FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียน 5 สายพันธุ์

Study on the Thermal Properties of Charcoal Briquettes from Durian Peel 5 Species

บุญฤทธิ์ บัวระบัติ[1)*] ไกรสร รวยป้อม[1)] อัคฆพงศ์ สถาวรินทุ[1)] และ สุรพงษ์ โซ่ทอง[1)]

Boonyarid Buarabut[1)*] Krisorn Ruaypom[1)] Akkapong Sathavarinthu[1)] and Surapong Sothong[1)]

[1)]สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตรสาขา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

[1)]Department of Mechanical Technology Faculty of Agro-Industrial Technology

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

Received: 22 May 2025

Revised: 11 June 2025

Accepted: 12 June 2025

Available online: 21 June 2025

บทคัดย่อ

จากการศึกษาคุณสมบัติถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียน 5 สายพันธุ์ ด้วยเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ความเร็วรอบ 290 rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบในการอัดแท่งที่ดีที่สุด โดยมีค่าความสามารถในการอัดแท่ง 84.7 kg h^{-1} หรือประมาณ 692 kg day^{-1} มีประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรโดยรวม (OEE) 97.38% ลักษณะทางกายภาพของแท่งถ่านมีขนาดความกว้าง 5 cm ยาว 10 cm รูกลวงด้านใน 1 cm มีค่าความร้อนระหว่าง 5,117-5,656 cal g^{-1} โดยเปลือกทุเรียนสายพันธุ์ชะนี ให้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 5,656 cal g^{-1} สำหรับ Moisture content, Volatile matter, Ash content, และ Fixed carbon เป็นไปตามมาตรฐาน มผช.238/2547 และทำการทดสอบต้มน้ำสามารถทำให้น้ำปริมาตร 1,000 ml มีอุณหภูมิสูงสุด 91 °c ในช่วงระยะเวลา 26-34 minutes มีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจักรอยู่ที่ 105.14 days และมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 210.60 h $year^{-1}$

คำสำคัญ: คุณสมบัติทางความร้อน ถ่านอัดแท่ง ลักษณะทางกายภาพ เปลือกทุเรียน

Abstract

This research aims to study of the properties of charcoal briquettes from durian shells. 5 varieties with semi-automatic biomass briquettes at 290 rpm, which is the best briquetting speed. The briquetting capacity is 84.7 kg h^{-1} or about 692 kg day^{-1}. The physical characteristics of the charcoal rod are 5 cm wide, 10 cm long, 1 cm hollow hole, with a calorific value between 5,117-5,656 cal g^{-1} by the Chanee durian shell varieties, which provides a maximum calorific value of 5,656 cal g^{-1} for Moisture content, Volatile matter, Ash content, and Fixed carbon. In accordance with the MPA 238/2004 standard. And the boiling test can make a volume of 1,000 ml of water with a maximum temperature of 91 degrees Celsius. During the period of 26-34 minutes, the payback period of the machine is 105.14 days and the breakeven point is 210.60 h $year^{-1}$

Keywords: Thermal properties: Charcoal briquettes: Physical characteristics of durian peel

*ติดต่อ: Boonyarid_bu@rmutto.ac.th, 087-148-3234

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการพลังงานในภาคการผลิต หรือแม้แต่ความต้องการการใช้พลังงานในครัวเรือน สำหรับการดำรงชีวิตของประชาชนมีแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยการคาดการณ์ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ที่คาดการณ์กความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.4 [1] เช่นเดียวกันกับหลายๆประเทศที่มีความต้องการพลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [2] ซึ่งสวนทางกับปริมาณพลังงานที่สามารถผลิตได้ในปัจจุบัน ทำให้แนวโน้มและทิศทางของพลังงานกำลังจะเข้าสู่วิกฤต โดยปัจจุบันหลายหน่วยงานรวมถึงประชาชนได้มีการตระหนักถึงความสำคัญของพลังงาน ทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ซึ่งพลังงานที่ใช้ในภาคครัวเรือนของประชาชนส่วนมากเป็นพลังงานด้านความร้อนที่ใช้ในการดำรงชีพประกอบอาหารและมีแนวโน้มการใช้เพิ่มมากขึ้น และทิศทางของราคาก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุผลนี้ทำให้เกิดผู้ประกอบการด้านพลังงานเพิ่มขึ้นมากมาย เช่นผู้ประกอบการผลิตถ่าน ซึ่งในปัจจุบันเป็นที่ต้องการในการใช้อย่างมาก โดยกระบวนการในการผลิต ณ ปัจจุบันมีการนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิดมาทำการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงใช้ในชีวิตประจำวัน และผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นจำนวนมาก ซึ่งเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาในช่วงเดือน มีนาคม ถึง มิถุนายน คือ ปริมาณเปลือกทุเรียนจากกระกระบวนการแปรรูปที่มีปริมาณมาก โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกทุเรียนทั้งสิ้น 1,551,473 ไร่ ให้ผลผลิตราว 1,475,978 ตัน [3] ซึ่งเป็นปริมาณที่มีจำนวนมาก และเป็นปัญหาที่ผู้ประกอบการต้องแบกรับภาระในการจัดการกับเศษเปลือกทุเรียนในกระบวนการผลิตในหลายพื้นที่

ในการนี้ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป มาบริหารจัดการอย่างถูกต้อง และ ยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับ

เกษตรกรหรือผู้ประกอบการอีกทางหนึ่ง โดยการนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งใช้ในครัวเรือนเพื่อลดต้นทุนในการครองชีพและเป็นอาชีพเสริมด้วยระบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อลดขั้นตอนในกระบวนการผลิต ต้นทุนทางด้านเวลา ด้านแรงงาน ในการวิจัยมีการนำกระบวนการไบโอรีไฟนรี มาเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อเปลี่ยนเปลือกทุเรียนให้เป็นวัสดุที่มีมูลค่าสูงขึ้น [4] จากการศึกษาพบว่า เปลือกทุเรียนสามารถให้ค่าความร้อน 6,274.29 kcal kg^{-1} ซึ่งมีค่าความร้อนใกล้เคียง [5] กับที่ได้ใช้แป้งสาคูผสมเปลือกทุเรียนค่าความร้อนที่ได้ 5,189.128 cal g^{-1} [6] และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยที่ทำการทดสอบโดยใช้เปลือกทุเรียนที่มีเซลลูโลสสูงถึง 64.51% ผสมกับแป้งมันสำปะหลังและน้ำมันดินโดยให้ค่าความร้อน 9,694.53 cal g^{-1} [7] และในการวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการจัดการกับเศษเปลือกทุเรียน ให้มีประโยชน์ต่อเกษตรหรือผู้ประกอบการมากที่สุด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนจำนวน 5 สายพันธุ์ ว่ามีค่าความร้อนแตกต่างกันหรือไม่ และเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

2. วิธีการวิจัย

2.1. เตรียมเครื่องจักรสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่ง

ด้วยเครื่องจักรจำนวน 5 ชุด ประกอบด้วย

1) ชุดเตาเผาเป็นแบบเตาเดี่ยว ปริมาตรความจุของเตา 0.2 m^3

2) ชุดลดขนาด เป็นการลดขนาดวัตถุดิบโดยอาศัยหลักการแบบ Hammer mill และมีตะแกรงกรองขนาดของผงวัสดุทดสอบขนาด 20 mesh เพื่อให้ได้ตามมาตรฐานที่ตั้งไว้

3) ชุดผสมวัตถุดิบ เป็นการผสมแบบใช้สกรูใบเกลียวในการผสม โดยห้องผสมมีปริมาตรไม่น้อยกว่า 0.5 m^3 ในการผสมมีการควบคุมเวลาในการผสมด้วย Timer เพื่อให้ส่วนผสมในแต่ละครั้งมีความสม่ำเสมอ

4) ชุดเครื่องอัดแท่ง เป็นวิธีการแบบอัดเย็นด้วยสกรูอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm โดยรับแรงมาจาก Motor Ac 220 V 2,500 watt ส่งกำลังด้วยสายพานและกระบวนการตัดแท่ง ใช้กระบวนการ Pneumatic รับลมจากปั๊มลม ส่งกำลังไปยังกระบอกสูบ และตั้งระยะการตัดด้วย Limit Switch และชุดลดความชื้นเป็นลักษณะห้องอบให้ความร้อนด้วย Heater type K ส่งลมร้อนด้วย Blower เพื่อกระจายความร้อนให้ทั่วถึงเพื่อให้ได้ถ่านอัดแท่งที่มีความชื้นตามมาตรฐาน [8] สำหรับการนำเครื่องอัดแท่งแบบกึ่งอัตโนมัติเข้ามาใช้สามารถช่วยให้แท่งถ่านที่ได้มีความยาวสม่ำเสมอด้วย Limit Switch ที่ตัดด้วยกระบอกลม Pneumatic ซึ่งแบบเดิมผู้ผลิตใช้วิธีการกะระยะความยาวแล้วทำการหักแท่งถ่านด้วยมือ ทำให้แท่งถ่านมีความยาวไม่เท่ากัน ยากต่อการบรรจุหีบห่อ

2.2. การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบสำหรับการทดสอบ

ทุเรียนที่ใช้ในการทดสอบ 5 สายพันธุ์ มีแหล่งกำเนิดจากจ.จันทบุรี ประกอบด้วยสายพันธุ์หมอนทอง (รูปที่ 1 ก) สายพันธุ์ชะนี (รูปที่ 1ข) สายพันธุ์ก้านยาว (รูปที่ 1ค) สายพันธุ์พวงมณี (รูปที่ 1ง) และ สายพันธุ์กระดุม (รูปที่ 1จ) มีช่วงอายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 95-120 วัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวเฉลี่ยของทุเรียนในแต่ละสายพันธุ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

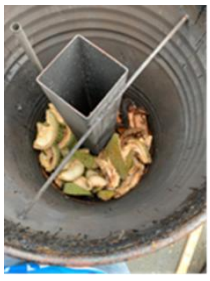
รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของทุเรียนทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ใช้ในการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างเปลือกทุเรียนแต่ละสายพันธุ์นำมาทำการชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าความชื้นก่อนทำการเผาลดความชื้น (รูปที่ 2)

รูปที่ 2 การนำเปลือกทุเรียนแต่ละสายพันธุ์มาทำการชั่งน้ำหนักและหาค่าความชื้นก่อนการทดสอบ

2.2.1. การเตรียมเปลือกทุเรียนสำหรับการเผาไล่ความชื้นเพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบในการอัดแท่งถ่าน

โดยทำการเผาด้วยเตาเผาแบบเตาเดี่ยวให้ความร้อนจากด้านล่างของเตา ปริมาตรความจุของเตา 0.2 m^3 มีช่องระบายควัน 3 ทิศทาง และมีช่องดักน้ำส้มควันไม้ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ เผาครั้งละ 50 กิโลกรัม เป็นเวลา 10 ชั่วโมง (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 เตาเผา และลักษณะภายในเตา

2.2.2. หลังจากผ่านกระบวนการเผาไล่ความชื้นเรียบร้อยแล้ว

นำเข้าสู่เครื่องบดย่อยลดขนาด โดยผงถ่านที่ได้มีความละเอียดมากกว่า 20 mesh ตามขนาดของตะแกรงที่กำหนด

2.2.3. จากนั้นเข้าสู่กระบวนการผสม

จากการทดสอบหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสำหรับการอัดแท่ง จากทั้งหมด 3 อัตราส่วนผสม คือ 1:1:0.5 1:0.5:0.5 และ 1:0.25:0.5 โดยน้ำหนัก พบว่าอัตราส่วนผสม ผงถ่าน : แป้งมัน : น้ำเปล่า ในอัตราส่วน 1:0.25:0.5 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมนี้เป็นอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดสำหรับการขึ้นรูป โดยสังเกตจากลักษณะทางกายภาพ และการจับตัวของส่วนผสมเป็นเวลา 15 นาที และทำการทดสอบอัดแท่งจากเครื่องอัดแท่ง ที่ให้ลักษณะการจับตัวของแท่งถ่านที่มีความแข็งแรง

2.2.4. นำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการอัดขึ้นรูป

กำหนดความเร็วรอบของเครื่องอัดแท่งถ่าน (รูปที่ 4) คือ 240, 290 และ 360 rpm ตามลำดับ โดยลักษณะของแท่งถ่านที่ผลิต (รูปที่ 4ง) มีลักษณะแท่งหกเหลี่ยม รูกลวงด้านใน 1 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ยาว 10 cm

(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 4 ลักษณะของเครื่องอัดแท่งถ่าน

การหาขนาดต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

$$I = \frac{P}{V} \times PF \times eff. \quad (1)$$

$$P = V \times I \times PF \times eff. \quad (2)$$

โดยที่

I = กระแสมอเตอร์ (A)

V = แรงดันไฟฟ้า (V)

P = กำลังไฟฟ้า (Watt)

PF = ตัวประกอบกำลังของมอเตอร์

eff. = ประสิทธิภาพของมอเตอร์

การหาอัตราทดและความเร็วรอบในการหมุนของสกรู

$$I = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

โดยที่

I = อัตราทด (rpm)

n_1 = ความเร็วรอบพูลเลย์ขับ (rpm)

n_2 = ความเร็วรอบพูลเลย์ตาม (rpm)

การหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ

$$Q = k\frac{\pi}{4}((D-d)^2 pnwC) \quad (4)$$

โดยที่

Q = อัตราขนถ่าย (kg h^{-1})

k = ประสิทธิภาพในการบรรจุวัสดุลงระหว่างเกลียว

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียว (cm)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาเกลียว (cm)

p = ระยะห่างระหว่างเกลียว (cm)

n = ความเร็วรอบ (rpm)

w = น้ำหนักกองวัสดุ (kg)

C = แฟคเตอร์ จากมุมเอียงตามแนวราบ = 1

จากการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมจำนวน 3 ความเร็วรอบ คือ 240, 290 และ 360 rpm ซึ่งมีช่วงความเร็วรอบในการอัดใกล้เคียงกับ [10] ที่มีช่วงความเร็วรอบ อยู่ในช่วง 200 – 500 rpm พบว่า การอัดแท่งถ่านด้วยความเร็วรอบของสกรูอัดที่ 290 rpm เป็นความเร็วรอบที่ให้ค่าความสามารถของเครื่องอัดและลักษณะทางกายภาพของแท่งถ่านได้ดีที่สุด โดยพูลเลย์ขับ (n_1) ขนาด 2 inch หมุนด้วยความเร็ว 1,450 rpm ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบด้วยการเปลี่ยนขนาดพูลเลย์ตัวตาม (n_2) เป็น 8, 10 และ 12 Inch ตามลำดับ ดังสมการที่ 3 และทำการทดสอบอัดวัตถุดิบเปลือกทุเรียนทั้ง 5 สายพันธุ์ๆ ละ 3 ซ้ำ เพื่อทำการประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่าน และหาค่าความสามารถของเครื่อง ดังสมการที่ (5) (6) (7) (8) และ (9) [11] ดังนี้

$$\text{Availability Rate (A)} = \frac{L}{T} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Performance Efficiency (P)} = \frac{N}{T} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{Quality Rate (Q)} = \frac{O}{q} \times 100 \quad (7)$$

$$OEE = \frac{A}{100} \times \frac{P}{100} \times \frac{Q}{100} \times 100 \quad (8)$$

$$\text{Capacity (C)} = \frac{c}{t} \quad (9)$$

โดยที่

T = เวลาที่เครื่องจักรอัดแท่งถ่าน (h)

L = เวลาการเดินเครื่องอัดแท่งถ่าน (h)

N = เวลาเดินเครื่องสุทธิ (h)

= (เวลาเดินเครื่องเปล่า - L)

O = จำนวนแท่งถ่านที่ได้ตามข้อกำหนด

q = จำนวนแท่งถ่านทั้งหมด (Rods)

OEE = Overall Equipment Effectiveness

c = น้ำหนักวัตถุดิบ (kg)

t = เวลาในการอัดแท่งถ่าน (h)

แล้วทำการเก็บและบันทึกผลข้อมูล เวลา น้ำหนัก ความชื้น และลักษณะทางกายภาพของแท่งถ่าน ดังสมการที่ (10) (11) และ (12)

$$\text{Mean } (\bar{X}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} xi}{n} \quad (10)$$

$$\text{Standard Deviation (S.D.)} = \sqrt{\frac{(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (11)$$

$$\text{Coefficient of Variation (C.V.)} = \frac{S.D.}{\bar{x}} \times 100 \quad (12)$$

โดยที่

$\sum_{i=1}^{n} xi$ = ผลรวมของข้อมูลจากการวัดแท่งถ่าน (ความยาว, ความกว้าง)

n = จำนวนแท่งถ่านทั้งหมด (Rods)

2.2.5. นำตัวอย่างที่ผ่านการอัดแล้วนำเข้าเครื่องอบ

เพื่อลดความชื้นโดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

รูปที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของแท่งถ่าน

2.2.6. หลังจากที่ผ่านกระบวนการอบลดความชื้นเรียบร้อยแล้ว

นำตัวอย่างทดสอบไปทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว ดังสมการที่ (13) (14) (15) (16) (17) และ (18) ตามลำดับ การคำนวณหาค่าความร้อน ตามมาตรฐาน (ASTM D5865) ทดสอบโดยวิธี Isoperibol โดยใช้สมการการหาค่า t ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างถูกต้อง โดยแทนค่าลงในสมการ ซึ่งทำการทดสอบเพื่อให้เป็นไปตาม มผช.238/2547

$$t = t_c - t_a - r_1(b-a) - r_2(c-b) \quad (13)$$

โดยที่

a = ช่วงเวลาที่ใช้ในการ ignite (min)

b = ช่วงเวลาที่อุณหภูมิ เพิ่มขึ้นร้อยละ 60 จากอุณหภูมิเริ่มต้น

c = เวลาเริ่มต้นของช่วงเวลาที่อุณหภูมิกลับมาคงที่ภายหลังการสันดาป (min)

t_a = อุณหภูมิขณะเริ่ม ignite

t_c = Correction Temperature ที่ c

r_1 = อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในช่วง 5 นาที ก่อนการ ignite

r_2 = อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่าง 5 นาทีจากเวลา c ถ้าอุณหภูมิ ลดลง r_2 จะเป็นค่าลบ ค่า [$-r_2$ (c-b)] จะเป็นบวก

นำตัวอย่างแท่งถ่านมาทำการคำนวณหาค่าความร้อนแบบ Normal หาค่า Gross heat of combustion [12] ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter โดยคำนวณค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงได้ ดังสมการ (14)

$$Q = \frac{TW-c_1-c_2-c_3}{m} \quad (14)$$

โดยที่

Q = ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงรวม (cal g^{-1})

W = ค่าสมมูลย์ทางพลังงานของแคลอรี่มิเตอร์ มีค่า (2,426 cal $^oc^{-1}$)

T = ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ($^\circ$c)

m = มวลของเชื้อเพลิงตัวอย่าง (g)

c_1 = ค่าความร้อนที่เกิดจากกรดไนตริก (cal cm^{-1})

c_2 = ค่าความร้อนที่เกิดจากกรดซัลฟูริก (cal cm^{-1})

c_3 = ค่าความร้อนที่เกิดจากลวดไฟฟ้า (cal cm^{-1})

นำแท่งชีวมวลมาทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน (ASTM D3173) ดังสมการ (15)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \quad (15)$$

โดยที่

A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

นำแท่งชีวมวลมาทำการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าโดยวิธีมาตรฐาน (ASTM D3174) ดังสมการ (16)

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(A-B)}{C} \times 100 \quad (16)$$

โดยที่

A = น้ำหนักของเถ้าและถ้วยกระเบื้อง (g)

B = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง (g)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g)

นำแท่งถ่านมาทำการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยตามมาตรฐาน (ASTM D3175) ดังสมการ (17)

$$\text{น้ำหนักตัวอย่างที่หายไป} = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \quad (17)$$

โดยที่

A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (g)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (g)

ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ) = น้ำหนักตัวอย่างที่หายไป (ร้อยละ) – ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

นำแท่งถ่านมาทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐาน (ASTM D3172) ดังสมการ (18)

ปริมาณคาร์บอนคงที่ (%) =
(ปริมาณความชื้น + ปริมาณเถ้า + ปริมาณสารระเหย) (18)

การวิเคราะห์ความหนาแน่น ดังสมการ (19)

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (19)$$

โดยที่

ρ = ความหนาแน่นของแท่งถ่าน (g cm^{-3})

m = มวลของแท่งถ่าน (g)

v = ปริมาตรของแท่งถ่าน (cm^3)

นำแท่งถ่านมาทำการหาประสิทธิภาพการใช้งาน เชิงความร้อน (หุงต้ม) [13] ดังสมการ (20)

$$HU = \frac{[m_1\ c\ (T_2-T_1\ ]+(m_1-m_2)L}{MH} x100 \qquad (20)$$

โดยที่

HU = ร้อยละประสิทธิภาพการใช้งาน

m_1 = น้ำหนักเริ่มต้นของน้ำ (g)

m_2 = น้ำหนักน้ำที่เหลือ (g)

c = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (1 cal $^oc^{-1}$)

L = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (540 cal g^{-1})

M = มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มต้น (g)

T_1 = อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น (^oc)

T_2 = อุณหภูมิของน้ำสุดท้าย (^oc)

H = ค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง (cal g^{-1})

และทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมวิเคราะห์การใช้เครื่องอัดแท่งถ่าน [14] ดังสมการ (21) และ (22)

ระยะเวลาคืนทุนกระบวนการอัดแท่งถ่าน (Pay-back period)

$$PBP = \frac{P}{R} \qquad (21)$$

โดยที่

PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (year)

P = ราคาเครื่องจักร (Baht)

R = กำไรสุทธิต่อปี (Baht $year^{-1}$)

จุดคุ้มทุนกระบวนการอัดแท่งถ่าน (Break-even point)

$$BEP = \frac{Fc}{B\text{-}Vc} \qquad (22)$$

โดยที่

BEP = จุดคุ้มทุน (h $year^{-1}$)

Fc = ค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht)

B = อัตราการรับจ้าง (Baht h^{-1})

Vc = ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Baht h^{-1})

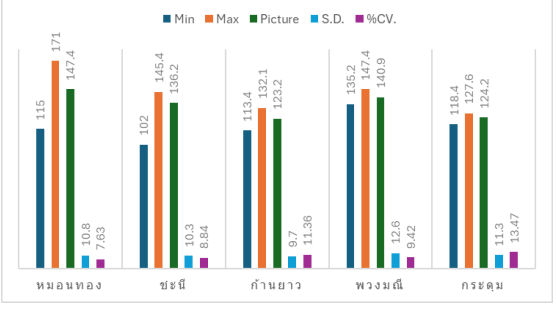
3. ผลการวิจัย

จากการทดสอบอัดแท่งถ่านจากทุเรียน 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วยสายพันธุ์หมอนทอง สายพันธุ์ชะนี สายพันธุ์ก้านยาว สายพันธุ์พวงมณี และสายพันธุ์กระดุม ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

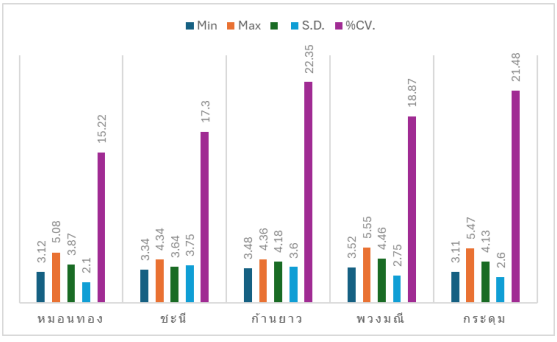
1) การเปรียบเทียบรายละเอียด ลักษณะทางกายภาพของแท่งถ่าน น้ำหนัก ความเร็ว และความสามารถในการอัดแท่งถ่าน จากการทดสอบแท่งถ่านจำนวน 300 แท่ง (รูปที่ 6-8)

2) ผลการทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4

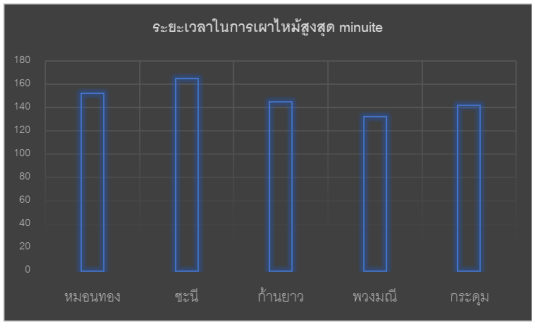
3) ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1



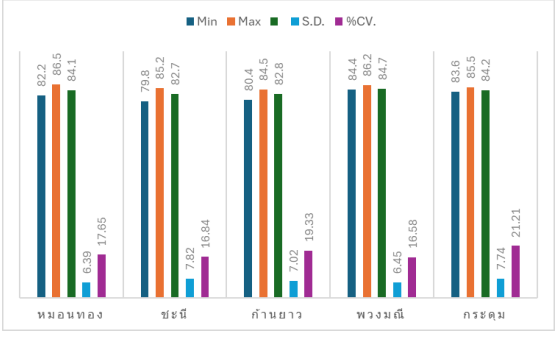
รูปที่ 6 น้ำหนักของแท่งถ่าน (g)



รูปที่ 7 ความเร็วเฉลี่ยของการอัดแท่งถ่าน (sec)

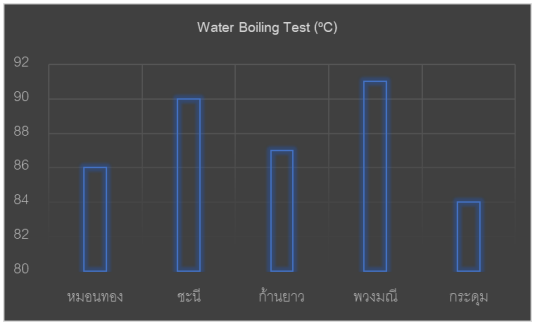


รูปที่ 10 ระยะเวลาในการเผาไหม้สูงสุด



รูปที่ 8 ความสามารถในการอัดแท่งถ่าน (Kg h^{-1})

จากผลการทดสอบต้มน้ำ 1,000 ml สามารถทำให้น้ำก่อนทำการต้มที่ 25 ºC (ควบคุมอุณหภูมิในห้องด้วยเครื่องปรับอากาศ) มีอุณหภูมิสูงสุด 91 ºC และมีระยะเวลาในการเผาไหม้สูงสุด 165 min (รูปที่ 9-10)



รูปที่ 9 อุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ได้จากการทดสอบด้วยถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนในแต่ละสายพันธุ์

ตารางที่ 1
อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิและเวลาในการต้มน้ำ เริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิของน้ำสูงสุด และลักษณะแท่งถ่านขณะเผาไหม้

Type	water maximum Temperature (ºC)	Time (min) Avg.	Temperature rise rate (ºC min^{-1}) Avg.	Characteristic while burning 1,000g $Time^{-1}$
หมอนทอง	86	26.30	3.26	ติดไฟง่าย เผาไหม้เร็ว
ชะนี	90	30.23	2.97	ติดไฟง่าย เผาไหม้เร็ว
ก้านยาว	87	28.66	3.03	ติดไฟง่าย เผาไหม้เร็ว
พวงมณี	91	32.18	2.82	ติดไฟง่าย เผาไหม้เร็ว
กระดุม	84	34.16	2.45	ติดไฟง่าย เผาไหม้เร็ว

4) การวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดแท่งถ่าน ซึ่งทำให้สามารถผลิตถ่านอัดแท่งออกมาได้ตามมาตรฐาน ทั้ง Performance and Quality รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2
Overall Machine Effectiveness (OEE)

Availability Rate (%)	Performance Efficiency (%)	Quality Rate (%)	OEE (%)
98.57	98.57	95.00	97.38

จากการทดสอบถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนทั้ง 5 สายพันธุ์ มีต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ประกอบด้วย อายุการใช้งานเครื่องจักร 10 ปี อัตราดอกเบี้ยรายปี ราคาขายเครื่องจักรต่อปี ค่าเสื่อมราคาร้อยละ 5 ต่อปี และค่าเสียโอกาสต่อปี มีต้นทุนผันแปร (Variable cost) ประกอบด้วย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน ค่าซ่อมบำรุง ค่าวัตถุดิบ ผลการประเมินความคุ้มค่าในการทำงานของเครื่องพบว่ามีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจักรรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3
ผลการประเมินความคุ้มค่าในการทำงาน

	PBP h year^{-1}	BEP h year^{-1}
หมอนทอง	835.42	209.06
ชะนี	855.43	214.40
ก้านยาว	853.97	214.04
พวงมณี	827.12	206.85
กระดุม	834.02	208.69

ตารางที่ 4
ผลการทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง

	Wbc	Wac	Mc	ρ	Hv	As	Vc	Fc
หมอนทอง	147.4	133.45	5.50	0.029	5327	3.11	39.36	52.03
ชะนี	136.2	123.20	6.02	0.031	5656	3.28	40.06	50.64
ก้านยาว	123.2	114.64	7.08	0.030	5632	4.16	38.10	50.66
พวงมณี	140.9	132.45	7.10	0.022	5235	3.87	39.99	49.04
กระดุม	124.2	112.21	7.35	0.013	5117	3.91	37.58	51.16

โดยที่

Wbc = Weight wet (g)

Wac = Weight dryness (g)

Mc = Moisture content (%)

ρ = Density (value (g cm^{-3})

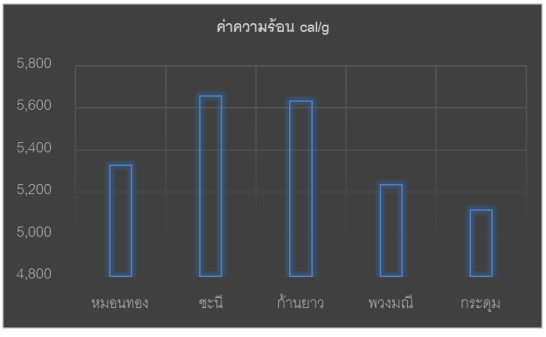
Hv = Heating value (cal g^{-1})

As = Ash content (%)

Vc = Volatile content (%)

Fc = Fixed Carbon content (%)

การเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนแต่ละสายพันธุ์ (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 ค่าความร้องของถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนแต่ละสายพันธุ์

4. อภิปรายผลการทดสอบ

จากการทดสอบอัดแท่งถ่านจากเปลือกทุเรียน ทั้ง 5 สายพันธุ์ นำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรในการคำนวณ พบว่า มีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจักรอยู่ที่ 105.14 day และ มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 210.60 h $year^{-1}$ ซึ่งแท่งถ่านที่ได้ทำการทดสอบทั้ง 5 ชนิด จากการเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้กับ เศษวัสดุทางการเกษตรชนิดอื่นๆ [15] พบว่ามีค่าความร้อนใกล้เคียงกับเศษวัสดุทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงให้ความร้อนทางเลือกให้กับเกษตรกรได้ และหากมีเศษวัสดุทางการเกษตรที่มีปริมาณมากพอก็สามารถผลิตแท่งเชื้อเพลิงถ่านแท่ง ในเชิงอุตสาหกรรมได้ โดยเกณฑ์มาตรฐานในการรับซื้อถ่านแท่ง [16] จะต้องมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 cal g^{-1} จากวัตถุดิบที่ทำการทดสอบมีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 5,117-5,656 cal g^{-1} หรือ 21,409-23,644 Kj kg^{-1} ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ [8] โดยอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานที่ซื้อขาย โดยน้ำหนักของถ่านอัดแท่ง ความเร็วในการอัดแท่ง และความสามารถในการอัดแท่ง ไม่ส่งผลต่อค่าพลังงานความร้อนแต่ส่งผลกับปริมาณที่ผลิตได้ หากมีการนำไปผลิตในเชิงอุตสาหกรรม แต่ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งส่งผลกับค่าความร้อนที่มีทิศทางสูงขึ้น โดยผลการทดสอบไปในทิศทางเดียวกันกับ [5-7] ที่มีค่าความร้อนมากกว่า 5,000 cal g^{-1} ซึ่งหากนำไปผลิตเชิงอุตสาหกรรมจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่งด้วย ทำให้เกิดการใช้ทรัพย์ยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ หากเปรียบเทียบกับการใช้งานเครื่องอัดแท่งถ่านในปัจจุบัน ที่ใช้การตัดแท่งแบบกะระยะและทำการหักแท่งถ่านด้วยมือ เครื่องอัดถ่านแท่งชุดนี้มีความสามารถในการตัดที่ทำให้แท่งถ่านมีความยาวสม่ำเสมอที่ 10 cm ทำให้งานต่อการบรรจุ อีกทั้งยังใช้แรงงานเพียง 1 คนในการทำงาน และมีกำลังการผลิตสูงถึง 692 kg day^{-1} หากเปรียบเทียบกับพลังงาน LPG ที่จำหน่าย 28.2 baht kg^{-1} ถ่านอัดแท่งถือว่ามีราคาถูกกว่ามากซึ่งมีราคาจำหน่ายที่ 15 baht kg^{-1} จึงทำให้การทำถ่านอัดแท่งมีความเหมาะสมสำหรับการจัดการเศษเปลือกทุเรียน สำหรับการเพิ่มมูลค่า

5. สรุปผลการทดสอบ

กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนทั้ง 5 สายพันธุ์ ลักษณะทางกายภาพขของแท่งถ่านมีลักษณะ หกเหลี่ยม กว้าง 5 cm ยาว 10 cm รูกลวงด้านใน 1 cm ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว เป็นไปตามมาตรฐาน มผช.238/2547 และ มีค่าความร้อน ระหว่าง 5,117-5,656 cal g^{-1}

เครื่องจักรมีกำลังการผลิตสูงสุด 86.5 kg h^{-1} หรือประมาณ 692 kg day^{-1} ทดสอบต้มน้ำสามารถทำให้น้ำ ปริมาตร 1000 ml มีอุณหภูมิสูงสุด 91 ºc ในช่วงระยะเวลา 26-34 minutes มีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจักรอยู่ที่ 105.14 day และมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 210.60 h $year^{-1}$ โดยถ่านอัดแท่งมีราคาถูกกว่าเชื้อเพลิง LPG ถึง 53.2 % หากมีการนำไปผลิตเชิงอุตสาหกรรม ก็สามารถเพิ่มรายรับ รวมถึงเพิ่มศักยภาพในการผลิตให้กับเกษตรกรหรือผู้ประกอบการ สำหรับการแข่งขันทางธุรกิจได้

6. กิตติกรรมประกาศ

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. สถานการณ์พลังงานปี 2566 และแนวโน้มปี 2567. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน; 2567.

[2] Irfan M, Zhao ZY, Panjwani MK, Mangi FH, Li H, Jan A, et al. Assessing the energy dynamics of Pakistan: Prospects of biomass energy. Energy Rep. 2020;6:80–93.

[3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2566. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2567.

[4] Ly TB, Trinh AM, Tran HP, Dang KN, Nguyen TD, Tran VT, et al. Evaluation of an operating durian shell charcoal briquette manufacturing line and development of a biorefinery process for higher value products. Energy. 2024;307:132727.

[5] Nuriana W, Anisa N, Martana. Synthesis preliminary studies durian peel bio briquettes as an alternative fuels. Energy Procedia. 2014;47:295–302.

[6] Rahmawati S, Santoso T, Sangkota VD, Abram PH. The utilization of durian peels (Durio zibethinus) for the manufacturing of charcoal briquettes as alternative fuel. J Nat Resour Environ Manag. 2023;13(1):76–87.

[7] Fahrulsyah F, Ningtyas KR, Agassi TN, Harahap MM. Evaluating the quality and added value of durian peel briquettes using tar waste as adhesive. Asian J Appl Res Community Dev Empowerment. 2023;7(3):183–9.

[8] ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์, ศิริวรรณ แก้วสวิง, อมรประภา ทิศกระโทก. การผลิตถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2563;39(5):580–6.

[9] บุญฤทธิ์ บัวระบัติ. เครื่องอัดแท่งชีวมวลจากเศษวัสดุทางการเกษตรแบบกึ่งอัตโนมัติ. วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ. 2565;8(1):21–31.

[10] พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น. การพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านในรูปแบบเกลียวอัดเย็นสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตกาแฟชุมชนและการหาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงจากผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. 2559;9(1):34–48.

[11] อนุศักดิ์ ฉิ่นไพศาล. การบำรุงรักษา. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2557. p.42–4.

[12] Department of Mechanical Technology. Fuel calorimetry test. Chanthaburi: Faculty of Agricultural Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok; 2025.

[13] Thanapol T. Community-based renewable energy from biomass briquettes fuel from coconut leaf. J Sci Technol. 2015;23(3):418–31.

[14] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการใช้เครื่องจักรกลเกษตรเบื้องต้น. ปทุมธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2563. p.2–5.

[15] นฤมล ภานุนำภา. การหาค่าความร้อนของไม้และถ่าน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: พี. เพรส จำกัด; 2553. p.34–52.

[16] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง. มผช.238/2547. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม; 2567.