



การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวและกากไขมันเหลือทิ้งจากมะพร้าว

**BRIQUETTE FUEL PROPERTIES FROM COCONUT SHELL AND COCONUT GREASE WASTE**

กชาพล ปิ่นพัฒนพงษ์<sup>1</sup>, ปิติพร มโนคุณ<sup>2</sup>, ภัทรมาศ เทียมเงิน<sup>3</sup> และธัญญา รังษีสुरิยะชัย<sup>4\*</sup>

<sup>1,4</sup>อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

<sup>2,3</sup>อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

\*Corresponding author: thaneeya.r@en.rmutt.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวและกากไขมันเหลือทิ้งจากมะพร้าว โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากไขมันร่วมกับเปลือกมะพร้าวชั้นกลาง และขุยมะพร้าว ซึ่งใช้การอัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดเย็น โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบเบื้องต้นในการหาระยะเวลาการอบแห้งที่ดีกว่าระหว่างกรอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 และ 60 นาที และระยะเวลาการจุดติดไฟของระยะเวลาดังกล่าว โดยร้อยละอัตราส่วนที่ใช้ในการผสม มีทั้งหมด 7 อัตราส่วน ได้แก่ 70:30:0 75:15:10 80:10:10 85:10:5 90:8:2 90:10:0 และ 95:3:2 (กากไขมัน : ขุยมะพร้าว : เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ ค่าความร้อน ความชื้น สารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณเถ้า ตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาการอบแห้ง 60 นาที ทำให้ค่าความชื้นน้อยและมีระยะเวลาการจุดติดไฟที่นานกว่าโดยมีเวลาประมาณ 6-9 นาที จึงได้ทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ระยะเวลาการอบที่ 60 นาที ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความร้อนสูงที่สุดที่ร้อยละอัตราส่วน 75 : 15 : 10 (กากไขมัน : ขุยมะพร้าว : เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง) ที่ให้ค่าความร้อน 6,660 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ความชื้นร้อยละ 4.00 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 7.97 สารระเหยร้อยละ 84.10 และเถ้าร้อยละ 4.00 ซึ่งมีค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ที่กำหนดค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งไม่ต่ำกว่า 5,000 (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม) แต่มีค่าความชื้นผ่านกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้มีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่งและถ่านชีวมวลอื่นๆ สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ และช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

**คำสำคัญ:** เชื้อเพลิงอัดแท่ง; ค่าความร้อน; กากไขมัน; เปลือกมะพร้าว; กากไขมันมะพร้าว

**ABSTRACT**

*This research has studied the properties of briquette fuel from coconut shell components and coconut grease waste. The objectives of this study are to examine the optimal proportion and to investigate the fuel properties from coconut grease waste, husk residues and coconut dust by cold-press technique. Pretest set is conducted to compare the better properties and combustion time between dry period 30 and 60 min at the temperature of 105 °C. The biomass briquettes are produced using mixing coconut grease waste:*

Khathapon Pinpathanapong<sup>1</sup> Pitiporn Manokhoon<sup>2</sup> Phattharamat Thiamngoen<sup>3</sup> and Thaneeya Rangseesuriyachai<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

<sup>2,3</sup>Lecturer, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suwanabhumi

<sup>4</sup>Assistant Professor, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

coconut dust: husk residues in seven percentages ratios of 70:30:0, 75:15:10, 80:10:10, 85:10:5, 90:8:2, 90:10:0 and 95:3:2. The chemical properties studied included heating value, moisture content, volatile matters, fixed carbon and bottom ash are analyzed according to ASTM standards. The pretest results show the lowest moisture content and longest ignition point time (6-9 min) at 60-min dry period. Therefore, the optimum ratio is investigated at 60-min dry period and indicates that 75: 15 :10 (coconut grease waste: coconut dust: husk residues) is the optimum ratio with 6,660 kcal/kg heating value, 4.00% moisture content, 7.97% fixed carbon, 84.10% volatile matters and 4.00% bottom ash. The heating value of briquette fuel in this study meets the requirement of Thai Community Production Standard 238/2547 which has the standard heating value of charcoal briquette not less than 5,000 (kcal/kg). However, the moisture content value is achieved the standard which should below 8%. Therefore, briquette fuel from coconut shell and coconut grease waste has a higher heating value than briquette charcoal and other biomass charcoal. Therefore, it demonstrates that it can use as a renewable energy and save the environment.

**KEYWORDS:** briquette fuel; heating value; coconut shell; coconut grease waste

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว มีการเพิ่มกระบวนการผลิตเพื่อตอบสนองต่อการอุปโภคและบริโภค ส่งผลให้มีความต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้น และก่อให้เกิดกากของเสียจากอุตสาหกรรมเป็นปริมาณมากขึ้น ดังนั้นพลังงานเชื้อเพลิงจึงถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ พลังงานที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มาจากพลังงานฟอสซิลซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปและก่อให้เกิดมลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงภาวะเรือนกระจกด้วย เมื่อพิจารณาถึงการนำพลังงานทดแทนมาใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิลซึ่งจะมีส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงกึ่งหนึ่งของหน่วยของพลังงานฟอสซิล [1] โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่นำมาทดแทนจะต้องส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด มุ่งเน้นการนำของเสียที่เกิดจากการผลิตนำมาแปรรูปเพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งพลังงานทดแทนมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น เอทานอล ก๊าซชีวภาพ พลังงานน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้ในการใช้เตาเผาของโรงงานอุตสาหกรรมการใช้ถ่านหิน หรือวัสดุชีวมวลก็มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย จากงานวิจัยที่ผ่านมาพลังงานทดแทนในรูปชีวมวลอัดแท่งหรือเชื้อเพลิงอัดแท่งได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [2-4]

เชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกที่มีประโยชน์เป็นอย่างมาก ทั้งในด้านการลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลและเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยลดภาระต้นทุนในการบริหารจัดการของเสียทั้งในแง่เศรษฐศาสตร์ และการกำจัดขยะตามหลักวิศวกรรม [5] เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถผลิตได้จากวัสดุหลายประเภท เช่น ฟางข้าว ของเสียจากมนุษย์ ขี้เลื่อย ทางมะพร้าว และของเสียทางการเกษตรต่างๆ เป็นต้น [2, 6-9] โดยประเทศไทยนั้นนอกจากการทำเกษตรที่เป็นพืชไร่และพืชสวนแล้ว ยังมีการปลูกมะพร้าวเป็นจำนวนมากอีกด้วยและมีวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าวซึ่งมีศักยภาพในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วมีโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ส่วนประกอบของเปลือกมะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ภายในโรงงาน และงานวิจัยที่ผ่านมาได้นำวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าวมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล [10, 11] นอกจากนี้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นก็มีกรรมวิธีในการผลิตทั้งแบบอัดร้อนและอัดเย็น แต่การผลิตเชื้อเพลิงในการอัดร้อนนั้นมีข้อเสียคือการใช้พลังงานที่สูง ส่วนการอัดขึ้นรูปแบบอัดเย็นเป็นวิธีการที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่า แต่จำเป็นต้องมีวัสดุประสานที่มีคุณภาพ หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติในการทำให้วัสดุอื่นๆ ผสมเข้ากันได้และยึดติดกันได้ดี โดยมีงานวิจัยหลายงานที่ผ่านมาได้นำกากไขมันจากน้ำเสีย

ประเภทต่างๆ มาผสมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งซึ่งให้ค่าความร้อนสูง [12, 13] ซึ่งในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับมะพร้าวในภาคอุตสาหกรรมก็ทำให้เกิดน้ำเสียและกากไขมันจากน้ำเสียเป็นจำนวนมากเช่นกัน ถ้าปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำเกิดน้ำเน่าเสียได้ กากไขมันดังกล่าวสามารถนำมาเป็นวัสดุเพื่อเพิ่มค่าความร้อนให้แก่เชื้อเพลิงอัดแท่งและน่าจะเป็นตัวประสานที่ดีที่ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถขึ้นรูปได้ดีและนำไปใช้ประโยชน์ได้สะดวก

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากไขมันมะพร้าวร่วมกับเปลือกมะพร้าวชั้นกลาง และขุยมะพร้าว โดยทำการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและค่าคุณสมบัติต่างๆ โดยเฉพาะพลังงานความร้อนที่ได้จากการผสมกากไขมันมะพร้าวร่วมกับเปลือกมะพร้าวชั้นกลาง และขุยมะพร้าวเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นวิธีที่ง่าย มีขั้นตอนในการทำที่ไม่ยุ่งยาก และด้วยคุณสมบัติของไขมันและน้ำมัน ที่มีมวลโมเลกุลสูง มีสภาพเป็นไข เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เมื่อเผาไหม้หรือย่อยสลายแล้วจะให้พลังงานต่อหน่วยออกมาสูง จึงสามารถปรับปรุงคุณภาพหรือดัดแปลงให้กลายเป็นพลังงานทดแทนชนิดใหม่ได้ ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากไขมัน และเป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์

## 2. วิธีดำเนินงานวิจัย

### 2.1 วัสดุที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วัสดุที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในการศึกษารุ่นนี้ ได้แก่ กากไขมันที่เกิดจากการผลิตกะทิหรือผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว โดยได้นำกากไขมันซึ่งเป็นกากไขมันของระบบบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกะทิ โดยเป็นกากไขมันที่อยู่ในระบบกำจัดกากไขมันในการทดลองได้นำกากไขมันเก่าที่มีการเก็บไว้เป็นระยะเวลาประมาณหนึ่งปี กากไขมันที่นำมาทดลองมีลักษณะเป็นสีดำ เนื้อสัมผัสคล้ายดินเหนียว เป็นกากไขมันจากโรงงานผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว ซึ่งกากไขมันจะใช้เป็นวัสดุประสาน โดยจะทำการผสมกับวัสดุอีกสองประเภท ประเภทแรกได้แก่ เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง มีลักษณะเป็นเส้นใย มีความหนาพอประมาณ เป็นส่วนที่ติดกับเปลือกมะพร้าว ถ้าแก่จะออกเป็นสีน้ำตาลอมแดง และประเภทที่สองได้แก่ ขุยมะพร้าว ได้จากการนำเปลือกมะพร้าวมาเข้าเครื่องตีให้เกิดเป็นเส้นใยมะพร้าว ในระหว่างกระบวนการตีมะพร้าว จะได้ฝุ่น หรือเศษผงออกมาเป็นขุยมะพร้าว

### 2.2 วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ในการศึกษานี้ต้องการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อให้ได้คุณสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง ซึ่งในการทดลองได้แปรเปลี่ยนอัตราส่วนต่างๆ ของวัตถุดิบ ได้แก่ กากไขมัน ขุยมะพร้าว และเปลือกมะพร้าวชั้นกลาง โดยทำการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนทั้งสิ้น 7 อัตราส่วน ได้แก่ 70:30:0 75:15:10 80:10:10 85:10:5 90:8:2 90:10:0 และ 95:3:2 และนอกจากนี้ได้ทำการแปรเปลี่ยนเวลาในการอบก้อนตัวอย่างให้แห้งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ 30 นาที และ 60 นาที โดยจะทำการทดสอบก้อนตัวอย่างในเบื้องต้น โดยทำการดูความสามารถในการดูดซับน้ำ และทดสอบหาค่าความชื้น เพื่อเลือกระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติอื่นๆ ของก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อไป ในการทดลองเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบโดยนำเปลือกของมะพร้าวชั้นกลางมาสับให้มีขนาดเล็กประมาณ 3 เซนติเมตร เพื่อให้ง่ายต่อการผสมและการขึ้นรูปเชื้อเพลิง และนำขุยมะพร้าวมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 เพื่อให้ได้ขุยมะพร้าวที่ร่วนและมีขนาดเดียวกัน พอได้วัตถุดิบจากการเตรียมวัตถุดิบแล้วทำการชั่งน้ำหนักของกากไขมัน เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง และขุยมะพร้าวตามอัตราส่วนที่กำหนด ทำการคลุกผสมวัตถุดิบให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปทำการขึ้นรูปเป็นแท่งตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทำการอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดเย็น (cold press process) เป็นก้อนสี่เหลี่ยมขนาดแท่งประมาณ  $2 \times 2 \times 4$  (ก $\times$ ย $\times$ ซ) เซนติเมตร มีน้ำหนักประมาณ 10 กรัม นำก้อนเชื้อเพลิงอัด

แห้งไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนดเพื่อไล่ความชื้น แล้วนำไปหาค่ามาตรฐานต่างๆ ของเชื้อเพลิงอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM ได้แก่ ค่าความร้อน ความชื้น สารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และเถ้า

### 2.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ในการทดลองนั้น ทำการทดสอบคุณสมบัติทางต่างๆ ที่พิจารณาสำหรับการทำก้อนเชื้อเพลิงตัวอย่างด้วยวัสดุชีวมวล โดยทำการวิเคราะห์หาค่าความชื้น (moisture content) ค่าคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (volatile matter) เถ้า (ash) และค่าความร้อน (heating value) โดยแสดงวิธีการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ค่าความร้อน (heating value)	ASTM D 5865
ความชื้น (moisture content)	ASTM D 3173
คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)	ASTM D 3172
ปริมาณสารที่ระเหยได้ (volatile matters)	ASTM D 3175
เถ้า (ash)	ASTM D 3174

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 3.1 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้

วัสดุหลักที่ใช้ในการทดลองนี้มี 3 ชนิดด้วยกัน คือ กากไขมันจากมะพร้าว เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง และขุยมะพร้าว โดยเมื่อนำไปทำการทดสอบเพื่อหาค่าความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาผสมเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง จะเห็นได้ว่าค่าความร้อนของวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูง โดยวัสดุที่เป็นเปลือกมะพร้าวชั้นกลาง ขุยมะพร้าว และกากไขมันจากมะพร้าวมีค่าความร้อนเท่ากับ 4,020 3,950 และ 6,260 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ ที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ เช่น ฟางข้าวมีค่าความร้อนอยู่ที่ 2,944 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ลำต้นปาล์ม 1,800 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ชานอ้อย 3,936 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม กะลามะพร้าว 4,282 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม แกลบ 3,229 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และกะลาปาล์ม 4,036 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวัสดุที่นำมาใช้นั้นมีศักยภาพในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณสมบัติที่ดีทางด้านค่าความร้อน [14]

### 3.2 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากไขมันจากมะพร้าว เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง และขุยมะพร้าว ทั้งหมด 7 อัตราส่วน ที่ระยะเวลาในการอบ 30 นาที และ 60 นาที พบว่า ก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทำการอบในระยะเวลา 30 นาทีนั้นมีความชื้นที่ค่อนข้างสูง จุดติดไฟได้ยาก โดยระยะเวลาในการจุดติดไฟของตัวอย่างแห้งเชื้อเพลิงที่อบในช่วงเวลา 30 นาที สามารถจุดติดไฟได้ประมาณ 2-3 นาที และระยะเวลาในการอบที่ 60 นาที นั้นสามารถจุดติดไฟได้ประมาณ 6-9 นาที และค่าความชื้นของแต่ละอัตราส่วนแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านการอบด้วยระยะเวลา 30 นาที มีความชื้นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอัดแท่ง (มพช. 238/2547) [15] ทุกอัตราส่วน ซึ่งตามเกณฑ์ฯ กำหนดให้ความชื้นของถ่านอัดแท่งมีค่าไม่เกินร้อยละ 8 ส่วนการอบที่ระยะเวลา 60 นาทีนั้น ค่าความชื้นจะสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานดังกล่าวเมื่อมี

ปริมาณกากไขมันเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อร้อยละของส่วนผสมของกากไขมันมากกว่าร้อยละ 80 จะทำให้ค่าความชื้นสูงเกินมาตรฐาน ดังนั้นจึงได้ทำการคัดเลือกอัตราส่วนต่างๆ ที่ทำการอบในระยะเวลา 60 นาที มาวิเคราะห์ค่าความร้อน ความชื้น คาร์บอนคงตัว สารระเหย และเถ้า เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อไป

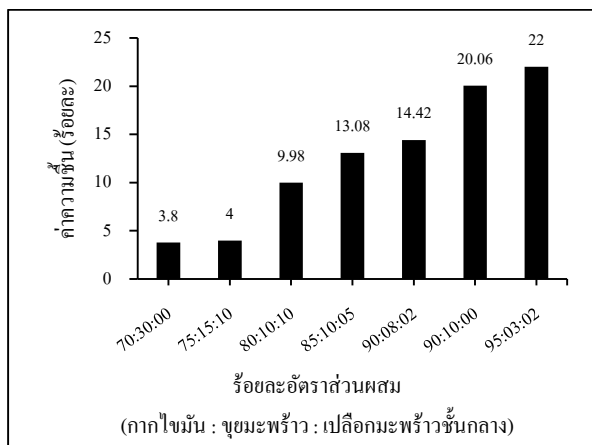
ตารางที่ 2 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านการอบ ระยะเวลา 30 และ 60 นาที

ร้อยละอัตราส่วนผสม (กากไขมัน : ขุยมะพร้าว : เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง)	ความชื้น (ร้อยละ)	
	30 นาที	60 นาที
70 : 30 : 0	25.00	3.80
75 : 15 : 10	26.40	4.00
80 : 10 : 10	26.70	9.98
85 : 10 : 5	28.40	13.08
90 : 8 : 2	30.20	14.42
90 : 10 : 0	31.80	20.60
95 : 3 : 2	33.70	22.00

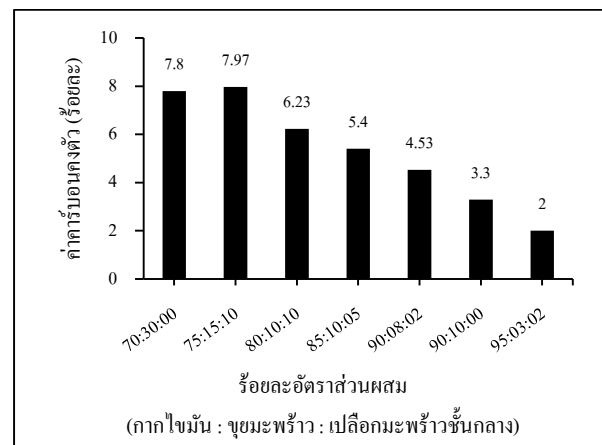
### 3.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อบด้วยระยะเวลา 30 นาที ไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากมีค่าความชื้นที่สูงเกินไป จึงได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีต่างๆ ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ระยะเวลาการอบที่ 60 นาที เพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ในการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อไป โดยรูปที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางเคมีโดยทั่วไปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง และรูปที่ 2 แสดงคุณสมบัติของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอัดแท่ง ที่กำหนดค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งไม่ต่ำกว่า 5,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม จากผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า อัตราส่วนที่มีค่าความชื้นน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 70 : 30 : 00 (กากไขมัน : ขุยมะพร้าว : เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง) มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 3.80 โดยค่าความชื้นมีแนวโน้มสูงขึ้นถ้ามีปริมาณกากไขมันผสมอยู่ในปริมาณที่มากเนื่องจากมีส่วนประกอบของน้ำอยู่มาก เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีโดยทั่วไปควรที่จะมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 50 [16] ยังมีค่าความชื้นต่ำ คุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งก็จะยิ่งดี เพราะจะทำให้แท่งเชื้อเพลิงสามารถจุดติดไฟได้ง่าย สามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น และลดการเกิดเชื้อรา ใดๆ ก็ดี เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นเชื้อเพลิงเขียว ซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) ให้เป็นถ่าน ค่าความชื้นจึงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอัดแท่ง [15] เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าคาร์บอนคงตัวพบว่าค่าคาร์บอนคงตัวมากที่สุดคือ อัตราส่วน 75 : 15 : 10 (กากไขมัน : ขุยมะพร้าว : เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง) ซึ่งให้ค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 7.97 และในส่วนของอัตราส่วนที่ให้ค่าคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุด คือ 95 : 03 : 02 ให้ค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 2.00 จากการทดลองจะพบว่าถ้ามีปริมาณเปลือกมะพร้าวชั้นกลาง และขุยมะพร้าวผสมในปริมาณที่มากก็จะช่วยให้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวในเชื้อเพลิงที่เยอะกว่าในอัตราส่วนที่มีกากไขมันเป็นส่วนผสมหลัก เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีนั้นควรมีค่าคาร์บอนคงตัวสูง เนื่องจากค่าคาร์บอนคงตัวนั้นเป็นตัวบ่งชี้ของระยะเวลาในการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าคาร์บอนคงตัวสูงก็จะสามารถลุกไหม้ได้ยาวนาน ค่าคาร์บอนคงตัวโดยทั่วไปไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 15 [17] ปริมาณสารระเหย เป็นส่วนของของเสียที่เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะระเหยไป จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนที่ให้ปริมาณสารระเหยมากที่สุดคืออัตราส่วน 75 : 15 : 10 (กากไขมัน : ขุยมะพร้าว : เปลือกมะพร้าวชั้น

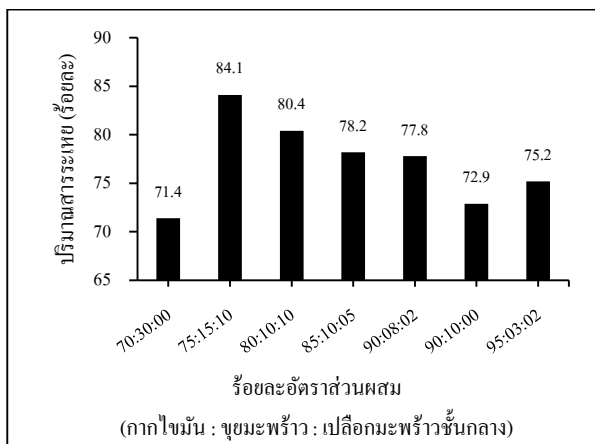
กลาง) ซึ่งให้ปริมาณสารระเหยร้อยละ 84.10 และในส่วนของอัตราส่วนที่ให้ปริมาณสารระเขยน้อยที่สุด คือ 70 : 30 : 00 ให้ปริมาณสารระเหยร้อยละ 71.40 จากการทดลองจะพบว่าถ้ามีปริมาณเปลือกมะพร้าวชั้นกลางผสมในปริมาณที่มากก็จะช่วยให้มีปริมาณสารระเหยในเชื้อเพลิงที่เยอะกว่าขุยมะพร้าวและกากไขมัน เนื่องจากเปลือกมะพร้าวมีลักษณะเป็นเส้นใยซึ่งเป็นองค์ประกอบของคาร์บอนที่ต่อกันเป็นสายยาวกว่าและมีค่าความแน่นที่มากกว่า นอกจากนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งในงานวิจัยนี้เป็นเชื้อเพลิงชีว จึงมีปริมาณสารระเหยอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงมากกว่าถ่านอัดแท่ง โดยค่ามาตรฐานของสารระเหยโดยทั่วไปควรมีค่าสูงกว่าร้อยละ 80 [17] โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณสารระเหยสูงจะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูงตามไปด้วย และสำหรับผลการทดสอบปริมาณเถ้าซึ่งเป็นส่วนผสมที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เชื้อเพลิงที่มีปริมาณเถ้าในจำนวนที่มากนั้นก็จะทำให้ตัวเชื้อเพลิงนั้นๆ เผาไหม้ได้ยาก ดังนั้นเชื้อเพลิงควรมีปริมาณเถ้าไม่เกินร้อยละ 20 [17] อัตราส่วนที่ให้ปริมาณเถ้ามากที่สุดคืออัตราส่วน 75 : 15 : 10 (กากไขมัน : ขุยมะพร้าว : เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง) ซึ่งมีปริมาณเถ้าร้อยละ 4.00 และในส่วนของอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด คือ 95 : 03 : 02 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 2.80 จากการทดลองจะพบว่าปริมาณเถ้าในทุกอัตราส่วนมีค่าที่ใกล้เคียงกันอาจเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ผสมทุกตัวเป็นวัสดุที่เผาไหม้ได้ค่อนข้างสมบูรณ์ทำให้เหลือปริมาณเถ้าที่ต่ำ



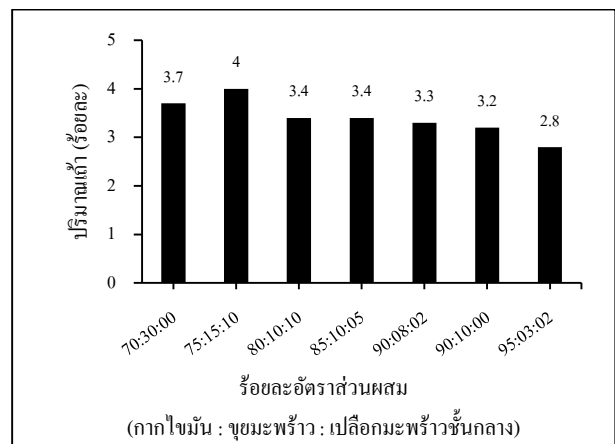
(ก)



(ข)



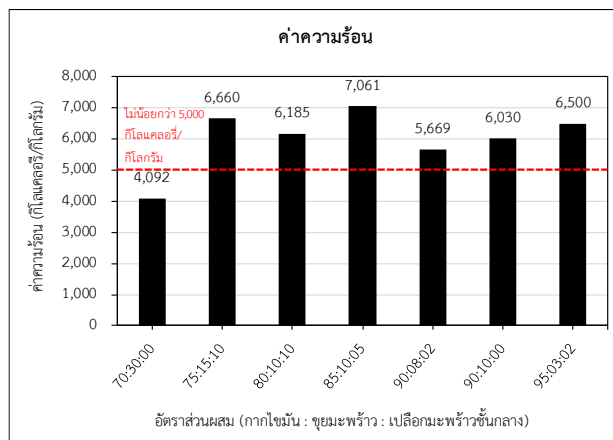
(ค)



(ง)

รูปที่ 1 คุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ (ก) ค่าความชื้น (ข) ค่าคาร์บอนคงตัว (ค) ปริมาณสารระเหย (ง) ปริมาณเถ้า

รูปที่ 2 เป็นผลทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนทั้ง 7 อัตราส่วน จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนที่ให้ความร้อนมากที่สุดคืออัตราส่วน 85 : 10 : 05 (กากไขมัน : ขุยมะพร้าว : เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง) ซึ่งให้พลังงานความร้อน 7,061 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และรองลงมาซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก คือ 6,660 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ที่อัตราส่วน 75 : 15 : 10 โดยพบว่าเมื่อแท่งเชื้อเพลิงมีอัตราส่วนของกากไขมันสูงกว่าร้อยละ 70 ค่าความร้อนจะสูงขึ้นอย่างชัดเจนและมากกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอัดแท่ง (มพช. 238/2547) ที่กำหนดค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งไม่ต่ำกว่า 5,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และค่าความร้อนทั่วไปตามกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ควรมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 3,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม [16] โดยสามารถอธิบายได้จากค่าความร้อนจากตารางที่ 2 ที่แสดงให้เห็นว่ากากไขมันให้ค่าความร้อนสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณกากไขมันที่มากขึ้นไม่ได้ทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นเสมอไปขึ้นอยู่กับส่วนผสมอื่นๆ ด้วย



รูปที่ 2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจากค่าคุณสมบัติต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมที่ 75 : 15 : 10 (กากไขมัน : ขุยมะพร้าว : เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง) มีค่าต่าง ๆ ผ่านตามเกณฑ์คุณสมบัติทั่วไปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากมีค่าค่าความร้อน 6,660 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ความชื้นร้อยละ 4.00 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 7.97 สารระเหยร้อยละ 84.10 และเถ้าร้อยละ 4.00 จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อประเมินคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่ได้จึงได้ทำการเปรียบเทียบสมบัติด้านเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้กับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งชนิดที่เป็นเชื้อเพลิงเขียวจากงานวิจัยอื่น ๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 งานวิจัยนี้มีค่าความร้อนอยู่ในระดับที่มากกว่าแท่งเชื้อเพลิงจากงานวิจัยอื่นเนื่องจากกากไขมันนั้นมีค่าความร้อนสูง ส่วนค่าอื่น ๆ มีค่าที่ใกล้เคียงกันได้แก่ ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัวมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลในงานวิจัยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับถ่านไม้อัดแท่งและถ่านหุงต้ม โดยปกติถ่านจะมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ดีกว่าและเหมาะสมกับการใช้งานมากกว่าเชื้อเพลิงเขียว เนื่องจากผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ดังนั้นมาตรฐานสำหรับถ่านจะมีเกณฑ์ที่เข้มงวดกว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงเขียว จากผลการเปรียบเทียบพบว่าแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากกากไขมันร่วมกับเปลือกมะพร้าวชั้นกลาง และขุยมะพร้าวมีปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ค่าความร้อน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับถ่านไม้อัดแท่งและถ่านไม้หุงต้ม ยกเว้นปริมาณสารระเหยที่ไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับถ่านไม้หุงต้ม จากคุณสมบัติต่างๆ จะเห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยมี

คุณสมบัติที่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงเคมีที่มีอยู่ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงจากฟอสซิลหรือเชื้อเพลิงชีวมวลที่ต้องเสียพื้นที่ในการทำการเกษตรที่เป็นพืชอาหาร และเป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียที่เกิดขึ้นซึ่งจะช่วยลดค่ากำจัดขยะและลดพื้นที่ในการกำจัดขยะ เป็นการช่วยเรื่องการบริหารจัดการขยะได้อีกทางหนึ่งด้วย

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงอัดแท่งชนิดต่างๆ

วัสดุ	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี/ กิโลกรัม)	ร้อยละของค่าคุณสมบัติต่างๆ				อ้างอิง
		ความชื้น	คาร์บอน คงตัว	สารระเหย	เถ้า	
กากไขมันร่วมกับเปลือก มะพร้าวชั้นกลางและขุยมะพร้าว	6,660	4.00	7.97	84.10	4.00	งานวิจัยนี้
ทางมะพร้าวผสมน้ำแข็งมัน สำปะหลัง	4,141	7.30	10.70	76.80	5.30	ธนาพล ต้นดีสัตยกุล และคณะ [9]
ไขมันร่วมกับแกลบและขี้เถ้า	6,132	4.94	9.85	79.35	5.86	อานันตี สรทอง [18]
ตะกอนเปียกผสมร่วมกับ กะลามะพร้าว	4,665	4.7	39.9	32.4	23	เอกสิทธิ์ กิติภักดิ์ ถาวร [19]
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง	ไม่น้อยกว่า 5,000	ไม่เกิน 8	-	-	-	มผช. 238/2547 [15]
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม	ไม่น้อยกว่า 6,000	ไม่เกิน 10	ไม่เกิน 25	ไม่เกิน 8	-	มผช. 657/2547 [15]

#### 4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียจากผลิตภัณฑ์มะพร้าวร่วมกับเปลือกมะพร้าวชั้นกลาง และขุยมะพร้าว โดยใช้วิธีการอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดเย็น โดยใช้กากไขมันเป็นตัวประสาน ทำการผสมตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ร้อยละอัตราส่วนของกากไขมันต่อขุยมะพร้าวและเปลือกมะพร้าวชั้นกลาง ทั้งหมด 7 อัตราส่วนที่มีปริมาณกากไขมันที่แตกต่างกันเป็นส่วนผสมหลัก พบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่มีสมบัติด้านเชื้อเพลิงโดยรวมเหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาจากค่าความร้อน ความชื้น คาร์บอนคงตัว สารระเหย และเถ้า คือ ร้อยละอัตราส่วน 75 : 15 : 10 (กากไขมัน : ขุยมะพร้าว : เปลือกมะพร้าวชั้นกลาง) โดยอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าความร้อนสูง ปริมาณความชื้นต่ำ ค่าคาร์บอนคงตัวสูง ปริมาณสารระเหยสูง และมีปริมาณเถ้าต่ำ โดยสามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงประเภทฟืน ถ่านไม้ กะลาปาล์ม หรือวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงทั่วไปได้ เนื่องจากมีค่าความร้อนใกล้เคียงหรือสูงกว่าวัสดุเหล่านั้น และมีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงตามเกณฑ์คุณสมบัติเชื้อเพลิงของกรมโรงงานอุตสาหกรรมและกรมวิทยาศาสตร์บริการ



### กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก “โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (iTAP) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และบริษัท เทพผดุงพรมะพร้าว จำกัด” ประจำปี 2562 และขอขอบคุณการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ผู้วิจัยขอขอบคุณนายปิยะ เจริญทองและนางสาวกรกนก จันทร์ประภาส ที่เป็นผู้ช่วยในการทำการทดลองในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Bölük, G. and Mert, M. Fossil & renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: Evidence from a panel of EU (European Union) countries. *Energy*, 2014, 74 (1). Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544214008305> [Accessed 5 Dec 2019].
- [2] Mitchual, S.J. Frimpong-Mensah, K. and Darkwa, N.A. Effect of species, particle size and compacting pressure on relaxed density and compressive strength of fuel briquettes. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 2013, 4 (1). Available from: <https://link.springer.com/article/10.1186/2251-6832-4-30> [Accessed 6 Dec 2019].
- [3] Arévalo, J. Quispe, G. and Raymundo, C. Sustainable Energy Model for the production of biomass briquettes based on rice husk in low-income agricultural areas in Peru. *Energy Procedia*, 2017, 141 (1). Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217354322> [Accessed 6 Dec 2019].
- [4] Oladeji, J. Fuel Characterization of Briquettes Produced from Corn cob and Rice Husk Residues. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 2010, 11 (1). Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/81e6/d79212eeba749c63109c190647c44c18ff94.pdf> [Accessed 6 Dec 2019].
- [5] Jittabut, P. Physical and Thermal Properties of Briquette Fuels from Rice Straw and Sugarcane Leaves by Mixing Molasses. *Energy Procedia*, 2015, 79 (1). Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215021840> [Accessed 7 Dec 2019].
- [6] Lela, B. Barišić, M. and Nižetić, S. Cardboard/sawdust briquettes as biomass fuel: Physical–mechanical and thermal Characteristics. *Waste Management*, 2016, 47 (1). Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15301835> [Accessed 7 Dec 2019].
- [7] Ward, B. J. Yacob, T. W. and Montoya, L. D. Evaluation of Solid Fuel Char Briquettes from Human Waste. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48 (1). Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es500197h> [Accessed 8 Dec 2019].
- [8] Akowuah, J. O. Kemausuor, F. and Mitchual, S. J. Physico-chemical characteristics and market potential of sawdust charcoal briquette. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 2012, 3 (1). Available from: <https://link.springer.com/article/10.1186/2251-6832-3-20> [Accessed 9 Dec 2019].
- [9] ธนาพล ตันดีสัตยกุล และคณะ. พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 2558, 23 (3). เข้าถึงได้จาก: <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/33484> [สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2562].
- [10] Krzysztof Dziedzic, K. M. Taras Hutsol. and Barbara Dziedzic. Impact of grinding coconut shell and agglomeration pressure on quality parameters of briquette. *Engineering for Rural Development*, 2018, 23 (3). Available from: <http://188.190.33.55:7980/jspui/handle/123456789/2416> [Accessed 10 Dec 2019].
- [11] Yerizam, M. et al. Characteristics of Composite Rice Straw and Coconut Shell as Biomass Energy Resources (Briquette) (Case study: Muara Telang Village, Banyuasin of South Sumatra). *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2013, 3 (1). Available from: <http://www.insightsociety.org/ojaseit/index.php/ijaseit/article/view/326> [Accessed 10 Dec 2019].
- [12] Pongthornpruek, S. and Sasitharanuwat, A. The Utilization of Bamboo Residues and Grease Waste for Charcoal Briquette Production. *Applied Mechanics and Materials*, 2019, 886 (1), pp. 154-158.

- [13] Pongthornpruek, S. The Utilization of Cashew Shell Residues and Grease Waste for Charcoal Briquette Production. *Applied Environmental Research*, 2017, 39 (1). Available from: <https://www.tci-thaijo.org/index.php/aer/article/view/63639> [Accessed 10 Dec 2019].
- [14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. *ฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปีเพาะปลูก พ.ศ. 2556, 2556*. เข้าถึงได้จาก: [webkc.dede.go.th/testmax/node/2450](http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2450) [สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2562]
- [15] ธนินยา เกาศล. วัฒนา ศรีเกตุ. และ วิชัยรัตน์ แก้วเจือ. ถ่านอัดแท่งจากเถ้าหนักของโรงไฟฟ้าชีวมวลจากรากไม้ยางพารา. ใน: *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24*, อุตรธานี, 10-12 กรกฎาคม 2562, หน้า. 29-36.
- [16] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. *คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน*, 2555. เข้าถึงได้จาก: [http://webintra.diw.go.th/iwmb/form/iwd040\\_%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B8%81%20%E0%B8%87\\_%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%B3%E0%B8%A3%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87.pdf](http://webintra.diw.go.th/iwmb/form/iwd040_%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B8%81%20%E0%B8%87_%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%B3%E0%B8%A3%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87.pdf) [สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2562]
- [17] นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล. การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ และคร่าวเรือน. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 2557, 6 (11). เข้าถึงได้จาก: <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/download/4488/4409> [สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2562]
- [18] อานัติ สรทอง. *การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง:กรณีศึกษาโรงแรมแกรนด์ฮาวเวิร์ด*. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2559.
- [19] เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร. เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมของตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล. *วารสารวิจัยพลังงาน*, 2556, 10 (3). เข้าถึงได้จาก: <http://www.eri.chula.ac.th/eri-main/wp-content/uploads/2014/07/43-56.pdf> [สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2562]