P-ISSN 0858-4435
E-ISSN 2651-1231
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Homepage : *http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj*
ปีที่ 30 ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม 2565) หน้า [124-136]

การนำเศษของเสียจากชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

Utilization of Waste from Biomass for Fuel Briquettes Production

รัชฌาธร เทพรัตน์, จารุวรรณ วงค์ทะเนตร*
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170
Ratchatorn Theppharat, Jaruwan Wongthanate*
Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University,Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170

Received 28 August 2022; Received in revised 11 December 2022; Accepted 20 December 2022

บทคัดย่อ

การอัดแท่งของเสียชีวภาพช่วยในการกำจัดเศษชีวมวลและเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้และการจัดเก็บเชื้อเพลิงให้ดีขึ้น การวิจัยนี้จึงนำของเสียชีวภาพไปใช้ประโยชน์ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพและศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง รวมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) โดยใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชน วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และตะกอนแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วน 0.35:0.40:0.25 และ 0.65:0.15:0.20 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ขึ้นรูปอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดเย็น จากนั้นศึกษาคุณสมบัติทางเคมี คือ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และคุณสมบัติทางกายภาพ คือ ค่าความหนาแน่นและดัชนีแตกร้าว รวมทั้งนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาทดสอบใช้งาน ผลการวิจัยพบว่า กากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกะลามะพร้าวที่มีตะกอนแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วน 0.35:0.40:0.25 เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพดี ด้วยคุณสมบัติทางเคมีของค่าความร้อน 5,158.09 แคลอรี่ต่อกรัม (21,586 กิโลจูล/กิโลกรัม) ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าร้อยละ 0.04 และ 8.17 โดยน้ำหนัก และคุณสมบัติทางกายภาพของค่าความหนาแน่น 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และดัชนีแตกร้าว 0.95 นอกจากนี้พบว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีระยะการจุดติดไฟที่ 35 นาที ระยะเวลาเกิดควันที่ 47 นาที และมีปริมาณเถ้าน้อย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ดังนั้นการศึกษางานวิจัยนี้สามารถประยุกต์เป็นแนวทางในการนำของเสียชีวภาพไปใช้ประโยชน์ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งสำหรับเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกของชุมชน

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง; กากตะกอนน้ำเสียชุมชน; วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร; กระบวนการอัดเย็น

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** jaruwan.won@mahidol.ac.th **doi:** 10.14456/tstj.2022.66

Abstract

A cube compression of biowaste supports the disposal of biomass residues and enhancement of combustion efficiency and fuel storage. This research investigated the utilization of waste from biowastes for fuel briquettes production. It was to study the chemical and physical properties of fuel briquettes from biowastes, the optimal ratios of biomass, and the efficiency of fuel briquettes from biowastes compared with the standard of Thai community product standard (TCPs) 238/2547. Biowastes materials used to produce fuel briquettes are sewage sludge, agricultural wastes mixed with cassava starch sediment as a binder at the ratios of 0.35:0.40:0.25 and 0.65:0.15:0.20 kg:kg:kg, respectively. They were compressed by a cold-pressed process. Then, they were studied the chemical properties of heating values, moisture content, ash content, and physical properties of density, drop shatter test, including the examination of well-forming briquettes. Results showed that the ratio of sewage sludge, coconut shell, and cassava starch sediment at 0.35:0.40:0.25 was an effective fuel briquette with the chemical properties of heating value at 5,158.09 cal/g (21,586 KJ/Kg), moisture and ash content of 4%, 8.17% w/w, respectively, the physical properties of density of 0.91 g/cm^3, and drop shatter of 0.95. Moreover, the results of fuel briquettes during combustion showed an ignition distance of 35 minutes, a smoke duration of 47 minutes, and a lower quantity that is according to the TCPs 238/2547. Hence, this research study can be applied as a guideline for biowastes utilization in the production of fuel briquettes for using alternative energy sources in the community.

Keywords: Fuel briquettes; Sewage sludge; Agricultural wastes; Cold-pressed process

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีสภาวะปัญหาด้านพลังงานน้ำมันและก๊าซธรรมชาติที่มีราคาแพง ทั้งยังมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคต อัตราความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนี้ ทำให้เกิดความไม่เพียงพอกับอัตราการใช้ ซึ่งเชื้อเพลิงทดแทนดั้งเดิมประเภทฟืนไม้เป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ป่าลดลง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการหาพลังงานอื่นมาทดแทนเพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าว [1] และปัจจุบันทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งตระหนักถึงปัญหาเรื่องสภาวะโลกร้อน จึงมุ่งเน้นลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลและหันมาลงทุนด้านพลังงานสะอาดอย่างพลังงานหมุนเวียนเพิ่มมากขึ้น โดยพลังงานชีวมวลถือเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายในชุมชนท้องถิ่น และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลมีข้อดีคือ มีขนาดและคุณภาพสม่ำเสมอ มีค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยปริมาตร แท่งเชื้อเพลิงขนส่งและจัดเก็บได้ง่าย จึงเป็นการแปรรูปของเสียเป็นพลังงาน (Waste to Energy) และลดปริมาณของเสียก่อนที่จะนำไปฝังกลบได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งประเทศที่มีพลังงานชีวมวลจากการเกษตรเป็นจำนวนมาก โดยสามารถผลิตได้จากวัสดุชีวภาพหรือสารอินทรีย์ทุกรูปแบบรวมทั้งของเสียชีวภาพ เช่น กากตะกอนน้ำเสีย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ มูลสัตว์ เป็นต้น [2]

นอกจากนี้เศษวัสดุเหลือใช้เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์หรือแปรรูปให้เป็นพลังงานทดแทนหรือเชื้อเพลิงทดแทนได้ ดังนั้นชีวมวลจึงเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน [3] การแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจึงเป็นที่นิยม ประกอบกับแกลบและมะพร้าวเป็นวัสดุชีวมวลเหลือใช้ที่สามารถหาได้ง่ายในจังหวัดนครปฐม โดยส่วนกะลามะพร้าวเป็นวัสดุเนื้อแข็งที่อยู่ภายในเปลือกมะพร้าว จากงานวิจัยยังพบว่ากะลามะพร้าวมีศักยภาพด้านพลังงานทดแทนสูง สามารถให้ค่าความร้อนสูงถึง 17.93 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติขี้เถ้าน้อยจากการเผาไหม้ ให้ระยะเวลาการติดไฟยาวนานกว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่นๆ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ในทางเศรษฐศาสตร์พบว่ากะลามะพร้าวที่ผ่านการอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงแล้ว สามารถเพิ่มมูลค่าขายได้ในราคา 10-14 บาท ซึ่งสูงกว่าการขายกะลามะพร้าวโดยทั่วไปมาก [4] จึงมีแนวคิดในการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยใช้ตะกอนแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในการใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเสียชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการนำของเสียชีวภาพ ได้แก่ กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรุงเทพมหานคร และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่ในชุมชนท้องถิ่น นำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการวิทยาศาสตร์เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวภาพ สามารถลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถทดแทนหรือลดการใช้ทรัพยากรป่าไม้ได้ โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพ 2) เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของของเสียวัสดุชีวภาพระหว่างกากตะกอนน้ำเสียชุมชน วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และตัวประสานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง 3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547)

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบและตัวประสาน

การเตรียมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน จากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ ค่า pH 6.32, EC (dS/m) 0.16, ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ร้อยละ 67.33 และปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ร้อยละ 7.18 และ C/N ratio 2.31 ซึ่งมีค่าปริมาณความร้อนเท่ากับ 2,105.09 แคลอรี่ต่อกรัม โดยเมื่อทดสอบการเผาไหม้แล้วพบว่าไม่ส่งกลิ่นเหม็น จำนวน 50 กิโลกรัม นำมาบดเป็นผงและตากแห้ง ระยะเวลา 7 วัน และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีในท้องถิ่นจังหวัดนครปฐม ได้แก่ กะลามะพร้าว กาบมะพร้าว และแกลบ ตากแดดเป็นเวลา 5 วัน จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่อง Hammer mill ขนาด 3

แรงม้า ให้มีขนาดเล็กเหลือประมาณ 2 มิลลิเมตร และทำการชั่งน้ำหนัก เก็บไว้ในที่แห้ง โดยใช้ตะกอนแป้งมันสำปะหลังจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรในจังหวัดนครปฐมเป็นตัวประสาน ซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยว (Adhesive force) ที่ดีในการยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคและใช้ในปริมาณที่น้อยแต่ก็ยังสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ดี [5] โดยมีคุณสมบัติ ดังตาราง (Table 1) จำนวน 10 กิโลกรัม นำมาบดเป็นผงและตากแห้งเป็นระยะเวลา 5 วัน จากนั้นเก็บไว้ในที่แห้งเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการอัดแท่งต่อไป

Table 1 Physical and chemical properties of cassava starch sediment

Parameter	Value
pH	4.20
Total Solids (TS)	126.31 g/L
Volatile Solids (VS)	125.32 g/L
Chemical Oxygen Demand (COD)	24 g/L
Total Organic Carbon (TOC)	2.55 g/L
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	0.92 g/L
C/N Ratio	2.77

2.2 วิธีการวิจัย

การนำของเสียชีวภาพ ได้แก่ กากตะกอนน้ำเสียชุมชน กะลามะพร้าว กาบมะพร้าว แกลบ และตะกอนแป้งมันสำปะหลังที่เป็นตัวประสาน มาผสมกันตามอัตราส่วนต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ที่ 0.35:0.40:0.25, 0.65:0.15:0.20 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และนำไปขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยเครื่องขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบสกรูขนาด 5 แรงม้า ด้วยกระบวนการอัดเย็น [5] และทำการตัดเชื้อเพลิงอัดแท่งให้ได้ขนาด 8-12 เซนติเมตร จากนั้นนำไปตากแดดเป็นระยะเวลา 3-5 วัน ชั่งน้ำหนักแห้ง และทำการบันทึกผล และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพพร้อมทั้งการนำไปใช้ (Figure 1)

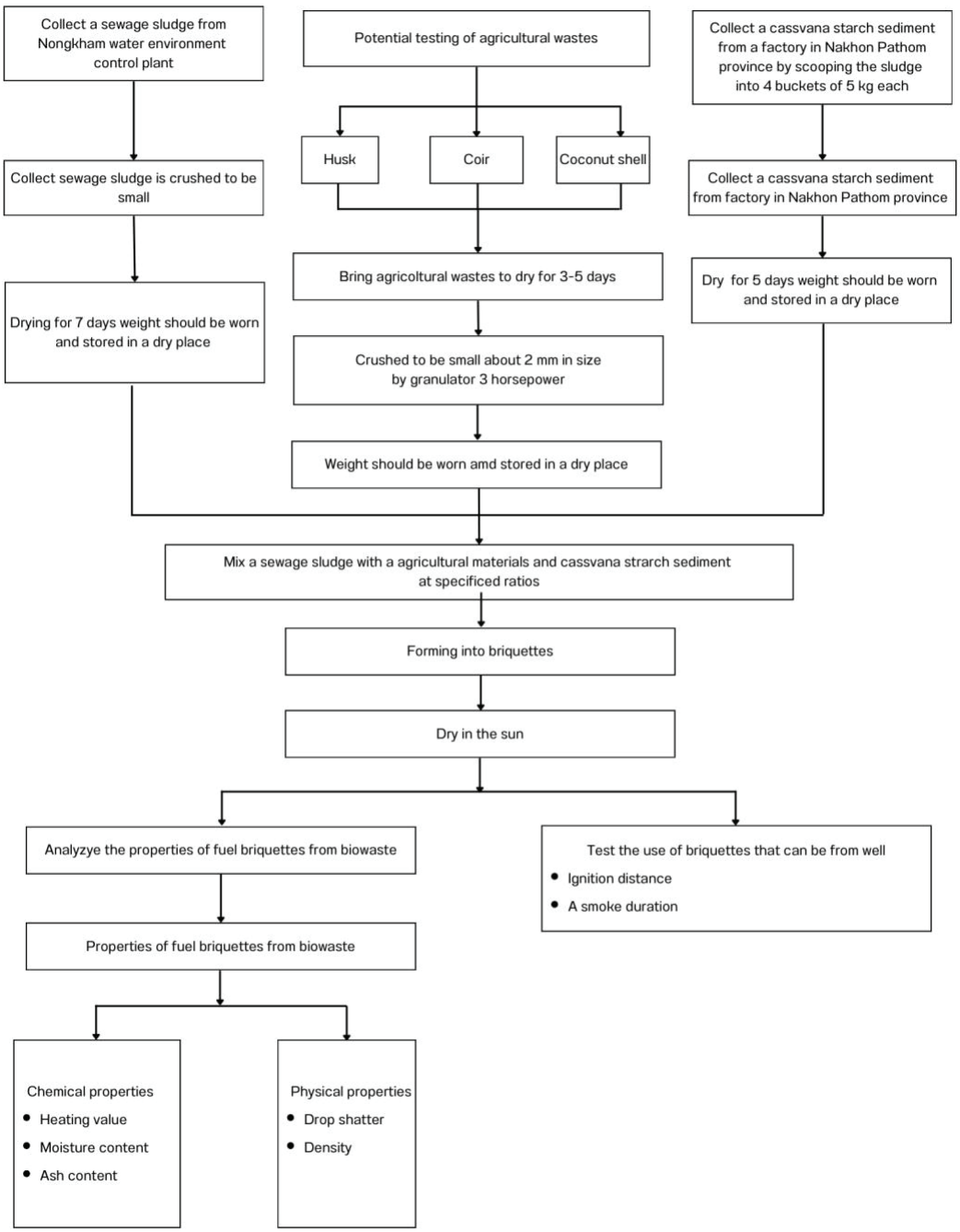

Figure 1 Diagram of experimental setup

2.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ทดลองชุดละ 3 ซ้ำ ได้แก่

1. ค่าความร้อน (Heating Value) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3286-96 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (Bomb Calorimeter) ดำเนินการโดยทำการอัดเม็ดตัวอย่างของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ขนาด 1 กรัม ใส่ในถ้วยตัวอย่างและทำการจับขดลวดนำความร้อนเป็นรูปตัวยู โดยให้ลวดนำความร้อนสัมผัสกับตัวอย่าง จากนั้นนำไปใส่ในลูกบอมบ์และอัดก๊าซออกซิเจนที่ความดันประมาณ 30 บรรยากาศ แล้วจึงนำไปวางในถังบรรจุบอมบ์ เติมน้ำกลั่นปริมาณ 2 ลิตรลงในถังเนินการจุดระเบิด [6] ทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนและจดบันทึกผล

2. ปริมาณความชื้น (Moisture Content) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D7582-15 โดยนำถ้วยกระเบื้องที่ล้างสะอาดแล้วไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที ทำให้แห้งโดยนำไปใส่ในโถดูดความชื้น ระยะเวลา 15 นาที และใส่ตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งขนาด 1 กรัมในถ้วยกระเบื้อง ชั่งน้ำหนักก่อนอบ (W_1) จากนั้นนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อีกประมาณ 1 ชั่วโมง และทำให้เย็นโดยนำไปใส่โถดูดความชื้น ระยะเวลา 15 นาที แล้วจึงนำไปชั่งหนักหลังอบ (W_2) การคำนวณปริมาณความชื้นโดยใช้สูตรสมการ (1) [7] ดังนี้

$$M_{moisture} = (W_1 - W_2)/W * 100 \quad (1)$$

โดยที่ $M_{moisture}$ คือ ร้อยละของปริมาณความชื้น
W_1 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
W_2 คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3. ปริมาณเถ้า (Ash Content) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D7582-15 โดยนำถ้วยกระเบื้องที่ล้างสะอาดไปเผาในเตาเผาเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ทำให้แห้งโดยใส่ในโถดูดความชื้น ระยะเวลา 15 นาที และใส่ตัวอย่างขนาด 1 กรัม ในถ้วยกระเบื้อง ทำการชั่งน้ำหนักก่อนเผา (W_3) จากนั้นนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นโดยนำใส่ไปโถดูดความชื้น ระยะเวลา 15 นาที แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักหลังเผา (W_4) การคำนวณปริมาณเถ้าโดยใช้สูตรสมการ (2) [7] ดังนี้

$$M_{ash} = (W_3 - W_4)/W * 100 \quad (2)$$

โดยที่ M_{ash} คือ ร้อยละของปริมาณเถ้า
W_3 คือ น้ำหนักถ้วยและเถ้า (กรัม)
W_4 คือ น้ำหนักถ้วยเปล่า (กรัม)
W คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

2.2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิง

1. การทดสอบดัชนีแตกร้าว (Drop Shatter Test) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3038-93 โดยการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งใส่ในถุงพลาสติก และทำการปล่อยจากที่สูง 2 เมตร ลงสู่พื้นคอนกรีต จากนั้นนำเชื้อเพลิงอัดที่เหลือดังกล่าวไปชั่งน้ำหนัก และวิเคราะห์ดัชนีแตกร้าวโดยใช้สูตรสมการ (3) ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 [8] ดังนี้

$$R = W_f / W_i \quad (3)$$

โดยที่ R คือ ดัชนีแตกร้าว
W_i คือ น้ำหนักก่อนทดสอบ (กิโลกรัม)
W_f คือ น้ำหนักที่เหลือหลังทดสอบ (กิโลกรัม)

2. ความหนาแน่น (Density) โดยการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาชั่งหนักและวัดปริมาตร จากนั้นนำไปคำนวณการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นด้วยสูตรสมการ (4) [5] ดังนี้

$$P = M/V \quad (4)$$

โดยที่ P คือ ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
M คือ มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (กรัม)
V คือ ปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

2.2.3 การทดสอบการใช้งาน

การทดสอบระยะเวลาการจุดติดไฟ นำเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนที่มีการขึ้นรูปในการอัดแท่งได้ดีไปเผา และทำการจับเวลา โดยการจุดไฟต้มน้ำปริมาตร 1 ลิตรในหม้อให้เดือด เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการติดไฟตั้งแต่เริ่มติดไฟจนกระทั่งไฟดับของแต่ละอัตราส่วน และทำการบันทึกผล และเปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดควันตั้งแต่เริ่มเกิดควันจนกระทั่งควันดับของแต่ละอัตราส่วน และทำการบันทึก สำหรับการทดสอบระยะเวลาการเกิดควัน

3. ผลการวิจัย

3.1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพ

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพของ กากตะกอนน้ำเสียชุมชนกะลามะพร้าวกาบมะพร้าว แกลบ และตะกอนแป้งมันสำปะหลังที่เป็นตัวประสาน พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพแต่ละชนิดอยู่ในช่วง 2,993 – 5,158.09 แคลอรี่ต่อกรัม ปริมาณความชื้นร้อยละ 4.22 – 5.73 โดยน้ำหนัก และปริมาณเถ้าร้อยละ 5.90 – 8.44 โดยน้ำหนัก ซึ่งจากผลวิจัยพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผสมของกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 0.35:0.40:0.25 มีค่าความร้อนสูงสุดที่ 5,158.09 แคลอรี่ต่อกรัม ปริมาณความชื้นร้อยละ 4.33 โดยน้ำหนัก และปริมาณเถ้าร้อยละ 8.17 โดยน้ำหนัก เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในผลงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนต่อวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 0.65:0.1:50.20 ทำให้มีปริมาณความชื้นน้อย ส่งผลให้มีค่าความร้อนมาก โดยสามารถทำให้น้ำเดือดได้ที่อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส อีกทั้งเชื้อเพลิงอัดแท่งยังมีค่าความหนาแน่นและดัชนีแตกร้าวมาก ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่งที่กำหนด (Table 2) และเมื่อเปรียบเทียบผลงานวิจัยอื่นที่ได้ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่าถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ใช้กะลามะพร้าว มีค่าความร้อน 4,910.82 แคลอรี่ต่อกรัม และปริมาณความชื้นร้อยละ 0.043 [9] ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลงานวิจัยนี้ สำหรับปริมาณเถ้าถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่ได้ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยและใบเตย [10] พบว่ามีปริมาณเถ้าร้อยละ 3.33-6.52 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณเถ้ามากกว่าผลงานวิจัยนี้

Table 2 Chemical properties of fuel briquettes from biowastes

Fuel briquettes from biowastes Sewage sludge: Agricultural wastes: Cassava starch sediment (Kg:Kg:Kg)		Heating value (cal/g)	Moisture content (%/weight)	Ash content (%/weight)
Sewage sludge:	0.35:0.40:0.25	5,158.09	4.33	8.17
Coconut shell:	0.65:0.15:0.20	3,677.82	5.70	5.90
Cassava starch sediment				
Sewage sludge:	0.35:0.40:0.25	3,238.87	5.73	8.44
Coir:	0.65:0.15:0.20	3,191.88	5.55	7.20
Cassava starch sediment				
Sewage sludge:	0.35:0.40:0.25	3,318.77	4.22	7.74
Husk:	0.65:0.15:0.20	2,993.70	5.54	6.90
Cassava starch sediment				
Thai Community Product Standards (TCPs) 238/2547 [12]		More than 5,000	No more than 8	No more than 8

สำหรับผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพของกากตะกอนน้ำเสียชุมชน กะลามะพร้าว กาบมะพร้าว แกลบ และตะกอนแป้งมันสำปะหลังที่เป็นตัวประสาน พบว่าค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพแต่ละชนิดอยู่ในช่วง 0.729 – 1.007 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดัชนีแตกร้าวอยู่ระหว่าง 0.6300 – 0.9987 ระยะเวลาการติดไฟ ตั้งแต่ 23 – 35 นาที และระยะเวลาการเกิดควัน ตั้งแต่ 23 – 47 นาที นอกจากนี้ผลการวิจัยยังพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผสมกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 0.35:0.40:0.25 มีค่าความหนาแน่น 0.917 และดัชนีแตกร้าว 0.9512 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยมีระยะเวลาติดไฟ 35 นาที และมีระยะเวลาการเกิดควัน 47 นาที (Table 3) แต่ปริมาณควันที่เกิดขึ้นยังมีปริมาณมาก เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่เก็บมายังหลงเหลือปริมาณความชื้น ทำให้ค่าความชื้นของของเสียชีวภาพมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง โดยหากของเสียมีปริมาณความชื้นสูงจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ [11] แต่มีปริมาณเถ้าน้อย ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่งที่กำหนด [12] และมีค่าความหนาแน่นและดัชนีแตกร้าวใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นที่ได้ศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขุยมะพร้าวผสมแกลบ ในอัตราส่วน 1:2 ที่มีค่าความหนาแน่น 1.52 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าดัชนีแตกร้าวเท่ากับ 0.99 [13]

Table 3 Physical properties of fuel briquettes from biowastes

Fuel briquettes from biowastes Sewage sludge: Agricultural wastes: Cassava starch sediment (Kg:Kg:Kg)		Density (g/cm^3)	Drop shatter	Ignition distance (min)	Ash content
Sewage sludge:	0.35:0.40:0.25	0.917	0.9512	35	Little
Coconut shell:	0.65:0.15:0.20	0.791	0.6300	30	Little
Cassava starch sediment					
Sewage sludge:	0.35:0.40:0.25	0.891	0.9987	29.43	Little
Coir:	0.65:0.15:0.20	0.799	0.8608	30.57	Little
Cassava starch sediment					
Sewage Sludge:	0.35:0.40:0.25	0.729	0.9235	25.38	Moderate
Husk:	0.65:0.15:0.20	1.007	0.7034	26.50	Moderate
Cassava starch sediment					
Thai Community Product Standards (TCPs) 238/2547 [12]		-	Between 0.5-1.0	-	Little

3.2 อัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพแต่ละชนิด

จากผลการศึกษาอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพของ กากตะกอนน้ำเสียชุมชน กะลามะพร้าว กาบมะพร้าว แกลบ และตะกอนแป้งมันสำปะหลังที่เป็นตัวประสาน ในอัตราส่วนที่ 0.35:0.40:0.25 และ 0.65:0.15:0.20 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพแต่ละชนิดที่อัตราส่วน 0.35:0.40.0.25 เหมาะสมสามารถขึ้นรูปได้ดีทั้งหมด โดยสามารถขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความยาว 8-12 เซนติเมตร มีความแข็งแรงทนทาน ผิวเรียบสม่ำเสมอ เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพดังกล่าวมีอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนต่ำทำให้มีความสามารถในการขึ้นรูปได้ดี ผิวสัมผัสเรียบเนียน และแตกร้าวยาก ซึ่งมีความสอดคล้องใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ศึกษาของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบยูคาลิปตัสและยางพารา ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร และความยาว 8 เซนติเมตร [14] แต่แตกต่างจากเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียชีวภาพที่อัตราส่วน 0.65:0.15.0.20 ที่ขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ไม่ค่อยดี เนื่องจากมีอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนสูงขึ้น ทำให้ผิวสัมผัสไม่เรียบเนียนและแตกร้าวง่าย (Table 4) ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งของเสียชีวภาพจากการผสมกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 0.35:0.40:0.25 มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพดีในการนำไปใช้งาน สามารถนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวภาพได้

Table 4 Formability of fuel briquettes production at various ratios of biowastes

Formability of fuel briquettes production from biowastes	Ratios (Kg:Kg:Kg)	Formability	Texture	Strength (Drop shatter)
Sewage sludge: Coconut shell: Cassava starch sediment	0.35:0.40:0.25	Well	Smooth	Unbroken
	0.65:0.15:0.20	Bad	Rough	Broken
Sewage sludge: Coir: Cassava starch sediment	0.35:0.40:0.25	Well	Smooth	Unbroken
	0.65:0.15:0.20	Bad	Rough	Broken
Sewage sludge: Husk: Cassava starch sediment	0.35:0.40:0.25	Well	Smooth	Unbroken
	0.65:0.15:0.20	Bad	Rough	Broken

ในทางเศรษฐศาสตร์การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวภาพคิดเป็นราคาต่อกิโลกรัม โดยการนำค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละชนิดแต่ละอัตราส่วนในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) มาแปลงเป็นค่าปริมาณความร้อนไฟฟ้า (Gross Electricity) ในหน่วยกิโลวัตต์ (KWh) คูณด้วยอัตราไฟฟ้าต่อหน่วย (กำหนดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.2484 บาท) [15] ดังนี้

ค่าไฟฟ้าฐาน = จำนวนยูนิต * อัตราค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วย (5)

ดังนั้นจะได้ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงแต่ละชนิดอยู่ที่ประมาณ 4-6 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งของเสียชีวภาพจากการผสมกะลามะพร้าว ในอัตราส่วน 0.35:0.40.:0.25 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมต่อกิโลกรัม จะมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ราคา 6.82 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งมีต่ำกว่ากะลามะพร้าวที่ผ่านการอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงในท้องตลาดทั่วไป ที่มีต้นทุนอยู่ที่ราคา 10-14 บาท [4]

4. สรุปผลงานวิจัย

การนำของเสียชีวภาพมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวภาพ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะช่วยลดของเสียและผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการนำของเสียมาเปลี่ยนเป็นพลังงานและทำให้เกิดการนำของเสียมาใช้ประโยชน์อีกด้วย สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 การนำของเสียชีวภาพ ได้แก่ กากตะกอนน้ำเสียชุมชน กะลามะพร้าว แกลบ และตะกอนแป้งมันสำปะหลัง มาใช้ประโยชน์ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวภาพได้ โดยมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพดีที่สุด คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผสมของกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 0.35:0.40:0.25 มีค่าความร้อนมากที่สุด 5,158.09 แคลอรี่ต่อกรัม และอัตราส่วน 0.65:0.15:0.20 มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุดร้อยละ 5.90 ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผสมของแกลบที่อัตราส่วน 0.35:0.40:0.25 มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดร้อยละ 4.22 และอัตราส่วน 0.65:0.15:0.20 มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด 1.007 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

4.2 อัตราส่วนระหว่างของเสียชีวภาพ ได้แก่ กากตะกอนน้ำเสียชุมชน กะลามะพร้าว กาบมะพร้าว แกลบ และตะกอนแป้งมันสำปะหลัง สามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวภาพได้ดีทั้งหมดที่อัตราส่วน 0.35:0.40:0.25 แต่ขึ้นรูปได้ไม่ค่อยดีที่อัตราส่วน 0.65:0.15:0.20

4.3 เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผสมกะลามะพร้าวที่อัตราส่วน 0.35:0.40:0.25 มีค่าความหนาแน่น 0.917 และดัชนีแตกร้าว 0.9512 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยมีระยะเวลาติดไฟ 35 นาที ระยะเวลาการเกิดควัน 47 นาที และให้ความร้อนสูงจากการใช้งานจริงถึง 90 องศาเซลเซียส มีปริมาณเถ้าน้อย ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่งที่กำหนด

4.4 จากการประเมินต้นทุนการผลิต พบว่าราคาต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผสมกะลามะพร้าวในอัตราส่วน 0.35:0.40:0.25 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมต่อกิโลกรัม มีราคา 6.82 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าราคาถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวของท้องตลาด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนในการทำโครงการวิจัยจาก คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และได้รับความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิจัย จากศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รวมทั้งข้อมูลสนับสนุนบางส่วน คำปรึกษา และคำชี้แนะจากนายอนุรักษ์ เทพรัตน์

6. References

[1] Ruchuwararak, P., Kerdsuk, W., Sarawadee, D., Chantaramas, W. and Kerdsuk, W., 2013, A Result of Renewable Energy for Cooking in The Household, Academic Journal of Humanities and Social sciences Buriram Rajabhat University. 2: 46-59. (in Thai)

[2] Peamsuwan R and Deeto S., 2021, The Production and Properties of Fuel Briquettes from Animal and Agricultural Bio-waste to Renewable Energy Source in Rural Community. Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology. 2: 56-67.

[3] Sukaranandana K and Tanpaiboolkul N., 2019, Utilization of Cassava Residue from Agro-Industry as Binder with Powder of Palmyra Palm fruit Peel Charcoal for Briquettes Fuel Production. E-Journal, Science and Technology Silpakorn University. 6: 48-65. (in Thai)

[4] Thepsaskul W., Thammachat W., Intaniwet A., 2016, Investigation of coconut shell carbonization fuel briquettes fabrication, 12th Conference on Energy Network of Thailand, pp.610 – 618. (in Thai)

[5] Kumpapai, C., Boonthanom, N., Rodjananon, T. and Wongthanate, J., 2020, The Efficiency Comparison of Fuel Briquettes from Agricultural Wastes. The Journal of Industrial Technology. 3: 28-38. (in Thai)

[6] American Society for Testing and Materials (ASTM). 2015. Standard Test Methods for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Isoperibol Bomb Calorimeter: D3286-96 In ASTM. Annual Book of American Standard Testing Methods, Vol 05.06.

[7] American Society for Testing and Materials (ASTM). 1996. Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis : D7582-15 In ASTM. Annual Book of American Standard Testing Methods, Vol 05.06.

[8] American Society for Testing and Materials (ASTM). 1993. Standard Test Methods for Drop Shatter Test for Coke : D3038-93 In ASTM. Annual Book of American Standard Testing Methods, Vol 05.06.

[9] Anantanukulwong, R., Chemae, R., Sareanu, N., 2019, Production of Charcoal from Agricultural Waste Residues, YRU Journal of Science and Technology. 1: 47-53. (in Thai)

[10] Thepha, S. and Mongkhamklang S., 2019, Study of Briquette Production from Coconut Shell Mixed Sugarcane bagasse and Pandanus Leaves. Journal of Industrial Technology. 2: 16-20. (in Thai)

[11] Sangkhaphan A., 2017, Co-Pelletized Briquettes Production from Municipal Wastewater Sludge; Case Study of Pattaya Municipal wastewater treatment plant. Local and Global Sustainability: Meeting the Challenges and Sharing the Solution, 9th Nationnal and International Conference, pp.1523 – 1533. (in Thai)

[12] Thai Industrial Standards Institute (TISI), Ministry of Industry. Thai Community Product Standards Charcoal Bar TCPS number 238/2547, 2004. (in Thai)

[13] Saha, K., Hossain, M., Ali, R. and Alam, M., 2014, Feasibility Study of Coconut Coir Dust Briquette. Journal of the Bangladesh Agricultural University. 2: 369-376.

[14] Suntharark, S., Makmon, D. and Wongmalee W., 2018, The Development of Charcoal Fuel Briquettes from Eucalyptus leaves And Brasiliensis leaves, 2nd National and International Research Conference, pp.339-348. (in Thai)

[15] Photong N and Wongthanate J., 2019, Biofuel Production from Bio-Waste by Biological and Physical Conversion Processes. Journal of Waste Management and Research. 1:1-9.