

การศึกษาและปรับปรุงเครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงด้วย  
ระบบไฮดรอลิกสำหรับอัดแท่งชีวมวลแบบไม่ใช้ตัวประสาน  
เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง

**STUDY AND IMPROVEMENT OF HIGH PRESSURE BIOMASS  
BRIQUETTING MACHINE WITH HYDRAULIC SYSTEM FOR PRESSING  
BIOMASS WITHOUT BINDER FOR SOLID FUEL**

สุพัตรา บุตรเสรีชัย<sup>1</sup> นิติพงษ์ สุหุณยานาง<sup>2</sup> และพรวิภา วงศ์คง<sup>3</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์, โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000,  
pla.supattra.cpru@gmail.com

<sup>2,3</sup>นักศึกษา, โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000,  
<sup>2</sup>Suyanang9898@gmail.com, <sup>3</sup>581702117@cpru.ac.th

Supattra Budsareechai<sup>1</sup>, Nitipong Sooyanang<sup>2</sup> and Pornwipa Wongkong<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Establishment Project of the Faculty of Engineering,  
Chaiyaphum Rajabhat University, 167 Nafai Subdistrict, Mueang District,  
Chaiyaphum 36000, Thailand, pla.supattra.cpru@gmail.com

<sup>2</sup>Student, Establishment Project of the Faculty of Engineering, Chaiyaphum Rajabhat  
University, 167 Nafai Subdistrict, Mueang District, Chaiyaphum 36000, Thailand,  
<sup>2</sup>Suyanang9898@gmail.com, <sup>3</sup>581702117@cpru.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและปรับปรุงเครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงด้วยระบบไฮดรอลิกสำหรับอัดแท่งชีวมวลแบบไม่ใช้ตัวประสานเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง โดยศึกษาผลลักษณะทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งที่ได้ อุณหภูมิและเวลาในการไพโรไลซิสถ่านอัดแท่งจากชีวมวล รวมทั้งชนิดของชีวมวลที่เหมาะสมกับเครื่องที่ผลิตได้จากงานวิจัย ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้จะถูกอัดแท่งโดยไม่ใช้ตัวประสาน ด้วยเครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงด้วยระบบไฮดรอลิกสำหรับอัดแท่งชีวมวลแบบไม่ใช้ตัวประสานเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 cm พบว่า

เศษใบสับปรดที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเส้นใยสามารถใช้ความดันจากเครื่องได้สูงกว่าหญ้าเนเปียบด ไยมะพร้าว กากอ้อย และผักกระถินบด คือ 80, 70, 60, 50 และ 50 bar ตามลำดับ และยังพบว่าเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการศึกษาครั้งนี้ คือ 30 นาที และ 400 °C ค่าความร้อนที่ความดัน 50 bar ของถ่านอัดแท่งจากเศษใบสับปรดมีค่าความร้อนสูงสุด เมื่อเทียบกับถ่านจากเศษใบสับปรดที่ใช้กาเวลาเทกซ์เป็นตัวประสาน (20% โดยน้ำหนัก) หญ้าเนเปียบด ไยมะพร้าว กากอ้อย และผักกระถินบด คือ 31.92, 24.81, 28.57, 25.75, 24.57 และ 20.75 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนของชีวมวลและถ่านอัดแท่งจากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น ถ่านอัดแท่งชีวมวลด้วยเครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงแบบไม่มีตัวประสานด้วยระบบไฮดรอลิกมีความเหมาะสมที่สามารถนำมาเป็นเครื่องมือในการสร้างแหล่งพลังงานเนื่องจากลดเวลาในการผลิต ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้ [1-4]

**คำสำคัญ:** เชื้อเพลิงแข็ง, เครื่องอัดแท่ง, ชีวมวล, ไพโรไลซิส, ค่าความร้อน

### ABSTRACT

This research aims to study and improve the hydraulic high pressure biomass briquetting machine for making biomass without binder for use as solid fuel, by studying the physical characteristics of the obtained biomass briquettes, temperature, time of charcoal pyrolysis from biomass, including the type of biomass that is suitable for the machine produced from the research. Which these raw materials will be briquetted without using a binder with high pressure biomass briquetting machine with hydraulic system for pressing the biomass without binder for use as solid fuel. With a diameter of 3 cm, it was found that the pineapple leaf scraps left from the fiber production process were able to apply higher pressure than Napier grass, coconut fiber, sugarcane bagasse and acacia pods were 80, 70, 60, 50 and 50 bar, respectively. The optimum time and temperature in this study was 30 min and 400 °C. The heat value at pressure 50 bar of briquette charcoal from pineapple leaf scraps had the highest heating values, compared to Pineapple leaf scraps using latex glue as a binder (20% by weight), Napier grass crushed, coconut fiber, sugarcane bagasse, and acacia pods were 31.92, 24.81, 28.57, 25.75, 24.57 and 20.75 MJ/kg, respectively, when comparing the heating value of biomass and charcoal from this research with other studies, and It was found that the values are similar. Therefore, the hydraulic high pressure biomass briquetting machine for making biomass without binder for use as solid fuel is suitable and can be used

as a tool to generate energy sources because of the reduction time, saves energy and costs that occur in the process. [1-4]

**KEYWORDS:** solid fuel, briquetting machine, biomass, pyrolysis, heating value

## 1. บทนำ

ประเทศไทยมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกมากขึ้น ซึ่งการสนับสนุนให้มีการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญเพื่อลดการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งปัจจุบันทรัพยากรป่าไม้มีจำนวนลดลงจึงจำเป็นต้องลดการใช้ไม้จากธรรมชาติ โดยชีวมวล คือ วัสดุหรือสารที่ได้จากสิ่งมีชีวิต การนำชีวมวลและเศษวัสดุที่ใช้แล้วจากธรรมชาติ กลับมาใช้ประโยชน์และสร้างทางเลือกที่ดีต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันความต้องการใช้สอยในรูปของถ่านอัดแท่งชีวมวลมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้ทดแทนไม้จริงจากป่าไม้ที่มีปริมาณลดน้อยลง หรืออีกนัยความหมายหนึ่งของชีวมวลคือ แหล่งกักเก็บพลังงานเนื่องจากพืชอาศัยแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตจากนั้นจะถูกแปรเปลี่ยนสภาพเป็นแป้งและน้ำตาลแล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช เมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิง เราจึงได้พลังงานออกมา การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวลสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า ดังนั้นชีวมวลจึงเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูกที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย กระบวนการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงานแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ วิธีทางเคมี วิธีทางชีวเคมี และวิธีการใช้พลังงานความร้อน โดยวิธีการใช้พลังงานความร้อนนี้ ยังแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) และกระบวนการลิควิแฟกชัน (Liquefaction) โดยกระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการให้ความร้อนกับวัสดุที่อุณหภูมิปานกลาง (300-700 °C) ในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระบวนการไพโรไลซิสประกอบไปด้วยของแข็งหรือถ่านชาร์ ของเหลว และแก๊ส [1]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในการศึกษาและปรับปรุงเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบไม่ใช้ตัวประสานด้วยระบบไฮดรอลิก เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง เดิมมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเครื่องอัดแท่งชีวมวลที่หลากหลาย [5-7] แต่ผู้วิจัยยังต้องการพัฒนาให้เกิดความคุ้มค่า ลดเวลา และประหยัดค่าใช้จ่ายให้ได้มากที่สุด มีการปรับปรุงพัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ใช้งานได้อย่างสะดวกสบาย ลดต้นทุนการผลิตซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนวัสดุที่ต้องนำมาทำเป็นตัวประสาน เพื่อให้ได้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นและได้พลังงานมากขึ้น ซึ่งวัสดุชีวมวลที่นำมาใช้ในงานวิจัยคือ เศษใบสับปะรดที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเส้นใย กากอ้อย หนุ่เนเปียบด ผักกระถินบด และโยมะพร้าว ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายใน

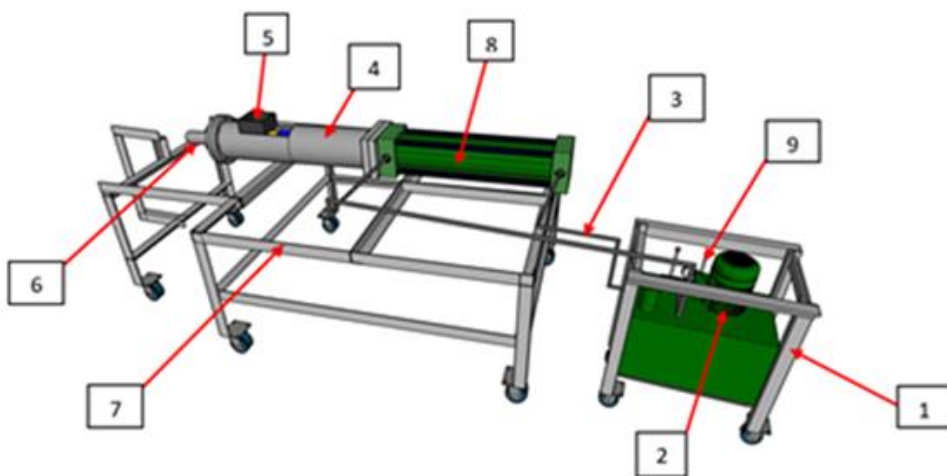
ท้องถิ่น และเพื่อเป็นการส่งเสริมรายได้ให้กับชุมชน ตอบสนองนโยบายการใช้พลังงานทดแทนเพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานในประเทศต่อไป

## 2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา การศึกษาและปรับปรุงเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบไม่ใช้ตัวประสานด้วยระบบไฮดรอลิก เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง จากนั้นทำการไพโรไลซิสชีวมวลอัดแท่งที่ได้ ซึ่งมีรายละเอียดของการออกแบบเครื่อง การเตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

### 2.1 การออกแบบเครื่อง

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงแบบไม่ใช้ตัวประสานด้วยระบบไฮดรอลิก ตามรูปที่ 1 ประกอบไปด้วย (1) โครงถังบรรจุน้ำมัน ทำจากเหล็กฉากขนาด 1.5 นิ้ว (2) ชุดต้นกำลัง ระบบไฮดรอลิก (3) สายไฮดรอลิก (4) กระบอกลัดแท่งทำด้วยเหล็กทรงกระบอกตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm (5) ช่องใส่วัตถุดิบ (6) หัวเครื่องอัดแท่ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 cm (7) โครงเครื่องอัดแท่งทำจากเหล็กฉากขนาด 1.5 นิ้ว (8) กระบอกลัดไฮดรอลิก (9) ชุดควบคุมและเกจวัดความดัน ซึ่งเครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงแบบไม่ใช้ตัวประสานด้วยระบบไฮดรอลิกที่สร้างขึ้นนั้นประกอบไปด้วย ชุดวาล์วไฮดรอลิกขนาด 3.7 kW ควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติของชุดกระบอกลัดไฮดรอลิก ซึ่งชีวมวลจะถูกลำเลียงใส่ลงในชุดถังลำเลียงวัสดุ ผ่านไปยังชุดหัวอัดที่สามารถปรับความดันได้ตั้งแต่ 0-400 bar หรือ 0-5,800 psi หลังจากนั้นผ่านไปยังรูของแท่งอัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm ตามรูปที่ 2 (ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบกรณีที่ไม่มีวัตถุดิบป้อนเข้า เครื่องมีวาล์วนี้สามารถวัดความดันสูงสุดได้ 400 bar จริง)



รูปที่ 1 แบบเครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงแบบไม่ใช้ตัวประสานด้วยด้วยระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 2 เครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงแบบไม่ใช้ตัวประสานด้วยตัวระบบไฮดรอลิก

## 2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

ชีวมวลได้แก่ เศษใบสับปะรดที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเส้นใย กากอ้อย หญ้าเนเปียร์บด ผักกระถินบด และไยมะพร้าว ได้มาจากพื้นที่ในชุมชนท้องถิ่น จังหวัดชัยภูมิ ซึ่งชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ต้องนำชีวมวลเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้ความชื้นลดลงเหลือประมาณ 20% หลังจากนั้นนำไปบดโดยใช้เครื่องปั่นและร่อนด้วยตะแกรกร่อน

รูปที่ 3 (ก) เป็นตัวอย่างชีวมวลที่ผ่านการบดละเอียดเพื่อร่อนนำเข้าเครื่องอัดแท่ง ส่วนรูปที่ 3 (ข) นั้นเป็นตัวอย่างชีวมวลที่ผ่านการอัดแท่งจากเครื่องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm แล้ว โดยในงานวิจัยนี้ไม่ใช้ตัวประสานในการอัดแท่ง แต่ใช้ความดันสูงจากการนำแรงจากกระบอกระบบไฮดรอลิกเพื่อเป็นเครื่องช่วยเพิ่มความดันในการทำให้แท่งชีวมวลอัดแน่นมากยิ่งขึ้น ด้วยเกจวัดความดัน มีย่านในการวัด 0 ถึง 400 bar หรือ 0 ถึง 5,800 psi ดังรูปที่ 2 เพื่อศึกษาความดันในการอัดแท่งที่เหมาะสม และบันทึกลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้น



(ก) ชีวมวลบดละเอียด



(ข) ชีวมวลอัดแท่ง

รูปที่ 3 ตัวอย่างชีวมวล



## 2.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการไพโรไลซิสชีวมวลอัดแท่งที่เหมาะสม

2.3.1 นำชีวมวลเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปบดโดยใช้เครื่องบด และร่อนด้วยตะแกรกร่อน

2.3.2 นำตัวอย่างที่เตรียมได้เข้าเครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงแบบไม่ใช้ตัวประสานด้วยตัวระบบไฮดรอลิก นำชีวมวลอัดแท่งที่ได้ออกจากกระบอกลอดอัดแท่ง พร้อมกับบันทึกความดันสูงสุดที่เกิดขึ้น

2.3.3 ชั่งชีวมวลอัดแท่งทั้ง 5 ชนิด ที่เตรียมได้ 1 kg บรรจุภายในเตาปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 4 (ก) ทำจากเหล็กโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 cm สูง 60 cm เพื่อทำการไพโรไลซิส ด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูงระบบแก๊ส LPG ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ วัดค่าอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลรุ่น SPL T\_S/107 Type K, J, PT100 ที่สภาวะปราศจากก๊าซออกซิเจนโดยการปล่อยก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 100 cm<sup>3</sup>/ นาที ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่ 500 °C เป็นเวลา 30 นาที ดังรูปที่ 4 (ข) ประกอบไปด้วยหมายเลข 1 คือ ถังแก๊สไนโตรเจน หมายเลข 2 คือ มาตรวัดอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน หมายเลข 3 คือ เตาเผาอุณหภูมิสูงสร้างด้วยอิฐทนความร้อน ควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ หมายเลข 4 คือ เตาปฏิกรณ์สำหรับบรรจุชีวมวลอัดแท่ง หมายเลข 5 คือ ชีวมวลอัดแท่ง หมายเลข 6 คือ ภาชนะรองรับสำหรับเก็บผลิตภัณฑ์ของเหลว

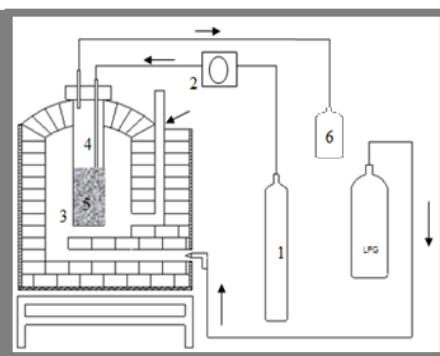
2.3.4 จากนั้นเปลี่ยนอุณหภูมิไปที่ 300 °C และ 400 °C โดยทำการทดลองซ้ำข้อ 2.3.1-2.3.3 ตามลำดับ



(ก) เตาปฏิกรณ์



(ข) เครื่องดันแบบเตาเผาอุณหภูมิสูง



รูปที่ 4 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดชีวมวล

## 2.4 การศึกษาผลของเวลาในการไพโรไลซิสถ่านอัดชีวมวลที่เหมาะสม

เมื่อได้อุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 2.3 แล้ว นำมาศึกษาผลของเวลาในการไพโรไลซิสที่เหมาะสม โดยทำการไพโรไลซิส ที่เวลา 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

## 2.5 การศึกษาชนิดของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่เหมาะสม

เมื่อได้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 2.3 และ 2.4 แล้ว นำมาศึกษาชนิดของถ่านอัดแท่งในการไพโรไลซิสที่เหมาะสม โดยทำการไพโรไลซิสกับถ่านอัดแท่งชนิดเศษใบสับปรดที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเส้นใย กากอ้อย หญ้าเนเปียร์บด ผักกระถินบด โยมะพร้าว และถ่านจากเศษใบสับปรดที่ใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวประสาน (20% โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ

## 2.6 วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

2.6.1 เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของแข็ง (ถ่านอัดแท่ง) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ (Yield) โดยสำหรับผลิตภัณฑ์ก๊าซหาได้จากสมการที่ (1) คือ [2]

$$\% \text{ผลิตภัณฑ์ก๊าซ} = 100 - \% \text{ผลิตภัณฑ์ของแข็ง} - \% \text{ผลิตภัณฑ์ของเหลว} \quad (1)$$

2.6.2 การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate analysis) ได้แก่ คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) สารระเหย (Volatile matter) เถ้า (Ash) และความชื้น (Moisture) ทำได้โดยใช้เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) [2] ก๊าซให้ความร้อนกับตัวอย่างจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 120 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน (อัตราการไหล 100 cm<sup>3</sup>/นาที, อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที) เป็นเวลา 10 นาที โดยน้ำหนักที่วัดที่อุณหภูมิ 120 °C นี้สามารถนำไปคำนวณหาความชื้นได้ดังสมการที่ (2)

$$\% \text{ของความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ } 120 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง}} \quad (2)$$

จากนั้นให้ความร้อนกับตัวอย่างต่อไปจนถึงอุณหภูมิ 700 °C นี้เป็นเวลา 10 นาที ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเช่นเดิม โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 700 °C นี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าสารระเหยได้ดังสมการที่ (3)

$$\% \text{ของสารระเหย} = \frac{(\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ } 120 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ } 700 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างที่ } 120 \text{ }^{\circ}\text{C}} \quad (3)$$

ขั้นตอนต่อไปจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 10 นาที แต่จะเปลี่ยนจากแก๊สไนโตรเจนเป็นอากาศ เพื่อให้ตัวอย่างเกิดการเผาไหม้ ซึ่งน้ำหนักสุดท้ายนี้สามารถคำนวณหาปริมาณแถ้าได้ดังสมการที่ (4)

$$\text{ร้อยละของแถ้า} = \frac{(\text{น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่าง}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง}} \quad (4)$$

โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวหาได้จากสมการที่ (5)

$$\% \text{คาร์บอนคงตัว} = 100 - \% \text{ของความชื้น} - \% \text{ของสารระเหย} - \% \text{ของแถ้า} \quad (5)$$

สำหรับ%ความชื้นของผลิตภัณฑ์นั้น วิเคราะห์ตามมาตรฐาน AOAC, 2000

2.6.3 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง หรือความหนาแน่นจริง (True density) ทำได้โดยการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาชั่งน้ำหนัก และวัดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อหาปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากนั้นสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งได้จากสมการที่ (6) [2]

$$\text{True density} = \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่ง}}{\text{ปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแท่ง}} \quad (6)$$

โดยปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถหาได้จากสมการที่ (7)

$$v = \pi r^2 L \quad (7)$$

เมื่อ คือ  $v$  ปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ( $\text{cm}^3$ )  $r$  คือ รัศมีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (cm) และ  $L$  คือ ความยาวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (cm)

2.6.4 การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ทำได้โดยการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งบรรจุเข้าไปในกล่องที่มีปริมาตรที่แน่นอน ( $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ) จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวมได้จากสมการที่ (8) [2]

$$\text{bulk density (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อยู่ในกล่อง (g)}}{\text{ปริมาตรของกล่อง (cm}^3\text{)}} \quad (8)$$



2.6.5 ค่าความร้อน (Heating value) ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter (GALLENKAMP Auto bomb) โดยเริ่มจากการชั่งน้ำหนักถ่านอัดแท่งที่ได้จากการไพโรไลซิส และชั่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ จากนั้นเริ่มทำการทดลองหาค่าความร้อน โดยรอให้อุณหภูมิคงที่ จะได้อุณหภูมิเริ่มต้น หลังจากนั้นทำการกดปุ่ม Fire ค้างไว้เป็นเวลา 5 นาที แล้วรอจนกระทั่งอุณหภูมิเริ่มคงที่อีกครั้งจะได้อุณหภูมิสุดท้าย และหลังจากการทดลองหาค่าความร้อนแล้ว ถ้ามีส่วนของเส้นลวด และถ่านของวัตถุติดที่เหลือยู่จะนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปใช้ประกอบการคำนวณ โดยนำอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายไปคำนวณหาค่าความร้อนต่อไป

### 3. ผลการศึกษา

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) สมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง 2) สมบัติของชีวมวลอัดแท่งเริ่มต้น 3) ผลของอุณหภูมิในการไพโรไลซิสถ่านอัดแท่งชีวมวลที่เหมาะสม 4) ผลของเวลาในการไพโรไลซิสถ่านอัดแท่งชีวมวลที่เหมาะสม 5) ชนิดของถ่านอัดแท่งชีวมวลที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 สมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งความดันสูงด้วยระบบไฮดรอลิก

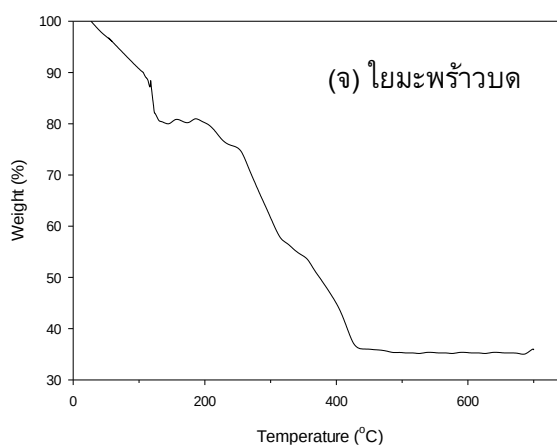
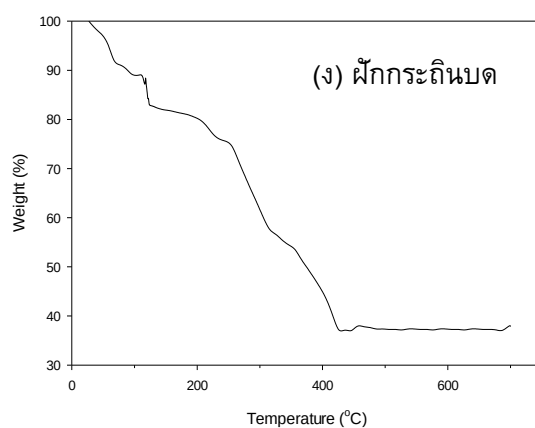
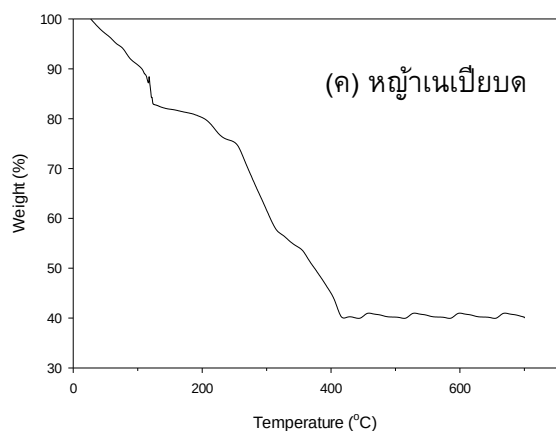
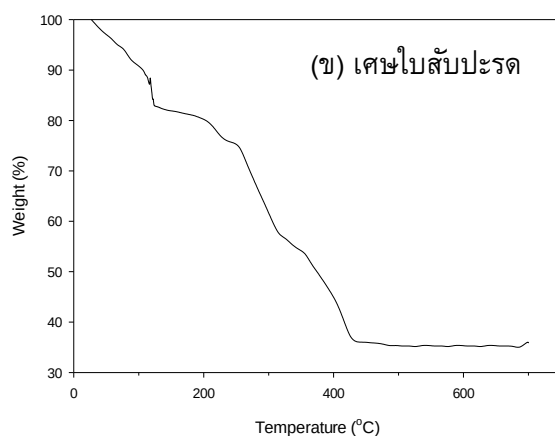
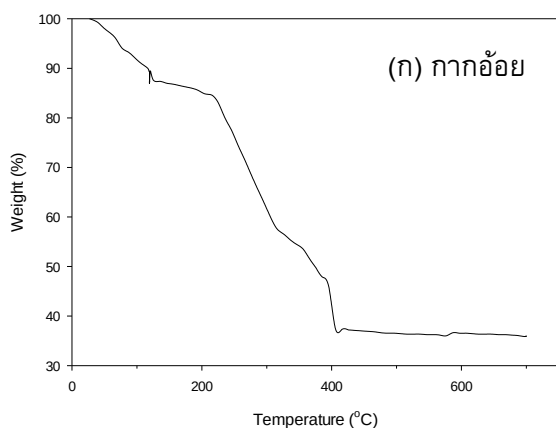
จากตารางที่ 1 การสังเกตลักษณะทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งทั้ง 5 ชนิด คือ เศษใบสับปะรด หญ้าเนเปียบด ไยมะพร้าว กากอ้อย และผักกระถินบด โดยทำการลดความชื้นให้เหลือประมาณ 20% ก่อนทำการอัดแท่ง พบว่า ชีวมวลอัดแท่งจากเศษใบสับปะรดสามารถเกิดความดันได้สูงสุดถึง 80 bar ส่วนหญ้าเนเปียบด ไยมะพร้าว กากอ้อย และผักกระถินบด เกิดความดันสูงสุดได้เพียง 70, 60, 50 และ 50 bar ตามลำดับ และได้ทำการเปรียบเทียบที่ความดัน 50 bar ซึ่งเป็นความดันที่สามารถทำการทดลองได้ทั้ง 5 ชนิด รวมทั้งชีวมวลจาก กากอ้อย ผักกระถิน มีความดันในการอัดแท่งสูงสุดได้เพียง 50 bar เท่านั้น พบว่าที่ความดันเดียวกัน ไยมะพร้าวอัดแท่งมีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ แท่งชีวมวลประสานกันดี ไม่มีรอยร้าว พื้นผิวไม่เรียบ แต่เครื่องนี้ควรเหมาะที่สุดกับการอัดแท่งชีวมวลจากสับปะรด และที่ความดันที่เหมาะสมคือ 80 bar เนื่องจาก แท่งชีวมวลประสานกันดีมาก ไม่มีรอยร้าว พื้นผิวเรียบดีมาก

ตารางที่ 1 ผลจากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง ที่ความชื้น 20%

| ชนิดของชีวมวลอัดแท่ง | ความดันสูงสุดของการอัดแท่งที่เกิดขึ้น (bar) | ลักษณะทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งที่ความดันสูงสุด         | ลักษณะทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งที่ความดัน 50 bar        |
|----------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| เศษใบสับประด         | 80                                          | แท่งชีวมวลประสานกันดีมาก ไม่มีรอยร้าว พื้นผิวเรียบดีมาก | แท่งชีวมวลประสานกันดี มีรอยร้าวเล็กน้อย พื้นผิวเรียบดี  |
| หญ้าเนเปียบด         | 70                                          | แท่งชีวมวลประสานกันดี มีรอยร้าวเล็กน้อย พื้นผิวเรียบดี  | แท่งชีวมวลประสานกันดี มีรอยร้าวเล็กน้อย พื้นผิวเรียบดี  |
| โยมะพร้าว            | 60                                          | แท่งชีวมวลประสานกันดี ไม่มีรอยร้าว พื้นผิวไม่เรียบ      | แท่งชีวมวลประสานกันดี ไม่มีรอยร้าว พื้นผิวไม่เรียบ      |
| กากอ้อย              | 50                                          | แท่งชีวมวลประสานกันดี มีรอยร้าวเล็กน้อย พื้นผิวไม่เรียบ | แท่งชีวมวลประสานกันดี มีรอยร้าวเล็กน้อย พื้นผิวไม่เรียบ |
| ฝักระถินบด           | 50                                          | แท่งชีวมวลประสานกันดี มีรอยร้าวเล็กน้อย พื้นผิวไม่เรียบ | แท่งชีวมวลประสานกันดี มีรอยร้าวเล็กน้อย พื้นผิวไม่เรียบ |

### 3.2 สมบัติของชีวมวลอัดแท่งเริ่มต้น

ชีวมวลอัดแท่งซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการไพโรไลซิส นำมาวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การสลายตัวทางความร้อน การหาค่าความร้อน และการหาค่าองค์ประกอบแบบประมาณ ได้แก่ คาร์บอนคงตัว สารระเหย เถ้า และความชื้น โดยรูปที่ 5 แสดงการสลายตัวทางความร้อนของชีวมวล พบว่า ชีวมวลอัดแท่งทั้ง 5 มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน คือ น้ำหนักของตัวอย่างลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกที่อุณหภูมิระหว่าง 100-120 °C ซึ่งคือการระเหยของความชื้นจากชีวมวล โดยการระเหยของสารต่าง ๆ เริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 220 °C และการกำจัดสารระเหยต่าง ๆ เสร็จสิ้นที่อุณหภูมิประมาณ 400 °C เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากนี้จะไม่ทำให้น้ำหนักของชีวมวลเสียอีก เนื่องจากที่อุณหภูมิในช่วงระหว่าง ระหว่าง 400-700 °C น้ำหนักเริ่มมีค่าคงที่ ดังนั้น จึงทำการเลือกอุณหภูมิที่ทำการไพโรไลซิส ระหว่าง 300-500 °C ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด โดยการสลายตัวทางความร้อนนี้ สามารถนำไปหาองค์ประกอบแบบประมาณได้



รูปที่ 5 การสลายตัวทางความร้อนของชีวมวล

การหาค่าประกอบแบบประมาณของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด พบว่ามี เศษใบสับปะรดมีค่าความร้อนสูงสุด 18.92 MJ/kg ความหนาแน่นสูงสุด 9,750 kg/m<sup>3</sup> ค่าความชื้นเริ่มต้นสูงสุดร้อยละ 34.57 และปริมาณเถ้าสูงสุดร้อยละ 4.6 โดยน้ำหนัก แต่กากอ้อยมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุด คือร้อยละ 67.70 โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่า องค์ประกอบแบบประมาณต่าง ๆ เหล่านี้ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับวัสดุชีวมวลอื่น ๆ ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการไพโรไลซิส ได้แก่ เปลือกไม้ ยูคาลิปตัส เหง้ามันสำปะหลัง ทะลายปาล์ม ชานอ้อย ชังข้าวโพด เส้นใยปาล์ม และฟางข้าว ดังตารางที่ 2 [2-3]

ตารางที่ 2 ผลการหาค่าประกอบแบบประมาณของชีวมวลทั้ง 5 ชนิดก่อนการทดลอง

| ชนิดของ<br>ชีวมวล<br>อัดแท่ง | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความชื้น<br>เริ่มต้น<br>(%) | ปริมาณ<br>เถ้า<br>(%) | ความ<br>หนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | สาร<br>ระเหย<br>(%) | คาร์บอน<br>คงตัว<br>(%) |
|------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| เศษใบสับปะรด                 | 18.92                  | 34.57                          | 4.60                  | 9,750                                   | 0.295               | 44.32                   |
| หญ้าเนเปียร์                 | 18.10                  | 26.92                          | 3.74                  | 8,340                                   | 0.212               | 35.95                   |
| โยมะพร้าว                    | 18.25                  | 29.35                          | 4.45                  | 7,450                                   | 0.254               | 39.52                   |
| กากอ้อย                      | 17.73                  | 24.57                          | 0.93                  | 6,250                                   | 0.276               | 67.70                   |
| ผักกระถินบด                  | 12.81                  | 20.07                          | 2.30                  | 6,750                                   | 0.164               | 16.14                   |

### 3.3 ผลของอุณหภูมิในการไพโรไลซิสถ่านอัดแท่งจากเศษใบสับปะรดที่เหมาะสม

จากผลการหาค่าประกอบแบบประมาณของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด พบว่าเศษใบสับปะรดมีค่าความร้อนสูงสุดจึงเหมาะกับการทำเป็นเชื้อเพลิงแข็งมากที่สุด ดังนั้นจึงได้เลือกนำเศษใบสับปะรดอัดแท่งมาทำการไพโรไลซิส ที่สภาวะปราศจากก๊าซออกซิเจนโดยการปล่อยก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 100 cm<sup>3</sup>/ นาที เป็นเวลา 30 นาที ตามตารางที่ 3 พบว่าอุณหภูมิในการไพโรไลซิสมีผลต่อของร้อยละผลได้ คือ เมื่ออุณหภูมิในการไพโรไลซิสสูงขึ้น ทำให้อัตราผลได้ (%ของแข็ง) มีค่าลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง ของแข็งจะสลายตัวไปเป็นของเหลวและก๊าซมากขึ้น และค่าความร้อนที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นด้วยและมีค่าเกือบคงที่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 400 °C ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสถ่านอัดแท่งชีวมวล คือ 400 °C ที่ทำให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูง หรือมีค่าความเป็นเชื้อเพลิงสูง 31.92 MJ/kg ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการไพโรไลซิสถ่านอัดแท่งชีวมวลที่ 500 °C มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 ผลของอุณหภูมิในการไพโรไลซิสถ่านอัดแท่งจากเศษใบสับปะรดที่ความดัน 50 bar และเวลา 30 นาที

| อุณหภูมิในการไพโรไลซิส (°C) | ร้อยละผลได้ |          |       | %ความชื้น | ค่าความร้อน (MJ/kg) |
|-----------------------------|-------------|----------|-------|-----------|---------------------|
|                             | %ของแข็ง    | %ของเหลว | %แก๊ส |           |                     |
| 300                         | 84          | 10       | 6     | 9.3       | 29.15               |
| 400                         | 73          | 19       | 10    | 5.2       | 31.92               |
| 500                         | 70          | 21       | 11    | 2.7       | 31.98               |

### 3.4 ผลของเวลาในการไพโรไลซิสถ่านอัดแท่งจากเศษใบสับปะรดที่เหมาะสม ที่ความดัน 50 bar และอุณหภูมิ 400 °C

เวลามีผลกับค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งชีวมวลเล็กน้อย นั่นคือเมื่อใช้เวลาในการไพโรไลซิสสูงขึ้น ทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นเวลาที่เหมาะสม เพื่อความคุ้มค่าในการไพโรไลซิสถ่านอัดแท่งชีวมวล คือ 30 นาที ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลของเวลาในการไพโรไลซิสถ่านอัดแท่งจากเศษใบสับปะรดที่เหมาะสม ที่ความดัน 50 bar และอุณหภูมิ 400°C

| เวลาในการไพโรไลซิส (นาที) | ค่าความร้อน (MJ/kg) | ความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง (kg/m <sup>3</sup> ) | ความหนาแน่นรวม (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|---------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 30                        | 31.92               | 1,750                                          | 1,150                               |
| 60                        | 31.95               | 1,390                                          | 970                                 |
| 90                        | 31.97               | 1,280                                          | 890                                 |
| 120                       | 31.98               | 1,250                                          | 830                                 |

### 3.5 ผลของชนิดถ่านอัดแท่งชีวมวลที่เหมาะสม ที่ความดัน 50 bar เวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 400 °C

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากเศษใบสับปะรดมีค่าความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับหญ้าเนเปียร์ ไยมะพร้าว กากอ้อย ผักกระถินบด และถ่านจากเศษใบสับปะรดที่ใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวประสาน (20% โดยน้ำหนัก) คือ 31.92, 28.57, 25.75, 24.57, 20.75 และ 24.81 MJ/kg ตามลำดับ และยังพบอีกว่าชีวมวลชนิดเดียวกันถ่านอัดแท่งด้วยความดันสูง 50 bar

แบบไม่ใช้ตัวประสานจากเศษใบสับปะรดมีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านจากเศษใบสับปะรดที่ใช้  
กาวลาเท็กซ์เป็นตัวประสาน (20% โดยน้ำหนัก) ถึง 7.11 MJ/kg

**ตารางที่ 5 ผลของชนิดถ่านอัดแท่งชีวมวลที่เหมาะสม ที่เวลา 30 นาที และอุณหภูมิ 400 °C**

| ชนิดของชีวมวลอัดแท่ง                                            | ค่าความร้อน (MJ/kg) |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------|
| เศษใบสับปะรด                                                    | 31.92               |
| หญ้าเนเปียบด                                                    | 28.57               |
| โยมะพร้าว                                                       | 25.75               |
| กากอ้อย                                                         | 24.57               |
| ผักกระถิน บด                                                    | 20.75               |
| เศษใบสับปะรดที่ใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัว<br>ประสาน (20% โดยน้ำหนัก) | 24.81               |

#### 4. สรุปผลการวิจัย

เมื่อนำชีวมวลทั้ง 5 ชนิดมาทำการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงแบบไม่มีตัว  
ประสานด้วยระบบไฮดรอลิกเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งนั้น พบว่า เศษใบสับปะรดที่เหลือทิ้งจาก  
กระบวนการผลิตเส้นใยสามารถใช้ความดันจากเครื่องได้สูงกว่า หญ้าเนเปียบด โยมะพร้าว กาก  
อ้อย และผักกระถินบด คือ 80, 70, 60, 50 และ 50 bar ตามลำดับ และชีวมวลอัดแท่งจาก  
เศษใบสับปะรดที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเส้นใยที่ได้เป็นชีวมวลอัดแท่งที่ประสานกันดีมาก  
ไม่มีรอยร้าว พื้นผิวเรียบดีมาก ซึ่งเมื่อนำชีวมวลอัดแท่งไปทำการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิระหว่าง  
300-500 °C เป็นเวลา 30-120 นาที พบว่า เวลาในการไพโรไลซิสไม่มีผลต่อค่าความร้อนของถ่าน  
ที่ได้ แต่อุณหภูมิในการไพโรไลซิสที่ 300 และ 400 °C มีผลต่อของร้อยละผลได้และค่าความร้อน  
เนื่องจากที่อุณหภูมิ 300-400 °C ยังมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก และสารระเหยต่าง ๆ แต่เริ่มมี  
ค่าคงที่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 400 °C ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการไพโรไลซิส  
ถ่านอัดแท่งชีวมวล คือ 400 °C และ 30 นาที ตามลำดับ รวมทั้งค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจาก  
เศษใบสับปะรดมีค่าความร้อนสูงสุด เมื่อเทียบกับถ่านจากเศษใบสับปะรดที่ใช้กาวลาเท็กซ์เป็น  
ตัวประสาน (20% โดยน้ำหนัก) หญ้าเนเปียบด โยมะพร้าว กากอ้อย และผักกระถินบด คือ 31.92,  
24.81, 28.57, 25.75, 24.57 และ 20.75 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความร้อน  
ของชีวมวลและถ่านอัดแท่งจากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น ๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น ถ่าน  
อัดแท่งชีวมวลด้วยเครื่องอัดแท่งชีวมวลความดันสูงแบบไม่มีตัวประสานด้วยระบบไฮดรอลิก มี



ความเหมาะสมที่สามารถนำมาเป็นเครื่องมือในการสร้างแหล่งพลังงานเนื่องจากประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2560 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สาขาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ

### References

- [1] Budsareechai S, Ngernyen Y, Lhapoon C and Srisakultew P. Solid fuel pellets from pig manure. Rajabhat Agriculture Journal 2016;15:37-43. (In Thai)
- [2] Lhapoon C and Srisakultew P. Solid fuel of biomass and char pellets from pig and chicken manure [Bachelor of Chemical Engineering]. KhonKaen: KhonKaen University; 2016. (In Thai)
- [3] Park J, Lee Y, Ryu C and Park Y. Slow pyrolysis of rice straw: Analysis of products properties, carbon and energy yields. Bioresource Technology 2014;155:63-70.
- [4] Tirinthong V, Duangfoo N and Chummanee P. Production of Biomass Fuel Pellets from Rice Straw and Sugarcane Leaves. Energy Conversion and Management 2014;76: 1073-82.
- [5] Pongsak Y. Development of a cold production biomass coal briquette machine to use waste from coffee bean processing. Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal 2016;9:34-48. (In Thai)
- [6] Budsareechai S, Chanwiang W and Klongvaja T. Study and modification of the solid fuel of char pellets from cow manure. Kasem Budit Engineering Journal 2018;8(1):135-47. (In Thai)
- [7] Preecha S. Charcoal pellet press machine control by Arduino Mega 2560. 4<sup>th</sup> Science and Technology for Sustainable Development Conference;2017 July 19-20; Science Center Building Ubon Ratchathani University. Ubon Ratchathani ;2017. (In Thai)

## ประวัติผู้เขียนบทความ



สุพัตรา บุตรเสรีชัย ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขา  
วิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัย  
ราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000  
E-Mail: pla.supattra.cpru@gmail.com โทรศัพท์ 08-0929-5499



นิตพงษ์ สู้ห่านาง นักศึกษาหลักสูตรสาขาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการ  
จัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย  
อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000  
E-Mail: Suyanang9898@gmail.com โทรศัพท์ 06-1021-3571



พรวิภา วงศ์คง นักศึกษาหลักสูตรสาขาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการ  
จัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย  
อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000  
E-Mail: 581702117@cpru.ac.th โทรศัพท์ 09-3413-4725

---

**Article History:**

Received: March 8, 2021

Revised: April 28, 2021

Accepted: April 29, 2021