

การศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้ง  
จากกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวยักษ์

**A STUDY ON THE PRODUCTION OF CHARCOAL BRIQUETTES  
FROM THE WASTE MATERIALS OF GIANT TAMARIND PROCESSING**

สรวิศ สอนสารี<sup>1</sup> และ จิตติพร เจาะจง<sup>2</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม  
156 หมู่ 5 ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000,

sorawitsonsaree@psru.ac.th

<sup>2</sup>อาจารย์, สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม  
156 หมู่ 5 ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000, Titiporn\_ant@psru.ac.th

Sorawit Sonsaree<sup>1</sup> and Titiporn Chorchong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology,  
Pibulsongkra Rajabhat University, 156 Village No.5, Plai Chumphon Subdistrict,  
Phitsanulok 65000, Thailand, sorawitsonsaree@psru.ac.th

<sup>2</sup>Lecturer, Department of Physics, Faculty of Science and Technology,  
Pibulsongkram Rajabhat University, 156 Village No.5, Plai Chumphon Subdistrict,  
Phitsanulok 65000, Thailand, Titiporn\_ant@psru.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยว  
ยักษ์ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมะขามเปรี้ยวยักษ์ ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก  
ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสม เปลือก/เมล็ด : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ เท่ากับ 1 : 0.05 : 0.5  
เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการอัดแท่ง เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้และคงรูป  
ได้ดี ภายใต้มาตรฐานทดสอบ ASTM คือ ค่าความร้อน (ASTM D3286) ปริมาณความชื้น (ASTM  
D3173) ปริมาณเถ้า (ASTM D3174) และปริมาณสารระเหย (ASTM D3175) เมล็ดมะขามเปรี้ยว  
ยักษ์เมื่อนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจะให้ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ  
ปริมาณสารระเหย เท่ากับ 6,468.14 cal/g, 0.09%, 5.04% และ 91.95% ตามลำดับ เปลือกมะขาม  
เปรี้ยวยักษ์เมื่อนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจะให้ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า  
และปริมาณสารระเหย เท่ากับ 6,812.73 cal/g, 0.05%, 6.19% และ 84.33% ตามลำดับ และเมื่อ

นำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแสดงให้เห็นว่าสามารถนำเปลือกและเมล็ดมะขามมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้งานได้

**คำสำคัญ:** ถ่านอัดแท่ง, ค่าความร้อน, มาตรฐาน ASTM, มะขามเปรี้ยวยักษ์

## ABSTRACT

This research explores the potential of transforming waste materials from the giant tamarind processing industry into valuable charcoal briquettes. The study focuses on the waste generated by the Giant Tamarind Community Enterprise Group in Wang Nok Aen Subdistrict, Wang Thong District, Phitsanulok Province. The study found that a 1 : 0.05 : 0.5 ratio of peel/seed, cassava flour, and water is optimal for compressing blocks, as it allows for good shaping and shape retention. Charcoal briquettes produced from giant tamarind seeds were characterized using ASTM test standards for heat value (D3286), moisture content (D3173), ash content (D3174), and volatile matter content (D3175). The analysis revealed respective values of 6,468.14 cal/g, 0.09%, 5.04%, and 91.95%. In contrast, charcoal briquettes derived from giant tamarind peels, tested under the same ASTM standards, exhibited a heat value of 6,812.73 cal/g, moisture content of 0.05%, ash content of 6.19%, and volatile matter content of 84.33%. These findings, when compared against relevant standard values, demonstrate the viability of both tamarind peels and seeds as biomass fuel sources.

**KEYWORDS:** Charcoal Briquettes, Heating Value, ASTM Standards, Giant Tamarind

## 1. บทนำ

การดำเนินงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก มีพันธกิจสำคัญประการหนึ่งคือการเป็นมหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น โดยมีพื้นที่รับผิดชอบ 2 จังหวัด คือ จังหวัดพิษณุโลก และ จังหวัดสุโขทัย ในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ นั้นในแต่ละปีมหาวิทยาลัยจะได้รับการจัดสรรงบประมาณที่เรียกว่า “งบยุทธศาสตร์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น” โดยในปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ได้ลงพื้นที่บริการวิชาการจังหวัดพิษณุโลก พบว่า ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก มีประชาชนประกอบอาชีพเกษตรกรรมโดยการปลูกต้นมะขามเปรี้ยวยักษ์เป็นจำนวนมาก และได้มีการรวมกลุ่มเกษตรกรเป็นวิสาหกิจชุมชน เพื่อแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจากมะขามเปรี้ยวยักษ์ เช่น มะขามเปียก มะขามคูลูก มะขามเปรี้ยวยักษ์แช่อิ่ม และ มะขามเปรี้ยวยักษ์แช่อิ่มอบแห้ง เป็นต้น [1,2] ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าวทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็น

เป็นเปลือกมะขามและเมล็ดมะขาม ซึ่งการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมักจะกำจัดโดยการเผา (เนื่องจากยังไม่ทราบว่าจะเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้งได้อย่างไร) จากกระบวนการนี้เองทำให้เกิดแนวความคิดที่จะเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวยักษ์ดังกล่าว

Dangton et al [3] ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่ง กรณีผสมและไม่ผสมแป้งเป็นตัวประสาน และให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนขณะอัดถ่าน จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง ประกอบไปด้วย ค่าความร้อน ค่าความชื้น และค่าความหนาแน่น ผลการศึกษาเมื่อผสมแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:1 และให้ความร้อนกระบอกอัดถ่าน 200 °C พบว่า กรณีผสมแป้งและให้ความร้อนกับกระบอกถ่าน จะมีค่าความร้อน 27 MJ/kg และค่าความชื้นร้อยละ 10.9 โดยน้ำหนัก ส่วนกรณีไม่ผสมแป้งและให้ความร้อน ค่าความร้อนที่ได้มีเท่ากับ 28.4 MJ/kg และมีความชื้นต่ำสุดร้อยละ 8.9 โดยน้ำหนัก Nunkong and Mekkaew [4] นำเปลือกมะพร้าวที่เป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งและใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสาน พบว่า อัตราส่วนเปลือกมะพร้าวต่อแป้งมัน 55 : 50 เหมาะสมที่สุดเนื่องจากทำให้ลักษณะภายนอกของถ่านมีผิวเรียบ มีสีดำสนิท มีค่าเฉลี่ยความชื้นคิดเป็นร้อยละ 4 เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของประเทศไทย ความหนาแน่นเฉลี่ย 0.16 g/cm<sup>3</sup> ค่าเฉลี่ยดัชนีการแตกร่วน 0.79 Jumpatam et al [5] ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่โดยการนำผงถ่านจากไม้ไผ่กับตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ) มาผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (ผงถ่าน : แป้งมัน : น้ำ) จากนั้นนำส่วนผสมไปอัดเป็นแท่งโดยใช้เครื่องอัดถ่านแบบเกลียวผลการศึกษาพบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 10.0 : 1.0 : 3.5 มีประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุด Surin et al [6] ศึกษาอัตราส่วนผสมการผลิตถ่านอัดแท่งและอุณหภูมิสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง ส่วนผสมจะเป็นอัตราส่วนผสมการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้งร่วมกับผงถ่าน แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปถ่านด้วยเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวยและตากแห้งถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมเศษหน่อไม้ : ผงถ่าน : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ คือ 300 : 2,500 : 500 : 2,500 สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 70 °C ช่วงเวลาที่ให้ความร้อนสูงสุด 80 นาที คิดเป็นเวลารวมในการเผาไหม้ 135 นาที Sama et al [7] ทดสอบหาค่าสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากผักตบชวา พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาต่อกะลามะพร้าว 50 : 50 โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยมีค่าความร้อน 5,659.45 cal/g ค่าความหนาแน่น 0.701 g/cm<sup>3</sup> ค่าดัชนีการแตกร่วนร้อยละ 0.92 ค่าความชื้นร้อยละ 47 และค่าอัตราการเผาไหม้ 1.21 ชั่วโมง ซึ่งสามารถนำถ่านอัดแท่งนี้ไปประยุกต์ใช้ในการประกอบการต่าง ๆ ที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงได้ Wilaipon et al [8] ศึกษาอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษถ่านจากกระบวนการเผาอิฐมอญ พบว่า อัตราส่วนของผงถ่านร้อยละ 49 น้ำร้อยละ 49 และแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 2 ส่งผลให้ถ่านอัดแท่งให้ความร้อนดีที่สุด 6,726 cal/g (ใช้เวลาในการทำ

ให้น้ำเดือดสั้นที่สุด) จากผลการศึกษางานวิจัยข้างต้นยังพบอีกว่า คุณสมบัติสำคัญ 4 ประการ ที่ควรนำมาเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งสำหรับการบึ่งย่างจากพื้นฐานของคุณค่าที่ส่งมอบให้ลูกค้า คือ ให้ความร้อนนาน ไม่แตกตัว มีกลิ่นหอม และไม่มีสารพิษเจือปน [9]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า สามารถนำเอาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าโดยทำถ่านอัดแท่งได้ [10] แต่อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงอัตราส่วนผสมที่มีความเหมาะสมในการทำถ่านอัดแท่ง และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงดังกล่าว [8, 11-15] สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวยักษ์ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ประกอบการได้ทราบถึงคุณค่าและความเป็นไปได้ในการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งในกระบวนการผลิต ที่ซึ่งจะช่วยลดของเสียจากกระบวนการผลิตและเพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรได้อีกด้วย โดยในการศึกษาจะเป็นการหาอัตราส่วนผสมในการทำถ่านอัดแท่งที่เหมาะสม การศึกษาหาค่าความร้อน (Heating value) (มาตรฐาน ASTM D3286) ความชื้น (Moisture) (ตามมาตรฐาน ASTM D3173) ปริมาณเถ้า (Ash) (มาตรฐาน ASTM D3174) และปริมาณสารระเหย (Volatile matter) (มาตรฐาน ASTM D3175) ของเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ถ่าน คือ ไม้ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้จากการแยกสารอินทรีย์ภายในไม้ในสภาวะจำกัดอากาศ โดยในกระบวนการให้ความร้อน จะช่วยให้สามารถกำจัดน้ำมัน น้ำมันดิน และสารประกอบอื่น ๆ จากไม้ได้ ซึ่งสารประกอบโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วย คาร์บอน (80%) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (10-20%) เถ้า (0.5-10%) และแร่ธาตุต่างๆ เช่น กำมะถัน และฟอสฟอรัส [16]

ถ่านอัดแท่ง เป็นการนำแท่งฟืนไม้มาเผาเป็นถ่าน หรือนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง (เชื้อเพลิงเขียว) โดยการอัดแท่งเป็นการใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็ก ๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นขึ้น ซึ่งการทำเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งประกอบด้วยการใช้แรงดันแก้มวลของอนุภาค อาจมีการใช้ตัวประสานหรือไม่มีการใช้ตัวประสานก็ได้เพื่อให้มวลรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี [11]

การทดสอบถ่านอัดแท่ง เป็นการประเมินคุณภาพและองค์ประกอบสำคัญของเชื้อเพลิง โดยจะวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) [11]

## 3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวยักษ์ โดยวัสดุเหลือทิ้งที่ให้ความสนใจประกอบไปด้วยเมล็ดและเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ การศึกษาจะนำวัสดุเหลือทิ้งทั้ง 2 ชนิด มาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง จากนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์

คุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อจะได้ทราบถึงความเหมาะสมของการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ โดยอุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงได้ดังนี้

### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) เปลือก และ เมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวยักษ์ของกลุ่มเกษตรกรมะขามเปรี้ยวยักษ์ ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก (รูปที่ 1(a) และรูปที่ 1(b))

(2) กาวแบ่งเปียก สำหรับใช้เป็นตัวประสานในการทำถ่านอัดแท่ง

(3) ตะแกรงร่อนขนาด 140  $\mu\text{m}$  ใช้สำหรับร่อนเปลือก และเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ ที่ผ่านการบดก่อนที่จะนำไปทดสอบตามกระบวนการต่าง ๆ (รูปที่ 1(c))

(4) เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง สามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ทำการอัดแท่งด้วยกรรมวิธีอัดเย็น เชื้อเพลิงอัดแท่งจะมีรูปทรงหกเหลี่ยม เส้นผ่านศูนย์กลาง 45 mm มีรูระบายอากาศตรงกลางเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15 mm ความยาว 70-100 mm (รูปที่ 1(d))

(5) เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ IKA รุ่น C5000 มีความแม่นยำในการวิเคราะห์แบบ Adiabatic และ Isoperibol ที่ 0.05%RSD ค่าความร้อนสูงสุดที่สามารถวัดได้ 40,000 Joule หรือ 17,197 BTU/LB และมีความแม่นยำในการวิเคราะห์  $\pm 0.1\%$  ใช้สำหรับตรวจวัดวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (รูปที่ 1(e))

(6) ถ้วยครุฑิเบิล (Crucible) เป็นภาชนะสำหรับใส่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเผา (รูปที่ 1(f))

(7) เตาเผาอุณหภูมิสูง ยี่ห้อ Cabolite รุ่น LEF Series รหัส MF-002 ใช้สำหรับการให้ความร้อน การเผา และการเผาเถ้า (รูปที่ 1(g))

(8) เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA413 ใช้วัดน้ำหนักของวัสดุทดสอบ (รูปที่ 1(h))

(9) ตู้ดูดความชื้น Desiccator Cabinet แบบใช้ Silica gel Model DE-57 ใช้สำหรับเก็บรักษาวัสดุ/อุปกรณ์ที่ไวต่อความชื้น (รูปที่ 1(i))

(10) เครื่องบด ใช้สำหรับบดเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ (รูปที่ 1(j))



(a) เปลือกมะขาม



(b) เมล็ดมะขาม



(c) ตะแกรงร่อน



(d) เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง



(e) เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์



(f) ถ้วยคุชเชิล



(g) เตาเผาอุณหภูมิสูง



(h) เครื่องชั่งน้ำหนัก



(i) ตู้ดูดความชื้น



(j) เครื่องบด

รูปที่ 1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2 การเตรียมการทดสอบ

(1) เตรียมตัวอย่างเปลือก และเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ แบบไม่เผา (แสดงดังรูปที่ 1(a) และ 1(b)) และแบบเผา (แสดงดังรูปที่ 2)

(2) กรณี “ไม่เผาเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์” (โดยกระบวนการนี้จะทำให้ทราบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพเหมาะกับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนได้หรือไม่)

- นำเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์บดให้ละเอียด
- นำมาทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง ประกอบไปด้วย ความร้อน ความชื้น เถ้า และสารระเหย

(3) กรณี “เผาเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์”

- นำเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์เผาให้เป็นถ่านในถัง 200 ลิตร และนำไปบดให้ละเอียด
- นำมาทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง ประกอบด้วย ความร้อน ความชื้น เถ้า และสารระเหย
- ถ่านที่บดละเอียดจะถูกนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากนั้นจะนำไปทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง

(4) วิเคราะห์ผลการทดสอบ



(a) เปลือก



(b) เมล็ด

รูปที่ 2 ตัวอย่างเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ (เผา)

### 3.3 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM

#### 3.3.1 การหาค่าความร้อนตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3286

- (1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.5 g
- (2) ทดสอบด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

### 3.3.2 การหาค่าปริมาณความชื้นตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173

- (1) นำถ้วยครุชชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วยครุชชีเบลพร้อมฝาปิดและบันทึกค่าน้ำหนัก
- (2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 g ใส่ในถ้วยครุชชีเบลพร้อมฝาปิดบันทึกค่าน้ำหนัก
- (3) อบตัวอย่างในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำไปไว้ในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักหลังอบ และคำนวณค่าความชื้นตามสมการ (1)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)}} \times 100 \quad (1)$$

### 3.3.3 การหาค่าปริมาณเถ้าตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174

- (1) นำถ้วยครุชชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น จากนั้นชั่งถ้วยครุชชีเบลพร้อมฝาปิดและบันทึกน้ำหนัก
- (2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 g ใส่ในถ้วยครุชชีเบลพร้อมฝาปิด จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก
- (3) นำถ้วยครุชชีเบลที่ใส่ตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- (4) นำถ้วยออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณปริมาณเถ้าตามสมการ (2)

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักของเถ้าและถ้วยครุชชีเบล (g)} - \text{น้ำหนักของถ้วยครุชชีเบล (g)})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g)}} \times 100 \quad (2)$$

### 3.3.4 การหาค่าปริมาณสารระเหยตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175

- (1) นำถ้วยครุชชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น จากนั้นชั่งถ้วยครุชชีเบลพร้อมฝาปิดและบันทึกน้ำหนัก
- (2) นำตัวอย่างไปชั่ง 1 g ใส่ในถ้วยครุชชีเบลพร้อมฝาปิด จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก
- (3) นำถ้วยครุชชีเบลที่ใส่ตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 7 นาที
- (4) นำถ้วยครุชชีเบลออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักหลังเผา โดยปริมาณสารระเหย (ร้อยละ) คำนวณได้จากสมการ (3)

$$\text{ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)} = \text{น้ำหนักที่หายไป (ร้อยละ)} - \text{ความชื้น (ร้อยละ)} \quad (3)$$

#### 4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวยักษ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวที่จะถูกใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาว่ามีความเหมาะสมในการเพิ่มมูลค่าด้วยการนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่งหรือไม่ ผลการศึกษาสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

##### 4.1 สมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ (กรณีไม่อัดแท่ง)

จากการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ได้แก่ ค่าความร้อน (Heating value) (มาตรฐาน ASTM D3286) ความชื้น (Moisture) (ตามมาตรฐาน ASTM D3173) ปริมาณเถ้า (Ash) (มาตรฐาน ASTM D3174) และปริมาณสารระเหย (Volatile matter) (มาตรฐาน ASTM D3175) สามารถแสดงผลวิจัยได้ดังนี้

###### 4.1.1 กรณีไม่เผา

ผลการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ตามมาตรฐาน ASTM น้ำหนักในการทดลอง 1 g (แสดงดังตารางที่ 1) พบว่า ค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 4,484.98 cal/g ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย เท่ากับ 0.18, 2.42 และ 97.84% ตามลำดับ ผลการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ตามมาตรฐาน ASTM น้ำหนักในการทดลอง 1 g (แสดงดังตารางที่ 1) พบว่า ค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 4,305 cal/g ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย เท่ากับ 0.18, 2.30 และ 97.22% ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ (กรณีไม่เผา)

| รายการ                           | มาตรฐานวิเคราะห์ | หน่วย | เปลือก [17] | เมล็ด   |
|----------------------------------|------------------|-------|-------------|---------|
| ค่าความร้อน (Heating value)      | ASTM D 3286      | cal/g | 4,484.98    | 4305.33 |
| ปริมาณความชื้น (Moisture)        | ASTM D 3173      | %     | 0.18        | 0.18    |
| ปริมาณเถ้า (Ash)                 | ASTM D 3174      | %     | 2.42        | 2.30    |
| ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) | ASTM D 3175      | %     | 97.84       | 97.22   |

จากการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ (กรณีไม่เผา) ที่อัตราส่วน 1 g เท่ากัน พบว่า (1) ค่าความร้อนของเปลือกมะขาม (4,484.98 cal/g) มากกว่าค่าความร้อนของเมล็ดมะขาม (4,305.33 cal/g) เนื่องจากเปลือกมะขามมีความสามารถเผาไหม้ได้ดีกว่าเมล็ดมะขาม (เถ้าของเปลือกมะขามเหลือน้อยกว่าเมล็ดมะขาม) (2) ค่าความชื้นของ

เปลือกมะขามและเมล็ดมะขามมีค่าความชื้นที่เท่ากัน (3) ค่าปริมาณสารระเหยของเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ พบว่า ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามและเมล็ดมะขามมีค่าที่สูง เนื่องจากเปลือกมะขามและเมล็ดมะขามมีองค์ประกอบทางเคมี เมื่อเกิดการเผาไหม้จะปลดปล่อยสารระเหยออกมาอยู่ในสถานะก๊าซ ซึ่งปริมาณสารระเหยจะมีผลต่อค่าความร้อนเมื่อเชื้อเพลิงที่มีปริมาณสารระเหยสูงจะทำให้ค่าความร้อนที่ได้สูงขึ้นและปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามและเมล็ดมะขามก็สูงถึง 97.84 และ 97.22% ตามลำดับ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตถ่านอัดแท่ง (4) ปริมาณเถ้า จากการทดลองพบว่า ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงจากเปลือกและเมล็ดมะขามผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณสมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งตามมาตรฐานกำหนดปริมาณเถ้าไม่ควรสูงกว่า 20% เมื่อเทียบกับผลการศึกษาปริมาณเถ้าที่ได้ของเชื้อเพลิงเปลือกมะขามและเมล็ดมะขาม 2.42 และ 2.30% ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อปริมาณเถ้าต่ำจึงเหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

#### 4.1.2 กรณีเผา

ผลการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ตามมาตรฐาน ASTM น้ำหนักในการทดลอง 1 g (แสดงดังตารางที่ 2) พบว่า ค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 6,737.98 cal/g ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย เท่ากับ 0.14, 7.74 และ 83.90% ตามลำดับ ผลการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ตามมาตรฐาน ASTM น้ำหนักในการทดลอง 1 g (แสดงดังตารางที่ 2) พบว่า ค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 6,328.36 cal/g ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย เท่ากับ 0.10, 5.26 และ 93.59% ตามลำดับ

ตารางที่ 2 สมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ (กรณีเผา)

| รายการ                           | มาตรฐานวิเคราะห์ | หน่วย | เปลือก [17] | เมล็ด    |
|----------------------------------|------------------|-------|-------------|----------|
| ค่าความร้อน (Heating value)      | ASTM D 3286      | cal/g | 6,737.98    | 6,328.36 |
| ปริมาณความชื้น (Moisture)        | ASTM D 3173      | %     | 0.14        | 0.10     |
| ปริมาณเถ้า (Ash)                 | ASTM D 3174      | %     | 7.74        | 5.26     |
| ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) | ASTM D 3175      | %     | 83.90       | 93.59    |

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ (กรณีเผา) พบว่า (ก) เชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกและเมล็ดมะขามมีค่าความร้อนสูงกว่าค่าความร้อนตามมาตรฐาน (ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g) คือ 6,737.98 และ 6,328.36 cal/g ตามลำดับ ดังนั้นค่าความร้อนที่ได้แสดงให้เห็นว่า

เชื้อเพลิงดังกล่าวเหมาะสมที่จะนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง (ข) ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกและเมล็ดมะขามมีค่าความชื้นน้อยกว่าค่าความชื้นตามมาตรฐาน (ASTM E 3173) (ต้องไม่เกินร้อยละ 10) คือ 0.14 และ 0.10% ตามลำดับ ดังนั้นค่าความชื้นที่ได้แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงดังกล่าวเหมาะสมที่จะนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง (ค) ปริมาณสารระเหยจะมีผลต่อค่าความร้อนโดยเชื้อเพลิงที่มีปริมาณสารระเหยสูงจะทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้สูง ซึ่งจากผลการศึกษาข้างต้นปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกมะขาม (93.59%) มีค่าสูงกว่าปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกมะขาม (83.90%) และทั้งสองวัสดุมีความเหมาะสมที่จะนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง (ง) ปริมาณเถ้าตามมาตรฐานกำหนดปริมาณเถ้าไม่ควรสูงกว่า 20% ซึ่งจากผลการศึกษาข้างต้นเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกและเมล็ดมะขามมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 7.74 และ 5.26% ตามลำดับ ดังนั้นทั้งสองวัสดุเหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

#### 4.2 สมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ (แบบอัดแท่งเผา)

การผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะขามและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ที่ใช้กาวแบ่งเปียกเป็นตัวประสาน อัดแท่งด้วยวิธีอัดแบบเย็น พบว่า อัตราส่วนผสม (เปลือก/เมล็ด : แบ่ง : น้ำ) ที่ 1 : 1 : 1 และ 1 : 1 : 0.5 ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากอัตราส่วนผสมดังกล่าวมีกาวแบ่งเปียกเยอะเกินไป จึงทำให้เครื่องอัดถ่านไม่สามารถผลิตถ่านได้ เนื่องจากมีถ่านติดไม่สามารถออกจากเกลียวได้ อัตราส่วนผสม 1 : 0.05 : 0.5 เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการอัดแท่ง เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้และคงรูปได้ดี ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า เมื่ออัตราส่วนตัวประสานลดลงจะทำให้ไม่สามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงไม่สามารถคงรูปได้ แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวประสานมากขึ้นจะทำให้เครื่องอัดถ่านไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากตัวประสานมากเกินไปจึงทำให้เกลียวของเครื่องอัดถ่านติด และยังส่งผลต่อสมบัติทางเชื้อเพลิงทำให้มีปริมาณความชื้นที่สูงขึ้น และส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำลง โดยลักษณะเชื้อเพลิงของเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์อัดแท่ง มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกแสดงดังรูปที่ 3

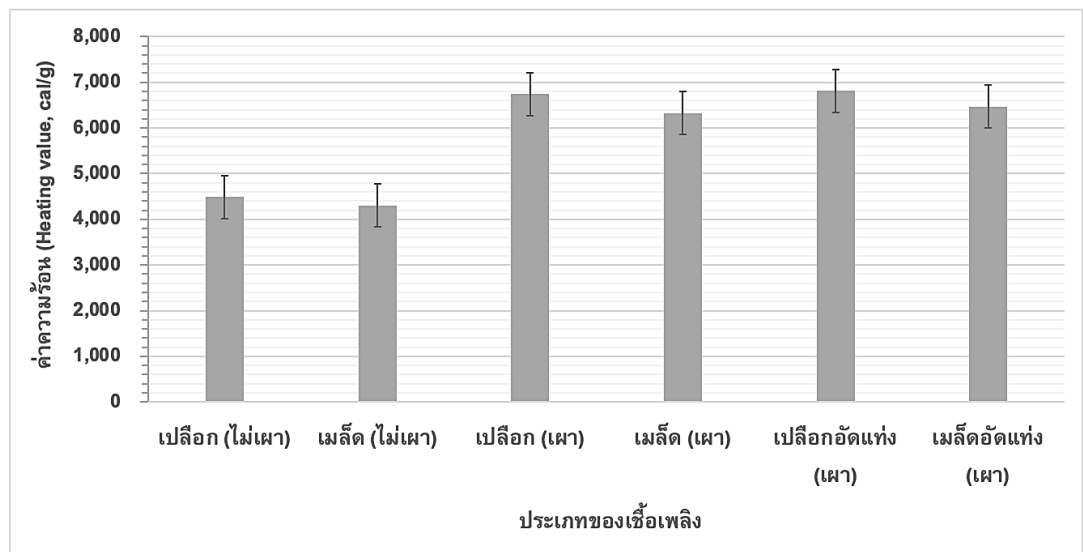


รูปที่ 3 เชื้อเพลิงของเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์อัดแท่ง

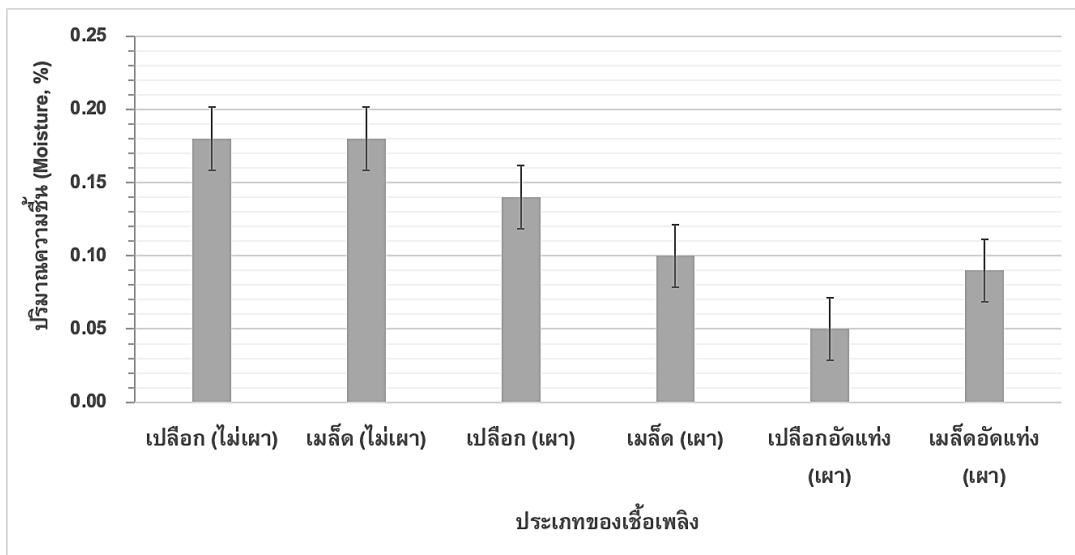
ผลการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ตามมาตรฐาน ASTM น้ำหนักในการทดลอง 1 g (แสดงดังตารางที่ 3) พบว่า ค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 6,812.73 cal/g ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย เท่ากับ 0.05, 6.19 และ 84.33% ตามลำดับ ผลการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ตามมาตรฐาน ASTM น้ำหนักในการทดลอง 1 g (แสดงดังตารางที่ 3) พบว่า ค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 6,468.14 cal/g ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณสารระเหย เท่ากับ 0.09, 5.04 และ 91.95% โดยผลการศึกษายังสามารถนำมาแสดงผลเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 7

ตารางที่ 3 สมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ (กรณีแบบอัดแห้งเผา)

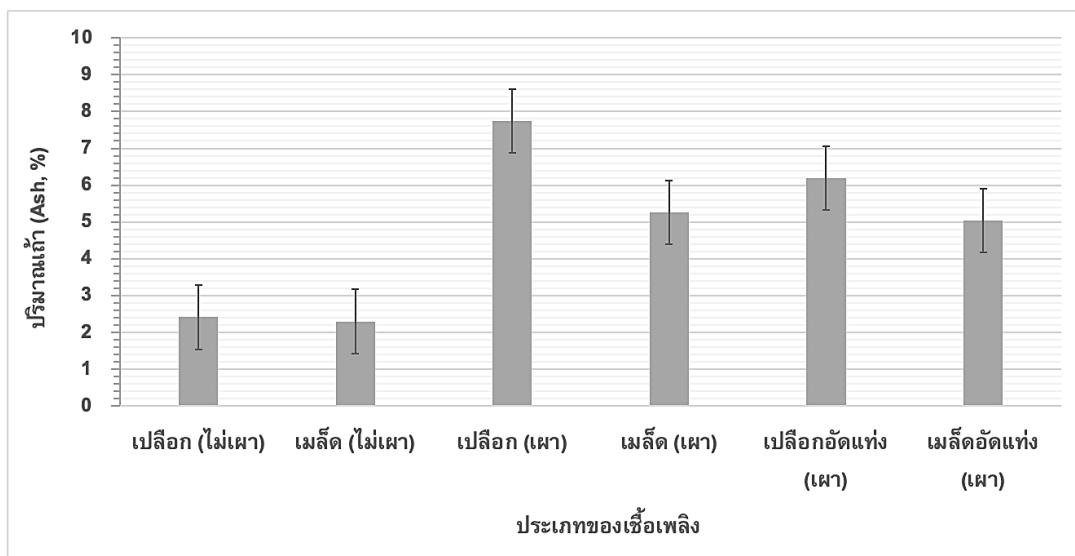
| รายการ                           | มาตรฐานวิเคราะห์ | หน่วย | เปลือก [17] | เมล็ด    |
|----------------------------------|------------------|-------|-------------|----------|
| ค่าความร้อน (Heating value)      | ASTM D 3286      | cal/g | 6,812.73    | 6,468.14 |
| ปริมาณความชื้น (Moisture)        | ASTM D 3173      | %     | 0.05        | 0.09     |
| ปริมาณเถ้า (Ash)                 | ASTM D 3174      | %     | 6.19        | 5.04     |
| ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) | ASTM D 3175      | %     | 84.33       | 91.95    |



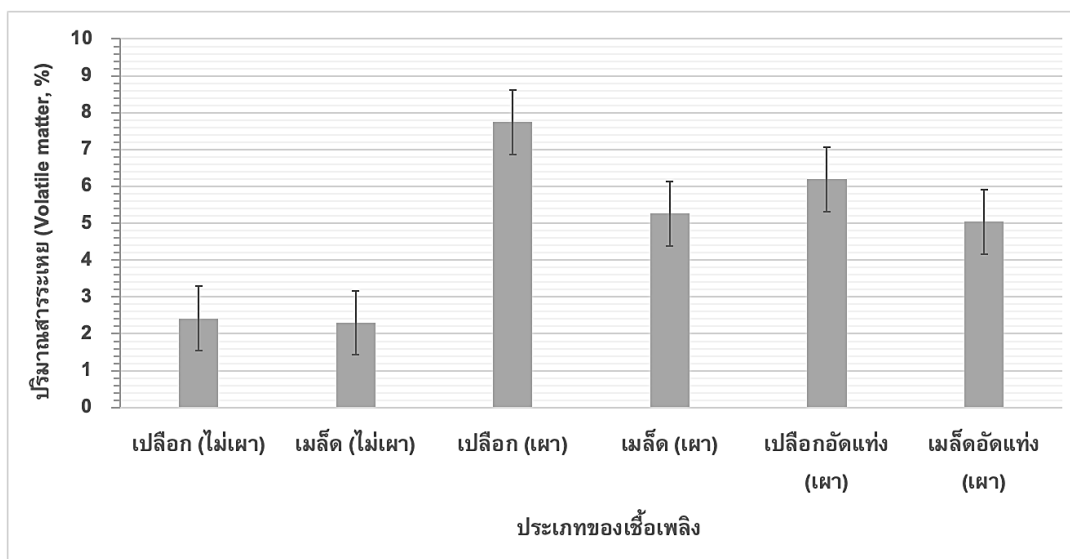
รูปที่ 4 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (cal/g)



รูปที่ 5 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิง (%)



รูปที่ 6 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิง (%)



รูปที่ 7 ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิง (%)

จากรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 7 เมื่อนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (แสดงดังตารางที่ 4) พบว่า (1) เชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกและเมล็ดมะขามมีค่าความร้อนสูงกว่าค่าความร้อนตามมาตรฐาน (ASTM D 3286) (ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g) คือ 6,812.73 และ 6,468.14 cal/g ตามลำดับ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของถ่านชนิดอื่น พบว่า มีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากต้นถั่วเหลือง ที่มีค่าประมาณ 5,087 cal/g [18] และถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวที่ผสมกับเหง้ามันสำปะหลัง ที่มีค่าระหว่าง 4,514–6,588 cal/g [19] ดังนั้นค่าความร้อนที่ได้แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงดังกล่าวเหมาะสมที่จะนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง (2) ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกมะขามและเมล็ดมะขามมีค่าความชื้นน้อยกว่าค่าความชื้นตามมาตรฐาน (ASTM D 3173) (ต้องไม่เกินร้อยละ 10) คือ 0.05 และ 0.09% ตามลำดับ ดังนั้นค่าความชื้นที่ได้แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงดังกล่าวเหมาะสมที่จะนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง (และมีค่าผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่งที่กำหนดว่าปริมาณความชื้นไม่เกิน 8% [20] ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นมีผลโดยตรงต่อค่าความร้อน การเกิดเชื้อรา ประกอบกับหากแท่งเชื้อเพลิงมีความชื้นมาก จะทำให้การสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยในระหว่างการเผาไหม้ ส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้ลดต่ำลง [21]) (3) ปริมาณสารระเหยจะมีผลต่อค่าความร้อนโดยเชื้อเพลิงที่มีปริมาณสารระเหยสูง จะทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้สูง ซึ่งจากผลการศึกษาข้างต้นปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงถ่านจากเมล็ดมะขาม (91.95%) มีค่าสูงกว่าปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกมะขาม (84.33%) และทั้งสองวัสดุมีความเหมาะสมที่จะนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง (4) ปริมาณเถ้าตามมาตรฐานกำหนดปริมาณเถ้าไม่ควรสูงกว่า 20% ซึ่งจากผลการศึกษาข้างต้นเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกและเมล็ดมะขามมีปริมาณ

เท่ากับ 6.19 และ 5.04% ตามลำดับ ดังแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวัสดุเหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

**ตารางที่ 4** ค่าความร้อน ความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน [22]

| รายการ<br>ค่ามาตรฐาน             | ค่ามาตรฐาน  |             | หน่วย |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------|
|                                  | แบบไม่เผา   | แบบเผา      |       |
| ค่าความร้อน (Heating value)      | >3,000      | >5,000      | cal/g |
| ปริมาณความชื้น (Moisture)        | 20          | 8           | %     |
| ปริมาณเถ้า (Ash)                 | 25          | 10          | %     |
| ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) | ควรมีค่าสูง | ควรมีค่าสูง | %     |

## 5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวยักษ์ โดยผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ผลการศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ พบว่า เปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์เมื่อนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจะให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 6,812.73 และ 6,468.14 cal/g ตามลำดับ

(2) เมื่อพิจารณา ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณสารระเหย พบว่า เปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์มีผลการทดสอบอยู่ภายใต้มาตรฐานการทดสอบของ ASTM หรืออาจกล่าวได้ว่า สามารถนำเปลือกและเมล็ดมะขามมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้งานได้

(3) อัตราส่วนผสม เปลือก/เมล็ด : แบริ่งมันสำปะหลัง : น้ำ เท่ากับ 1 : 0.05 : 0.5 เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการอัดแท่ง เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้และคงรูปได้ดี ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า เมื่ออัตราส่วนตัวประสานลดลงจะทำให้ไม่สามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงไม่สามารถคงรูปได้ แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวประสานมากขึ้นจะทำให้เครื่องอัดถ่านไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากตัวประสานมากเกินไปจึงทำให้เกิดยวบยิต และยังส่งผลต่อสมบัติทางเชื้อเพลิงทำให้มีปริมาณความชื้นที่สูงขึ้น และส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำลง

(4) กลุ่มเกษตรกรสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปมะขามเปรี้ยวยักษ์มาเพิ่มมูลค่าโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งได้ ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดของเสียระหว่างกระบวนการผลิตแล้ว ยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามควรศึกษาผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการผลิตถ่านอัดแท่ง ประกอบกับควรมี

การศึกษางานวิจัยต่าง ๆ เพิ่มเติม เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติของเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวประสานแทนแป้ง (กาวแป้งเปียก)

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้

### References

- [1] Sonsaree S, Boonthum E, Kaewcharoen E, Jaiton W, Lephon W, Wongsiriwittaya M. Solving poverty through academic service solar drying machine: giant sour tamarind farmers group Phitsanulok province. RMUTL Journal Socially of Engaged Scholarship 2019;3(2):33-41. (In Thai)
- [2] Sonsaree S, Boonthum E, Kaewcharoen E, Lephon W, Wongsiriwittaya M, On-ai K, et al. The increased benefit of the giant sour tamarind farmers group in Phitsanulok province by solar dryers. Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal 2021;3(2):93-103. (In Thai)
- [3] Dangton W, Wongniyom A, Premprayoon K, Jeepetch V, Thongyothee S. Effects of starch and heat on the characteristics and properties of charcoal briquettes. Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University 2023;1(2):1-7. (In Thai)
- [4] Nunkong W, Mekkaew K. Charcoal briquettes from coconut coir. Academic Journal of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University 2023;1(1):1-11. (In Thai)
- [5] Jumpatam J, Laorach L, Arayangkun P, Arayangkun S. Study of the optimal ratios and properties of charcoal briquettes from Bamboo. Agriculture and Technology Journal 2022;3(3):81-93. (In Thai)
- [6] Surin P, Tumjinda C, Komkirin N, Chaliew A. The production of charcoal briquettes from waste bamboo shoots. Vacation Education Innovation and Research Journal 2021;5(2):13-20. (In Thai)
- [7] Sama A, Lenu N, Jarawae R. The development of briquette from water hyacinth. Proceedings of the National Conference on Science and Social Sciences, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University; 2017 Feb 13-14; Nakhon Si Thammarat. p. 187-96. (In Thai)

- [8] Wilaipon P, Chareonsawan P, Srihawong N, Menkoed C, Prakobkasikorn P, Kumboon P. Briquette ratio investigation of charcoal briquette produced from brick-burning-process residual charcoal. RMUTL Engineering Journal 2019;4(1):43-50. (In Thai)
- [9] Sookcharoen W, Srasrisom K, Timdang P. The guidelines for development of charcoal briquettes based on the customer value proposition. Journal of Srivanalai vijai Humanities & Social Sciences 2023;13(1):1-13. (In Thai)
- [10] Susanto A, Yanto T. Biocharcoal briquettes from oil palm shells and empty fruit bunches. Jurnal Teknologi Hasil Pertanian 2013;6(2):68-81.
- [11] Wachaisi A, Sriporaya K, Promcham W, Nuchuay P, Sangchaisri S, Seawsakul K, et al. Charcoal briquette production process from industrial waste charcoal. Science Journal, Chandrakasem Rajabhat University 2022;32(2); 87-94. (In Thai)
- [12] Madmanang R, Jijai S, Muadchim M, Pradabphetrat P, Kaewmanee J, Yamirudeng K. The utilization of durian peels and spent coffee grounds to produce briquette charcoal. Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology 2023;15(29):249766. (In Thai)
- [13] Yoddamnern T, Yotwinyuwong S. Development of charcoal briquette from the cane leaves and the bagasse to community enterprise. Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College 2020;7(2):12-24. (In Thai)
- [14] Boonchom K, Chaisompan N. Study of charcoal briquette from longan wood. Naresuan Phayao Journal 2020;13(2):51-6. (In Thai)
- [15] Jirawongnusun S, Charoensuk C. The study on the production of charcoal briquettes from pomelo peels. Kasem Bundit Engineering Journal 2022;12(1):55-74. (In Thai)
- [16] Ruchuwarak P, Tathong P. Charcoal burning, the traditional way of local community to alternative energy technology. Academic Journal of Humanities and Social Sciences Buriram Rajabhat University 2014;6(2):52-71. (In Thai)
- [17] Sonsaree S, Chorchong T. Thermal performance of agricultural waste materials: A case study of giant tamarind peels. Proceeding of the 17th Thailand Renewable Energy for Community Conference; 2024 Oct 28–30; Chiang Mai. p. 26-32. (In Thai)
- [18] Puthikitakawiwonga T, Wiangnon J, Sriboonsom P. Production of biocoal from soybean stalk. Naresuan University Journal 2006;14(3):11-8. (In Thai)

- [19] Phutteesakul R, Suwakantakul A, Kucharrat A. The production of charcoal briquette by coconut shell and cassava rhizome. Journal of Industrial Education, Srinakharinwirot University 2010;4(2):18-28. (In Thai)
- [20] Wirunphan K, Saiplean T, Jaichompoo P. Production of compressed charcoal fuel from the waste materials collected after processing Khao-Larm. RMUTL Engineering Journal 2017;2(1):1-15. (In Thai)
- [21] Department of Industrial Works. Guidelines and qualification criteria of wastes for processing into fuel rods and interlocking blocks. Bangkok: Department of Industrial Works; 2012. (In Thai)
- [22] Anantanukulwong R, Chemae R, Sareanu N. Production of charcoal from agricultural residues. YRU Journal of Science and Technology 2019;4(1):47-53. (In Thai)

#### ประวัติผู้เขียนบทความ



**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ สอนสารี** สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 156 หมู่ 5 ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 email: sorawitsonsaree@psru.ac.th ปัจจุบันสนใจงานวิจัยทางด้านพลังงานทดแทน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์



**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติพร เจาะจง** สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 156 หมู่ 5 ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 email: Titiporn\_ant@psru.ac.th ปัจจุบันสนใจงานวิจัยทางด้านพลังงานทดแทน การจัดการด้านพลังงาน ฟิสิกส์ พลังงานทดแทน

#### Article History:

Received: April 5, 2025

Revised: August 8, 2025

Accepted: August 13, 2025