

## การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว

### The Properties of Fuel Briquette from Coffee grounds and Copra meal

ลัดดา ทองชูช่วย<sup>1</sup> วรรัตน์ ปีตรประกร<sup>2</sup> และ แววบุญ แยมแสงสังข์<sup>3</sup>

<sup>1</sup> หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตและเทคโนโลยี (สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

E-mail: Thongchuchay622@gmail.com

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: pworarat@engr.tu.ac.th

<sup>3</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

E-mail: weawboon.yam@stou.ac.th

Ladda Thongchuchay<sup>1</sup>, Worarat Pattaraprakorn<sup>2</sup> and Weawboon Yamsangsung<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Master of Science (Industrial Technology), Sukhothai Thammathirat Open University

<sup>2</sup> Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

<sup>3</sup> School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University

วันที่รับบทความ 13 พฤศจิกายน 2565

วันที่แก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 26 ธันวาคม 2565

#### บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากกาแฟและกากมะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (2) เพื่อศึกษาชนิดของแป้งที่เหมาะสมในการทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าวโดยเปรียบเทียบระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเจ้า (3) เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว

วิธีดำเนินการวิจัย (1) ทดสอบสมบัติของกากกาแฟ กากมะพร้าว แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า (2) ขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน (3) ทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

ผลการวิจัยพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมระหว่างกากกาแฟและกากมะพร้าวโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานอัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 สามารถอัดเป็นแท่งได้ ยกเว้นอัตราส่วน 0:10:2.6 ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้ การทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ 0.815 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในอัตราส่วน 10:0:2.6 โดยมีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน มีค่าดัชนีการแตก่วนสูงสุดเท่ากับ 0.998 ในอัตราส่วน 10:0:2.6 โดยมีแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน และมีค่าความต้านทานแรงกดมากที่สุดเท่ากับ 265 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในอัตราส่วน 10:0:2.6 โดยมีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน จากผลการวิจัยจะเห็นว่าการใช้แป้งมันและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานจะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

**คำสำคัญ:** เชื้อเพลิงอัดแท่ง กากมะพร้าว กากกาแฟ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า

### Abstract

The purposes of this research were: (1) to study the propiate ratio of copra meal and coffee grounds to form fuel briquettes. (2) to study the propiate starch type to use as binder material to form fuel briquettes from copra meal and coffee grounds between tapioca starch and rice flour. (3) to study the physical properties for fuel briquette.

The research methods are: (1) test the physical properties of coffee grounds and copra meal. (2) form the fuel briquette using tapioca starch and rice flour for binder. (3) test the physical properties of the fuel briquette with tapioca starch and rice flour as binder.

The results of this research were as follow: (1) The fuel briquette is between coffee grounds and copra meal which tapioca starch and rice flour as binder the ratio at 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 and 10:0:2.6 can form in good shape but the ratio at 0:10:2.6 was not. (2) the fuel briquette with the highest density was 0.815 g/cm<sup>3</sup> at ratio 2.5:7.5:2.6 with tapioca starch as the binder, the fuel briquette with the highest shatter index was 0.998 at ratio 2.5:7.5:2.6 with rice flour as the binder and the fuel briquette with the highest compressive strength was 265 kg/cm<sup>2</sup> at ratio 2.5:7.5:2.6 with tapioca starch as the binder. From the research results, it can be seen that using tapioca starch and rice flour as a binder, the fuel briquettes are slightly different in physical properties.

**Keywords:** Fuel briquettes, Copra meal, Coffee grounds, Tapioca starch, Rice flour

## 1. บทนำ

สถานการณ์พลังงานประเทศไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานพบว่า ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (Final Energy Consumption) ในปี 2564 เท่ากับ 125,709 ktoe คิดเป็นอัตราการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 4.7 เมื่อเทียบกับปี 2550 ที่มีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเพียง 65,633 ktoe

ปัจจุบันได้มีความพยายามศึกษา ค้นคว้า วิจัย และพัฒนาพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ ให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สะดวก และมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน และลดค่าใช้จ่าย โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งในท้องถิ่น และภายในประเทศเพื่อให้สามารถผลิต และใช้พลังงานอย่างยั่งยืน โดยเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่เหมาะสมที่จะเป็นพลังงานทดแทนในประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีศักยภาพทางการผลิตวัตถุดิบสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลสูงมาก ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือกากกาแฟและกากมะพร้าว

ณ ปัจจุบันมีการบริโภคมะพร้าวและกาแฟในปริมาณที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับสมัยก่อน มีอุตสาหกรรมผลิตน้ำกะทิ และมีร้านกาแฟบริการอย่างแพร่หลายทำให้มีกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นน้ำกะทิ และกากกาแฟที่เหลือจากการชงในปริมาณมาก โดยผลผลิตจากมะพร้าวมีปริมาณ 858,235 ตันต่อปี กาแฟ 25,909 ตันต่อปี ข้อมูลจาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พ.ศ. 2561 ซึ่งกลายเป็นขยะ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการกำจัดขยะดังกล่าว แต่ขยะดังกล่าวสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อเป็นพลังงานทางเลือก เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือน หรืออาจขยายไปสู่อุตสาหกรรมต่อไป

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาสมบัติกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเย็น

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากกาแฟและกากมะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
2. เพื่อศึกษาชนิดของแป้งที่เหมาะสมในการทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากกากกาแฟและกากมะพร้าวโดยเปรียบเทียบระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเจ้า
3. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว

## 3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และ กนกวรรณ ภูมิวนิชกิจ (2562) ศึกษาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟและกากกาแฟโดยศึกษาปริมาณแป้งที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในการขึ้นรูปที่แตกต่างกันคือ ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก เลือกสภาวะที่ดีที่สุด จากนั้นทำการศึกษาสัดส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟและกากกาแฟที่มีผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด สัดส่วนที่ศึกษาคือ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 วิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ผลการทดลองพบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานที่ร้อยละ 20 กับกากกาแฟในสัดส่วน 100:0 จะมีผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ดีที่สุด เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากกากกาแฟอย่างเดียวมีคุณภาพสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟอย่างเดียว ซึ่งเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากกากกาแฟมีสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงสูงสุด คือ มีค่าความร้อน 17.2772 เมกะจูลต่อกรัม และ ประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเท่ากับร้อยละ 16.59 ส่วนผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมพบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟต่อกากกาแฟที่อัตราส่วน 25:75 ดีที่สุด ทำให้เชื้อเพลิงมีคุณภาพสูงสุด คือค่าความร้อนเท่ากับ 17.1544 เมกะจูลต่อกรัม และประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเท่ากับร้อยละ 16.48 จากการวิเคราะห์ค่าความชื้นพบว่า ความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานชีวมวล ซึ่งสรุปได้ว่าเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟและกากกาแฟสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้

นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล และ พชร ปรินาสริยะชัย (2558) ศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการผลิตก้อนเชื้อเพลิง 2 แบบคือ แบบแรกนำกากชา และกากกาแฟอบให้แห้ง แล้วนำมาผสมกับกาวแป้งเปียกอัตราส่วน 9:1 จากนั้นนำไปอัดเป็นก้อนโดยการอัดเย็น แล้วนำไปอบให้แห้ง ส่วนแบบที่ 2 จะนำกากกาแฟ และ กากชา ไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์ที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการ ไพรไรซิส 10 องศาต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำกากชา และกากกาแฟที่ได้มาผสมกับกาวแป้งเปียกอัตราส่วน 9:1 จากนั้นนำไปอัดเป็นก้อนโดยการอัดเย็น แล้วนำไปอบให้แห้ง จากนั้นนำก้อนเชื้อเพลิงทั้งสองแบบไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ค่าความร้อน ความชื้น ร้อยละของสารระเหย ค่าคาร์บอนคงตัว ซึ่งผลการทดลองพบว่า การคาร์บอนไนซ์กากกาแฟและกากชาและการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงรวมถึงการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ การติดไฟ ปริมาณควันไฟ ซึ่งพบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์กากกาแฟและกากชา มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5,517 แคลอรีต่อกรัมไปเป็น 7,460 แคลอรีต่อกรัม และกากชาเพิ่มขึ้นจาก 4,482 แคลอรีต่อกรัม ไปเป็น 5,600 แคลอรีต่อกรัมตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาค่าความชื้น ปริมาณเถ้าและปริมาณธาตุที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานชีวมวลที่กำหนด และสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากกาแฟ สามารถขึ้นรูปง่ายไม่แตกร่วน ไม่เปื้อนมือ ติดไฟง่าย ในขณะที่เผาไหม้ไม่พบการแตกปะทุและไม่มีความชื้น ส่วนแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากชาเมื่อหยิบใช้ไม่เปื้อนติดมือเช่นกัน ติดไฟได้ดี ไม่มีการแตกปะทุ แต่ยังมีควัน เนื่องจากยังมีสารระเหยอยู่ในปริมาณสูงกว่ากากกาแฟ

ชมธิดา ชื่นนิม (2553) ได้ทำการการศึกษาก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชังข้าวโพดโดย เปรียบเทียบตัวประสาน 4 ชนิดคือ แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล กากของเสียจากโรงงานกระดาษ และน้ำมันเครื่อง ที่อัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ผลการทดลองพบว่า การอัดแท่งเศษชังข้าวโพดที่ อัตราส่วนร้อยละ 50 แป้งมันสำปะหลัง เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอัดง่าย มีความแข็งแรงสูง ใช้เวลาในการจุดติดไฟต่ำ เมื่อใช้กากน้ำตาลเป็นตัวเชื่อมประสานจะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความคง

ตัวของถั่วและระยะเวลาในการเผาไหม้สูงสุด ในขณะที่เมื่อใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน จะได้เชื้อเพลิงที่ค่าความร้อน ค่าดัชนีการแตกร่วน และค่าความต้านทานน้ำสูงสุด

ณัฐภรณ์ สุวรรณนาคี (2558) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกากมะพร้าว โดยทำการอัดขึ้นรูปก้อนเชื้อเพลิงจากกากมะพร้าวโดยการนำกากมะพร้าวไปอบไล่ความชื้นให้เหลือประมาณร้อยละ 8-12 แล้วนำไปใส่ในเครื่องอัดถ่านชีวภาพแนวตั้ง ทำการอัดที่อุณหภูมิห้อง 100 และ 170 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอัด 10, 15 และ 20 นาที ตามลำดับโดยใช้ความดันในการอัดครั้งที่ 14 บาร์ จากนั้นนำก้อนถ่านชีวภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม ค่าความร้อน โครงสร้างทางความร้อนด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพแปรผันตรงกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปโดยมีค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 0.65-1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความร้อนสูงสุด 5,566 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เมื่อทำการอัดถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอัด 20 นาที

ศิริชัย ต่อสกุล กุณฑล ทองศรี และ จงกล สุภารัตน์ (2555) ได้พัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นส่วนประกอบหลักโดยนำมาผสมกับ กะลามะพร้าว ชีเลื้อย และถ่านไม้เบญจพรรณ ในอัตราส่วน 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70 โดยใช้แอมโมเนียสำหรับเป็นตัวประสาน จากนั้นนำไปอัดแท่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกลวง 1 เซนติเมตร ความยาว 12 เซนติเมตรพบว่า ถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าว กับถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวผสมชีเลื้อยมีความร้อนใกล้เคียงกัน ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน และยังมีค่าความชื้นต่ำเวลาในการมอดดับนานที่สุดคือ ถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวผสมไม้เบญจพรรณ อัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงคือ กากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าว, กากมะพร้าวผสมชีเลื้อยที่อัตราส่วน 30:70 ส่วนกากมะพร้าวผสมถ่านไม้เบญจพรรณคืออัตราส่วน 70:30 ซึ่งกากมะพร้าว ผสมชีเลื้อย, กากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าวจะให้ค่าความร้อนที่สูงกว่ากากมะพร้าวผสมถ่านไม้เบญจพรรณ และส่วนผสมที่ให้ค่าความชื้นต่ำคือ กากมะพร้าวผสมกะลามะพร้าว, ผสมชีเลื้อย และ ผสม ถ่านไม้เบญจพรรณที่อัตราส่วน 30:70 แล้วระยะเวลาในการมอดดับต่ำที่สุดคือ ส่วนผสมกากมะพร้าว กับกะลามะพร้าว,ชีเลื้อย, ถ่านไม้เบญจพรรณ ที่อัตราส่วน 70:30

สุพิชญา เชิดเกียรติกุล (2558) ได้ศึกษาผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ โดยศึกษาที่สภาวะเวลา 10, 15 และ 20 นาที ใช้ความดันที่ 10, 12, 14 และ 16 เมกะปาสคาล และอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต คือ 150, 160, 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ถ่านชีวภาพจะมีความหนาแน่นรวมสูง เมื่ออุณหภูมิ ความดัน และเวลา ในการผลิตเพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิ ความดันและเวลาที่ใช้ในการผลิตโดยทั้งสามปัจจัยการผลิตนี้ส่งผลในเชิงบวกต่อค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด ถ่านชีวภาพจากกากกาแฟจะมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงมากหากใช้อุณหภูมิและความดันสูงในการผลิต

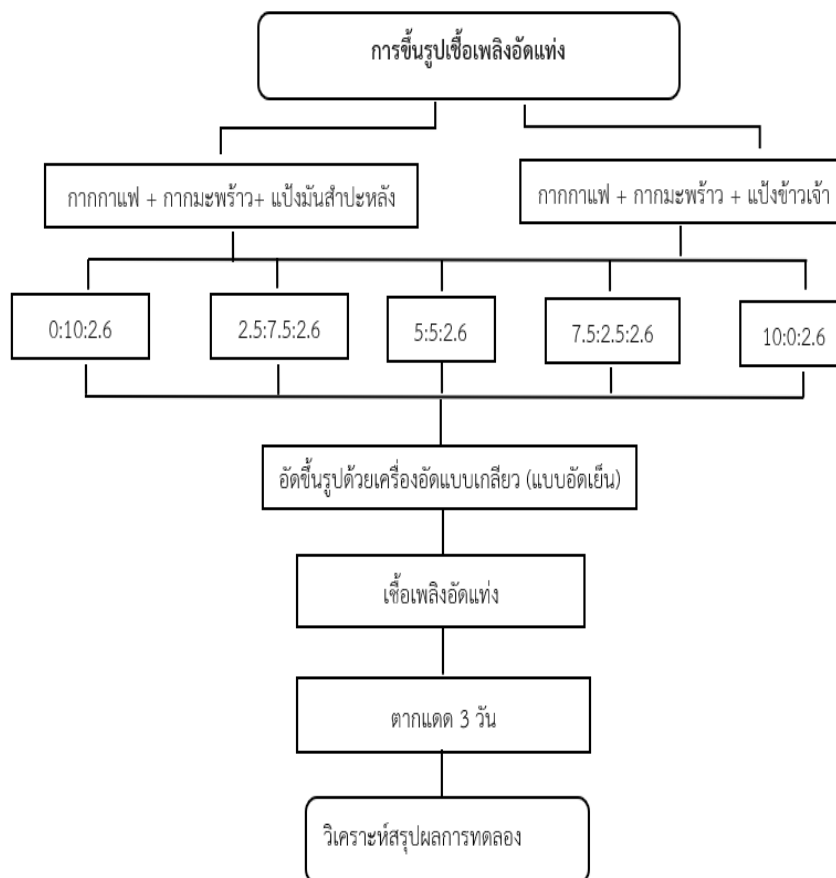
Robert Cubero-Abarca, Roger Moya, Jorre Valaret and Mario Tomazello Filho (2014) ทำการผลิตก้อนเชื้อเพลิง และ เม็ดเชื้อเพลิงโดยใช้กากกาแฟโดยการนำกากกาแฟมาไล่ความชื้นโดยใช้กระบวนการ 3 กระบวนการได้แก่ ลม , แสงอาทิตย์ และ ลมร้อน จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูป และนำตัวอย่างไปทดสอบคุณสมบัติ ค่าความร้อน ความชื้น ปริมาณเถ้า ความทนทาน ค่าคาร์บอนคงที่ และความร้อนจากผลการทดลองพบว่าการไล่ความชื้นที่เหมาะสมที่สุดคือ ลมร้อน เพราะใช้เวลาน้อยที่สุด คือ 55 ชั่วโมง ค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้คือ 12,501 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และก้อนเชื้อเพลิงคือ 11,591 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งค่าความร้อน ปริมาณเถ้า และค่าความชื้นของเม็ด และก้อนเชื้อเพลิงไม่แตกต่างกัน

Tomasz Ciesielczuk, Urszula Karwaczynska and Monika Sporek (2015) ได้ผลิตก้อนเชื้อเพลิงจากชีเลื้อย ไม้ปืชอย่างเดียว และชีเลื้อยไม้ปืชผสมกากกาแฟ โดยการนำผงชีเลื้อยไม้ปืช อย่างเดียว และ ผงชีเลื้อยไม้ปืชผสมกากกาแฟ ร้อยละและ 10 และ 25 โดยน้ำหนัก ไปอัดขึ้นรูปเป็นก้อนเชื้อเพลิง จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เช่น ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ปริมาณสารอินทรีย์ ค่าความหนาแน่นผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนของก้อนเชื้อเพลิงจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตาม

ปริมาณของกากกาแฟ คือ ก้อนเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมกากกาแฟร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก มีค่าความร้อนมากที่สุด คือ 20.32 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และ แต่ความหนาแน่นจะน้อยที่สุด คือ 0.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ผิวของก้อนเชื้อเพลิงไม่เรียบด้วย แต่ก้อนเชื้อเพลิงที่ผลิตจากชีเลื่อยไม้อย่างเดียว มีปริมาณถ่านน้อยที่สุดคือร้อยละ 0.37

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การทดสอบสมบัติของกากกาแฟและกากมะพร้าว
2. การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน
3. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่นการทดสอบความหนาแน่น ทดสอบดัชนีการแตกร่วน ทดสอบความทนต่อแรงกด ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน



รูปที่ 1 การออกแบบการทดลอง



รูปที่ 2 วิธีการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

## 5. ผลการวิจัย

### 5.1 ผลการศึกษาสมบัติของกากกาแฟและกากมะพร้าว

จากการทดสอบสมบัติของกากกาแฟและกากมะพร้าวพบว่ากากกาแฟมีค่าความชื้นร้อยละ 9.40 ปริมาณสารระเหยได้ร้อยละ 74.52 ค่าถ่านคงตัวร้อยละ 10.91 ปริมาณเถ้าร้อยละ 1.05 และค่าความร้อน 4,950 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และกากมะพร้าวมีค่าความชื้นร้อยละ 7.95 ปริมาณสารระเหยได้ร้อยละ 84.30 ค่าถ่านคงตัวร้อยละ 6.78 ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.89 และค่าความร้อน 5,948 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ผลการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติกากกาแฟและกากมะพร้าว

| สมบัติ                              | กากกาแฟ | กากมะพร้าว |
|-------------------------------------|---------|------------|
| ค่าความชื้น (ร้อยละ)                | 9.40    | 7.95       |
| ปริมาณสารระเหยได้ (ร้อยละ)          | 74.52   | 84.30      |
| ค่าถ่านคงตัว (ร้อยละ)               | 10.91   | 6.87       |
| ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)                 | 1.05    | 0.89       |
| ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) | 4,950   | 5,948      |

5.2 จากการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมระหว่างกากกาแฟและกากมะพร้าวโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและ แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานที่อัตราส่วน 0:10:2.6, 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 เติมน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 สามารถอัดเป็นแท่งได้ ส่วน อัตราส่วน 0:10:2.6 ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้ ทั้งสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3

ตารางที่ 2 ลักษณะที่ปรากฏของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

| เชื้อเพลิงอัดแท่งใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน |                               | เชื้อเพลิงอัดแท่งใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน |                               |
|--------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|
| อัตราส่วน<br>(กากกาแฟ:<br>กากมะพร้าว)            | ลักษณะที่ปรากฏ                | อัตราส่วน<br>(กากกาแฟ:<br>กากมะพร้าว)         | ลักษณะที่ปรากฏ                |
| 0:10:2.6                                         | ไม่สามารถอัดแท่งได้           | 0:10:2.6                                      | ไม่สามารถอัดแท่งได้           |
| 2.5:7.5:2.6                                      | ผิวขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี | 2.5:7.5:2.6                                   | ผิวขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี |
| 5:5:2.6                                          | ผิวขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี | 5:5:2.6                                       | ผิวขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี |
| 7.5:2.5:2.6                                      | ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี          | 7.5:2.5:2.6                                   | ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี          |
| 10:0:2.6                                         | ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี          | 10:0:2.6                                      | ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี          |

อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6



(ก)

อัตราส่วน 5:5:2.6



(ข)

อัตราส่วน 7.5:2.5:2.6



(ค)

อัตราส่วน 10:0:2.6



(ง)

เชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6



(จ)

อัตราส่วน 5:5:2.6



(ฉ)

อัตราส่วน 7.5:2.5:2.6



(ช)

อัตราส่วน 10:0:2.6



(ซ)

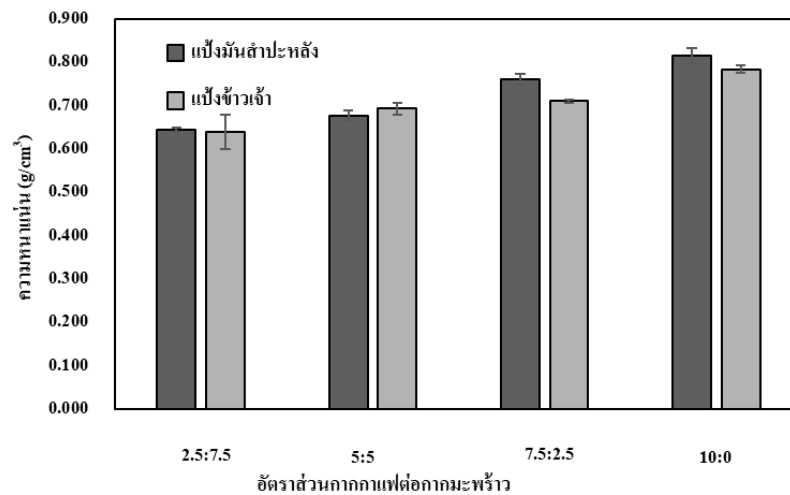
เชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

รูปที่ 3 แสดงผลตัวอย่างการอัดแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

5.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การทดสอบความหนาแน่น ทดสอบดัชนีการแตกร่วน ทดสอบความทนแรงกด ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน ผลดังตารางที่ 3 และภาพที่ 4

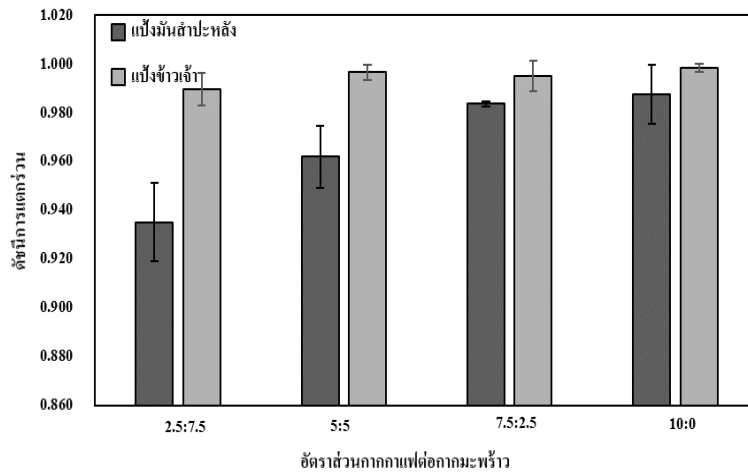
ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แยมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

| หัวข้อการทดสอบ                               | เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แยมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน | เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)       | 0.644 - 0.815                                     | 0.639 - 0.784                                    |
| ดัชนีการแตกร่วน                              | 0.935 - 0.988                                     | 0.990 - 0.998                                    |
| ความต้านทานแรงกด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) | 58 - 265                                          | 96 - 219                                         |



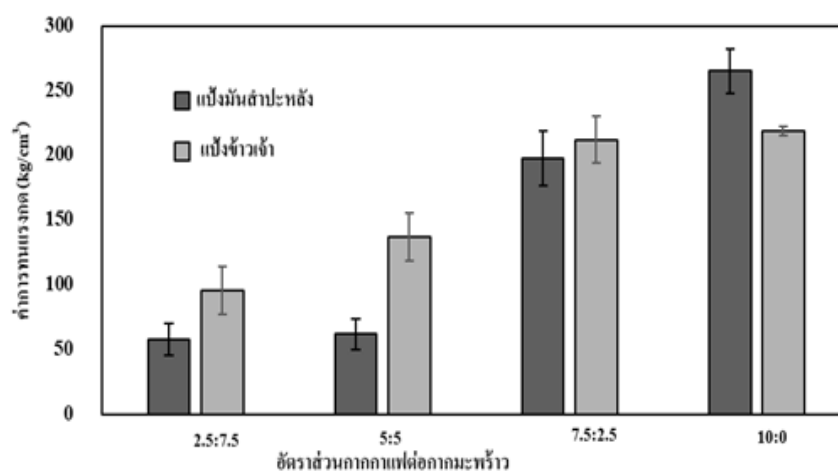
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อกากมะพร้าวต่อตัวประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6

จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แยมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วนกากกาแฟต่อกากมะพร้าวต่อตัวประสาน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.644, 0.675, 0.760, 0.815 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วน กากกาแฟต่อกากมะพร้าวต่อตัวประสาน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 ความหนาแน่นเท่ากับ 0.639, 0.692, 0.709, 0.784 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากกากกาแฟมีอนุภาคขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีส่งผลให้ความหนาแน่นสูงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และ กนกวรรณ ภูมิวนิชกิจ, 2562) ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีควรมีความหนาแน่นต่ำเนื่องจากจะทำให้จุดติดไฟเร็ว (ณัฐนิช บุญเฉลิมรัตน์, 2560)



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการแตก่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่ออกมะพร้าวต่อตัวประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6

จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วนกากกาแฟต่ออกมะพร้าวต่อตัวประสาน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 โดยมีดัชนีการแตก่วน เท่ากับ 0.935, 0.962, 0.984, 0.988 ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วน กากกาแฟต่ออกมะพร้าวต่อตัวประสาน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 โดยมีดัชนีการแตก่วน เท่ากับ 0.990, 0.997, 0.995, 0.998 จะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นทำให้ค่าดัชนีการแตก่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากกากกาแฟมีขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีไม่แตกหักง่ายส่งผลให้ดัชนีการแตก่วนเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และ กนกวรรณ ภูมิวนิชกิจ (2562)



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่ออกมะพร้าวต่อตัวประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6

จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แบริ่งน้ำมันสำหรับเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วนกากกาแฟต่อกากมะพร้าวต่อตัวประสานต่อน้ำ 2.5:7.5:2.6:3, 5:5:2.6:3, 7.5:2.5:2.6:3 และ 10:0:2.6:3 โดยมีค่าการต้านแรงกด เท่ากับ 58, 62, 198, 265 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แบริ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วน กากกาแฟต่อกากมะพร้าวต่อตัวประสานต่อน้ำ 2.5:7.5:2.6:3, 5:5:2.6:3, 7.5:2.5:2.6:3 และ 10:0:2.6:3 โดยมีค่าการต้านแรงกด เท่ากับ 96, 137, 212, 219 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการต้านแรงกด มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งอัตราส่วนที่ใช้แบริ่งน้ำมันสำหรับและแบริ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน เนื่องจากกากกาแฟมีขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีส่งผลให้การทนแรงกดเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และ กนกวรรณ ภูมิวนิชกิจ, 2562)

## 6. อภิปรายผลการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากกาแฟและกากมะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งกากกาแฟต่อกากมะพร้าวโดยใช้แบริ่งน้ำมันสำหรับและแบริ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 สามารถอัดเป็นแท่งได้ดี โดยที่สูตร 2.5:7.5:2.6 และ 5:5:2.6 มีผิวขรุขระเล็กน้อย ส่วน 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 ผิวเรียบสวยงาม ส่วนอัตราส่วน 0:10:2.6 ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้เนื่องจากมีแค่กากมะพร้าวกับตัวประสานซึ่งกากมะพร้าวมีอนุภาคที่ใหญ่ และมีน้ำมันที่หลงเหลือจากการคั่นกะทิจึงไม่สามารถจับตัวเป็นแท่งได้ ส่วนผลการทดลองชนิดของตัวเชื่อมประสานพบว่าลักษณะของก้อนเชื้อเพลิงที่ได้จากการใช้ตัวประสานทั้ง 2 ชนิดไม่แตกต่างกัน

2. ศึกษาชนิดของแบริ่งที่เหมาะสมในการทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากกากกาแฟและกากมะพร้าวโดยเปรียบเทียบระหว่างแบริ่งน้ำมันสำหรับกับแบริ่งข้าวเจ้า จากการทดลองมีการเปรียบเทียบตัวประสานระหว่างแบริ่งน้ำมันสำหรับและแบริ่งข้าวเจ้าพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากตัวประสานทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกันเล็กน้อยทั้งลักษณะทางกายภาพ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

3. ศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว

3.1 สมบัติทางด้านทางกายภาพ เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถขึ้นรูปได้ทั้งสูตรที่ใช้แบริ่งน้ำมันสำหรับและแบริ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

3.1.1 ค่าความหนาแน่นจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แบริ่งน้ำมันสำหรับและแบริ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าค่าความหนาแน่นจะมีค่ามากขึ้นตามอัตราส่วนของกากกาแฟที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกากกาแฟมีอนุภาคขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีส่งผลให้ความหนาแน่นสูง

3.1.2 ค่าดัชนีการแตกร่วนจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แบริ่งน้ำมันสำหรับและแบริ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าค่าดัชนีการแตกร่วนจะมีค่ามากขึ้นตามอัตราส่วนของกากกาแฟที่มากขึ้นเช่นกันเนื่องจากกากกาแฟมีขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีส่งผลให้ดัชนีการแตกร่วนเพิ่มขึ้น

3.1.3 ค่าความต้านทานแรงกดจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แบริ่งน้ำมันสำหรับและแบริ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการต้านแรงกดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากกากกาแฟมีขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีส่งผลให้การทนแรงอัดเพิ่มขึ้น

## 7. ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมโดยการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ไปเผาให้เป็นถ่านเพื่อเพิ่มอายุการจัดเก็บและเพิ่มค่าความร้อน
2. ควรศึกษาการขึ้นรูปแบบอื่นเพื่อสามารถใช้งานที่หลากหลายตามวัตถุประสงค์ เช่น แบบอัดเม็ด

## 8. เอกสารอ้างอิง

- จุฑาภรณ์ ชนะถาวรณ และ กนกวรรณ ภูมิวนิชกิจ. (2562). ผลของเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟต่อสมบัติของเชื้อเพลิง ชีวมวลอัดแท่ง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- ชมธิดา ชื่นนิยม. (2553). การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพดโดยการทำให้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล และ พิชรี ปริดาสุริยะชัย. (2558). การศึกษาการกากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.
- ณัฐนิช บุญเฉลิมรัตน์. (2560). การประยุกต์ใช้กากกาแฟและเปลือกมะขามเพื่อเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.
- วิศรุต ยันตะดิลก. (2560). การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากมะพร้าวร่วมกับผงถ่านโก่งก้าง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.
- สมศักดิ์ ภักดีวารภรณ์. (2544). การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.