

วารสารวิศวกรรม และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University

ปีที่ 1 ฉบับที่ 5 (2023)

กันยายน - ตุลาคม 2566

ISSN 2985 0274 (Print)

ISSN 2985 0282 (Online)



กำหนดการเผยแพร่

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

ปีที่ 1 ฉบับที่ 5 (กันยายน - ตุลาคม 2566)

Vol. 1 No. 5 (September – October 2023)

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)
- วิศวกรรมอุตสาหกรรมและวิศวกรรมการผลิต (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 ซึ่งบทความที่ถูกส่งไปยังผู้ประเมินจะเป็นแบบปกปิดรายชื่อทั้งผู้เขียนบทความ และผู้ประเมิน (Double -Blinded Review) เมื่อผู้ประเมินบทความส่งข้อคิดเห็นมายังบรรณาธิการประจำเรื่อง บทความที่ถูกประเมินจะได้รับการตัดสินใจจากกองบรรณาธิการโดยอาศัยความคิดเห็นของผู้ประเมินเสียงข้างมาก ดังนี้ ยอมรับให้ตีพิมพ์โดยไม่มีการแก้ไข (Accept Submission) บทความมีการแก้ไข (Revisions Required) และ ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ (Decline Submission)

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ จิระพันธ์ ห้วยแสน

รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ สุตสนธิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษุทธิ์ จันทะรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์ลิขิต แก้วหานาม

ศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

ดร.วิจิตรา โพธิสาร

อธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

บรรณาธิการ

ดร.สรายุทธ จิตะภาส

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สฤติพงศ์ เสงี่ยมศักดิ์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ดร.สวลี อุดรา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ ปัตติยะ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.ชูพงษ์ ทองคำสมุทร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิปาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา ประเมษฐานุวัฒน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.สกุลดล วรรณปะเข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.สัจจาภจ จอมโนนเขวา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศานาถ แก้ววินิต

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว วัฒนกลาง

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ แสงผ่อง

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศณุ ชัยจิตวิมลกุล

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา กิตติเลิศไพศาล

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุร ดวงอุปมา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ วิชามา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑนา ทองสุพล

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยณัฐ โตอ่อน

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ดร.อัจฉรา ชุมพล

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ดร.วรพจน์ สมมูล

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ดร.ไทยทัศน์ สุดสวนสี

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ทีมจัดการบทความและรูปแบบ

1. ดร.ไทยทัศน์ สุดสวนสี

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

2. ดร.อัจฉรา ชุมพล

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

3. ดร.สวลี อุดรา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

4. นางสาวนภัทรธิดา พรหมดีราช

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ออกแบบปกวารสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพนธ์ เนียมสา

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 จิตะภาส

โทร: 088-574-2199

Email: jeit@ksu.ac.th

ISSN 2985-0274 (Print)

ISSN 2985-0282 (Online)

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ฉบับปฐมฤกษ์ ปีที่ 1 ฉบับที่ 5 เดือนกันยายน – ตุลาคม ปีพุทธศักราช 2566 จัดทำขึ้นตามเป้าหมายและยุทธศาสตร์ของการดำเนินงานตามแนวทางการพัฒนาและขับเคลื่อนของมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ซึ่งวารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ที่มีคุณภาพในด้านวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อส่งเสริมและเป็นแหล่งในการเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความวิชาการที่เป็นองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ทันสมัย สนับสนุนให้คณาจารย์ นักวิชาการ และผู้ทรงคุณวุฒิในด้านวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเสนอผลงานวิชาการ นอกจากนี้ยังเป็นสื่อกลางแลกเปลี่ยนความรู้และแนวคิดทางวิชาการของบุคลากรทั้งภายในและนอกสถาบัน

ในโอกาสนี้ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง รวมทั้งผู้เขียนบทความทุกท่านที่ส่งบทความมาลงตีพิมพ์เผยแพร่และขอขอบพระคุณผู้อ่านทุกท่าน หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านทุกท่านจะได้รับประโยชน์จากผลงานทางวิชาการในวารสารฉบับนี้

ดร.สรายุทธ จิตะภาส

บรรณาธิการ

สารบัญ (Content)

	หน้า
กองบรรณาธิการ	II
บทบรรณาธิการ	IV
บทความวิจัย	
การศึกษาสมบัติทางความร้อนของถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค ธนพัฒน์ ธีระวุฒิ และ ชีวะ ทัศน	1-7
การปรับปรุงการให้บริการร้านค้าสะดวกซื้อด้วยระบบแถวคอย ในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว อริยพงษ์ พลั้วพันธ์ และ นราธิป ภาวะรี	8-14
วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกมสำหรับการประเมินศักยภาพของวัสดุชีวมวล ในการผลิตถ่านอัดแท่ง ประสิทธิ์ ไกรลมสม และ กัมปนาท ไชยเพชร	15-26
การปรับปรุงค่าความเรียบผิวเหล็ก ST37 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยใช้เทคนิคทากูชิ สัมภาษณ์ หาญตั้ง วรรณรพ ชันธิรัตน์ อามิณท์ หล้าวงศ์ วรรณภรณ์ วโรรส และ ไทยทัศน์ สุดสวนสี	27-39

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค

ธนพัฒน์ ธีระวุฒิ¹ และ ชีวะ ทศนา^{1,*}

¹ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: chewa.t@rbru.ac.th

(รับบทความ: 21 กันยายน 2566; แก้ไขบทความ: 14 ตุลาคม 2566; ตอรับบทความ: 25 ตุลาคม 2566)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความร้อน ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งที่ทำจากถ่านไม้มั่งคุดผสมคาร์บอนแบล็คในปริมาณ 20 30 และ 40 กรัม โดยผสมผงคาร์บอนแบล็คลงในถ่านไม้มั่งคุดบดละเอียด ปริมาณ 3.0 กิโลกรัม โดยใช้แป้งมันสำปะหลัง 0.25 กิโลกรัมและน้ำ 2.0 ลิตร เป็นตัวประสาน แล้วอัดแท่งด้วยวิธีอัดเย็น จากนั้นทำการศึกษา ทางความร้อนตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณคาร์บอนแบล็คในถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งส่งผลให้ถ่านอัดแท่งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้ามีค่าลดลง โดยถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งและถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็คมีค่าความร้อน 25,477- 25,699 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) ในขณะที่ถ่านอัดแท่งไม้มั่งคุดผสมคาร์บอนแบล็คปริมาณ มีปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าร้อยละ 9.44 – 6.94และ 9.10 – 3.88 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้ (มผช. 657/2547) ที่กำหนดปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าไว้ไม่เกินร้อยละ 10 และ 8.0 ตามลำดับ ดังนั้นสรุป ได้ว่าการเติมคาร์บอนแบล็คลงในถ่านอัดแท่งไม้มั่งคุดสามารถปรับปรุงทางความร้อนได้ทำให้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่มี ประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างไรก็ตามการเติมคาร์บอนแบล็คในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้ถ่านอัดแท่งมีเนื้อแน่นเกินไปซึ่ง ส่งผลให้ถ่านอัดแท่งแตกหักง่าย ดังนั้น อาจศึกษาปริมาณคาร์บอนแบล็คที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติทางความร้อน ของถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็คให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ: ถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่ง คาร์บอนแบล็ค ค่าความร้อน ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้า

การอ้างอิงบทความ: ธนพัฒน์ ธีระวุฒิ และ ชีวะ ทศนา, "การศึกษาสมบัติทางความร้อนของถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 5, หน้า 1-7, 2566.

A Study on Thermal Properties of Mangosteen Wood Briquette mixed with Carbon Black

Tanapat Tirawoot¹ and Chewa Thassana^{1,*}

¹ Physics Program , Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

* Corresponding Author: chewa.t.@rbru.ac.th

(Received: September 21, 2023; Revised: October 14, 2023; Accepted: October 25, 2023)

Abstract

The objective of this research was to study the calorific value, moisture content, and ash content of briquettes produced from mangosteen charcoal combined with carbon black in quantities of 20, 30, and 40 grams. Carbon black was mixed with 3.0 kilograms of finely ground mangosteen charcoal, using 0.25 kilograms of tapioca starch and 2.0 liters of water as a binder. The briquettes were then compressed using a cold press method. The thermal properties were then studied according to ASTM standards. The results showed that increasing the amount of carbon black in the mangosteen charcoal briquettes resulted in an increase in calorific value, but a decrease in moisture content and ash content. The briquettes with and without carbon black had calorific values of $25,477 \pm 237$ and $25,699 \pm 124$ kJ/kg, respectively. These values were higher than the standard value for community-produced briquettes 238/2547. The briquettes with various amounts of carbon black had moisture content and ash content of $9.44 \pm 0.86\%$, $6.94 \pm 0.31\%$, $9.10 \pm 0.79\%$, and $3.88 \pm 0.23\%$, respectively. These values were lower than the standard values for community-produced charcoal 657/2547, which specify moisture content and ash content of no more than 10% and 8.0%, respectively. In conclusion, the addition of carbon black to mangosteen charcoal briquettes can improve the thermal properties, making them a more efficient fuel source. However, adding too much carbon black can make the briquettes too dense, which can make them brittle. Therefore, further research is needed to determine the optimal amount of carbon black to improve the thermal properties of mangosteen charcoal briquettes.

Keywords: Mangosteen Briquette, Carbon black, Heating value, Moisture and Ash Content

Please cite this article as: T. Tirawoot and C. Thassana, "Study of mixture factors on the compressive strength of the mortar," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 1, no. 5, pp. 1-7, 2023.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

จันทบุรีเป็นแหล่งผลิตผลไม้ที่สำคัญของประเทศไทยมีการเพาะปลูกผลไม้ที่หลากหลาย อาทิ เงาะ สละ ทุเรียน มังคุด ลำไย เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มังคุดมีพื้นที่ปลูกกว่า 129,537 ไร่ และผลผลิตกว่า 112,309 ตัน [1] นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้เพื่อส่งออกสู่ตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศ ดังนั้นจึงทำให้มีเศรษฐกิจเหลือทางการเกษตรที่เกิดจากการตัดแต่งกิ่งผลไม้ เช่น กิ่งทุเรียน กิ่งมังคุด และกิ่งเงาะ ฯลฯ เป็นต้น ภายหลังฤดูเก็บผลผลิตเพื่อเตรียมต้นผลไม้ให้สมบูรณ์พร้อมให้ผลผลิตที่ดีในปีถัดมา รวมถึงของเหลือทิ้งที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปผลไม้ เช่น เปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด [2] เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่น ๆ เช่น กะลามะพร้าวและไม้ไผ่ [3] และขยะเศษใบไม้ [4] มาใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเผาไหม้ โดยผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ อย่างไรก็ตามในการผลิตถ่านอัดแท่งจะต้องมีสถานะที่เหมาะสมคือ ความชื้นของถ่านมีความชื้นมากเกินไป ใอน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อถ่านได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้ถ่านอัดแท่งระเบิดและแตกร่วน แต่ถ้าความชื้นของถ่านมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้ถ่านเกาะกันเป็นแท่งได้ยาก ผิวของถ่านอัดแท่งมีรอยแตกร้าว ทั้งนี้โดยทั่วแล้ว ถ่านอัดแท่งที่ดีจะไม่มีกลิ่น ไม่มีควัน ไม่แตกประทุ ปริมาณเถ้าต่ำ ไม่ฟุ้งกระจายตัวและให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอ

ชีวะ ทศนา (2559) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำถ่านติดไฟสละมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง และศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบความร้อน ปริมาณ ความชื้น ปริมาณเถ้าและระยะเวลาในการติดไฟของ ถ่านไม้อัดแท่ง ถ่านไม้อัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค ถ่าน ก้านติดไฟสละอัดแท่ง ถ่านก้านติดไฟสละอัดแท่งผสม คาร์บอนแบล็ค ผลการศึกษาพบว่าถ่านก้านติดไฟสละผสมคาร์บอนแบล็คมีค่าความร้อนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14,633 กิโลจูลต่อกิโลกรัม โดยมีปริมาณ ความชื้นและปริมาณเถ้าร้อยละ 8.14 และ 5.42

ตามลำดับ นอกจากนี้งานวิจัยยังพบว่าถ่านก้านติดไฟสละอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็คยังมีระยะเวลาในการติดไฟนานกว่าถ่านไม้อัดแท่ง ถ่านไม้อัดแท่งผสม คาร์บอนแบล็คและถ่านก้านติดไฟสละ [5]

เนื่องจากคาร์บอนแบล็คเป็นสารประกอบ คาร์บอนชนิดหนึ่งที่มีสมบัติในการดูดซับความชื้นและความร้อนได้ดี และนำมาผสมกับวัสดุเชื้อเพลิงเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น การเพิ่มค่าความร้อน และลดปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ ดังนั้นคาร์บอนแบล็คจึงอาจช่วยในการเพิ่มค่าความร้อน และลดปริมาณความชื้น และปริมาณเถ้าของถ่านไม้มังคุดอัดแท่งได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาผลของคาร์บอนแบล็คต่อ สมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ทำจากไม้มังคุด โดยจะศึกษาเปรียบเทียบค่าความร้อน ปริมาณ ความชื้นและปริมาณเถ้าของถ่านไม้มังคุดอัดแท่งและ ถ่านไม้มังคุดอัดแท่งผสมอนุภาคคาร์บอนแบล็ค ปริมาณ 20, 30 และ 40 กรัม ตามลำดับ

2. วิธีการวิจัย

2.1 การผลิตถ่านอัดแท่งจากกิ่งมังคุด

1. นำถ่านไม้มังคุดปริมาณ 12 กิโลกรัม มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดและผสมเอนกประสงค์

2. นำถ่านไม้มังคุดที่บดละเอียด 3.0 กิโลกรัม แป้งมันสำปะหลัง 0.25 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 2 และน้ำ 2.0 ลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวด้วยเครื่องบด และผสมเอนกประสงค์ ดังแสดงในรูปที่ 1

3. นำส่วนผสมในข้อ 2 ไปอัดเป็นแท่งหกเหลี่ยม ขนาดของแต่ละด้านยาว 2.5 เซนติเมตร และยาว 11.5 เซนติเมตร และมีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดแท่ง ดังแสดงในรูปที่ 3

4. นำส่วนผสมในข้อ 2 ผสมกับคาร์บอนแบล็ค ปริมาณ 20 30 และ 40 กรัม ตามลำดับ แล้วนำไปอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดแท่ง โดยถ่านอัดแท่งแต่ละ

บทความวิจัย (Research Article)

ก่อนมีค่าความหนาแน่นประมาณ 0.03 กรัมต่อ
ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 1 เครื่องบดและผสมเอนกประสงค์



รูปที่ 2 ถ่านไม้ผุคุดบดและคาร์บอนแบล็ค



รูปที่ 3 เครื่องอัดแท่ง

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์ค่าความร้อน ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งนั้น คณะผู้วิจัยทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและบันทึกในตารางที่ 1

2.2.1 การวิเคราะห์ค่าความร้อน

วิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM 5865 ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (bomb calorimeter) ยี่ห้อ ika รุ่น C2000 ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

1. นำลวด fuse wire ยาว 10 เซนติเมตร ผูกที่ปลายทั้งสองของแท่งเหล็กที่ด้านล่างของฝาบอมบ์ ใส่ตัวอย่างถ่านอัดแท่งปริมาณ 1.0 กรัม ลงในถ้วย แล้วนำไปวางบนช่วงปลายแท่งเหล็กของฝาบอมบ์โดยให้ลวดสัมผัสกับถ่านอัดแท่งตัวอย่าง

2. อัดออกซิเจนในบอมบ์ด้วยการเติมน้ำกลั่นปริมาณ 1.00 มิลลิลิตรลงในบอมบ์แล้วปิดฝาบอมบ์ นำไปอัดออกซิเจนให้มีความดันประมาณ 30 บาร์ ในถังบอมบ์

3. ระบบน้ำเย็นใส่น้ำกลั่นอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียสปริมาณ 2 ลิตรลงในถังบอมบ์แล้วต่อสายไฟที่ใช้ในการจุดระเบิด 2 เส้นเข้ากับตัวบอมบ์ ปิดฝาแล้วเปิดสวิทช์เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิของน้ำในถังบรรจุบอมบ์กับน้ำที่อยู่ในตัวหุ้มเมื่ออุณหภูมิทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน กดปุ่มจุดระเบิดเพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าคงที่

4. การวัดค่าความร้อนด้วยการนำตัวบอมบ์ออกจากถัง แล้วปล่อยก๊าซออกจากบอมบ์อย่างช้า ๆ ล้างฝาบอมบ์และถ้วยที่บรรจุตัวอย่างถ่านอัดแท่งวัดความยาวลวดที่เหลือ แล้วใส่ค่าเข้าเครื่องเพื่อให้เครื่องคำนวณค่าความร้อน

2.2.2 การวิเคราะห์ความชื้น

การวิเคราะห์ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM D3173 มีขั้นตอนวิธีการดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)

1. ชั่งน้ำหนักถ่านตัวอย่างด้วยการนำถ่านตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักก่อนอบและบันทึกผล
2. เปิดเครื่องตู้อบและตั้งอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียสและรอจนกว่าอุณหภูมิในช่องตู้อบจะคงที่
3. อบถ่านตัวอย่างโดยนำถ่านตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักไว้ใส่ในตู้อบและอบจนกว่าน้ำหนักของถ่านตัวอย่างจะลดลงและคงที่โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ จากนั้นใช้เครื่องชั่งชั่งน้ำหนักหลังอบและบันทึกน้ำหนัก
4. คำนวณหาค่าร้อยละปริมาณความชื้น

$$\%M = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ %M คือ ค่าร้อยละปริมาณความชื้น

W_1 คือ น้ำหนักถ่านตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักถ่านตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

วิเคราะห์ค่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM D3174 มีขั้นตอนวิธีการดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักถ่านตัวอย่างโดยนำถ่านตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

2. เผาถ่านตัวอย่างด้วยการนำถ่านตัวอย่างที่ผ่านการเผาจนกลายเป็นเถ้าไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

3. คำนวณหาค่าร้อยละปริมาณเถ้า

$$\%Ash = \frac{W_{SC}}{W} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ %Ash คือ ค่าร้อยละปริมาณเถ้า

W คือ น้ำหนักถ่านตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W_{SC} คือ น้ำหนักถ่านตัวอย่างที่ผ่านการเผา (กรัม)

3. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งและถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค พบว่า มีค่าปริมาณค่าความร้อนอยู่ระหว่าง $25,477 \pm 237$ - $25,699 \pm 124$ กิโลจูลต่อกิโลกรัม ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 9.44 ± 0.86 - 6.94 ± 0.31 และ 9.10 ± 0.79 - 3.88 ± 0.23 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้าของถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค 40 กรัม กับถ่านอัดแท่งที่ทำจากวัสดุต่าง ๆ

ตารางที่ 1 ค่าความร้อน ปริมาณความชื้นและเถ้าของถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค

ปริมาณคาร์บอนแบล็ค (กรัม)	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)	ร้อยละความชื้น	ร้อยละปริมาณเถ้า
0	$25,477 \pm 237$	9.44 ± 0.86	9.10 ± 0.79
20	$25,502 \pm 109$	8.65 ± 0.28	7.22 ± 0.31
30	$25,560 \pm 85$	7.58 ± 0.11	5.76 ± 0.37
40	$25,699 \pm 124$	6.94 ± 0.31	3.88 ± 0.23

4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า ถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็คปริมาณ 40 กรัม มีค่าความร้อน $25,699 \pm 124$ กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าความร้อน

สูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 657/2547) ซึ่งกำหนดค่าความร้อนไว้ไม่น้อยกว่า 25,120 กิโลจูลต่อและค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งชนิดอื่น ๆ ที่มีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 14,633 -

บทความวิจัย (Research Article)

25,681 กิโลจูลต่อกิโลกรัม เนื่องจากคาร์บอนแบล็คเป็นสารประกอบที่มีปริมาณคาร์บอนสูง จึงสามารถให้พลังงานความร้อนได้มาก ดังนั้น ถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็คจึงมีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งและถ่านไม้อัดแท่งที่ทำจากวัสดุอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

ผลการศึกษายังพบว่า ถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค 40 กรัม มีปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าร้อยละ 6.94 ± 0.31 และ 3.88 ± 0.23 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) และถ่านไม้ (มผช. 657/2547) ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนแบล็คเป็นวัสดุที่มีสมบัติในการดูดซับความชื้นได้ดี ดังนั้นจึงช่วยลดปริมาณความชื้นในถ่านอัดแท่งจึงทำให้ถ่านอัดแท่งมีความชื้นต่ำส่งผลให้ถ่านสามารถติดไฟได้เร็วขึ้นและเผาไหม้ได้ดีขึ้น ปริมาณจึงลดลง

เมื่อปริมาณของคาร์บอนแบล็คที่ผสมในถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความร้อนของถ่านไม้มั่งคุดอัดแท่งมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้ามีค่าลดลง เนื่องจากคาร์บอนแบล็คมีองค์ประกอบคาร์บอนสูง ซึ่งคาร์บอนมีสมบัติในการดูดซับความชื้นได้ดีและมีเป็นแหล่งพลังงานหลักในการเผาไหม้จึงทำให้ถ่านอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็คมีค่าความร้อนสูง เผาไหม้ได้นานขึ้นจึงทำให้ปริมาณเถ้าลดลงได้

อย่างไรก็ตาม การเติมคาร์บอนแบล็คในปริมาณมากเกินไปอาจทำให้ถ่านอัดแท่งมีเนื้อแน่นเกินไป ซึ่งส่งผลให้ถ่านอัดแท่งแตกหักง่าย ดังนั้นในอนาคตจึงควรทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนแบล็คที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งให้มีประสิทธิภาพสูง

ตารางที่ 2 ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งที่ทำจากวัสดุต่าง ๆ

ชนิดของถ่านอัดแท่ง	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)	ปริมาณ ความชื้น	ปริมาณเถ้า
ถ่านไม้มั่งคุดผสมคาร์บอนแบล็ค 40 กรัม	$25,699 \pm 124$	6.94 ± 0.31	3.88 ± 0.23
ถ่านก้านติดใบสละอัดแท่งผสมคาร์บอนแบล็ค [5]	14,633	8.14	5.42
เศษใบไม้อัดแท่ง [4]	16,645	4.24	7.47
ถ่านอัดแท่งไม้ไผ่ [3]	24,069	6.07	10.42
ถ่านอัดแท่งเปลือกมังคุด [2]	25,681	-	6.2
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547)	$\geq 20,934$	≤ 8	-
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้ (มผช. 657/2547)	$\geq 25,120$	≤ 10	≤ 8

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ 2566

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, "สถิติการเกษตรของประเทศไทย," กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2561.
- [2] ธเนศ ไชยชนะ, จอมภพ แววศักดิ์, จตุพร แก้วอ่อน, และ อุษา อันทอง รุ่งโรจน์, "สมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของถ่านเปลือกมังคุด," วารสาร

บทความวิจัย (Research Article)

มหาวิทยาลัยทักษิณ, ปีที่ 17, ฉบับที่ 3, หน้า 29-36, 2557.

- [3] กานต์ วิรุณพันธ์, ธนารักษ์ สายเปลี่ยน, และ ภาณุภูมิ ใจชมพู, "การผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1, หน้า 1-15, 2560.
- [4] วชิราภรณ์ ยุบลเขต และ ดาริวรรณ เศรษฐีธรรม, "เปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษขยะใบไม้ที่ได้จากการอัดด้วยเครื่องอัดและอัดด้วยมือ," *วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. (ฉบับบัณฑิตศึกษา), ปีที่ 17, ฉบับที่ 4, หน้า 85-96, 2560.
- [5] C. Thassana and W. Nuleg, "Effect of carbon black on thermal properties of charcoal and salacca leafstalk briquettes," in *AIP Conference Proceedings 1868*, 2017, pp. 060002-1-060002-5.

การปรับปรุงการให้บริการร้านค้าสะดวกซื้อด้วยระบบแถวคอยในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว

อริยพงษ์ พลัวพันธ์¹ และ นราธิป ภาวะรี^{1*}

¹ สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: narathip.pawaree@gmail.com

(รับบทความ: 21 กันยายน 2566; แก้ไขบทความ: 17 ตุลาคม 2566; ตอรับบทความ: 25 ตุลาคม 2566)

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้การปรับปรุงการให้บริการลูกค้าที่มาใช้บริการร้านค้าสะดวกภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว โดยมีวัตถุประสงค์ คือ การวิเคราะห์จำนวนจุดชำระเงินที่เหมาะสมของร้านค้า และปรับปรุงการประสิทธิภาพในเรื่องการให้บริการและความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งมีผลการดำเนินการดังนี้ คือ 1) การวิเคราะห์ระบบแถวคอยเพื่อความเหมาะสมของจำนวนช่องบริการ พบว่าร้านค้าสะดวกซื้อ หอพักชายและหอพักหญิง เสนอแนะให้เพิ่มพนักงานช่วงเวลา 11.30 น. – 13.00 น. เพราะเป็นช่วงเวลาที่ลูกค้าเข้ามาใช้บริการมากที่สุด และหอพักหญิง เสนอแนะให้เพิ่มพนักงานและช่องบริการ 1 ช่อง สามารถลดระยะเวลาเฉลี่ย ร้อยละ 23 และ 50 ตามลำดับ เพื่อเหมาะสมต่อความพึงพอใจของลูกค้า 2) การศึกษาความพึงพอใจของลูกค้า 3 ด้าน พบว่าในด้านบริหารจัดการภายในร้านค้าค่าความพึงพอใจระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.67 ด้านการให้บริการของพนักงานมีค่าความพึงพอใจระดับมากที่สุด 4.37 และด้านสถานที่ ค่าความพึงพอใจระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.46

คำสำคัญ: ร้านค้าสะดวกซื้อ ระบบแถวคอย ความพึงพอใจ

การอ้างอิงบทความ: อริยพงษ์ พลัวพันธ์ และ นราธิป ภาวะรี, "การปรับปรุงการให้บริการร้านค้าสะดวกซื้อด้วยระบบแถวคอยในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 5, หน้า 8-14, 2566.

บทความวิจัย (Research Article)

The Improving Convenience Store Customer Services with a Queuing system in Udon Thani Rajabhat University Sam Phrao Campus

Ariyapong Phuapant¹, Narathip Pawaree^{1,*}

¹ Department of Industrial Management, Faculty of Technology, Udonthani Rajabhat University

* Narathip pawaree: narathip.pawaree@gmail.com

(Received: September 21, 2023; Revised: October 17, 2023; Accepted: October 25, 2023)

Abstract

In this research improved customers service convenience store in Udonthani Rajabhat University Samprao campus. The objective is to analyze the appropriate channel of payment in stores and improve efficiency in service and customer satisfaction are: 1) The analysis of queuing system for suitability. Find a convenience store Dormitories male and female suggestions to increase the staff at 11.30-13.00 am. It was time to get a customer service possible and Dormitories female recommended to increase one channel service and convenience stores can reduce the average time by 23 percent and 50 percent respectively, suitable for customers satisfaction. 2) The research is study in customer satisfaction by focus on manage of convenience shop averaging 4.67 with the highest satisfaction. The serving staff's customer satisfaction averages 4.37, which is high, and the convenience shop has a great, suitable average of 4.46.

Keywords: Convenience Store, Queuing System, Satisfaction

Please cite this article as: A. Phuapant and N. Pawaree, "The Improving Convenience Store Customer Services with a Queuing system in Udon Thani Rajabhat University Sam Phrao Campus," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 1, no. 5, pp. 8-14, 2023.

1. บทนำ

ปัจจุบันร้านค้าสะดวกซื้อเป็นธุรกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของไทย ปัจจุบันธุรกิจค้าปลีกจะสะท้อนถึงกิจกรรมทางเศรษฐกิจของคนในประเทศ ถ้าหากเศรษฐกิจดีพฤติกรรมของผู้บริโภคจะมีการใช้จ่ายใช้สอยซื้อสินค้าค่อนข้างมาก ในทางกลับกันถ้าเศรษฐกิจไม่ดีพฤติกรรมของผู้บริโภคจะมีการใช้จ่ายใช้สอยเลือกซื้อสินค้าน้อยตามมา พบว่าภาพรวมธุรกิจค้าปลีกมีมูลค่ารวมถึง 3 ล้านล้านบาท [1] โดยเฉพาะในจังหวัดอุดรธานีมีทำเลและที่ตั้งที่สามารถเดินทางสู่ประเทศลาวได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีนักท่องเที่ยวและประชาชนชาวลาวเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวในจังหวัดอุดรธานี และมีประชาชนชาวลาวมาเรียนที่มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีจำนวนมาก

ในการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าหรือผู้รับบริการในร้านค้าสะดวกซื้อสมัยใหม่ ซึ่งปัญหาในปัจจุบันคือ จำนวนช่องบริการที่ไม่เพียงพอในช่วงเวลา ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้ระบบแถวคอย (Queuing System) [2] ในการให้บริการลูกค้าเพื่อมาวิเคราะห์หาจำนวนหน่วยให้บริการที่เหมาะสมและเพียงพอกับอัตราการเข้ามารับบริการของลูกค้า ทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจต่อการให้บริการ ทั้งยังเป็นแนวทางในการจัดระบบการให้บริการเพื่อช่วยในการลดต้นทุนในการลงทุนของร้านค้าสะดวกซื้อภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1) ประชากร คือ นักศึกษาและบุคคลทั่วไปที่มาใช้บริการร้านค้าสะดวกซื้อ ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว จำนวน 2 แห่ง ได้แก่ หอพักชาย และหอพักหญิง เป็นต้น

2) กลุ่มตัวอย่าง คือ บุคคลที่เข้ามาใช้บริการร้านค้าสะดวกซื้อภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์สามพร้าวจำนวน 2 แห่ง

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ระบบแถวคอย เป็นเรื่องปกติที่พบเห็นได้ทั่ว ๆ ไปในชีวิตประจำวันมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น อัตราการมารับบริการของผู้รับบริการหรือลูกค้า อัตราการให้บริการของผู้ให้บริการ และรูปแบบของแถวคอย เป็นต้น [3] การเก็บรวบรวมข้อมูล ในระหว่างเดือนตุลาคม 2565 ถึงเดือนธันวาคม 2565 โดยการสุ่มเก็บข้อมูลตามช่วงเวลาระหว่างวัน (t) และรวบรวมจำนวนผู้ให้บริการร้านค้าสะดวกซื้อ ข้อมูลเวลาการให้บริการของเจ้าหน้าที่คิดเงิน การทอนเงิน [4] การให้บริการบรรจุสินค้า ตั้งแต่เวลา 9.00 น.-17.00 น. ของวันที่เปิดให้บริการ โดยบันทึกการให้บริการของเจ้าหน้าที่โดยทำหน้าที่คิดเงิน การทอนเงิน การให้บริการบรรจุภัณฑ์สินค้าแก่ลูกค้า ตั้งแต่เวลา 9.00 น.-17.00 น. โดยการสุ่มตัวอย่าง จำนวน 2 แห่ง

2.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและการวิเคราะห์ระบบแถวคอย

เป็นการหารูปแบบการแจกแจงของจำนวนผู้มาใช้บริการร้านค้าสะดวกซื้อ และรูปแบบการแจกแจงการให้บริการของเจ้าหน้าที่ในแต่ละร้านค้าสะดวกซื้อภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว ซึ่งรูปแบบที่ใช้วิเคราะห์นี้จะใช้รูปแบบวิเคราะห์แบบโครงข่ายที่เป็นอนุกรม [5] ลักษณะแถวคอยที่มีขั้นตอนเดียว มีแถวคอยเดียว และมีหน่วยบริการ 1 หน่วย (Single Channel System) อยู่บนพื้นฐานของอัตราการมารับบริการแบบการแจกแจงเวลาแบบปัวซอง (Poisson Distribution) และอัตราการให้บริการที่เป็นแบบการแจกแจงเวลาแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Distribution) [6] โดยตัวแบบแถวคอยเป็นแบบ 1 แถว หลายช่องทาง

บทความวิจัย (Research Article)

(M/M/C) [4] ซึ่งหาจำนวนช่องทางการให้บริการที่เหมาะสม ดังนี้

1) ความหนาแน่นที่ลูกค้าจะมาถึง (Traffic Intensity or Utilization factor)

$$f = \lambda / s \mu \text{ (โดยที่ } s\mu > \lambda \text{ หรือ } f < 1) \quad (1)$$

2) เวลาที่ส่วนบริการว่าง (Idle time)

$$f_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda / \mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda / \mu)^s}{s!(1-f)} \right] \quad (2)$$

3) เฉลี่ยแล้วในแถวคอยจะมีลูกค้าอยู่ในแถวที่ราย

$$L = \lambda W \text{ หรือ } = L_q + \lambda / \mu \quad (3)$$

4) เฉลี่ยแล้วลูกค้า 1 คน ในแถวคอยจะต้องคอยคนอื่นโดยเฉลี่ยกี่คน จนกว่าจะได้รับการบริการ (Waiting in line for service)

$$L_q = \frac{f_0 (\lambda / \mu)^s f}{s!(1-f)^2} \quad (4)$$

5) เฉลี่ยแล้วลูกค้าแต่ละรายต้องคอยเป็นเวลาทั้งหมดเท่าไร ตั้งแต่เข้ามาในระบบแถวคอย (ตั้งแต่เข้ามาจนกระทั่งได้รับการบริการ)

$$W = W_q + 1/\mu \quad (5)$$

6) เฉลี่ยแล้วลูกค้า 1 คน ใช้เวลาในการเข้ารับบริการแต่ละครั้ง

$$W_q = L_q / \lambda \quad (6)$$

โดยสัญลักษณ์หมายถึง

μ = อัตราการให้บริการโดยเฉลี่ยของส่วนให้บริการ (คน / ชั่วโมง) (Mean Service Time)

λ = อัตราการมาถึงโดยเฉลี่ยของลูกค้า (คน/ชั่วโมง)

f = ความหนาแน่นที่ลูกค้ามาถึง (The Traffic Intensity)

L = จำนวนที่คาดว่าจะโดยเฉลี่ยแล้วลูกค้าจะมีกี่คนใน 1 แถว

L_q = จำนวนลูกค้าในแถวคอยที่ลูกค้าแต่ละคนจะต้องมาต่อคิวว่าโดยเฉลี่ยมีกี่คน (The expected number of customers waiting in the queue)

W = เวลาทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่ลูกค้าแต่ละคนใช้ไปตั้งแต่เข้ามาอยู่ในระบบแถวคอย ตั้งแต่ผลัก กระจกประตูของร้านค้า

W_q = เวลาโดยเฉลี่ยที่ลูกค้าเข้ารับบริการ

3. การวิเคราะห์ความเหมาะสมของจำนวนช่องบริการของร้านค้าสะดวกซื้อ

จากการสำรวจสถานที่ของร้านค้าสะดวกซื้อทั้ง 2 แห่งในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว เพื่อดำเนินการวิเคราะห์หาความเหมาะสมของจำนวนช่องบริการ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การใช้บริการร้านค้าสะดวกซื้อ (ปัจจุบัน)

สถานที่	หอพักชาย	หอพักหญิง
1. อัตราการมาถึงของลูกค้าได้ (วินาที)	37	80
2. อัตราการให้บริการ (วินาที)	35	32
3. จำนวนช่องบริการ (ช่อง)	2	2
4. อัตราการใช้พนักงานเฉลี่ย (ร้อยละ)	100	100
5. ลูกค้าจะคอยคนอื่นเฉลี่ย (คน)	4	3
6. ในแถวคอยจะมีลูกค้าอยู่ในแถวเฉลี่ย (คน)	3	2
7. ลูกค้า 1 คน ใช้เวลาในการเข้ารับบริการ (วินาที)	30	40
8. ลูกค้าแต่ละรายใช้เวลาทั้งหมดในระบบแถวคอย (วินาที)	102	152
ข้อเสนอแนะ	เหมาะสม	เพิ่ม 1 ช่อง

บทความวิจัย (Research Article)

จากผลการวิเคราะห์จำนวนช่องบริการที่เหมาะสมเพื่อตอบสนองต่อจำนวนของลูกค้า และจำนวนช่องทางการให้บริการ ซึ่งสามารถสรุปได้ (จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้านเวลาให้บริการต้องไม่เกิน 40 วินาที) ดังนี้

1. ร้านค้าสะดวกซื้อ หอพักชายและหอพักหญิง เสนอแนะให้เพิ่มพนักงานช่วงเวลา 11.30 น. – 13.00 น.
2. ร้านค้าสะดวกซื้อ หอพักหญิง เสนอแนะให้เพิ่มพนักงานและช่องบริการ 1 ช่อง เพื่อลดระยะเวลาการรอคอยให้แก่ลูกค้า

4. ผลการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าที่ใช้บริการร้านค้าสะดวกซื้อ

โดยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มีต่อร้านค้าสะดวกซื้อ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว โดยแจกแบบสอบถามกลุ่มตัวอย่าง 80 คน (คำนวณจากวิธีการของ Taro Yamane [7]) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1. เพศ		
ชาย	40	50
หญิง	40	50
รวม	80	100
2. อายุ		
15-20	40	50
21-25	30	37.5
26-30	5	6.25
มากกว่า 30 ปี	5	6.25
รวม	80	100
3. สถานะภาพ		
นักศึกษาภาคปกติ	35	43.75
นักศึกษาภาคพิเศษ	35	43.75
บุคคลทั่วไป	10	12.5
รวม	80	100

ในการวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้บริการจะกำหนดให้ระดับจาก 1 - 5 คือ ระดับความพึงพอใจจากน้อยไปหามากตามลำดับ และมีตัวแปรต้น คือ เพศของผู้ใช้บริการร้านสะดวกซื้อ (เนื่องจากผู้มาใช้บริการเป็นนักศึกษาความแตกต่างด้านอายุจึงไม่แตกต่างกัน) และ สถานะภาพของผู้มาใช้บริการ ในส่วนตัวแปรตาม ประกอบด้วยเรื่องของการจัดการร้านค้าสะดวกซื้อ 3 ด้าน ได้แก่ ด้านบริหารจัดการภายในร้านค้า ด้านการให้บริการของพนักงาน และด้านสถานที่ โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อทำการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มีต่อร้านค้า

จากตารางที่ 3 พบว่าด้านบริหารจัดการภายในร้านค้ามีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.67 ด้านการให้บริการของพนักงานลูกค้ามีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.37 และด้านสถานที่ พบว่าลูกค้ามีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.46

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการด้านต่าง ๆ

ประเด็น	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
ด้านบริหารจัดการภายในร้านค้า			
1. มีความสะดวกสบายในการเลือกซื้อสินค้า	4.60	0.43	มากที่สุด
2. สินค้าถูกจัดเรียงเป็นระเบียบ	4.66	0.48	มากที่สุด
3. มีการส่งเสริมการขาย	4.62	0.48	มากที่สุด
4. ระบบจัดการสต็อกสินค้า	4.70	0.41	มากที่สุด
5. การจัดการสินค้าหาย	4.75	0.45	มากที่สุด
รวม	4.67	0.2	มากที่สุด

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการด้านต่างๆ (ต่อ)

ประเด็น	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
ด้านการให้บริการของพนักงาน			
1. พนักงานพูดจาสุภาพ	4.38	0.42	มาก
2. พนักงานมีความเอาใจใส่ลูกค้า	4.38	0.32	มาก
3. พนักงานแต่งกายสุภาพ	4.25	0.36	มาก
4. ระยะเวลาการให้บริการเหมาะสม	4.12	0.37	มาก
5. พนักงานมีความเข้าใจในข้อมูลของสินค้า	4.71	0.41	มากที่สุด
รวม	4.37	0.29	มาก
ด้านสถานที่			
1. สถานที่ตั้งอยู่ในที่ที่เหมาะสม	4.53	0.47	มากที่สุด
2. สถานที่มีความสะอาดเรียบร้อย	4.19	0.50	มาก
3. สถานที่ให้บริการมีบรรยากาศที่ดี	4.52	0.39	มากที่สุด
4. หน้าร้านค้ามีสิ่งอำนวยความสะดวกเหมาะสม	4.67	0.41	มากที่สุด
5. สถานที่ร้านค้า เปิด-ปิด ร้านค้าในเวลาที่เหมาะสม	4.40	0.96	มาก
รวม	4.46	0.36	มาก

5. การเปรียบเทียบผลการใช้ระบบแถวคอย

จากการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังดำเนินการดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าหอพักชาย และ หอพักหญิง สามารถลดระยะเวลาเฉลี่ย ร้อยละ 23 และ 50 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลก่อนและหลังการดำเนินงานตามการเข้ารับบริการ (วินาที)

สถานที่	ระยะเวลา (วินาที)		หมายเหตุ
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
หอพักชาย	37	30	ลดลงร้อยละ 23
หอพักหญิง	80	40	ลดลงร้อยละ 50

6. สรุปผล

จากการศึกษาเรื่องจำนวนช่องบริการที่ร้านค้าสะดวกซื้อ พบว่าร้านค้าแต่ละสาขาจำนวน 2 แห่ง มีบางสาขาที่ต้องปรับปรุง ในเรื่องระยะเวลาในการให้บริการ คือ ร้านค้าสะดวกซื้อ หอพักชายและหอพักหญิงเสนอแนะให้เพิ่มพนักงานช่วงเวลา 11.30 น. – 13.00 น. สามารถลดระยะเวลาเฉลี่ย ร้อยละ 23 เพราะเป็นช่วงเวลาที่ลูกค้าเข้ามาใช้บริการมากที่สุด ส่วนหอพักหญิง เสนอแนะให้เพิ่มพนักงานและช่องบริการ 1 ช่อง เพื่อลดระยะเวลาการรอคอยให้แก่ลูกค้า ร้อยละ 50 ส่วนการศึกษาความพึงพอใจของลูกค้า 3 ด้าน พบว่าด้านบริหารการจัดการภายในร้านค้ามีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.67 ด้านการให้บริการของพนักงานลูกค้ามีความพึงพอใจระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.37 และด้านสถานที่ พบว่าลูกค้ามีความพึงพอใจระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.46

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาถึงพฤติกรรมและวิธีการว่าผู้ให้บริการมีขั้นตอนในการปฏิบัติงาน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้บริการมากยิ่งขึ้นเพื่อให้เกิดความพึงพอใจต่อลูกค้าสูงสุด

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่ให้ทุนในการศึกษาและพัฒนารายวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฉัตรชัย ดวงรัตนพันธ์, "สมาคมผู้ค้าปลีกไทย," กองบรรณาธิการ Positioning, [ออนไลน์]. Available: <http://www.positioningmag.com/59221>. [เข้าถึงเมื่อ: 21 มกราคม 2564].
- [2] กัลยา วานิชย์บัญชา, การวิเคราะห์เชิงปริมาณ, กรุงเทพฯ: คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

บทความวิจัย (Research Article)

- [3] วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร, *การวิเคราะห์แบบจำลอง*, กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, 2555.
- [4] C. D. Pegden, R. E. Shannon, และ R. P. Sadowski, *Introduction to Simulation Using SIMAN* (2 nd ed.), New York: McGraw-Hill, 1995.
- [5] ปิยพร สุวรรณรัตน์, "การวิเคราะห์ระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการทางพิเศษ กรณีศึกษาด่านประชาชื่น," วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์การจัดการ, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2555.
- [6] พิมพ์มล สิทธิบุญ, "การพัฒนาระบบแถวคอยกรณีศึกษาคลินิกเบาหวาน โรงพยาบาลท่าศาลา," มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, 2555.
- [7] T. Yamane, *Statistics, An Introductory Analysis*, 2nd ed., New York: Harper and Row, 1967.

วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกมสำหรับการประเมินศักยภาพของวัสดุชีวมวลในการผลิตถ่านอัดแท่ง

ประสิทธิ์ ไกรลมสม^{1,*} และ กัมปนาท ไชยเพชร²

¹ สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: biley2000@yahoo.com

(รับบทความ: 25 กันยายน 2566; แก้ไขบทความ: 7 ตุลาคม 2566; ตอรับบทความ: 25 ตุลาคม 2566)

บทคัดย่อ

แนวคิดในการนำวัสดุชีวมวลมาทำการแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานของประเทศ และเป็นแนวคิดที่ดีในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตามการที่จะนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งจำเป็นต้องทำการศึกษาศักยภาพของวัสดุแต่ละชนิดเพื่อให้สามารถนำวัสดุชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด การประเมินศักยภาพของวัสดุสำหรับการแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติที่สำคัญในการเป็นเชื้อเพลิง เพราะว่าปัญหานี้มีปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาหลายปัจจัย ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะทำการประเมินศักยภาพในการเป็นเชื้อเพลิงของวัสดุชีวมวลแต่ละชนิด ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ โดยมีขั้นตอนในการประเมินวัสดุชีวมวลดังนี้ ขั้นตอนแรกคือกำหนดคุณสมบัติที่สำคัญของความสามารถในการเป็นเชื้อเพลิงได้ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญได้แก่ ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน จากนั้นวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกมได้ถูกนำมาใช้ในการวัดศักยภาพของวัสดุชีวมวลแต่ละชนิด โดยวิธีการที่นำเสนอได้ถูกทดสอบกับวัสดุชีวมวลจำนวน 23 ชนิด ผลการศึกษาพบว่า ไม้ยางพารา ซึ่งข้าวโพด และต้นฝ้าย เป็นวัสดุที่เหมาะสมลำดับแรกจากเหมาะสมที่สุดตามลำดับ นอกจากนี้วิธีการที่นำเสนอยังถูกทดสอบสหสัมพันธ์ของสเปียร์แมนกับวิธีการอื่นที่นิยมในวรรณกรรมพบว่ามีความสัมพันธ์สูงมาก แสดงว่าเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความน่าเชื่อถือสูงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดศักยภาพของวัสดุชีวมวลได้

คำสำคัญ: วัสดุชีวมวล ถ่านอัดแท่ง การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกม

การอ้างอิงบทความ: ประสิทธิ์ ไกรลมสม และ กัมปนาท ไชยเพชร, "วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกมสำหรับการประเมินศักยภาพของวัสดุชีวมวลในการผลิตถ่านอัดแท่ง," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 5, หน้า 15-26, 2566.

Game Cross Efficiency Method for Assessing the Potential of Biomass Materials in Briquette Production

Prasit Kailomsom^{1,*} and Kumpanat Chaiphet²

¹ Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

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

* Corresponding Author: bileys2000@yahoo.com

(Received: September 25, 2023; Revised: October 7, 2023; Accepted: October 25, 2023)

Abstract

The concept of processing biomass materials into charcoal briquettes is one way to address the energy shortage issue in the country. It's also a promising idea for utilizing agricultural waste effectively. However, assessing the potential of biomass materials for conversion into fuel is complex due to several critical properties that need consideration. Therefore, this research proposes a stepwise efficiency evaluation method. The initial step involves defining the key properties for the fuel potential, such as moisture content, ash content, volatile matter, fixed carbon, and calorific value. Next, a game-cross-efficiency approach is employed to measure the potential of various biomass materials with multiple properties. The method was tested on 23 different biomass types, revealing that rubberwood, corn cob, and bamboo are the top three suitable materials for processing into the charcoal briquettes in descending order. Additionally, the proposed method was compared with well-known techniques in the literature, showing a very high correlation (Spearman rank correlation coefficient). This suggests that the proposed method is reliable and can be applied for assessing the fuel potential of different biomass materials.

Keywords: Biomass, Fuel Briquette, Data Envelopment Analysis, Cross-Efficiency Method, Game Cross-Efficiency Method

Please cite this article as: P. Kailomsom and K. Chaiphet, "Game Cross Efficiency Method for Assessing the Potential of Biomass Materials in Briquette Production," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 1, no. 5, pp. 15-26, 2023.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

การใช้วัสดุชีวมวลในการผลิตถ่านอัดแท่งเป็นแนวทางที่ดีสำหรับการสร้างพลังงานทดแทนและการประหยัดพลังงานสำหรับประเทศไทย แหล่งพลังงานจากชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่มีความยั่งยืนและมีมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีทรัพยากรธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ ป่าไม้ และพืชชนิดหลายชนิด ซึ่งสามารถนำชีวมวลมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งสำหรับการหุงต้มได้ ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญของโลก ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่ได้จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย, ยอดอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ยอดใบข้าวโพด ถั่วเขียว ถั่วลิสง ใบมะพร้าว และทางมะพร้าว และมาจากของเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบ ชานอ้อย ชังข้าวโพด เปลือกมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง ชี้อเลื้อย และกะลามะพร้าว ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูง และข้อดีอีกประการคือชีวมวลสามารถช่วยแก้ไขปัญหาการกำจัดของเสียจากการเกษตรของชุมชนได้ [1-3]

การนำวัสดุชีวมวลมาใช้ประโยชน์สามารถทำได้โดยตรง เช่น ถ่านอัดแท่ง ซึ่งกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งใช้เทคโนโลยีในการผลิตไม่ซับซ้อน และต้นทุนของเครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักรไม่สูง [5] การแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้กลายเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มต้นด้วยการพิจารณาคุณสมบัติหลายอย่างพร้อมกัน คุณสมบัติเหล่านี้มีค่าความชื้น (Moisture) ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และค่าความร้อน (Heating Value) [4] ดังนั้นการประเมินความสำคัญของวัสดุชีวมวลสำหรับกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งจึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ เพราะว่ามีหลายเกณฑ์ (คุณสมบัติ) ที่ต้องพิจารณาไปพร้อมกัน การนำเสนอวิธีการประเมินศักยภาพของชีวมวลที่เหมาะสมจึงเป็นปัญหาที่ท้าทาย และมีความซับซ้อนและยุ่งยากต่อการตัดสินใจ ดังนั้นการเลือก

วิธีการที่เหมาะสมในการประเมินศักยภาพชีวมวลจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาประเมินประสิทธิภาพของทางเลือกที่มีหลายหน่วยผลิต (Decision Making Units: DMUs) และมีหลายปัจจัยทั้งปัจจัยนำเข้า (Inputs) และปัจจัยผลผลิต (Outputs) ได้ [5] อย่างไรก็ตามข้อเสียของวิธี DEA คือแต่ละหน่วยผลิตไม่สามารถจัดลำดับความสำคัญได้เพราะว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของ DEA สามารถจำแนกหน่วยผลิตได้เพียง 2 ประเภท ได้แก่ หน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพ (ค่าคะแนนประสิทธิภาพเท่ากับ 1) และหน่วยผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ (ค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยกว่า 1) ด้วยเหตุนี้ นักวิจัยจำนวนมากได้พัฒนาวิธี DEA ให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของหน่วยผลิตได้ ยกตัวอย่างวิธีที่ได้รับความนิยมสูงได้แก่ วิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ (Cross-Efficiency Method) ซึ่งนำวิธีการนี้ถูกนำเสนอโดย Sexton et al. [6] อย่างไรก็ตามวิธีประสิทธิภาพแบบไขว้มีข้อเสียคือในบางปัญหามีชุดคำตอบหลายค่าทำให้การประเมินค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยแตกต่างกันตามซอฟต์แวร์ที่ประมวลผล ดังนั้นเพื่อแก้ไขข้อด้อยของวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ Doyle and Green [7] เป็นคณะนักวิจัยแรกที่ได้นำเสนอวิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ที่เพิ่มเป้าหมายที่สอง (Secondary Goal) ลงในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของ DEA ซึ่งวิธีที่ทั้งสองท่านได้นำเสนอและปัจจุบันเป็นที่นิยมอย่างสูงได้แก่ วิธี Aggressive Model และ Benevolent Model อย่างไรก็ตามวิธีทั้งสองยังมีข้อเสียคือในบางปัญหาการจัดลำดับอาจแตกต่างกันเพราะว่าทั้งสองวิธีมีสมการเป้าหมายแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อเอาชนะข้อด้อยของวิธีการทั้งสองนี้ Liang et al. [8] เป็นคณะวิจัยคณะแรกที่ได้นำเสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกม (Game Cross Efficiency: GCE)

ประสิทธิภาพ โกรธสม และ กัมปนาท ไชยเพชร, วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกมสำหรับการประเมินศักยภาพของวัสดุชีวมวลในการผลิตถ่านอัดแท่ง

บทความวิจัย (Research Article)

วิธีการนี้ได้นำเอาทฤษฎีเกมมาบูรณาการร่วมกับวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ ซึ่งทำให้ค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้ของแต่ละหน่วยผลิตมีค่าคะแนนเพียงค่าเดียว ซึ่งทำให้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้สามารถจัดลำดับหน่วยผลิตได้อย่างสมบูรณ์ วิธีการนี้ได้รับความนิยมสูงสำหรับการแก้ปัญหาการจัดลำดับหน่วยผลิตในสถานการณ์จริง เช่น การเลือกซัพพลายเออร์ การวัดประสิทธิภาพของพลังงาน และอื่น ๆ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเป็นการนำเสนอวิธีประเมินศักยภาพของวัสดุชีวมวลสำหรับการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้วิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกม หรือวิธี GCE ซึ่งวิธีที่นำเสนอนี้ โดยคุณสมบัติที่สำคัญของชีวมวลแต่ละชนิดจะถูกพิจารณาเป็นลำดับแรก จากนั้นวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะถูกทดสอบความน่าเชื่อถือกับตัวอย่างการคำนวณชีวมวลจำนวน 23 ชนิด ซึ่งแสดงในงานวิจัยของ ประสิทธิ์ ไกรลมสม และนรงค์ วิชาพา [9] ทั้งนี้วิธีการที่นำเสนอจะสามารถเป็นแนวทางหนึ่งในการประเมินศักยภาพของถ่านอัดแท่ง เพื่อให้เกิดการเลือกวัสดุชีวมวลมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

2. การทบทวนวรรณกรรม

Charnes, Cooper and Roberts [10] ได้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล เรียกว่า ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ CCR ซึ่งตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยหลากหลายสาขา เช่น ด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านอื่น ๆ [11, 12] การวัดประสิทธิภาพด้วยวิธี DEA (ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ CCR) มีข้อดีคือ สามารถวัดประสิทธิภาพของหน่วยผลิตจำนวนมาก โดยที่แต่ละหน่วยผลิตแต่ละหน่วยผลิตมีหลายปัจจัยได้ โดยไม่จำเป็นต้องปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน (Normalized Data) ก่อนการคำนวณ และไม่จำเป็นต้องกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยเพราะตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของ

DEA (CCR) สามารถใช้ในการคำนวณหาผลเฉลยที่เหมาะสมสุดของชุดน้ำหนักของแต่ละหน่วยผลิตได้ [13] อย่างไรก็ตามแม้ว่าวิธี DEA จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวัดประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของหน่วยผลิต ข้อด้อยที่สำคัญของวิธี DEA คือไม่สามารถจัดลำดับความสำคัญของหน่วยผลิตที่มี ค่าคะแนนประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์เท่ากับ 1 ได้ (มีหลายหน่วยผลิตที่มีค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์เท่ากับ 1) เพื่อเอาชนะข้อด้อยนี้ จึงมีนักวิจัยจำนวนมากได้พัฒนาวิธี DEA ให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของหน่วยผลิตได้ ยกตัวอย่างวิธีที่ได้รับความนิยมสูงได้แก่ วิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ (Cross-Efficiency Method) ซึ่งนำวิธีการนี้ถูกนำเสนอโดย Sexton et al. [6] อย่างไรก็ตามวิธีประสิทธิภาพแบบไขว้มีข้อเสียคือในบางปัญหามีชุดคำตอบหลายค่าทำให้การประเมินค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยแตกต่างกันตามซอฟต์แวร์ที่ประมวลผล ดังนั้นเพื่อแก้ไขข้อด้อยของวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ Doyle and Green [7] เป็นคณะนักวิจัยกลุ่มแรกที่ได้นำเสนอวิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ที่เพิ่มเป้าหมายที่สอง (Secondary Goal) ลงในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ CCR ซึ่งพวกเขาได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์จำนวน 2 วิธี ได้แก่ Aggressive model และ Benevolent model ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับหน่วยผลิตในหลากหลายสาขา อย่างไรก็ตามวิธีทั้งสองยังมีข้อด้อยที่สำคัญคือในบางปัญหาการจัดลำดับอาจแตกต่างกันเพราะว่าทั้งสองวิธีมีมุมมองที่แตกต่างกันตามสมการเป้าหมายแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อเอาชนะข้อด้อยของวิธีการทั้งสองนี้ Liang et al. [8] ได้นำเสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกม (Game Cross Efficiency: GCE) เพื่อการจัดลำดับความสำคัญของหน่วยผลิตได้อย่างเป็นเอกภาพ วิธีการนี้ได้นำเอาทฤษฎีเกม (Game theory) มาบูรณาการร่วมกับวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ โดยการสร้างอัลกอริทึมในการพัฒนาคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้

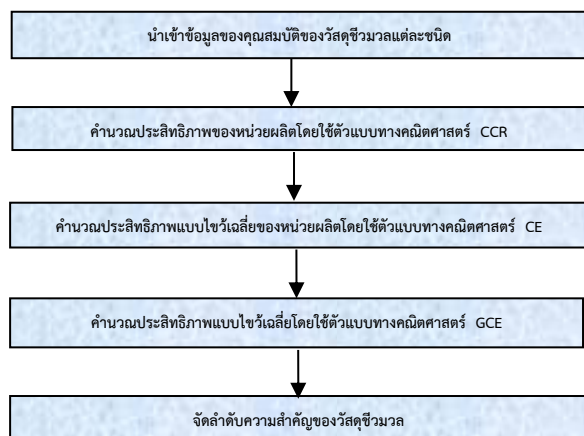
ประสิทธิภาพ ไกรลมสม และ กัมปนาท ไชยเพชร, วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกมสำหรับการประเมินศักยภาพของวัสดุชีวมวลในการผลิตถ่านอัดแท่ง

บทความวิจัย (Research Article)

เฉลี่ยของแต่ละหน่วยผลิตในแต่ละรอบของการคำนวณ จนทำให้ค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยของแต่ละหน่วยผลิตบรรลุจุดดุลยภาพของแนช (Nash equilibrium) หรือกล่าวได้ว่าค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยของแต่ละหน่วยผลิตในรอบการคำนวณสุดท้ายจะมีค่าคะแนนเพียงค่าเดียว จึงเป็นผลทำให้วิธีการนี้สามารถจัดลำดับของหน่วยผลิตได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวได้ถูกนำไปประยุกต์อย่างแพร่หลายในงานวิจัยหลากหลายสาขา เช่น การคัดเลือกผู้ส่งมอบ การคัดเลือกแหล่งพลังงาน ชีวมวลที่เหมาะสมและอื่น ๆ

3. วิธีการ

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธี GCE ในการประเมินศักยภาพของชีวมวลสำหรับการแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่ง



รูปที่ 1 ขั้นตอนการคำนวณของวิธี GCE ในการประเมินศักยภาพของวัสดุชีวมวลสำหรับการแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่ง

3.1 คำนวณค่าคะแนนประสิทธิภาพจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ CCR

กำหนดข้อมูลของวัสดุชีวมวลแต่ละชนิดเป็นหน่วยผลิต (Decision Making Unit: DMU) และ

กำหนดคุณสมบัติของแต่ละวัสดุชีวมวลเป็นปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิต ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ (Relative Efficiency) จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ CCR [10] ดังนี้

กำหนดให้:

i เป็นดัชนีของปัจจัยนำเข้า

r เป็นดัชนีของปัจจัยผลผลิต

j เป็นดัชนีของหน่วยผลิต

k เป็นดัชนีของหน่วยผลิตที่ถูกประเมิน

X_{ij} คือ ค่าของปัจจัยนำเข้า i และหน่วยผลิต j

Y_{rj} คือ ค่าของปัจจัยผลผลิต r และหน่วยผลิต j

u_{rk} คือน้ำหนักของปัจจัยผลผลิต r และหน่วยผลิต k

v_{ik} คือน้ำหนักของปัจจัยนำเข้า i และหน่วยผลิต k

$$E_{kk} = \text{Max} \sum_{r=1}^S u_{rk} Y_{rk}$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$\sum_{r=1}^S u_{rk} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_{ik}, u_{rk} \geq 0, \quad \forall i, \forall k, \forall r$$

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (1) สมการเป้าหมายจะเป็นการคำนวณหาน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละหน่วยผลิตโดยใช้ปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิตที่กำหนด โดยแต่ละหน่วยผลิตจะคำนวณน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยอิสระทำให้เกิดการลำเอียงในการประเมินหน่วยผลิตเพราะว่าแต่ละหน่วยผลิตจะพยายามหาชุดน้ำหนักที่ดีที่สุดของตนเองโดยอิสระ ซึ่งส่งผลให้วิธีการนี้จำแนกได้เพียงหน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพ (คะแนนประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์เท่ากับ 1) และหน่วยผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ (คะแนนประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์น้อยกว่า 1) ด้วยเหตุนี้ Sexton et al. [6] จึงได้คำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดน้ำหนักของผลเฉลยน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดของตัวแบบ CCR ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2

3.2 คำนวณประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ CE

วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ (Cross-Efficiency method: CE) เป็นการจัดลำดับความสำคัญของหน่วยผลิตโดยอาศัยการประเมินตนเอง (Self-assessment) และการประเมินโดยผู้อื่น (Peer-assessment) โดยใช้ผลเฉลยนำหนักของปัจจัยที่ได้จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ CCR ดังแสดงในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (1) กำหนดให้หน่วยผลิตที่ถูกประเมินเป็น DMU_k แล้วค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยของแต่ละหน่วยผลิต ดังแสดงในสมการที่ (2) และสมการที่ (3)

$$E_{kj} = \sum_{r=1}^s u_{rk}^* y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_{ik}^* x_{ij}, k, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Sexton et al. [6] ได้นิยามค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ย (Average Cross-Efficiency: ACE) ของแต่ละหน่วยผลิตดังนี้

$$ACE = \bar{E}_j = (1/n) \sum_{k=1}^n E_{kj}, k, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

ถ้าค่าคะแนน ACE ของหน่วยผลิตสูงกว่า หมายถึงลำดับความสำคัญสูงกว่า อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่สามารถจัดลำดับหน่วยผลิตได้เหมือนกันหากใช้ซอฟต์แวร์ต่างกัน (ปัญหามีผลเฉลยหลายชุดคำตอบ) ด้วยเหตุนี้วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกม หรือวิธี GCE จึงถูกนำเสนอในการแก้ข้อด้อยของวิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ดั้งเดิมนี้ ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.3

3.3 คำนวณค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ GCE

Liang et al. [8] ได้นำเสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกม (Game Cross Efficiency: GCE) สำหรับการจัดลำดับความสำคัญของหน่วยผลิต โดยวิธีการนี้ได้นำเอาทฤษฎีเกม

(Game theory) มาบูรณาการร่วมกับวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้เดิม โดยค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยของเกม (GCE) สามารถดำเนินการดังนี้

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^s u_{rj}^d y_{rj} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_{ij}^d x_{ii} - \sum_{r=1}^s u_{rj}^d y_{ri} \geq 0, \\ & \sum_{i=1}^m v_{ij}^d x_{ij} = 1, \\ & \alpha_d \sum_{i=1}^m v_{ij}^d x_{id} - \sum_{r=1}^s u_{rj}^d y_{rd} \leq 0, \\ & v_{ij}^d \geq 0, u_{rj}^d \geq 0, r = 1, 2, \dots, s, i = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \quad (4)$$

จากนั้นพยายามพัฒนาคำตอบ (α_d) โดยการคำนวณเริ่มตั้งแต่ รอบที่ 1 จนถึงรอบที่ n เพื่อให้มีค่าคะแนนประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในแต่ละรอบ โดยดำเนินการไปจนบรรลุลุดดุลยภาพของแนช (Nash equilibrium) โดยการคำนวณรอบที่ 1 จะกำหนดให้ α_d แทนค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (3) ในส่วนรอบที่ 2 เป็นต้นไป จะใช้ค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยจากตัวแบบ GCE (4) จากนั้นดำเนินการต่อไปเรื่อย ๆ จนผลต่างของรอบสุดท้ายและรอบรองสุดท้ายเท่ากับ 0.001 ($\varepsilon = 0.001$) สุดท้ายค่าคะแนนที่จุดดุลยภาพของแนชจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (4) จะเป็นค่าคะแนน GCE โดยค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ย (GCE score) ที่มีค่ามากกว่าหมายถึงลำดับความสำคัญของหน่วยผลิตนั้นสูงกว่า

4. ผลการวิจัย

วิธี GCE ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะถูกทดสอบกับปัญหาการคัดเลือกวัสดุชีวมวลสำหรับการแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่ง โดยใช้ตัวอย่างการคำนวณจากข้อมูลวัสดุชีวมวลจำนวน 23 ชนิด ดังตารางที่ 1

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติสำคัญของวัสดุชีวมวล [9]

วัสดุชีวมวล	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	CCR
ต้นฝ้าย (DMU ₁)	9.33	4.77	67.95	17.95	4044.29	0.4238
ข้าวฟ่าง (DMU ₂)	4.31	8.63	68.83	18.23	4051.48	0.5341
ต้นข้าวโพด (DMU ₃)	13.32	6.2	64.58	15.9	4313.90	0.3606
ซังข้าวโพด (DMU ₄) 2	4.39	1.03	80.17	14.41	4187.00	1.0000
กะลามะพร้าว (DMU ₅)	11.79	0.85	64.03	23.33	4860.48	1.0000
กะลาปาล์ม (DMU ₆)	13	1.3	64.55	21.05	5072.50	0.9247
ฟางข้าว (DMU ₇)	2.86	11.24	65.64	20.26	3503.51	0.6961
เปลือกทุเรียน (DMU ₈)	9.93	2.71	74.3	13.06	4449.45	0.6200
กากทานตะวัน (DMU ₉)	11.5	3.67	64.34	20.49	4034.20	0.4787
ชานอ้อย (DMU ₁₀)	13.38	2.61	64.73	19.26	3972.76	0.5497
ใบจามจุรี (DMU ₁₁)	7.32	15.65	62.35	14.68	5078.74	0.3942
แกลบ (DMU ₁₂)	7.27	14.07	60.87	17.79	4009.40	0.3134
ลำต้นมันสำปะหลัง (DMU ₁₃)	31.54	6.22	47.73	14.51	4670.00	0.4243
เหง้ามันสำปะหลัง (DMU ₁₄)	41.98	3.57	41.86	12.59	4368.30	0.6100
หญ้าขจรจบ (DMU ₁₅)	5.91	8.04	66.97	19.08	3939.68	0.3788
หญ้าคา (DMU ₁₆)	5.75	6.53	65.32	22.4	3773.11	0.3760
โคกกระสุน (DMU ₁₇)	8.57	9.88	65.23	16.32	4340.92	0.2878
ไมยราบยักษ์ (DMU ₁₈)	9.25	4.15	64.38	22.22	4556.10	0.5273
ผักตบชวา (DMU ₁₉)	6.47	10.08	67.07	15.7	3492.13	0.3067
ไม้ยางพารา (DMU ₂₀) 1	3.94	4.54	16	73.52	6934.02	1.0000
ต้นฝ้าย (DMU ₂₁) 3	4.3	1.51	79.1	15.09	4436.00	0.9768
ข้าวฟ่าง (DMU ₂₂)	7.87	2.23	72.14	17.76	5179.00	0.8438
ต้นข้าวโพด (DMU ₂₃)	9.09	1.03	72.17	17.71	4309.40	0.8941

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของชีวมวลจำนวน 23 ชนิด สามารถกำหนดปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย ดังนี้ X_1 , X_2 และ X_3 หมายถึงความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณสารระเหย ตามลำดับ ในส่วนของปัจจัยผลผลิต Y_1 และ Y_2 หมายถึง ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน ตามลำดับ

4.1 ผลการคำนวณค่าคะแนนประสิทธิภาพจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ CCR

จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (1) หรือตัวแบบทางคณิตศาสตร์ CCR นำไปเขียนโค้ดโดยใช้ซอฟต์แวร์ Lingo ดังรูปที่ 2

จากนั้นนำเข้าข้อมูลในตารางที่ 1 ผลที่ได้คือค่าคะแนนประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ดังแสดงในตารางที่ 1 สดมภ์สุดท้าย

4.2 ผลการคำนวณค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ CE

จากนั้นสามารถที่ (2) และสมการที่ (3) สำหรับการคำนวณประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ย ถูกนำมาโค้ดด้วยซอฟต์แวร์ Lingo ดังรูปที่ 3

บทความวิจัย (Research Article)

```
MODEL:
SETS:
    DMU/1..23/: ;
    FACTOR/1..5/: ;
    DXF(DMU, FACTOR): X ;
    DMUK/1..23/:ACE,CCR;
    IK(DMU,DMUK):INPUT,OUTPUT,CE;
    DF(DMUK, FACTOR):W;
ENDSETS

DATA:
    X,NINPUTS =
@OLE('C:\Users\naron\OneDrive\
เดสก์ท็อป\Paper_EN
journal\23bio.xlsx','X','NINPUTS');
ENDDATA
MAX=@SUM(DMUK(K):CCR(K));
@FOR(DMUK(K):CCR(K)=@SUM(FACTOR(J)|J #GT#
NINPUTS:X(K, J)*W(K, J)));
@FOR(DMUK(K):@SUM(FACTOR(J)|J #LE#
NINPUTS:X(K, J)*W(K, J))=1);
@FOR(DMUK(K):@FOR(DMU(I):@SUM(FACTOR(J)|J
#GT# NINPUTS:X(I, J)*W(K, J))<=
@SUM(FACTOR(J)|J #LE# NINPUTS:X(I, J)*W(
K, J)));
@FOR(DF(K, J):W(K, J)>=0);

END
```

รูปที่ 2 โค้ดของ Lingo สำหรับ CCR model

```
MODEL:
SETS:
    DMU/1..23/: ;
    FACTOR/1..5/: ;
    DXF(DMU, FACTOR): X ;
    DMUK/1..23/:ACE,CCR;
    IK(DMU,DMUK):INPUT,OUTPUT,CE;
    DF(DMUK, FACTOR):W;
ENDSETS

DATA:
    X,NINPUTS =
@OLE('C:\Users\naron\OneDrive\เดสก์ท็อป\Paper_EN
journal\23bio.xlsx','X','NINPUTS');
ENDDATA
MAX=@SUM(DMUK(K):CCR(K));
@FOR(DMUK(K):CCR(K)=@SUM(FACTOR(J)|J #GT#
NINPUTS:X(K, J)*W(K, J)));
@FOR(DMUK(K):@SUM(FACTOR(J)|J #LE# NINPUTS:X(K,
J)*W(K, J))=1);
@FOR(DMUK(K):@FOR(DMU(I):@SUM(FACTOR(J)|J #GT#
NINPUTS:X(I, J)*W(K, J))<=
@SUM(FACTOR(J)|J #LE# NINPUTS:X(I, J)*W(
K, J)));
@FOR(DF(K, J):W(K, J)>=0);

END
```

```
!Cross efficiency for each DMU;
@FOR(IK(I,K):INPUT(I,K)=@SUM(FACTOR(J)|J #LE#
NINPUTS:X(K, j)*W(I, J)));
@FOR(IK(I,K):OUTPUT(I,K)=@SUM(FACTOR(J)|J #GT#
NINPUTS:X(K, j)*W(I, J)));
@FOR(IK(I,K):CE(I,K)=OUTPUT(I,K)/INPUT(I,K));
@FOR(DMUK(K):ACE(K)=@SUM(DMU(I):CE(I,K))/@SIZE(DMU));
END
```

รูปที่ 3 โค้ดของ Lingo สำหรับ CE model

จากนั้นทำการประมวลผลจะได้ค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยของแต่ละวัสดุชีวมวลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยของวัสดุชีวมวล 23 ชนิด

วัสดุชีวมวล	ACE	วัสดุชีวมวล	ACE
DMU ₁	0.3552	DMU ₁₃	0.2482
DMU ₂	0.3721	DMU ₁₄	0.2825
DMU ₃	0.2960	DMU ₁₅	0.3236
DMU ₄	0.7939	DMU ₁₆	0.3468
DMU ₅	0.7028	DMU ₁₇	0.2762
DMU ₆	0.6408	DMU ₁₈	0.4320
DMU ₇	0.3640	DMU ₁₉	0.2475
DMU ₈	0.4745	DMU ₂₀	1.0000
DMU ₉	0.3736	DMU ₂₁	0.7760
DMU ₁₀	0.3993	DMU ₂₂	0.6507
DMU ₁₁	0.2767	DMU ₂₃	0.6341
DMU ₁₂	0.2308		

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยสูงสุดคือ ไม้ยางพารา มีค่าคะแนนเท่ากับ 1.00

4.3 ผลการคำนวณค่าคะแนนประสิทธิภาพแบบไขว้เฉลี่ยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ GCE

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (4) จะถูกนำมาแก้ด้วยซอฟต์แวร์ Lingo ดังรูปที่ 4

```
MODEL:
SETS:
    DMU/1..23/:GCE_SCORE ;
    FACTOR/1..5/: ;

    DXF(DMU, FACTOR):X
    DMUK/1..23/:alpha1,alpha2,alpha3,alpha4
    ,alpha5,alpha6,alpha7;
```

บทความวิจัย (Research Article)

```

DF(DMUK, FACTOR);
KI(DMUK, DMU):E
IK(DMU, DMUK):INPUT, OUTPUT, CE;
KIJ(DMUK, DMU, FACTOR):W
ENDSETS
DATA:
X, NINPUTS, alpha1, alpha2, alpha3, alpha
4, alpha5, alpha6, alpha7=
@OLE('C:\Users\naron\OneDrive\
เดสก์ท็อป\Paper_EN journal\23bio.xlsx',
'X', 'NINPUTS', 'alpha1', 'alpha2', 'alp
ha3', 'alpha4', 'alpha5', 'alpha6', 'alpha7');
ENDDATA
Max=@SUM(KI(K, I):E(K, I));
@FOR(KI(K, I):E(K, I)=@SUM(FACTOR(J)|J #GT#
NINPUTS :W(K, I, J)*X(I, J));
@FOR(KI(K, I):@SUM(FACTOR(J)|J #LE#
NINPUTS :W(K, I, J)*X(I, J)=1);
@FOR(KI(K, I):@SUM(FACTOR(J)|J #LE#
NINPUTS :alpha7(K)*W(K, I, J)*X(K, J)<=
@SUM(FACTOR(J)|J
#GT# NINPUTS:W(K, I, J)*X(K, J));
@FOR(KI(K, I):@FOR(DMU(L):@SUM(FACTOR(J)|J
#LE# NINPUTS :W(K, I, J)*X(L, J))>=
@SUM(FACTOR(J)|J #GT# NINPUTS:
W(K, I, J)*X(L, J));
@FOR(KIJ(K, I, J):W(K, I, J)>=0);
@FOR(DMU(I):GCE_SCORE(I)
=@SUM(DMUK(K):E(K, I))*@SIZE(DMUK));
END

```

รูปที่ 4 โค้ดของ Lingo สำหรับ GCE model

จากนั้นป้อนข้อมูลในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ลงในโค้ดที่สร้างขึ้น จากนั้นทำการประมวลผล ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การพัฒนาคำตอบของวิธี GCE

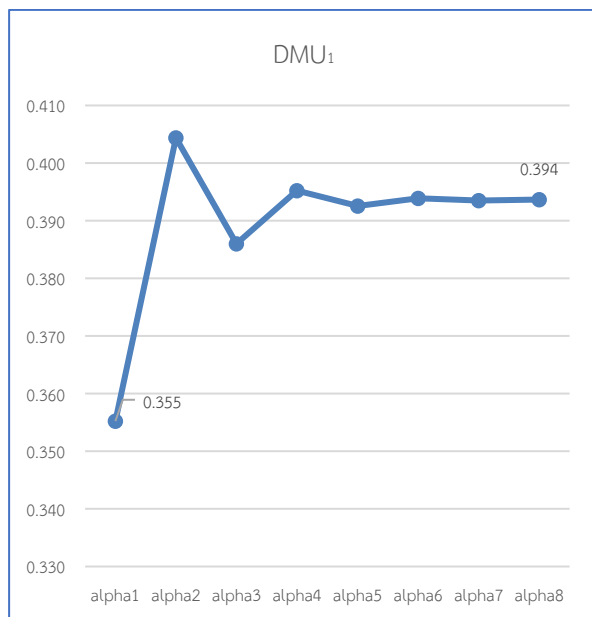
ชีวมวล	รอบที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
DMU ₁	0.355	0.404	0.386	0.395	0.393	0.394	0.394	0.394
DMU ₂	0.372	0.426	0.402	0.410	0.406	0.407	0.407	0.407
DMU ₃	0.296	0.336	0.319	0.328	0.325	0.327	0.326	0.326
DMU ₄	0.794	0.983	0.923	0.954	0.944	0.948	0.947	0.947
DMU ₅	0.703	0.855	0.778	0.816	0.807	0.812	0.810	0.811
DMU ₆	0.641	0.787	0.716	0.752	0.743	0.748	0.746	0.747
DMU ₇	0.364	0.440	0.413	0.422	0.417	0.419	0.418	0.418
DMU ₈	0.474	0.569	0.530	0.550	0.544	0.547	0.546	0.547

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาแต่ละหน่วยผลิตพบว่าค่าคะแนน GCE จะบรรลุลดุดุลภาพของแนชที่รอบที่ 8 เมื่อกำหนดค่า ε เท่ากับ 0.001 นอกจากนี้หากพิจารณา DMU₁ จะเห็นว่าแนวโน้มการพัฒนาคำตอบจากค่าเริ่มต้นคือ ค่า GCE=0.355 จนสุดท้ายบรรลุลดุดุลภาพของแนชในรอบที่ 8 โดยค่า GCE เท่ากับ 0.394 ดังแสดงในรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าค่าคะแนนประสิทธิภาพ GCE ของ DMU₁ จะบรรลุลดุดุลภาพของแนชในรอบที่ 8 (คำตอบปรับปรุงจนมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง) ซึ่งเป็นไปตามการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์โดย [8] นอกจากนี้เมื่อทดสอบสหสัมพันธ์สเปียร์แมนของวิธีที่นำเสนอกับวิธีการอื่นในวรรณกรรมพบว่า วิธีที่นำเสนอมีความสัมพันธ์กับวิธี CE, Aggressive และ Benevolent เท่ากับ 0.979, 0.974 และ 0.976 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นวิธีที่นำเสนอมีความน่าเชื่อถือสูงมาก สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการคัดเลือกชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับนำมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งได้ จากผลการวิจัยพบว่าไม้ยางพารา (DMU₂₀) เป็นวัสดุชีวมวลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่ง โดยลำดับความเหมาะสมของวัสดุชีวมวลแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 4

บทความวิจัย (Research Article)

ชีวมวล	รอบที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
DMU ₉	0.374	0.438	0.409	0.423	0.420	0.422	0.421	0.421
DMU ₁₀	0.399	0.482	0.443	0.462	0.458	0.460	0.459	0.460
DMU ₁₁	0.277	0.310	0.296	0.301	0.298	0.299	0.299	0.299
DMU ₁₂	0.231	0.255	0.245	0.249	0.247	0.247	0.247	0.247
DMU ₁₃	0.248	0.336	0.301	0.321	0.316	0.318	0.318	0.318
DMU ₁₄	0.283	0.438	0.379	0.416	0.407	0.411	0.410	0.410
DMU ₁₅	0.324	0.350	0.338	0.342	0.340	0.341	0.340	0.340
DMU ₁₆	0.347	0.369	0.359	0.363	0.361	0.361	0.361	0.361
DMU ₁₇	0.276	0.285	0.281	0.283	0.282	0.282	0.282	0.282
DMU ₁₈	0.432	0.498	0.472	0.485	0.481	0.483	0.482	0.483
DMU ₁₉	0.247	0.270	0.260	0.264	0.262	0.262	0.262	0.262
DMU ₂₀	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
DMU ₂₁	0.776	0.955	0.895	0.924	0.914	0.918	0.917	0.917
DMU ₂₂	0.651	0.786	0.734	0.760	0.752	0.756	0.755	0.756
DMU ₂₃	0.634	0.794	0.725	0.759	0.750	0.754	0.753	0.754



รูปที่ 5 การพัฒนาค่าตอบของ DMU₁ โดยใช้วิธี GCE

ตารางที่ 4 ลำดับความเหมาะสมของวัสดุชีวมวล 23 ชนิด โดยใช้วิธี GCE

ชีวมวล	GCE	Rank	ชีวมวล	GCE	Rank
DMU ₁	0.394	15	DMU ₁₃	0.318	19
DMU ₂	0.407	14	DMU ₁₄	0.410	13
DMU ₃	0.326	18	DMU ₁₅	0.340	17
DMU ₄	0.947	2	DMU ₁₆	0.361	16
DMU ₅	0.811	4	DMU ₁₇	0.282	21
DMU ₆	0.747	7	DMU ₁₈	0.483	9
DMU ₇	0.418	12	DMU ₁₉	0.262	22
DMU ₈	0.547	8	DMU ₂₀	1.000	1
DMU ₉	0.421	11	DMU ₂₁	0.917	3
DMU ₁₀	0.460	10	DMU ₂₂	0.756	5
DMU ₁₁	0.299	20	DMU ₂₃	0.754	6
DMU ₁₂	0.247	23			

5. สรุปผล

การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุจากชีวมวลเป็นหนึ่งในแนวคิดที่ดีสำหรับการแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานของประเทศได้ นอกจากนี้ยังเป็นการใช้

บทความวิจัย (Research Article)

ประโยชน์จากของเสียจากภาคการเกษตรมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์และเป็นการกำจัดของเสียได้อย่างไรก็ตาม การแปรรูปวัสดุชีวมวลให้เป็นแท่งเชื้อเพลิงหรือถ่านอัดแท่งจำเป็นต้องวิเคราะห์ศักยภาพของชนิดของชีวมวลแต่ละชนิดโดยใช้ปัจจัยที่สำคัญ เช่น ความชื้น ปริมาณสารเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องทำการประเมินศักยภาพของวัสดุชีวมวลมีหลายปัจจัย ซึ่งทำให้การประเมินศักยภาพวัสดุชีวมวลนั้นยุ่งยากและซับซ้อน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่จะต้องเลือกเครื่องมือหรือวิธีการประเมินที่เหมาะสมมาประเมินศักยภาพของชีวมวล งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการวัดประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกม (วิธี GCE) โดยขั้นตอนในการประเมินศักยภาพวัสดุชีวมวลดังนี้ ลำดับแรกจะต้องระบุปัจจัยที่สำคัญสำหรับการกำหนดความเหมาะสมของเชื้อเพลิง ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดปัจจัยที่สำคัญทั้งหมด 5 ปัจจัย ดังนี้ ค่าความร้อน ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณเถ้า และ ความชื้น สำหรับใช้ในการประเมินวัสดุชีวมวลจำนวน 23 ชนิด ผลการวิจัยพบว่า ไม้ยางพารา ข้าวโพด และ ต้นฝ้าย เป็นวัสดุชีวมวล 3 อันดับแรกที่มีความเหมาะสมในการนำมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่ง นอกจากนี้วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการที่นิยมในวรรณกรรม ซึ่งผลการทดสอบสหสัมพันธ์ของสเปียร์แมนพบว่าวิธีที่นำเสนอมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสเปียร์แมนสูงมาก นั้นหมายความว่าวิธีการที่นำเสนอมีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้ในการประเมินศักยภาพของวัสดุชีวมวลในงานวิจัยนี้ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดร ที่สนับสนุนบทความวิจัยฉบับนี้ และผู้แต่งขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่

พิจารณาบทความและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ เพื่อให้คุณภาพของบทความวิจัยนี้ดียิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] นรงค์ วิชาผา, อัจฉรา ชุมพล และ ไทยทัศน์ สุดสวนสี, "การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid DEA-TOPSIS สำหรับการคัดเลือกวัสดุ ชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูป เป็น ถ่านอัดแท่ง," *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 15, ฉบับที่ 1, หน้า 63-80, 2019.
- [2] N. Wichapa and S. Sodsoon, "A Novel Multiobjective Game IDEA Cross-Efficiency Method Based on Boolean Possibility Degree for Ranking Biomass Materials With Interval Data," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 96626-96642, 2022.
- [3] K. Promdee *et al.*, "Characterization of carbon materials and differences from activated carbon particle (ACP) and coal briquettes product (CBP) derived from coconut shell via rotary kiln," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 1175-1186, 2017.
- [4] N. Wichapa, P. Khokhajaikiat, and K. Chaiphet, "Aggregating the results of benevolent and aggressive models by the CRITIC method for ranking of decision-making units: A case study on seven biomass fuel briquettes generated from agricultural waste," *Decision Science Letters*, vol. 10, no. 1, pp. 79-92, 2021.
- [5] Y. Fan, B. Bai, Q. Qiao, P. Kang, Y. Zhang, and J. Guo, "Study on eco-efficiency of industrial parks in China based on data envelopment analysis," *Journal of Environmental Management*, vol. 192,

ประสิทธิภาพ ไกรลสม และ กัมปนาท ไชยเพชร, วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้ของเกมสำหรับการประเมินศักยภาพของวัสดุชีวมวลในการผลิตถ่านอัดแท่ง

บทความวิจัย (Research Article)

- pp. 107-115, 2017/05/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.048>.
- [6] T. R. Sexton, R. H. Silkman, and A. J. Hogan, "Data envelopment analysis: Critique and extensions," *New Directions for Program Evaluation*, vol. 1986, no. 32, pp. 73-105, 1986, doi: <https://doi.org/10.1002/ev.1441>.
- [7] J. Doyle and R. Green, "Efficiency and Cross-Efficiency in DEA: Derivations, Meanings and Uses," *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 45, no. 5, pp. 567-578, 1994, doi: [10.2307/2584392](https://doi.org/10.2307/2584392).
- [8] L. Liang, J. Wu, W. D. Cook, and J. Zhu, "The DEA Game Cross-Efficiency Model and Its Nash Equilibrium," *Operations Research*, vol. 56, no. 5, pp. 1278-1288, 2008.
- [9] ประสิทธิ์ ไกรลมสม และ นรงค์ วิชาพา, "การวัดประสิทธิภาพและจัดลำดับความสำคัญของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้วิธีประสิทธิภาพแบบไขว้เสมือน," *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 2, หน้า 230-246, 2022.
- [10] A. Charnes, W. W. Cooper, and E. Rhodes, "Measuring the efficiency of decision making units," *European Journal of Operational Research*, vol. 2, no. 6, pp. 429-444, 1978/11/01/ 1978, doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8).
- [11] A. Fazlollahi and U. Franke, "Measuring the impact of enterprise integration on firm performance using data envelopment analysis," *International Journal of Production Economics*, vol. 200, pp. 119-129, 2018.
- [12] J. Sun, J. Wu, and D. Guo, "Performance ranking of units considering ideal and anti-ideal DMU with common weights," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 37, no. 9, pp. 6301-6310, 2013.
- [13] C.-N. Wang, X.-T. Nguyen, and Y.-H. Wang, "Automobile industry strategic alliance partner selection: The application of a hybrid DEA and grey theory model," *Sustainability*, vol. 8, no. 2, p. 173, 2016.

การปรับปรุงค่าความเรียบผิวเหล็ก ST37 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยใช้เทคนิคทาคุชิ

สัมภาษณ์ หาญตั้ง¹, วรรณรพ ชันธิรัตน์¹, อามินท์ หล้าวงศ์^{1,*}, วราภรณ์ วโรรส¹ และ ไทยทัศน์ สุดสวนลี¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: amin.la@ksu.ac.th

(รับบทความ: 15 ตุลาคม 2566; แก้ไขบทความ: 31 ตุลาคม 2566; ตอรับบทความ: 31 ตุลาคม 2566)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งหมายที่จะศึกษาและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปเหล็ก ST37 ด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซีกลึงเพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านความเรียบผิวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการใช้งานและความทนทานของชิ้นงาน โดยวิธีทาคุชิในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผล มีปัจจัยที่นำมาพิจารณาทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และระยะป้อนลึก ในการออกแบบการทดลอง วิธีทาคุชิ L9 ได้ถูกนำมาใช้เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยและระดับต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ การทดลองได้ดำเนินการโดยวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานหลังจากการกลึง ในการวิเคราะห์ผล งานวิจัยได้ใช้การวิเคราะห์ค่า S/N ratio เพื่อวัดความผันผวนและความคงเส้นคงวาของกระบวนการ นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความสำคัญของแต่ละปัจจัยต่อค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในการขึ้นรูปเหล็ก ST37 ที่จะทำให้เกิดความเรียบผิวที่ดีที่สุด ผลการวิจัยพบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปเหล็ก ST37 คือ ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งพารามิเตอร์นี้ทำให้ได้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.984 ไมครอน ผลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในการผลิตชิ้นงานที่ต้องการความเรียบผิวที่ดี นอกจากนี้งานวิจัยยังสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ทำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดและเพิ่มความสามารถของการแข่งขันในอุตสาหกรรมได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซี ความเรียบผิว เทคนิคทาคุชิ เหล็ก ST37 การปรับปรุงกระบวนการ

การอ้างอิงบทความ: สัมภาษณ์ หาญตั้ง และคณะ, “การปรับปรุงค่าความเรียบผิวเหล็ก ST37 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยใช้เทคนิคทาคุชิ,” วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 5, หน้า 27-39, 2566.

บทความวิจัย (Research Article)

Optimizing the Surface Roughness of ST37 Steel using CNC Turning Machinery through the Taguchi Technique

Sampat Hantang¹, Wanrop Khanthirat¹, Amin Lawong^{1*}, Waraporn Warorot¹ and Thaitat Sudsuansee¹

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

* Corresponding Author: amin.la@ksu.ac.th

(Received: October 15, 2023; Revised: October 31, 2023; Accepted: October 31, 2023)

Abstract

This research aims to study and improve the forming process of ST37 steel using CNC turning machinery to enhance the surface quality of workpieces, which is a significant factor affecting their functionality and durability. The Taguchi method was employed for experimental design and result analysis, considering three variables: spindle rotation speed, feed rate of the turning tool, and cutting depth. In the experimental design, the L9 Taguchi array was utilized due to its effectiveness in analyzing the relationships between various factors and levels. Experiments were conducted by measuring the surface roughness of the workpieces post-turning. In result analysis, the S/N ratio was utilized to assess variability and process stability, along with Analysis of Variance (ANOVA) to examine the significance of each factor concerning the workpiece's surface roughness. The research findings indicate the optimal conditions for forming ST37 steel, achieving the smoothest surface quality, were a spindle rotation speed of 2000 RPM, a feed rate of the turning tool at 0.06 mm per rotation, and a cutting depth of 0.5 mm. These conditions yielded the best surface smoothness values 0.984 μm . The outcomes of this research can serve as guidelines for improving and developing the workpiece forming process in industries, particularly where superior surface smoothness is required. Moreover, the research can help reduce costs and enhance efficiency in the production process, enabling better market responsiveness and competitive advantages in the industry.

Keywords: CNC Turning, Surface Roughness, Taguchi Method, ST37 Steel, Process Optimization

Please cite this article as: S. Hantang, et al., "Optimizing the Surface Roughness of ST37 Steel using CNC Turning Machinery through the Taguchi Technique," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 1, no. 5, pp. 27-39, 2023.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

เทคโนโลยีการผลิตกลายเป็นสิ่งสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพของกระบวนการกลึงท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีที่มีความรวดเร็วและต่อเนื่อง การตกแต่งพื้นผิวของชิ้นงานที่เรียกว่าไม่ว่าเพียงเพิ่มความสวยงามเท่านั้นแต่ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของชิ้นส่วนที่ผลิตด้วย พื้นผิวที่มีคุณภาพมากขึ้นช่วยลดความต้านทานและเสียดทานมีผลให้ชิ้นส่วนมีความน่าเชื่อถือและความทนทานที่ดีขึ้นทั้งทางกลและเชิงกล

งานวิจัยที่น่าเสนอนี้มุ่งเน้นในด้านความพยายามในการปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวของเหล็กชนิด ST37 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความเกี่ยวข้องมากในภาคการผลิต การสร้างความมั่นใจในความแข็งแรงและพื้นผิวที่มีคุณภาพดีเป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานที่หลากหลายตั้งแต่การก่อสร้างไปจนถึงอุตสาหกรรมยานยนต์ มีขอบเขตการศึกษากระบวนการกลึง CNC ซึ่งเป็นเทคนิคการผลิตที่มีความแม่นยำและความสม่ำเสมอ การกลึง CNC เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่ซับซ้อนและได้คุณภาพที่ดี ซึ่งจำเป็นสำหรับการตอบสนองต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมสมัยใหม่โดยใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีทาคุชิ (Taguchi Technique) ที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย เทคนิคนี้ได้รับการยกย่องในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการโดยช่วยวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการ การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาปัจจัยของการตัดเฉือนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความเรียบผิวที่ดีในชิ้นงานเหล็ก ST37 ผ่านการทดลองอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคของการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทาคุชิ การศึกษานี้พยายามที่จะอธิบายให้ครอบคลุมเกี่ยวกับอิทธิพล

ของปัจจัยและผลกระทบโดยรวมของค่าความเรียบผิวของชิ้นงานกลึง

ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง Rathod et al. [1] ใช้วิธีทาคุชิ (Taguchi Technique) ร่วมกับ ANOVA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ เช่น อายุการใช้งานของเครื่องมือ ค่าความเรียบของพื้นผิวและเวลาในการผลิตในกระบวนการกลึง CNC การวิจัยของพวกเขาให้แนวทางที่มีโครงสร้างเพื่อทำความเข้าใจอิทธิพลของปัจจัยการกลึงต่าง ๆ ที่มีต่อผลลัพธ์โดยนำเสนอข้อมูลเชิงลึกสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานและคุณภาพของชิ้นงานในกระบวนการกลึง [1]

การศึกษาอื่นโดย Kam [2] มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องมือและค่าความเรียบของพื้นผิวในระหว่างการกลึงตัวอย่างเหล็ก อลูมิเนียมโดยใช้วิธีทาคุชิ (Taguchi Technique) เพื่อแยกแยะปัจจัยการตัดเฉือนที่เหมาะสมที่สุด การวิจัยนี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ เช่น อัตราการป้อนและความเร็วในการตัดที่มีอิทธิพลต่อค่าความเรียบของพื้นผิวและการสั่นสะเทือนของเครื่องมือ ซึ่งให้ความรู้ที่จำเป็นสำหรับการปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวในการกลึง [2]

นอกจากนี้การศึกษาที่ดำเนินการโดย Susac et al. [3] ได้เจาะลึกถึงการเพิ่มประสิทธิภาพและการทำนายค่าความเรียบของพื้นผิวและแรงตัดในการกลึงของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE) การใช้วิธีทาคุชิควบคู่ไปกับวิธีการวิเคราะห์อื่น ๆ การศึกษาได้แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลและผลกระทบของพวกเขาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในปัจจัยที่เอื้อต่อคุณภาพพื้นผิว [3]

การศึกษานี้เกี่ยวข้องนี้เป็นพื้นฐานและวิธีการที่ใช้ในการวิจัยซึ่งเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพปัจจัยเพื่อปรับปรุงความเรียบผิวของ

บทความวิจัย (Research Article)

ชิ้นงานเหล็ก ST37 ในกระบวนการกลึง (CNC Lathe) ในการพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และระยะป้อนลึก โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ

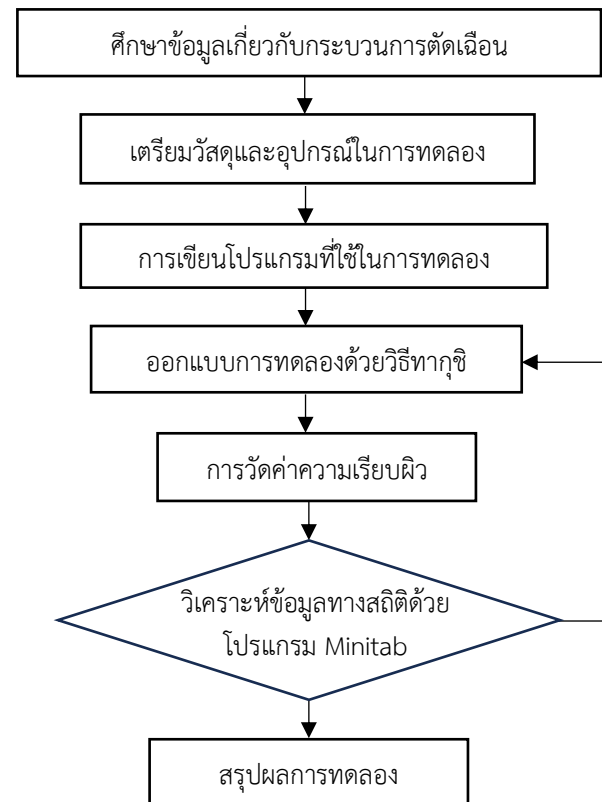
2. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการขึ้นรูปเหล็ก ST37 โดยใช้เครื่องจักรซีเอ็นซี (CNC Lathe) ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ (Taguchi Technique) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังรูปที่ 1

2.1 ศึกษาข้อมูลกระบวนการตัดเฉือนวัสดุ

การตัดเฉือนชิ้นงานโดยการเคลื่อนที่ของมีดตัดเข้าไปในเนื้อชิ้นงานและแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไปเป็นเศษตัด เนื้อวัสดุจะถูกมีดตัดดันจนเกิดความเค้นเกินจุดเสียรูปอย่างถาวรของวัสดุ (Plastic Deformation) และหลุดออกไป ในบางกรณีในวัสดุกลุ่มโลหะ อุดหนุนในบริเวณนี้จะสูงหลายร้อยองศาเซลเซียส เกินกว่าที่วัสดุมีดตัดที่ใช้กันในอดีตเช่น HSS จะรับภาระที่เกิดขึ้นได้ ทำให้เกิดการพัฒนาวัสดุคมตัดชนิดใหม่ ๆ ออกมา กลไกดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบมีดตัด การใช้ความเร็วตัดและวัสดุคมตัดรุ่นใหม่ ๆ ในปัจจุบัน

การตัดเฉือนโลหะได้นั้นวัสดุของมีดตัดต้องมีความแข็งมากกว่าวัสดุชิ้นงานค่อนข้างมาก อีกทั้งยังต้องทนต่อความร้อนที่เกิดจากการตัดเฉือนได้ดีด้วย ยิ่งวัสดุงานมีความแข็งมากเท่าไรยิ่งต้องใช้แรงในการตัดเฉือนมาก หากมีดกลึงไม่แข็งพอก็จะเกิดการสึกหรอ (Wear) อย่างรวดเร็ว ซึ่งต้องมีการใช้เทคโนโลยีด้านวัสดุและการเคลือบมีดตัด



รูปที่ 1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

มีดเครื่องมือตัดได้นำมาใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการตัดเฉือนให้ดีขึ้นอย่างมาก ทำให้ความเร็วในการตัดเฉือนทำได้สูงขึ้น อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดยาวนานขึ้น ส่งผลทำให้ผลิตชิ้นงานได้รวดเร็วขึ้น และต้นทุนของเครื่องมือตัดลดลง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้มีดมีดคาร์ไบด์ รหัส DCMT11T304 มีรูปทรง D หรือทรงเพชร มุม 55° ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการกลึงปอกของวัสดุเหล็กเกรด ST37

2.2 เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

การทดลองนี้ได้ใช้วัสดุทดลองเหล็กเหนียว ST37 ซึ่งเป็นเหล็กที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

บทความวิจัย (Research Article)

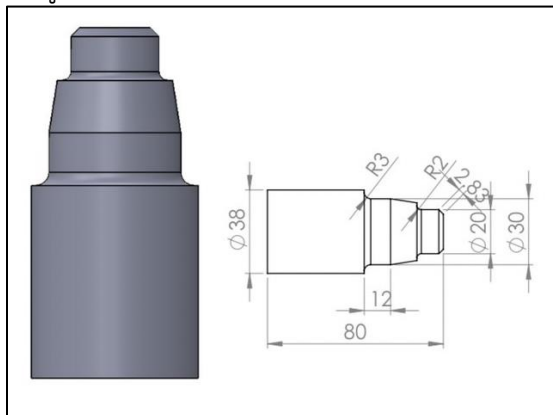
ในงานอุตสาหกรรม เช่น การผลิตโครงสร้างเหล็ก สำหรับอาคาร การผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ และการผลิตเครื่องจักร เป็นต้น นำมาเข้าเครื่องกลึง CNC ยี่ห้อ (Optimum) รุ่น L33HS ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องกลึงซีเอ็นซีและการติดตั้งวัสดุ

2.2.1 แบบที่ใช้สำหรับการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงแบบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

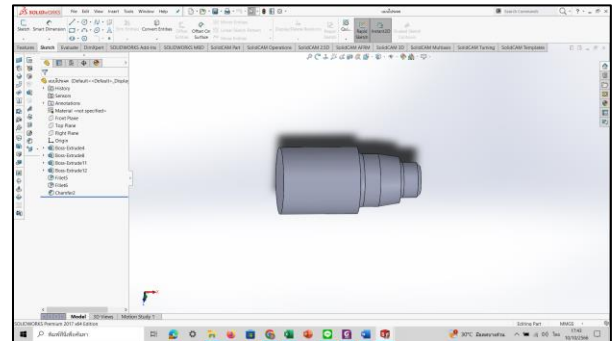


รูปที่ 3 แบบชิ้นงานที่ใช้สำหรับการทดลอง

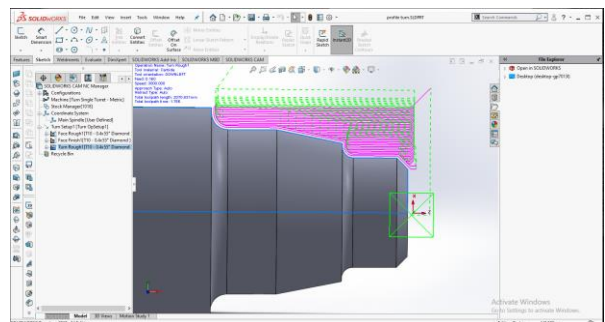
2.3 การเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองผู้วิจัยได้ใช้ออกแบบ ด้วยโปรแกรม Solidworks และทำการจำลองขึ้นรูป ชิ้นงานการผลิตด้วยโปรแกรม SolidCAM ดังรูปที่ 4,

5 ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการ Generate ออกมา เป็น G-Code และนำไปใส่ในเครื่องกลึงซีเอ็นซี และ นำไปทำการขึ้นรูปของชิ้นงานเป็นลำดับถัดไป



รูปที่ 4 ออกแบบชิ้นงานโดยโปรแกรม Solidworks



รูปที่ 5 จำลองการผลิตด้วยโปรแกรม SolidCAM

2.4 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ

เนื่องจากการพัฒนาทางด้านวัสดุวิศวกรรมที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสูงขึ้นส่งผลให้การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีเป็นไปได้ยาก ผู้วิจัยจึงได้หาวิธีการที่เหมาะสมของระดับตัวแปร โดยทำการทดลองเบื้องต้นจากอ้างอิงของกลุ่มที่มีความใกล้เคียงกับชนิดของชิ้นงานและความสามารถของเครื่องกลึงซีเอ็นซีเพื่อให้ได้ลักษณะเฉพาะของการกลึงชิ้นงานตามต้องการ โดยมีค่าอ้างอิงของระดับ

บทความวิจัย (Research Article)

ความเร็วรอบของหัวจับ 2,000 รอบต่อนาที ระดับอัตราการป้อนของมีดกลึง 0.11 มิลลิเมตรต่อรอบ และระดับการป้อนลึก 0.3 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ โดยแบ่งปัจจัยต่างออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และระยะป้อนลึก ดังตารางที่ 1 และทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ โดยทำการทดลองทั้งหมด 9 การทดลอง (L9) เพื่อศึกษาผลของค่าความเรียบผิว (Ra)

ตารางที่ 1 ตัวแปรและระดับที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยควบคุม	ระดับการทดลอง		
	1	2	3
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	1000	2000	3000
อัตราการป้อน (มม.ต่อรอบ)	0.06	0.11	0.16
ระยะป้อนลึก (มม.)	0.1	0.3	0.5

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ L-9 (3^3) Orthogonal Array

ลำดับการทดลอง	ปัจจัยควบคุม			Min
	ความเร็วรอบ	อัตราการป้อน	ระยะป้อนลึก	Ra (μm)
1	1000	0.06	0.1	
2	1000	0.11	0.3	
3	1000	0.16	0.5	
4	2000	0.06	0.3	
5	2000	0.11	0.5	
6	2000	0.16	0.1	
7	3000	0.06	0.5	
8	3000	0.11	0.1	

ลำดับการทดลอง	ปัจจัยควบคุม			Min
	ความเร็วรอบ	อัตราการป้อน	ระยะป้อนลึก	Ra (μm)
9	3000	0.16	0.3	

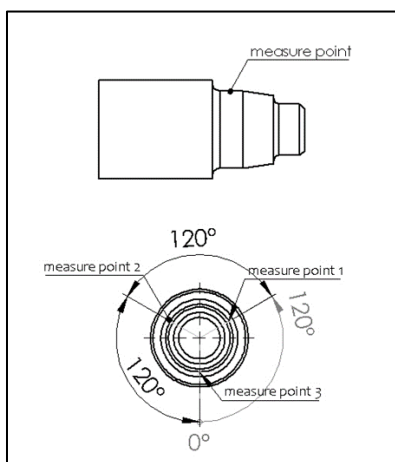
2.5 การวัดค่าความเรียบผิว

ในการวัดค่าความเรียบผิวผู้วิจัยได้ทำการวัดความเรียบผิวด้วยเครื่อง Profilo Meter ยี่ห้อ Mitutoyo Surf test SV – 3100 WB6163-460-0001/1 ดังแสดงในรูปที่ 6 ในการวัดความเรียบผิวของชิ้นงานนั้น จะทำการวัดชิ้นงานทั้งหมด 9 ชิ้น และเงื่อนไขในการกลึง 9 เงื่อนไข แล้วทำการวัดค่าความเรียบผิวของแต่ละชิ้น ทั้งหมด 3 จุด ดังรูปที่ 7 โดยในแต่ละจุดทำการวัด 2 ซ้ำ



รูปที่ 6 เครื่องวัดความเรียบผิว Profilo Meter

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 7 ตำแหน่งการวัดความเรียบผิว 3 จุด

2.6 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab

2.6.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรด้วยวิธี ทากุชิ

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองการขึ้นรูปชิ้นงาน ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีนี้ ผู้วิจัยได้นำเอาค่าความเรียบผิวมาทำการวิเคราะห์สัญญาณรบกวน (S/N Ratios) โดยค่าความเรียบผิวที่พิจารณาที่ “ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี” Smaller is better คือค่าที่ดีที่สุดดังสมการที่ 1

$$S / N = -10 \log \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \quad (1)$$

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยในการทดลองด้วยเทคนิคทากุชิ สามารถทำการเปรียบเทียบผลของการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีได้ และสามารถนำเอาผลจากการวิเคราะห์มาใช้ในการกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิรูปที่ดีในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี การวิเคราะห์ปัจจัยใน

การทดลองด้วยวิธีทากุชิ โดยการใช้โปรแกรม Minitab 18

2.6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย (ANOVA)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยการทดลองที่ส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรในขั้นตอนถัดไป โดยในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้กำหนดปัจจัยในการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เป็นเทคนิคสถิติที่ใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ โดยการแยกความแปรปรวนออกเป็นส่วนตัวอย่าง เพื่อหาค่า F-statistic และทำการสรุปผลว่าความแตกต่างนี้มีความสำคัญหรือไม่ในการวิเคราะห์ข้อมูล ภายใน ANOVA มีสมการสำคัญที่เกี่ยวข้องดังนี้

S_i เป็นจำนวนของตัวอย่างในกลุ่มที่

S_n เป็นรวมของจำนวนตัวอย่างในทุกกลุ่ม

X_{ij} เป็นค่าของตัวแปรตามที่ i และ j (i คือ

หมายเลขกลุ่ม, j คือหมายเลขตัวอย่าง)

$\bar{X}_i$ เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ i

$\bar{X}$ เป็นค่าเฉลี่ยรวมของข้อมูลทั้งหมด

สมการ ANOVA สำหรับวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มจะมีดังนี้

$$SSB = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \quad (2)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \quad (3)$$

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (4)$$

บทความวิจัย (Research Article)

โดยที่

k คือจำนวนกลุ่ม

SSB คือ ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม
(Between-group sum of squares)

SSE คือความแปรปรวนในกลุ่ม (Within-group
sum of squares)

SST คือความแปรปรวนทั้งหมด (Total sum of
squares)

หลังจากนั้นเราคำนวณค่า F-statistic ด้วย
สมการ

$$F = \frac{MSB}{MSE} \quad (5)$$

โดยที่

$$MSB = \frac{SSB}{k-1} \quad (6)$$

คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

$$MSE = \frac{SSE}{n-k} \quad (7)$$

คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนในกลุ่ม

สุดท้ายทำการทดสอบค่า F-statistic ด้วยการ
เปรียบเทียบกับค่าคาดหวังจากการสุ่ม (Critical
value) หรือด้วยการคำนวณ p-value เพื่อตัดสินใจ
ว่าความแตกต่างระหว่างกลุ่มมีความสำคัญหรือไม่ใน
ระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ (อย่างมากใช้ระดับ
นัยสำคัญ 0.05) การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้
โปรแกรม Minitab 18

2.6.3 การทำนายผลค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีทากูชิ

ในการทำนายผลด้วยวิธีทากูชิ ผู้วิจัยได้ทำการ
หาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคทากูชิ และจาก

งานวิจัยของ Mandal [4] ได้แสดงสมการในการหา
ค่าความเรียบผิวในสมการที่ 8

$$Ra_{opt} = (S_a - T_{Ra}) + (F_b - T_{Ra}) + (D_c - T_{Ra}) + T_{Ra} \quad (8)$$

โดยที่

S = ความเร็วรอบ

F = อัตราการป้อน

D = ระยะป้อนลึก

a, b, c, d, e, f คือ ระดับของปัจจัยที่ดีที่สุด

T_{ra} ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองของค่าความเรียบ
ผิว (Ra) ทุกค่า

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงงาน
ด้วยวัสดุเหล็กเหนียว ST37 ซึ่งใช้ความเร็วรอบ
1,000 2,000 และ 3,000 เมตรต่อนาที อัตราป้อน
มีดที่ 0.06, 0.11 และ 0.16 มิลลิเมตรต้อรอบ และ
กำหนดความลึกของการกลึงที่ 0.1, 0.3 และ 0.5
มิลลิเมตรซึ่งทำการทดลองโดยใช้วิธีการทางสถิติ
สำหรับการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผล
ด้วยโปรแกรม Minitab 18 แล้วทำการวัดค่าความ
เรียบผิวชิ้นงาน (Ra) ของเหล็กเหนียว ST37

3.1 ผลการวัดค่าความเรียบผิว

ในการวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานนั้น ผู้วิจัย
ทำการวัดชิ้นงานทั้งหมด 9 ชิ้น ซึ่งในการวัดค่าความ
เรียบผิวจะวัดอยู่ 3 จุด ซึ่งแต่ละจุดจะทำการวัดซ้ำ 2
ซ้ำ และค่าที่ได้ทำการจดบันทึกลงในตารางที่ 1

3.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรด้วยวิธีทาคูชิ

ค่าความเรียบพื้นผิว (Ra) ได้ถูกวัดผ่านการออกแบบทดลองสำหรับแต่ละปัจจัยควบคุมโดยใช้เทคนิคทาคูชิ โดยการปรับปรุงปัจจัยควบคุมที่วัดได้ถูกนำเสนอในรูปแบบอัตราสัญญาณต่อเสียง (S/N) ค่าที่ต่ำที่สุดของความเรียบผิวเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และลดค่าในการผลิต ดังนั้นสมการ ยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is

better) ถูกใช้ในการคำนวณอัตราสัญญาณต่อเสียง (S/N) ในตารางที่ 2 แสดงค่า S/N ratios สำหรับการสังเกตความเรียบของพื้นผิว (Ra) ที่ดีที่สุดของการทดสอบด้วยการกลึง (CNC Lathe) ค่าเฉลี่ยของความเรียบผิวถูกคำนวณเป็น 1.776 ไมครอน ค่าเฉลี่ยของอัตราสัญญาณต่อเสียง (S/N) สำหรับความเรียบผิว (Ra) ถูกคำนวณเป็น -4.7129 dB การวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยควบคุม (ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และระยะป้อนลึก) ต่อความเรียบของ

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าความเรียบของผิว (Ra)

ลำดับที่	ความเร็วรอบ	อัตราการป้อน	ระยะป้อนลึก	ค่าเฉลี่ยจุดที่ 1	ค่าเฉลี่ยจุดที่ 2	ค่าเฉลี่ยจุดที่ 3	ค่าเฉลี่ยทั้ง 3 จุด
1	1000	0.06	0.1	1.920	1.650	1.690	1.690
2	1000	0.11	0.3	1.695	1.696	1.910	1.699
3	1000	0.16	0.5	1.852	1.822	1.835	1.835
4	2000	0.06	0.3	1.129	1.053	1.207	1.129
5	2000	0.11	0.5	1.283	1.248	1.257	1.257
6	2000	0.16	0.1	2.494	2.447	2.327	2.447
7	3000	0.06	0.5	1.387	1.460	1.432	1.432
8	3000	0.11	0.1	2.118	2.153	2.157	2.153
9	3000	0.16	0.3	2.350	2.320	2.344	2.344
ค่าเฉลี่ยทุกการทดลอง							1.776

พื้นผิวได้รับการดำเนินการด้วยตาราง ‘S/N response table’ แสดงในตาราง 3 ตารางนี้ที่สร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคทาคูชิ แสดงระดับควบคุมที่เหมาะสมสำหรับค่าความเรียบพื้นผิวที่เหมาะสม ค่าระดับของตัวแปรควบคุมสำหรับ ความเรียบผิว (Ra) ที่ระบุในตาราง 3 และกราฟในรูปที่ 8 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยควบคุมสำหรับการลดค่าความเรียบผิวสามารถหาได้ง่ายจากกราฟเหล่านี้ ระดับที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละปัจจัยควบคุมถูก

พบโดยใช้อัตราสัญญาณต่อเสียงสูงสุดในระดับของปัจจัยควบคุมนั้น ระดับและค่า S/N ratios สำหรับปัจจัยที่ให้ค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ดีที่สุดได้รับการระบุเป็นปัจจัยความเร็วรอบ ที่ระดับ 2 มีค่า S/N ratios = -3.604 ปัจจัยอัตราการป้อน ที่ระดับ 1 มีค่า S/N ratios = -2.908 และ ปัจจัยระยะป้อนลึก ที่ระดับ 3 มีค่า S/N ratios = -3.458 กล่าวคือค่าความเรียบผิว (Ra) ที่เหมาะสมสูงสุดได้จากพารามิเตอร์ ความเร็วรอบ (Speed₂) ที่ 2,000 รอบ

บทความวิจัย (Research Article)

ต่อนาที ที่อัตราการป้อน ($Feed_1$) 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะป้อนลึก ($Depth_3$) 0.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 8

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย (ANOVA)

เป็นวิธีการสถิติที่ใช้ในการกำหนดผลกระทบแต่ละอันดับของตัวแปรควบคุมทั้งหมดในการออกแบบการทดลอง ในการวิจัยนี้ ANOVA ถูกใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของความเร็รรอบ อัตราการป้อนมี และระยะป้อนลึกของชิ้นงาน ผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับค่าความเรียบผิวแสดงในตาราง 4 การวิเคราะห์นี้ถูกดำเนินการที่ระดับ

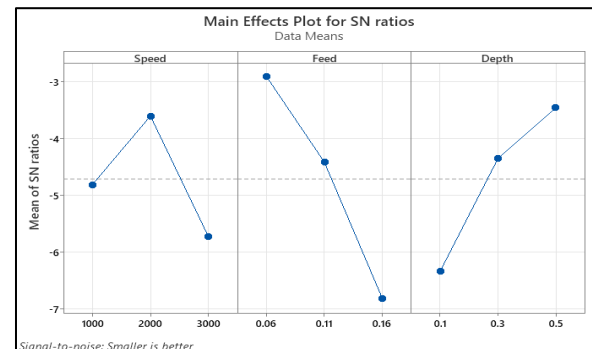
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรด้วยวิธีทาคุชิ ของค่าความเรียบผิว (R_a)

ลำดับ	Speed	Feed	Depth	ความเรียบผิว R_a	S/N Ratios for R_a
1	1000	0.06	0.1	1.690	-4.555
2	1000	0.11	0.3	1.699	-4.601
3	1000	0.16	0.5	1.835	-5.272
4	2000	0.06	0.3	1.129	-1.053
5	2000	0.11	0.5	1.257	-1.986
6	2000	0.16	0.1	2.447	-7.770
7	3000	0.06	0.5	1.432	-3.115
8	3000	0.11	0.1	2.153	-6.660
9	3000	0.16	0.3	2.344	-7.399
เฉลี่ย				1.776	-4.712

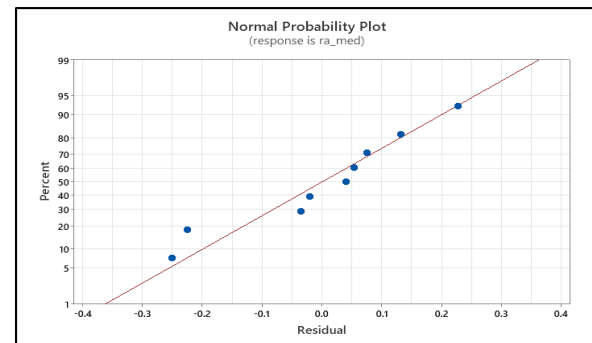
ตารางที่ 3 ตารางผลตอบแทน S/N Ratios ของค่าความเรียบผิว (R_a)

Response Table for Signal to Noise Ratios			
Smaller is better			
Level	Speed	Feed	Depth
1	-4.81	-2.908	-6.329

Response Table for Signal to Noise Ratios			
Smaller is better			
2	-3.604	-4.416	-4.351
3	-5.725	-6.814	-3.458
Delta	2.121	3.906	2.871
Rank	3	1	2



รูปที่ 8 กราฟแสดงผลตอบสนอง S/N Ratios ของค่าความเรียบผิว (R_a)



รูปที่ 9 กราฟแสดงการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability) ของค่าความเรียบผิว (R_a)

ระดับความเชื่อมั่น 95% ความสำคัญของตัวแปรควบคุมใน ANOVA ถูกกำหนดโดยการเปรียบเทียบค่า P ของแต่ละตัวแปร ค่า P-value มี

บทความวิจัย (Research Article)

หน้าที่ในการประเมินความสำคัญของค่า F-statistic หรือค่า F ที่ได้จากการทดสอบ ANOVA ว่ามันมีค่ามากพอที่จะสรุปว่ามีผลกระทบจริง ๆ ของตัวแปรควบคุมต่อตัวแปรตามหรือไม่ ถ้าค่า P-value น้อยกว่าระดับความสำคัญที่กำหนด (ตั้งแต่ 0.05 หรือน้อยกว่า) แปลว่ามีความสำคัญทางสถิติ จากตาราง 4 พบว่าค่า P-value ของตัวแปร อัตราการป้อน (Feed) และระยะป้อนลึก (Depth) มีผลต่อความเรียบผิว โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และตารางที่ 5 แสดงค่าความเชื่อมั่นของข้อมูลการทดลอง R-sq เท่ากับ 88.76% และสมการทำนายความเรียบผิว ดังสมการที่ 9

ดังนั้นตัวแปรที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อความเรียบผิวคือ อัตราการป้อนมีดกลึง (Feed) รองลงมาคือระยะป้อนลึก (Depth) ในกราฟรูปที่ 9 แสดงการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability) ของค่าความเรียบผิว (Ra)

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความเรียบผิว (Ra)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	1.54273	0.51424	13.16	0.008
Speed	1	0.08284	0.08284	2.12	0.205
Feed	1	0.94010	0.94010	24.06	0.004
Depth	1	0.51979	0.51979	13.30	0.015
Error	5	0.19537	0.03907		
Total	8	1.73811			

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์สมการถดถอยของค่าความเรียบผิว (Ra)

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.197672	88.76%	82.02%	57.73%

$$\text{สมการสัมประสิทธิ์การถดถอยทำนายความเรียบผิว (Ra)} \quad Ra = 1.112 + 0.000117 * \text{Speed} + 7.92 * \text{Feed} - 1.472 * \text{Depth} \quad (9)$$

3.2.3 การทำนายผลค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีทากูชิ

ในการทำนายผลค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีทากูชินั้นทางผู้วิจัยใช้สมการที่ 8 สำหรับหาค่าที่เหมาะสมของค่าความเรียบผิว (Ra) มีค่า 0.984 ไมครอน (μm) ซึ่งค่าที่คำนวณได้จากผลการทดลองถูกนำมาแสดงในตารางผลตอบสนอง Means สำหรับค่าความเรียบผิว (Ra) ตารางที่ 6 และเมื่อนำไปแทนในสมการที่ 8 จะได้ค่าของความเรียบผิวจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ ที่ความเร็วรอบของหัวจับ 2,000 รอบต่อนาที อัตราการป้อนมีดกลึง 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะกินลึก 0.5 มิลลิเมตรต่อ โดยค่าที่คำนวณได้ถูกแสดงไว้ใน ตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ตารางผลตอบสนอง Means สำหรับค่าความเรียบผิว (Ra)

Level	ความเร็วรอบ	อัตราการป้อน	ระยะป้อนลึก
1	1.741	1.417	2.096
2	1.611	1.703	1.724
3	1.976	2.208	1.508
Delta	0.365	0.792	0.589
Rank	3	1	2

ตารางที่ 7 การพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของค่าความเรียบผิว (Ra) ด้วยวิธีทากูชิ

พารามิเตอร์ที่เหมาะสม	ค่าที่คำนวณได้
S_2	2000
F_1	0.06
D_3	0.5
T_{Ra}	1.776
$S_2 - T_{Ra}$	1.611

บทความวิจัย (Research Article)

พารามิเตอร์ที่เหมาะสม	ค่าที่คำนวณได้
F_1-T_{Ra}	1.417
D_3-T_{Ra}	1.508
Ra_{opt}	0.984

* หมายเหตุ สมการที่ใช้ในการคำนวณ (4)

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มุ่งหมายที่จะศึกษาและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปเหล็ก ST37 โดยใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีกลึง (CNC Lathe) เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านความเรียบผิวของชิ้นงาน เนื่องจากความเรียบผิวเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการใช้งานและความทนทานของชิ้นงาน การวิจัยนี้ใช้วิธีทากูชิในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผล โดยพิจารณาปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ หัวจับที่ 1,000 2,000 และ 3,000 เมตรต่อนาที อัตราป้อนมีดที่ 0.06, 0.11 และ 0.16 มิลลิเมตรต่อรอบ และกำหนดความลึกของการกลึงที่ 0.1, 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร การทดลองได้ดำเนินการโดยวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานหลังจากการกลึง ในการวิเคราะห์ผล งานวิจัยใช้การวิเคราะห์ค่า S/N ratios เพื่อวัดความผันผวนและความคงเส้นคงวาของกระบวนการ นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความสำคัญของแต่ละปัจจัยต่อค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร ในการขึ้นรูปเหล็ก ST37 ที่จะทำให้ได้ความเรียบผิวที่ดีที่สุดอยู่ที่ 0.984 ไมครอน ผลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในการผลิตชิ้นงานที่ต้องการ

ความเรียบผิวที่ดี นอกจากนี้ งานวิจัยยังสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ทำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดในด้านคุณภาพและเพิ่มความสามารถของการแข่งขันในอุตสาหกรรมได้ดียิ่งขึ้น

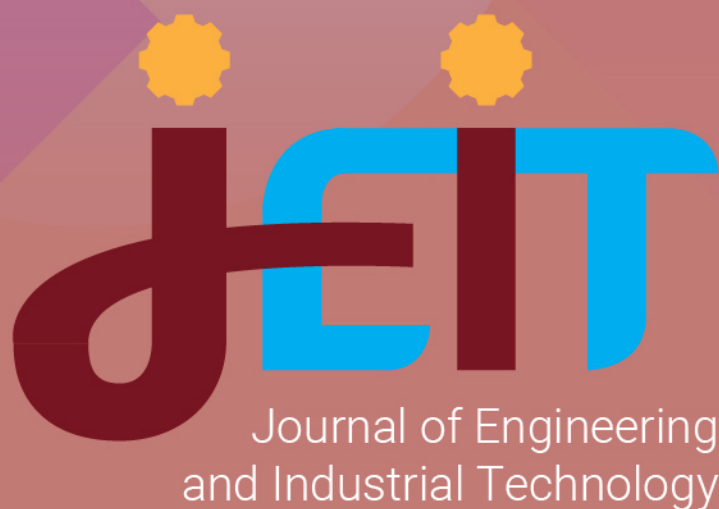
5. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Rathod, M. Chopra, P. Chaurasiya, and U. S. Vidhate, "Optimization of Tool Life, Surface Roughness and Production Time in CNC Turning Process Using Taguchi Method and ANOVA," *Annals of Data Science*, vol. 10, 2022, doi: 10.1007/s40745-022-00423-7.
- [2] K. M and D. M., "Analysis of tool vibration and surface roughness during turning process of tempered steel samples using Taguchi method," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, vol. 235, no. 5, pp. 1429-1438, 2021, doi: 10.1177/09544089211001976.
- [3] F. Susac, F. Stan, C. Fetecau, and I. Besliu, "Prediction and Optimization of Surface Roughness and Cutting Force in Turning of UHMWPE by Using Taguchi Method, Response Surface Methodology and Neural Networks," in *Proceedings of the ASME 2020 15th International Manufacturing Science and Engineering Conference. Volume 2: Manufacturing*

บทความวิจัย (Research Article)

*Processes; Manufacturing Systems;
Nano/Micro/Meso Manufacturing;
Quality and Reliability, Virtual, Online,
September 3, 2020: ASME, p.
V002T06A035, doi:
<https://doi.org/10.1115/MSEC2020-8534>.*

- [4] N. Mandal, B. Doloi, B. Mondal, and R. Das, "Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) cutting tool: taguchi method and regression analysis," *Measurement*, vol. 44, pp. 2149– 2155, 2011.



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