JPAGS
Journal of Physics & General Science

สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากใบกาสะลองเหลือทิ้ง

Physical Properties of Solid Fuel Briquettes from Waste Indian Cork Leaves

ฐิติพร เจาะจง[1*] กษมะ ดุรงค์ศักดิ์[1] และพิสิษฐ์ พูลประเสริฐ[2]

Titiporn Chorchong[1*], Kasama Durongsak[1] and Pisit Poolprasert[2]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

[1]Program in Physics, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phisanulok

[2]ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

[2]Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok

*Corresponding author e-mail: titiporn_ant@psru.ac.th

(Received: August 9, 2023, Revised: October 22, 2023, Accepted: February 4, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งของใบกาสะลองเหลือทิ้ง โดยผสมใบกาสะลองกับกาวแป้งเปียกที่ อัตราส่วนโดยมวล 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 จากนั้น ขึ้นรูปด้วยการอัดเย็น ทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความชื้น ค่าปริมาณเถ้า ค่าปริมาณสารระเหย ค่าคาร์บอนคงตัว และวิเคราะห์องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงแข็งจากใบกาสะลองที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ธาตุไฮโดรเจน และธาตุไนโตรเจน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ ผลการทดสอบพบว่า เชื้อเพลิงแข็งจากใบกาสะลองเหลือทิ้งทั้ง 4 อัตราส่วน ผ่านเกณฑ์สมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง โดยมีค่าความร้อนมากกว่า 3,000 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน 80:20 โดยมวล เป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมและมีสมบัติทางเชื้อเพลิงดีที่สุด มีค่าความร้อน 4,596.67±9.86 แคลอรีต่อกรัม มีค่าความชื้นร้อยละ 0.73±0.19 ปริมาณเถ้าร้อยละ 5.73±0.13 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 77.95±3.32 ค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 15.59 ธาตุคาร์บอนร้อยละ 52.06 ธาตุไฮโดรเจนร้อยละ 6.37 และธาตุไนโตรเจนร้อยละ 2.28 จึงสรุปได้ว่าใบกาสะลอง มีสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดี มีค่าความร้อนสูงกว่าชีวมวลเหลือทิ้งชนิดอื่น ๆ เช่น เปลือกสับปะรด ทางมะพร้าว มังคุด ทุเรียน ลำต้นขิง แกลบ และเหง้ามันสำปะหลัง โดยสามารถผลิตทดแทนฟืนไม้ที่ใช้ในครัวเรือนได้

คำสำคัญ: สมบัติทางกายภาพ เชื้อเพลิงแข็ง ใบกาสะลอง วัสดุเหลือทิ้ง

ABSTRACT

This study aimed to investigate the physical properties of solid fuel briquettes made from waste Indian cork leaves. Various mass ratios of Indian cork leaves and starch paste (80:20, 70:30, 60:40, and 50:50) were cold compressed and evaluated according to American Society for Testing and Materials (ASTM) standards for fuel qualities. The parameters assessed included heat value, moisture content, ash content, volatile compound content, fixed carbon content, and organic constituents (carbon, hydrogen, and nitrogen) using an organic elemental analyzer. Results indicated that all four ratios of solid fuels met waste characteristics requirements and could yield fuel rods with calorific values exceeding 3,000 calories per gram. The 80:20 ratio produced the most favorable fuel characteristics, with a calorific value of 4,596.67±9.86 calories per gram, moisture content of 0.73±0.19 %, ash content of 5.73±0.13 %, volatile matter content of 77.95±3.32 %, stable carbon content of 15.59 %, carbon element of 52.06 %, hydrogen element of 6.37 %, and nitrogen element of 2.28 %. Consequently, it can be concluded that Indian cork leaves possess favorable fuel properties and higher calorific values compared to other waste

biomass types such as pineapple peels, coconut pulp, mangosteen, durian, ginger rhizomes, rice husks, and cassava rhizomes, making them suitable substitutes for household firewood.

Keywords: physical properties, solid fuel, Indian cork leaves, waste materials

บทนำ

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) คาดการณ์แนวโน้มการใช้พลังงานของปี 2566 โดยความต้องการใช้พลังงานขั้นต้นของประเทศจะเพิ่มขึ้น 2.7 % อยู่ที่ 2,111 พันบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน [1] จึงจำเป็นต้องหาพลังงานมาใช้ทดแทนพลังงานขั้นต้น ซึ่งพลังงานชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการเพาะปลูกที่หลากหลายและมีเศษเหลือใช้จากการเกษตรเป็นจำนวน 8,854 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งสามารถมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการนำเอาชีวมวลมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่งและทดสอบประสิทธิภาพ เช่น ใบกล้วย ใบตาล และใบมะพร้าว [2] หญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก [3] เปลือกสับปะรด [4] ทางมะพร้าว [5] ขิง [6] เปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด [7] กากชากากกาแฟ [8] และขุยมะพร้าว [9] เป็นต้น

กาสะลอง (ปีบ กาซะลอง หรือ กาดสะลอง) จัดอยู่ในวงศ์ Bignoniaceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ลำต้นตรงสูง 5-10 เมตร ลักษณะใบของกาสะลองเป็นใบประกอบแบบขนนก 3 ชั้น ลักษณะใบมีรูปร่างคล้ายรูปหอกแกมรูปไข่ ปลายใบเรียวแหลม ฐานเป็นรูปลิ่ม ขอบใบหยัก สำหรับดอกกาสะลองนั้น มีลักษณะเป็นช่อ ความยาวของดอก 10-25 เซนติเมตร สำหรับดอกย่อย ๆ นั้น ประกอบด้วยกลีบเลี้ยงสีเขียว ดอกมีกลิ่นหอม [10] โดยดอกกาสะลองออกดอกในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนพฤษภาคม ซึ่งกาสะลองเป็นไม้ยืนต้นที่มีสรรพคุณมาก และมีดอกหอม จึงนิยมปลูกกันมากในทุกภาคของประเทศ และเป็นต้นไม้มงคลของจังหวัดพิษณุโลก ที่ผ่านมามีรายงานการใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์ สาธารณสุข หรือ การใช้เป็นสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของกาสะลองทั้งเปลือก ลำต้น ใบ และดอก สำหรับเป็นสารควบคุมแมลงทางการเกษตร [11, 12, 13] ทั้งนี้ ในการจัดสวน หลังการตัดแต่งกิ่ง (punning) มักมีใบกาสะลองที่เหลือทิ้งจำนวนมาก ซึ่งไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ ทั้งนี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ ฐิติพร เจาะจง และคณะ [14] ได้นำใบกาสะลองที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งกิ่งมาทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง ตามมาตรฐานสมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing and Materials; ASTM) เบื้องต้น พบว่า มีสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม ยังขาดการทดสอบสมบัติทางกายภาพของการอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงของใบกาสะลองที่เหลือใช้ดังกล่าว ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาสมบัติทางกายภาพของการอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งจากใบกาสะลองเหลือทิ้ง โดยนำใบกาสะลองผสมกับกาวแป้งเปียก ซึ่งเป็นตัวประสานที่นิยมใช้งานในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยคาดหวังว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับที่มากขึ้น (large scale) และเกิดการส่งเสริมให้ชุมชนมีแนวทางการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือใช้ ไม่เพียงแต่ใบกาสะลองเท่านั้น แต่สามารถใช้ใบพืช หรือส่วนของพืชชนิดอื่น ๆ ต่อไปอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากใบกาสะลองเหลือทิ้งที่อัตราส่วนต่าง ๆ
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ส่งผลให้แท่งเชื้อเพลิงจากใบกาสะลองเหลือทิ้งมีสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีตามเกณฑ์สมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

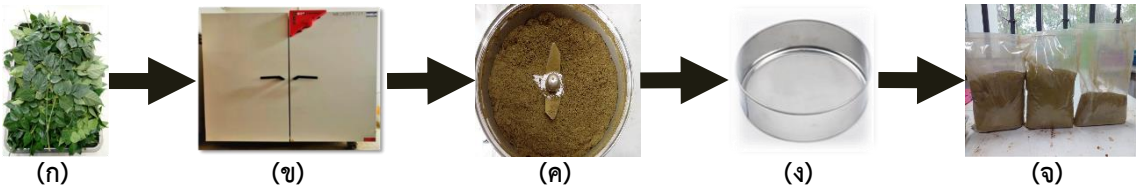
การดำเนินงานวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

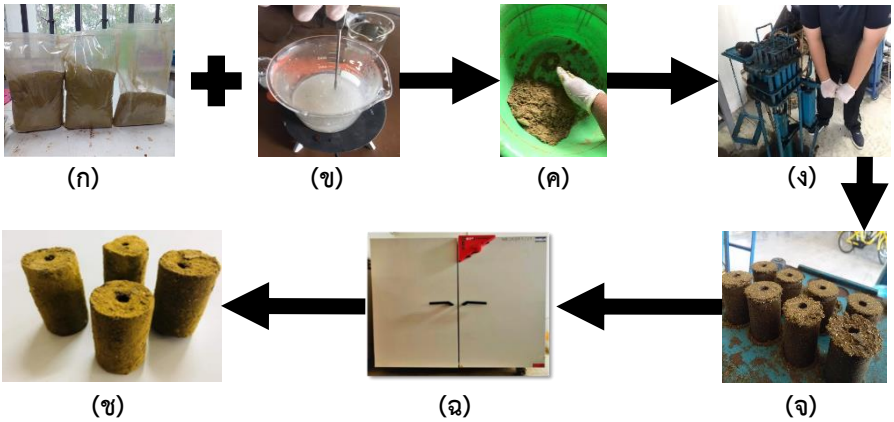
1. ใบกาสะลอง
2. แป้งมันสำปะหลัง
3. ถ้วยครูซิเบิล ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. เครื่องชั่งดิจิตอล รุ่น PA413
5. ตะแกรงร่อน ขนาด 350 ไมครอน
6. ตู้อบลมร้อน รุ่น FD240
7. ตู้ควบคุมความชื้น รุ่น DE-57 AD
8. เครื่องปั่นแนวตั้ง รุ่น RT Series
9. เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์รุ่น C5000
10. เตาเผาอุณหภูมิสูง รุ่น LEF Series
11. เครื่องวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์
12. เครื่องอัดแท่ง แรงอัด 20 บาร์

การผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากใบกาสะลอง

นำใบกาสะลอง ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM นำใบกาสะลองที่ผ่านการอบแห้งไปบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนที่ขนาด 350 ไมครอน นำผงใบกาสะลองมาผสมกับกาวแป้งเปียกในอัตราส่วนโดยมวล 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 นำไปอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดแท่ง ใช้แรงอัด 20 บาร์ นำไปอบแห้ง เพื่อไล่ความชื้นออกจากแท่งเชื้อเพลิง นำเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไปทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ค่าคาร์บอนคงตัว และวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ แสดงดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำผงใบกาสะลอง
(ก) ใบกาสะลอง (ข) ตู้อบแห้ง (ค) การบดด้วยเครื่องปั่น (ง) การร่อนด้วยตะแกรงร่อน (จ) ผงใบกาสะลอง

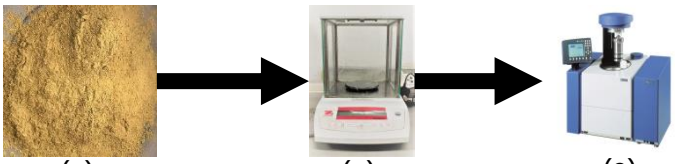


ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลอง
(ก) ผงใบกาสะลอง (ข) กาวแป้งเปียก (ค) การผสมใบกาสะลองกับกาวแป้งเปียก (ง) การอัดแท่งเชื้อเพลิง (จ) เชื้อเพลิงจากการอัดแท่ง (ฉ) การอบไล่ความชื้น (ช) เชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลอง

การทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM

1. นำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลองมาปั่นละเอียดเป็นผง และนำไปทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณสารระเหย และค่าคาร์บอนคงตัว

1.1 ค่าความร้อน ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3286 ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบค่าความร้อน
(ก) ผงเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลอง (ข) การชั่งตัวอย่าง (ค) การทดสอบค่าความร้อนจากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

1.2 ค่าความชื้น ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 แสดงดังภาพที่ 4 ดังนี้

1.2.1 นำถ้วยครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักถ้วยครูซิเบิลพร้อมฝาปิดและบันทึกค่าน้ำหนัก

1.2.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยครูซิเบิลพร้อมฝาปิดบันทึกค่าน้ำหนัก

1.2.3 อบตัวอย่างในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำไปไว้ในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที จากนั้น นำไปชั่งน้ำหนักหลังอบ และคำนวณค่าความชื้นตามสมการที่ (1)

$$\text{ค่าความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{A-B}}{\text{A}} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
B คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการทดสอบค่าความชื้น
(ก) ผงเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลอง (ข) การชั่งตัวอย่างก่อนอบ (ค) การอบไล่ความชื้น (ง) การดูดความชื้น (จ) การชั่งตัวอย่างหลังอบ

1.3 ปริมาณเถ้า ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174 แสดงดังภาพที่ 5 ดังนี้

1.3.1 นำถ้วยครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น จากนั้น ชั่งถ้วยครูซิเบิลพร้อมฝาปิด บันทึกน้ำหนัก

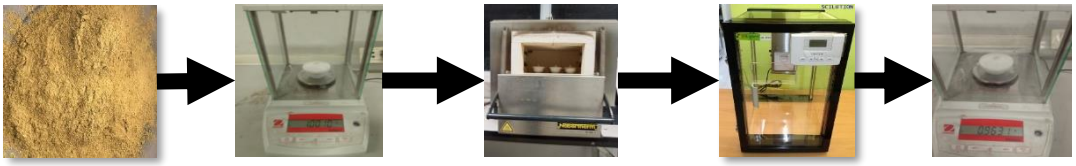
1.3.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยครูซิเบิลพร้อมฝาปิด จากนั้น นำไปชั่งน้ำหนัก

1.3.3 นำถ้วยครูซิเบิลที่ใส่ตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

1.3.4 นำถ้วยออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที จากนั้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณเถ้าตามสมการที่ (2)

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{A-B}}{\text{C}} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของเถ้าและถ้วยครูซิเบิล (กรัม)
B คือ น้ำหนักของถ้วยครูซิเบิล (กรัม)
C คือ น้ำหนักเถ้าที่ใช้ (กรัม)



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

ภาพที่ 5 ขั้นตอนการทดสอบปริมาณเถ้า
(ก) ผงเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลอง (ข) การชั่งตัวอย่างก่อนเผา (ค) การเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส (ง) การดูดความชื้น (จ) การชั่งตัวอย่างหลังเผา

1.4 ปริมาณสารระเหย ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175 แสดงดังภาพที่ 6 ดังนี้

1.4.1 นำถ้วยครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งถ้วยครูซิเบิลพร้อมฝาปิด บันทึกน้ำหนัก

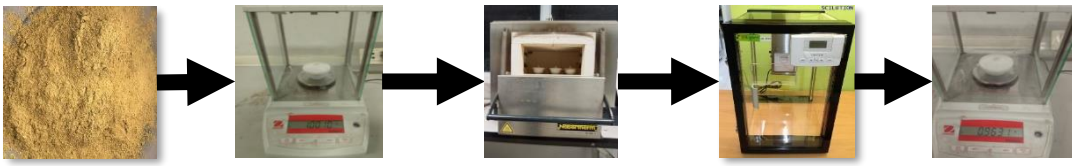
1.4.2 นำตัวอย่างไปชั่งประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยครูซิเบิลพร้อมฝาปิด นำไปชั่งน้ำหนัก

1.4.3 นำถ้วยครูซิเบิลที่ใส่ตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที

1.4.4 นำถ้วยครูซิเบิลออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณสาระเหยตามสมการที่ (3)

$$\text{ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)} = \text{C} - \text{M} \qquad (3)$$

เมื่อ C คือ น้ำหนักที่หายไป (ร้อยละ)
M คือ ความชื้น (ร้อยละ)



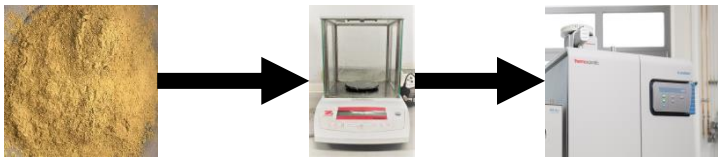
(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทดสอบปริมาณสารระเหย
(ก) ผงเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลอง (ข) การชั่งตัวอย่างก่อนเผา (ค) การเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส (ง) การดูดความชื้น (จ) การชั่งตัวอย่างหลังเผา

การทดสอบธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

การทดสอบธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน ได้แสดงดังภาพที่ 7 ดังนี้

1. นำตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เก็บในซองปิดสนิท ซึ่งพักไว้ในตู้ดูดความชื้นออกมาชั่งให้ได้น้ำหนัก 1 มิลลิกรัม
2. นำตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ชั่ง แล้วบรรจุในเครื่องวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์และบันทึกผล



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทดสอบธาตุที่เป็นองค์ประกอบ
(ก) ผงเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลอง (ข) การชั่งตัวอย่าง (ค) การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA: F-Test) ของค่าสมบัติทางกายภาพที่วัดได้ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าสมบัติทางกายภาพ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS V. 25 [15]

ผลการวิจัย

1. การอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งจากใบกาสะลอง

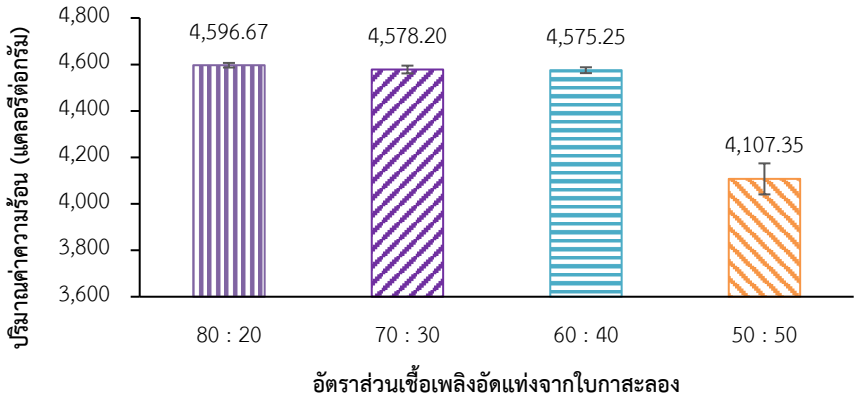
จากการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลองเหลือทิ้งที่ใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน พบว่า อัตราส่วนโดยมวล 100:0 และ 90:10 โดยมวลนั้น ไม่สามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากอัตราส่วน 100:0 โดยมวล ไม่มีตัวประสาน ส่วน 90:10 โดยมวล มีตัวประสานที่น้อยเกินไป จึงไม่สามารถคงรูปได้ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้ จึงไม่ได้ศึกษาที่อัตราส่วน 100:0 และ 90:10 โดยมวล หลังจากนั้น ทำการอัดแท่งในอัตราส่วนที่ 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยมวล พบว่า ทุกอัตราส่วนสามารถขึ้นรูปและคงรูปได้ โดยเชื้อเพลิงที่ได้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก จุดติดไฟได้ง่าย เนื่องจากมีรูตรงกลางช่วยในการถ่ายเทความร้อนไปทั่วทั้งแท่งเชื้อเพลิง มีค่าความร้อนสูงและติดไฟทั่วกันทั้งแท่งเชื้อเพลิง เมื่อเปรียบเทียบกับรูปทรงสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม วงกลมนั้น จุดติดไฟได้ยากกว่า ซึ่งเป็นผลจากการมีพื้นที่สัมผัสที่มาก ส่งผลให้ต้องใช้เวลาจุดติดไฟที่นาน [16, 17] ซึ่งเชื้อเพลิงที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 3.6 เซนติเมตร มีความสูงเฉลี่ย 5.2 เซนติเมตร ลักษณะของแท่งเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาล แสดงดังภาพที่ 8

(ก) (ข) (ค) (ง)

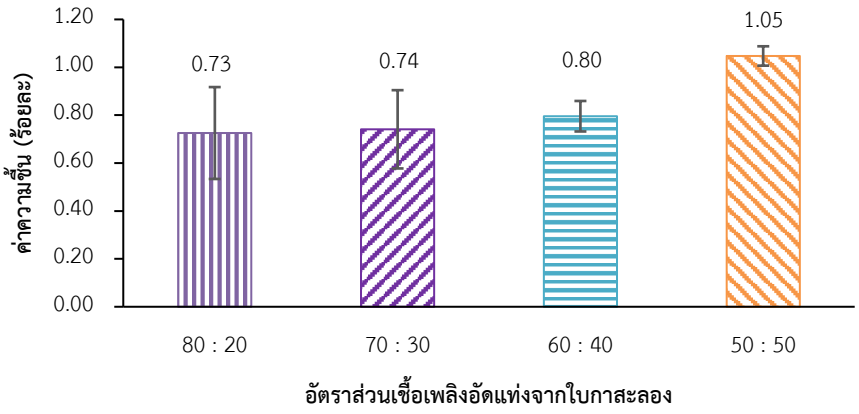
ภาพที่ 8 เชื้อเพลิงแข็งจากใบกาสะลอง เมื่อผสมกับกาวแป้งเปียกในอัตราส่วนต่าง ๆ
(ก) อัตราส่วน 80:20 โดยมวล (ข) อัตราส่วน 70:30 โดยมวล (ค) อัตราส่วน 60:40 โดยมวล (ง) อัตราส่วน 50:50 โดยมวล

2. การศึกษาประสิทธิภาพของการอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งจากใบกาสะลองเหลือทิ้งที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ ดังภาพที่ 9 พบว่าอัตราส่วนที่ 80:20 โดยมวล มีค่าความร้อนมากที่สุด เท่ากับ 4,596.67±9.86 แคลอรีต่อกรัม รองลงมา คือ อัตราส่วน 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยมวล ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราส่วนที่ 80:20 โดยมวล มีใบกาสะลองมากและมีตัวประสานน้อย โดยกาวแป้งเปียกที่เป็นตัวประสานมีน้ำผสมอยู่ เมื่อเผาไหม้แล้วทำให้ติดไฟยากและยังทำให้สูญเสียความร้อนไปกับการระเหยน้ำอีกด้วย [18, 19] ดังนั้น อัตราส่วนที่มีใบกาสะลองมากกว่า จึงมีค่าความร้อนที่มากตามไปด้วย และลดลงเมื่อปริมาณตัวประสานเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนในทุกอัตราส่วนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน หรือเกณฑ์สมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งกำหนดว่าเชื้อเพลิงต้องมีค่าความร้อน ไม่น้อยกว่า 3,000 แคลอรีต่อกรัม [20] และเมื่อเปรียบเทียบความชื้น ดังภาพที่ 10 พบว่าอัตราส่วนที่ 50:50 โดยมวล มีค่าความชื้นมากที่สุด ร้อยละ 1.05±0.04 รองลงมา คือ อัตราส่วน 60:40, 70:30 และ 80:20 โดยมวล ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงจากใบกาสะลองและกาวแป้งเปียกเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของกาวแป้งเปียกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกาวแป้งเปียกมีน้ำผสมอยู่ ส่งผลให้ค่าความชื้นเพิ่มขึ้น [21] ค่าความชื้นในทุกอัตราส่วนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน หรือเกณฑ์สมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง ที่กำหนดว่าเชื้อเพลิงต้องมีค่าความชื้น ไม่เกินร้อยละ 15 [20]

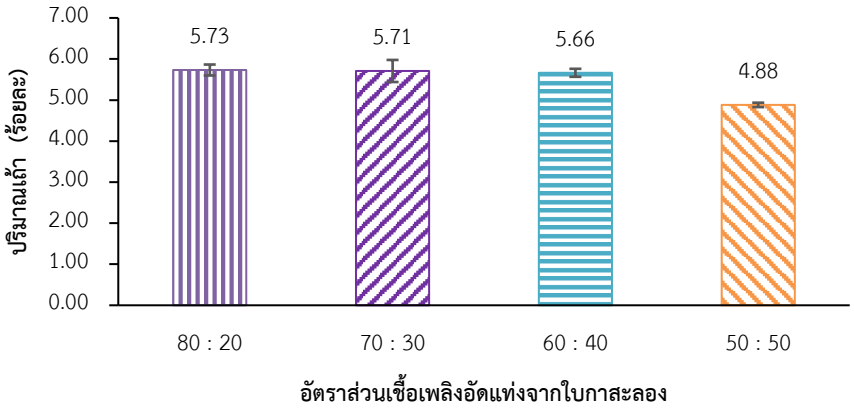


ภาพที่ 9 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลองในอัตราส่วนต่าง ๆ

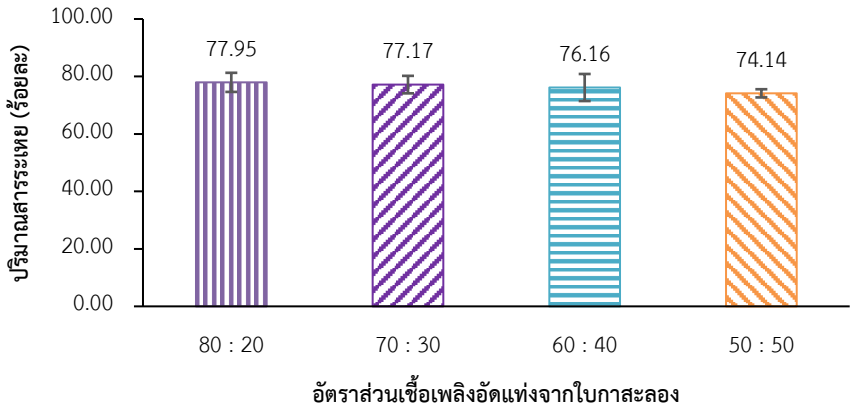


ภาพที่ 10 ร้อยละความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลองในแต่ละอัตราส่วน

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละปริมาณเถ้าในอัตราส่วน 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยมวล ดังภาพที่ 11 พบว่า อัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด คือ อัตราส่วน 80:20 โดยมวล ร้อยละ 5.73±0.13 และรองลงมา คือ อัตราส่วน 70:30, 60:40, และ 50:50 โดยมวล ตามลำดับ เนื่องจากใบกาสะลองมีปริมาณสารอนินทรีย์และแร่ธาตุมาก ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ทำให้อัตราส่วนที่มีใบกาสะลองมาก ส่งผลให้มีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นตามปริมาณใบกาสะลอง [22] ค่าปริมาณเถ้าในทุกอัตราส่วนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน หรือเกณฑ์สมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่กำหนดว่า เชื้อเพลิงต้องมีค่าปริมาณเถ้าไม่เกินร้อยละ 20 [20] ในขณะที่อัตราส่วนที่มีค่าปริมาณสารระเหยมากที่สุด คือ 80:20 โดยมวล ร้อยละ 77.95±3.32 รองลงมา คือ อัตราส่วน 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยมวล ตามลำดับ ดังภาพที่ 12 เนื่องจากใบกาสะลองมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่ากาวแป้งเปียก ส่งผลให้อัตราส่วนที่มีใบกาสะลองที่มากมีปริมาณสารระเหยเพิ่มขึ้น โดยปริมาณสารระเหยเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซ ซึ่งขึ้นกับโครงสร้างทางสารอินทรีย์ของเชื้อเพลิงชนิดนั้น ๆ [23] ค่าปริมาณสารระเหยเป็นค่าที่แสดงถึงสมบัติในการจุดติดไฟ และถ้ามีปริมาณสารระเหยสูง มีแนวโน้มที่ค่าความร้อนสูงด้วย ดังนั้น อัตราส่วนที่มีใบกาสะลองมากนั้น ทำให้มีปริมาณสารระเหยที่สูงตาม [24]



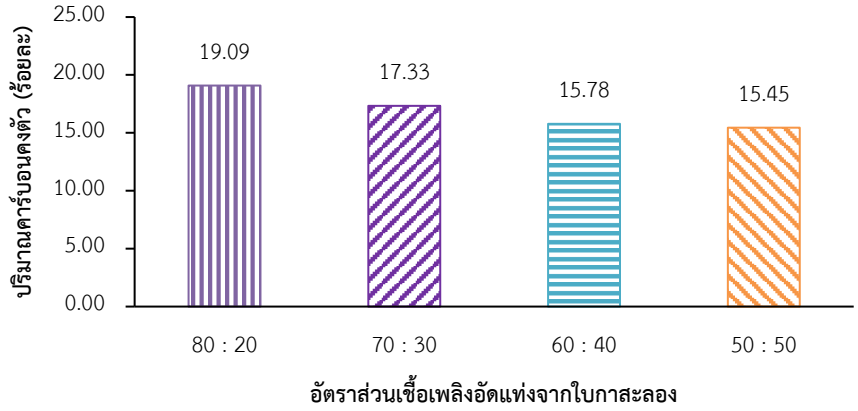
ภาพที่ 11 ร้อยละปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลองในแต่ละอัตราส่วน



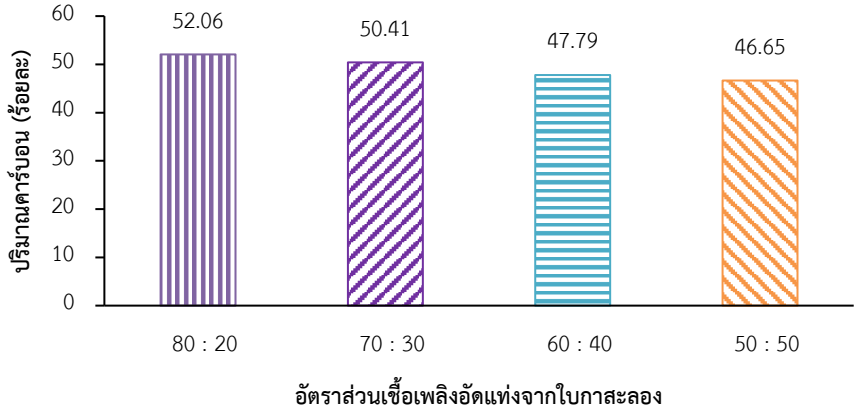
ภาพที่ 12 ร้อยละปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลองในอัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาค่าคาร์บอนคงตัว ดังภาพที่ 13 พบว่า อัตราส่วนที่ค่าคาร์บอนคงตัวมีมากที่สุด คือ อัตราส่วน 80:20 โดยมวล มีค่าเท่ากับร้อยละ 19.09 รองลงมา คือ อัตราส่วน 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยมวล ตามลำดับ คาร์บอนคงตัว

เป็นส่วนเสถียรของโครงสร้างโมเลกุลของชีวมวล ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ ชีวมวลที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำหรือน้อยนั้น สันดาปได้ไม่ดี มีอุณหภูมิติดไฟต่ำ ติดไฟช้า [25] ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงนั้น มีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน แต่ในทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์สมบัติของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแท่ง ซึ่งกำหนดค่าคาร์บอนคงตัวไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 [20] ในขณะเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบธาตุสารประกอบคาร์บอน ดังภาพที่ 14 พบว่า อัตราส่วนที่ 80:20 โดยมวล มีปริมาณธาตุคาร์บอนมากที่สุด ร้อยละ 52.06 ซึ่งเป็นผลจากสารอินทรีย์ ยิ่งมีใบกาสะลองมาก ย่อมมีธาตุคาร์บอนมากตามไปด้วย โดยธาตุคาร์บอนส่งผลต่อค่าคาร์บอนคงตัว ซึ่งธาตุคาร์บอนเป็นสิ่งที่มีอยู่ในชีวมวลก่อนเผาไหม้ ดังนั้น เมื่อทำการเผาไหม้ ธาตุคาร์บอนจึงเปลี่ยนเป็นค่าคาร์บอนคงตัว [19, 26]

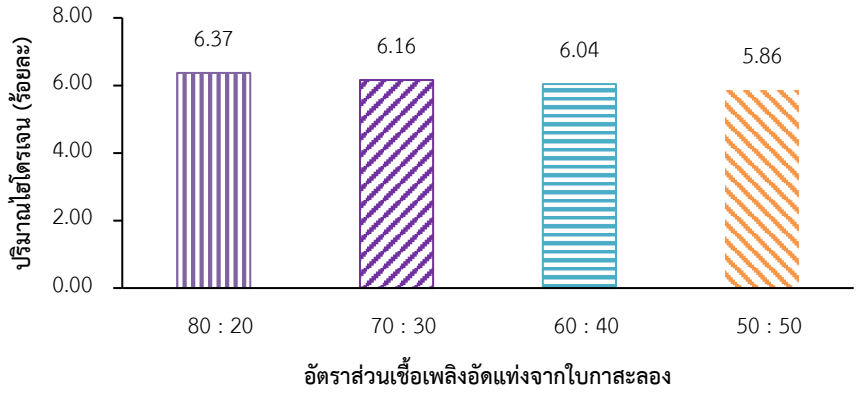


ภาพที่ 13 ร้อยละค่าคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลองในแต่ละอัตราส่วน

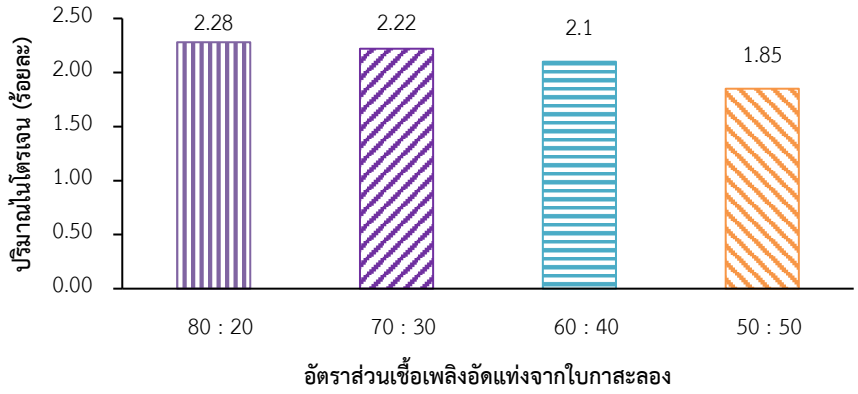


ภาพที่ 14 ร้อยละธาตุคาร์บอนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลองในอัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบธาตุไฮโดรเจน ดังภาพที่ 15 พบว่า อัตราส่วนที่ 80:20 โดยมวล มีปริมาณธาตุไฮโดรเจนมากที่สุด ร้อยละ 6.37 รองลงมา คือ อัตราส่วน 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยมวล ตามลำดับ ธาตุไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหนึ่งของสารชีวโมเลกุลหรือสารอินทรีย์ โดยปริมาณธาตุไฮโดรเจนช่วยในการติดไฟ [26] ทำนองเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบธาตุไนโตรเจน ดังภาพที่ 16 พบว่า อัตราส่วนที่ 80:20 โดยมวล มีร้อยละปริมาณธาตุไนโตรเจนมากที่สุด ร้อยละ 2.28 เป็นผลจากการที่อัตราส่วนที่ 80:20 โดยมวล มีปริมาณชีวมวล หรือใบกาสะลองมากที่สุด โดยเป็นสารอินทรีย์ซึ่งมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ดังนั้น อัตราส่วนที่มีใบกาสะลองมากนั้น ทำให้มีปริมาณธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้น [26]



ภาพที่ 15 ร้อยละธาตุไฮโดรเจนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลองในแต่ละอัตราส่วน



ภาพที่ 16 ร้อยละธาตุไนโตรเจนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกาสะลองของแต่ละอัตราส่วน

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพดังที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า เชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากใบกาสะลองเหลือทิ้ง มีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น เปลือกสับปะรด ทางมะพร้าว มังคุด ทุเรียน ลำต้นขิง แกลบ เหง้ามันสำปะหลัง ดังตารางที่ 1 และยังสามารถเพิ่มมูลค่าโดยการนำเศษเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงของใบกาสะลองเหลือทิ้งกับชีวมวลชนิดอื่น ๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	ค่าความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)
ใบกาสะลองเหลือทิ้ง	4,596.67	0.73	5.73	77.95
เปลือกสับปะรด	3,389.00	20.50	68.90	3.60
ทางมะพร้าว	4,185.00	23.40	76.31	5.28
มังคุด	4,348.00	5.65	86.55	5.03
ทุเรียน	3,901.00	6.68	88.37	4.57
ลำต้นขิง	3,784.40	4.91	10.77	-
แกลบ	3,821.00	9.80	70.40	17.80
เหง้ามันสำปะหลัง	4,364.00	9.10	69.40	6.50

ผลการทดสอบสมมติฐาน (ANOVA; F-test)

จากการทดสอบพบว่า ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (ns) เกิดขึ้นในสมบัติทางกายภาพทั่วไปของน้ำหนักร้อยละความชื้น (F=3.18; df=4; p=0.06) และปริมาณสารระเหย (F=0.65; df=4; p=0.64) ในทางตรงกันข้าม พบความต่างกันในกลุ่มค่าความร้อน (F=123.07; df=4; p=0.00) และร้อยละปริมาณเถ้าในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (F=4.56; df=4; p=0.02) ดังตารางที่ 2 และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยทีละคู่ด้วยวิธี DMRT พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละค่าความร้อนในอัตราส่วนที่ 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยมวล มีร้อยละปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน ในทางตรงกันข้าม ค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณเถ้าในอัตราส่วน 50:50 โดยมวล มีค่าแตกต่างเพียงเล็กน้อยจากอัตราส่วนอื่น ๆ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (ANOVA; F-test) ของสมบัติทางกายภาพของการอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งจากใบกาสะลองเหลือทิ้งของแต่ละอัตราส่วน

		แหล่งความแปรผัน	องศาอิสระ (df)	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (MS)	F	Sig.
ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	ระหว่างกลุ่ม	526,121.39	4	131,530.348	123.07	0.00*
	ภายในกลุ่ม	10,687.18	10	1,068.72		
	รวม	536,808.57	14			
ค่าความชื้น (ร้อยละ)	ระหว่างกลุ่ม	0.26	4	0.06	3.18	0.06^{ns}
	ภายในกลุ่ม	0.20	10	0.02		
	รวม	0.46	14			
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	ระหว่างกลุ่ม	4.31	4	1.08	4.56	0.02*
	ภายในกลุ่ม	2.37	10	0.24		
	รวม	6.68	14			
ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)	ระหว่างกลุ่ม	26.17	4	6.54	0.65	0.64^{ns}
	ภายในกลุ่ม	100.77	10	10.08		
	รวม	126.94	14			

ns = not significant (ไม่แตกต่างกัน) และ * = significant (แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ α= 0.05)

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพจากอัตราส่วนการอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งจากใบกาสะลองเหลือทิ้งจากอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนใบกาสะลอง (โดยมวล)	สมบัติทางกายภาพ (ค่าเฉลี่ย ± S.D.)			
	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	ค่าความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)
80:20	4,596.67±9.86b	0.73±0.19a	5.73±0.13ab	77.95±3.32a
70:30	4,578.19±16.77b	0.74±0.16a	5.71±0.27ab	77.17±3.05a
60:40	4,575.25±12.55b	0.80±0.06ab	5.66±0.10ab	76.16±4.70a
50:50	4,107.35±66.78b	1.05±0.04b	4.88±0.05a	74.14±1.43a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยของสมบัติทางกายภาพ สำหรับตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวคอลัมภ์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากใบกาสะลองเหลือทิ้ง โดยทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงมาตรฐาน ASTM และวิเคราะห์ปริมาณของคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H) และไนโตรเจน (N) หรือ CHN ของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากใบกาสะลองที่ใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยมวล สรุปได้ว่าอัตราส่วน 80:20 โดยมวล ให้สมบัติทางเชื้อเพลิงดีที่สุด รองลงมา เป็นอัตราส่วน 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยมวล ตามลำดับ นอกจากนั้น ในทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานเกณฑ์สมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้

ข้อเสนอแนะ

อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะนำเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากใบกาสะลองเหลือทิ้งไปแปรรูป ควรศึกษาสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1. ศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงจริงก่อนนำมาใช้งาน
2. ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและก๊าซที่สร้างมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยออกมาจากแท่งเชื้อเพลิง
3. ศึกษารูปร่างและขนาดเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
4. ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
5. ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำงานวิจัยไปพัฒนาต่อยอดลงสู่ชุมชนได้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน, (2566), แนวโน้มการใช้พลังงงาน, [ออนไลน์]. จาก: https://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/18695-news-090165-01.

[2] อังคาร นาคอินทร์ และฐิติพร เจาะจง, “เชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบกล้วย, ใบตาล และใบมะพร้าว,” ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, พิษณุโลก, 2557, น. 85-89.

[3] ศิริขวัญ กาศเกษม และฐิติพร เจาะจง, “เชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก,” ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, พิษณุโลก, 2557, น. 72-76.

[4] ธนาพล ตันติสัตยกุล, กะชามาศ สายดำ, สุจิตรา ภูส่งสี และศิวพร เงินเรืองโรจน์, “การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 23, ฉ. 5, น. 754-773, 2558.

[5] ธนาพล ตันติสัตยกุล, สุริฉาย พงษ์เกษม, ปรีย์ปวีณ ภูหญ้า และภานุวัฒน์ ไถ้บ้านกวย, “พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 23, ฉ. 3, น. 418-431, 2558.

[6] ฐิติพร เจาะจง และปราณี แซ่หยาง, “การทดสอบสมบัติแท่งเชื้อเพลิงจากลำต้นขิง,” ใน *การประชุมสวนสุนันทาวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระดับชาติ ครั้งที่ 1,* กรุงเทพมหานคร, 2561, น. 269-276.

[7] อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย, ชลันดา เสมสายัณห์, นัฐพร ปรภักดี, ณัฐธิดา เปี่ยมสุวรรณศิริ และนิภาวรรณ ชูชาติ, “การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง,” ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49*, กรุงเทพมหานคร, 2554, น. 162-168.

[8] ปฏิมาภรณ์ สุวรรณโสภา, กฤษศิกาญจ์ กลิ่นหอม และฐิติพร เจาะจง, “เชื้อเพลิงของกากชาผสมกากกาแฟที่เหลือทิ้งจากร้านกาแฟสด,” ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 3 และการประชุมวิชาการระดับชาติ เครือข่ายวิจัยประชาชื่น ครั้งที่ 4*, พระนครศรีอยุธยา, 2561, น. 449-453.

[9] N. Wichianphong, T. Juepanit, P. Miangkae, “Production of fuel pellets from coconut coir dust mixed with biomass wastes,” *PSRU Journal of Science and Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 112-126, 2020.

[10] T. Santisuk, (1987), e-Flora of Thailand, Bignoniaceae, [Online]. Available: https://botany.dnp.go.th/eflora/florafamily.html?factsheet=Bignoniaceae

[11] A. Janaki, P. K. Kaleena, D. Elumalai, P. Hemalatha, M. Babu, K. Velu and R. Sudha, "Phytochemical screening antioxidant and antibacterial activities of *Millingtonia hortensis* (L)," *International Journal of Current Pharmaceutical Research,* vol. 9, no. 5, pp. 162-167, 2017.

[12] M. S. Kumar, N. Astalakshmi, J. Jaison and G. R. Babu, (2014), A review on Indian cork tree - *Millingtonia hortensis* Linn. F, [Online]. Available: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:85591799

[13] C. Thongpoon and P. Poolprasert, "Phytochemical screening and larvicidal activity of *Millingtonia hortensis* L. f. flower extract against *Aedes aegypti* Linn.," *Agriculture and Natural Resources*, vol. 49, no. 4, pp. 597-605, 2015.

[14] ฐิติพร เจาะจง, เมธี โอ้วสุวรรณ, กษมะ ดุรงค์ศักดิ์ และสุกัญญา สมุทรเขตร์, "การผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากเศษใบกาสะลองเหลือทิ้งจากการตัดแต่งกิ่ง," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ*, ปีที่ 5, ฉ. 2, น. 1-12, 2564.

[15] IBM Corp, IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp., 2017.

[16] กฤษฎา บุญชม และนิลุบล ไชยสมปาน, "การศึกษาถ่านอัดแท่งจากไม้ลำไย," *วารสารนเรศวรพะเยา*, ปีที่ 13, ฉ. 2, น. 51-56, 2563.

[17] N. Sirivarawuth, P. Suksirisak, N. Sukuprakarn and P. Kunyoo, " Study and comparison of thermal efficiency of briquettes fuel from biomass materials," *NKRAFA Journal of Science and Technology*, vol. 17, no. 2, pp. 31-44, 2021.

[18] เกษรา รัตตะวัน, (2562), ผลของตัวประสานทางธรรมชาติที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และต้นทุนพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยศิลปากร, [ออนไลน์]. จาก: http://ithesis-ir.su.ac.th/dspace/handle/123456789/2103

[19] เสน่ห์ รักเกื้อ, (2562), การศึกษาศักยภาพของต้นปาล์มหมดอายุเพื่อเป็นชีวมวลอัดแท่ง (รายงานผลการวิจัย) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, [ออนไลน์]. จาก: https://www.repository.rmutsv.ac.th/handle/123456789/2498

[20] สำนักงานบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม, *คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน โครงการพัฒนาศักยภาพการใช้ประโยชน์กากของเสีย ประจำปี 2554 การนำร่องการใช้ประโยชน์ของเสีย.* กรุงเทพมหานคร: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555.

[21] ศักดิ์สิทธิ์ โสธรศักดิ์, (2561), การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเฉาก๊วย (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, [ออนไลน์]. จาก: http://202.28.34.124/dspace/bitstream/123456789/193/1/58010351003.pdf

[22] อนุวัตร ศรีนวล และอัมพวัลย์ ชัยนาวา, "การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบสนประดิพัทธ์ผสมถ่านหินลิกไนต์," *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, ปีที่ 8, ฉ. 3, น. 128-151, 2561.

[23] สำนักงานบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม, *คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน*, กรุงเทพมหานคร: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555.

[24] นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล, “การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและครัวเรือน,” *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, ปีที่ 6, ฉ. 11, น. 66-77, 2557.

[25] ชลลดา ไร่ขาม, ยุทธพันธ์ คำวัน, ปภาภร จันทะวงศ์ฤทธิ์ และศิริทรัพย์ แก้วม่วง, “ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนกากน้ำตาลที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ,” *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*, ปีที่ 9, ฉ. 10, น. 79-90, 2560.

[26] สุภาวดี สาระวัน, (2562), ชีวมวลเชื้อเพลิงลดโลกร้อน ตอนที่ 3: เทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวลหรือของเสียให้เป็นเชื้อเพลิง, [ออนไลน์]. จาก: https://www.scimath.org/article-chemistry/item/9608-3-9608