บทความวิจัย

การพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวลสำหรับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในจังหวัดระยอง

กฤตภาส มงคลธำรงกุล*
สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานและการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์ พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 2938 9235 อีเมล: krittaphas.m@sciee.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.10.010
รับเมื่อ 15 มกราคม 2565 แก้ไขเมื่อ 25 มีนาคม 2565 ตอบรับเมื่อ 10 พฤษภาคม 2565 เผยแพร่ออนไลน์ 25 ตุลาคม 2565
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การศึกษาอัดแท่งถ่านชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิดพบว่า แท่งถ่านยังมีประสิทธิภาพในการใช้งานไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากมีความเปราะบาง ความชื้นสูงทำให้เกิดเชื้อรา มีความยุ่งยากในการผลิต ระยะเวลาเผาไหม้สั้น และมีควันมาก งานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวล และเพื่อหาสัดส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิต โดยใช้ถ่านเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน อัตราส่วนการผสมโดยน้ำหนักระหว่างเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด คือ 4 : 1, 2 : 1, 3 : 2, 1 : 1, 2 : 3, 1 : 2 และ 1 : 4 เครื่องทำถ่านอัดแท่งชีวมวลประเมินจากความสามารถในการขึ้นรูป ลักษณะทางกายภาพ และความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง ขณะที่คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจะทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐานของสมาคมการทดสอบและวัสดุแห่งอเมริกา ผลการวิจัยพบว่า เครื่องนี้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยถ่านอัดแท่งชีวมวลสามารถอัดขึ้นรูปได้ดี ลักษณะผิวเรียบ มีความแข็งแรงไม่แตกหัก ความหนาแน่นทุกอัตราส่วนผสมอยู่ระหว่าง 604.94–612.12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดในอัตราส่วน 1 : 4 มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่าความร้อนมากที่สุด (5,572.78 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) ปริมาณความชื้นน้อยที่สุด (ร้อยละ 4.82) ปริมาณสารระเหยน้อยที่สุด (ร้อยละ 7.26) ปริมาณเถ้าน้อยที่สุด (ร้อยละ 9.47) ค่าคาร์บอนคงตัวมากที่สุด (ร้อยละ 75.39) ทั้งยังมีความหนาแน่น 606.32 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประสิทธิภาพการใช้งานร้อยละ 22.79 และมีระยะเวลามอดดับ 99.47 นาที

คำสำคัญ: เครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวล ชีวมวลอัดแท่ง วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พลังงานชุมชน

การอ้างอิงบทความ: กฤตภาส มงคลธำรงกุล, "การพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวลสำหรับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในจังหวัดระยอง," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 1, หน้า 1–12, เลขที่บทความ 241-195749, ม.ค.–มี.ค. 2567.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 34 ฉบับที่ 1 ม.ค.–มี.ค. 2567
The Journal of KMUTNB., Vol. 34, No. 1, Jan.–Mar. 2024

Research Article

Development of a Biomass Briquette Machine from Agricultural Waste in Rayong Province

Krittaphas Mongkoldhumrongkul*
Field of Energy Technology and Management, Faculty of Science, Energy, and Environment, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Rayong Campus, Rayong, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 2938 9235, E–mail: krittaphas.m@sciee.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.10.010
Received 15 January 2022; Revised 25 March 2022; Accepted 10 May 2022; Published online: 25 October 2022
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Biomass briquette charcoal has been studied using a variety of agricultural waste materials. The outcome revealed that the charcoal bars are still inefficient in use because of their fragility, high moisture causing mold, difficulty setting up, short burning times, and smoky. The aims of this research are to build up a biomass charcoal briquette machine and to examine the raw material proportions. Durian peel and mangosteen peel charcoal were mixed with cassava starch. The mixing ratio by weight between Durian peel and mangosteen peel was 4 : 1, 2 : 1, 3 : 2, 1 : 1, 2 : 3, 1 : 2, and 1 : 4. The biomass charcoal briquette machine was evaluated for its forming ability, physical shape, and density while the properties of charcoal briquettes were analyzed based on American Society of Testing and Materials (ASTM). The results reveal that this machine is efficient to use considered by smooth surface, sturdiness, and density (604.94–612.12 kg/m^3). The charcoal briquettes made from durian peel and mangosteen peel in the ratio of 1 : 4 can be achieved all criteria which have the highest calorific value of 5,572.78 kcal/kg, the lowest moisture content of 4.82%, the minimum volatile matter content of 7.26%, the minimum ash content of 9.47%, the maximum fixed carbon of 75.39%. Also, it has a bulk density of 606.32 kg/m^3, a heat utilization efficiency of 22.79%, and a burning time of 99.47 minutes.

Keywords: Biomass Briquette Machine, Biomass Briquette, Agricultural Waste, Community Energy

Please cite this article as: K. Mongkoldhumrongkul, "Development of a biomass briquette machine from agricultural waste in Rayong province," *The Journal of KMUTNB*, vol. 34, no. 1, pp. 1–12, ID. 241-195749, Jan.–Mar. 2024 (in Thai).

1. บทนำ

พลังงานถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศให้ขับเคลื่อนไปในทางที่ดีซึ่งต้องพึ่งพาน้ำมันดิบจากต่างประเทศส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของประเทศสูงขึ้น จากรายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยใน พ.ศ. 2563 พบว่า ประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานคิดเป็นมูลค่ากว่า 648,448 ล้านบาท โดยมีการนำเข้าน้ำมันดิบสูงถึงร้อยละ 55 นอกจากนี้วิกฤตด้านพลังงานในปัจจุบันส่งผลให้รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้นรวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานพร้อมกับการอนุรักษ์ทรัพยากรพลังงานโดยการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกเพื่อลดการใช้พลังงานฟอสซิลและลดต้นทุนด้านพลังงาน [1]–[3]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีศักยภาพในการผลิตพืชผลทางการเกษตรซึ่งสามารถนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาแปรรูปเป็นพลังงานเพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะในจังหวัดระยองซึ่งนอกจากจะเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศแล้วยังถือเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรสูงอีกด้วย ส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านการจัดการขยะเป็นอย่างมาก โดยในปัจจุบันมีการจัดการขยะหลายรูปแบบ เช่น ธนาคารขยะ การทำปุ๋ยหมักอินทรีย์ และการนำขยะมาแปรรูปเป็นพลังงาน เป็นต้น รูปแบบหนึ่งที่นิยมนำขยะมาแปรรูปก็คือการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากมีกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากและมีประสิทธิภาพสูงพร้อมทั้งลดผลกระทบสิ่งต่อแวดล้อม [4], [5] ดังเช่น งานวิจัยของ กฤษฎา และนิลุบล [3] ได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งไม้ลำไยโดยทำการเผาด้วยเตาเผาถ่านแบบดั้งเดิม และผสมผงถ่านไม้ลำไย น้ำ และแป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 0.47 : 0.47 : 0.06 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น คุณค่าความร้อน ตามมาตรฐานสมาคมการทดสอบและวัสดุแห่งอเมริกา (American Society of Testing and Materials; ASTM) และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนด้วยการทดสอบต้มน้ำพบว่า แท่งไม้ลำไยมีความชื้นร้อยละ 6.65 ± 0.03 และค่าความร้อน 5,509.85 ± 0.65 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของไทย (มผช. 238/3547) [6] โดยมีประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของเชื้อเพลิง ร้อยละ 17.69 ± 1.15 กนกวรรณและนิพนธ์ [4] ได้ทำศึกษาตัวประสานซึ่งได้จากการนำกากมันสำปะหลังที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตรผสมกับผงถ่านจากเปลือกตาลโตนดเพื่ออัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ทำการศึกษาลักษณะ และคุณสมบัติโดยออกแบบอัตราส่วนของผงถ่านจากเปลือกตาลโตนดต่อตัวประสานทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผงถ่านจากเปลือกตาลโตนดต่อแป้งมันสำปะหลัง คือ อัตราส่วน 3 : 2 และ 3 : 1.5 ซึ่งมีคุณสมบัติของเชื้อเพลิงผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน วัชราภรณ์ และดาริวรรณ [5] ได้ศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะเศษใบไม้โดยใช้แป้งมันสำปะหลัง และน้ำยางพาราเป็นตัวประสาน อัดก้อนเชื้อเพลิงด้วยการอัดด้วยเครื่องและอัดด้วยมือ ศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง และประเมินความเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในชุมชนพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากการอัดด้วยมือมีคุณลักษณะทางกายภาพที่แข็งแรงไม่เปราะและไม่แตกหักง่าย เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสานผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานจะมีค่าความร้อนต่ำกว่ามาตรฐาน สำหรับความเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืนในชุมชนพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานจากการอัดด้วยมือมีความเหมาะสมที่สุดที่อัตราส่วนใบไม้ 1 กิโลกรัมต่อตัวประสาน 1.4 ลิตร ซึ่งมีค่าความร้อน 3,9775.47 แคลอรีต่อกรัม ค่าความชื้นร้อยละ 4.24 ปริมาณสารระเหย ร้อยละ 3.31 ปริมาณเถ้าร้อยละ 7.47 และระยะเวลาการติดไฟ 27.48 นาที เอกลักษณ์และคณะ [7] ศึกษา และผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนเปียกผสมร่วมกับเปลือกมังคุด เปลือกทุเรียน และกะลามะพร้าว วิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสม ต้นทุนการผลิต และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพมากที่สุดโดยที่มีกากตะกอนเปียกเป็นส่วนผสมหลักพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนเปียกบริสุทธิ์มีค่าความร้อน

3,851.3 แคลอรีต่อกรัม ปริมาณเถ้า ร้อยละ 34.3 คาร์บอนคงตัว ร้อยละ 30.2 สารระเหย ร้อยละ 33.2 และความชื้น ร้อยละ 5.3 ซึ่งถือว่ายังไม่ผ่านในเกณฑ์ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกผสมร่วมกับกะลามะพร้าวให้ค่าความร้อนสูงสุด เปลือกมังคุด และเปลือกทุเรียน ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกผสมร่วมกับชีวมวลในอัตราส่วน 5 : 5 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงดีที่สุดทำให้ทราบว่าตะกอนเปียกมีความคุ้มค่าในการลงทุนสูง นอกจากนี้ยังมีการออกแบบ และพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวลอย่างมากมาย เช่น การพัฒนาเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแท่งจากฟางข้าวแบบครบวงจร [8] การพัฒนาประสิทธิภาพระบบอัดแท่งถ่านเชื้อเพลิงชีวมวลในรูปแบบอัดเกลียว [9], [10] อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญของการผลิตถ่านอัดแท่งคือเครื่องมือที่ใช้อัดแท่งชนิดมอเตอร์มีราคาแพงทำให้ชุมชนไม่สามารถผลิตถ่านอัดแท่งเองได้ ทั้งนี้เครื่องมืออัดชนิดใช้แรงมือที่ทำการผลิตใช้ในชุมชนก็เป็นลักษณะการกระทุ้งกระบอกเดี่ยวประกอบกับยังไม่มีจำหน่ายอย่างแพร่หลาย

งานวิจัยนี้จึงพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวลแบบกระทุ้งกระบอกคู่ และศึกษาสัดส่วนของวัตถุดิบและประสิทธิภาพของถ่านชีวมวลอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้ถ่านเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากในพื้นที่จังหวัดระยองเพื่อเป็นการลดปัญหาขยะเหลือทิ้ง ปัญหามลภาวะ และปัญหาการขาดแคลนพลังงานอีกทางหนึ่งด้วย นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มในรูปแบบของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง และเพิ่มศักยภาพการผลิตถ่านชีวมวลอัดแท่งให้สามารถใช้ในระดับครัวเรือนและชุมชนได้

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบเครื่องอัดถ่าน

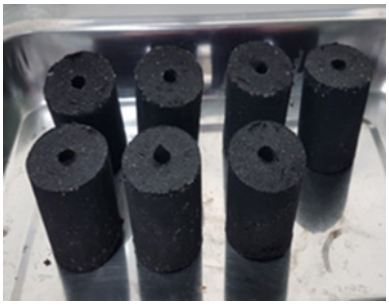
การออกแบบและสร้างเครื่องอัดถ่านชีวมวลมีหลักเกณฑ์ดังนี้ กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน ขนาดกะทัดรัด เคลื่อนย้ายได้สะดวก บำรุงรักษาง่าย และมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน [11] โดยขนาดและลักษณะของถ่านอัดแท่งนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งาน โดยในภาคส่วนธุรกิจหรืออุตสาหกรรมถ่านอัดแท่งควรมีขนาดความยาวระหว่าง 30 ถึง 100 เซนติเมตร ถ่านอัดแท่งที่ใช้ในภาคการผลิต หรือร้านอาหารควรมีขนาดความยาว 10 ถึง 50 เซนติเมตร และถ่านอัดแท่งที่ใช้ในครัวเรือนควรมีขนาดความยาว 3 ถึง 8 เซนติเมตร [12] ในงานวิจัยออกแบบเครื่องอัดแท่งแบบใช้แรงคนซึ่งทำให้ได้ถ่านอัดแท่งที่มีขนาดความยาว 4.6 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.85 เซนติเมตร โดยใช้แท่งเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตร ยึดเป็นแกนกลาง

2.2 การผลิตถ่านอัดแท่ง

การเตรียมผงถ่านในการทดลองนี้จะใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด นำไปตากแดดให้แห้งจากนั้นเผาด้วยเตาแบบนอนขนาด 200 ลิตร ในชุมชนบ้านท้ายโขด อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง หลังจากเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นถ่านเรียบร้อยแล้วนำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 (ขนาดช่องว่าง 0.589 มิลลิเมตร)

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด ทำการกำหนดสัดส่วนของผงถ่านแต่ละชนิดปริมาณร้อยละ 20 ถึง ร้อยละ 80 จึงได้อัตราส่วนผงถ่านเปลือกทุเรียนและผงถ่านเปลือกมังคุดเป็นดังนี้ 4 : 1, 2 : 1, 3 : 2, 1 : 1, 2 : 3, 1 : 2 และ 1 : 4 โดยอัตราส่วนนี้ได้จากการวิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณวัตถุดิบที่มีในจังหวัดระยอง จากนั้นนำผงถ่านที่ผสมกันในแต่ละอัตราส่วนมาผสมกับกาวแป้งเปียกในอัตราส่วน 1 : 0.1 และทำการอัดแท่งมวลถ่านผสมด้วยเครื่องอัดแท่งแบบใช้แรงมือให้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ดังรูปที่ 1 นำถ่านชีวมวลอัดแท่งที่ได้มาตากแดดเป็นเวลา 5 วัน เพื่อลดความชื้นภายในถ่านอัดแท่งและทำให้แข็งตัวเกาะกันแน่น [13] หลังจากนั้นจึงนำถ่านชีวมวลที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของถ่านชีวมวลอัดแท่งเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดแท่งชีวมวลและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวมวลอัดแท่งจะประเมินลักษณะการขึ้นรูปของก้อนชีวมวลอัดแท่งและค่าความ



รูปที่ 1 ลักษณะของถ่านชีวมวลอัดแท่ง

หนาแน่นของถ่านชีวมวลอัดแท่งดังสมการที่ (1)

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1}$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (กิโลกรัมกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

m คือ มวลของชีวมวลอัดแท่ง (กิโลกรัมกรัม)

V คือ ปริมาตรของถ่านอัดแท่ง (ลูกบาศก์เมตร)

2.3 การทดสอบคุณสมบัติถ่านอัดแท่งชีวมวล

ค่าความชื้น (Moisture Content) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3173 [14] โดยนำผงถ่านตัวอย่างไปร่อนให้มีขนาด 250 ไมโครเมตร ใส่ลงในภาชนะทนความร้อน ทำการชั่งน้ำหนักจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105–110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นตัวในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นดังสมการที่ (2)

$$MC = \frac{(W_1 - W_2)}{W} \times 100 \tag{2}$$

เมื่อ

MC คือ ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

W_1 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175 [15] ทำโดยการชั่งถ่านอัดแท่ง 1 กรัม ใส่ลงในภาชนะทนความร้อนสูงพร้อมฝาปิด เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ คำนวณหาปริมาณสารระเหยดังสมการที่ (3)

$$VM = \left[\frac{(W_3 - W_4)}{W}\right] \times 100 - MC \tag{3}$$

เมื่อ

VM คือ ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)

W_3 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส (กรัม)

W_4 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส (กรัม)

ปริมาณเถ้า (Ash Content) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174 [16] ทำโดยการชั่งตัวอย่างถ่านอัดแท่ง 1 กรัม ใส่ลงในภาชนะทนความร้อนสูงพร้อมฝาปิด เผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือหลังการเผาและคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่คงเหลืออยู่ ตามสมการที่ (4)

$$AC = \frac{(W_5 - W_0)}{W} \times 100 \tag{4}$$

เมื่อ

AC คือ ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)

W_5 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส (กรัม)

W_0 คือ น้ำหนักถ้วย (กรัม)

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ตามมาตรฐาน ASTM D3172 [17] เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่เผาไหม้ได้ของถ่านหลังจากที่กำจัดความชื้น สารระเหย และเถ้าออกแล้ว คำนวณได้ตามสมการที่ (5)

$$FC = 100 - (MC + VM + AC) \tag{5}$$

เมื่อ

FC คือ ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)

การหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Calorific Value) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D5865 [18] โดยใช้เครื่องทดสอบค่าความร้อน (Bomb Calorimeter) ทำการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งภายในเครื่องมีปริมาณออกซิเจนที่มากเกินพอ และให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านฟิวส์ไปสัมผัสตัวอย่างเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดจะถูกนำมาใช้คำนวณค่าความร้อนในหน่วยแคลอรีต่อกรัม [19]

ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน (Heat Utilization Efficiency) และระยะเวลาอมดับ ทำการทดลองด้วยวิธีการต้มน้ำเดือด (Water Boiling Test; WBT) วิธีนี้เป็นวิธีการทดสอบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงในครัวเรือน เตาที่ใช้ในการทดลองเป็นเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน หม้อที่ใช้ต้มน้ำเป็นหม้ออลูมิเนียม เบอร์ 22 ซึ่งมีขนาดพอดีกับปากเตา ขณะทำการทดลองมีอุณหภูมิระหว่าง 25–26 องศาเซลเซียส ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีลมและฝน ควบคุมการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ชุดเดิมตลอดการทดลอง [13] บันทึกข้อมูลเพื่อนำไปหาค่าประสิทธิภาพการใช้งานด้านความร้อนและระยะเวลาอมดับ โดยกำหนดมวลของน้ำและมวลของถ่านชีวมวลอัดแท่งคงที่ นำมาคำนวณตามสมการที่ (6) [3]

$$HU = \left[\frac{Mw\,Cp\left(Tb - Ti\right) + Mc\,L}{Mf\,Hf} \right] \times 100 \qquad (6)$$

เมื่อ

HU คือ ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน (ร้อยละ)

Mw คือ มวลของน้ำ (กิโลกรัม)

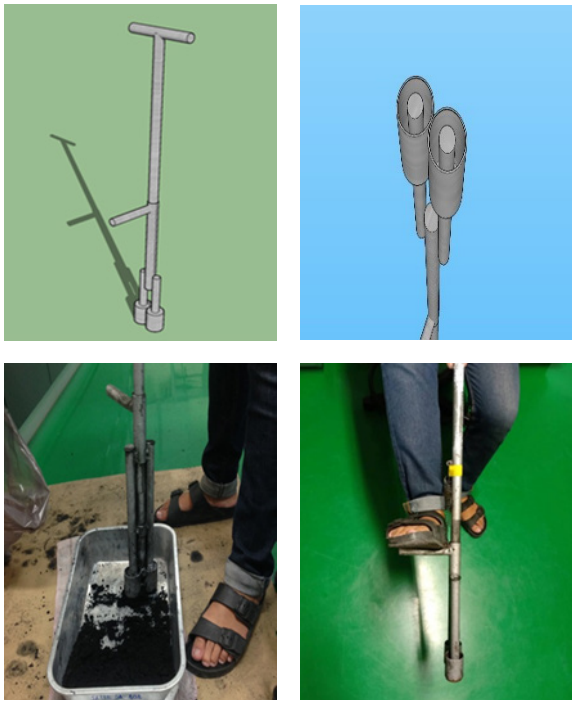
Cp คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)

Tb คือ อุณหภูมิน้ำเดือด (องศาเซลเซียส)

Ti คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)

Mc คือ มวลของน้ำที่ระเหย (กิโลกรัม)

L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)



รูปที่ 2 การออกแบบเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวล

Mf คือ มวลของเชื้อเพลิง (กิโลกรัม)

Hf คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

โดยทำการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งภายในห้องปฏิบัติการเป็นจำนวน 3 ครั้ง

3. ผลการทดลอง

3.1 เครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวล

เพื่อความสะดวกในการใช้งาน การออกแบบเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวลแบบใช้แรงคนจึงใช้หลักการกดกระทุ้งโดยใช้แท่งเหล็กในการผลิต การออกแบบมีกระบอกอัดจำนวน 2 กระบอก อยู่ที่ปลายของเครื่อง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.85 เซนติเมตร ความยาว 4.6 เซนติเมตร แท่งเหล็กที่ใช้เป็นแกนกลางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตร บริเวณปลายอุปกรณ์จะทำเป็นที่จับ และบริเวณส่วนกลางจะทำปลายเหล็กยื่นออกมาสำหรับการใช้เท้าในการกระทุ้ง ดังรูปที่ 2 หลักการทำงานจะใช้วิธีกระแทกเครื่องไปยังบริเวณผงถ่านชีวมวลเพื่ออัดให้แน่นเต็มกระบอก จากนั้นจับที่ด้าม

และใช้เท้าเหยียบกระทุ้งตรงแกนที่เหยียบเพื่อดันให้ก้อนถ่านชีวมวลหลุดออกมา

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวล

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวลจะพิจารณาจากการขึ้นรูป และลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งชีวมวลในอัตราส่วนวัตถุดิบที่แตกต่างกันพบว่า ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ถ่านอัดแท่งชีวมวลมีความสามารถอัดขึ้นรูปได้ดี ลักษณะผิวเรียบ มีความแข็งแรงไม่แตกหัก

เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งชีวมวล พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างถ่านเปลือกทุเรียน และถ่านเปลือกมังคุดที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 3 : 2 มีค่า 612.12 ± 3.26 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

โดยอัตราส่วนผสม 4 : 1 และ 2 : 3 มีค่าความหนาแน่นที่เท่ากัน คือ 609.75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแตกต่างกันเล็กน้อย สำหรับอัตราส่วนที่มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 2 : 1 มีค่าเท่ากับ 604.94 ± 3.56 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาโดยความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งต้องไม่เกิน 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [20] เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานร่วมด้วยพบว่า ถ่านอัดแท่งชีวมวลที่อัตราส่วนต่างๆ ส่วนใหญ่มีค่าความร้อนไม่แตกต่างกันมากนัก โดยอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ย 608.37 ± 2.43 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงว่าแรงในการอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบใช้แรงคนมีความสม่ำเสมอกัน

3.3 คุณสมบัติถ่านอัดแท่งชีวมวล

เมื่อทำการบดผงถ่านเรียบร้อยแล้วก่อนที่จะทำการผสมได้นำถ่านมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงพบว่า มีคุณสมบัติดังนี้ ถ่านเปลือกทุเรียน มีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 7.66 ± 2.02 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 61.47 ± 4.14 ปริมาณเถ้าร้อยละ 15.81 ± 1.73 และมีค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 5,253.23 ± 101.58 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ขณะที่ถ่านเปลือกมังคุดมีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 5.64 ± 1.49 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 47.43 ± 4.19 ปริมาณเถ้าร้อยละ 9.12 ± 1.58 และมีค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 5,422.41 ± 98.61 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดที่อัตราส่วน 1 : 4 มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 4.82 ± 2.24 ถัดมาคือที่อัตราส่วนผสม 2 : 3 มีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 5.27 ± 1.92 และอัตราส่วนผสม 1 : 2 มีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 5.56 ± 1.52 ตามลำดับ โดยอัตราส่วน 4 : 1 มีค่าความชื้นมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 7.52 ± 1.31 ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมที่มีถ่านเปลือกทุเรียนมากกว่าถ่านเปลือกมังคุดจะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการลดความสามารถในการติดไฟ ซึ่งอัตราส่วนผสม 2 : 1, 1 : 1, 2 : 3, 1 : 2 และ 1 : 4 มีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.238/2547) (ไม่เกินร้อยละ 8) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าอัตราส่วนผสม 4 : 1 และ 3 : 2 จะมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่งแต่ยังมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานถ่านไม้หุงต้ม (ไม่เกินร้อยละ 10)

สำหรับปริมาณสารระเหยนั้น ส่วนผสมที่อัตราส่วน 1 : 4 จะมีค่าปริมาณสารระเหยน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 7.26 ± 3.79 ถัดมาคืออัตราส่วน 1 : 2 มีปริมาณสารระเหยเท่ากับร้อยละ 9.81 ± 4.35 และอัตราส่วน 2 : 3 มีปริมาณสารระเหยเท่ากับร้อยละ 10.73 ± 3.92 ตามลำดับ โดยอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณสารระเหยมากที่สุด คือ อัตราส่วน 4 : 1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 24.26 ± 2.94 จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่มีส่วนผสมของเปลือกทุเรียนมากขึ้นจะมีปริมาณสารระเหยเพิ่มขึ้น เนื่องจากเปลือกทุเรียนมีสารประกอบอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น ซึ่งอาจมีหลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ดี ทุกอัตราส่วนมีปริมาณสารระเหยที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานถ่านไม้หุงต้ม (ไม่เกินร้อยละ 25)

ผลการเปรียบเทียบอัตราการเกิดเถ้าของถ่านเปลือกทุเรียนผสมถ่านเปลือกมังคุดพบว่า อัตราส่วน 1 : 4 มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 9.47 ± 2.01 ถัดมาคือ อัตราส่วน 1 : 2 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 10.23 ± 1.34 และอัตราส่วน 2 : 3 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 10.36 ± 1.38

ตามลำดับ โดยอัตราส่วน 4 : 1 มีปริมาณเถ้ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 15.36 ± 1.59 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนที่มีส่วนผสมของถ่านเปลือกทุเรียนมากกว่าถ่านเปลือกมังคุดจะให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้น ถ่านเปลือกมังคุดจึงเป็นถ่านที่สามารถเผาไหม้ได้ดีกว่าถ่านเปลือกทุเรียน เนื่องจากมีกากอินทรีย์สารที่เหลือจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในอากาศน้อยกว่า

นอกจากนี้แล้วปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงยังสามารถบ่งบอกความสามารถในการติดไฟที่ดีขึ้นอีกด้วย โดยอัตราส่วน 1 : 4 มีค่าคาร์บอนคงตัวมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 75.39 ± 3.10 รองลงมา คือ อัตราส่วน 1 : 2 มีค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 67.46 ± 2.03 และอัตราส่วนผสม 2 : 3 มีค่าคาร์บอนคงตัวเท่ากับร้อยละ 62.17 ± 2.84 ตามลำดับ ขณะที่อัตราส่วน 4 : 1 มีค่าคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 57.67 ± 2.56 ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมที่มีถ่านเปลือกทุเรียนมากกว่าถ่านเปลือกมังคุดจะให้ค่าคาร์บอนคงตัวลดลง นั่นคือ ถ่านเปลือกมังคุดให้ความเป็นถ่านได้ดีกว่าถ่านเปลือกทุเรียน จึงส่งผลให้ค่าความร้อนของอัตราส่วนที่มีส่วนผสมของถ่านเปลือกมังคุดมากกว่าถ่านเปลือกทุเรียนสูงตามไปด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาค่าความร้อนเชื้อเพลิง ผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วน 1 : 4 มีค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 5,572.78 ± 101.92 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ อัตราส่วน 1 : 2 มีค่าความร้อนเท่ากับ 5,433.35 ± 99.76 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และอัตราส่วนผสม 2 : 3 มีค่าความร้อนเท่ากับ 5,393.64 ± 109.77 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับอัตราส่วนผสมที่มีค่าความร้อนน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 4 : 1 มีค่าความร้อนเท่ากับ 5,129.05 ± 115.87 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนที่มีส่วนผสมของถ่านเปลือกทุเรียนมากกว่าถ่านเปลือกมังคุดจะให้ค่าความร้อนลดลง แสดงว่าถ่านเปลือกมังคุดให้ค่าความร้อนสูงกว่าถ่านเปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากมีค่าความชื้นน้อยจึงให้ค่าองค์ประกอบที่ติดไฟได้สูง อย่างไรก็ดี ทุกอัตราส่วนสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้เนื่องจากมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ตามเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง

สำหรับประสิทธิภาพการใช้งานจะแปรผันตรงกับประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่ง ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพการใช้งานยิ่งมากประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่งก็มีคุณภาพมากตามไปด้วย จากผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่ให้ประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุด คือ อัตราส่วน 1 : 2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 23.44 ± 3.32 รองลงมา คือ อัตราส่วน 1 : 4 มีค่าร้อยละ 22.79 ± 4.02 และอัตราส่วนผสม 2 : 1 มีค่าร้อยละ 21.56 ± 3.46 และประสิทธิภาพการใช้งานน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 3 : 2 มีค่าร้อยละ 17.42 ± 4.56

ในด้านระยะเวลาการมอดดับของถ่านอัดแท่งของเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดพบว่า อัตราส่วนที่มีระยะเวลาการมอดดับที่นานที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 1 : 2 มีค่าเท่ากับ 119.23 ± 2.04 นาที ถัดมาอัตราส่วน 2 : 3 มีค่าเท่ากับ 110.66 ± 2.43 นาที และอัตราส่วนผสม 1 : 1 มีค่าเท่ากับ 105.87 ± 2.61 นาที ตามลำดับ ส่วนอัตราส่วนผสมที่มีระยะเวลาการมอดดับน้อยที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 4 : 1 มีค่าเท่ากับ 94.34 ± 2.76 นาที

เมื่อพิจารณาการทดสอบคุณลักษณะในภาพรวมของถ่านอัดแท่งจากส่วนผสมของเปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดพบว่า ทุกอัตราส่วนมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ถ่านอัดแท่งและถ่านไม้หุงต้ม แสดงดังตารางที่ 1

ถ่านอัดแท่งชีวมวลจากถ่านเปลือกทุเรียนผสมถ่านเปลือกมังคุดในอัตราส่วน 4 : 1 มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพความเป็นถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งน้อยที่สุด เนื่องจากมีค่าความร้อนน้อยที่สุด (5,129.05 ± 115.87 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) ปริมาณความชื้นมากที่สุด (ร้อยละ 7.52 ± 1.31) ปริมาณสารระเหยมากที่สุด (ร้อยละ 24.26 ± 2.94) ปริมาณเถ้ามากที่สุด (ร้อยละ 15.36 ± 1.59) และค่าคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุด (ร้อยละ 57.67 ± 2.56) สำหรับถ่านอัดแท่งชีวมวลที่มีคุณสมบัติความเป็นถ่านอัดแท่งดีที่สุด คือ อัตราส่วน 1 : 4 เพราะมีค่าความร้อนมากที่สุด (5,572.78 ± 115.87 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) ปริมาณความชื้นน้อยที่สุด (ร้อยละ 4.82 ± 1.31) ปริมาณสารระเหยน้อยที่สุด (ร้อยละ 7.26 ± 2.94) ปริมาณเถ้าน้อยที่สุด (ร้อยละ 9.47 ± 1.59) และค่าคาร์บอนคงตัว

ตารางที่ 1 คุณลักษณะโดยรวมของถ่านอัดแท่งจากส่วนผสมของเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด

อัตราส่วนผสมเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด	ค่าความร้อน (kcal/kg)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณสารระเหย (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ค่าคาร์บอนคงตัว (%)	ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)	ประสิทธิภาพการใช้งาน (%)	ระยะเวลามอดดับ (นาที)
4 : 1	5,129.05	7.52	24.26	15.36	57.67	609.75	18.25	94.34
2 : 1	5,202.26	6.81	16.41	13.18	60.54	604.94	21.56	97.68
3 : 2	5,238.18	7.15	15.62	13.42	59.62	612.12	17.42	97.21
1 : 1	5,411.91	6.23	14.34	12.51	62.08	608.61	21.14	105.87
2 : 3	5,393.64	5.27	10.73	10.36	62.17	609.75	19.37	110.66
1 : 2	5,433.35	5.56	9.81	10.23	67.46	607.08	23.44	119.23
1 : 4	5,572.78	4.82	7.26	9.47	75.39	606.32	22.79	99.47

มากที่สุด (ร้อยละ 75.39 ± 2.56) ทั้งยังมีความหนาแน่น 606.32 ± 3.02 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประสิทธิภาพการใช้งานร้อยละ 22.79 ± 4.02 และมีระยะเวลาในการมอดดับ 99.47 ± 2.76 นาที

3.4 การประเมินสมรรถนะในเชิงเศรษฐศาสตร์

จากการออกแบบเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวลพบว่า มีต้นทุนในการว่าจ้างผลิต ราคา 500 บาท โดยการอัดแท่งถ่านแต่ละครั้งนั้นจะได้ถ่านอัดแท่งที่มีน้ำหนักประมาณ 100 กรัม จำนวน 2 ก้อน ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปประมาณ 20 วินาทีต่อครั้ง นั่นคือ เครื่องอัดถ่านนี้มีกำลังการผลิตถ่านอัดแท่ง 360 ก้อนต่อชั่วโมง หรือ 36 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตใช้ในชุมชนก็ถือว่ามีความเหมาะสม โดยงานวิจัยการผลิตเครื่องอัดถ่านชีวมวลส่วนใหญ่ในไทยนั้นมีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกัน แต่ในต่างประเทศนั้นยังมีการพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวลค่อยข้างน้อย

อย่างไรก็ตาม หากทำการประเมินระยะเวลาคุ้มทุนโดยใช้เงื่อนไขในบริบทของชุมชนพบว่า หากต้องการดำเนินการผลิตถ่านอัดแท่งจะมีต้นทุนคงที่ 3,500 บาท ได้แก่ ค่าเครื่องอัดแท่งถ่าน ราคา 500 บาท ค่าถังเผาถ่านปริมาตร 200 ลิตร ราคา 2,000 บาท และอุปกรณ์การบดและผสมถ่าน ประมาณ 1,000 บาท ต้นทุนผันแปรในการผลิตถ่านปริมาณ 300 กิโลกรัม มีค่า 2,500 บาท ได้แก่ ค่าแป้งมันและค่าน้ำ 400 บาท ต่อการผลิตถ่าน 300 กิโลกรัม และค่าแรงงาน 2,100 บาท (คำนวณจากค่าแรงงานวันละ 300 บาท โดยมีการเก็บรวบรวมเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 2 วัน การเผาถ่านด้วยเตา 200 ลิตร จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 2 วัน และการอัดถ่าน 1 วัน)

เมื่อคำนวณศักยภาพในการผลิตถ่านต่อวัน (8 ชั่วโมงทำงาน) จะได้ถ่านทั้งสิ้น 288 กิโลกรัม ซึ่งราคาจำหน่าย 15 บาทต่อกิโลกรัมพบว่า หากทำการผลิตถ่านอัดแท่งเปลือกทุเรียนผสมกับเปลือกมังคุดเป็นจำนวน 2 ครั้ง ก็จะสามารถคืนทุนได้ ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Arevalo และคณะ [12] ที่ทำการออกแบบเครื่องอัดถ่านในเปรู และ Ifa และคณะ [21] ซึ่งศึกษาเครื่องอัดถ่านในอินโดนีเซีย โดยงานวิจัยทั้งสองนี้ให้ความเห็นไว้ว่า มีความเป็นไปได้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนและสามารถพัฒนาต่อยอดได้ในเชิงธุรกิจ

4. อภิปรายผลและสรุป

จากการพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวล ทำการทดสอบโดยการอัดแท่งถ่านชีวมวลที่อัตราส่วนแตกต่างกัน พบว่า ถ่านอัดแท่งชีวมวลที่อัตราส่วนต่างๆ นั้นสามารถขึ้นรูปได้เป็นอย่างดี ไม่แตกร่วน รวมทั้งลักษณะการใช้งานเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวลยังสะดวกและใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของเครื่องอัดแท่งถ่านชีวมวล

เมื่อพิจารณาสัดส่วนที่เหมาะสมของถ่านอัดแท่งชีวมวลในพื้นที่นั้น จากการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของเปลือกทุเรียน (5,253.23 ± 101.58) และเปลือกมังคุด (5,422.41± 98.61) พบว่า มีค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ถ่านอัดแท่ง คือ ต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ดี ปริมาณความชื้นของเปลือกทุเรียน (ร้อยละ 7.66 ± 2.02) และเปลือกมังคุด (ร้อยละ 5.64 ± 1.49) มีค่าไม่เกินร้อยละ 8–10 (มผช. ถ่านอัดแท่ง) นอกจากนี้แล้ว การทดสอบปริมาณสารระเหยก่อนการผสมสัดส่วนในถ่านเปลือกทุเรียนพบว่ามีสูงถึงร้อยละ 61.47 ± 4.14 และเปลือกมังคุดมีค่าร้อยละ 47.43 ± 4.19 มีปริมาณเกินเกณฑ์มาตรฐานของถ่านไม้หุงต้มที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 25 โดยค่าร้อยละที่สูงนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการวิเคราะห์ค่าหลังจากการบดถ่านโดยยังไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้แห้ง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำผงถ่านมาผสมกัน ขึ้นรูป ผ่านกระบวนการทำให้แห้งแล้วทำการวิเคราะห์ค่าพบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าพบว่า ถ่านเปลือกทุเรียนมีปริมาณเถ้าร้อยละ 15.81 ± 1.73 ขณะที่ถ่านมังคุดมีปริมาณเถ้าร้อยละ 9.12 ± 1.58 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สังเวย [22] และธเนศ และคณะ [23] ดังนั้นการนำวัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้มาผสมกันจึงเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อการใช้งานในชุมชน และเมื่อพิจารณาศักยภาพวัตถุดิบในพื้นที่จังหวัดระยองพบว่า มีผลผลิตทุเรียน 87,106 ตันต่อปี ส่งออกต่างประเทศร้อยละ 60 ของผลผลิตทั้งหมด ทำให้เหลือปริมาณทุเรียนในจังหวัดระยองประมาณ 34,800 ตัน และผลผลิตมังคุดมีปริมาณ 21,888 ตันต่อปี ส่งออกต่างประเทศ 3,000 ตันต่อปี ของผลผลิตทั้งหมด ซึ่งเหลือปริมาณมังคุดในจังหวัดระยอง 18,000 ตัน [24] พบว่า วัตถุดิบเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมีอัตราส่วน 2 : 1 ซึ่งหากต้องการผลิตถ่านชีวมวลอัดแท่งที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดก็ควรเลือกใช้อัตราส่วน 1 : 4 แต่หากพิจารณาถึงความเหมาะสมกับพื้นที่ในด้านปริมาณของเศษวัสดุที่เหลือใช้ของเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด รวมถึงคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ถ่านอัดแท่ง และถ่านไม้หุงต้ม ก็สามารถที่จะผลิตถ่านอัดแท่งได้ในทุกอัตราส่วนซึ่งจะเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ได้มากที่ที่สุด ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มทั้งยังส่งผลให้เหลือปริมาณขยะในพื้นที่เป็นจำนวนน้อยอีกด้วย

การพิจารณาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งนั้นจะมุ่งเน้นที่ค่าความร้อนและปริมาณความชื้น เนื่องจากปริมาณความชื้นน้อยจะส่งผลให้มีค่าความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นหากมีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นการลดปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เหลือน้อยที่สุดทั้งยังสามารถนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการผลิตเป็นพลังงาน ชุมชนก็สามารถที่จะใช้อัตราส่วนผสมตามที่มีอยู่ในท้องถิ่นได้เนื่องจากแนวโน้มในทุกอัตราส่วนผสมนั้นมีคุณสมบัติในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งได้เป็นอย่างดี ทั้งยังมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานและระยะเวลามอดดับไม่แตกต่างกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ SciEE 004/61

เอกสารอ้างอิง

[1] DEDE. (2020, Dec.). Energy Situation January – December 2020. Ministry of Energy, Thailand. [Online]. Available: https://www.dede.go.th/download/stat63/fontpage_dec2020.pdf

[2] A. Ussawarujkulchai, C. Semsayun, N. Prapakdee, N. Pieamsuwansiri, and N. Chuchat, “Utilization of durian and mangosteen peels as briquette fuel,” in *the Proceeding of 49th Kasetsart University Annual Conference: Science*, Bangkok, 2011, pp. 162–168 (in Thai).

[3] K. Boonchom and N. Chaisompan, “Study of charcoal briquette from longan wood,” *Naresuan Phayao Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 51–56, 2020 (in Thai).

[4] K. Sukaranandana and N. Tanpaiboonkul, “Utilization of cassava residue from agro-Industry as binder with powder of Palmyra palm fruit peel charcoal for briquettes fuel

production," *Veridian E-Journal*, vol. 6, no. 5, pp. 48–65, 2019 (in Thai).

[5] V. Yubolket and D. Settheetham, "Quality Comparison of leaf-trash chunk-compressed fuel by compressor and hand," *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, vol. 17, no. 4, pp. 85–96, 2017 (in Thai).

[6] *Thai Industrial Standards Institute (TISI)*, Community Products Standard No. 238, 2004.

[7] A. Kitipattaworn, P. Reubroycharoen, and W. Uttamaprakorn, "Briquette fuel from co-production of ethanol industrial wet cake and biomass," *Journal of Energy Research*, vol. 10, no. 3, pp. 43–56, 2013.

[8] S. Mongkolchaichana and P. Wongkhankaew, "Development of a biomass briquetting machine from rice straw," in *GNRU Proceeding*, Phitsanulok, 2017, pp. 2307–2317.

[9] P. Yooman, "Development of a cold production biomass charcoal briquette machine to use waste from coffee bean processing," *I-Tech Journal LPRU*, vol. 9, no. 1, pp. 34–48, 2016 (in Thai)

[10] S. Ramanchit, "Design and development of charcoal screw-press briquette machine with automatic cutting," *I-Tech Journal TRU*, vol. 14, no. 2, pp. 9–13, 2019 (in Thai)

[11] K. Namwong and M. Kanaphan, "Design and development of a briquette machine for briquettes production from dried neem leaves and burned sawdust," in *ME-NETT*, Nakorn Nayok, 2017, pp. AEC 06.

[12] J. Arévaloa, G. Quispea, and C. Raymundob, "Sustainable energy model for the production of biomass briquettes based on rice husk in low-income agricultural areas in Peru," *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 138–145, 2017.

[13] L. Wattanachira, N. Laapan, V. Chatchavarn, and A. Thanyacharoen, "Development of biobriquettes from mixed rice-straw and longan waste residues," *KMUTT R&D Journal*, vol. 39, no. 2, pp. 239–255, 2016. (in Thai).

[14] *ASTM International Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke*, ASTM Standard D3173, 2017.

[15] *ASTM International Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke*, ASTM Standard D3175, 2020.

[16] *ASTM International Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal*, ASTM Standard D3174, 2020.

[17] *ASTM International Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke*, ASTM Standard D3172, 2021.

[18] *ASTM International Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke*, ASTM Standard D5865, 2019.

[19] K. Chaiwong, N. Vicharn, A. Saenthaweesuk, C. Thawonngamyingsakul, and T. Janhom, "Effect of inlet air flow on thermal efficiency of bio-char stove from agricultural waste," *RMUTL Engineering Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 37–42, 2016 (in Thai).

[20] D. Dangphonthong and W. Pinate, "The promotion of production charcoal briquette from agricultural residues for use in the community household under the philosophy of sufficiency economy," Mahasarakham University, Mahasarakham, Rep, 2014 (in Thai).

[21] L. Ifa, S. Yani, N. Nurjannah, D. Darnengsih, A. Rusnaenah, M. Mel, M. Mahfud and H. S. Kusuma, "Techno-economic analysis of bio-briquette from cashew nut shell waste," *Heliyon*, vol. 6, no. 9, 2020.

[22] S. Sawekwiharee, "Potential energy of the fuel briquettes from mangosteen shell," Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, Rep. 2012 (in Thai).

[23] T. Chaichana, J. Waewsak, J. Kaew-On and U. Onthong , "Fuel properties of mangosteen pericarp charcoal," *Thaksin University Journal*, vol. 17, no. 3, pp. S29–36, 2014 (in Thai).

[24] DAE. (2020, Dec.). Economic Plants Database in Rayong, 2019–2020. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand. [Online]. (in Thai). Available: http://www.rayong.doae.go.th/eco%20province%2063.pdf