

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านอัตโนมัติควบคุมการทำงาน
ด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์

Design and Development of Automatic Charcoal Briquette Machine Controlled by Programmable Logic Controllers

กัญญา โกสุมภ์^{1*} กฤษณพงศ์ ชาทัน¹ กฤษณพงศ์ วังหอม¹ และสหัสวรรษ มั่นหมาย¹
Kanya Kosum^{1*} Kritsanapong Chatan¹ Kritsanapong Wanghom¹ and
Sahatsawat Manmay¹

Received: November 23, 2022; Revised: January 23, 2023; Accepted: January 24, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบ พัฒนา และทดสอบความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ที่กว้าง 1.7 ม. ยาว 1.5 ม. สูง 1.2 ม. ด้วยการออกแบบให้โปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ให้ทำการควบคุมการทำงานของระบบการจ่ายส่วนผสมและความยาวของแท่งถ่าน ผลจากการทดสอบพบว่า ระบบควบคุมการทำงานอัตโนมัติของเครื่องสามารถควบคุมการทำงานให้เริ่มและหยุดการทำงานได้ตรงตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้งานกำหนด ระบบควบคุมการจ่ายส่วนผสมและความยาวของแท่งถ่านสามารถทำงานได้ตามที่ผู้ใช้งานตั้งค่า โดยเครื่องที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถอัดแท่งถ่านให้มีความสมบูรณ์ มีอัตราคุณภาพงานสูงถึงร้อยละ 95 มีประสิทธิภาพในการทำงาน (คิดจากเวลา) คือร้อยละ 87 มีความหนาแน่นเฉลี่ยของแท่งถ่านที่ 1.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าทนแรงกดของแท่งถ่านในแนวนอนเฉลี่ยที่ 204.86 นิวตัน มีกำลังการผลิตที่ 1,590 แท่งต่อชั่วโมง และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ 2.55 วัตต์ต่อชั่วโมง

คำสำคัญ : เครื่องอัดแท่งถ่าน; ถ่านอัดแท่ง; PLC; ระบบอัตโนมัติ

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

¹ Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Ratchasima

* Corresponding Author; Tel. 09 7343 1107, E - mail: kk_changnoi@yahoo.com

Abstract

The objective of this research was to design, develop and test the functionality of an automatic charcoal briquette machine controlled by a programmable logic controller with a width of 1.7 m., a length of 1.5 m., and a height of 1.2 m. The programmable logic controller was designed to control the operation of a mixing system and the length of the charcoal bar. It was found that the automatic control system of the machine could control the start and stop the machine's operation according to the conditions specified by the user. The dispensing system and the charcoal bar length could be operated according to the user's setting. The developed machine could compress the charcoal briquettes almost to perfection with a quality rate of up to 95 %. The work efficiency (calculated from time) was found to be 87 %. The average density of the charcoal bars was found to be 1.09 g/cm³. The average horizontal pressure strength of the bars was found to be 204.86 newtons. The machine had the capacity to produce 1,590 charcoal bars per hour and had a power consumption rate of 2.55 watts per hour.

Keywords: Charcoal Briquette Machine; Charcoal Briquette; PLC; Automatic System

บทนำ

ถ่าน คือ ไม้ที่เผาจนสุก มีสีดำ [1] โดยส่วนมากแล้วจะถูกนำมาเป็นพลังงานทางความร้อนเพื่อปรุงอาหารหลากหลายเมนูให้สุกก่อนการบริโภค โดยเฉพาะเมนูปิ้งย่าง เช่น หมูปิ้ง ลูกชิ้นปิ้ง ไก่ย่าง เนื้อย่าง ฯลฯ ซึ่งเป็นอาหารยอดนิยมในปัจจุบันที่สามารถหารับประทานได้ง่ายสำหรับผู้บริโภค หรือแม้แต่อาหารบางเมนูที่ยังคงมีการปรุงสุกด้วยเตาถ่าน เพราะผู้ปรุงอาหารต้องการรักษากลิ่นที่เฉพาะตัวที่จะไม่เกิดขึ้นหากปรุงสุกด้วยเตาไฟฟ้าหรือเตาแก๊ส จึงทำให้ถ่านยังคงเป็นเชื้อเพลิงพลังงานที่จำเป็นและถูกเลือกใช้อยู่เนืองแน่น และประกอบกับสถานการณ์พลังงานในปัจจุบันที่มีราคาสูงขึ้นจึงทำให้เกิดความต้องการถ่านเพิ่มสูงขึ้น แต่การผลิตถ่านโดยวิธีดั้งเดิมนั้นไม่สามารถควบคุมคุณภาพของถ่านได้จึงทำให้เกิดการแตกหักของก้อนถ่านออกเป็นเศษเล็กเศษน้อยหรือเป็นผงเมื่อได้รับการกระแทกจากการเคลื่อนย้าย ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียรายได้ของผู้ทำอาชีพเผาถ่านขาย เพราะต้องเอาเฉพาะถ่านที่ยังคงเป็นก้อนไปบรรจุถุงเพื่อจำหน่าย หรือก่อให้เกิดความสูญเสียในแง่ของผู้ที่ซื้อถ่านมาใช้คือผู้ใช้งานมักจะหยิบเอาเฉพาะถ่านที่ยังเป็นก้อนขนาดที่หยิบได้ง่าย ส่วนเศษถ่านหรือผงถ่านจะถูกทิ้ง ทั้งที่เศษเล็กเศษน้อยหรือผงถ่านเหล่านั้นยังมีคุณสมบัติของการเป็นเชื้อเพลิงอยู่ครบถ้วน ดังนั้นจึงได้มีการนำเศษถ่านเหล่านั้นมาอัดเป็นแท่ง ซึ่งการทำถ่านอัดแท่งคือ การใช้เศษถ่านที่เหลือมาผสมกับแป้งมันแล้วอัดออกมาเป็นแท่ง [2] หรือการนำวัตถุดิบมาเผาให้เป็นถ่านวัตถุดิบความชื้นไม่เกินร้อยละ 20 จากนั้นลดขนาดด้วยการบดผสมผงถ่านกับตัวประสานและน้ำแล้วอัดให้ถ่านเป็นแท่งแล้วนำไปตาก [3] - [4] เพื่อช่วยลดปริมาณการทิ้งเศษถ่านที่เกิดการแตกหัก และเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเศษถ่านนั้น อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มคุณภาพของถ่านและเพิ่มระยะเวลาการใช้งานของถ่านได้มากขึ้น โดยการผลิตถ่านอัดแท่งมี 2 วิธี คือ 1) การอัดร้อน เป็นการอัดวัสดุโดยที่วัสดุไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านมาก่อนเมื่ออัดเป็นแท่งเสร็จ แล้วค่อยนำเข้าเตาให้เป็นถ่านอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเครื่องอัดชนิดนี้ราคาค่อนข้างสูง และ 2) การอัดเย็น เป็นการอัดวัสดุที่เผาถ่านมาแล้วแล้วนำมาผสมกับแป้งมันกับน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการเพื่อให้สามารถยึดเกาะกันและขึ้นรูปเป็นแท่งได้ง่าย [5] ซึ่งความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากการอัดจะทำให้เวลาในการติดไฟของถ่านอัดแท่งนานขึ้นและสะดวกในการขนส่ง [6] - [7] โดยที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ของถ่านอัดแท่งที่ดีนั้นควรมีค่าวัดผลอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เช่น ค่าความร้อนไม่ควรต่ำกว่า 3,000 กิโลแคลอรี

ต่อกิโลกรัม ค่าคาร์บอนคงตัวไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 15 ถ้าไม่ควรเกินร้อยละ 20 ค่ากำมะถันรวมไม่ควรเกินร้อยละ 2 [8] และควรมีระยะเวลาเผาไหม้อยู่ในช่วง 60 - 90 นาทีต่อกิโลกรัม [9]

โดยเครื่องอัดแท่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ [10] คือ

1. เครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ (Piston Press) ซึ่งมีหลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในปลายท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดที่มีลักษณะเป็นตัววีรูปกรวย (Conical Chock) หรือรูปเกลียวที่ทำหน้าที่ในการดันการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการดันนี้รวมทั้งการขัดสีวัสดุกับผนังท่อทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150 - 300 °C โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกอัดแท่งออกมาในรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 - 100 mm. ซึ่งเครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40 - 1,000 kg/hr แต่พบว่ามีปัญหาของการสึกกร่อนจากการขัดสีของกระบอกอัดและการแตกของลูกสูบ

2. เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) มีการทำงานโดยจะเริ่มจากการอัดวัตถุดิบที่ตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนในทิศทางตรงข้ามกัน ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในตัวรองรับแท่นอัด (Pillow-Shaped Briquetted) การอัดแท่งแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่นและแท่งอัดที่ได้มีความหนาแน่นน้อยกว่าแท่งอัดที่ได้จากการอัดแบบอื่นเนื่องจากช่วงเวลาในการอัดสั้น ทำให้ยากต่อการสร้างสภาวะของอุณหภูมิแรงอัดในการหลอมละลายลิกนินได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการอัดแท่งด้วยวิธีนี้จะได้ผลสำเร็จดีจำเป็นต้องใช้ตัวประสานเข้าช่วยที่ทำให้วัสดุเกาะติดกัน

3. เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Pelletizing Press) เครื่องอัดแบบนี้ต้องอาศัยแรงอัดระหว่างแม่พิมพ์กับลูกกลิ้งทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสีและทำการอัดวัตถุดิบผ่านแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรู ซึ่งมี 2 แบบคือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk Matrix Press) และเครื่องอัดแม่พิมพ์วงแหวน (Ring Matrix Press) แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมาแล้วจะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดให้ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 mm. และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 515 mm. ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้แล้วจะทำการอัดเป็นลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเม็ด

4. เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) ที่ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น

4.1 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press) ที่มีหลักการทำงานคือ เกลียวรูปกรวยจะดันให้วัสดุเคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพันเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 mm. การไหลผ่านของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100 - 200 °C ส่งผลให้ลิกนินหลอมละลายทำหน้าที่เป็นตัวประสานหลังจากระบายความร้อนจะได้แท่งเชื้อเพลิงอัด โดยกำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้ในช่วง 500 - 1,000 kg/hr อัตรากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอัดอยู่ระหว่าง 35 - 75 kW วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดและมีความชื้นร้อยละ 8 - 10

4.2 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยชุดลดความร้อนที่กระบอกอัด (Screw Press with a Heated Die) มีหลักการทำงานคือ วัสดุถูกดันโดยเกลียวที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือรูปกรวยเล็กน้อยผ่านเข้าไปในท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดที่มีอุณหภูมิจากชุดลดความร้อนระหว่าง 200 - 350 °C ความร้อนนี้ทำให้วัสดุที่สัมผัสกับท่อเกิดการเผาไหม้และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกยึดตัวกันดี ลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกทึบเหลี่ยมขนาดประมาณ 50 mm. โดยเฉพาะการออกแบบของหัวเกลียวทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีรูกลวงตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 mm. เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา มีกำลังในการผลิตของเครื่องอัดแบบนี้ในช่วง 50 - 500 kg/hr วัสดุที่ใช้มีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 8 - 12 ปัญหาใหญ่ของเครื่องอัดแบบนี้คือ การขัดสีของเกลียวและกระบอกอัด

4.3 เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ (Twin-Screw Press) เครื่องอัดแบบนี้มีเกลียวอัด 2 อันต่อกับเพลลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว (Screw Parts) ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัดและแรงเสียดทานสูงทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250 °C จึงต้องมีส่วนหล่อเย็นที่กระบอกอัด วัตถุดิบที่ใช้อัดควรมีขนาด 30 - 80 mm. และวัตถุดิบมีความชื้นร้อยละ 25 ขึ้นไป จึงจะสามารถทำการอัดได้โดยไม่ต้องทำให้

แห้งเสียก่อน กำลังการผลิตของเครื่องนี้อยู่ในช่วง 2,800 - 3,600 kg/hr ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ ซึ่งเครื่องอัดถ่านแท่งที่วางจำหน่ายในปัจจุบัน พบว่าแต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น เครื่องอัดถ่านแท่งที่ใช้ไฮดรอลิกเป็นต้นกำลังในการผลิต มีข้อดีคือ แท่งถ่านมีความหนาแน่นสูง แต่ข้อเสียคือ ราคาเครื่องสูง มีอัตราการผลิตต่ำ และการที่ผู้ใช้งานต้องทำการผสมส่วนผสมต่าง ๆ ให้เรียบร้อยก่อนที่จะนำมาอัดเป็นแท่งในเครื่องอัดถ่านแท่งทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน หรือบางแบบไม่สามารถปรับความยาวของแท่งถ่านที่อัดให้ตรงตามความต้องการนำไปใช้ในแต่ละงาน

จากข้อมูลข้างต้นทำให้ผู้วิจัยและคณะได้ทำการพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านขึ้นโดยการนำเอาโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ (PLC) มาเป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่อง ซึ่งการที่ PLC จะทำงานได้นั้นจะต้องมีการป้อนคำสั่งเข้าไปและจะทำงานตามขั้นตอนของโปรแกรมที่ป้อนเข้าไป โดยที่ตัว PLC จะสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปของซอฟต์แวร์ที่ตรงกับสภาพความเป็นจริงเปรียบเสมือนว่ามีอุปกรณ์เหล่านั้นบรรจุอยู่ในตัวของ PLC จริง [11] และเงื่อนไขในการออกแบบขนาดของเครื่องนั้นคือ ให้เหมาะสมกับสรีระของผู้ใช้งานคนไทย ให้สามารถอำนวยความสะดวกในการทำงานให้กับผู้ใช้งาน และสามารถลดขั้นตอนการทำงานของผู้ใช้งานคือ เครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมิตนี้ ผู้ใช้งานจะทำหน้าที่เทส่วนผสมต่าง ๆ ในการทำถ่านอัดแท่งลงในถังบรรจุส่วนผสมแต่ละถัง จากนั้นผู้ใช้งานทำการตั้งค่าควบคุมการไหลของส่วนผสมและตั้งค่าความยาวของแท่งถ่านได้ 3 ระดับ จากตัวควบคุมการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่าน เมื่อเครื่องทำงานผู้ใช้งานมีหน้าที่รื้อรับแท่งถ่านในภาชนะรองรับเพื่อนำถ่านไปตากแห้งและบรรจุขายหรือใช้งานต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยและคณะได้มุ่งเน้นที่การออกแบบเพื่อพัฒนาการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านให้ได้เครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมิตที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ดังนั้นจึงได้แบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน คือ 1) การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง 2) การออกแบบและสร้างเครื่องอัดแท่งถ่าน และ 3) การทดสอบและวิเคราะห์ผล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

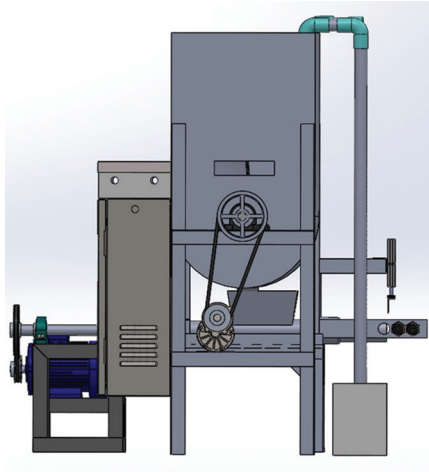
1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นก่อนการออกแบบและการจัดสร้างขึ้น เช่น การทดสอบเครื่องอัดแท่งถ่านเชื้อเพลิงชีวมวลในรูปแบบอัดเกลียวเย็นพบว่า ที่ความเร็วเกลียวอัด 500 rpm และอัตราส่วนตัวประสานคือ พงถ่านวัตถุดิบต่อแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ (2:1:0.5) จะให้แท่งถ่านที่มีเนื้อประสานกันดี ไม่มีรอยแตกร้าว [4] หรือการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากพงถ่านวัสดุชีวมวลด้วยชุดเกลียวอัดพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วของเกลียวอัดจะทำให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงของแท่งถ่านลดลง [7] หรือการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดถ่านแท่งแบบสกรูเกลียวขนาดกว้าง 7.5 cm. ยาว 13 cm. ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/4 hp ความเร็วรอบ 1,450 rpm เมื่อทดสอบแล้วพบว่า เครื่องอัดถ่านแท่งด้วยอัตราส่วนผสมพงถ่าน 1,000 g น้ำ 800 ml แป้งมัน 60 g สามารถตัดและอัดถ่านแท่งได้ยาวขนาด 7 - 10 cm. [2] โดยมีความหนาแน่น 0.63 - 0.74 g/cm³ จากเครื่องอัดถ่านแท่งระบบไฮดรอลิกสามารถอัดถ่านแท่งให้ [12] และ 0.907 g/cm³ จากเครื่องอัดถ่านไม้แบบเกลียวอัดเย็นที่มีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง [13]

2. การออกแบบและสร้างเครื่องอัดแท่งถ่าน

ผลจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ผู้วิจัยและคณะจึงทำการออกแบบเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมิตที่ต้องการพัฒนาขึ้นดังรูปที่ 1 ซึ่งอยู่ภายใต้แนวคิดที่ต้องการให้การทำงานของเครื่องไม่ซับซ้อน ดังรูปที่ 2 เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถบำรุงรักษาเบื้องต้นได้ มีขนาดกะทัดรัด (กว้าง 1.7 ม. ยาว 1.5 ม. สูง 1.2 ม.) เพื่อความสะดวกของการจัดวางในพื้นที่ว่างข้างบ้านได้โดยไม่ต้องต่อเติมพื้นที่จัดวาง เหมาะสมกับสรีระของคนไทยในวัยทำงาน เพื่อลดความเมื่อยล้าหรือการเจ็บปวดจากการลุก นั่ง ก้ม เงย จากการทำงานผิดท่า สะดวกต่อการใช้งาน

ด้วยการนำเอาการควบคุมอัตโนมัติเข้ามาควบคุมการทำงานของเครื่อง และอะไหล่ที่ใช้ประกอบตัวเครื่อง หากชำรุดสามารถหาซื้อมาเปลี่ยนได้ตามร้านอะไหล่ทั่วไป ทั้งนี้ผู้วิจัยและคณะได้ทำการคำนวณเพื่อหาขนาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ดังสมการที่เกี่ยวข้องโดยจากสมการที่ (1) ทำให้ได้เพลามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และจากสมการที่ (2) ทำให้ได้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 3 แรงม้า



(ก) แบบเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัต
รูปที่ 1 เครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัต

(ข) เครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัตต้นแบบ

ขนาดของเพลานึงกวน [14] จากสมการที่ (1)

$$d = \sqrt[3]{(16 / \pi \tau_d) [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]}^{1/2} \quad (1)$$

เมื่อ

d	คือ	ขนาดของเพลาดัน (mm)
τ_d	คือ	ความเค้นเฉือนในการออกแบบ (N/mm^2)
T	คือ	แรงบิด ($N \cdot m$)
M	คือ	โมเมนต์ดัด ($N \cdot m$)
C_m	คือ	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด
C_t	คือ	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

แรงบิด [14] จากสมการที่ (2)

$$T = \frac{W_p}{2\pi n} \quad (2)$$

เมื่อ

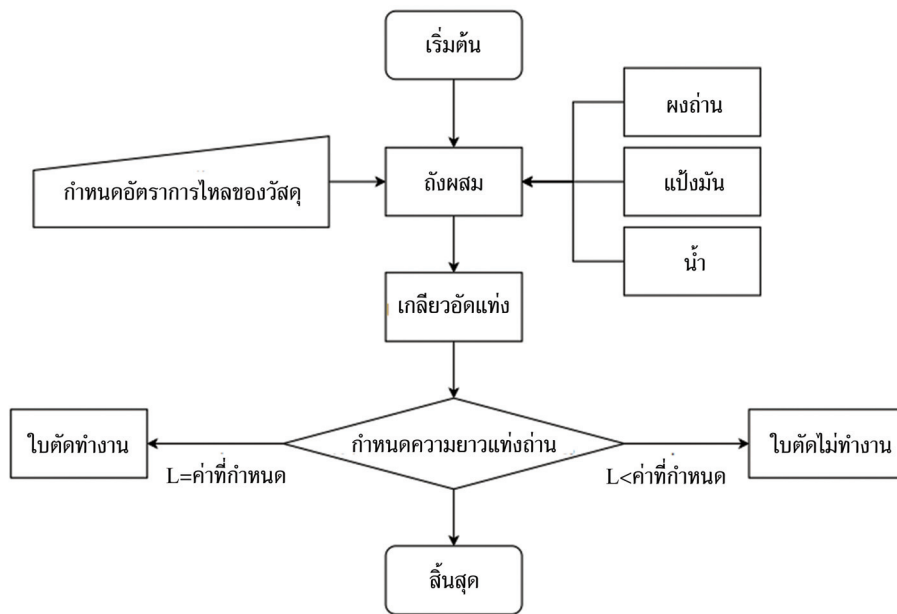
W_p	คือ	กำลังงาน (W)
n	คือ	ความเร็วรอบ (rpm)

ความเร็ววิกฤตของเพลาลูกในถังกวน [14] จากสมการที่ (3)

$$n_c = 945 \left(\sum W_y / W_y^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

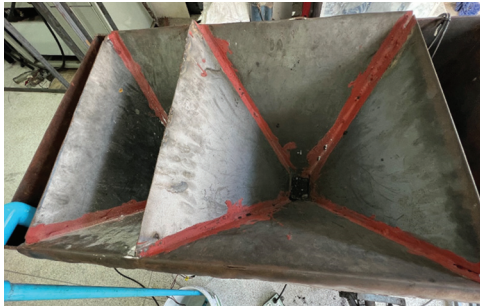
เมื่อ

n_c คือ ความเร็ววิกฤต (rpm)
 W คือ น้ำหนัก (N)
 y คือ ระยะโคง (mm)

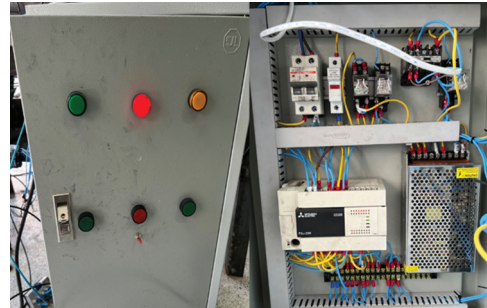


รูปที่ 2 ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัติ

จากรูปที่ 3 แสดงถึงส่วนประกอบของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ ที่ผู้วิจัยและคณะได้สร้างขึ้นโดยเครื่องอัดแท่งถ่านฯ นี้จะมีถังบรรจุเศษถ่านหรือผงถ่าน 1 ถัง และถังบรรจุแป้งมันสำปะหลัง 1 ถัง อยู่ด้านล่างของเครื่องดังรูปที่ 3(ก) โดยที่ด้านล่างของถังจะมีช่องสำหรับปล่อยให้ส่วนผสมทั้ง 2 ชนิดนั้นลงไปถังผสม ซึ่งที่ช่องปล่อยนี้จะสามารถปรับขนาดความกว้างของช่องเพื่อกำหนดปริมาณการไหลของส่วนผสมทั้ง 2 ชนิด ส่วนน้ำจะถูกปล่อยออกที่ท่อที่อยู่ด้านในของถังกวนเช่นกันโดยที่ส่วนผสมทั้ง 3 ชนิดนั้น จะสามารถควบคุมปริมาณการปล่อยลงไปถังกวนได้ด้วยการควบคุมของโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุมการทำงานบริเวณด้านข้างของเครื่องดังรูปที่ 3(ข) เมื่อส่วนผสมทั้ง 3 ชนิดถูกปล่อยลงไปถังกวนที่มีใบกวนอยู่ด้านล่างของถังดังรูปที่ 3(ค) จะทำให้ที่ในการกวนส่วนผสมทั้ง 3 ชนิดให้เข้ากัน นอกจากใบกวนจะทำหน้าที่กวนส่วนผสมแล้วยังทำหน้าที่ในการกวาดเอาส่วนผสมทั้ง 3 ชนิดที่ผสมกันแล้วให้ออกมาที่ช่องทางออกเพื่อลงไปสู่เกลียวอัดที่จะทำหน้าที่ในการอัดส่วนผสมทั้ง 3 ชนิด ให้เป็นแท่งถ่านที่ออกมาที่ช่องทางออกดังรูปที่ 3(ง) และที่ช่องทางออกนี้จะมีใบตัดแท่งถ่าน ที่จะทำหน้าที่ในการตัดถ่านที่ออกมาจากเกลียวอัด โดยการทำงานของใบตัดจะควบคุมการทำงานด้วยการตั้งค่าขนาดความยาวของแท่งถ่านจากเซนเซอร์จับวัตถุ ดังรูปที่ 3(จ) ที่สามารถปรับความยาวของแท่งถ่านได้ตามต้องการ แต่ไม่เกิน 15 เซนติเมตร ด้วยการปรับตำแหน่งของเซนเซอร์ และก้านโยกย้ายขาที่อยู่ตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องเพื่อเลือกระดับของความยาว



(ก) ถังบรรจุวัตถุดิบในการทำถ่านอัดแท่ง



(ข) ตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมิตควบคุม



(ค) ไบวาล์วส่วนผสม



(ง) ทางออกของส่วนผสมและเกลียวอัด



(จ) ไบตัดแท่งถ่าน

รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมิตควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์

3. การทดสอบและวิเคราะห์ผล

3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

ความเร็วรอบของไบวาล์วผสม 3 ระดับ (62 72 และ 82 rpm) ทดสอบระดับละ 5 ซ้ำ

3.2 ค่าชี้ผลในการดำเนินงานวิจัย

- 1) ประสิทธิภาพในการทำงาน (คิดจากเวลา) ดังสมการที่ (4)

$$\eta = \{(t_{total} - t_{break}) \times 100\% \} / t_{total} \quad (4)$$

เมื่อ

η คือ ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่อง
 t_{total} คือ เวลาเดินเครื่องทั้งหมด
 t_{break} คือ เวลาในการหยุดเดินเครื่องจักร

- 2) อัตราคุณภาพงาน (คิดจากสิ่งที่ผลิต) ดังสมการที่ (5)

$$QualityRate = (N_{total} - N_{loss}) / N_{total} \quad (5)$$

เมื่อ

N_{loss} คือ จำนวนชิ้นงานที่เสียหาย

3) ความหนาแน่นของถ่านที่อัดแท่ง จากสมการที่ (6)

$$\rho = m / v \quad (6)$$

เมื่อ

ρ	คือ	ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (g/cm^3)
m	คือ	มวลของถ่านอัดแท่ง (g)
v	คือ	ปริมาตรของถ่านอัดแท่ง (cm^3)

4) อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า จากสมการที่ (7)

$$Ratio_{energy} = kW \times hr \quad (7)$$

เมื่อ

$Ratio_{energy}$	คือ	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า
kW	คือ	กำลังไฟฟ้า
hr	คือ	เวลาที่ใช้

3.3 วิธีการทดสอบ

- 1) ตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่อง ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน
- 2) ตั้งค่าการปล่อยส่วนผสม (น้ำ เศษถ่าน แป้งมัน) ที่ต้องการจากตู้ควบคุมการทำงาน โดยการทดสอบนี้อ้างอิงที่อัตราส่วนผสมถ่านต่อแป้งมันต่อน้ำ (2:1:0.5) [4]
- 3) ตั้งค่าความเร็วรอบในการทำงานของใบกวนผสมที่ต้องการ (3 ระดับ 62 72 และ 82 rpm) จากตู้ควบคุมการทำงาน โดยการทดสอบนี้กำหนดค่าความเร็วของเกลียววัดคงที่ที่ 1,260 rpm
- 4) ตั้งค่าความยาวของแท่งถ่านที่ต้องการจากตู้ควบคุมการทำงาน
- 5) เทส่วนผสม (เศษถ่าน แป้งมัน) ลงในถังเตรียมส่วนผสม และต่อระบบน้ำเข้ากับเครื่อง
- 6) กดปุ่มเริ่มใช้งานของเครื่อง เพื่อเริ่มการทดสอบ
- 7) บันทึกเวลา และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโน้มัติต้นแบบ
- 8) คัดแยกถ่านเต็มก้อนและไม่เต็มก้อน เพื่อบันทึกจำนวนถ่านที่ผลิตได้ทั้งหมดต่อการทดสอบ
- 9) สุ่มแท่งถ่านที่ได้จากการทดสอบจากความเร็วรอบของเกลียวผสมระดับที่ให้แท่งถ่านที่สมบูรณ์มากที่สุด จำนวน 2 ชุด ชุดละ 5 ตัวอย่าง ไปทดสอบค่าทนแรงกดของแท่งถ่านตัวอย่างด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA.XT Plus, Texture Technologies Corp. and Stable Micro Systems, Ltd., Hamilton, MA, USA) ที่ระดับความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ เพื่อหาค่าของแรงสูงสุดที่แท่งถ่านตัวอย่างจะรับได้ในแนวนอน
- 10) สุ่มแท่งถ่านที่ได้จากการทดสอบจากความเร็วรอบของใบกวนผสมระดับที่ให้แท่งถ่านที่สมบูรณ์มากที่สุด จำนวน 5 ตัวอย่าง ไปชั่งน้ำหนักของถ่านตัวอย่างเริ่มต้น จากนั้นนำไปแทนที่ในสารละลายเฮกเซนที่เตรียมไว้ แล้วอ่านค่าปริมาตรที่เปลี่ยนไปของสารละลาย เพื่อคำนวณหาค่าความหนาแน่น
- 11) วิเคราะห์ผล เพื่อหาความสามารถและประสิทธิภาพในการทำงาน และกำลังการผลิตของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโน้มัติ

3.4 การวิเคราะห์ระยะเวลาในการคืนทุน

เป็นการวิเคราะห์ในรูปแบบอย่างง่าย โดยไม่คิดการเปลี่ยนมูลค่าเงินตามเวลา ซึ่งวิเคราะห์จากสมการที่ (8)

$$PBP = \frac{P}{R} \quad (8)$$

เมื่อ

PBP คือ ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักร (ปี)
 P คือ ราคาแรกซื้อของเครื่องจักร (บาท)
 R คือ กำไรสุทธิเฉลี่ย(บาท)

ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

ผลจากการทดสอบความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์นั้นสามารถอัดถ่านให้เป็นแท่งได้ดังรูปที่ 4(ก) โดยเศษถ่าน แป้ง และน้ำที่ผ่านกระบวนการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์จนสามารถออกมาเป็นแท่งถ่านอีกครั้งนั้นจะมีทั้งแท่งถ่านที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4(ข) ซึ่งแท่งถ่านที่สมบูรณ์ในความหมายของผู้วิจัย คือ แท่งถ่านที่ไม่มีการแตกหักหรือแห้ว มีขนาดความยาวของแท่งตามที่กำหนดไว้ และแท่งถ่านที่ไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4(ค) ซึ่งแท่งถ่านที่ไม่สมบูรณ์ในความหมายของผู้วิจัย คือ แท่งถ่านที่อาจจะมีการแตกหักหรือแห้ว มีขนาดความยาวของแท่งสั้นกว่าที่กำหนดไว้



(ก) ตัวอย่างแท่งถ่าน



(ข) ตัวอย่างแท่งถ่านที่สมบูรณ์

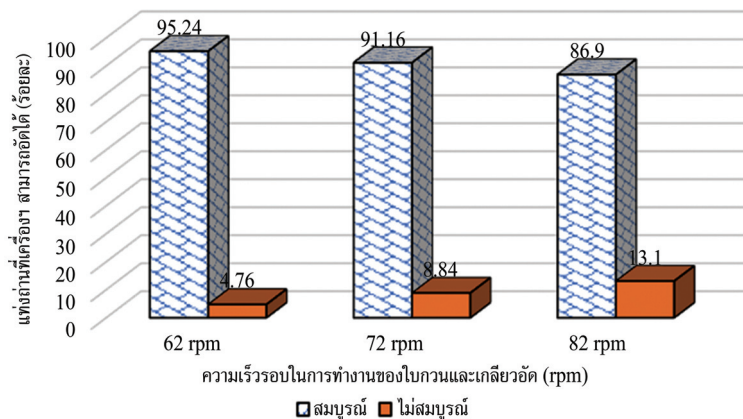


(ค) ตัวอย่างแท่งถ่านที่ไม่สมบูรณ์

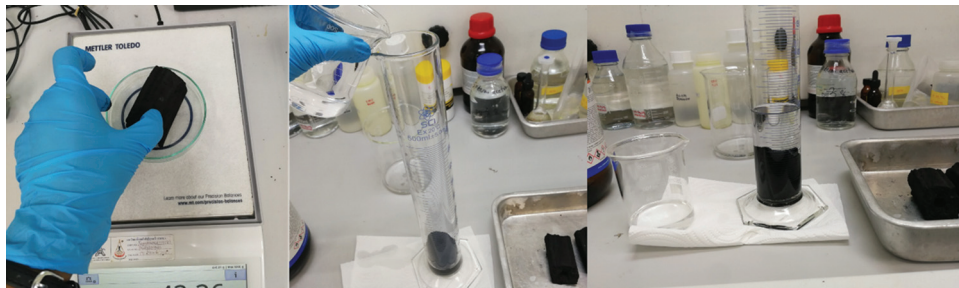
รูปที่ 4 ถ่านจากเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์

โดยรูปที่ 5 แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ เมื่อทำการบรรจุผงถ่านและแป้งมันอย่างละ 1 ถึง ต่อ 1 ความเร็วรอบของใบกวนผสมถ่าน 1 ระดับ ต่อ 1 การทดสอบ ซึ่งทำการทดสอบที่ความเร็วรอบของใบกวนผสม 3 ระดับ ระดับละ 5 ชั่วโมง พบว่า ที่ความเร็วรอบในการทำงานของใบกวนผสมระดับที่ 1

(ร้อยละ 95.24, 140 แท่ง) สามารถทำการอัดถ่านได้แท่งถ่านที่สมบูรณ์มากกว่าความเร็วรอบในการทำงานของใบกวนผสมระดับที่ 2 (ร้อยละ 91.16, 134 แท่ง) และ 3 (ร้อยละ 86.90, 126 แท่ง) ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบในการทำงานของใบกวนผสมระดับที่ 1 (ร้อยละ 4.76, 7 แท่ง) สามารถทำการอัดถ่านได้แท่งถ่านที่ไม่สมบูรณ์น้อยกว่าความเร็วรอบในการทำงานของใบกวนผสมระดับที่ 2 (ร้อยละ 8.84, 13 แท่ง) และ 3 (ร้อยละ 13.10, 19 แท่ง) ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยดังกล่าวมาจากการบรรจุผงถ่าน 1 ถัง และมีอัตราคุณภาพงาน (คิดจากสิ่งทีผลิต) พบว่า ที่ความเร็วรอบในการทำงานของใบกวนผสมระดับที่ 1 (ร้อยละ 95) มีอัตราคุณภาพงานสูงกว่าที่ความเร็วรอบในการทำงานของใบกวนผสมระดับที่ 2 (ร้อยละ 91) และ 3 (ร้อยละ 87) ตามลำดับ โดยสาเหตุที่ความเร็วรอบของใบกวนผสมระดับที่ 1 ให้แท่งถ่านที่สมบูรณ์มากกว่าที่ความเร็วรอบของใบกวนผสมระดับที่ 2 และ 3 นั้น เพราะความเร็วของใบกวนผสมในระดับที่ 1 เคลื่อนที่ด้วยความเร็วรอบที่ต่ำกว่าในระดับที่ 2 และ 3 จึงมีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่น้อยกว่าในระดับที่ 2 และ 3 จึงทำให้วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมสามารถร่วงลงมากลือกเล้ากันได้มากกว่าเพราะว่าเมื่อใบกวนผสมหมุนผลักดันครีบของใบกวนผสมให้กวาดวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมที่อยู่รอบ ๆ ทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเป็นผลให้มีการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมจากจุดศูนย์กลางของใบกวนผสมออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทาง โดยเป็นไปตามหลักการทางชลศาสตร์ที่เมื่อของไหลถูกหมุนให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ความกดดันของของไหลจะมีความมากขึ้นเมื่ออยู่ทางจุดศูนย์กลางของใบพัดมากขึ้น [15] และด้วยความเร็วรอบของใบกวนผสมในระดับที่ 2 และ 3 ที่สูงกว่าในระดับที่ 1 จึงทำให้มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมากกว่าทำให้วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมยังมีการแยกชั้นระหว่างผงถ่านกับแป้งมัน ดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการอัดแท่งจึงได้แท่งที่ไม่สมบูรณ์มากกว่า

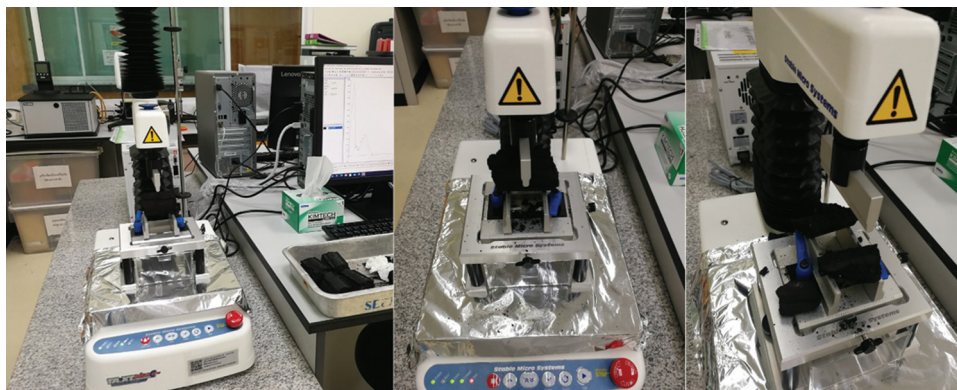


รูปที่ 5 ความสามารถในการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์



(ก) การทดสอบเพื่อหาความหนาแน่นของแท่งถ่าน

รูปที่ 6 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของถ่านที่ได้จากการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์



(ข) การทดสอบความแข็งแรงของแท่งถ่าน

รูปที่ 6 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของถ่านที่ได้จากการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ (ต่อ)

จากอัตราคุณภาพงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์พบว่า ที่ความเร็วรอบในการทำงานของใบกวนผสมระดับที่ 1 (62 rpm) เป็นระดับของความเร็วรอบที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่านอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น เพราะสามารถอัดแท่งถ่านให้มีความสมบูรณ์และมีอัตราคุณภาพงานสูงที่สุดคือ ร้อยละ 95 และมีประสิทธิภาพในการทำงาน (คิดจากเวลา) คือ ร้อยละ 87 จากนั้นผู้วิจัยได้นำถ่านที่ได้จากการอัดแท่งของเครื่องอัดแท่งถ่านอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ที่ความเร็วรอบในการทำงานของใบกวนผสมระดับที่ 1 (62 rpm) นั้นไปทดสอบคุณสมบัติทางกลของแท่งถ่านที่ได้เพื่อหาความหนาแน่นและค่าความแข็งแรงดังรูปที่ 6 พบว่ามีความหนาแน่นเฉลี่ยของแท่งถ่านที่ 1.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งที่ได้จากเครื่องอัดถ่านแบบสกรูเกลียว เนื่องจากมีส่วนผสมของแป้งมันที่มากกว่า โดยสอดคล้องกับรายงานวิจัยในปี 2554 ที่กล่าวว่า เมื่อมีปริมาณของแป้งที่ผสมมากขึ้น จะทำให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงของถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน [16] ซึ่งจากความหนาแน่นที่เพิ่มมากขึ้นนี้จะส่งผลให้แท่งถ่านมีระยะเวลาในการเผาไหม้มากขึ้น ดังรายงานการวิจัยของ [13] และแท่งถ่านที่ได้จากกระบวนการอัดของเครื่องมีความสามารถในการทนแรงกดอัดเฉลี่ยที่ 204.86 นิวตัน ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของแท่งถ่านที่จะไม่เกิดการแตกร่วนเนื่องจากการรับน้ำหนักไม่เกิดค่าการทนต่อแรงกดอัดนี้หากมีการบรรจุใส่ถุงเพื่อการขนส่งไปจำหน่าย

โดยเครื่องอัดแท่งถ่านอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาขึ้นนั้น มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ 2.55 วัตต์ต่อชั่วโมง หรือเป็นเงิน 8.28 บาทต่อชั่วโมง และสามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุนของเครื่องอัดแท่งถ่านอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ โดยเริ่มจากการกำหนดราคาขายต่อหน่วยของเครื่องต้นแบบซึ่งผู้วิจัยคำนวณจากราคารวมของค่าวัสดุ อุปกรณ์สิ้นเปลือง และค่าแรงงานในการประกอบเครื่อง ซึ่งเครื่องต้นแบบนี้สามารถขายได้ในราคาเริ่มต้นที่ 55,566.5 บาทต่อเครื่อง ซึ่งเกษตรกรที่ใช้เครื่องอัดแท่งถ่านอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ทำงานแทนแรงงานคนเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ผลิตถ่านอัดแท่งสมบูรณ์ได้ 12,720 แท่งต่อวัน (เท่ากับมีกำลังการผลิตที่ 1,590 แท่งต่อชั่วโมง) หรือ 595.454 kg ต่อวัน (เท่ากับ 74.43 kg ต่อวัน) โดยราคาขายถ่าน 10 บาทต่อกิโลกรัม เพราะฉะนั้นเกษตรกรจะสามารถคืนทุนได้ในเวลา 16 วัน

สรุปผล

ผลจากการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านอัดโนมัติควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกส์คอนโทรลเลอร์ตัวเครื่องมีขนาดกว้าง 1.7 ม. ยาว 1.5 ม. สูง 1.2 ม. มีถังสำหรับบรรจุผงถ่าน แป้งมัน และท่อจ่ายน้ำที่อยู่ด้านบนของถังผสมส่วนผสมที่ต่อกับชุดเกลียวอัดแท่งที่ด้านข้างของตัวเครื่อง และมีผู้ควบคุมการทำงานของเครื่องที่สามารถกำหนดอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ และกำหนดความยาวของแท่งถ่านได้ ผลจากการทดสอบพบว่า ระบบควบคุมการทำงานอัตโนมัติของเครื่องสามารถควบคุมการทำงานให้เริ่มและหยุดการทำงานได้ตรงตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้งานกำหนด มีอัตราคุณภาพงานสูงสุดที่ร้อยละ 95 มีประสิทธิภาพในการทำงาน (คิดจากเวลา) ร้อยละ 87 มีความหนาแน่นเฉลี่ยของแท่งถ่านที่ 1.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าทนแรงกดของแท่งถ่านเฉลี่ยที่ 204.86 นิวตัน มีกำลังการผลิตที่ 1,590 แท่งต่อชั่วโมง และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ 2.55 วัตต์ต่อชั่วโมง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยและคณะขอขอบคุณ นักศึกษา เจ้าหน้าที่ และอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่ให้คำแนะนำ และจัดหาข้อมูล โดยงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณกองทุนสนับสนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 สัญญาเลขที่ RMUTI/RF/10

References

- [1] Dictionary, Royal Institute Edition 2011. (2011). **Charcoal**. Access (22 October 2022). Available (<https://dictionary.orst.go.th/>)
- [2] Nachampa, U., SengPrakhon, J., NuanSai, W., and Cherdsuk, S. (2020). **Charcoal Briquette Machine**. Bachelor's degree Department of Physics, Faculty of Education, Buriram Rajabhat University
- [3] Bhattacharya, S. C. and Shreatha, R. M. (1990). **Biocoal Technology and Economics**. RERIC. Bangkok: Asian Institute of Technology
- [4] Yuman, P. (2016). Development of a Cold Production Biomass Charcoal Briquette Machine to use Waste from Coffee Bean Processing. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**. Vol. 9, No. 1, pp. 34-48 (in Thai)
- [5] Khosri, U. (2011). **Charcoal Briquettes**. Technology Clinic, Rajamangala University of Technology Isan Sakon Nakhon Campus. Access (4 May 2011). Available (http://www.clinictech.ops.go.th/online/pages/techlist_display.asp?tid=384)
- [6] Chin, O. C. and Siddiqui, K. M. (2000). Characteristics of Some Biomass Briquettes Prepared Under Modest Die Pressures. **Biomass and Bioenergy**. Vol. 18, Issue 3, pp. 223-228. DOI: 10.1016/S0961-9534(99)00084-7
- [7] Laloon, K., Sudajan, S., and Jansiri, C. (2012). Effects of Charcoal Type and Screw Pressing Speed on the Performance of Screw Press Unit and Quality of Charcoal Block. In **Proceeding of the 22nd TSAE National Conference (TSAE 2021)**. Chiang Mai. pp. 284-290

- [8] Department of Industrial Works. (2012). **Guidelines and Qualification of Wastes for Processing Into Fuel Ingots and Interlocking Blocks**. Bangkok
- [9] The National Energy Policy Council. (2000). Fuel of The Future. **NEPO Journal**. No. 50, pp. 13-20
- [10] Poonkasem, T. (1999). **A Study of Fuel Briquettes from Durian Peel Substitute for Firewood and Charcoal in Household Used**. Graduate School Mahidol University
- [11] Omron Electronics Co., Ltd., (2009). **Implementation PLC Level 1**. Bangkok
- [12] Hitawattanakul, C. and Yoksila, P. (2013). **Development of a Hydraulic Briquette Press from Coconut Shells and Corn Cobs**. B. Eng. Chemical Engineering King Mongkut's University of Technology North Bangkok
- [13] Dangphonhong, D., Pinate, W., and Rucha, A. (2016). A Comparison of the Heating Value and Density of Charcoal Briquettes Manufactured by Electric Motor and Bicycle-Powered Compressors. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**. Vol. 9, No. 1, pp. 1-13
- [14] Ungphakorn, V. and Tanadngan, C. (1998). **Machine Design 1**. Bangkok: Se-ed ucation
- [15] Boonyatharokul, W. (1986). **Pumps and Pumping Systems**. Bangkok: Kasetsart University
- [16] Lalun, K. (2011). **Study and Development of Charcoal Briquette Machine from Cassava Rhizomes**. Master of Engineering Thesis (Agricultural and Food Engineering). Graduate School Khon Kaen University