วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2566
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 1 No. 2 March – April 2023

บทความวิจัย (Research Article)

ผลของแป้งและความร้อนต่อคุณลักษณะและสมบัติของถ่านอัดแท่ง

วิริยะ แดงทน[1,*], อารยันต์ วงษ์นิยม[1], กัณตภณ เปรมประยูร[1], วีรยุทธ จี้เพชร[1], และสุกัญญา ทองโยธี[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: Wiriyadangton@gmail.com โทรศัพท์: 085-0116135
(รับบทความ: 28 มีนาคม 2566; แก้ไขบทความ: 18 เมษายน 2566; ตอบรับบทความ: 28 เมษายน 2566)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังและความร้อนต่อคุณลักษณะและสมบัติของถ่านอัดแท่ง โดยศึกษาการอัดถ่านแท่งในเครื่องแบบเกลียว กรณีผสมแป้งมันสำปะหลังใช้อัตราส่วน 1:1 สำหรับกรณีให้ความร้อนกระบอกอัดถ่าน คือ 200 องศาเซลเซียส ผลการวิจัย พบว่า กรณีผสมแป้งและให้ความร้อนกับกระบอกถ่านอัดแท่งส่งผลให้ผิวถ่านเรียบเนียนเป็นมันวาวและไม่แตกร้าว 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.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2566
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 1 No. 2 March – April 2023

บทความวิจัย (Research Article)

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

Wiriya Dangton[1,*], Arayan Wongniyom[1], Kantapon premprayoon[1], Veerayut Jeepetch[1], and Sukanya Thongyothee[1]

[1]Department 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.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

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

เครื่องอัดถ่านแบบเกลียวอัดถ่านด้วยการนำผงถ่านที่ผสมน้ำและแป้งแล้วเทลงถังป้อน จากนั้นผงถ่านจะถูกอัดด้วยเกลียวแล้วดันออกมาตามกระบอกท่อของเครื่องอัดถ่าน ถ่านที่ผ่านการอัดใหม่จะมีลักษณะนิ่มเพราะยังมีส่วนผสมของน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องนำไปตากแดดหรืออบเพื่อไล่ความชื้นที่เกิดจากส่วนผสมของน้ำออกก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง จึงทำให้ระยะเวลาของขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่งยาวนานขึ้นตามระยะเวลาของการไล่ความชื้นออกจากถ่านจนแห้งสนิท ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการสร้างชุดให้ความร้อนกับกระบอกอัดของเครื่องอัดถ่านแท่ง [7] เพราะความร้อนที่กระบอกอัดจะช่วยไล่ความชื้นที่ผสมอยู่กับผงถ่านขณะถูกอัดระเหยออกไปได้บางส่วน ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาของขั้นตอนการผลิตถ่านได้ ปัจจุบันมีการสร้างชุดให้ความร้อนสำหรับเครื่องอัดถ่านแท่งแบบเกลียวและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์แล้ว แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่า การผสมระหว่างถ่านและแป้ง รวมถึงการให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์กับไม่ให้ อย่างไรจึงจะเหมาะสมกับเครื่องอัดถ่านที่มีฮีตเตอร์และจะส่งผลอย่างไรต่อสมบัติของถ่านอัดแท่ง

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่ง โดยมีเงื่อนไขการทดลอง คือ ผสมแป้งและไม่ผสมแป้ง ให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนขณะอัดถ่าน เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่งประกอบด้วย ค่าความร้อน ค่าความชื้น และค่าความหนาแน่น

2. วิธีการวิจัย

ถ่านที่ใช้ในการทดลองเป็นถ่านไม้รวมที่ผ่านการบดละเอียดมีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร จากนั้นถ่านที่บดจะถูกเก็บไว้ในภาชนะที่มิดชิดเพื่อป้องกันการสัมผัสและดูดความชื้นก่อนนำไปทดลอง

2.1 การอัดถ่านในเครื่องอัดถ่านแบบเกลียว

รูปที่ 1 มีหลักการทำงาน คือ ป้อนผงถ่านที่ผสมแป้งมันสำปะหลังเรียบร้อยลงบนถาดป้อนด้านบน จากนั้นเปิดการทำงานของมอเตอร์ต้นกำลังซึ่งโครงงานครั้งนี้เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า เมื่อมอเตอร์หมุนจะส่งกำลังไปยังสายพานและชุดเฟืองสะพาน จากนั้นกำลังที่ได้จะถูกส่งต่อไปขับเกลียวของเครื่องอัดถ่านให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ยาวแท่งละ 6 นิ้ว สำหรับการผลิตในครั้งนี้

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

บทความวิจัย (Research Article)

รูปที่ 1 เครื่องอัดถ่านแบบเกลียว

รูปที่ 2 ตำแหน่งติดตั้งฮีตเตอร์

2.2. การวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

วิเคราะห์ตามมาตรฐาน DIN 51900 โดยใช้เครื่องบอมบ์แคอรี่มิเตอร์ รุ่น Art.2060/2070 ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ คือ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านอัดแท่งประมาณ 1 กรัมแล้วใส่ลงในถ้วยเผาไหม้ จากนั้นวางถ้วยเผาไหม้ลงในถ้วยบอมบ์แล้วบรรจุออกซิเจนแล้วประกอบเข้ากับเครื่อง ขั้นตอนต่อไปจุดระเบิดตัวอย่างของถ่านอัดแท่งความร้อนจากการเผาไหม้จะถูกถ่ายเทไปยังน้ำ 2000 มิลลิลิตร จะได้อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นปรับเทียบกับสารมาตรฐาน

รูปที่ 3 เครื่องบอมบ์แคอรี่มิเตอร์ 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 บิกเกอร์ 10 มิลลิลิตร โดยใส่ถ่านอัดแท่งให้ได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จะทราบความหนาแน่นรวม หลังจากนั้นให้เทน้ำเปล่า 5 มิลลิลิตร ลงไปผสมกับถ่านอัดแท่ง 5 มิลลิลิตร ที่บรรจุอยู่ในบิกเกอร์เดิม จะทราบความหนาแน่นอนุภาค

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งที่เงื่อนไขแตกต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะของถ่านมีความแตกต่างกัน โดยถ่านที่ผสมแป้งและให้ความร้อนระหว่างอัดถ่านผิวถ่านจะมันวาวไม่มีรอย

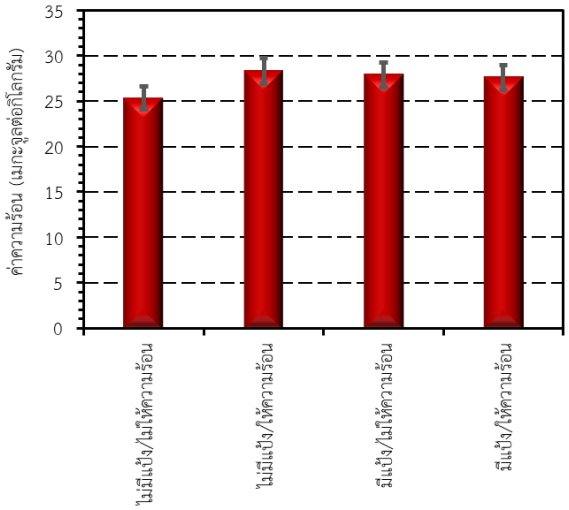
บทความวิจัย (Research Article)

แตกร้าว ขณะที่ไม่ผสมแป้งและไม่ให้ความร้อนผิวถ่านไม่เรียบและมีรอยแตกร้าว

ตารางที่ 1 ลักษณะของถ่านอัดแท่ง

ถ่านอัดแท่ง	ลักษณะของถ่านอัดแท่ง
ไม่มีแป้ง/ไม่ให้ความร้อน	ผิวถ่านไม่เรียบ แตกหักง่าย มีความชื้นสูง อีกทั้งถ่านยังไม่เกาะตัวและมีรอยแตกร้าว
ไม่มีแป้ง/ให้ความร้อน	ผิวถ่านไม่เรียบ แตกหักง่าย ความชื้นน้อย
มีแป้ง/ไม่ให้ความร้อน	ผิวถ่านไม่เรียบเนียน เนื้อถ่านเกาะตัวกันแน่นเล็กน้อย มีความร้อนความชื้นสูง
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

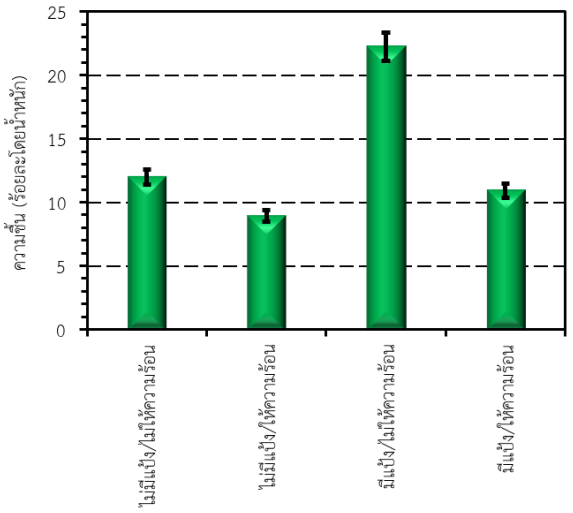


รูปที่ 3 ผลของแป้งและการให้ความร้อนต่อค่าความร้อนสูงของถ่านอัดแท่ง

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

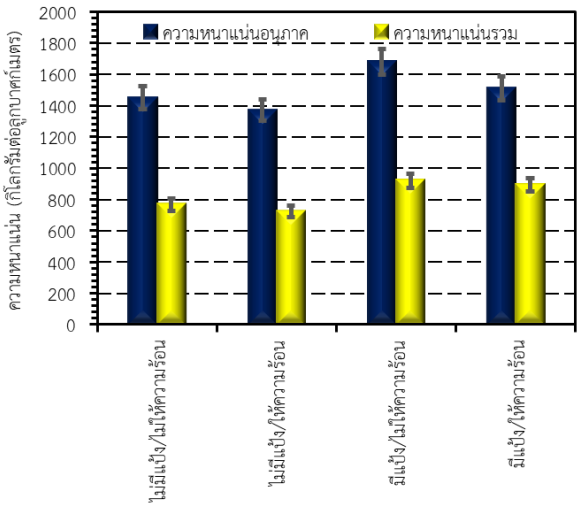
บทความวิจัย (Research Article)

ก็ทำให้ความชื้นของถ่านลดลงต่ำกว่า เพราะถ่านอัดแท่งกรณีไม่ใส่แป้งและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีความชื้นต่ำสุดประมาณร้อยละ 8.9 โดยน้ำหนัก จึงสรุปได้ว่าการอัดถ่านแท่งกรณีไม่ใส่แป้งและให้ความร้อนสามารถลดความชื้นได้ต่ำสุด



รูปที่ 4 ผลของแป้งและการให้ความร้อนต่อความชื้นของถ่านอัดแท่ง

ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นอนุภาคมากกว่าความหนาแน่นรวม โดยความหนาแน่นอนุภาคมีค่าอยู่ในช่วง 1,370-1,680 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะที่ความหนาแน่นรวมมีค่าอยู่ในช่วง 723-921 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาผลของแป้งมันสำปะหลังในถ่านอัดแท่งจะเห็นว่า การผสมแป้งมันสำปะหลังมีความหนาแน่นของถ่านเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผสมแป้งในถ่านกรณีไม่ให้ความร้อนส่งผลให้มีความหนาแน่นสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนของกระบอกอัดถ่านส่งผลให้ความหนาแน่นในถ่านลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการลดความชื้นในถ่านได้ดีกว่าการอัดถ่านแบบปกติ หากพิจารณาข้อดีของการผสมแป้งมันสำปะหลังจะพบว่า ช่วยเพิ่มความหนาแน่นและค่าความร้อนอย่างชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Duanguppama และคณะ [9] ที่รายงานว่า ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซีสเพิ่มขึ้นช่วยให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 ผลของแป้งและการให้ความร้อนต่อความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการผสมแป้งมันสำปะหลังและให้ความร้อนกับกระบอกถ่านอัดแท่ง พบว่า กรณีผสมแป้งมันสำปะหลังและให้ความร้อนกับกระบอกถ่านอัดแท่งส่งผลให้ผิวถ่านเรียบเนียนเป็นมันวาวและไม่แตกร้าว มีค่าความร้อนสูง 27 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และความชื้นค่อนข้างต่ำร้อยละ 10.9 โดยน้ำหนัก แต่หากต้องการลดความชื้นและเพิ่มค่าความร้อนให้กับถ่านอัดแท่งมากกว่านี้ควรเลือกกรณีไม่ผสมแป้งมันสำปะหลังและให้ความร้อน เพราะมีความชื้นต่ำสุดร้อยละ 8.9 โดยน้ำหนัก และค่าความร้อนสูงสุด 28.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามแป้งมันสำปะหลังที่ผสมในผงถ่านแล้วนำไปอัดสามารถช่วยเพิ่มความร้อนระหว่างการอัดถ่านและเพิ่มความหนาแน่นได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้ถ่านที่ผ่านการอัดแท่งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น

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] ดวงกมล ดังโพนทอง และ วสันต์ ปินะเต, "การส่งเสริมการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้ประโยชน์ในชุมชนระดับครัวเรือนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง," มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2557.

[4] วีรชัย อาจหาญ, "การพัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลสำหรับใช้ผลิตถ่านชีวภาพ," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2547.

[5] ปัญญา วงศ์ต่าย และ คมสัน มุ่ยสี, "การพัฒนาเครื่องคัดแยกผลไม้ต้นแบบสำหรับชุมชนเกษตรกรรมในจังหวัดจันทบุรี," *รายงานโครงการวิจัย,* มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, 2564.

[6] สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ และ สิงห์แก้ว ป๊อกเที่ง, "การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ เพื่อทดแทนถ่านจากไม้," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2549.

[7] วานิช โสพาสพ, บุญยิ่ง อินทรบุตร และ สมพล พวงดอกไม้, "การผลิตถ่านอัดแท่งด้วยเศษวัสดุเหลือใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทน," มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2550.

[8] ตุลย์ทิตย์ กัลยา, "การพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่ออัดถ่านหินแบบก้อนโดยใช้การหมุนอัดเพลาคู่," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.

[9] K. Duanguppama, N. Pannucharoenwong, S. Echaroj, C. Turakarn, K. Chaiphet and P. Rattanadecho, "Processing of Leucaena Leucocepphala for renewable energy with catalytic fast pyrolysis," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 466-479, 2022.