



# การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้

## ทางการเกษตร

ชนิกานต์ ขำประไพ ณิชชา บุญถนอม ธิษชนก โรจนานนท์ และ จารุวรรณ วงศ์ทะเลทร\*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล

\*ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: jaruwan.won@mahidol.ac.th

วันที่รับบทความ: 1 กรกฎาคม 2563; วันที่ทบทวนบทความ: 18 สิงหาคม 2563; วันที่ตอบรับบทความ: 19 กันยายน 2563

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 12 ธันวาคม 2563

**บทคัดย่อ:** การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิด ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกับตัวประสาน และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ดำเนินการทดลองโดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ กากอ้อย (BG) ชี้อ้อยยางพารา (WS) ชังข้าวโพด (CC) ฟางข้าว (RS) ใบไม้ยางพารา (LP) และเศษไม้ยางพารา (RC) ผสมกับตะกอนแป้งมันสำปะหลังแห้ง (CS) เสมือนเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วนของ 0.25:0.75, 0.50:0.50 และ 0.75:0.25 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดเย็น จากนั้นศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น และปริมาณเถ้า และคุณสมบัติทางกายภาพคือ ความหนาแน่นและดัชนีแตกร้าว รวมทั้งประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ผลการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งของเศษไม้ยางพาราผสมกับตะกอนแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0.50:0.50 เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (ค่าความร้อน 4,136.9728 แคลอรีต่อกรัม ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้า 7.33 และ 5.33 ร้อยละโดยน้ำหนัก ตามลำดับ ความหนาแน่น 0.47 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และดัชนีแตกร้าว 0.78) และสามารถประยุกต์เป็นแนวทางของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกของชุมชน

**คำสำคัญ:** เชื้อเพลิงอัดแท่ง; วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร; ตะกอนแป้งมันสำปะหลัง



## The Efficiency Comparison of Fuel Briquettes from Agricultural Wastes

Chanikan Kumpapai Nutcha Boonthanom Thanchanok Rodjananon and  
Jaruwan Wongthanate \*

Environmental Science and Technology, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University

\*Corresponding Author, E-mail: jaruwan.won@mahidol.ac.th

Received: 1 July 2563; Revised 18 August 2563; Accepted: 19 September 2563

Online Published: 12 December 2020

**Abstract:** The objectives of this research were to study the feasibility of fuel briquettes from various types of agricultural wastes, to study the optimal ratios of agricultural wastes and binder and to compare the efficiency of chemical and physical properties on fuel briquettes from agricultural wastes. The experiment was conducted by the agricultural wastes such as bagasse (BG), rubber wood sawdust (WS), corn cobs (CC), rice straw (RS), leaves of para rubber (LP) and rubber wood chips (RC) that were mixed with dry cassava starch sediment (CS) as a binder at the ratios of 0.25:0.75, 0.50:0.50 and 0.75:0.25 kg:kg, respectively. Also, the fuel briquettes were formed by a cold pressed process. Then, study of chemical properties of fuel briquettes were heating value, moisture content, and ash content and their physical properties were density and drop shatter test including performance of fuel briquettes from agricultural wastes. Results showed that the fuel briquette from rubber wood chips mixed with cassava starch sediment was at 0.50:0.50 was the most effective alternative fuel (heating value was 4,136.9728 cal/g, moisture content and ash content was 7.33 and 5.33 % w/w respectively, density of 0.47 g/cm<sup>3</sup> and drop shatter of 0.78) and it can be applied as a guideline of fuel briquettes from agricultural wastes for using alternative energy source in community.

**Keyword:** Fuel briquette; Agricultural waste; Cassava starch sediment



## 1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งพลังงานถือเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต ทุกภาคส่วนทั้งภาคการคมนาคมขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตร และภาคครัวเรือนมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่ด้วยทรัพยากรพลังงานที่มีอย่างจำกัด ทำให้เกิดการขาดแคลนพลังงาน ทุกหน่วยงานจึงมีการจัดทำมาตรการแผนพัฒนา รวมไปถึงมีการสนับสนุนให้ใช้พลังงานทางเลือก และการหาแหล่งพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น [1]

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีศักยภาพในการผลิตพืชผลทางการเกษตร โดยผลพลอยได้ที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตร คือ ชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในอดีตชีวมวลส่วนใหญ่จะถูกทิ้งเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือกำจัดโดยการเผาทำลาย เป็นการสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม แต่อันที่จริงแล้ว ชีวมวลเหล่านี้มีสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีและให้ค่าพลังงานความร้อนในระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ชีวมวลจึงเป็นเป้าหมายสำคัญที่ถูกพิจารณาเพื่อเป็นทางเลือกของแหล่งพลังงานใหม่ การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวล [2] แต่ผู้ใช้ส่วนใหญ่จะนำชีวมวลมาใช้ทันที โดยไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปอื่น ซึ่งลักษณะของการใช้ชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงรูปแบบนี้มักจะเกิดปัญหาเกี่ยวกับการใช้หลายประการ ได้แก่ ปัญหาความชื้น ถ้าชีวมวลมีปริมาณความชื้นของชีวมวลมากจะต้องใช้ปริมาณของชีวมวลมาก เนื่องจากความร้อนส่วนหนึ่งของชีวมวลถูก

ใช้ไปกับการระเหยน้ำออก ปัญหาการจัดเก็บชีวมวลส่วนมากจะมีขนาดใหญ่ทำให้ต้องเปลืองพื้นที่สำหรับการจัดเก็บ ปัญหาการขนส่ง หากชีวมวลมีขนาดใหญ่ น้ำหนักจะมาก รวมทั้งรูปร่างของชีวมวลอาจมีความยาวและขนาดแตกต่างกันทำให้ขนย้ายได้น้อย ส่งผลให้สิ้นเปลืองเวลาการขนส่งเป็นอย่างมาก และปัญหาการออกแบบห้องเผาไหม้ ปัญหาของการใช้ชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงดังที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแก้ปัญหาได้โดยการอัดแท่ง โดยการอัดแท่งจะทำได้โดยนำชีวมวลที่ผ่านการลดขนาดจนเป็นผงละเอียดมาอัดขึ้นรูปเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแท่ง ซึ่งการอัดแท่งนี้จะช่วยลดปริมาตรชีวมวลให้เล็กลงได้เพื่อช่วยลดพื้นที่ของการจัดเก็บเชื้อเพลิงและจำนวนเที่ยวของการขนส่งเคลื่อนย้ายอีกด้วย [3]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ต้องเป็นขยะ มาทำให้เกิดประโยชน์ โดยมีการนำของเสียจากโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง คือ ตะกอนแป้งมันสำปะหลังมาเป็นตัวประสานกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการจัดการขยะ ลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม ลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ลดปัญหาการใช้พื้นที่และถ่านไม้จากธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้ 1) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง 2) เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกับตัวประสานของการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง และ 3) เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร



## 2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

### 2.1 การเตรียมวัตถุดิบและตัวประสาน

การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ กากอ้อย ชี้อ้อยยางพารา ชังข้าวโพด ฟางข้าว ใบไม้ยางพารา และเศษไม้ยางพารา ตากแดดเป็นเวลา 3-5 วัน และนำไปบดให้มีขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่อง Hammer mill ขนาด 3 แรงม้า แล้วทำการชั่งน้ำหนักแห้ง ส่วนตัวประสานใช้ตะกอนแป้งมันสำปะหลังมาจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรในจังหวัดนครปฐม ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ดังนี้ pH 4.12, TS 126.31 g/L, VS 125.32 g/L, COD 24 g/L, TOC 2.55 g/L, TNK 0.92 g/L และ C/N ratio 2.77 โดยทำการตักตะกอนแป้งจากถังตักตะกอนแป้งจำนวน 4 ถัง ปริมาณถังละ 5 กิโลกรัม จากนั้นนำมาบดเป็นผงและทำการแผ่กระจายตากแดดเป็นเวลา 5 วัน แล้วจึงเก็บรักษาไว้ในที่แห้ง

### 2.2 วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ กากอ้อย ชี้อ้อยยางพารา ชังข้าวโพด ใบยางพารา ฟางข้าว และเศษไม้ยางพารา ผสมกับตัวประสานของตะกอนแป้งมันสำปะหลังแห้ง 3 อัตราส่วน ได้แก่ 0.75:0.25, 0.50:0.50 และ 0.25:0.75 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอัตราส่วน 0.75:0.25 แสดงถึงอัตราส่วนที่มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มากกว่าตัวประสาน อัตราส่วน 0.50:0.50 แสดงถึงอัตราส่วนที่มีวัสดุเหลือใช้เท่ากับตัวประสาน และอัตราส่วน 0.25:0.75 แสดงถึงอัตราส่วนที่มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่น้อยกว่า

ตัวประสาน และเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนเหล่านี้ มีคุณสมบัติทางเคมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง [4] จากนั้นทำการผสมในอัตราส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องผสมขนาด 3 แรงม้า จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยกระบวนการอัดแท่งด้วยเครื่องขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบสกรูขนาด 5 แรงม้า และทำการตัดเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นแท่งขนาด 6-12 เซนติเมตร นำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 3-5 วัน แล้วจึงทำการชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งดังกล่าว

### 2.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุทางการเกษตร

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) โดยดำเนินการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ ดังนี้

#### 1. ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating Value)

การวิเคราะห์ค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทำตามมาตรฐาน ASTM D5865 [5] โดยใช้เครื่องวิเคราะห์พลังงานความร้อน (Bomb Calorimeter) ซึ่งนำตัวอย่างของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไปทำการอัดเม็ดและชั่งน้ำหนัก ใส่ในถ้วยใส่ตัวอย่าง จับลวดขดเป็นรูปตัวยู โดยให้ลวดสัมผัสกับตัวอย่างเท่านั้น จากนั้นนำไปใส่ลงในลูกบอมม์และอัดก๊าซออกซิเจนความดันประมาณ 30 บรรยากาศ หลังจากนั้นนำไปวางในถังบรรจุบอมม์และเติมน้ำกลั่น 2 ลิตร ลงในถังดำเนินการจุดระเบิดเข้ากับตัวบอมม์ และจึงบันทึกผล



## 2. ปริมาณความชื้น (Moisture content)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทำตามมาตรฐาน ASTM D3173 [6] โดยนำตัวอย่างกระเบื้องที่สะอาดไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปใส่ในโถดูดความชื้น 15 นาที และใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ในถ้วยกระเบื้อง แล้วทำการชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น 15 นาที และนำไปชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) จากนั้นคำนวณปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร [6] ดังนี้

$$M = (W_1 - W_2) / W * 100 \quad (1)$$

โดยที่ M คือ ร้อยละของปริมาณความชื้น

$W_1$  คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$W_2$  คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

## 3. ปริมาณเถ้า (Ash Content)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทำตามมาตรฐาน ASTM D3174 [7] โดยนำตัวอย่างกระเบื้องที่สะอาดไปเผาในเตาเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปใส่ในโถดูดความชื้น 15 นาที และใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ในถ้วยกระเบื้อง แล้วทำการชั่งน้ำหนัก ( $W_3$ ) และนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น 15 นาที และนำไปชั่งน้ำหนัก ( $W_4$ ) จากนั้นคำนวณปริมาณเถ้าโดยใช้สูตร [7] ดังนี้

$$M = (W_3 - W_4) / W * 100 \quad (2)$$

โดยที่ M คือ ร้อยละของปริมาณความชื้น

$W_3$  คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

$W_4$  คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

## 2.2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุทางการเกษตร

### 1. การทดสอบดัดขึ้นแตกกร้าว (Drop Shatter Test)

การทดสอบโดยนำก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรใส่ถุงพลาสติก ปัดออกจากที่สูง 2 เมตร ลงสู่พื้นคอนกรีต จากนั้นนำก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งส่วนที่เหลือดังกล่าวไปชั่งน้ำหนัก และใช้สูตรการวิเคราะห์ดัดขึ้นแตกกร้าว [8] ดังนี้

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

โดยที่ R คือ ดัดขึ้นแตกกร้าว W คือ น้ำหนักก่อนทดสอบ (กิโลกรัม) และ  $W_f$  คือ น้ำหนักหลังทดสอบ (กิโลกรัม)

### 2. ความหนาแน่น (Density)

การทดสอบโดยนำก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชั่งน้ำหนัก และวัดปริมาตรของก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งดังกล่าว จากนั้นนำไปคำนวณจากสูตรการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น [8] ดังนี้

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

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



### 2.2.3 การทดสอบการใช้งาน

การจุดติดไฟการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแต่ละอัตราส่วนที่ขึ้นรูปได้ดีไปเผา และดำเนินการจับเวลา แล้วจึงทำการเปรียบเทียบระยะเวลาการติดไฟในชุดการทดลอง โดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรปริมาณ 200 กรัม มาจุดไฟให้ติด การตม้น้ำในหม้อน้ำให้เดือดปริมาตร 0.7 ลิตร และจดบันทึกระยะเวลาตั้งแต่เมื่อเชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มติดไฟจนกระทั่งไฟดับ

การทดสอบระยะเวลาการเกิดควันโดยการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแต่ละอัตราส่วนที่ขึ้นรูปได้ดีไปเผา และดำเนินการจับเวลา แล้วจึงทำการเปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดควัน โดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละอัตราส่วนมาจุดไฟให้ติดทำการจับเวลาและจดบันทึกระยะเวลาตั้งแต่เกิดควันจนกระทั่งควันหมด

## 3. ผลการวิจัย

### 3.1 สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

จากผลการศึกษาคูณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ กากอ้อย (BG) ชีเลื่อยยางพารา (WS) ชังข้าวโพด (CC) ใบไม้ยางพารา (LP) ฟางข้าว (RS) และเศษไม้ยางพารา (RC) พบว่าปริมาณความชื้นของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรร้อยละ 6.00 - 8.33 โดยน้ำหนัก และปริมาณแฉ่ำร้อยละ 2.67 - 12.67 โดยน้ำหนัก ส่วนค่าความร้อนเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 2,876.11 - 4,210.40 แคลอรีต่อกรัม ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลงานวิจัยที่ผ่านมาของเชื้อเพลิงอัด

แท่งจากเปลือกสับปะรดซึ่งมีค่าความชื้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ค่าปริมาณแฉ่ำร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และค่าความร้อนเชื้อเพลิง 3,920.41 แคลอรีต่อกรัม [9] และผลงานวิจัยของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเมล็ดผสมเปลือกลำไยมีค่าปริมาณความชื้น 7.93 ร้อยละฐานแห้ง ค่าปริมาณแฉ่ำ 88.48 ร้อยละฐานแห้ง และค่าความร้อนเชื้อเพลิง 3,788.26 แคลอรีต่อกรัม [10] ดังนั้นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรดังกล่าวข้างต้นมีความเป็นไปได้ในการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

### 3.2 อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกับตัวประสานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกับตะกอนแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 0.25:0.75, 0.50:0.50 และ 0.75:0.25 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถขึ้นรูปได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นเชื้อเพลิงอัดแท่งของ RS:CS ที่อัตราส่วน 0.75:0.25 ซึ่งไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถขึ้นรูปได้ คือ BG:CS, RC:CS และ RS:CS ที่อัตราส่วน 0.25:0.75, 0.50:0.50 ส่วนการขึ้นรูปของ WS:CS, LP:CS สามารถขึ้นรูปได้ทุกอัตราส่วน และการขึ้นรูปของ CC:CS ที่อัตราส่วน 0.25:0.75 ทั้งนี้อัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีที่สุดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแต่ละชนิด คือ อัตราส่วนที่ 0.50:0.50 ของ WS:CS (รูปที่ 1) RC:CS (รูปที่ 2) และ LP:CS (รูปที่ 3) และอัตราส่วนที่ 0.25:0.75 ของ BG:CS (รูปที่ 4) CC:CS (รูปที่ 5) และ RS:CS (รูปที่ 6) ตามลำดับ



## ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ชนิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)
กากอ้อย	8.33	2.67	2,876.11
ขี้เลื่อยยางพารา	7.50	4.33	4,210.40
ซังข้าวโพด	8.33	2.67	4,038.30
ใบไม้ยางพารา	6.00	12.67	4,156.66
ฟางข้าว	7.67	12.33	3,673.33
เศษไม้ยางพารา	7.00	2.67	4,122.27

รูปที่ 1 WS:CS  
(0.50:0.50)รูปที่ 2 RC:CS  
(0.50:0.50)รูปที่ 3 LP:CS  
(0.50:0.50)รูปที่ 4 BG:CS  
(0.25:0.75)รูปที่ 5 CC:CS  
(0.25:0.75)รูปที่ 6 RS:CS  
(0.25:0.75)

ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อตัวประสานที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งคืออัตราส่วนที่ 0.25:0.75 และ 0.50:0.50 ในขณะที่อัตราส่วน 0.75:0.25 สามารถขึ้นรูปได้ แต่มีขนาดและความแข็งแรงไม่ได้ตามมาตรฐานของงานวิจัยนี้ และการที่อัตราส่วน 0.25:0.75 และ 0.50:0.50 ขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ดี เนื่องจากอัตราส่วนของตัวประสานมากกว่าหรือเท่ากับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งจับตัวกันได้ดี ส่งผลให้สามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ดีมากขึ้น โดยสามารถขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก มีความแข็งแรงพื้นผิวเรียบสม่ำเสมอ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และความยาวประมาณ 6-12 เซนติเมตร ซึ่งมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับผลงานวิจัยที่ผ่านมาของการนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และความยาว 12 เซนติเมตร [11]

### 3.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถขึ้นรูปได้ดีจากอัตราส่วนระหว่างวัสดุ



เหลือใช้ทางการเกษตรแต่ละชนิดกับตัวประสานพบว่า ค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 7.33 - 8.67 โดยน้ำหนัก ค่าปริมาณแถ้าร้อยละ 1.67 - 8.67 โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนเชื้อเพลิง 3,705.67- 4,136.97 แคลอรีต่อกรัม ค่าความหนาแน่น 0.46 - 0.68 กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร และค่าดัชนีแตกร้า 0.76 - 0.98 ดังแสดงในตารางที่ 2

นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งขึ้นรูปของ RC:CS ที่อัตราส่วน 0.50:0.50 เนื่องจากมีค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 7.33 โดยน้ำหนัก และค่าปริมาณแถ้าร้อยละ 5.33 โดยน้ำหนัก อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง [12] และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้ม [13] ตามลำดับ ซึ่งได้ระบุค่ามาตรฐานของค่าปริมาณความชื้นและค่าปริมาณแถ้าไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามพบว่ามีค่าความร้อนเชื้อเพลิง 4,136.79 แคลอรี

ต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง [12] ซึ่งระบุค่าความร้อนเชื้อเพลิงไว้ไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม ทั้งนี้อาจเกิดจากเชื้อเพลิงอัดแท่งในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) ทำให้มีปริมาณสารระเหยคงเหลืออยู่ในเชื้อเพลิงอัดแท่งและความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ เมื่อเทียบกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ซึ่งผลการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจาก RC:CS (0.50:0.50) มีประสิทธิภาพดีที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ (ตารางที่ 2) โดยเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากผักตบชวาผสมกับตะกอนแป้งมันสำปะหลัง(WH:CS) ที่อัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนักเปือก [4] พบว่า มีค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูงกว่า ปริมาณความชื้นและปริมาณแถ้าต่ำกว่า ซึ่งถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพดี

**ตารางที่ 2** คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ขึ้นรูปได้ดีของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแต่ละชนิดกับตัวประสาน

เชื้อเพลิงอัดแท่ง	อัตรา ส่วน (kg:kg)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณแถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)	ดัชนีแตกร้า	อ้างอิง
WS:CS	0.50:0.50	8.67	2.00	3,976.95	0.68	0.85	งานวิจัยนี้
RC:CS	0.50:0.50	7.33	5.33	4,136.97	0.47	0.78	งานวิจัยนี้
LP:CS	0.50:0.50	8.00	8.67	4,026.47	0.57	0.98	งานวิจัยนี้
BG:CS	0.25:0.75	8.33	1.67	3,705.67	0.49	0.97	งานวิจัยนี้
CC:CS	0.25:0.75	8.33	2.33	3,834.43	0.55	0.76	งานวิจัยนี้
RS:CS	0.25:0.75	8.00	4.33	3,837.32	0.46	0.97	งานวิจัยนี้
WH:CS	50:50 (โดยน้ำหนักเปือก)	7.74	10.90	3,484.71	-	-	[4]





ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ขึ้นรูปได้ดีของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแต่ละชนิดกับตัวประสาน (ต่อ)

เชื้อเพลิงอัดแท่ง	อัตราส่วน (kg:kg)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ดัชนีแตกร้าว	อ้างอิง
ไบยูคาลิปตัสผสม	50:50	-	-	-	1.09	0.72	[14]
ใบยางพารา	(กรัม:กรัม)	-	-	-	-	-	-
เชื้อเพลิงอัดแท่ง	-	-	-	-	-	0.5 - 1	[11]
ขุยมะพร้าวผสมกับแกลบ	1:2 (โดยน้ำหนัก)	-	-	4,043	1.52	0.99	[15]

สำหรับผลค่าดัชนีแตกร้าว 0.78 มีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากไบยูคาลิปตัสผสมใบยางพาราในอัตราส่วน 50:50 กรัมต่อกรัม ที่มีค่าดัชนีแตกร้าวเท่ากับ 0.72 [14] ทั้งนี้ค่าดัชนีแตกร้าวควรอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 [11] และค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.47 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งของประเทศบังคลาเทศที่ผลิตจากขุยมะพร้าวผสมกับแกลบในอัตราส่วน 1:2 พบมีค่าความหนาแน่น 1.52 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [15] ทั้งนี้อาจเนื่องจากอัตราส่วนของตัวประสานที่มีปริมาณสูงชัน จะช่วยให้วัสดุของเชื้อเพลิงอัดแท่งยึดเกาะกันได้ดี และอาจส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมากขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามผลการวิจัยครั้งนี้ยังพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความร้อนสูงสุด 4,165.01 แคลอรีต่อกรัม ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจาก LP:CS (0.75:0.25) ค่าปริมาณความชื้นต่ำสุดร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจาก LP:CS (0.25:0.75) ค่าปริมาณเถ้าต่ำสุดร้อยละ 1.67 โดย

น้ำหนัก ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจาก BG:CS (0.25:0.75) เชื้อเพลิงอัดแท่งจาก LP:CS (0.25:0.75) มีค่าความหนาแน่นสูงสุด 0.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเชื้อเพลิงอัดแท่งจาก WS:CS (0.25:0.75) มีค่าดัชนีแตกร้าวสูงสุด 0.99 แต่ผลการศึกษาของเชื้อเพลิงอัดแท่งข้างต้นดังกล่าวไม่ได้มีประสิทธิภาพดี เนื่องจากบางอัตราส่วนขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ไม่ดี นอกจากนี้คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพยังไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพดีในการใช้งาน ควรีปริมาณเถ้าต่ำ และค่าความร้อนเชื้อเพลิงความหนาแน่น และดัชนีการแตกร้าวมาก จากผลการทดสอบการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ RC:CS ที่อัตราส่วน 0.50:0.50 พบว่า ระยะเวลาติดไฟนาน 23 นาที อยู่ในเกณฑ์ที่ดี และระยะเวลาเกิดควัน 15 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาเกิดควันน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับชุดทดลองของเชื้อเพลิงอัดแท่งในการศึกษาครั้งนี้ และมีปริมาณเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้น้อยด้วย จึงสรุปได้ว่าคุณสมบัติ



ทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

#### 4. สรุปผลงานวิจัย

การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งซึ่งอาจถือเป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกที่จะช่วยลดปัญหาการกำจัดของเสียทางการเกษตรและอาจส่งผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นการนำของเสียมาเปลี่ยนเป็นพลังงานและการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ กากอ้อย ชี้อ้อย ยางพารา ชังข้าวโพด ฟางข้าว ใบยางพารา และเศษไม้ยางพารา สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

2. วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของเศษไม้ยางพารา ผสมกับ ตะกอนแป้งมัน (WS:CS) ที่อัตราส่วน 0.50:0.50 สามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ดีที่สุด เนื่องจากสามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงกระบอก มีความแข็งแรง และพื้นผิวสม่ำเสมอ

3. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีมีผลต่อประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งผลิตจากอัตราส่วนระหว่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกับตะกอนแป้งมันสำหรับหลังมีดังนี้ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูงสุด 4,165.01 แคลอรีต่อกรัม (LP:CS 0.75:0.25) ค่าปริมาณความชื้นต่ำสุดร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก (LP:CS 0.25:0.75) ค่าปริมาณเถ้าต่ำสุดร้อยละ 1.67 โดยน้ำหนัก (BG:CS 0.25:0.75) ค่าความหนาแน่นสูงสุด 0.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (LP:CS 0.25:0.75) และดัชนีแตกร้าวสูงสุด 0.99 (WS:CS 0.25:0.75)

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Tantisattayakul, S. Phongkasem, P. Phooyar and P. Taibangury, Community-Based Renewable Energy from Biomass Briquettes Fuel from Coconut Leaf, Thai Journal of Science and Technology, 2015, 23(3), 418-431. (in Thai)
- [2] <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/energy%20biomass.pdf>. (Accessed on 15 June 2020)
- [3] [http://elib.dede.go.th/mm-data/Bib15106\\_finalreport.pdf](http://elib.dede.go.th/mm-data/Bib15106_finalreport.pdf). (Accessed on 15 June 2020)
- [4] N. Photong and J. Wongthanate, Biofuel Production from Bio-Waste by Biological and Physical Conversion Processes, Waste Management and Research, 2020, 38(1), 69-77.
- [5] ASTM Standard D5865, Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- [6] ASTM Standard D3173, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.



- [7] ASTM Standard D3174, Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- [8] N. Tanpaiboonkul and T. Budnumpetch, Molding and Binding Method on Properties of Fuel from Water Hyacinth, Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University, 2016, 3 (6), 86-100. (in Thai)
- [9] R. Garcia, C. Pizarro, A. Gutiérrez Lavín and L. Julio Bueno, Characterization of Spanish biomass wastes for energy use, Bioresource Technology, 2012, 103, 249 - 258.
- [10] L. Wattanachira, A. Thanyacharoen, N. Laa pan, and V. Chatchavarn, Development of Biobriquettes from Mixed Rice-straw and Longan Waste Residues, Journal of Research and Development Rajamangala University of Technology Lanna, 2016, 39(2), 239-255. (in Thai)
- [11] A. Ussawarujikulchai, C. Semsayun, N. Prapakdee, N. Pieamsuwansiri and N. Chuchat, Utilization of Durian and mango-steen Peels as Briquette Fuel, 49<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference, Proceeding, 2011, 162-168. (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] Thai Industrial Standards Institute (TISI), Ministry of Industry, Ministry of Industry, Thai Community Product Standards Wood Charcoal for Cooking TCPs 657/2547, 2004.
- [14] S. Sunthararuk, D. Makmon and W. Wongmalee, The Development of Charcoal Fuel Briquettes from Eucalyptus Leaves and Brasiliensis Leaves, 2<sup>nd</sup> National and International Research Conference 2018, Proceeding, 2018, 339-348. (in Thai)
- [15] K. Saha, M. Hossain, R. Ali, and M. Alam, Feasibility Study of Coconut Coir Dust Briquette, Journal of the Bangladesh Agricultural University, 2014, 12(2), 369-376.