิบัติงานอยู่ระหว่างระดับดีมากกับดีเยี่ยม หรือ A2 นั่นคือ +0.13 มีความพยายามในการทำงานอยู่ระหว่างระดับดีมากกับดีเยี่ยม หรือ A2 นั่นคือ +0.12 มีความสม่ำเสมอในระดับดีมาก นั่นคือ +0.03 และมีสภาพการทำงานในระดับดี นั่นคือ +0.02 จากนั้นนำค่าที่ได้จากการประเมินเป็นค่าบวกไปรวมกับค่าคงที่เท่ากับ 1 จะได้ประสิทธิภาพในการทำงานเท่ากับ 1.30 หรือร้อยละ 130 เมื่อพิจารณาค่าเวลาเผื่อ (Allowance Time; A) เท่ากับ ร้อยละ 11 กล่าวคือ Personal Allowance ร้อยละ 5 ตามอุตสาหกรรมทั่วไป Basic Fatigue Allowance ร้อยละ 4 ตามองค์การแรงงานระหว่างประเทศ และ Delay Allowance ร้อยละ 2 เนื่องจากกระบวนการไม่มีความซับซ้อน จะสามารถยกตัวอย่างการหาเวลามาตรฐาน (Std.) ได้ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เวลามาตรฐานของกระบวนการผลิตฯ

ขั้นตอนที่	ST	NT	A	Std.
1	10.8	14.0	1.5	15.6
2	9.4	12.2	1.3	13.6
3	30.5	39.7	4.4	44.0
4	48.2	62.7	6.9	69.6
5	143.4	186.4	20.5	206.9
6	41.9	54.5	6.0	60.5
7	224.0	291.2	32.0	323.2

สุภาพร แสนกุล และคณะ, การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักการลดความสูญเปล่า ECRS: กรณีศึกษา กระบวนการผลิตฯ โรงปูนตั้งป่าไผ่

ตารางที่ 5 เวลามาตรฐานของกระบวนการผลิตฯ (ต่อ)

ขั้นตอนที่	ST	NT	A	Std.
8	86.4	112.3	12.4	124.7
9	994.4	1292.7	142.2	1434.9
10	43.4	56.4	6.2	62.6
...				
29	3.4	4.4	0.5	4.9
รวม	17,385.4	22,784.16	2,545	31,507.2

จากตารางที่ 5 พบว่า เวลาในการผลิตฯของโรงปูนตั้งป่าไผ่หลังปรับปรุงมีมาตรฐาน คือ 31,507.2 วินาที หรือประมาณ 8 ชั่วโมง 7 นาที

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษากระบวนการผลิตฯของโรงปูนตั้งป่าไผ่ พบว่า ก่อนการปรับปรุงมีกระบวนการย่อยทั้งหมด 39 ขั้นตอน แบ่งออกเป็นกิจกรรมการปฏิบัติงาน 14 ขั้นตอน การเคลื่อนที่ 14 ขั้นตอน การรอคอย 1 ขั้นตอน การตรวจสอบ 9 ขั้นตอน และการจัดเก็บ 1 ขั้นตอน ซึ่งใช้เวลารวมทั้งสิ้น 43,469.19 วินาที และใช้ระยะทางรวม 176 เมตร ต่อการผลิตฯของโรงปูนตั้งป่าไผ่ 1 หน่วย ดำเนินการปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS ทำให้กระบวนการผลิตลดลงเหลือ 29 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 25.64 ดังนั้น จึงทำให้สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตลงได้ 11,961.99 วินาที หรือคิดเป็นร้อยละ 27.52 นั่นคือ เวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตฯ ที่เป็นมาตรฐานเท่ากับ 31,507.20 วินาที หรือ 8 ชั่วโมง 45 นาที นอกจากนี้ สามารถลดระยะทางเหลือ 127.5 เมตร นั่นคือ ระยะทางลดลง 48.5 เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 27.56

บทความวิจัย (Research Article)

6. อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษากระบวนการผลิตทางอิเล็กทรอนิกส์ ปูนตั้งป้ายไวเนลก่อนการปรับปรุง พบว่า มี 39 ขั้นตอน ใช้เวลา 43,469.19 วินาที และระยะทาง 176 เมตร ส่งผลให้เกิดความสูญเปล่า การนำหลักการ ECRS มาใช้ช่วยลดจำนวนขั้นตอนลงเหลือ 29 ขั้นตอน ลดเวลาในการผลิตลง 11,961.99 วินาที (27.52%) และลดระยะทางการทำงานลง 48.5 เมตร (27.56%) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น [9] ที่ใช้ Lean Manufacturing และ ECRS เพื่อลดความสูญเปล่าในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ และ [10] ที่ใช้ ECRS ร่วมกับ MFCA ในโรงงานชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดของเสียและต้นทุน กล่าวคือ การลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นและการรวมขั้นตอน เช่น จุดเชื่อม จุดเจียร และจุดเจาะ ทำให้ลดเวลาการเคลื่อนที่และความซับซ้อนของงาน สอดคล้องกับการศึกษาของ [15] ที่แสดงว่า ECRS ช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของกระบวนการผลิต นอกจากนี้ การจัดเรียงลำดับงานใหม่และการทำให้ขั้นตอนง่ายขึ้น เช่น เปลี่ยนจากแปรงทาสีเป็นกาพ่นสี ทำให้กระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้น การเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงว่ากิจกรรมที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่ม (NVA) และกิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่ม (NNVA) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต [16] จึงสามารถยืนยันว่าการใช้ ECRS สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตและลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นได้

7. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในปัจจุบัน พบว่า มีขั้นตอนในการทำงานที่จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขในลำดับถัดไป ยกตัวอย่างเช่น ขั้นตอนในการรอให้สีแห้ง หลังจากการพ่นสี (หลังปรับปรุง) อาจสามารถใช้อุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ทำให้สีแห้งเร็วขึ้น กล่าวคือ ใช้พัดลมเป่าหรือการพ่นสีในห้องอบสี ซึ่งนอกจากจะทำให้ใช้ระยะเวลาสั้นลงแล้วยังทำให้คุณภาพของสีดีขึ้น นอกจากนี้อาจจะพิจารณาเกี่ยวกับการทำหลังคาสำหรับจุดพ่นสีเพื่อป้องกันฝนรวมด้วย

ในอนาคตควรปรับปรุงกระบวนการเชื่อมให้ใช้ระยะเวลาที่น้อยลง หรือหากปริมาณงานมากขึ้นควรพิจารณาการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ร่วมด้วย จะสามารถช่วยลดเวลาในการปฏิบัติงานและการทำงานที่ซ้ำซ้อนซึ่งมีความหนักหน่วง และยากลำบากได้ อย่างไรก็ตาม สำหรับงานเชื่อมที่มีรูปแบบเดิมซ้ำไปเรื่อย ๆ หุ่นยนต์นั้นมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และความรวดเร็วสูงกว่ามนุษย์ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวอาจทำให้เกิดต้นทุนเพิ่มขึ้น การวิจัยในอนาคตจึงควรพิจารณาถึงความคุ้มค่าหรือจุดคุ้มทุนร่วมด้วย

8. เอกสารอ้างอิง

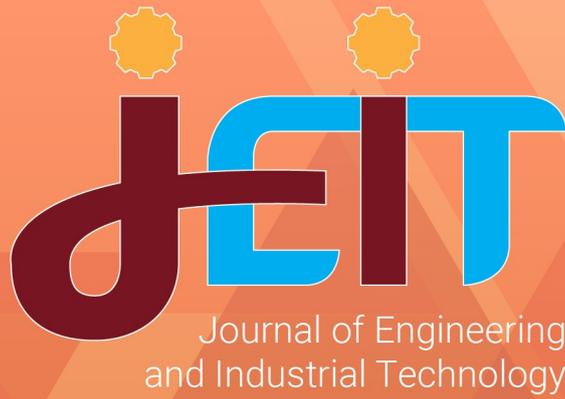
- [1] W. Wu, C. Yang, and X. Li, "Application of extension innovation method in assembly production process optimization," *Procedia Computer Science*, vol. 214, pp. 412-419, 2022.
- [2] R. Selvaraj and V. R. Sathish Kumar, "Productivity improvement in oil free aircend assembly," *Materials Today*:

บทความวิจัย (Research Article)

- Proceedings*, vol. 62, pp. 1065-1071, 2022.
- [3] N. Suranuntchai and P. Chutima, "Practical implementation of lean management techniques and ergonomic consideration to improve manual assembly process during the COVID-19 crisis," *Engineering Journal*, vol. 27, no. 2, pp. 29-43, 2023.
- [4] วิษณุฤทธิ์ งามสะอาด, ปิยะเนตร นาคสีดี และ ณิชกุล อิงประเสริฐ, "การปรับปรุงกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต: กรณีศึกษาบริษัท ABC จำกัด," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 19, ฉบับที่ 3, หน้า 160-176, ก.ย.-ธ.ค. 2566.
- [5] ชลาลัย วงเวียน, อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก และ สุภารัตน์ คำงสันเทียะ, "การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป กรณีศึกษาโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่ง," *วารสารวิชาการวิทยาสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 1, หน้า 1-14, ม.ค.-มิ.ย. 2567.
- [6] J. Ruanggoon, P. Pornpayuhakeit, and P. Opasvitayarux, "Application of lean concepts to improve consumable disbursement process to reduce waiting time in a public hospital in Bangkok," *RMUTSB Academic Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 192-205, 2023.
- [7] R. M. Bârsan and F. M. Codrea, "Lean university: Applying the ECRS method to improve an administrative process," *MATEC Web of Conferences*, vol. 290, pp. 1-6, 2019.
- [8] P. Ketchanchai, K. Tangchaidee, and N. Kongprasert, "Lean warehouse management through value stream mapping: A case study of sugar manufacturing company in Thailand," in *IEEE 8th International Conference on Industrial Engineering and Applications*, Kyoto, Japan, 2021, pp. 192-196.
- [9] B. Suhardi, N. Anisa, P. W. Laksono, and P. Lou, "Minimizing waste using lean manufacturing and ECRS principle in Indonesian furniture industry," *Cogent Engineering*, vol. 6, no. 1, 2019.
- [10] R. Saravanan, M. S. Srinivasa Rao, N. Sunkara, and T. Malyadri, "Six sigma's ECRS technique to down cost and time of manufacturing – An experimental investigation," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2283, no. 1, 2020.
- [11] C. Kasemset, C. Boonmee, and P. Khuntaporn, "Application of MFCA and ECRS in waste reduction: A case study of electronic parts factory," in *Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2016, pp. 1844-1853.

บทความวิจัย (Research Article)

- [12] W. Wattanutchariya and A. Ounjai, "Efficiency improvement of dried longan production line using ECRS principles," in *The 7th International Conference on Logistics and Transport*, Lyon, France, 2015.
- [13] H. Kelendar and M. A. Mohammed, "Lean and the ECRS principle: Developing a framework to minimise waste in healthcare sectors," *International Journal of Public Health and Clinical Sciences*, vol. 7, no. 3, pp. 98-110, 2020.
- [14] P. Gao and J. Q. Wen, "Process optimization for wiring technology of aircraft harness based on ECRS principle," in *21st International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2014*, Atlantis Press, Paris, 2015, pp. 349-353.
- [15] A. K. Nisa, M. Hisjam, and S. A. Helmi, "Improvement of work method with eliminate, combine, rearrange, and simplify (ECRS) concept in a manufacturing company: A case study," *Materials Science and Engineering*, vol. 1096, pp. 1-10, 2020.
- [16] A. F. O. Pertiwi and R. D. Astuti, "Increased line efficiency by improved work methods with the ECRS concept in a washing machine production: A case study," *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, vol. 4, no. 1, pp. 13-29, 2020.
- [17] พรศิริ คำหล้า และคณะ, "การศึกษาเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จด้วยการจับเวลาโดยตรง," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, หน้า 41-51, ก.ค.-ธ.ค. 2564.



วารสารวิศวกรรม และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University

กองบรรณาธิการวารสาร
"วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์"
"Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University"

คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
62/1 ถนนเกษตรสมบูรณ์ ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ 46000

โทร: 088-574-2199 Email: jeit@ksu.ac.th