

**Journal of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University**

วารสารวิศวกรรม และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Journal of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 (2023)

มีนาคม - เมษายน 2566

ISSN 2985 0274 (Print)

ISSN 2985 0282 (Online)



กำหนดการเผยแพร่

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University
ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 (มีนาคม - เมษายน 2566)

Vol. 1 No. 2 (March – April 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 ประเมษฐานวัฒน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

รองศาสตราจารย์ ดร.สกุลดล วรณปะเข

พระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.สัจจากาจ จอมโนนเขวา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหลาหา

พระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศานาถ แก้ววินิต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว วัฒนกลาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ แสงผ่อง

วิทยาเขตขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศณุ ชัยจิตวิมลกุล

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา กิตติเลิศไพศาล

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุร ดวงอุปมา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ วิชาพา

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑนา ทองสุพล

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยณัฐ โตอ่อน

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ดร.อัจฉรา ชุมพล

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ดร.วรพจน์ สมมูล

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ดร.ไทยทัศน์ สุดสวนสี

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

ทีมจัดการบทความและรูปแบบ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ วิชาพา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกตุร ดวงอุปมา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี อนุชา ศรีบุรัมย์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

4. ดร.อัจฉรา ชุมพล

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

5. ดร.สาววลี อุดรา

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

6. 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 2 เดือนมีนาคม – เมษายน 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	
ผลของแป้งและความร้อนต่อคุณลักษณะและสมบัติของถ่านอัดแท่ง	1-7
วริยะ แดงทน อารยันต์ วงษ์นิยม กัณตภณ เปรมประยูร วีรยุทธ จีเพชร และสุกัญญา ทองโยธี	
ผลของชนิดชีวมวลต่อการบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง	8-17
ด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน	
ภาณุวัฒน์ บุญตาท้าว สุวิพงษ์ เหมะธูลิน และศรัลลักษณ์ พวงใบดี	
การเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ	18-30
สำหรับกลุ่มโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์	
อนุชา ศรีบุรัมย์ วราภรณ์ วโรส ชนภรณ์ ณ กาฬสินธุ์ วรรณรพ ชันธิรัตน์ และประสิทธิ์ ไกรลมสม	
การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งปลาโดยใช้วิธีตากูชิ	31-43
สุรัชย์ นามพรมมา ราชัญ อุดมคำ ศุภกิจ เคิกศิริ และอามิณห์ หล้าวงศ์	
การตัดสินใจเลือกรูปแบบโครงงานวิทยาศาสตร์	44-51
ลำดับชั้น กรณีศึกษาโรงเรียนอนุกุลนารี	
มัลลิกา อุทร์ักษ์ และอามิณห์ หล้าวงศ์	

ผลของแป้งและความร้อนต่อคุณลักษณะและสมบัติของถ่านอัดแท่ง

วิริยะ แดงทน^{1,*}, อารยันต์ วงษ์นิยม¹, กัณตภณ เปรมประยูร¹, วีรยุทธ จีไพพร¹, และสุกัญญา ทองโยธี¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: Wiriadangton@gmail.com โทรศัพท์: 085-0116135

(รับบทความ: 28 มีนาคม 2566; แก้ไขบทความ: 18 เมษายน 2566; ตอรับบทความ: 28 เมษายน 2566)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังและความร้อนต่อคุณลักษณะและสมบัติของถ่านอัดแท่ง โดยศึกษาการอัดถ่านแท่งในเครื่องแบบเกลียว กรณีผสมแป้งมันสำปะหลังใช้อัตราส่วน 1:1 สำหรับกรณีให้ความร้อนกระบอกลอดถ่าน คือ 200 องศาเซลเซียส ผลการวิจัย พบว่า กรณีผสมแป้งและให้ความร้อนกับกระบอกลอดถ่านอัดแท่งส่งผลให้ผิวถ่านเรียบเนียนเป็นมันวาวและไม่แตกร้าว มีค่าความร้อนสูง 27 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และความชื้นค่อนข้างต่ำร้อยละ 10.9 โดยน้ำหนัก แต่หากต้องการลดความชื้นและเพิ่มค่าความร้อนให้กับถ่านอัดแท่งมากกว่านี้ควรเลือกกรณีไม่ผสมแป้งและให้ความร้อน เพราะมีความชื้นต่ำสุดร้อยละ 8.9 โดยน้ำหนัก และค่าความร้อนสูงสุด 28.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม แป้งมันสำปะหลังที่ผสมในผงถ่านแล้วนำไปอัดสามารถช่วยเพิ่มความร้อนระหว่างการอัดถ่านและเพิ่มความหนาแน่นได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้ถ่านที่ผ่านการอัดแท่งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ถ่าน ถ่านอัดแท่ง ความร้อน

การอ้างอิงบทความ: วิริยะ แดงทน และคณะ, "ผลของแป้งและความร้อนต่อคุณลักษณะและสมบัติของถ่านอัดแท่ง," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 1-7, 2566.

Effects of Starch and Heat on the Characteristics and Properties of Charcoal Briquettes

Wiriya Dangton^{1,*}, Arayan Wongniyom¹, Kantapon premprayoon¹, Veerayut Jeepetch¹, and Sukanya Thongyothee¹

¹Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Isan Khonkean campus

* Corresponding Author: WiriyaDangton@gmail.com, Tel: 085-0116135

(Received: March 28, 2023; Revised: April 18, 2023; Accepted: April 28, 2023)

Abstract

This research aims to study the effects of tapioca starch and heat on the characteristics and properties of charcoal briquettes. The study of charcoal briquettes in a spiral machine used in the case of mixing powder was done in a ratio of 1:1 for the case of heating the charcoal briquettes at 200°C. The results of the research found that mixing powder and heating with a charcoal briquette cylinder resulted in smooth, shiny, and non-cracking charcoal surfaces. It has a high calorific value of 27 MJ/kg and a relatively low humidity of 10.9%. But if you want to reduce moisture and increase the heating value of charcoal briquettes more, it should be chosen instead of mixing powder and heating. Because it has the lowest moisture content of 8.9 percent by weight and the highest heat value of 28.4 MJ/kg. However, tapioca starch mixed with charcoal powder and pressed can clearly increase the heat during charcoal pressing and increase the density. As a result, the pressed charcoal has an increased heating value.

Keywords: Charcoal, Charcoal briquettes, Heat

Please cite this article as: W. Dangton, et al., "Effects of Starch and Heat on the Characteristics and Properties of Charcoal Briquettes," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, KSU*, vol. 1, no. 2, pp. 1-7, 2023.

1. บทนำ

ถ่านเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาไม้หรือเศษไม้ที่อุณหภูมิต่ำและระยะเวลาคงอยู่ยาวนาน [1, 2] โดยทั่วไปถ่านที่ได้มีค่าความร้อนประมาณ 25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [3] ซึ่งต่อมาได้มีการศึกษาการนำถ่านมาบดละเอียดแล้วนำไปอัดเป็นแท่ง จนมีการสร้างเครื่องอัดถ่านแท่งขายในเชิงพาณิชย์ พบว่า ถ่านอัดแท่งสามารถเผาให้ร้อนได้ยาวนานมากกว่าถ่านที่ไม่ได้อัดแท่งประมาณ 3 เท่า [4] โดยเครื่องอัดถ่านแท่งที่จำหน่ายในปัจจุบัน ประกอบด้วย เครื่องอัดถ่านแบบลูกสูบ [5] เครื่องอัดถ่านแบบเกลียว [6, 7] และเครื่องอัดถ่านหมุนอัดเพลาคู [8] ซึ่งที่กล่าวมาเครื่องแบบเกลียวสามารถอัดถ่านได้ความหนาแน่นและค่าความร้อนสูง อีกทั้งเครื่องอัดถ่านแบบเกลียวยังสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องจึงมีอัตราการผลิตถ่านสูง แต่อย่างไรก็ตามถ่านที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องนี้ก็ต้องนำไปตากแดดก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

เครื่องอัดถ่านแบบเกลียวอัดถ่านด้วยการนำผงถ่านที่ผสมน้ำและแป้งแล้วเทลงถึงป้อน จากนั้นผงถ่านจะถูกอัดด้วยเกลียวแล้วดันออกมาตามกระบอกท่อของเครื่องอัดถ่าน ถ่านที่ผ่านการอัดใหม่จะมีลักษณะนิ่มเพราะยังมีส่วนผสมของน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องนำไปตากแดดหรืออบเพื่อไล่ความชื้นที่เกิดจากส่วนผสมของน้ำออกก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง จึงทำให้ระยะเวลาของขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่งยาวนานขึ้นตามระยะเวลาของการไล่ความชื้นออกจากถ่านจนแห้งสนิท ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการสร้างชุดให้ความร้อนกับกระบอกอัดของเครื่องอัดถ่านแท่ง [7] เพราะความร้อนที่กระบอกอัดจะช่วยไล่ความชื้นที่ผสมอยู่กับผงถ่านขณะถูกอัดระเหยออกไปได้บางส่วน ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาของขั้นตอนการผลิตถ่านได้ ปัจจุบันมีการสร้างชุดให้ความร้อนสำหรับเครื่องอัดถ่านแท่งแบบเกลียวและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์แล้ว แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่า การผสมระหว่างถ่านและแป้ง รวมถึงการให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์กับ

ไม่ให้ อย่างไรก็ตามจะเหมาะสมกับเครื่องอัดถ่านที่มีฮีตเตอร์และจะส่งผลอย่างไรต่อสมบัติของถ่านอัดแท่ง

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่ง โดยมีเงื่อนไขการทดลอง คือ ผสมแป้งและไม่ผสมแป้ง ให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนขณะอัดถ่าน เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่งประกอบด้วย ค่าความร้อน ค่าความชื้น และค่าความหนาแน่น

2. วิธีการวิจัย

ถ่านที่ใช้ในการทดลองเป็นถ่านไม้รวมที่ผ่านการบดละเอียดมีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร จากนั้นถ่านที่บดจะถูกเก็บไว้ในภาชนะที่มิดชิดเพื่อป้องกันการสัมผัสและดูดความชื้นก่อนนำไปทดลอง

2.1 การอัดถ่านในเครื่องอัดถ่านแบบเกลียว

รูปที่ 1 มีหลักการทำงาน คือ ป้อนผงถ่านที่ผสมแป้งมันสำปะหลังเรียบร้อยแล้วลงบนถาดป้อนด้านบน จากนั้นเปิดการทำงานของมอเตอร์ต้นกำลังซึ่งโครงงานครั้งนี้เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า เมื่อมอเตอร์หมุนจะส่งกำลังไปยังสายพานและชุดเฟืองสะพาน จากนั้นกำลังที่ได้จะถูกส่งต่อไปขับเกลียวของเครื่องอัดถ่านให้หมุนผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ยาวแท่งละ 6 นิ้ว สำหรับการผลิตในครั้งนี้

โดยชุดให้ความร้อนสำหรับเครื่องอัดถ่านแท่งนี้สร้างมาจากขดลวดความร้อนขนาด 200 วัตต์ จำนวน 5 เส้น ออกแบบและติดตั้งไว้กับท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ดังรูปที่ 2 สามารถควบคุมอุณหภูมิการทำงานด้วยระบบอัตโนมัติที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เมื่อถ่านถูกอัดผ่านเกลียวจะสัมผัสกับผนังของท่อที่มีอุณหภูมิสูงจึงช่วยให้ความชื้นที่อยู่ในถ่านสลายตัวออกได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งจะช่วยให้ถ่านแท่งได้เร็วขึ้นเมื่อสิ้นสุดขั้นตอนการอัดถ่าน

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 1 เครื่องอัดถ่านแบบเกลียว



รูปที่ 2 ตำแหน่งติดตั้งฮีตเตอร์

2.2. การวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

วิเคราะห์ตามมาตรฐาน DIN 51900 โดยใช้เครื่องบอมป์แคลอรีมิเตอร์ รุ่น Art.2060/2070 ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ คือ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านอัดแท่งประมาณ 1 กรัมแล้วใส่ลงในถ้วยเผาไหม้ จากนั้นวางถ้วยเผาไหม้ลงในถ้วยบอมป์แล้วบรรจุออกซิเจนแล้วประกอบเข้ากับเครื่อง ขั้นตอนต่อไปจุดระเบิดตัวอย่างของถ่านอัดแท่งความร้อนจากการเผาไหม้จะถูกถ่ายเทไปยังน้ำ 2000 มิลลิลิตร จะได้อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน



รูปที่ 3 เครื่องบอมป์แคลอรีมิเตอร์ รุ่น Art.2060/2070

2.3. การวิเคราะห์ความชื้นของถ่านอัดแท่ง

ปริมาณความชื้นวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 871-82 โดยนำถ่านอัดแท่งตัวอย่างประมาณ 2-3 กรัม ใส่ถ้วยกระเบื้องแล้วอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของถ่านอัดแท่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 0.2 น้ำหนักของถ่านอัดแท่งตัวอย่างที่หายไปหลังอบ คือ ปริมาณความชื้น

2.4. การวิเคราะห์ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D4052 ด้วยการชั่งน้ำหนักเทียบกับปริมาตรตวงที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส ภาชนะที่ใช้ตวง คือ บีกเกอร์ 10 มิลลิลิตร โดยใส่ถ่านอัดแท่งให้ได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จะทราบความหนาแน่นรวม หลังจากนั้นให้เทน้ำเปล่า 5 มิลลิลิตร ลงไปผสมกับถ่านอัดแท่ง 5 มิลลิลิตร ที่บรรจุอยู่ในบีกเกอร์เดิม จะทราบความหนาแน่นอนุภาค

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งที่เงื่อนไขแตกต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะของถ่านมีความแตกต่างกัน โดยถ่านที่ผสมแอมโมเนียและความร้อนระหว่างอัดถ่านผิวถ่านจะมันวาวไม่มีรอย

บทความวิจัย (Research Article)

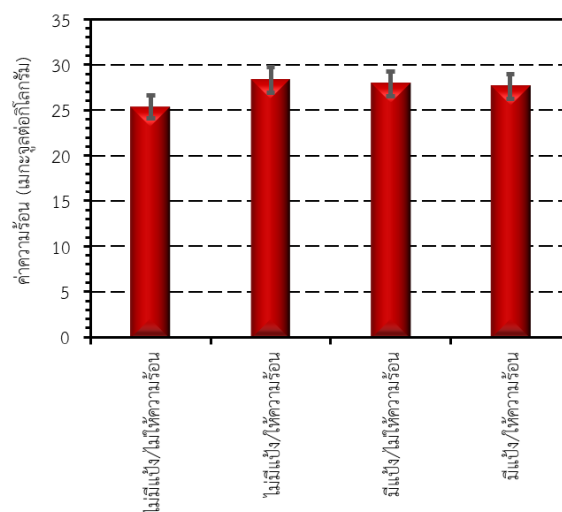
แตกร้าว ขณะที่ไม่ผสมแป้งและไม่ให้ความร้อนผิวถ่าน
ไม่เรียบและมีรอยแตกร้าว

ตารางที่ 1 ลักษณะของถ่านอัดแท่ง

ถ่านอัดแท่ง	ลักษณะของถ่านอัดแท่ง
 ไม่มีแป้ง/ไม่ให้ความร้อน	ผิวถ่านไม่เรียบ แตกหักง่าย มีความชื้นสูง อีกทั้งถ่านยังไม่เกาะตัวและมีรอยแตกร้าว
 ไม่มีแป้ง/ให้ความร้อน	ผิวถ่านไม่เรียบ แตกหักง่าย ความชื้นน้อย
 มีแป้ง/ไม่ให้ความร้อน	ผิวถ่านไม่เรียบเนียน เนื้อถ่านเกาะตัวกันแน่น เล็กน้อย มีความร้อน ความชื้นสูง
 มีแป้ง/ให้ความร้อน	ผิวถ่านเรียบเนียนเป็นมันวาว ความชื้นน้อย ถ่านเกาะตัวแน่นไม่แตกร้าว

ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าถ่านอัดแท่งที่ได้จากกรณีไม่มีแป้งและให้ความร้อนมีค่าความร้อนสูงสูงสุด 28 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ขณะที่ถ่านอัดแท่งที่ได้จากกรณีไม่มีแป้งและไม่ให้ความร้อนมีค่าความร้อนสูงต่ำสุดประมาณ 25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง พบว่า สัมพันธ์กับปริมาณความชื้น เพราะว่าถ่านอัดแท่งที่ได้จากกรณีไม่มีแป้งและให้ความร้อนมีปริมาณความชื้นสูงสุดร้อยละ 32 โดยน้ำหนัก ขณะที่ถ่านอัดแท่งจากกรณีไม่มีแป้งและไม่ให้ความร้อนมีความชื้นต่ำสุดร้อยละ 26.8 โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนกับกระบอกอัดขณะทดลองสามารถลดความชื้นและเพิ่มค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งได้ 3 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

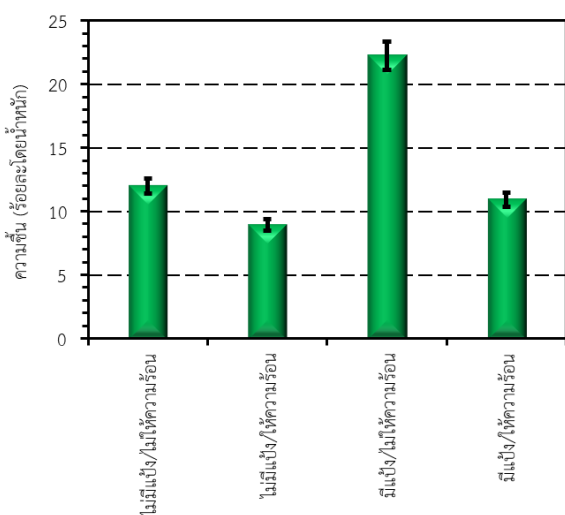


รูปที่ 3 ผลของแป้งและการให้ความร้อนต่อค่าความร้อนสูงของถ่านอัดแท่ง

ปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า กรณีมีแป้งและไม่ให้ความร้อนมีความชื้นสูงสุดร้อยละ 22.2 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อให้ความร้อนกับกระบอกอัด พบว่า ความชื้นในถ่านลดลงเหลือเพียงร้อยละ 10.9 โดยน้ำหนัก ซึ่งการลดลงของความชื้นถ่านอัดแท่งกรณีผสมแป้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากแป้งที่ผสมกับผงถ่านทำให้เกิดความผิดพลาดที่ส่งผลให้ภายในกระบอกอัดเกิดความร้อนแล้วทำให้ความชื้นในถ่านลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อให้ความร้อนขณะอัดถ่าน

บทความวิจัย (Research Article)

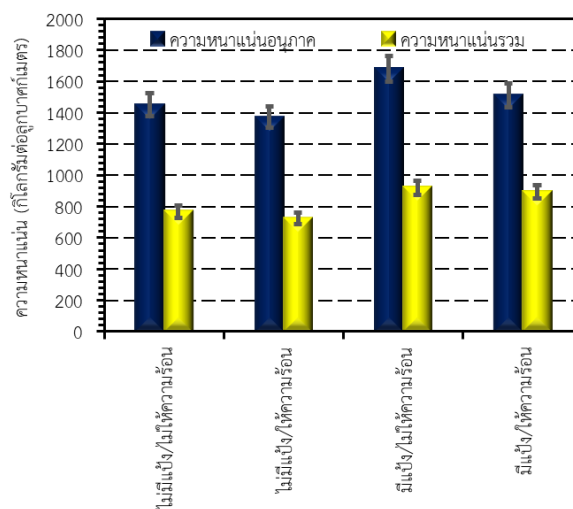
ก็ทำให้ความชื้นของถ่านลดลงต่ำกว่า เพราะถ่านอัดแท่งกรณีไม่ใส่แบริ่งและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีความชื้นต่ำสุดประมาณร้อยละ 8.9 โดยน้ำหนัก จึงสรุปได้ว่าการอัดถ่านแท่งกรณีไม่ใส่แบริ่งและให้ความร้อนสามารถลดความชื้นได้ต่ำสุด



รูปที่ 4 ผลของแบริ่งและการให้ความร้อนต่อความชื้นของถ่านอัดแท่ง

ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นอนุภาคมากกว่าความหนาแน่นรวม โดยความหนาแน่นอนุภาคมีค่าอยู่ในช่วง 1,370-1,680 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะที่ความหนาแน่นรวมมีค่าอยู่ในช่วง 723-921 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาผลของแบริ่งสำหรับอัดแท่งในถ่านอัดแท่งจะเห็นว่า การผสมแบริ่งสำหรับอัดแท่งมีความหนาแน่นของถ่านเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผสมแบริ่งในถ่านกรณีไม่ให้ความร้อนส่งผลให้มีความหนาแน่นสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนของกระบอกอัดถ่านส่งผลให้ความหนาแน่นในถ่านลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการลดความชื้นในถ่านได้ดีกว่าการอัดถ่านแบบปกติ หากพิจารณาข้อดีของการผสมแบริ่งสำหรับอัดแท่งจะพบว่า ช่วยเพิ่มความหนาแน่นและค่าความร้อนอย่าง

ชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Duanguppama และคณะ [9] ที่รายงานว่า ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นช่วยให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 ผลของแบริ่งและการให้ความร้อนต่อความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการผสมแบริ่งสำหรับอัดแท่งและให้ความร้อนกับกระบอกถ่านอัดแท่ง พบว่า กรณีผสมแบริ่งสำหรับอัดแท่งและให้ความร้อนกับกระบอกถ่านอัดแท่งส่งผลให้ผิวถ่านเรียบเนียนเป็นมันวาวและไม่แตกร้าว มีค่าความร้อนสูง 27 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และความชื้นค่อนข้างต่ำร้อยละ 10.9 โดยน้ำหนัก แต่หากต้องการลดความชื้นและเพิ่มค่าความร้อนให้กับถ่านอัดแท่งมากกว่านี้ควรเลือกกรณีไม่ผสมแบริ่งสำหรับอัดแท่งและให้ความร้อน เพราะมีความชื้นต่ำสุดร้อยละ 8.9 โดยน้ำหนัก และค่าความร้อนสูงสุด 28.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามแบริ่งสำหรับอัดแท่งที่ผสมในผงถ่านแล้วนำไปอัดสามารถช่วยเพิ่มความร้อนระหว่างการอัดถ่านและเพิ่มความหนาแน่นได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้ถ่านที่ผ่านการอัดแท่งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น

บทความวิจัย (Research Article)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Homchat and S. Ramphueiphad, "The continuous carbonisation of rice husk on the gasifier for high yield charcoal production," *Results in Engineering*, vol. 15, p. 100495, 2022.
- [2] J. O. Ighalo, O. A. A. Eletta and A. G. Adeniyi, "Biomass carbonisation in retort kilns: Process techniques, product quality and future perspectives," *Bioresource Technology Reports*, vol. 17, p. 100934, 2022.
- [3] ดวงมล ดั่งโพนทอง และ วสันต์ ปินะเต, "การส่งเสริมการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้ประโยชน์ในชุมชนระดับครัวเรือนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง," มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2557.
- [4] วีรชัย อัจหาญ, "การพัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลสำหรับใช้ผลิตถ่านชีวภาพ," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2547.
- [5] ปัญญา วงศ์ต่าย และ คมสัน มุ่ยสี, "การพัฒนาเครื่องคัดแยกผลไม้ต้นแบบสำหรับชุมชนเกษตรกรรมในจังหวัดจันทบุรี," รายงานโครงการวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, 2564.
- [6] สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ และ สิงห์แก้ว ปือกเท็ง, "การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ เพื่อทดแทนถ่านจากไม้," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2549.
- [7] วานิช โสพาสพ, บุญยิ๊ง อินทรบุตร และ สมพล พวงดอกไม้, "การผลิตถ่านอัดแท่งด้วยเศษวัสดุเหลือใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทน," มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2550.
- [8] ตฤย์ทิพย์ กัลยา, "การพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่ออัดถ่านหินแบบก้อนโดยใช้การหมุนอัดเพลาคู," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- [9] K. Duanguppama, N. Pannucharoenwong, S. Echaroj, C. Turakarn, K. Chaiphet and P. Rattanadecho, "Processing of Leucaena Leucocephala for renewable energy with catalytic fast pyrolysis," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 466-479, 2022.

ผลของชนิดชีวมวลต่อกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

ภาณุวัฒน์ บุญตาท้าว¹, สุวิพงษ์ เหมะธูลิน^{1*} และ ศรลักษณ์ พวงใบดี¹

¹ สาขาวิชาเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: suwipong@snru.ac.th โทรศัพท์: 093-5519414
(รับบทความ: 30 มีนาคม 2566; แก้ไขบทความ: 17 เมษายน 2566; ตอรับบทความ: 28 เมษายน 2566)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชีวมวลจากขี้เลื่อยและเห้งมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน โดยการทดลองเริ่มต้นจากการเตรียมชีวมวลทั้งสองชนิดให้มีขนาดเท่ากันแล้วนำไปอบเพื่อลดความชื้นภายใต้สภาวะเดียวกัน จากนั้นชีวมวลแต่ละชนิดถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไบนดของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันภายใต้อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง ผลการวิจัย พบว่า เห้งมันสำปะหลังสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้สูงสุดร้อยละ 83.7 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำจึงช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ขณะที่ขี้เลื่อยผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้ร้อยละ 81.5 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้เห้งมันสำปะหลังยังผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของไฮโดรเจนและมีเทนได้สูงกว่าขี้เลื่อย เพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเห้งมันสำปะหลังสูงกว่าขี้เลื่อย แต่แก๊สเชื้อเพลิงจากเห้งมันสำปะหลังมีค่าความร้อนต่ำกว่าแก๊สเชื้อเพลิงขี้เลื่อย 0.2 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม หากนำเห้งมันสำปะหลังไปผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิงควรมีวิธีการเตรียมเพื่อปรับปรุงให้มีคุณภาพก่อนเพื่อประโยชน์ทางด้านพลังงานต่อไป

คำสำคัญ: ขี้เลื่อย, เห้งมันสำปะหลัง, เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไบนด, แก๊สเชื้อเพลิง, แก๊สซิฟิเคชัน

การอ้างอิงบทความ: ภาณุวัฒน์ บุญตาท้าว, สุวิพงษ์ เหมะธูลิน และ ศรลักษณ์ พวงใบดี, "ผลของชนิดชีวมวลต่อกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 8-17, 2566.

Effects of Biomass on Fuel Gas Production by Gasification Technology

Phanuwat Boontatao¹, Suwipong Hemathulin^{1,*} and Sonlak Phuangbaidee¹

¹ Department of Mechanical and Industrial, Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajaphat University

* Corresponding Author: suwipong@snru.ac.th, Tel: 093-5519414

(Received: March 30, 2023; Revised: April 17, 2023; Accepted: April 28, 2023)

Abstract

The purpose of this research was to study the effects of biomass from sawdust and cassava rhizomes on fuel gas produced by gasification technology. The experiment started by preparing both types of biomasses to be the same size and drying them to reduce moisture under the same conditions. Subsequently, each type of biomass was used as fuel in a gasification fluidized bed reactor at a reaction temperature of 800 °C. To study the yield of products and the composition of fuel gas. The results showed that cassava rhizomes could produce fuel gas up to 83.7 wt.% due to their low density, thus helping to achieve complete combustion efficiency. While sawdust produces 81.5 wt.% of fuel gas. In addition, cassava rhizomes produced fuel gas with hydrogen and methane compositions higher than sawdust because the combustion efficiency of cassava rhizomes was higher than sawdust. However, fuel gas from cassava rhizomes had a lower calorific value than sawdust fuel gas by 0.2 MJ/kg. If the cassava rhizomes are used to produce fuel gas, there should be preparation methods to improve the quality first for energy benefits in the future.

Keywords: Sawdust, Cassava rhizome, Fluidized bed reactor, Fuel gas, Gasification

Please cite this article as: P. Boontatao, S. Hemathulin, and S. Phuangbaidee, "Effects of Biomass on Fuel Gas Production by Gasification Technology," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, KSU*, vol. 1, no. 2, pp. 8-17, 2023.

1. บทนำ

วิกฤติพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลปัจจุบันทำให้ทุกประเทศทั่วโลกต่างพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ [1] พลังงานลม [2] พลังงานน้ำ [3] และพลังงานชีวมวล [4] ซึ่งที่กล่าวมาพลังงานจากชีวมวลถือได้ว่าเป็นพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพ เพราะชีวมวลได้เกิดจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของพืชและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ดังนั้นหากปลูกพืชในปริมาณมากก็จะได้ชีวมวลในปริมาณมากเช่นกัน ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีชีวมวลในปริมาณมากตัวอย่างเช่น ชี้อ้อยจากการแปรรูปไม่ในโรงเลื่อยและโรงงานเฟอร์นิเจอร์ [5] และเห้ง้ามันสำปะหลังที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังมีปริมาณมากกว่า 8-9 ล้านตันต่อปี [6] โดยปัจจุบันมีงานวิจัยที่นำชีวมวลมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อนในรูปแบบ เช่น การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง [6] การไพโรไลซิสแบบเร็ว [7] และการทอริแฟคชันสำหรับผลิตเชื้อเพลิงแข็ง [8] ซึ่งการแปรรูปชีวมวลด้วยกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนั้นได้รับความนิยมอย่างมากในการพัฒนาไปใช้กับโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง หมายถึง กระบวนการทางเคมีความร้อนที่มีอุณหภูมิปฏิกิริยาประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส [9] ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ คือ แก๊สเชื้อเพลิงประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก [10] ซึ่งปัจจัยหลักของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง คือ เครื่องปฏิกรณ์สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้ แบบแก๊สไหลลง (Downdraft) [11] แบบแก๊สไหลขึ้น (Updraft) [12] แบบฟลูอิโดซ์เบด (Fluidised-bed) [13] และแบบฟลูอิโดซ์เบดหมุนเวียน (Circulating fluidised-bed) [14] โดยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิโดซ์เบดและฟลูอิโดซ์เบดแบบหมุนเวียนมีประสิทธิภาพในการแยกถ่านชาร์และทาร์ได้สูง เพราะทำงานร่วมกับไซโคลนและชุดกรองไอร้อนเพื่อแยกถ่านชาร์ และชุดควบแน่นเพื่อแยกทาร์

จึงทำให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีความสะอาดมากกว่าการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยเครื่องปฏิกรณ์ชนิดอื่น เมื่อเปรียบเทียบเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชน์เบดและเบดหมุนเวียน พบว่า เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชน์เบดสามารถควบคุมการทำงานได้ง่ายกว่าจึงเหมาะสำหรับนำไปผลิตแก๊สเชื้อเพลิง แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าหากใช้เชื้อเพลิงและหัวน้ำมันสำหรับเป็นเชื้อเพลิงจะส่งผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงอย่างไร

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขี้เลื่อยและเหง้ามันสำหรับใช้ในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชน์เบดที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงต่อไป

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยเริ่มต้นจากการเตรียมชีวมวล แล้ววิเคราะห์สมบัติของชีวมวล จากนั้นเตรียมตัวกลางถ่ายโอนความร้อน และเตรียมหน่วยผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การเตรียมชีวมวล

ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ ขี้เลื่อย นำมาคัดขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงคัดขนาด 0.6-2.0 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นในชีวมวลให้ต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ขณะที่เห้งน้ำมันสำปะหลังผ่านการ บดละเอียดให้มีขนาดเล็ก จากนั้นนำไปคัดขนาดด้วย ตะแกรงขนาด 0.6-2.0 มิลลิเมตร แล้วอบเพื่อลด ความชื้นเช่นเดียวกับขี้เลื่อย

การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล ประกอบด้วย การวิเคราะห์แบบปริมาณ การวิเคราะห์แยกธาตุ และการวิเคราะห์ค่าความร้อน ทั้งหมดวิเคราะห์ 3 ซ้ำ มีรายละเอียดดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)

2.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ

1) ปริมาณความชื้นวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 871-82

2) สารระเหยเกิดจากการระเหยตัวของสารที่ควบแน่นได้และไม่ได้ในชีวมวล ซึ่งการวิเคราะห์สารระเหยนี้วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 872-82

3) เถ้า คือ สารอนินทรีย์ในชีวมวล ซึ่งปริมาณเถ้าวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 1755-01

4) คาร์บอนคงที่ จะทราบได้หลังจากรู้ปริมาณของความชื้น สารระเหย และเถ้า เพราะปริมาณคาร์บอนคงที่คำนวณจากน้ำหนักของชีวมวลตัวอย่างเริ่มต้นลบด้วยปริมาณของความชื้น สารระเหย และเถ้า ตามลำดับ

2.1.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุเพื่อหาปริมาณธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) ที่อยู่ในชีวมวล ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ CHNS รุ่น Micro-Tru Spec CHNS/O

2.1.3 การวิเคราะห์ค่าความร้อนสูง

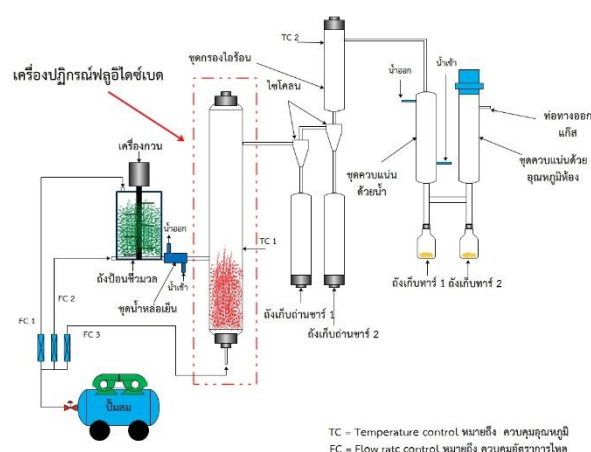
วิเคราะห์ด้วยวิธีบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ตามมาตรฐาน ASTM D240 โดยเครื่อง S.M.D. Torino บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ รุ่น Art.2060/2070

2.2. การเตรียมตัวกลางถ่ายโอนความร้อน

ทราย คือ ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน ซึ่งผ่านการตากแดดให้แห้ง จากนั้นคัดขนาดอนุภาค 0.4-0.6 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมกับการเป็นตัวกลางถ่ายโอนความร้อน แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียสประมาณ 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM E 1755-01 เพื่อกำจัดเถ้าหรือเศษวัสดุที่ปนเปื้อนทรายออก หลังจากนั้นนำทรายที่ผ่านการเผาไหม้มาคัดขนาด 0.4-0.6 มิลลิเมตร อีกครั้งก่อนนำไปใช้เป็นตัวกลางถ่ายโอนความร้อน

2.3 การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ก่อนการทดลองต้องตั้งน้ำหนักของอุปกรณ์แต่ละชิ้น เริ่มจากการตั้งน้ำหนักของชีวมวล ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน เครื่องปฏิกรณ์ ชุดกรองไอร้อน ไยแก้ว (5 กรัม) ชุดควบแน่น และถังเก็บทาร์ หลังจากนั้นต่อสายลมผ่านเกจวัดความดันผ่านเข้าชุดควบคุมอัตราการไหล (FC) ทั้ง 3 ตัว โดย (FC 1) เข้าฝาดบนของถังชีวมวล (FC 2) เข้าท่อลำเลียงด้านข้างของถังป้อนชีวมวล และ (FC 3) เข้าด้านล่างเครื่องปฏิกรณ์ในตำแหน่งฟลูอิดไคเบต จากนั้นต่อสายยางของน้ำหล่อเย็นจากปั้มน้ำไปยังชุดหล่อเย็นของท่อลำเลียงชีวมวล และชุดกรองไอร้อนตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 1 ขั้นตอนต่อไป คือ ต่อเทอร์โมคัปเปิลจากชุดควบคุมเข้า (TC 1) ในตำแหน่งไฟโรไลซิสภายในเครื่องปฏิกรณ์ และ (TC 2) ในตำแหน่งภายในของชุดกรองไอร้อน และสุดท้ายนำตัวกลางถ่ายโอนความร้อนผสมกับชีวมวลบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์แล้วเผาชีวมวลที่ผสมทรายด้วยแก๊สแอลพีจี (LPG) เป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วสังเกตที่อุณหภูมิไฟโรไลซิส (TC 1) จนแน่ใจว่าตัวกลางถ่ายโอนความร้อนมีอุณหภูมิสูงถึง 800 องศาเซลเซียส ตามเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 1 แผนภาพหน่วยผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคเบต

บทความวิจัย (Research Article)

เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคเซเบตมีความกว้างภายใน 100 มิลลิเมตร และความสูง 800 มิลลิเมตร อัตราการป้อนชีวมวล คือ 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อัตราการไหลของแก๊สรวมทั้งระบบ คือ 20 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 2 หน่วยการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคเซเบต

เริ่มการทดลองโดยปรับอัตราการไหลของตำแหน่งฟลูอิดไคเซเบต (FC 3) 20 ลิตรต่อนาที จากนั้นป้อนชีวมวลผ่านท่อลำเลียงโดยควบคุมอัตราการไหล (FC 1) 5 ลิตรต่อนาที และ (FC 2) 10 ลิตรต่อนาที หากอุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนดให้ลดอัตราการไหล (FC 1) บนฝาถังป้อนชีวมวลและหากอุณหภูมิต่ำให้เพิ่มอัตราการไหล (FC 1) เมื่อแน่ใจว่าอุณหภูมิไฟโรไลซิสและการป้อนชีวมวลเรียบร้อยดีให้ทำการทดลองประมาณ 20 นาที ให้เก็บแก๊สระหว่างการทดลองในตำแหน่งท่อทางออกแก๊สเพื่อให้ได้แก๊สที่ได้มีความเข้มข้นพอที่จะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบต่อไป หลังจากทดลองครบ 1 ชั่วโมง ให้หยุดป้อนชีวมวลโดยปิดอัตราการไหล (FC 1) แต่ยังคงเปิด (FC 2) และ (FC 3) เป็นเวลาประมาณ 5 นาทีเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีชีวมวลตกค้างอยู่ในระบบซึ่งสังเกตได้จากควันทิ้งอยู่ใน

ถังเก็บทาร์ทั้ง 2 ตำแหน่ง จากนั้นปิดอัตราการไหล (FC 2) และ (FC 3) ตามลำดับ

2.4 การสมดุลมวล

เมื่อทดลองครบ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เครื่องปฏิกรณ์และบริเวณที่ได้รับความร้อนเย็นตัวลงด้วยอุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที จากนั้นสมดุลมวลโดยชั่งน้ำหนักถังป้อนชีวมวล เครื่องปฏิกรณ์พร้อมตัวกลางถ่ายโอนความร้อน ชุดกรองไอร้อนพร้อมใยแก้ว และชุดควบแน่น โดยน้ำหนักที่ลดลงของถังป้อนชีวมวล คือ น้ำหนักของชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง ขณะที่น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของเครื่องปฏิกรณ์และชุดกรองไอร้อน คือ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการ และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของชุดควบแน่น คือ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ทาร์ สำหรับน้ำหนักของแก๊สเชื้อเพลิงได้จากการนำน้ำหนักของถ่านชาร์และทาร์รวมกันแล้วลบออกจาก 100

2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊ส

องค์ประกอบแก๊สวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Shimadzu GC-8A ของบริษัท SHIMADZU ซึ่งเป็นผู้นำทางด้านเครื่องวิเคราะห์ทางเคมี วิเคราะห์โดยติดตั้งเครื่องตรวจจับการนำความร้อน (Thermal conductivity detector, TCD) มีคอลัมน์ คือ Porapak N (80/100 SS 2.3 mm I.D. × 1 m) และ Unibeads C (60/80 SS Col. 3 mm. I.D. × 2 m) และอาร์กอนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.995 เป็นแก๊สพา ซึ่งแก๊สที่วิเคราะห์ได้ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไฮโดรเจน (H₂) ไนโตรเจน (N₂) มีเทน (CH₄) เอทิลีน (C₂H₄) และอีเทน (C₂H₆)

บทความวิจัย (Research Article)

2.6 การคำนวณค่าความร้อนของแก๊ส

องค์ประกอบแก๊สแต่ละชนิดคูณด้วยค่าความร้อนและความหนาแน่นของแก๊สแต่ละชนิดตามข้อมูลในตารางที่ 1 แล้วคำนวณตามสมการ 1-2

ตารางที่ 1 สมบัติพื้นฐานของแก๊สเชื้อเพลิง

แก๊ส	ค่าความร้อนภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)		ρ_i
	HHV _i	LHV _i	
H ₂	142	120	0.081
CO	10	10	0.717
CH ₄	55	50	1.178
C ₂ H ₄	51	48	1.145
C ₂ H ₆	52	47	1.360

$$HHV \left(\frac{MJ}{kg} \right) = \sum_i (y_i) (HHV_i) (\rho_i) \quad (1)$$

$$LHV \left(\frac{MJ}{kg} \right) = \sum_i (y_i) (LHV_i) (\rho_i) \quad (2)$$

เมื่อ y_i = สัดส่วนขององค์ประกอบแก๊สแต่ละชนิด (ร้อยละโดยปริมาตร)

HHV_i = ค่าความร้อนสูง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)

LHV_i = ค่าความร้อนต่ำ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)

ρ_i = ค่าความหนาแน่นแก๊ส (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล

รูปที่ 3 คือ ชีวมวลสำหรับการทดลองที่ผ่านการบดละเอียดและคัดขนาดอนุภาค 0.4-0.6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเห้จ้ำมันสำปะหลังมีปริมาณความชื้น คาร์บอนคงที่ และเถ้าในปริมาณที่

สูงกว่าชี้เลื่อยค่อนข้างชัดเจน ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ของชีวมวลที่แตกต่างกัน [15] ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เห้จ้ำมันสำปะหลังมีเถ้าปริมาณสูงกว่าชี้เลื่อยที่ได้จากโรงเลื่อยจึงทำให้ปริมาณความชื้นและเถ้าของเห้จ้ำมันสำปะหลังมีปริมาณที่สูงกว่าชี้เลื่อย เมื่อพิจารณาสมบัติแบบแยกธาตุแสดงให้เห็นว่าชี้เลื่อยมีปริมาณคาร์บอนที่สูงกว่าเล็กน้อย นั้นเพราะว่าปริมาณออกซิเจนในชี้เลื่อยมีปริมาณต่ำกว่าเห้จ้ำมันสำปะหลัง ดังนั้น เมื่อนำชีวมวลทั้งสองชนิดไปวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงจึงพบว่า ชี้้เลื่อยมีค่าความร้อนสูงกว่าเห้จ้ำมันสำปะหลังค่อนข้างชัดเจน



รูปที่ 3 ชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2 สมบัติของชีวมวล

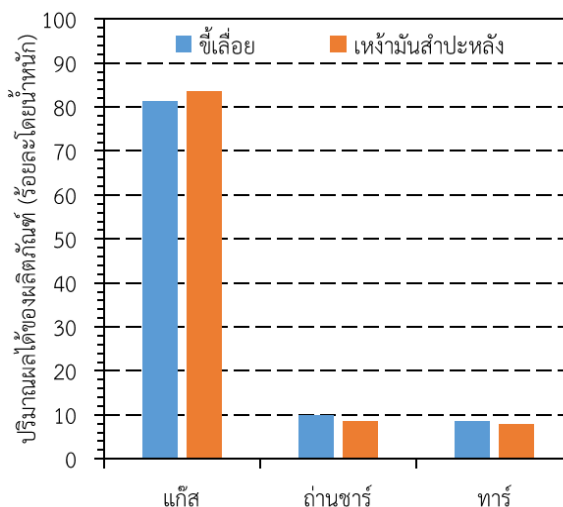
การวิเคราะห์	ชี้เลื่อย	เห้จ้ำมัน สำปะหลัง	ฟางข้าว [16]
การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
ความชื้น	5.5	8.8	9.2
สารระเหย	78.7	68.7	70.3
คาร์บอนคงที่	6.9	10.6	18.9

บทความวิจัย (Research Article)

การวิเคราะห์	ชีเลื่อย	เหง้ามัน สำปะหลัง	ฟางข้าว [16]
เถา	8.9	11.9	1.6
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
คาร์บอน	43.7	42.4	38.9
ไฮโดรเจน	5.8	4.6	5.3
ไนโตรเจน	0.9	1.2	1.1
ซิลเฟอร์	0.1	0.2	0.2
ออกซิเจน	49.4	51.6	43.8
ค่าความร้อนสูง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)			
	17.9	16.3	NA
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)			
	367	263	NA

3.2 ผลของชนิดชีวมวลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส ดังข้อมูลในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณแก๊สที่ได้จากเหง้ามันสำปะหลัง (ร้อยละ 83.7 โดยน้ำหนัก) สูงกว่าชีเลื่อยเล็กน้อย (ร้อยละ 81.5 โดยน้ำหนัก) นั่นเป็นเพราะว่าเหง้ามันสำปะหลังมีความหนาแน่นต่ำจึงช่วยให้เกิดการกระจายตัวได้ดี ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยสังเกตได้จากปริมาณถ่านชาร์ที่เกิดจากเหง้ามันสำปะหลังมีปริมาณต่ำกว่าค่อนข้างชัดเจน นอกจากนี้ ความชื้นที่อยู่ในชีวมวลยังช่วยเพิ่มออกซิเจนทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเผาไหม้ เพราะวาทาร์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำแก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้ไปประยุกต์ใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงต่อไป

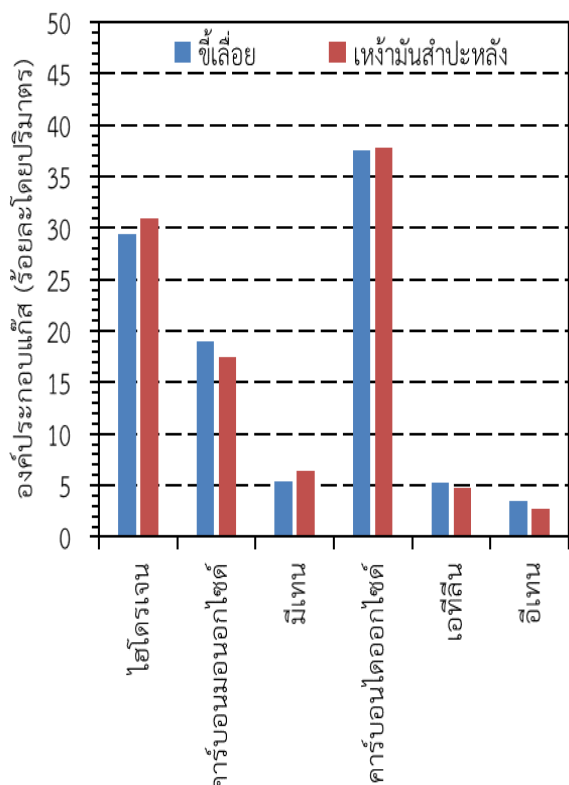


รูปที่ 4 ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์

3.3 ผลของชนิดชีวมวลต่อองค์ประกอบแก๊ส

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีเลื่อยและเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดเบดที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยชีวมวลทั้งสองชนิดผลิตแก๊สนี้ได้ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามชีวมวลทั้งสองชนิดนี้ก็สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของแก๊สไฮโดรเจน มีเทน เอทิลีน และอีเทน ได้อย่างชัดเจน โดยเหง้ามันสำปะหลังสามารถผลิตไฮโดรเจนและมีเทนได้มากกว่าชีเลื่อยนั้นเป็นเพราะว่าเหง้ามันสำปะหลังมีความหนาแน่นต่ำเมื่อถูกส่งผ่านเข้ามายังโซนปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ส่งผลให้ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของไฮโดรเจนและมีเทนที่สูงกว่าชีเลื่อย อย่างไรก็ตามแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ยังคงมีคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงจึงควรมีวิธีการกำจัดแก๊สนี้ก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ เช่น การติดตั้งตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 5 องค์ประกอบแก๊ส

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบแก๊สที่ได้จากเหม้ามันสำหรับหลังนี้ พบว่า มีไฮโดรเจนมากกว่าฟางข้าวจากงานวิจัยของ Huijun และคณะ ที่รายงานว่า การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธเซเบด โดยใช้ฟางข้าวเป็นเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส ได้แก๊สไฮโดรเจนร้อยละ 28 โดยปริมาตร [16] จึงอธิบายได้ว่าเหม้ามันสำหรับหลังสามารถผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้มากกว่าขี้เลื่อยและฟางข้าว

ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลทั้งสองชนิดในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าแก๊สเชื้อเพลิงจากขี้เลื่อยมีค่าความร้อนสูงกว่าแก๊สเชื้อเพลิงจากเหม้ามันสำหรับหลัง 0.2 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 3 ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนแก๊ส	ขี้เลื่อย	เหม้ามันสำหรับหลัง
ค่าความร้อนสูง HHV _i (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	15.5	15.3
ค่าความร้อนต่ำ LHV _i (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	14.3	14.1

จากข้อมูลที่รายงานมาเหม้ามันสำหรับหลังเป็นชีวมวลที่น่าสนใจสำหรับนำไปผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางพลังงานต่อไป หากแต่ก่อนนำไปผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนั้นชีวมวลนี้ควรได้รับการปรับปรุงในกระบวนการเตรียมให้ดี

4. สรุปผลการวิจัย

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลสองชนิด คือ ขี้เลื่อยและเหม้ามันสำหรับหลัง ในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธเซเบดที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส พบว่าเหม้ามันสำหรับหลังสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้สูงสุดร้อยละ 83.7 โดยน้ำหนัก ขณะที่ขี้เลื่อยผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้ร้อยละ 81.5 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้เหม้ามันสำหรับหลังยังผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของไฮโดรเจนและมีเทนได้สูงกว่าขี้เลื่อย แต่แก๊สเชื้อเพลิงจากเหม้ามันสำหรับหลังมีค่าความร้อนต่ำกว่าแก๊สเชื้อเพลิงขี้เลื่อย 0.2 เมกะจูลต่อกิโลกรัม หากนำเหม้ามันสำหรับหลังไปผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิงควรมีวิธีการเตรียมเพื่อปรับปรุงให้มีคุณภาพก่อนเพื่อประโยชน์ทางด้านพลังงานต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัย

บทความวิจัย (Research Article)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Govindarajan, M. F. Bin Mohideen Batcha and M. K. Bin Abdullah, "Solar energy policies in southeast Asia towards low carbon emission: A review," *Heliyon*, vol. 9, no. 3, p. e14294, 2023.
- [2] I. Lunevich and S. Kloppenburg, "Wind energy meets buildings? Generating socio-technical change in the urban built environment through vanguard visions," *Energy Research & Social Science*, vol. 9, no. 8, p. 103017, 2023.
- [3] N. Nouri, F. Balali, A. Nasiri and H. O. Seifoddini, "Water withdrawal and consumption reduction for electrical energy generation systems," *Applied Energy*, vol. 248, pp. 196-206, 2019.
- [4] K. Duanguppama, N. Pannucharoenwong, S. Echaroj, L. K. H. Pham, C. Samart and P. Rattanadecho, "Integrated catalytic pyrolysis and catalytic upgrading of *Leucaena leucocephala* over natural catalysts," *Journal of the Energy Institute*, vol. 106, p. 101155, 2023.
- [5] J. He, Z. Yang, M. Guo, L. Gu, L. Zhang, Y. Yan and J. Ran, "Experimental study on the key factors affecting the gasification performance between different biomass: Compare citrus peel with pine sawdust," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 71, pp. 30428-30439, 2022.
- [6] P. Sirinwaranon, V. Sricharoenchaikul and D. Atong, "Catalytic performance of Co, Fe on MCM-41 synthesized from illite waste for gasification of torrefied cassava rhizome," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 149-162, 2021.
- [7] K. Duanguppama, N. Pannucharoenwong, S. Echaroj, C. Turakarn, K. Chaiphet and P. Rattanadecho, "Processing of *Leucaena Leucocephala* for renewable energy with catalytic fast pyrolysis," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 466-479, 2022.
- [8] K. B. Kota, S. Shenbagaraj, P. K. Sharma, A. K. Sharma, P. K. Ghodke and W. H. Chen, "Biomass torrefaction: An overview of process and technology assessment based on global readiness level," *Fuel*, vol. 324, p. 124663, 2022.
- [9] Y. Ma, Z. Ge, M. Zeng, Z. Zha, Y. Tao and H. Zhang, "Reactivity and performance of steam gasification during biomass batch feeding," *Carbon Resources Conversion*, vol. 6, no. 3, 2023.
- [10] Q. Guo, R. Li, G. Yang, Y. Liu, Q. Deng and Z. He, "Experimental study on a small-scale oxygen-enriched entrained flow biomass gasifier assisted by non-thermal arc plasma," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 4298-4305, 2023.
- [11] A. Kumar, "Experimental investigation of a dual stage ignition biomass downdraft gasifier for deriving the engine quality gas," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, no. 3, p. 101912, 2023.
- [12] D. Cerinski, A. I. Ferreira, J. Baleta, M. Costa, F. Zimbardi, N. Cerone and J. Wang, "Modelling the biomass updraft gasification process using the combination of a pyrolysis kinetic model

บทความวิจัย (Research Article)

- and a thermodynamic equilibrium model," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 8051-8061, 2021.
- [13] C. Udemu and C. Font-Palma, "Modelling of sorption-enhanced steam reforming (SE-SR) process in fluidised bed reactors for low-carbon hydrogen production: A review," *Fuel*, vol. 340, p. 127588, 2023.
- [14] A. Pitkääoja and J. Ritvanen, "Simulation of sorption-enhanced gasification: H₂ O staging to a circulating fluidised bed gasifier to tailor the producer gas composition," *Energy*, vol. 266, p. 126446, 2023.
- [15] A. Pattiya, "Thermochemical Characterization of Agricultural Wastes from Thai Cassava Plantations," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 33, no. 8, pp. 691-701, 2011.
- [16] G. Huijun, S. Laihong, F. Fei and J. Shouxi, "Experiments on biomass gasification using chemical looping with nickel-based oxygen carrier in a 25 kWth reactor," *Applied Thermal Engineering*, vol. 85, pp. 52-60, 2015.

การเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อสำหรับกลุ่มโรงพยาบาล ในจังหวัดกาฬสินธุ์

อนุชา ศรีบุญรัมย์^{1,*} วราภรณ์ วโรส¹, ชนภรณ์ ณ กาฬสินธุ์¹, วรณรพ ชันธิรัตน์¹ และ ประสิทธิ์ ไกรลสมสม²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

²สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: anucha.sr@ksu.ac.th โทรศัพท์: 083-4194954

(รับบทความ: 3 เมษายน 2566; แก้ไขบทความ: 19 เมษายน 2566; ตอรับบทความ: 28 เมษายน 2566)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการให้บริการโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยพิจารณาโครงข่ายของสถานที่ตั้งที่ให้ต้นทุนรวมต่ำสุด โดยต้นทุนรวมคือต้นทุนดำเนินการและต้นทุนการขนส่ง เริ่มจากการสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ หลังจากนั้นทำการเขียนโค้ดตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นที่นำเสนอโดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO ลำดับต่อมาทดสอบแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นที่นำเสนอด้วยกรณีศึกษาโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 18 แห่ง ผลการทดลองพบว่า ตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำสุดมีจำนวน 2 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลกาฬสินธุ์ติดตั้งเตาเผาขนาด 1,200 กิโลกรัมต่อวัน และโรงพยาบาลห้วยผึ้งติดตั้งเตาขนาด 400 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ โดยมีต้นทุนรวมต่ำสุดเท่ากับ 12,500.50 บาทต่อวัน ลดลงจากการใช้บริการกำจัดของเอกชน (14,707.40 บาทต่อวัน) เป็น 2,206.9 บาทต่อวัน คิดเป็น 15%

คำสำคัญ: โปรแกรมเชิงเส้น การเลือกตำแหน่งที่ตั้ง เตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

การอ้างอิงบทความ: อนุชา ศรีบุญรัมย์ และคณะ, "การเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อสำหรับกลุ่มโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 18-30, 2566.

บทความวิจัย (Research Article)

Suitable Location Selection of Infectious Waste Incinerators for a Group of Hospitals in Kalasin Province

Anucha Sriburum^{1*}, Waraporn Warorot¹, Chanaphon Na Kalasin¹, Wanrop Khandhirat¹ and Prasit Kailomsom²

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

²Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

* Corresponding Author: anucha.sr@ksu.ac.th, Tel: 083-4194954

(Received: April 3, 2023; Revised: April 19, 2023; Accepted: April 28, 2023)

Abstract

The purpose of this research was to select a suitable infectious waste incinerator location for hospital services in Kalasin Province by considering the network of locations that provided the lowest total cost. The total cost is made up of operating costs and transportation costs. Starting from a linear program model for the problem of site selection of infectious waste incinerators. After that, the proposed linear program model was coded using the LINGO software. Later, the proposed linear program model was woven with a case study of 18 hospitals in Kalasin Province. The location and size of incinerators for infectious waste that resulted in the lowest total cost were in two places: Kalasin hospital installed an incinerator of 1,200 kg per day, and Huai Phueng hospital installed an incinerator of 400 kg per day. has the lowest total cost of 12,500.50 baht per day, decreased from using private disposal services (14,707.40 baht per day) to 2,206.9 baht per day, representing 15%.

Keywords: Linear Programming, Location Selection, Infectious Waste Incinerators

Please cite this article as: A. Sriburum, et al., "Suitable Location Selection of Infectious Waste Incinerators for a Group of Hospitals in Kalasin Province," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, KSU*, vol. 1, no. 2, pp. 18-30, 2023.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และประกอบกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 (Coronavirus Disease 2019) ที่ยืดเยื้อยาวนานมากกว่า 3 ปีนั้น ส่งผลให้ประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณมูลฝอยติดเชื้อสูง โดยกระทรวงสาธารณสุขได้ให้นิยาม “มูลฝอยติดเชื้อ” หมายถึง ขยะที่เกิดจากการตรวจวินิจฉัย รักษาคนไข้หรือการใช้สัตว์ทดลอง เป็นสารหรือวัตถุใดที่ไม่ใช่หรือใช้ไม่ได้ ซึ่งมีส่วนประกอบหรือเจือปนด้วยสิ่งที่มีเชื้อโรค ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยและชีวิตมนุษย์ ได้แก่ เนื้อเยื่อ ชิ้นส่วนอวัยวะ หรือสิ่งขับถ่าย ของเหลวจากร่างกายของผู้ป่วย เลือด และผลิตภัณฑ์จากเลือด รวมทั้งสิ่งของเครื่องใช้สำหรับผู้ป่วย หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับสัตว์ทดลองที่ถูกทิ้งจากสถานพยาบาลและสถานที่ประกอบการอื่นๆ [1, 2]

อย่างไรก็ตามทางด้านกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข โดยคณะทำงานกำหนดแนวทางการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ รวมถึงได้ให้ความหมายของมูลฝอยติดเชื้อ หมายถึง ขยะที่เป็นผลมาจากการกระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับการรักษาพยาบาล การตรวจวินิจฉัย การให้ภูมิคุ้มกันการศึกษาวิจัยที่ดำเนินการทั้งในมนุษย์และสัตว์ ซึ่งมีเหตุผลอันควรสงสัยว่ามีหรืออาจจะมีเชื้อโรค ซึ่งสามารถแบ่งจำแนกได้เป็นกลุ่มต่างๆ ดังนี้ (1) วัสดุ ชาก หรือชิ้นส่วนของมนุษย์และสัตว์ที่ได้และมีผลจากการผ่าตัด การตรวจชิ้นสูตรศพ การใช้สัตว์ทดลองเกี่ยวกับโรคติดต่อ รวมถึงวัสดุที่สัมผัสในการดำเนินการนั้นๆ (2) วัสดุที่ใช้ในการให้บริการทางการแพทย์ เช่น สำลี ผ้าก๊อช ผ้าต่างๆ เป็นต้น ซึ่งสัมผัสหรือสงสัยว่าจะสัมผัสกับเลือด ส่วนประกอบของเลือด เช่น น้ำเหลือง เม็ดเลือดต่างๆ และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ได้จากเลือดสารน้ำจากร่างกาย เช่น ปัสสาวะ เสมหะ น้ำเหลือง หนอง เป็นต้น (3) ของมีคมที่ใช้ในกิจกรรมดังกล่าว เช่น เข็ม ใบมีด กระบอก

ฉีดยา หลอดแก้ว ภาชนะที่ทำด้วยแก้ว สไลด์ แผ่นกระจกปิดสไลด์ทั้งที่ใช้ในการบริการการวิจัยและในห้องปฏิบัติการ (4) เชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อ วัสดุที่ใช้ในห้องปฏิบัติการในการวิจัยที่สัมผัสเชื้อทั้งทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ เชื้อโรคและชีววัตถุต่างๆ อาหารเลี้ยงเชื้อ จานเลี้ยงเชื้อที่ใช้แล้ว ตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายเชื้อหรือกวนเชื้อ (5) วัคซีนที่ทำจากเชื้อโรคที่มีชีวิตและภาชนะบรรจุ ได้แก่ วัคซีนป้องกันวัณโรค โปลิโอ หัด หัดเยอรมัน โรคคางทูมและวัคซีนโรคไขกระดูกน้อยชนิดรับประทาน เป็นต้น (6) ขยะทุกประเภทที่มาจากห้องติดเชื้อร้ายแรง เช่น ห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อร้ายแรงและห้องปฏิบัติการเชื้ออันตรายสูง โดยส่วนใหญ่แหล่งกำเนิดของมูลฝอยติดเชื้อเหล่านี้มาจากสถานพยาบาล เช่น โรงพยาบาลจังหวัด โรงพยาบาลชุมชน โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ห้องปฏิบัติการด้านสัตวแพทย์ [3]

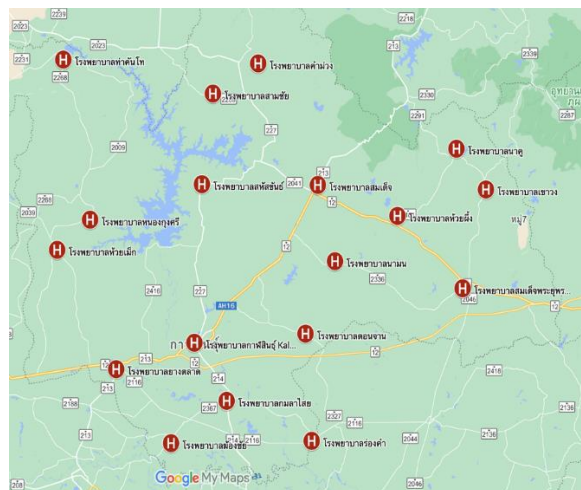
จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าปริมาณมูลฝอยติดเชื้อปี พ.ศ. 2564 เกิดขึ้น 90,009.23 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2563 ร้อยละ 87 นอกจากนี้มูลฝอยชนิดอื่นๆ ในปี 2564 เกิดขึ้นประมาณ 669,518 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2563 ร้อยละ 1.6 โดยส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 435,187 ตัน (ร้อยละ 65) และของเสียอันตรายประเภทอื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย ภาชนะบรรจุสารเคมี กระป๋องสเปรย์ ประมาณ 234,331 ตัน (ร้อยละ 35) และในปีที่ผ่านมาได้เกิดสถานการณ์การแพร่ระบาดเข้าสู่ภาวะวิกฤต มีจำนวนผู้ติดเชื้อเพิ่มขึ้นถึงหลักหมื่นคน จึงต้องสร้างโรงพยาบาลสนามเพื่อรองรับผู้ป่วยที่มากเกินความสามารถของโรงพยาบาล ต้องจัดทำสถานพยาบาลผู้ป่วยเฉพาะกิจ (Hospital) สร้างศูนย์พักคอยผู้ป่วย (Community Isolation) และการรักษาตัวของผู้ป่วยอยู่ที่บ้าน (Home Isolation) ทำให้ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อเพิ่มขึ้นและการจัดการมูลฝอยติดเชื้อก็เข้าสู่ภาวะวิกฤตด้วยเช่นกัน [4]

บทความวิจัย (Research Article)

ในส่วนของจังหวัดกาฬสินธุ์ จะมีการเก็บและขนส่งขยะมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัด เพียง 99 แห่ง ที่เป็นการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยไปกำจัด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นระดับเทศบาล ปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนไปกำจัด วันละ 202.84 ตัน สำหรับสถานที่กำจัดขยะในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีสถานที่กำจัดขยะเพียง 48 แห่ง แต่มีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองกาฬสินธุ์แค่แห่งเดียวเท่านั้น ที่มีการจำกัดด้วยวิธีฝังกลบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) และรูปแบบศูนย์รวม (Cluster) โดยปัจจุบันมีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นำขยะมาทิ้ง จำนวน 34 แห่งมีขยะมูลฝอยเข้าสู่ระบบประมาณ 99.29 ตันต่อวัน เป็นขยะเทศบาลเมืองกาฬสินธุ์ จำนวน 34.42 ตัน/วัน และขยะองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มารวมทิ้งอีก 33 แห่ง จำนวน 64.68 ตันต่อวัน สำหรับสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 47 แห่ง เป็นการกำจัดขยะที่ไม่ถูกต้อง โดนเป็นวิธีการเทกอง/เผากลางแจ้ง และการฝังกลบโดยใช้ดินกลบเป็นครั้งคราว จากข้อมูลข้างต้นทำให้มีขยะที่ไม่ถูกกำจัดโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย จังหวัดกาฬสินธุ์ มีโรงพยาบาลทั้งสิ้น 18 แห่ง โรงพยาบาลจะมีระบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อประเมินผลการดำเนินงานการจัดการมูลฝอยติดเชื้อตามมาตรฐานกฎกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2545 โดยในปี พ.ศ.2564 มีการจ้างเหมาบริษัทเอกชนในการขนส่งและกำจัด จำนวน 227,805.96 กิโลกรัม คิดเป็นวงเงิน 2,278,059.60 บาท

โรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ในปัจจุบันได้ทำสัญญาการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อโดยใช้หน่วยงานเอกชนแทนการกำจัดด้วยตนเองของโรงพยาบาล ทำให้เกิดงบประมาณในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อสูง และเอกชนมีการลักลอบทิ้งมูลฝอยติดเชื้อทำให้เกิดการแพร่กระจายเชื้อโรคต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนได้ รวมถึงนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการให้หน่วยงานภาครัฐ

จัดตั้งสถานที่กำจัดมูลฝอยติดเชื้อแบบรวมศูนย์ในการให้บริการโรงพยาบาลใกล้เคียงได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยได้เสนอวิธีการใช้การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อสำหรับการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดต้นทุนโดยรวมต่ำสุด ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ เพื่อเลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากผลเฉลยที่เหมาะสมจากโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่สร้างขึ้น



รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งของโรงพยาบาล

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเลือกสถานที่ติดตั้งเตาเผาสำหรับกำจัดมูลฝอยติดเชื้อเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างมากเพราะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เนื่องจากหากเลือกสถานที่ตั้งไม่เหมาะสมอาจทำให้มูลฝอยติดเชื้อไม่ถูกกำจัดอย่างถูกสุขอนามัย อาจทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคสู่สิ่งแวดล้อมและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ จากการสำรวจวรรณกรรมพบว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการเลือกสถานที่ติดตั้งสำหรับกำจัดมูลฝอยติดเชื้อมีหลายงานวิจัย อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งที่ตั้งและขนาด

บทความวิจัย (Research Article)

ของเตาเผาที่เหมาะสมที่ประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่พิจารณาเกี่ยวข้องกับต้นทุนรวมต่ำสุด ดังนี้

Wichapa and Khokhajaikiat [5] นำเสนอการหาตำแหน่งของเตาเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลโดยพิจารณาทั้งเกณฑ์ด้านต้นทุนโดยรวม และเกณฑ์ด้านความพึงพอใจของสถานที่ตั้ง ภายใต้ทรัพยากรที่จำกัดโดยใช้การโปรแกรมเชิงเป้าหมายและกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process: AHP) ซึ่งกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการวินิจฉัยเพื่อช่วยในการตัดสินใจประเด็นปัญหาที่มีความซับซ้อนให้ดำเนินการง่ายขึ้น ผลการทดลองที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการเลือกสถานที่ตั้งสำหรับกำจัดเตาเผาขยะติดเชื้อได้

อนุชา ศรีบุรัมย์ และสมบัติ สิ้นธุเชาวน์ [6] นำเสนอการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนประกอบไปด้วยจังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู และ เลย จำนวนทั้งหมด 107 แห่ง มาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อโดยให้มีต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนการขนส่ง และค่าดำเนินการวิธีการที่นำเสนอสามารถเป็นแนวทางหนึ่งในการกำหนดที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อภายในโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนได้

บุษบา สมี่แจ่ม และคณะ [7] นำเสนอวิธีหาดำเนินการที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม จำนวน 13 แห่ง ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด วิเคราะห์

ข้อมูลและประมวลตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ LINGO ผลการวิจัยพบว่าโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคามควรเลือกใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาดความจุ 1,200 และ 400 กิโลกรัม/วัน บนตำแหน่งตั้ง ทั้งหมด 2 แห่ง คือ โรงพยาบาลมหาสารคาม และโรงพยาบาลนาइन ตามลำดับ โดยมีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด เท่ากับ 16,108 บาท/วัน และโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมากำจัดที่โรงพยาบาลมหาสารคาม ได้แก่ โรงพยาบาลมหาสารคาม โรงพยาบาลบรบือ โรงพยาบาลโกสุมพิสัย โรงพยาบาลเขียงยืน โรงพยาบาลแกดำ โรงพยาบาลกันทรวิชัย โรงพยาบาลกุดรัง และโรงพยาบาลชื่นชม โดยมีปริมาณขยะติด เชื้อรวม 1,030.11 กิโลกรัม/วัน โรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมากำจัดที่โรงพยาบาลนาइन ได้แก่ โรงพยาบาลนาइन โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย โรงพยาบาลวาปีปทุม โรงพยาบาลนาเชือก โรงพยาบาลยางสีสุราช มีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 180.17 กิโลกรัม/วัน นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความไวของตัวแบบโดยการผันแปรค่าปริมาณขยะติด เชื้อเฉลี่ยต่อวัน พบว่าตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผาที่เปิดบริการไม่เปลี่ยนแปลงมาก และแม้โรงพยาบาลจะมีปริมาณขยะ ติดเชื้อสูงขึ้นถึง 30% ก็ยังคงมีต้นทุนโดยรวมต่ำกว่าการจ้างเหมาให้บริษัทเอกชนดำเนินการเผากำจัด

Srisuwandee et al. [8] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้อัลกอริธึม Differential Evolution (DE) สำหรับแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยอัลกอริธึม DE เป็นเมตาฮิวริสติกส์หนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบ Np-hard งานวิจัยนี้กำหนดสมการวัตถุประสงค์ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำสุดและผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำสุด โดยอัลกอริธึม DE จะใช้เพื่อค้นหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดที่ตอบสนองวัตถุประสงค์ทั้งสอง ผู้เขียนประเมินประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอโดยเปรียบเทียบกับเมตาฮิวริสติก ได้แก่ Genetic

บทความวิจัย (Research Article)

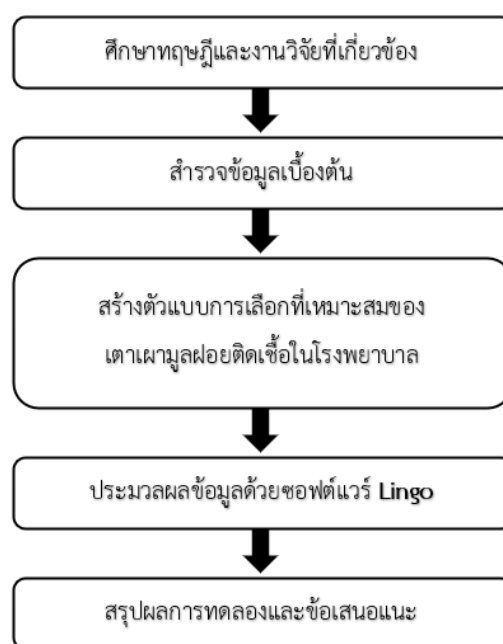
Algorithms และ Simulated Annealing โดยผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบแสดงว่าอัลกอริทึม DE มีประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ ในแง่ของคุณภาพของคำตอบและเวลาในการประมวลผลเร็วสุด

Suksee et al. [9] ได้นำเสนองานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะและเส้นทางรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นเรียกว่า Greedy Randomized Adaptive Large Neighborhood Search Procedure (GRALNSP) และ Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) ซึ่งผลเฉลยที่ได้จาก GRALNSP จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การประมวลผลด้วยโปรแกรม A Mathematical Programming Language (AMPL) สำหรับปัญหาขนาดเล็ก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน แต่ GRALNSP ใช้เวลาคำนวณน้อยกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นและซับซ้อนมากขึ้น AMPL ไม่สามารถหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดได้ภายในระยะเวลาจำกัดของเวลาในการคำนวณ ขณะที่ GRALNSP ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าและใช้เวลาคำนวณน้อยกว่า ดังนั้นวิธีที่นำเสนอนี้เป็นประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดได้

แม้ว่าจะมีหลายวิธีในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามวิธีการแบบแมนตรึงที่ประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณยังเป็นที่นิยมทั้งในอดีตและในปัจจุบัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการเลือกขนาดความจุของเตาเผา และตำแหน่งของสถานที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่เหมาะสม โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้น และประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO ในการศึกษาครั้งนี้

3. วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินโครงการและขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ “การเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์” ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 2 กรอบการดำเนินงานวิจัยนี้

3.1 สำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

สำรวจข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดกาฬสินธุ์ สำรวจปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ และรูปแบบการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อในพื้นที่กรณีศึกษาสำรวจระยะทางของโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ สำรวจระยะทางระหว่างโรงพยาบาลเพื่อนำมาสร้างเป็นเมทริกซ์ระยะทางเพื่อใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลการวิจัยต่อไป

3.2 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งมูลฝอยติดเชื้อ

สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกที่ตั้งสำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)

ดัชนี:

i คือ ดัชนีของโรงพยาบาลต้นทางที่ได้รับการบริการ, $i = 1, 2, \dots, I$; $I=18$

j คือ ดัชนีของโรงพยาบาลปลายทางที่ให้บริการ, $j = 1, 2, \dots, J$; $J=18$

k คือ ดัชนีของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ, $k=1, 2, 3, \dots, K$; K คือจำนวนของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ($K=3$)

โดยที่ $K=1$ หมายถึง ความจุเตาเผามูลฝอยติดเชื้อขนาด 400 กิโลกรัมต่อวัน

$K=2$ หมายถึง ความจุเตาเผามูลฝอยติดเชื้อขนาด 800 กิโลกรัมต่อวัน

$K=3$ หมายถึง ความจุเตาเผามูลฝอยติดเชื้อขนาด 1,200 กิโลกรัมต่อวัน

พารามิเตอร์:

o_k คือ ต้นทุนดำเนินการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อโดยเฉลี่ย (บาท/วัน)

u คือ ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วย (บาท/กิโลเมตร) โดยกำหนดสมมุติฐานว่าใช้รถลักษณะเดียวกันอัตราการเปลืองน้ำมันต่อระยะทางมีค่าเท่ากันคือ $u = 4.5$ บาท/กิโลเมตร

dt_{ij} คือ เมตริกซ์ระยะทางจริงจาก Google map ระหว่างโรงพยาบาล i และ โรงพยาบาล j

s_k คือ ขนาดของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อดัชนี k

d_i คือ ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาล i (กิโลกรัม/วัน)

ตัวแปรตัดสินใจ:

X_{ij} คือ ตัวแปรแบบไบนารี เมื่อ $X_{ij} = 1$ หมายถึง โรงพยาบาล i ได้รับการบริการจากโรงพยาบาล j เท่านั้น เมื่อ $X_{ij} = 0$ หมายถึง ไม่เกิดการขนส่งโรงพยาบาล i และ โรงพยาบาล j

Y_{jk} เป็น ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี เมื่อ $Y_{jk} = 1$ หมายถึง โรงพยาบาล j ถูกติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

k เมื่อ $Y_{jk} = 0$ หมายถึง โรงพยาบาล j ไม่ถูกติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ k

สมการเป้าหมาย:

$Min Z =$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K o_k Y_{jk} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J u \cdot dt_{ij} \cdot X_{ij} \quad (1)$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมายต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งต้นทุนรวมประกอบด้วย ต้นทุนดำเนินการสร้างเตาเผาติดเชื้อ และต้นทุนการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อ [14]

ข้อจำกัด :

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} = 1, \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{jk} \leq 1, \forall j \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq \sum_{k=1}^K Y_{jk}, \forall i, j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J d_i X_{ij} \leq \sum_{k=1}^K s_k Y_{jk}, \forall j \quad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad (6)$$

$$Y_{jk} \in \{0,1\} \quad (7)$$

สมการที่ (2) ยืนยันว่ามูลฝอยติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาล i จะได้รับการบริการจากโรงพยาบาล j เพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการที่ (3) ยืนยันว่าโรงพยาบาล j สามารถติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ k ได้เพียงหนึ่งขนาดเท่านั้น สมการที่ (4) แสดงว่าโรงพยาบาล i จะได้รับการบริการจากโรงพยาบาล j ที่ติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ k แล้วเท่านั้น สมการที่ (5) แสดงว่าการให้บริการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาล j ที่ติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ k ต้องไม่เกินความจุของ

บทความวิจัย (Research Article)

เตาเผามูลฝอยติดเชื้อ k สมการที่ (6) และสมการที่ (7) แสดงตัวแปรการตัดสินใจเป็นแบบไบนารี (Binary)

3.3 แปลงตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO

การประมวลผลข้อมูลเพื่อทำการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลจังหวัดกาฬสินธุ์ จะเริ่มต้นจากนำสมการที่ (1) ถึง (7) มาเขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ลิงโก ผลการคำนวณจะแสดงในหัวข้อที่ 4 ต่อไป

4. ผลการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาประมวลโดยใช้วิธีที่นำเสนอ ดังนี้

4.1 การสร้างเมตริกซ์ระยะทางและการคำนวณต้นทุนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

เมตริกซ์ระยะทางประกอบด้วยระยะทางระหว่างโรงพยาบาลโดยใช้การวัดระยะทางโดยใช้ Google map และปริมาณมูลฝอยติดเชื้อต่อวัน และต้นทุนต้นทุนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อแต่ละชนิด มีรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ ปี 2564

ID	รายชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อวัน)
H1	โรงพยาบาลกาฬสินธุ์	626.71
H2	โรงพยาบาลกมลาไสย	80.61
H3	โรงพยาบาลเขาวง	57.05
H4	โรงพยาบาลคำม่วง	39.18

ID	รายชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อวัน)
H5	โรงพยาบาลฆ้องชัย	19.61
H6	โรงพยาบาลดอนจาน	11.37
H7	โรงพยาบาลท่าคันโท	29.93
H8	โรงพยาบาลนาคู	26.01
H9	โรงพยาบาลนามน	15.26
H10	โรงพยาบาลยางตลาด	130.74
H11	โรงพยาบาลร่องคำ	8.22
H12	พระยุพราชกุฉินารายณ์	161.35
H13	โรงพยาบาลสมเด็จ	72.89
H14	โรงพยาบาลสหัสขันธ์	52.42
H15	โรงพยาบาลสามชัย	14.31
H16	โรงพยาบาลหนองกุงศรี	70.04
H17	โรงพยาบาลห้วยผึ้ง	15.86
H18	โรงพยาบาลห้วยเม็ก	39.18
รวมทั้งสิ้น		1,470.74

ตารางที่ 2 เมตริกซ์ระยะทางประกอบด้วยระยะทางระหว่างโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์

ID	H1	H2	H3	H4	H5	H6
H1	0	14.8	89	77	30	29
H2	14.8	0	91.6	87	15.5	26.9
H3	89	91.6	0	82.1	107	66.4
H4	77	87	82.1	0	102	79.2
H5	30	15.5	107	102	0	42.2
H6	29	26.9	66.4	79.2	42.2	0
H7	83	100	135	58.7	104	97.7
H8	81	94.6	11.8	76.8	110	67.2
H9	43	45.7	53.2	57.1	71.5	20.8

บทความวิจัย (Research Article)

ID	H1	H2	H3	H4	H5	H6
H10	19	27.9	105	96.8	24.6	47.1
H11	38	24.7	74.8	114	33.7	32.7
H12	68	73.3	22.2	75.2	90.6	44.6
H13	42	55.4	47.4	38	70.7	48.6
H16	62	64.2	104	69.5	68.5	73.9
H14	34	47.6	74.9	40	60.7	48.7
H15	75	88.9	84	16.7	104	85.2
H17	61	74.2	25.5	56.9	89.6	46.8
H18	50	58.9	117	81.6	55.6	69.4

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ID	H7	H8	H9	H10	H11	H12
H1	83	81	43	19	38	68
H2	100	94.6	45.7	27.9	24.7	73.3
H3	135	11.8	53.2	105	74.8	22.2
H4	58.7	76.8	57.1	96.8	114	75.2
H5	104	110	71.5	24.6	33.7	90.6
H6	97.7	67.2	20.8	47.1	32.7	44.6
H7	0	120	95	80	126	118
H8	120	0	49	101	86	34
H9	95	49	0	63	50	32
H10	80	101	63	0	46	84
H11	126	86	50	46	0	56
H12	118	34	32	84	56	0
H13	81	43	22	62	79	41

ID	H7	H8	H9	H10	H11	H12
H16	37	100	67	44	90	98
H14	50	70	37	53	71	68
H15	51	79	59	98	115	77
H17	100	21	28	80	77	22
H18	49	112	79	31	77	117

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ID	H13	H14	H15	H16	H17	H18
H1	42	62	34	75	61	50
H2	55.4	64.2	47.6	88.9	74.2	58.9
H3	47.4	104	74.9	84	25.5	117
H4	38	69.5	40	16.7	56.9	81.6
H5	70.7	68.5	60.7	104	89.6	55.6
H6	48.6	73.9	48.7	85.2	46.8	69.4
H7	81	37	50	51	100	49
H8	43	100	70	79	21	112
H9	22	67	37	59	28	79
H10	62	44	53	98	80	31
H11	79	90	71	115	77	77
H12	41	98	68	77	22	117
H13	0	60	31	40	22	73
H16	60	0	30.2	71.5	95.1	12.5
H14	31	30.2	0	41.9	49.8	42.3
H15	40	71.5	41.9	0	58.8	81.2
H17	22	95.1	49.8	58.8	0	91.3

บทความวิจัย (Research Article)

ID	H13	H14	H15	H16	H17	H18
H18	73	12.5	42.3	81.2	91.3	0

4.2 ต้นทุนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

ความจุเตาเผามูลฝอยติดเชื้อมีจำนวน 3 แบบ ดังนี้ แบบที่ 1 ความจุเตาเผา 400 กิโลกรัมต่อวัน มูลค่าราคา 1.2 ล้านบาท และมีอายุการใช้งาน 10 ปี แบบที่ 2 ความจุเตาเผา 800 กิโลกรัมต่อวัน มูลค่าราคา 1.8 ล้านบาท และมีอายุการใช้งาน 10 ปี และแบบที่ 3 ความจุเตาเผา 1,200 กิโลกรัมต่อวัน มูลค่าราคา 2.2 ล้านบาท และมีอายุการใช้งาน 10 ปี โดยการนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาคำนวณต้นทุนต่อวัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ต้นทุนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อแต่ละชนิด

รายการต้นทุน/ ค่าใช้จ่าย	ต้นทุนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ (บาท/วัน)		
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
1. ค่าเสื่อมราคา	329	439	603
2. ค่าดำเนินการเผา	800	860	920
3. ค่าบำรุงรักษา	280	350	420
4. ค่าสาธารณูปโภค	660	730	800
5. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	800	1,500	2,100
6. ค่าจ้างวิศวกร	650	650	650
7. ค่าจ้างนักวิชาการ	600	600	600
รวมทั้งสิ้น	4,119	5,129	6,093

4.3 การเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์

ขั้นตอนการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ จะมีสองขั้นตอนย่อย ดังนี้

4.3.1 เขียนโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์โดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO

จากหัวข้อที่ 3.2 ซึ่งเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลจังหวัดกาฬสินธุ์ เริ่มจากหาผลเฉลยของสมการที่ (1) ถึง (7) โดยการเขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ลิงโก ดังนี้

MODEL:

SETS:

```
HOSPITAL_i/1..18/;
HOSPITAL_j/1..18/d;
INCINERATOR_k/1..3/s,o
IJ(HOSPITAL_i,
HOSPITAL_j):dt,X;
IK(HOSPITAL_i,INCINERATOR_
k);;
JK(HOSPITAL_j,
INCINERATOR_k):Y;
```

ENDSETS

DATA:

```
dt,d,s,o =@OLE('C:\Users\Data-
project.xlsx','dt','d','s','o');
```

u= 4.5;

ENDDATA

บทความวิจัย (Research Article)

```

MIN
=@SUM(IJ(i,j):u*dt(i,j)*X(i,j))+@SUM(J
K(j,k):o(k)*Y(j,k));
@FOR(HOSPITAL_i(i):@SUM(HOSP
ITAL_j(j):X(i,j))=1);
@FOR(HOSPITAL_j(j):@SUM(INCI
NERATOR_k(k):Y(j,k))<=1);
@FOR(IJ(i,j):X(i,j)<=
@SUM(INCINERATOR_k(k):Y(j,k)));
@FOR(HOSPITAL_j(j):@SUM(HOSP
ITAL_i(i):d(i)*X(i,j))
<=@SUM(INCINERATOR_k(k):s(k)*Y
(j,k)));
@FOR(IJ(i,j):@BIN(X(i,j)));
@FOR(JK(j,k):@BIN(Y(j,k)));
END

```

4.3.2 ผลการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสม

หลังจากการเขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ LINGO โดยการป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้องในข้างต้นลงไป ในโปรแกรมที่เขียนขึ้น จากนั้นทำการรันเพื่อหาผลเฉลย โดยมีรายละเอียดดังนี้

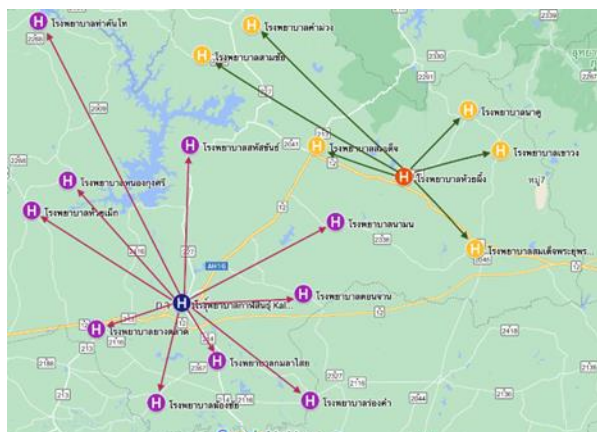
ตารางที่ 4 แสดงผลเฉลยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พิจารณาต้นทุนรวมต่ำสุด สรุปได้ดังนี้ ต้นทุนรวมจากการใช้ซอฟต์แวร์ลิงโกวิเคราะห์ เท่ากับ 12,500.50 บาทต่อวัน (โดยต้นทุนรวมจะพิจารณาจากต้นทุนดำเนินการสร้างเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ และ ต้นทุนการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อ) ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผา มูลฝอยติดเชื้อจุดที่ 1 คือ โรงพยาบาลกาฬสินธุ์ (H1*) มีขนาดเตาเผา 1,200 กิโลกรัมต่อวัน (K=3) โดยมีโรงพยาบาลที่ได้รับการบริการ ได้แก่ โรงพยาบาลกาฬสินธุ์ (H1), โรงพยาบาลกมลาไสย (H2), โรงพยาบาลฆ้องชัย (H5), โรงพยาบาลดอนจาน (H6), โรงพยาบาลท่าคันโท (H7), โรงพยาบาลนามน (H9), โรงพยาบาลยางตลาด (H10), โรงพยาบาลร่องคำ (H11), โรงพยาบาลสหัสขันธ์ (H14), โรงพยาบาลหนองกุงศรี (H16) และโรงพยาบาลห้วยเม็ก (H18)

ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เก็บขน 1,084.09 กิโลกรัมต่อวัน ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจุดที่ 2 คือ โรงพยาบาลห้วยผึ้ง (H17*) มีขนาดเตาเผา 400 กิโลกรัมต่อวัน (K=1) โดยมีโรงพยาบาลที่ได้รับการบริการ ได้แก่ โรงพยาบาลเขาวง (H3), โรงพยาบาลคำม่วง (H4), โรงพยาบาลนาคู (H8), โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชกุฉินารายณ์ (H12), โรงพยาบาลสมเด็จ (H13), โรงพยาบาลสามชัย (H15) และ โรงพยาบาลห้วยผึ้ง (H17) ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เก็บขน 386.65 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งรวมปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เก็บขนต่อวันรวมทั้ง 18 โรงพยาบาล เท่ากับ 1470.74 กิโลกรัมต่อวัน รูปที่ 3 แสดงผลเฉลยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น สำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสม

ตารางที่ 4 ผลเฉลยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พิจารณาต้นทุนอย่างเดียว

H1*	K=3	H1, H2, H5, H6, H7, H9, H10, H11, H14, H16, H18	1,084.09
H17*	K=1	H3, H4, H8, H12, H13, H15, H17	386.65
ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผา	ขนาดเตาเผา (กิโลกรัมต่อวัน)	โรงพยาบาลที่ได้รับการบริการ	ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อวัน)

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 3 ผลเฉลยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการให้บริการโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยพิจารณาโครงข่ายของสถานที่ตั้งที่ให้ต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งต้นทุนรวมประกอบด้วยต้นทุนดำเนินการและต้นทุนการขนส่ง เริ่มจากการสร้างโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อสำหรับกรณีศึกษา หลังจากนั้นทำการเขียนโค้ดตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นที่นำเสนอโดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO ลำดับต่อมาทดสอบแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นที่นำเสนอด้วยกรณีศึกษาโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 18 แห่ง ผลการวิจัยพบว่า ตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำสุดมีจำนวน 2 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลกาฬสินธุ์ติดตั้งเตาเผาขนาด 1,200 กก.ต่อวัน และโรงพยาบาลห้วยผึ้งติดตั้งเตาเผาขนาด 400 กก.ต่อวัน ตามลำดับ โดยมีต้นทุนรวมต่ำสุดเท่ากับ 12,500.50 บาทต่อวัน ลดลงจากการใช้บริการกำจัดของเอกชน (14,707.40 บาทต่อวัน) เป็น 2,206.9 บาทต่อวัน คิดเป็น 15% สำหรับงานวิจัยในอนาคตผู้วิจัยเสนอแนะดังนี้

(1) งานวิจัยนี้เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยที่พิจารณาที่ต้นทุนอย่างเดียว อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติอาจจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสังคมและสิ่งแวดล้อมด้วย เช่น ระเบียบข้อบังคับ กฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ครอบคลุมทุกมุมมองที่เกี่ยวข้อง (2) งานวิจัยนี้มีจำนวนโรงพยาบาลที่ถูกนำมาประมวลผลจำนวน 18 โรงพยาบาลซึ่งสามารถใช้ซอฟต์แวร์ลิงโกนำมาประมวลผลได้เนื่องจากปัญหามีขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามหากปัญหามีที่ขนาดใหญ่ขึ้น หรือปัญหา Np-hard การแก้ปัญหาลักษณะนี้อาจจะหาคำตอบไม่ได้จากซอฟต์แวร์ลิงโกสำหรับปัญหาดังกล่าวจึงเสนอแนะให้พัฒนาฮิวริสติก (Heuristics) หรือเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดต่อไป (3) วิธีการที่นำเสนอการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในงานวิจัย หรือพื้นที่อื่นได้ และ (4) ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในงานวิจัยนี้เป็นแบบค่าที่แน่นอน อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงปริมาณมูลฝอยติดเชื้อเป็นแบบไม่แน่นอน ควรพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคลุมเครือสำหรับการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี และ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่สนับสนุนบทความวิจัยฉบับนี้ และผู้แต่งขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่พิจารณาบทความและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ เพื่อให้คุณภาพของบทความวิจัยนี้ดียิ่งขึ้นให้อยู่หลังเนื้อหาหลักของบทความและก่อนเอกสารอ้างอิง

บทความวิจัย (Research Article)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Singh, O. A. Ogunseitan, and Y. Tang, "Medical waste: Current challenges and future opportunities for sustainable management," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 52, no. 11, pp. 2000-2022, 2022.
- [2] C.-W. Yoon, et al., "A review of medical waste management systems in the Republic of Korea for hospital and medical waste generated from the COVID-19 pandemic," *Sustainability*, vol. 14, no. 6, p. 3678, 2022.
- [3] กองอนามัยสิ่งแวดล้อมกระทรวงสาธารณสุข, "แนวทางการจัดการขยะติดเชื้อ," [ออนไลน์]. 2539. Available: https://env.anamai.moph.go.th/webupload/migrated/files/env/n722_d50370459_253e3fd1ef8d6f0a817cf76_f011.pdf. [เข้าถึงเมื่อ: 10 มกราคม 2566].
- [4] อรรถพล เจริญชันษา, "ขยะมูลฝอยลดลง ขยะติดเชื้อและขยะอันตรายเพิ่มขึ้นบริหารจัดการอย่างถูกวิธี," [ออนไลน์]. 2565. Available: https://www.pcd.go.th/pcd_news/20802/. [เข้าถึงเมื่อ: 10 มกราคม 2566].
- [5] N. Wichapa and P. Khokhajaikiat, "Solving multi-objective facility location problem using the fuzzy analytical hierarchy process and goal programming: a case study on infectious waste disposal centers," *Operations Research Perspectives*, vol. 4, pp. 39-48, 2017.
- [6] อนุชา ศรีบุรัมย์ และ สมบัติ สิ้นธุเชาวน์, "วิธีแก้ปัญหาการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 51-59, 2556.
- [7] บุชบา สมิแจ่ม, พิชรี แก้วทอง และ โรจน์ หอมขาลี, "การหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, 2562.
- [8] T. Srisuwandee and S. Sindhuchao, "The Differential Evolution Algorithm for Solving the Problem of Size Selection and Location of Infectious Waste Incinerator," *Computation*, vol. 11, no. 1, p. 10, 2023.
- [9] S. Suksee and S. Sindhuchao, "GRASP with ALNS for solving the location routing problem of infectious waste collection in the Northeast of Thailand," *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2021.

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งปลาโดยใช้วิธีตากูชิ

สุรัชชัย นามพรมมา¹, ราชนัน อุดมคำ¹, ศุภกิจ เคิกศิริ² และ อามินท์ หล้าวงศ์^{2,*}

¹ สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

² สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

*ผู้ประสานงานบทความฉบับนี้: amin.la@ksu.ac.th โทรศัพท์: 081-7995035

(รับบทความ: 6 เมษายน 2566; แก้ไขบทความ: 20 เมษายน 2566; ตอรับบทความ: 29 เมษายน 2566)

บทคัดย่อ

เครื่องอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้าเป็นเครื่องมือที่มีความนิยมในการนำมาใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร แต่ปัญหาคือการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแล้วมีคุณภาพเพียงพอและเหมาะสมกับช่วงเวลาที่ใช้ในการอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ทำการศึกษาค่าปัจจัยและหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งกรณีศึกษาการอบแห้งปลาแดดเดียว โดยมีขั้นตอนการทดลองคือ การกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการอบแห้ง การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีของตากูชิ การทดลอง และการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งเราได้ทำการทดลองโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากหลอดอินฟราเรดเป็นหลักที่อุณหภูมิของเครื่องอบ 3 ระดับ ได้แก่ 38, 44 และ 50 °C และความเร็วอากาศในเครื่องอบ 3 ระดับ ได้แก่ 20, 25 และ 30 cfm ผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งปลาที่มีประสิทธิภาพในการอบแห้งที่ดีที่สุดคืออุณหภูมิของเครื่องอบอยู่ที่ 44 °C และความเร็วของอากาศในเครื่องอบอยู่ที่ 20 cfm ซึ่งทำให้ได้ค่าร้อยละของความชื้นที่หายไปและค่าคะแนนด้านคุณภาพโดยรวม อยู่ที่ 61.96% และ 85.0% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวนของของร้อยละความชื้นที่หายไปและค่าคะแนนด้านคุณภาพโดยรวมแล้วพบว่าผลการวิเคราะห์ปัจจัยการทดลองระดับความเชื่อมั่นที่ 99.15% และ 99.39% ตามลำดับ

คำสำคัญ: การอบแห้งปลา วิธีตากูชิ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้า

การอ้างอิงบทความ: สุรัชชัย นามพรมมา และคณะ, "การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งปลาโดยใช้วิธีตากูชิ," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 31-43, 2566.

Experiment to determine the optimal conditions for drying fish using the Taguchi method

Surachai Nampromma¹, Rachan Udomkham¹, Supakit Sergsiri² and Amin Lawong^{2,*}

¹ Department of Industrial Technical Education, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan
KhonKaen Campus

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

* Corresponding Author: amin.la@ksu.ac.th, Tel: 081-7995035

(Received: April 6, 2023; Revised April 20, 2023; Accepted: April 29, 2023)

Abstract

A solar-electric drying machine is a common tool for drying food. The problem is determining the optimal conditions for producing a high-quality dried product suitable for drying. As a result, the goal of this research is to investigate the factors and determine the best drying conditions. A case study of drying fish, with the experimental procedure determining the drying factors. Taguchi's method was used for experimental design. We conducted experiments with infrared lamp heat sources primarily at three dryer temperatures: 38, 44, and 50 °C, as well as three dryer air speed levels: 20 cfm, 25 cfm, and 30 cfm. Experimenting and determining the best drying conditions the results showed that the fish dryer's best drying efficiency was 44 °C and the air speed in the dryer was 20 cfm, resulting in a percentage of moisture loss and an overall quality score of 61.96% and 85.0%, respectively. Moreover, when the analysis of variance of the moisture loss percentage and the overall quality score value were taken into account, the results of the experimental factor analysis revealed a confidence level of 99.15 percent and 99.39 percent, respectively.

Keywords: Drying fish, Taguchi method, Solar-electric dryer

Please cite this article as: S. Nampromma, et al., "Experiment to Determine the Optimal Conditions for Drying Fish Using the Taguchi Method," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, KSU*, vol. 1, no. 2, pp. 31-43, 2023.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ปัจจุบันมีความนิยมของการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น กุ้งตาก ปลาแห้ง พริกแห้ง เป็นต้น ข้อดีของการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์คือไม่เสียค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในระหว่างการใช้งานไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ในการอบแห้งภายในพื้นที่ปิดจะช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง การรบกวนจากแมลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น และยังช่วยลดระยะเวลาในการตากแห้งได้อีกด้วย

เครื่องอบแห้งนี้ ประกอบด้วยส่วนรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และส่วนเครื่องอบแห้ง ภายในเครื่องอบแห้งมีการระบายอากาศโดยใช้พัดลมระบายอากาศเพื่อให้มีการถ่ายเทอากาศในเครื่องอบแห้ง เครื่องอบแห้งควรออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศอาจต้องเคลื่อนย้ายตัวเครื่องให้อยู่ในบริเวณที่เหมาะสม

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์จะแผ่ไปยังผลิตภัณฑ์ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในผลิตภัณฑ์สั่นและเกิดความร้อนขึ้นทำให้มีอุณหภูมิสูงจนทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นไอระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีหนึ่งซึ่งช่วยลดระยะเวลา และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง และการให้ความร้อนโดยแสงอาทิตย์นั้น อุณหภูมิจะกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอจึงไม่มีปัญหาความชื้นผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งอยู่หลายงาน ทนศักดิ์ วัฒนา [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับตู้อบกระเทียมพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับก๊าซชีวมวลจากการวิจัยพบว่างานวิจัยนี้เป็นการศึกษา และออกแบบเครื่องอบแห้งต้นแบบที่ใช้พลังงานความร้อนร่วมระหว่าง พลังงานแสงอาทิตย์ และ พลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวมวล (Producer gas) พิสิษฐ์ มณีโชติ และคณะ [2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาและเผยแพร่

เทคโนโลยีเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ พลังงานความร้อนจากชีวมวลเพื่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเทคโนโลยี และสุฤดี นาถกรณกุล [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊สชีวภาพ ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่พบว่า เครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้งได้ดี และมีข้อได้เปรียบคือประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณค่าพลังงาน

พรพิชญและคณะ [4] ทำการศึกษาผลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขมิ้นชันพบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนส่งผลต่อสีของขมิ้นอย่างมีนัยสำคัญในค่าสี L^* , a^* , b^* และ ΔE ($p < 0.05$) ความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการอบแห้งที่ลดลง การอบแห้งขมิ้นชันด้วยรังสีอินฟราเรดไกล (80 °C) สามารถรักษาค่าสีให้คงเดิมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งอาจเกิดจากการทำให้เกิดความร้อนที่รวดเร็วและสม่ำเสมอ

พัชรภรณ์และคณะ [5] ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งใบบัวบกโดยใช้รังสีอินฟราเรด พบว่าการอบแห้งใบบัวบกด้วยเครื่องต้นแบบดังกล่าว ทำให้ได้ใบบัวบกที่มีคุณภาพเป็นไปตามต้องการ สำหรับค่า a_w ของใบบัวบกอบแห้งมีค่าต่ำกว่า 0.65 ส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้จึงแทบจะไม่เกิดการเน่าเสียของอาหาร สามารถเก็บอาหารนี้ได้นานมากกว่า 2 ปี

สรารุณและคณะ [6] ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดและลมร้อนพบว่า เมื่อทดลองอบแห้งอาหารผลการทดลองในด้านของสี กลิ่น รสชาติ ไม่มีความแตกต่างจากวิธีดั้งเดิม และค่าปริมาณน้ำอิสระและค่าความชื้นมีความแตกต่างจากวิธีดั้งเดิมเพียงเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามค่ามาตรฐาน

บทความวิจัย (Research Article)

กมลวรรณ และคณะ [7] ทำการศึกษา จลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาช่อนทะเลด้วยโรงเรือน อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า การอบแห้งภายใน โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองระบบมี อัตราการอบแห้งเร็วกว่าแบบตากแดด โดยการ อบแห้งแบบเปิดพัดลมระบายอากาศมีอัตราการ อบแห้งเร็วสุดคือ 21 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาเทียบกับ จากค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับปลาที่วางจำหน่ายใน ท้องตลาดคือ 45 % d.b. และค่าสีใกล้เคียงกับ ผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป

จุฑารัตน์และคณะ [8] ทำการศึกษาจลนศาสตร์ การอบแห้งปลาข้าวสาร ด้วยลมร้อนและรังสี อินฟราเรดพบว่าอัตราการอบแห้งจะสูงขึ้นเมื่อ อุณหภูมิอบแห้งและกำลังของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้น

ฮาติมมีและคณะ [9] ทำการศึกษาประสิทธิภาพ การอบแห้งของปลาช่อนด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมไฟฟ้าพบว่า ตู้อบแห้งปลาช่อนโดยใช้พลังงาน แสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้าปลาช่อนที่ได้จากการทดลองมี น้ำหนักเท่ากับ 567.6 กรัม ใช้เวลาทำการทดลอง 7 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับตู้อบแห้งปลาช่อนโดยใช้พลังงาน แสงอาทิตย์ และการตากแบบธรรมชาติ เท่ากับ 672.6 กรัม และ 808.8 กรัม ตามลำดับ และ อัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.34 เปอร์เซ็นต์ 0.49 เปอร์เซ็นต์ และ 0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่ง ประสิทธิภาพการอบแห้งของปลาช่อนโดยใช้พลังงาน แสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้าสามารถลดระยะเวลาในการทำ ให้แห้งของปลาช่อน

สยามพลและคณะ [10] ทำการอบแห้งปลาด้วย เครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำที่ใช้ของไหลนาโนในท่อ ความร้อน ซึ่งให้ผลที่ดีในด้านการประหยัดพลังงาน เพราะสามารถลดพลังงานจากคอมเพรสเซอร์ลงได้ แต่การใช้ปั๊มความร้อนเพื่อการอบแห้งนั้นมีค่าใช้จ่าย ในการลงทุนขั้นต้นสูงกว่าการใช้หลอดไฟฟ้า น้ำมัน ก๊าซ เชื้อเพลิง หรือถ่านหิน แต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

ของปั๊มความร้อนจะต่ำกว่า ดังนั้นการอบแห้งโดยใช้ ปั๊มความร้อนจะให้ผลคุ้มค่าในระยะยาว

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเครื่องอบ แห้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า กรณีศึกษาการ อบแห้งปลา ซึ่งการอบแห้งด้วยวิธีนี้มีความได้เปรียบ กว่าการอบแห้งด้วยวิธีอื่นคือสามารถอบแห้งด้วย ระยะเวลาที่รวดเร็วกว่าวิธีอื่นและปลาที่อบแห้งได้มี คุณภาพดีไม่แตกต่างกับการอบแห้งด้วยวิธีดั้งเดิม อีกทั้งยังใช้ต้นทุนในการผลิตไม่สูงและมีระยะเวลาคืนทุน เร็ว โดยในงานวิจัยนี้ ทางคณะผู้วิจัยทำการหาปัจจัย ของเครื่องอบแห้งปลาและหาสภาวะที่เหมาะสมที่ สามารถใช้ในการอบแห้งปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปริมาณการผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อการจำหน่าย ในกลุ่มอุตสาหกรรมย่อย โดยเครื่องอบที่ใช้ทดลอง อบแห้งปลาเป็นเครื่องที่มีขนาดกลางไปถึงขนาดใหญ่ ปลาที่ใช้อบแห้งปลา ได้แก่ ปลาสร้อยขาว และปลา กระมัง เป็นต้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ คือ กระบวนการที่ทำให้ระบบมีอุณหภูมิอากาศสูงขึ้นโดย ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ อากาศร้อนทำให้อุณหภูมิ อบแห้งระเหยน้ำออกมา ความชื้นในเครื่องอบแห้งถูก ระบายออกไปภายนอกด้วยพัดลมซึ่งใช้พลังงานงาน จากเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิอบแห้งมีความชื้น ลดลง เมื่อมีรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบบบอบแห้ง จะส่งผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตไปยังผลิตภัณฑ์บางส่วน จะตกกระทบบนพื้นของระบบอบแห้ง ทำภายในห้องมี อุณหภูมิสูงขึ้น และแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา เนื่องจากรังสีอินฟราเรดเป็นรังสีคลื่นยาว ซึ่งส่วนมาก ไม่สามารถผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตออกไปภายนอกได้ จึงเก็บกักอยู่ภายในระบบอบแห้ง อุณหภูมิของห้อง อบแห้งจึงสูงขึ้น และทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหย ออกมาและถูกพัดลมดูดอากาศด้านหลังของระบบ

บทความวิจัย (Research Article)

อบแห้งดูตออกไปภายนอก อากาศแวดล้อมจะไหลผ่านช่องระบายอากาศทางด้านหน้าเข้ามา ความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงค่อยๆ ลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานทั้งจากรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบโดยตรง และจากอากาศภายในห้องอบแห้ง ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วกว่าการตากแดดโดยวิธีธรรมชาติ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยังไม่ถูกรบกวนจากพวก นก หนู แมลงต่าง ๆ และการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกต่าง ๆ

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นในผลิตภัณฑ์

ในการทดลองอบแห้งต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในผลิตภัณฑ์จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยได้ศึกษาและสร้างโมเดลของสมการสมดุลความชื้นของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากตารางที่ 1 จะเห็นว่าทั้งกล้วย พริก และกาแฟต่างมีพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เหมือนกันคืออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศแต่จะมีเฉพาะในพริกที่จะมีความเร็วของอากาศในเครื่องอบเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากความเร็วของอากาศมีความสัมพันธ์กับความชื้นในเครื่องอบ เพราะเมื่ออากาศถูกระบายออกจากเครื่องอบได้เร็วความชื้นในเครื่องอบก็จะลดลงเร็วตามไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองโดยกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์อยู่ 2 ปัจจัยคืออุณหภูมิภายในเครื่องอบ และความเร็วอากาศในเครื่องอบ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างโมเดลปริมาณความชื้นในกล้วย, พริก และกาแฟ

ผลิตภัณฑ์	โมเดลปริมาณความชื้นในกล้วย, พริก และกาแฟ	แหล่งที่มา
กล้วย	$Me = 74.6603 - 1.144253T + 37.07224rh + 0.001166T^2 + 51.55374rh^2$	Smitabhi ndu et al. [11,12]

พริก	$Me = -65.2206 - 0.06922T + 0.022734T^2 - 29.4079rh + 68.31193rh^2 - 63.4257V_a + 56.42796V_a^2$	Hossain [13]
กาแฟ	$Me = 1.1281[-\ln(1-rh)/(T+40.535)]^{0.5405}$	Berbert et al. [14]

2.3 การคำนวณหาความชื้นของผลิตภัณฑ์

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้น โดยส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย โดยปกติจะใช้อัตราของความร้อนที่หายไปของผลิตภัณฑ์เป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการขจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยมีสมการดังนี้

$$MW = [(W - D) / W] \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

MW คืออัตราของความร้อนที่หายไปของผลิตภัณฑ์

W คือ น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์

D คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังจากอบแห้งแล้ว

โดยทั่วไปการอบแห้งวัสดุสามารถแบ่งออกเป็นช่วงคือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤติที่ผิวของวัสดุมีน้ำอยู่มาก เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุ ช่วงนี้อุณหภูมิผิวของวัสดุอบแห้งและอัตราการอบแห้งจะมีค่าคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำและน้ำที่ผิวจึงจะระเหยไปกับอากาศ

บทความวิจัย (Research Article)

2.4 การออกแบบการทดลองโดยวิธีการทากุชิ

วิธีการทากุชิเป็นเทคนิคสำหรับการออกแบบและทำการทดลองตลอดจนเป็นกระบวนการเพื่อค้นหาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่ได้จากปัจจัยในการนำมาทำการศึกษาดู (ตัวแปรนำเข้า) วิธีการทากุชิ คือ สิ่งที่ต้องการการออกแบบซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายโดยได้ทำการเลือกสมรรถนะที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่ได้กำหนด เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิธีการทากุชิก็คือ Orthogonal array (OA)

OA เป็นระบบเมตริกส์ของจำนวนข้อกำหนดในระดับแถว และคอลัมน์ วิธีการทากุชิคือการใช้อัตราส่วนแบบ Signal - to - noise (S/N) จะหาจำนวนของตัวแปรที่มีอยู่ S/N คือค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการวัดของผลกระทบของปัจจัย Noise ตามลักษณะของสมรรถนะของตัวแปร และจะทำการวัดค่าทั้งสองคือ S/N ของจำนวนตัวแปรในข้อมูลของผลตอบและเพื่อให้เข้าใจค่าเฉลี่ยผลตอบของเป้าหมายที่ต้องการที่สุด ทากุชิได้เสนอ 8 ขั้นตอนมาตรฐานดังนี้

1. จำแนกการดำเนินงานหลัก ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบข้างเคียงและโหมดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น
2. จำแนกปัจจัย Noise ภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบ และลักษณะเฉพาะของคุณภาพ
3. จำแนกเป้าหมายของการดำเนินงานจนได้ค่าที่ดีที่สุด
4. จำแนกปัจจัยควบคุมและระดับต่างๆ
5. เลือกการทดลองเมตริกส์แบบ Orthogonal Array
6. ดำเนินการทดลองแบบเมตริกส์
7. วิเคราะห์ข้อมูลทำนายผลในระดับที่คาดหวังและสมรรถนะขบวนการที่ดีที่สุด
8. ดำเนินการทดลองเพื่อพิสูจน์หาความจริงและวางแผนการดำเนินงานในอนาคต [15-16]

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพ

เมื่อผู้ออกแบบการทดลองทราบจำนวนของปัจจัยควบคุม (control factor) และระดับของปัจจัยควบคุม (control factor level) ที่ได้ออกแบบไว้ก็จะนำค่าทั้งสองนี้มาทำการพิจารณาเลือกใช้ชนิด Orthogonal Array การใช้ Orthogonal Array จะทำให้สามารถหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีหลายปัจจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพในการกำหนดปัจจัยควบคุมหรือตัวแปรที่ได้ออกแบบไว้ใน Orthogonal Array อย่างเหมาะสม ตามรูปที่ 1 ดังขั้นตอนต่อไปนี้

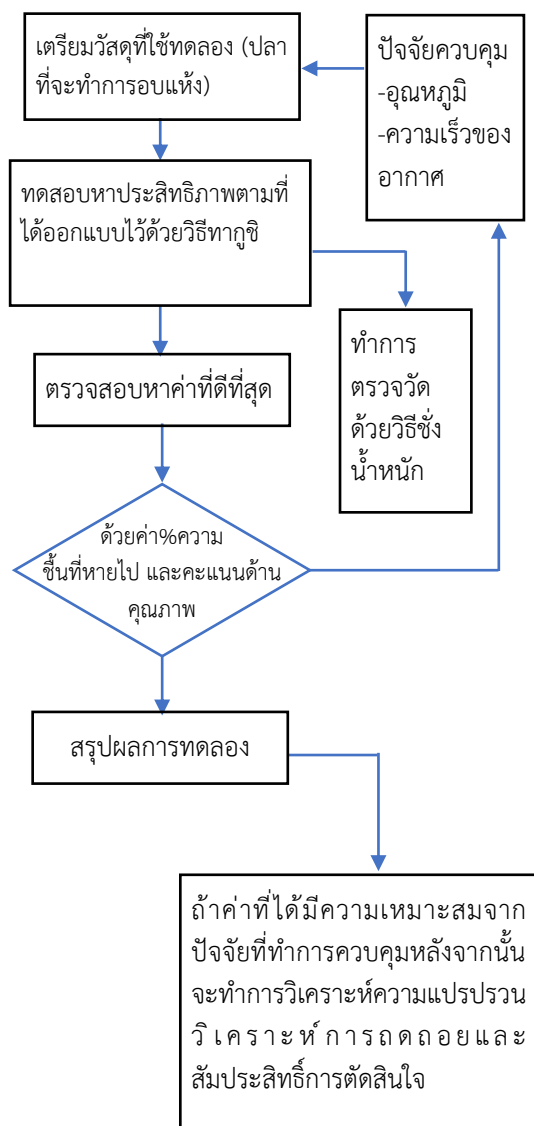
พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบประกอบด้วย 2 ตัวแปร 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2 ส่วนตัวแปรที่ไม่ต้องการศึกษาจะต้องกำหนดวิธีการควบคุมตัวแปรเพื่อให้ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยภายนอก เกิดขึ้นน้อยที่สุด เช่น เวลาที่ใช้ในการทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก เป็นต้น

ตารางที่ 2 ปัจจัยและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง : ที่มาของปัจจัย [11-14]

ปัจจัยควบคุม	ระดับการทดลอง		
	1	2	3
อุณหภูมิเครื่องอบ (T)	38	44	50
ความเร็วของอากาศในเครื่องอบ (V)	20	25	30

หมายเหตุ: ระดับการทดลองได้กำหนดไว้ที่ 3 ระดับ ทั้ง 2 ปัจจัยประกอบด้วยอุณหภูมิของเครื่องอบระดับที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 38, 44 และ 50 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่ใช้งานภายในเครื่องอบอยู่ในช่วง 38-50 องศาเซลเซียส) ความเร็วของอากาศในเครื่องอบระดับที่ 1, 2 และ 3 คือ 20, 25 และ 30 cfm (พัดลมสามารถปรับความเร็วรอบของใบพัดอยู่ในช่วง 0-30 cfm)

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากในการทดลองการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบผ่านการรับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ไม่คงที่ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาและสภาพอากาศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้การทดลองโดยให้

ตารางที่ 3 L9 (3²) Orthogonal array

ลำดับทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ปัจจัย	38	38	38	44	44	44	50	50	50
	20	25	30	20	25	30	20	25	30

ความร้อนผ่านหลอดอินฟราเรดและถูกควบคุมผ่านชุดควบคุมอุณหภูมิ PID

3.2 ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการอบแห้งโดยวิธีการทากูชิ

การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิในการทดลองนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและวัสดุเป็นปลาที่นำมาทดสอบ ซึ่งมีทั้งหมด 2 ปัจจัยโดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ใช้ Orthogonal array (OAs) แบบ L-9 (3²) ทำการทดลองครั้งแรกและทำการทดลองซ้ำครั้งที่สองและยืนยันผลการทดลองในการหาประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเท่ากับ 18 รัน (run) และยืนยันผลการทดลองอีก 5 รัน (run) ประกอบด้วยจำนวนการทดลองที่ขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยที่กำหนดแสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 การจัดวางลำดับแบบ Orthogonal L-9 (3²) Array ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

Taguchi orthogonal array

การจัดวางลำดับ Orthogonal ของทากูชิเป็นการออกแบบโดยกำหนดค่าปัจจัยนั้น เท่ากับ 2 ตัวแปรและ 3 ระดับเพื่อทำการทดลองที่ใช้กับพารามิเตอร์ในการกลึงจะทำการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Minitab release 18.00 มาช่วยในการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 4 Taguchi Orthogonal array

ลำดับทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ปัจจัย	1	1	1	2	2	2	3	3	3
	1	2	3	1	2	3	1	2	3

3.3 ศึกษากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบ

เมื่อทำการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบ และนำไปทดสอบหาร้อยละของความชื้นที่หายไปตามสภาวะที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีการทากุชิทั้ง 9 การทดลอง และนำผลผลิตที่ได้มาทำการวัดเพื่อหาค่าน้ำหนักที่หายไปและคำนวณออกมาเป็นร้อยละของความชื้นที่หายไป

ในด้านการวัดคุณภาพด้านผลิตภัณฑ์ทางคณะผู้วิจัย ได้ทำแบบประเมินทางด้านคุณภาพให้กับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านในการประเมินโดยทำการประเมินด้วยระดับด้านคุณภาพ 5 ระดับในประเด็นด้านต่างๆ ได้แก่ด้านรสชาติ ด้านสีกลิ่นและกลิ่นโดยนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยรวมโดยแบบประเมินด้านคุณภาพสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แบบฟอร์มการประเมินคุณภาพโดยรวมของปลาอบแห้งรายบุคคล (ตัวอย่างการประเมิน)

ความพึงพอใจผู้ใช้งาน	ระดับ										คะแนนที่ได้
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ด้านคุณภาพของปลา											
กลิ่นของปลาที่อบแห้ง								✓			8
รสชาติของเนื้อปลาที่อบแห้ง									✓		9
สีของเนื้อปลาที่อบแห้งแล้ว							✓				7
ความพอใจโดยรวมของปลาที่อบแห้งแล้ว								✓			8
รวม											32
คิดเป็นร้อยละ											80

ในการทดลองแต่ละครั้งผู้วิจัยกำหนดระยะเวลาในการอบแห้งอยู่ที่ 6 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบตั้งแต่วันที่ 10.00 น. จนถึงเวลา 16.00 น. นอกจากนี้ในการทดสอบการอบแห้งเราได้ใช้เครื่องอบแห้งขนาดกว้าง X ยาว x สูงเท่ากับ 2 ม. X 1 ม. X 0.3 ม. ดังรูปที่ 2 โดยเครื่องอบมีชุดควบคุมอุณหภูมิพร้อมทั้งติดตั้งหลอดอินฟราเรดขนาด 1000 W สำหรับให้ความร้อน

ในกรณีที่ไม่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์หรือมีไม่เพียงพอ ดังรูปที่ 3 และ 4 และในการตรวจวัดค่าร้อยละของความชื้นที่หายไป เราทำการตรวจวัดโดยวิธีชั่งน้ำหนักก่อนและหลังจากการอบแห้งดังรูปที่ 5

สรุป นามพรมมาและคณะ, การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งปลาโดยใช้วิธีทากุชิ

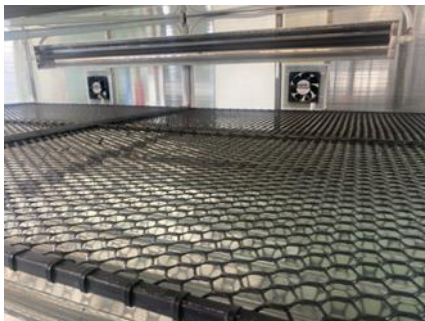
บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3 ชุดควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบ



รูปที่ 4 หลอดอินฟราเรดสำหรับให้ความร้อน



รูปที่ 5 เครื่องชั่งน้ำหนักปลาแห้ง

4. ผลการทดลอง

ในการทดลองการอบแห้งปลา ได้ทำการทดลองตามการทดลองเป็นแบบ orthogonal array L9 และทำการทดลอง 2 ชั่วโมง และมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดลองอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้ง

ลำดับทดลอง	ปัจจัย		ร้อยละของความชื้นที่หายไป (M)	คะแนนด้านคุณภาพโดยรวม (Q)
1	38	20	53.01	70.0
2	38	25	57.78	67.5
3	38	30	51.38	65.0
4	44	20	61.96	85.0*
5	44	25	64.01	82.5
6	44	30	60.63	80.0
7	50	20	65.31	82.5
8	50	25	67.90	80.0
9	50	30	62.74	77.5

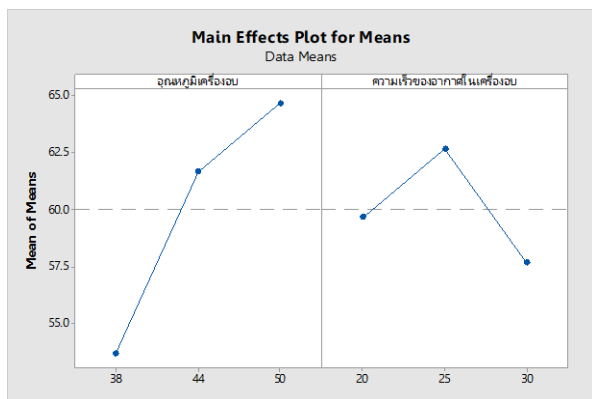
4.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรด้วยวิธีทาгуชิ

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองการอบแห้งนี้ ผู้วิจัยได้นำเอาค่าร้อยละของความชื้นที่หายไปและคะแนนด้านคุณภาพโดยรวมมาทำการวิเคราะห์ปัจจัยรบกวน (S/N ratio) โดยพิจารณาที่ “ค่ายิ่งมากยิ่งดี (Larger is better)” คือค่าที่ดีที่สุด ดังสมการที่ (2)

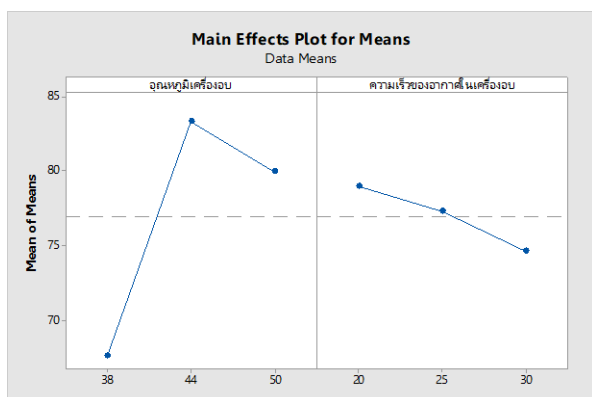
$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^{-2}}{n} \right] \quad (2)$$

บทความวิจัย (Research Article)

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาคูชิ สามารถสร้างกราฟเพื่อพิจารณาปัจจัยรอบวนที่ส่งผลต่อร้อยละของความชื้นที่หายไปและคะแนนด้านคุณภาพได้ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7



รูปที่ 6 ผลกระทบของปัจจัยหลักของร้อยละของความชื้นที่หายไป



รูปที่ 7 ผลกระทบของปัจจัยหลักของคะแนนด้านคุณภาพโดยรวม

จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อพิจารณาปัจจัยตอบสนองที่ส่งผลต่อร้อยละของความชื้นที่หายไปมากที่สุด เห็นได้ว่าระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดร้อยละของความชื้นที่หายไปมากที่สุดคือ ปัจจัยอุณหภูมิ (T) ที่ 50°C และความเร็วของอากาศในเครื่องอบ (V) ที่ 25 cfm ซึ่งจะให้ร้อยละของความชื้นที่หายไปสูงสุดที่ 67.90% และ

จากรูปที่ 5 พบว่าเมื่อพิจารณาปัจจัยตอบสนองที่ส่งผลต่อคะแนนด้านคุณภาพโดยรวมมากที่สุด เห็นได้ว่าปัจจัยนั้นได้แก่ ปัจจัยอุณหภูมิ (T) ที่ 44°C และความเร็วของอากาศในเครื่องอบ (V) ที่ 20 cfm มีค่าคะแนนด้านคุณภาพโดยรวมอยู่ที่ 85.0%

เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้พิจารณาปัจจัยตอบสนองทั้งสองปัจจัยแล้วทางผู้วิจัยให้ความสำคัญในด้านของคุณภาพโดยรวมมากกว่าร้อยละของความชื้นที่หายไป

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคะแนนด้านคุณภาพโดยรวมสูงสุด 85.0% คือปัจจัยอุณหภูมิ (T) ที่ 44 °C และ ความเร็วของอากาศในเครื่องอบ (V) ที่ 20 cfm และทางผู้วิจัยได้ตรวจสอบร้อยละของความชื้นที่หายไปอยู่ที่ 61.96% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงเลือกให้ปัจจัยที่สภาวะดังกล่าวมีความเหมาะสมที่สุด

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย (Analysis of Variance: ANOVA)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยในการทดลองด้วยเทคนิคทาคูชิสามารถทำการเปรียบเทียบผลของการอบแห้งปลาได้และสามารถนำเอาผลจากการวิเคราะห์มาใช้ในการกำหนดปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีในการอบแห้งและเพื่อเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยการทดลองที่ส่งผลต่อกระบวนการอบแห้ง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรในขั้นตอนถัดไป ผลการวิเคราะห์ปัจจัยการทดลองระดับความเชื่อมั่นที่ 99.15% และ 99.39% ดังตารางที่ 7 – 10 ตามลำดับ จากนั้นสามารถคำนวณหาค่าร้อยละของความชื้นที่หายไปและคะแนนด้านคุณภาพโดยรวมได้จากสมการที่ 3 และสมการที่ 4 ด้วยสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 7 ANOVA: ร้อยละของความชื้นที่หายไป

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
อุณหภูมิเครื่องอบ	2	194.000	97.000	194.00	0.000
ความเร็วของอากาศในเครื่องอบ	2	38.000	19.000	38.00	0.002
Error	4	2.000	0.5000		
Total	8	234.000			

หมายเหตุ: ทั้งสองปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ

$$\alpha = 0.05 \text{ (P-value} < 0.05)$$

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ค่าก่าจัดความชื้นมาตรฐานเฉลี่ย

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.707107	99.15%	98.29%	95.67%

สมการถดถอย (Regression Equation)

ค่าก่าจัดความชื้นมาตรฐานเฉลี่ย

$$= 23.8 + 0.938 \text{ อุณหภูมิเครื่องอบ} - 0.184 \text{ ความเร็วของอากาศในเครื่องอบ} \quad (3)$$

ตารางที่ 9 ANOVA: คะแนนด้านคุณภาพโดยรวม

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
อุณหภูมิเครื่องอบ	2	408.667	204.333	306.50	0.000
ความเร็วของอากาศในเครื่องอบ	2	28.667	14.333	21.50	0.007
Error	4	2.667	0.667		
Total	8	440.000			

หมายเหตุ: ทั้งสองปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ

$$\alpha = 0.05 \text{ (P-value} < 0.05)$$

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) คะแนนด้านคุณภาพโดยรวม

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.816497	99.39%	98.79%	96.93%

สมการถดถอย (Regression Equation)

คะแนนด้านคุณภาพโดยรวม

$$= 43.3 + 1.02 \text{ อุณหภูมิเครื่องอบ} - 0.500 \text{ ความเร็วของอากาศในเครื่องอบ} \quad (4)$$

ผลจากการใช้เลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสมจากการใช้เทคนิคทากูชิ พบว่าค่าอุณหภูมิเครื่องอบ (T) และความเร็วของอากาศในเครื่องอบ (V) มีผลกระทบต่อร้อยละของความชื้นที่หายไปและคะแนนด้านคุณภาพโดยรวม

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาค้นคว้าเลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสมในการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้ง โดยใช้วิธีการของทากูชิ ผลจากการออกแบบการทดลองแบบ L9 ให้สามารถนำค่าการทดลองมาทำการพยากรณ์ผลการทดลองและหาตัวแปรที่เหมาะสมในการอบแห้งปลาได้ โดยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคะแนนด้านคุณภาพโดยรวมสูงสุด 85.0% คือปัจจัยอุณหภูมิ (T) ที่ 44°C และ ความเร็วของอากาศในเครื่องอบ (V) ที่ 20 cfm โดยมีร้อยละของความชื้นที่หายไปอยู่ที่ 61.96% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงเลือกให้ปัจจัยที่สภาวะดังกล่าวมีความเหมาะสมที่สุด ดังนั้นในการนำไปใช้งานอบแห้งที่สภาวะจริงซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนซึ่งมีความไม่แน่นอนตามสภาพอากาศในวันที่ใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้หลอดอินฟราเรดเข้ามาช่วยในการให้ความร้อนร่วมกันในวันที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ และมีระบบควบคุมอุณหภูมิที่คอยควบคุมให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่สามารถอบแห้งได้ดีและสามารถอบเสร็จภายในหนึ่งวัน

บทความวิจัย (Research Article)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทนงค์ดี วัฒนา, "การอบแห้งกระเทียมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานจากก๊าซชีวมวล," วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2558.
- [2] พิสิษฐ์ มณีโชติ, "การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์," [ออนไลน์]. Available: <http://www.royalagro.doae.go.th/?p=1346>. [เข้าถึงเมื่อ: 29 มีนาคม 2565].
- [3] สุขฤดี นาถกรณกุล, "มาตรการอนุรักษ์พลังงาน," [ออนไลน์]. Available: <https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content>. [เข้าถึงเมื่อ: 5 มกราคม 2565].
- [4] พรพิชญ ธรรมปัทม์, วีระยุทธ แสนมหาชัย, สุพรรณษา บ่อใหญ่ และ กมล พลคำ, "ผลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลและลมร้อนต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขมิ้นชัน," *วารสารเกษตรพระวรุณ*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 2, หน้า 8-15, 2021.
- [5] พัทธภรณ์ อินริราย, สุรินทร์พร ชั่งไชย, สุพรรณิ คำอินทร์ และ ทิพา สุขโชติ, "การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งใบบัวบกด้วยรังสีอินฟราเรดต้นแบบ," *วารสารเกษตรพระวรุณ*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2, หน้า 47-257, 2019.
- [6] สราวุฒิ ดาแก้ว, ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา, พรพิชญ ธรรมปัทม์, ศันธร พิชัย, ปาริชาติ ราชมณี และ ญาณิศา โพธิ์รัตนโส, "การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดและลมร้อน," รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2560.
- [7] กมลวรรณ จิตจักร และ แสนเชิง พรหมชิต, "การศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาช่อนทะเลด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์," *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, หน้า 75-97, 2565.
- [8] จุฑารัตน์ ทะสระระ, สุภวรรณ ภูริระวณิชกุล และ ยุทธนา ภูริระวณิชกุล, "จลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาช่อนด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด," in *Proceedings of the 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference*, pp. 531-537, 2556.
- [9] ฮาติมี บากา, รอกีเยาะ อาแว, ชุลกิปลี กาซอ และ สุนิตย์ โรจนสุวรรณ, "การศึกษาประสิทธิภาพการอบแห้งของปลาช่อนด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้า," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร.*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, หน้า 13-24, 2559.
- [10] สยมพล ศรีหนา, สุรัช บวรเศรษฐนันท์ และ วิศวัส ลีวนานนท์ชัย, "การอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำที่ใช้ของไหลนาโนในท่อความร้อน," ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ "ราชมงคลสุรินทรวิชาการ ครั้งที่ 8"*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์, pp. B402-B409, 2016.
- [11] R. Smitabhindu, S. Janjai and V. Chankong, "Optimization of a solar-assisted drying system for drying bananas," *Renewable Energy*, vol. 33, no. 7, pp. 1523-1531, 2008.
- [12] R. Smitabhindu, "Optimization of a solar-assisted drying system for drying bananas," Ph.D. thesis, Kasetsart University, Thailand, 2008.

บทความวิจัย (Research Article)

- [13] M. A. Hossain, "Forced convection solar drying of chilli," Ph.D. thesis, Agricultural University, Bangladesh, 2003.
- [14] P. A. Berbert, D. M. Queiroz, J. S. Silva and J. B. F. Pinheiro, "Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic air flow reversal," *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 60, no. 3, pp. 167-173, 1995.
- [15] สุรพงศ์ บางพาน, พีรพันธ์ บางพาน และ ธิติ กานต์ บุญแข็ง, "การประยุกต์วิธีการตากูชิสำหรับค่าที่ดีที่สุดโดยศึกษาของกระบวนการกะเทาะข้าวกล้องด้วยลูกยางกะเทาะเปลือก," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ม.ช.*, ปีที่ 22, ฉบับที่ 1, หน้า 59-67, 2557.
- [16] สุรพงศ์ บางพาน, "การประยุกต์วิธีการตากูชิสำหรับกระบวนการกลึงที่ดีที่สุดโดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต," *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, หน้า 104-112, 2557.
- [17] กองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี, "คู่มือเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์," [ออนไลน์]. Available:
<https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files.pdf>. [เข้าถึงเมื่อ: 26 มีนาคม 2564].
- [18] เสนา สอนประสม, "หลักการทำงานและส่วนประกอบของตู้อบปลาแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้ความร้อน," [ออนไลน์]. Available:
<http://sites.google.com/site/solarcelldryer>. [เข้าถึงเมื่อ: 9 มีนาคม 2565].
- [19] เสริม จันทร์ฉาย, "งานวิจัยด้านการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์," [ออนไลน์]. Available:
<http://www.solarlabsu.com/index.php/research/2>. [เข้าถึงเมื่อ: 3 กรกฎาคม 2565].
- [20] อัดสา ดอนทวี, "การอบแห้งและการประยุกต์ใช้งานเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์," [ออนไลน์]. Available:
<http://www.fao.org/docrep>. [เข้าถึงเมื่อ: 16 กันยายน 2565].

การตัดสินใจเลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้โครงงานวิทยาศาสตร์ โดยใช้กระบวนการ วิเคราะห์ลำดับชั้น กรณีศึกษาโรงเรียนอนุภูวนารี

มัลลิกา อุทร์ักษ์¹ และอามินท์ หล้าวงศ์^{2,*}

¹ โรงเรียนอนุภูวนารี อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์

² สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: Amin.la@ksu.ac.th.com โทรศัพท์: 081-7995035

(รับบทความ: 6 เมษายน 2566; แก้ไขบทความ: 26 เมษายน 2566; ตอรับบทความ: 29 เมษายน 2566)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้จากโครงงานวิทยาศาสตร์โดยพิจารณาปัจจัยเทคนิคการสอนแบบผสมผสานกัน จำนวน 5 ปัจจัย ได้แก่ กระบวนการกลุ่ม การฝึกคิด การแก้ปัญหาการเน้นกระบวนการการสอนแบบปริศนาความคิด และการสอนแบบร่วมมือกันคิด และมี 4 ทางเลือกของโครงงานวิทยาศาสตร์ เพื่อให้เกิดเหมาะสมต่อผู้เรียนเป็นสำคัญในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจด้วยวิธีกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น กรณีศึกษาโรงเรียนอนุภูวนารี ผลการวิจัยพบว่าครูผู้สอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตัดสินใจเลือกโครงงานวิทยาศาสตร์ประเภทการทดลองที่มีผลรวมของปัจจัยในแต่ละทางเลือกมากที่สุด มีคะแนนรวม 49.66 และปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์คือ การฝึกคิด มีคะแนน 51.85 เปอร์เซนต์

คำสำคัญ: เทคนิคหลากหลายรูปแบบนำมาผสมผสาน โครงงานวิทยาศาสตร์ กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น

การอ้างอิงบทความ: มัลลิกา อุทร์ักษ์, อามินท์ หล้าวงศ์, "การตัดสินใจเลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้โครงงานวิทยาศาสตร์โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น กรณีศึกษาโรงเรียนอนุภูวนารี," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 44-51, 2566.

Decision Making for Selection in Science Project Learning Management Model Using the Analytical Hierarchy Process: A Case Study Anukoolnaree School

Mallika Autthalak¹ and Amin Lawong^{2,*}

¹Anukoolnaree School, Muang District, Kalasin Province

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

*Corresponding Author: Amin.la@ksu.ac.th.com, Tel: 081-7995035

(Received: April 6, 2023; Revised: April 26, 2023; Accepted: April 29, 2023)

Abstract

The purpose of this research is to select learning management models for science projects by considering mixed teaching method factors. There are five factors, group process, thinking training, The troubleshooting process, emphasizes puzzle-based teaching and collaborative teaching and four alternatives for science projects to make it suitable for the learner. At the Secondary 5, the science subject group applied the decision-making process by means of an Analytical Hierarchy Process (AHP) case study at Anukoolnaree School. The results showed that teachers in the science subject group decided on an experimental science project with the highest sum of factors in each of their choices. It has an overall score of 49.66, and the most important factor in deciding on a learning management model using science projects is cognitive exercise. The score is 51.85 percent.

Keywords: Mixed Method, Science Projects, Analytical Hierarchy Process

Please cite this article as: M. Autthalak and A. Lawong, "Decision Making for Selection in Science Project Learning Management Model Using the Analytical Hierarchy Process: A Case Study of Anukoolnaree School," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, KSU*, vol. 1, no. 2, pp. 44-51, 2023.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ปัจจุบันการเรียนการสอนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในโรงเรียนมัธยมศึกษาถือว่ามีความสำคัญต่อการพัฒนาความรู้ความสามารถของนักเรียนให้มีระบบความคิดที่เป็นเหตุเป็นผลโดยยึดหลักวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการคิดเป็น ทำเป็น และแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง นอกจากนั้นยังฝึกให้เป็นคนช่างสังเกต มีความคิดสร้างสรรค์ มีระเบียบวินัย มีความละเอียดรอบคอบ มีความรับผิดชอบต่อหน้าที่ รู้จักการแบ่งเวลาและการรวมกิจกรรมกับผู้อื่นได้ ส่งผลให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 กำหนดแนวการจัดการเรียนการสอนไว้ในหมวด 4 มาตรา 22 ถึงมาตรา 30 มีสาระสำคัญคือ การจัดการศึกษาต้องยึดหลักว่าผู้เรียนมีความสามารถเรียนรู้ และพัฒนาตนเองได้ ผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนเรียนตามธรรมชาติเต็มตามศักยภาพ เน้นความรู้ คุณธรรม กระบวนการเรียนรู้และบูรณาการตามความเหมาะสม วิทยาศาสตร์ทำให้คนได้พัฒนาวิธีการคิดทั้งความคิดเชิงเหตุผล (Logical Thinking) ความคิดสร้างสรรค์ (Creativity Thinking) เจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Attitude) ส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และพัฒนาความสามารถทางสติปัญญา

ดังนั้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จึงเปรียบเสมือนเครื่องมือที่จำเป็นในการแสวงหาความรู้ และแก้ปัญหา ซึ่งเป็นทักษะการคิดที่ต้องพัฒนาให้กับผู้เรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นกระบวนการที่มีคุณค่าต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคน เนื่องจากสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่ง [1] ความคิดสร้างสรรค์เป็นความคิดขั้นสูง เป็นวิธีการคิดหรือกระบวนการทำงานของสมองอย่างเป็นขั้นตอน ผู้เรียนสามารถคิดได้หลายทิศทาง ความคิดสร้างสรรค์จะนำไปสู่การค้นพบสิ่งใหม่ ๆ สามารถนำไปปรับใช้ใน

การดำเนินชีวิตประจำวันหรือแม้กระทั่งชีวิตครอบครัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ การส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์เป็นสิ่งสำคัญของการจัดการศึกษาโดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้มีการแสดงออกทางความคิดหรือการกระทำที่เกิดจากการเรียนรู้และการเชื่อมโยงประสบการณ์เก่ากับประสบการณ์ใหม่เข้าด้วยกันและทำให้เกิดเป็นผลงานหรือผลผลิตที่มีลักษณะแปลกๆ ใหม่ ๆ รวมถึงการคิดค้นพบวิธีการแก้ปัญหาได้สำเร็จ [2] การจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เป็น การจัดการเรียนรู้ที่มุ่งหวังให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ วิทยาศาสตร์ที่เป็นกระบวนการไปสู่การสร้างองค์ความรู้ใหม่ ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอน พัฒนาระบวนการคิดขั้นสูง มีการคิดวางแผน ลงมือปฏิบัติ คิดและตัดสินใจเลือกข้อมูลที่เป็นประโยชน์ไปใช้ในการตอบคำถามหรือแก้ปัญหา การจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ต้องจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้รับทั้งความรู้ ทักษะ เจตคติด้านวิทยาศาสตร์ รวมทั้งความรู้ความเข้าใจและประสบการณ์เรื่อง การจัดการการบำรุงรักษาการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมสมดุลยั่งยืน การจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้โครงงาน วิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการสร้าง ความรู้ด้วยตนเองให้เกิดกับผู้เรียนโดยการบูรณาการ สาระความรู้ต่างๆ ที่อยากรู้ให้เอื้อต่อกันหรือร่วมกัน สร้างเสริมความคิด ความเข้าใจ ความตระหนักทั้งด้าน สาระและคุณค่าต่าง ๆ ให้กับผู้เรียนโดยอาศัยทักษะ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งใน การส่งเสริมคิดอย่างสร้างสรรค์

การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์มี การใช้เทคนิคที่หลากหลายรูปแบบนำมาผสมผสาน กัน [3] ได้แก่ กระบวนการกลุ่ม การฝึกคิด การ แก้ปัญหาการเน้นกระบวนการ การสอนแบบปริศนา ความคิด การสอนแบบร่วมกันคิด มุ่งหวังให้ผู้เรียน เรียนรู้เรื่องใดเรื่องหนึ่งจากความสนใจอยากรู้ อยาก เรียนของผู้เรียนเองโดยใช้กระบวนการและวิธีการทาง

บทความวิจัย (Research Article)

วิทยาศาสตร์ ผู้เรียนเป็นผู้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อค้นหาคำตอบด้วยตนเอง มุ่งให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์ ผู้เรียนสามารถสรุปความรู้ได้เอง ผู้สอนเป็นผู้สนับสนุนให้ผู้เรียนค้นคว้าเพิ่มเติมจากแหล่งเรียนรู้และปรับปรุงความรู้ที่ได้มาให้สมบูรณ์ [4]

อย่างไรก็ตามการพัฒนา รูปแบบการจัดการเรียนรู้ โดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนเป็นการเรียนรู้รูปแบบหนึ่งที่เหมาะสม สำหรับการเรียนในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากการเรียนรู้ โดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการปฏิบัติตามความสนใจของผู้เรียนโดยมีครูผู้สอนเป็นผู้จัดประกายและให้คำปรึกษา มีส่วนร่วมในการวางแผนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ การเรียนรู้แบบโครงงานวิทยาศาสตร์จะช่วยพัฒนาสมรรถนะและทักษะที่สำคัญของนักเรียนได้เป็นอย่างดี ตั้งแต่การศึกษาค้นคว้า วางแผน ออกแบบการทดลองและลงมือทดลอง ทดสอบสมมติฐาน และการสรุปผลการศึกษาที่เน้นการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา ซึ่งครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์จึงมีความจำเป็นต้องตัดสินใจเลือกประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ให้เหมาะสมต่อผู้เรียนเป็นสำคัญในการที่จะพัฒนาศักยภาพของนักเรียนต่อการเรียนรู้เนื้อหาสาระในรูปแบบของโครงงานวิทยาศาสตร์

โครงงานวิทยาศาสตร์ หมายถึง การศึกษาเพื่อพบข้อความรู้ใหม่ สิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆทางวิทยาศาสตร์ด้วยตัวของผู้เรียนเอง โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา โดยมีครูอาจารย์และผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ให้คำปรึกษา ซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบการจัดการเรียนรู้โครงงานวิทยาศาสตร์ได้เป็น 4 ประเภท มีดังนี้

1. โครงงานประเภทการสำรวจ (Technical Paper) เป็นโครงงานที่มีการสำรวจรวบรวมข้อมูลแล้วนำมาจำแนกเป็นหมวดหมู่ นำเสนอใน แบบต่าง ๆ เพื่อให้เห็นลักษณะ หรือความสัมพันธ์ของเรื่อง

ศึกษาได้ชัดเจนขึ้น เช่น การศึกษาลักษณะพืชอาหารของแมลงแดง การสำรวจความหลากหลายของแมลงกลางคืนในท้องที่อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา

2. โครงงานประเภทการทดลอง (Science Experiment) เป็นโครงงานที่มีการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตาม โดยควบคุมตัวแปรอื่นๆ ที่จะมีผลต่อการทดลอง เช่น กระดาษบง Wallpaper จากเศษวัสดุธรรมชาติช่วยลดความร้อนภายในบ้าน

3. โครงการประเภทการพัฒนาหรือการประดิษฐ์ (Engineering Invention) เป็นโครงงานที่เกี่ยวกับการประยุกต์ทฤษฎี หรือหลักการทางวิทยาศาสตร์มาประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องใช้ หรืออุปกรณ์เพื่อประโยชน์ใช้สอยต่างๆ อาจคิดประดิษฐ์ของใหม่ หรือปรับปรุงดัดแปลงของเดิมที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น เครื่องตรวจ (pH) ดินเพื่อปลูกผัก เครื่องจัดคราบน้ำมัน

4. โครงงานประเภทการสร้างทฤษฎีหรือการอธิบาย (Theorizing) เป็นโครงงานที่ได้เสนอทฤษฎีหลักการ หรือแนวความคิดใหม่ๆ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของสูตร สมการ หรือคำอธิบายก็ได้ โดยผู้เสนอได้ตั้งกติกาหรือข้อตกลงนั้น หรืออาจใช้กติกาและข้อตกลงเดิมมาอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในแนวใหม่ อาจเสนอหลักการ แนวความคิด หรือจินตนาการที่ยังไม่มีใครคิดมาก่อน อาจเป็นการขัดแย้งหรือขยายทฤษฎีเดิมแต่จะต้องมีข้อมูลหรือทฤษฎีอื่นมาสนับสนุนอ้างอิง เช่น การอธิบายอวกาศแนวใหม่ ทฤษฎีสัมพันธภาพ ($E = mc^2$)

โรงเรียนอนุกุลนารีเป็นโรงเรียนสหศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ประเภทโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่ สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ ที่มีชื่อเสียงในจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยที่โรงเรียนอนุกุลนารี “เป็นองค์กรชั้นนำแห่งการเรียนรู้ ผู้เรียนมีศักยภาพเป็นพลเมืองโลกที่ดีตาม

บทความวิจัย (Research Article)

มาตรฐาน” ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม 1 มีเนื้อหาการเรียนรู้เกี่ยวกับ สมบัติของธาตุรวมทั้งสารกัมมันตรังสี สมบัติของสารประกอบไอออนิก สมบัติของสารโคเวเลนต์ โดยเฉพาะสารประกอบอินทรีย์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และพอลิเมอร์ และ เล่ม 2 มีเนื้อหาการเรียนรู้เกี่ยวกับ การเคลื่อนที่และแรง แรงในธรรมชาติ พลังงาน ปรากฏการณ์ของคลื่นกล เสียง แสงสี และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีคะแนนเฉลี่ยภาพรวมต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาคัดเลือกแบบจำลองการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้โครงงานวิทยาศาสตร์ที่พิจารณาปัจจัยการนำเทคนิคหลากหลายรูปแบบนำมาผสมผสานกัน ได้แก่ กระบวนการกลุ่ม การฝึกคิด การแก้ปัญหาการเน้นกระบวนการ การสอนแบบปริศนาความคิด และการสอนแบบร่วมกันคิด ให้เกิดเหมาะสมต่อผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) กรณีศึกษาโรงเรียนอนุคุณนารี

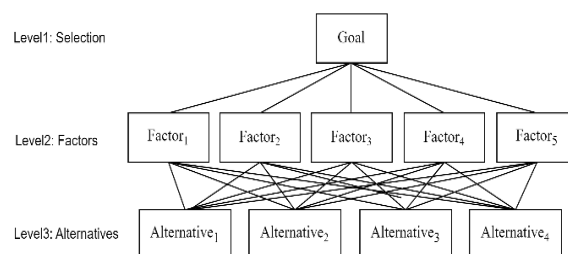
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดที่มีการพิจารณาแบบหลายเกณฑ์ หรือที่เรียกว่า (Multi-Criteria Decision Making: MCDA) เป็นระเบียบวิธีคิดที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการประเมินเลือกทางเลือกที่เหมาะสมภายใต้การพิจารณาหลายเกณฑ์หรือปัจจัย โดยมีเป้าหมายเพื่อช่วยในการตัดสินใจและวิเคราะห์ทางเลือกที่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกวิธีการกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) เป็นหนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยหลายท่าน [5,6,7,8] ต่อเนื่องถึงปัจจุบัน

2.1 กระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น(AHP)

ในปี ค.ศ. 1970 วิธีการ AHP ได้เริ่มมีการพัฒนากระบวนการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด โดย Thomas Saaty [9,10,11] ได้แบ่งโครงสร้างกระบวนการตัดสินใจ ออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจำแนกโครงสร้างของการตัดสินใจเป็นโครงสร้างที่เลียนแบบกระบวนการตัดสินใจของมนุษย์ ดังรูปที่ 1 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้หลายระดับขึ้นอยู่กับปัญหาในการตัดสินใจนั้นๆ ประกอบด้วย 3 ระดับชั้น ดังนี้



รูปที่ 1 โครงสร้างลำดับชั้นในการตัดสินใจ

ระดับชั้นที่ 1 (Goal) ระดับชั้นบนสุด คือการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

ระดับชั้นที่ 2 (Factors) ระดับชั้นของเกณฑ์หรือปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการตัดสินใจ

ระดับชั้นที่ 3 (Alternatives) ระดับชั้นของทางเลือกที่ต้องการตัดสินใจ

ขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจ ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ที่ละคู่ (Pair wise comparison) โดยให้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องประเมินให้คะแนนตามมาตราส่วนระดับความสำคัญของแต่ละทางเลือก ดังตารางที่ 1 และดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เมตริกซ์เปรียบเทียบความสัมพันธ์เป็นคู่

	A ₁	A ₂	A ₃	A _n
A ₁	1	a ₁₂	a ₁₃	a _{1n}
A ₂	1/ a ₁₂	1	a ₂₃	a _{2n}
A ₃	1/ a ₁₃	1/ a ₂₃	1	a _{3n}

บทความวิจัย (Research Article)

A_n	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	1
-------	------------	------------	------------	---

ตารางที่ 2 แสดงค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย

มาตราส่วนพื้นฐานสำหรับการเปรียบเทียบ		
ระดับความสำคัญ	เชิงคุณภาพ	คำอธิบาย
9	สำคัญที่สุด	ความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่ง ในระดับสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้
7	สำคัญกว่ามากที่สุด	ความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่ง ที่มีอิทธิพลเหนือกว่าอย่างได้ชัด
5	สำคัญกว่ามาก	ความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมาก
3	สำคัญกว่าปานกลาง	ความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปานกลาง
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้งสองปัจจัยส่งผลกระทบต่อทางเลือกที่เหมือนกัน
ระดับความสำคัญ 8 สำคัญกว่ามากกว่าถึงสูงสุด อยู่ระหว่าง 7 และ 8 ระดับความสำคัญ 6 สำคัญกว่าค่อนข้างมากถึงมากที่สุด อยู่ระหว่าง 5 และ 7 ระดับความสำคัญ 4 สำคัญปานกลางถึงมากกว่า อยู่ระหว่าง 3 และ 5 ระดับความสำคัญ 2 เท่ากันถึงปานกลาง อยู่ระหว่าง 1 และ 3		

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล จากข้อมูลให้ผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินมาแล้วในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งนำมาตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผลที่ผู้เชี่ยวชาญในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้มีการเปรียบเทียบนำมาคำนวณหาค่า Eigenvector ว่ามีการความสอดคล้องกันหรือไม่ โดยค่าที่ได้จะต้องไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 แสดงว่ามีความสอดคล้องกัน และหากมีค่ามากกว่า 0.1 แสดงว่าไม่มีความสอดคล้องกัน จะต้องทำการประเมินใหม่หรือทำการปรับเกณฑ์ใหม่ โดยมีวิธีการคำนวณหาผลรวมของการตรวจสอบความสอดคล้องกันเรียกว่า Maximum Eigen Values ($\lambda_{\max}$) ดังสมการ (1)

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (1)$$

เมื่อ a_{ij} คือ เมตริกซ์ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

w_j คือ Eigenvector น้ำหนักความสัมพัทธ์ซึ่งอยู่ในลำดับชั้นเดียวกันหรือกลุ่มที่อยู่ภายใต้ลำดับชั้นที่สูงกว่า แบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 มีความสอดคล้องกัน $\lambda_{\max} =$ จำนวนหลักเกณฑ์ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ (n)

กรณีที่ 2 ไม่มีความสอดคล้องกัน $\lambda_{\max} >$ จำนวนหลักเกณฑ์ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ (n) ซึ่งจะนำไปหาค่าดัชนีความสอดคล้องกันของเหตุผล ดังสมการ (2)

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (2)$$

เมื่อ n คือ จำนวนหลักเกณฑ์หรือปัจจัยที่พิจารณา ทั้งนี้สามารถคำนวณอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) ดังสมการ (3)

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

เมื่อ RI คือ ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index) ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง ดังตารางที่ 3 ซึ่งถ้าค่า $CR \leq 0.10$ แสดงว่าปัจจัยมีความสอดคล้องกันสามารถนำค่า Eigenvector ไปใช้เป็นค่าน้ำหนักได้ และหากค่า $CR > 0.10$ แสดงว่าปัจจัยไม่มีความสอดคล้องกัน ต้องทำการปรับการให้คะแนนความสำคัญใหม่

ตารางที่ 3 ค่า RI ดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม

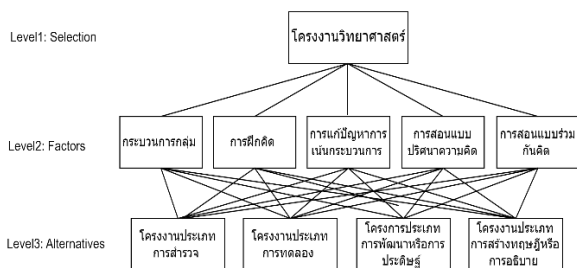
ปัจจัย n	1	2	3	4	5
ค่า RI	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11
ปัจจัย n	6	7	8	9	10
ค่า RI	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการตัดสินใจหลายเกณฑ์ด้วยวิธี AHP ดังรูปที่ 2 เพื่อเลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานสอนวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กรณีศึกษาโรงเรียนอนุกุลนารี จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยใช้เทคนิคการสอนที่มี

บทความวิจัย (Research Article)

หลากหลายรูปแบบนำมาผสมผสานกันมี 5 ปัจจัย ได้แก่ กระบวนการกลุ่ม (F1) การฝึกคิด (F2) การแก้ปัญหาการเน้นกระบวนการ (F3) การสอนแบบปริศนาความคิด (F4) การสอนแบบร่วมกันคิด (F5) และมีรูปแบบโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นทางเลือกในการตัดสินใจ คือ 1. โครงงานประเภทการสำรวจ (A1) 2. โครงงานประเภทการทดลอง (A2) 3. โครงการประเภทการพัฒนาหรือการประดิษฐ์ (A3) และ 4. โครงงานประเภทการสร้างทฤษฎีหรือการอธิบาย (A4) โดยการประเมินจะให้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จำนวน 3 ท่านเป็นผู้ประเมินตามขั้นตอนที่ 2 และการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผลในขั้นตอนที่ 3 และในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ XLSTAT Add in Microsoft Excel เป็นเครื่องมือวิเคราะห์การตัดสินใจ



รูปที่ 2 AHP: การเลือกรูปแบบโครงงานวิทยาศาสตร์

4. ผลการทดลอง

จากผลการคำนวณด้วยวิธี AHP ต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้โครงงานวิทยาศาสตร์ ดังตารางที่ 4 ได้สรุปปัจจัยที่มีความสำคัญเรียงลำดับคะแนนความสำคัญจากมากไปน้อยคือ การฝึกคิด (F2) มีคะแนน 51.85 % การแก้ปัญหาการเน้นกระบวนการ (F3) มีคะแนน 23.67 % การสอนแบบร่วมกันคิด (F5) มีคะแนน 13.99 % กระบวนการกลุ่ม (F1) มีคะแนน 7.06 % และการสอนแบบปริศนาความคิด (F4) มีคะแนน 3.43 % ตามลำดับ และ ดังตารางที่ 5 ได้สรุปการเลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้

โดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์ในการจัดการเรียนการสอน โดยใช้ผลรวมของปัจจัยในแต่ละทางเลือกที่มีคะแนนมากที่สุดเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ โครงงานประเภทการทดลอง (A2) มีคะแนนรวม 49.66 โครงการประเภทการพัฒนาหรือการประดิษฐ์ (A3) มีคะแนนรวม 25.31 โครงงานประเภทการสำรวจ (A1) มีคะแนนรวม 14.72 และโครงงานประเภทการสร้างทฤษฎีหรือการอธิบาย (A4) มีคะแนนรวม 10.30 ตามลำดับ และค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (CR) ที่ผู้เชี่ยวชาญประเมิน 3 ท่าน มีค่าน้อยกว่า 0.1 แสดงว่ามีความสอดคล้องกัน

ตารางที่ 4 ลำดับคะแนนความสำคัญของปัจจัย

ปัจจัย	คะแนนความสำคัญ (%)
กระบวนการกลุ่ม (F1)	7.06
การฝึกคิด (F2)	51.85
การแก้ปัญหาการเน้นกระบวนการ (F3)	23.67
การสอนแบบปริศนาความคิด (F4)	3.43
การสอนแบบร่วมกันคิด (F5)	13.99

ตารางที่ 5 ผลรวมคะแนนปัจจัยของแต่ละทางเลือก

ปัจจัย/ทางเลือก	๑	๒	๓	๔
กระบวนการกลุ่ม (F1)	1.07	4.31	1.39	0.29
การฝึกคิด (F2)	9.00	25.90	14.65	2.30
การแก้ปัญหาการเน้นกระบวนการ (F3)	3.28	13.51	5.53	1.37
การสอนแบบปริศนาความคิด (F4)	0.22	1.10	0.89	1.22
การสอนแบบร่วมกันคิด (F5)	1.15	4.84	2.85	5.14

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

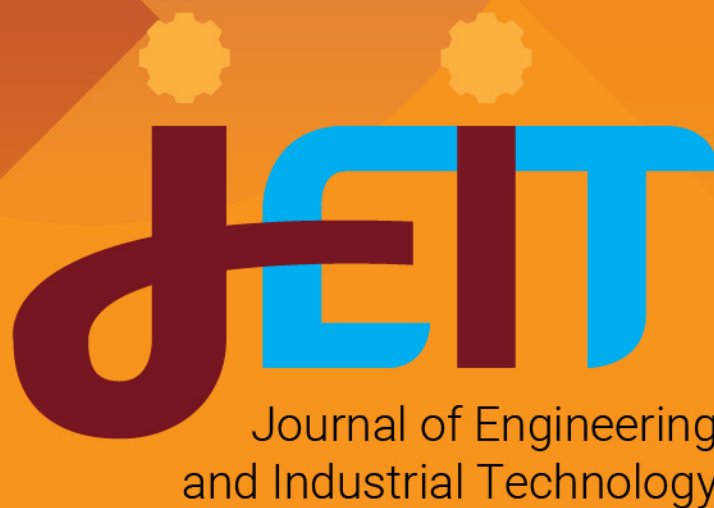
กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้นเป็นวิธีการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่พิจารณาปัจจัยหลายเกณฑ์พร้อมๆกัน โดยให้กลุ่มผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาชีพนั้นๆ ประเมินคะแนนตามระดับความสำคัญที่เปรียบเทียบรายการ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี AHP จะเลือกโครงงานวิทยาศาสตร์ประเภท

บทความวิจัย (Research Article)

การทดลอง (A2) มีคะแนนรวม 49.66 ที่มีผลรวมของปัจจัยในแต่ละทางเลือกมากที่สุด ซึ่งมีความสอดคล้องกับการเรียนรู้เชิงประสบการณ์การของผู้เรียน [12] และปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์ คือ การฝึกคิด (F2) มีคะแนน 51.85 % จากการประเมินของครูผู้สอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อนำมาใช้ในพัฒนาคุณภาพผู้เรียนให้คิดเป็น ทำเป็น แก้ปัญหาเป็น ตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์กายภาพ และงานวิจัยในอนาคตจะศึกษาปัจจัยต่อความสำเร็จในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์, *โครงงานวิทยาศาสตร์การจัดการเรียนการสอนแบบบูรณาการเพื่อพัฒนาการคิด*, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [2] จารุณี ชามาตย์, “การพัฒนาโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้บนเครือข่ายตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ที่ส่งเสริมการคิดสร้างสรรค์ของนักศึกษาระดับอุดมความคิดสร้างสรรค์,” *วิทยานิพนธ์: มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 2552.
- [3] วลีนิกา ฉลากบาง, “การวิจัยแบบผสมผสาน,” *วารสารมหาวิทยาลัยนครพนม*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, 2560.
- [4] ลัดดา ภูเกียรติ, “การสอนโดยใช้กิจกรรมโครงงานเพื่อพัฒนาผู้เรียนเป็นสำคัญ,” *วารสารครุศาสตร์*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 28, 2544.
- [5] ศศมน มั่นทะเล และ ฆริกา คันทา, “การหาเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการคัดเลือกสถานที่สำหรับสร้างสถานีย่อยข้อมูลย่อย โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น,” *วารสารพัฒนสังคม*, ปีที่ 22, ฉบับที่ 2, 2563.
- [6] สกนธ์ คล่องบุญจิต, “การเลือกทำเลที่ตั้งของโรงงานด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์,” *วารสารรัชต์ภาคย์*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 25, 2561.
- [7] สายพิน รานอก, “การตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ไข่แปรรูปของผู้บริโภค โดยการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น,” *วารสารสหวิทยาการวิจัย: ฉบับบัณฑิตศึกษา*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 2, 2562.
- [8] กันต์ธมน สุขกระจ่าง, “ปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้งของร้านขายแก๊ส โดยวิธี AHP,” *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 1, 2560.
- [9] T. L. Saaty and G. Mitra, “What is the analytic hierarchy process?,” *Mathematical Models for Decision Support*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 109-121, 1988.
- [10] T. L. Saaty, “How to make a decision: The analytic hierarchy process,” *European Journal of Operational Research*, vol. 48, no. 1, pp. 9-26, 1990.
- [11] W. Tansirimongkol, *AHP Advanced decision for organization progress and public well-being*, Amarin Printing & Publishing Public Co., Ltd., Bangkok, 2014.
- [12] H. Chaibate, A. Hadek, S. Ajana and S. Bakkali, “Analytical Hierarchy Process Applied to Pedagogical Method Selection Problems,” *Education Research International*, vol. 2021, pp. 1-13.



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