

การผลิตน้ำมันชีวภาพจากผักตบชวาโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว

Production of bio-oil from water hyacinth via fast pyrolysis

สุนทร สุทธิบาก^{1*} และ ธวัชชัย สีลาโส²

^{1,2} สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

*ติดต่อ: E-mail : suntorn_su@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ : 042-211040 ต่อ 425, เบอร์โทรสาร : 042-221978

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากผักตบชวาโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธซ์เบด ขนาดอัตราป้อน 200-300 g/hr วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันชีวภาพ และถ่านชาร์ อุณหภูมิไพโรไลซิสที่เซตไว้และทำการศึกษามี 5 ระดับ คือ 350°C, 400°C, 450°C, 500°C และ 550°C จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมที่สุดของผักตบชวาจะอยู่ที่ 402°C ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 57.64 wt.% (ฐานแห้ง) จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันชีวภาพ พบว่า มีปริมาณน้ำเท่ากับ 35.21 wt.% ปริมาณของแข็งเท่ากับ 0.74 wt.% ปริมาณเถ้าเท่ากับ 0.02 wt.% ค่า pH เท่ากับ 3.67 ความหนาแน่นเท่ากับ 1.11 g/ml ความหนืดจลน์เท่ากับ 8.76 cSt และค่าความร้อนต่ำเท่ากับ 23.98 MJ/kg และผลการวิเคราะห์ถ่านชาร์ พบว่า มีค่าความร้อนต่ำเท่ากับ 18.27 MJ/kg

คำหลัก: ไพโรไลซิสแบบเร็ว, ผักตบชวา, น้ำมันชีวภาพ, เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธซ์เบด

Abstract

This article reports a study of production of bio-oil from water hyacinth via fast pyrolysis in a fluidized-bed reactor, feed rate 200-300 g/hr. The aim of this work is to investigate the influence of pyrolysis temperature on product yields. In addition, as well as to study the basic properties of the bio-oil and char products. Fast pyrolysis experiments were conducted using five pyrolysis setting temperatures (350, 400, 450, 500 and 550°C). Results showed that the optimum pyrolysis temperature for water hyacinth was 402°C, which gave maximum bio-oil yield of 57.64 wt.% on dry biomass basis. The bio-oil product was also tested for their basic properties. Results showed that the water, solids and ash contents of the bio-oil were 35.21 wt.%, 0.74 wt.% and 0.02 wt.%, respectively. Moreover, the pH value, density, viscosity and low heating value (LHV) measured as 3.67, 1.11 g/ml, 8.76 cSt and 23.98 MJ/kg, respectively. The low heating value (LHV) of the char product in this work was 18.27 MJ/kg.

Keywords: Fast pyrolysis, Water hyacinth, Bio-oil, Fluidized-bed reactor

1. บทนำ

วิกฤตน้ำมันเชื้อเพลิงและสิ่งแวดล้อมถือว่าเป็นปัญหาหลักที่สำคัญของโลก เนื่องจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และมีแนวโน้มที่จะหมดลงในอนาคต นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไอเสียจากการเผาไหม้จะก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมา เช่น ปัญหามลพิษ ปัญหาสภาวะโลกร้อน เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของโลกและก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นการคิดค้นแหล่งพลังงานทดแทนจึงเป็นสิ่งสำคัญ และพลังงานทางเลือกหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจมาก คือ พลังงานจากชีวมวล (Biomass) ซึ่งเป็นที่รู้จักมานานว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ยั่งยืน เป็นพลังงานที่สะอาด และมีปริมาณพลังงานมหาศาล ในการนำเอาชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานจำเป็นต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูปก่อนที่นำไปใช้งาน ซึ่งมีหลายกระบวนการด้วยกัน หนึ่งในกระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลด้วยความร้อนที่มีความน่าสนใจ คือ ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast pyrolysis)

กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลแข็งด้วยความร้อนสูงและเกิดขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว โดยไม่ใช้ออกซิเจน และไอไพโรไลซิสจะถูกควบแน่นอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หลักที่เป็นของเหลว เรียกว่า น้ำมันชีวภาพ หรือไบโอยล์ (Bio-oil) [1] น้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของชีวมวล จะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม มีความหนืดสูง เมื่อเผาไหม้แล้วจะให้เปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์และไนโตรเจนในปริมาณที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อนำไปใช้งาน สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทั้งในการให้ความร้อน กำลังงาน หรือให้ทั้งความร้อนและกำลังงานร่วมกัน หรือใช้ในอุตสาหกรรมทางเคมี [2,3]

ผักตบชวา (Water hyacinth) จัดเป็นชีวมวลชนิดหนึ่ง มักพบเห็นบ่อยในลำธาร ห้วยหนอง และคูคลอง

ต่างๆ มีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นปัญหาทั้งในด้านการขนส่ง การเดินทางทางน้ำ กีดขวางการไหลของน้ำตามลำธาร และที่สำคัญเป็นปัญหามากในด้านการจัดการกับวัชพืชประเภทนี้ โดยทั่วไปชีวมวลประเภทนี้จะนำไปใช้ทำเป็นปุ๋ย อาหารสัตว์ แปรรูปเป็นวัสดุจักสาน หรือนำไปฝังกลบและเผาทำลายทิ้ง สำหรับการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านของพลังงาน พบว่ามีการศึกษาการนำเอาผักตบชวาไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง และการผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิง แต่ยังไม่แพร่หลายมากนัก ส่วนการศึกษาการนำเอาผักตบชวาไปใช้เป็นพลังงานในรูปของเชื้อเพลิงเหลว พบว่ายังไม่มีการศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากผักตบชวาโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด โดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ และน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมี ประกอบไปด้วย องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ปริมาณน้ำ ปริมาณของแข็ง ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น ค่า pH ความหนืด และค่าความร้อน

2. วิธีการทดลอง

2.1 ชีวมวล

ในการศึกษานี้จะใช้ผักตบชวาในคลองน้ำภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี เป็นตัวอย่างชีวมวล โดยทำการตากแห้งด้วยแสงแดดและบดย่อยละเอียดด้วยเครื่องบดย่อย จากนั้นทำการคัดแยกขนาดด้วยเครื่องคัดแยก ในการศึกษานี้จะเลือกใช้ขนาดอนุภาค 250-425 μm และก่อนการทดลองจะนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 24 ชั่วโมง เพื่อลดปริมาณความชื้นให้เหลือน้อยที่สุด ตัวอย่างชีวมวลจะทำการวิเคราะห์พื้นฐานประกอบไปด้วย การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture) สารระเหยได้ (Volatile matter) และปริมาณเถ้า (Ash content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM E1756-01, E872-

82 และ E1755-01 ตามลำดับ สำหรับคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) จะคำนวณหาจากค่าความแตกต่างการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุพื้นฐานในชีวมวลประกอบไปด้วย คาร์บอน (Carbon) ไฮโดรเจน (Hydrogen) ไนโตรเจน (Nitrogen) กำมะถัน (Sulfur) และออกซิเจน (Oxygen) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ Carbon Hydrogen Nitrogen & Sulfur analyzer, Model Carbon 628, 628 S, LECO Instruments. ทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือกลางทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (CSTE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และการวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heating value) จะใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุมาคำนวณหา ค่าความร้อนสูง (HHV) และค่าความร้อนต่ำ (LHV) (ฐานแห้ง) ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ ค่าความร้อนสูง (Higher heating value, HHV) ของชีวมวลจะคำนวณโดยใช้สมการของ Sheng และ Azevedo [4] ค่าความร้อนต่ำ (Lower heating value, LHV) ของชีวมวลจะคำนวณจาก HHV_{dry} และปริมาณไฮโดรเจนโดยใช้สมการของ ECN [5]

$$HHV_{dry}(MJ/kg) = -1.3675 + 0.3137C + 0.7009H + 0.0318O^* \quad (1)$$

เมื่อ C และ H คือ เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน และไฮโดรเจน (ฐานแห้ง) ตามลำดับ และ O^* คือ $100 - C - H - Ash$

$$LHV_{dry}(MJ/kg) = HHV_{dry} - 2.442 \times 8.936 \left(\frac{H}{100} \right) \quad (2)$$

2.2. หน่วยผลิตไฟโรไลซิสแบบเร็ว

การทดลองไฟโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาจะดำเนินการทดลองในหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด และทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ ชุดป้อนชีวมวล ชุดดักจับและเก็บรวบรวมถ่านชาร์ ชุดควบแน่นและเก็บรวบรวมน้ำมันชีวภาพ สำหรับหน่วย

ผลิตไฟโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้ในการทดลองจะแสดงไว้ในรูปที่ 1 โครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดจะทำจากท่อเหล็กกล้าสแตนเลส เกรด 304 มีความสูง 450 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน 45 mm ส่วนด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์จะเป็นทางเข้าของแก๊สไนโตรเจนโดยจะให้ความร้อนก่อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์และภายในเครื่องปฏิกรณ์จะใช้ทรายเป็นวัสดุตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อน เครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ให้ความร้อนแก๊สไนโตรเจนก่อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์จะใช้ลวดฮีตเตอร์ไฟฟ้าในการให้ความร้อนโดยจะทำการฝังลวดฮีตเตอร์ไว้ภายในร่องของอิฐทนไฟซึ่งออกแบบให้เป็นเตาของเครื่องปฏิกรณ์และใช้เป็นฉนวนความร้อนป้องกันการสูญเสียความร้อน อุณหภูมิของระบบไฟโรไลซิสจะทำการวัดและควบคุมโดย PID และแสดงผลของอุณหภูมิโดยเทอร์โมคัปเปิ้ล K-type สำหรับในเครื่องปฏิกรณ์จะใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลวัดค่าอุณหภูมิ 2 จุด และนำค่าเฉลี่ยมาทำการคำนวณเพื่อหาอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไฟโรไลซิส ไอไฟโรไลซิสที่ผลิตได้จะสะสมในกระบวนกรแยกตัวในไซโคลน 2 ตัว และชุดกรองไอร้อนที่ออกแบบให้ดักจับอนุภาคที่เล็กมากโดยภายในจะใช้ใยแก้วเป็นวัสดุในการกรองไอร้อน ชุดควบแน่นจะมีทั้งหมด 3 ชุด ได้แก่ ชุดควบแน่นน้ำหล่อเย็น ชุดควบแน่นด้วยเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตแรงดันสูง และชุดควบแน่นน้ำแข็งแห้งผสมกับอะซิโตน แก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ก่อนที่จะปล่อยออกสู่ภายนอกจะผ่านชุดกรองสำลีอีกครั้งเพื่อทำการกรองแก๊ส



รูปที่ 1 หน่วยผลิตไฟโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวา

2.3. เงื่อนไขการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขการทดลองไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวา ตัวแปรหลักที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส โดยทำการเซตอุณหภูมิที่จะศึกษาไว้ 5 ระดับ คือ 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C และ 550 °C ขนาดอนุภาคของชีวมวล เลือกใช้ขนาด 250-425 μm อัตราป้อนชีวมวล ประมาณ 200-300 g/hr อัตราการไหลของแก๊ส ไนโตรเจนร้อนประมาณ 6 l/min ใช้ทรายซิลิกาเป็นวัสดุตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายโอนความร้อน โดยเลือกใช้ขนาดอนุภาค 250-425 μm และเวลาที่ใช้ในการทดลองแต่ละการทดลองประมาณ 1 ชั่วโมง

ตัวแปร	การทดลอง				
	1	2	3	4	5
อุณหภูมิ (°C)	350	400	450	500	550
ขนาดอนุภาคชีวมวล (μm)	250-425				
อัตราป้อน (g/hr)	200-300				
อัตราการไหลแก๊สไนโตรเจน (l/min)	6				

2.4. การทำสมดุลมวล

ไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาจะได้ผลิตภัณฑ์ 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของเหลว (น้ำมันชีวภาพ) ส่วนที่เป็นของแข็ง (ถ่านชาร์) ส่วนที่เป็นแก๊ส (แก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้) ซึ่งทั้งหมดจะได้อาจจากการทำสมดุลมวล (Mass balance) ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะทำการคำนวณหาจากการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังทดลองของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบไพโรไลซิสแบบเร็วทุกส่วน ได้แก่ ผักตบชวา ทรายซิลิกา ชุดป้อนชีวมวล เครื่องปฏิกรณ์ ไฮโคลน กรองไอร้อน และชุดควบแน่นและเก็บรวบรวมน้ำมันชีวภาพ ซึ่งน้ำมันชีวภาพทั้งหมดจะได้อาจจากชุดควบแน่นน้ำหล่อเย็น เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต ชุดควบแน่นน้ำแข็งแห้งผสมอะซิโตน ถึงเก็บรวบรวมน้ำมันชีวภาพ

ทุกชุด และกรองสำลี ถ่านชาร์ทั้งหมดจะได้อาจจากเครื่องปฏิกรณ์ ไฮโคลน 2 ตัว กรองไอร้อน ท่อล้าเสียงไอไพโรไลซิส และปริมาณของแข็งในน้ำมันชีวภาพ และแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะคำนวณหาจากค่าความแตกต่าง

2.5. การวิเคราะห์น้ำมันชีวภาพ

คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมีของน้ำมันชีวภาพที่ทำการศึกษา ประกอบไปด้วย องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ปริมาณน้ำ ปริมาณของแข็ง ปริมาณเถ้า ค่า pH ความหนาแน่น ความหนืด และค่าความร้อน โดยทุกการทดลองจะทำการทดลอง 3 ครั้ง

2.5.1. องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน

องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน (Elemental composition) ของน้ำมันชีวภาพ จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุพื้นฐานที่อยู่ในน้ำมันชีวภาพ ซึ่งประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และออกซิเจน โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์และเทคนิคเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างชีวมวล

2.5.2. ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำ (Water content) ในน้ำมันชีวภาพจะทำการวิเคราะห์หาโดยใช้เทคนิค Karl-Fischer titration

2.5.3. ปริมาณของแข็ง

ปริมาณของแข็ง (Solids content) ในน้ำมันชีวภาพจะทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการกรองสุญญากาศ ดูดของเหลวผ่านกระดาษกรอง โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายน้ำมันชีวภาพเพื่อให้สามารถดูดผ่านกระดาษกรองได้ ส่วนที่ไม่สามารถผ่านกระดาษกรองได้จะเป็นปริมาณของแข็งที่อยู่ในน้ำมันชีวภาพ ตามวิธีของ Oasmaa และ Peacocke [6]

2.5.4. ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้า (Ash content) ในน้ำมันชีวภาพจะเป็นการวัดสิ่งที่เหลืออยู่จากการนำน้ำมันชีวภาพไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 775 °C นาน 24 ชั่วโมง โดยเริ่มต้นอบไล่ความชื้นที่ 105 °C นาน

ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว จนถึงอุณหภูมิ 775°C [6]

2.5.5. ค่า pH

ค่า pH (pH value) ของน้ำมันชีวภาพจะทำการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดค่า pH (pH meter) ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการปรับเทียบที่ค่า pH 4 และ 7 กับของเหลวมาตรฐานก่อนการวัดทุกครั้ง

2.5.6. ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density) ของน้ำมันชีวภาพจะทำการหาโดยใช้ขวดวัดความหนาแน่นขนาด 10 ml และทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาค่าความหนาแน่น หน่วยของความหนาแน่นจะเป็น g/ml โดยทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง

2.5.7. ความหนืด

ความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันชีวภาพ เป็นการวัดความหนืดจลน์ ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือทดสอบความหนืด (Cannon-Fenske Routine Viscometer) ที่อุณหภูมิ 40°C ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D445 หน่วยของความหนืดจลน์จะเป็น mm²/s (cSt)

2.5.8. ค่าความร้อน

ค่าความร้อน (Heating value) ของน้ำมันชีวภาพ จะทำการคำนวณหาโดยใช้ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐานของน้ำมันชีวภาพ ค่าความร้อนสูงของน้ำมันชีวภาพ (ฐานแห้ง) (HHV_{dry}) จะทำการคำนวณหาโดยใช้สมการของ Channiwala และ Parikh [7] ดังสมการที่ (3) ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันชีวภาพ (ฐานแห้ง) (LHV_{dry}) จะทำการคำนวณหาตามสมการที่ (2) ของ ECN [5] สำหรับการคำนวณโดยฐานเปียก ค่าความร้อนสูง (HHV_{wet}) และค่าความร้อนต่ำ (LHV_{wet}) จะคำนวณหาตามสมการที่ (4) และ (5) ของ ECN [5] ตามลำดับ โดยนำข้อมูลของปริมาณน้ำในน้ำมันชีวภาพมาใช้ในการคำนวณ

$$HHV_{dry}(MJ/kg) = 0.3491C + 1.1783H + 0.1005S - 0.1034O - 0.0151N - 0.0211A$$

(3)

เมื่อ C, H, S, O, N และ A ในสมการที่ (3) คือ เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ออกซิเจน ไนโตรเจน และแอสในน้ำมันชีวภาพ (ฐานแห้ง)

$$HHV_{wet}(MJ/kg) = HHV_{dry} \left(1 - \frac{H_2O}{100} \right) \quad (4)$$

$$LHV_{wet}(MJ/kg) = LHV_{dry} \left(1 - \frac{H_2O}{100} \right) - 2.442 \left(\frac{H_2O}{100} \right) \quad (5)$$

2.6. การวิเคราะห์ถ่านชาร์

คุณสมบัติพื้นฐานของถ่านชาร์ที่ทำการศึกษา ประกอบไปด้วย องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ปริมาณเถ้า และค่าความร้อน โดยองค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน จะทำการวิเคราะห์และใช้เครื่องมือเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ชีวมวลและน้ำมันชีวภาพ ปริมาณเถ้าจะทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ชีวมวล ค่าความร้อนจะทำการคำนวณหาโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐานมาคำนวณหา ค่าความร้อนต่ำ (LHV) และค่าความร้อนสูง (HHV) โดยฐานแห้งตามสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานผักตบชวา

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นฐานผักตบชวา ประกอบไปด้วย การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และการวิเคราะห์หาค่าความร้อนโดยวิธีการคำนวณ จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ตัวอย่างผักตบชวาที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 5.21 wt.% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยไฟโรไลซิสแบบเร็วของชีวมวลทั่วไป [8,9] ที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10 wt.% ปริมาณความชื้นของชีวมวลที่ต่ำจะช่วยให้ระบบการบ้อนชีวมวลเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ได้ง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งช่วยลดปริมาณน้ำในน้ำมันชีวภาพลงได้ ปริมาณสารระเหยได้ของผักตบชวาเท่ากับ 68.05 wt.% เมื่อ

เปรียบเทียบกับชีวมวลที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่น ฟางข้าว [10] พบว่าจะมีปริมาณที่ต่ำกว่า สารระเหยได้ของชีวมวลจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณน้ำมันชีวภาพที่จะผลิตได้ ซึ่งชีวมวลที่มีปริมาณสารระเหยได้สูงจะสามารถผลิตน้ำมันชีวภาพได้มากกว่าชีวมวลที่มีปริมาณสารระเหยได้ต่ำกว่า จากผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ จะพบว่า ผักตบชวาจะมีปริมาณไนโตรเจนและกำมะถันที่ต่ำซึ่งถือว่าเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ค่าความร้อนต่ำของผักตบชวามีค่าประมาณ 13.89 MJ/kg (ฐานแห้ง)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของผักตบชวา

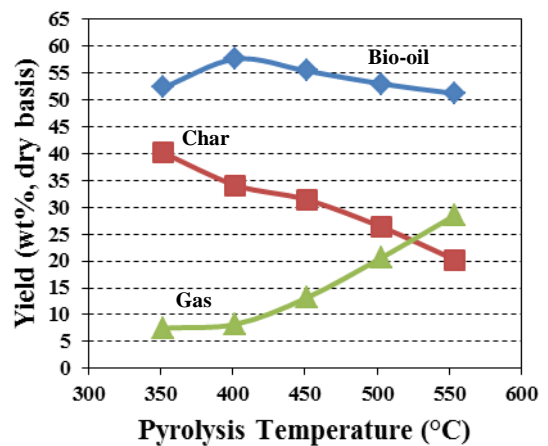
การวิเคราะห์	ผักตบชวา	ฟางข้าว ^a
<i>การวิเคราะห์แบบประมาณ (wt.%, ฐานแห้ง)</i>		
ความชื้น (ฐานเปียก)	5.21	4.1
สารระเหยได้	68.05	74.3
คาร์บอนคงตัว*	16.23	16
เถ้า	15.72	9.8
<i>การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (wt%, ฐานแห้ง)</i>		
คาร์บอน	35.60	54.3
ไฮโดรเจน	6.24	5.7
ไนโตรเจน	1.19	1.6
กำมะถัน	0.35	0.1
ออกซิเจน*	33.78	38.4
อัตราส่วน H/C	2.10	1.3
อัตราส่วน O/C	0.86	0.5
สูตรโมเลกุล	CH _{2.10} O _{0.86}	CH _{1.26} O _{0.53}
<i>ค่าความร้อน (MJ/kg, ฐานแห้ง)</i>		
HHV	15.25	18.6
LHV	13.89	17.5

*คำนวณจากค่าความแตกต่าง

^aPattiya and Suttibak [10]

3.2. ผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้

รูปที่ 2 แสดงผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่เหมาะสมที่สุดของผักตบชวาจะอยู่ที่ 402°C ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 57.64 wt.% (ฐานแห้ง) จากผลการทดลองจะเห็นว่าที่อุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงขึ้น ปริมาณถ่านชาร์จะมีแนวโน้มลดลงในทางตรงกันข้ามปริมาณแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะมีแนวโน้มสูงขึ้น ปริมาณถ่านชาร์ที่ลดลงเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำการย่อยสลายองค์ประกอบที่เป็นลิกนินของผักตบชวาได้ดี ทำให้ปริมาณถ่านชาร์ลดลง ส่วนปริมาณแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ที่สูงขึ้น เนื่องมาจากที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลในกระบวนการที่สอง (Secondary cracking) เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้นและทำให้ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพลดลงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jung และคณะ [11] ที่ทำการศึกษาไพโรไลซิสแบบเร็วของฟางข้าวในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด



รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวา

3.3. ผลการวิเคราะห์น้ำมันชีวภาพ

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมีของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวา ประกอบด้วย องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ปริมาณน้ำ ปริมาณของแข็ง ปริมาณเถ้า ค่า pH ความหนาแน่น ความหนืด และค่าความร้อน โดยใช้ตัวอย่างน้ำมันชีวภาพจากการทดลองที่ให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดมาทำการวิเคราะห์ และใช้ส่วนควบแน่นจากชุดควบแน่นน้ำหล่อเย็นและ ESP ลักษณะของน้ำมันชีวภาพที่ได้จะแสดงไว้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 น้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวา

3.3.1. องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน

จากผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐานของตัวอย่างน้ำมันชีวภาพ พบว่า น้ำมันชีวภาพที่ได้มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 61.06 wt.% อัตราส่วน H/C และ O/C มีค่าเท่ากับ 1.19 และ 0.37 ตามลำดับ

3.3.2. ปริมาณน้ำ

จากผลการศึกษา จะพบว่าปริมาณน้ำในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาจะมีปริมาณที่สูง ประมาณ 35.21 wt.% เมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลที่มีลักษณะคล้ายกันและทำการศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์ชนิดเดียวกัน เช่น ฟางข้าว [10] พบว่า น้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาจะมีปริมาณที่สูงกว่าเล็กน้อย (31.23 wt.%) ปริมาณน้ำที่สูงจะส่งผลกระทบต่อการนำเอาน้ำมันชีวภาพไปใช้งาน เนื่องจากจะทำให้มีค่าความร้อนที่ต่ำ

3.3.3. ปริมาณของแข็ง

ปริมาณของแข็งในน้ำมันชีวภาพมีค่าประมาณ 0.74 wt.% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปของน้ำมันชีวภาพที่ยอมรับได้ [12]

3.3.4. ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้าในน้ำมันชีวภาพจะมีค่าต่ำประมาณ 0.02 wt.% ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณของแข็งที่มีค่าต่ำ ตารางที่ 3 คุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวา

การวิเคราะห์	ผักตบชวา	ฟางข้าว ^a
อุณหภูมิไพโรไลซิส	402°C	403°C
องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน (wt.%, ฐานแห้ง)		
คาร์บอน	61.06	64.0
ไฮโดรเจน	6.05	6.4
ไนโตรเจน	2.33	0.3
กำมะถัน	0.22	N/A
ออกซิเจน*	30.29	29.2
อัตราส่วน H/C	1.19	1.2
อัตราส่วน O/C	0.37	0.3
สูตรโมเลกุล	CH _{1.19} O _{0.37}	CH _{1.2} O _{0.34}
ปริมาณน้ำ (wt.%)	35.21	31.23
ปริมาณของแข็ง (wt.%)	0.74	0.6
ปริมาณเถ้า (wt.%)	0.02	0.01
ค่า pH	3.67	3.2
ความหนาแน่น (g/ml)	1.11	1.1
ความหนืดจลน์ ที่ 40°C (cSt)	8.76	8.3
ค่าความร้อน (MJ/kg)		
HHV (ฐานแห้ง)	25.31	26.8
HHV (ฐานเปียก)	16.40	18.5
LHV (ฐานแห้ง)	23.98	25.4
LHV (ฐานเปียก)	14.68	16.7

*คำนวณจากค่าความแตกต่าง

^aPattiya and Suttibak [10].

3.3.5. ค่า pH

ค่า pH ของน้ำมันชีวภาพมีค่าประมาณ 3.67 ซึ่งสอดคล้องกับน้ำมันชีวภาพทั่วไปที่มีค่าอยู่ในช่วง 3-4 [12]

3.3.6. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของน้ำมันชีวภาพมีค่าประมาณ 1.11 g/ml ซึ่งสอดคล้องกับน้ำมันชีวภาพทั่วไปที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.1-1.3 g/ml [12]

3.3.7. ความหนืด

ความหนืดจลน์ของน้ำมันชีวภาพมีค่าประมาณ 8.76 cSt ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าความหนืดที่ต่ำ เนื่องจากน้ำมันชีวภาพมีปริมาณน้ำมาก จึงส่งผลโดยตรงต่อค่าความหนืด อย่างไรก็ตามยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปของน้ำมันชีวภาพที่ยอมรับได้ [12]

3.3.8. ค่าความร้อน

ค่าความร้อนที่ได้จากการศึกษานี้จะทำการคำนวณหาค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพทั้งแบบฐานแห้งและฐานเปียก ในงานวิจัยนี้ พบว่า น้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนต่ำ (LHV) ประมาณ 23.98 MJ/kg (ฐานแห้ง)

3.4. ผลการวิเคราะห์ถ่านชาร์

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานของถ่านชาร์ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวา ประกอบไปด้วย องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ปริมาณเถ้า และค่าความร้อน จากผลการวิเคราะห์ พบว่าค่าความร้อนต่ำของถ่านชาร์ที่ได้จะมีค่าประมาณ 18.27 MJ/kg เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Jung และคณะ [11] ที่ทำการศึกษาไพโรไลซิสแบบเร็วของฟางข้าวพบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน (ประมาณ 17 MJ/kg) ลักษณะของถ่านชาร์ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาจะเป็นเม็ดมีขนาดอนุภาคไม่เกิน 500 μm ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ถ่านชาร์ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวา

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของถ่านชาร์ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวา

การวิเคราะห์	ผักตบชวา
องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน (wt.%, ฐานแห้ง)	
คาร์บอน	51.37
ไฮโดรเจน	2.98
ไนโตรเจน	0.90
กำมะถัน	0.35
ออกซิเจน*	19.07
อัตราส่วน H/C	0.70
อัตราส่วน O/C	0.28
สูตรโมเลกุล	$\text{CH}_{0.70}\text{O}_{0.28}$
ปริมาณเถ้า (wt.%)	14.53
ค่าความร้อน (MJ/kg, ฐานแห้ง)	
ค่าความร้อนสูง (HHV)	18.92
ค่าความร้อนต่ำ (LHV)	18.27

*คำนวณจากค่าความแตกต่าง

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากผักตบชวาโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธซ์เบด ขนาดอัตราป้อนชีวมวล 200-300 g/hr พบว่า อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่เหมาะสมที่สุดของผักตบชวาจะอยู่ที่ 402°C ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 57.64 wt% (ฐานแห้ง) อุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงขึ้นจะทำให้ได้

ปริมาณถ่านชาร์ลดกลง ในทางตรงกันข้ามปริมาณแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงขึ้นจะทำการย่อยสลายองค์ประกอบของผักตบชวาในส่วนที่เป็นลิกนินได้ดี ทำให้ถ่านชาร์ลดกลง และจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลในกระบวนการที่สอง (Secondary cracking) เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ปริมาณแก๊สสูงขึ้น จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมีของน้ำมันชีวภาพ พบว่า มีปริมาณน้ำ 35.21 wt.% ปริมาณของแข็ง 0.74 wt.% ปริมาณเถ้า 0.02 wt.% ค่า pH 3.67 ความหนาแน่น 1.11 g/ml ความหนืดจลน์ 8.76 cSt และค่าความร้อนต่ำ 23.98 MJ/kg (ฐานแห้ง) อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษานี้จะเห็นว่า น้ำมันชีวภาพที่ได้มีปริมาณน้ำที่สูง ทำให้เป็นปัญหาต่อการนำเอาน้ำมันชีวภาพไปใช้งานในอนาคต ดังนั้นงานวิจัยต่อไปจะเป็นการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันชีวภาพเพื่อลดปริมาณน้ำลงให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งจะช่วยให้ค่าความร้อนมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (EPPO) กระทรวงพลังงาน สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี และห้องปฏิบัติการศูนย์กลางทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (CSTE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ที่อนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับใช้ทำวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Bridgwater, A.V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, *Biomass and Bioenergy*, vol. 38(0), March 2011, pp. 68-94.

[2] Suttibak, S., Sriprateep, K. and Pattiya, A. (2012). Production of bio-oil via fast pyrolysis of cassava rhizome in a fluidised-bed reactor,

Energy Procedia, vol. 14(0), February 2012, pp. 668-673.

[3] Liu, R, Deng, C. and Wang, J. (2010). Fast pyrolysis of corn straw for bio-oil production in a bench-scale fluidized bed reactor, *Energ Source Part A*, vol. 32(1), January 2010, pp. 10-19.

[4] Sheng, C.D. and Azevedo, J.L.T. (2005). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data, *Biomass Bioenergy*, vol. 28(5), November 2004, pp. 499-507.

[5] ECN. (2013). Phyllis, database for biomass and waste, Energy research Centre of the Netherlands. Energy research Centre of the Netherlands [database on the internet], Energy research Centre of the Netherlands. URL: <http://www.ecn.nl/phyllis>, access on 13/02/2013.

[6] Oasmaa, A. and Peacocke, C. (2010). Properties and fuel use of biomass-derived fast pyrolysis liquids: A guide, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo 2010. p. 134.

[7] Channiwala, S.A. and Parikh, P.P. (2002). A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels, *Fuel*, vol. 81(8), August 2001, pp. 1051-1063.

[8] Lee, K.H., Kang, B.S., Park, Y.K. and Kim, J.S. (2005). Influence of reaction temperature, pretreatment, and a char removal system on the production of bio-oil from rice straw by fast pyrolysis, using a fluidized bed, *Energ Fuel*, vol. 19(5), April 2005, pp. 2179-2184.

[9] Asadullah, M., Anisur Rahman, M., Mohsin Ali, M., Abdul Motin, M., Borhanus Sultan, M., Robiul Alam, M. and Sahidue Rahman, M. (2008). Jute stick pyrolysis for bio-oil production in fluidized bed reactor, *Bioresource Technol*, vol. 99(1), January 2007, pp.44-50.

- [10] Pattiya, A. and Suttibak, S. (2012). Influence of a glass wool hot vapour filter on yields and properties of bio-oil derived from rapid pyrolysis of paddy residues, *Bioresource Technology*, vol. 116(0), April 2012, pp. 107-113.
- [11] Jung, S.H., Kang, B.S. and Kim, J.S. (2008). Production of bio-oil from rice straw and bamboo sawdust under various reaction conditions in a fast pyrolysis plant equipped with a fluidized bed and a char separation system, *J Anal Appl Pyrol*, vol. 82(2), April 2008, pp. 240-247.
- [12] Oasmaa, A., Elliott, D.C. and Muller, S. (2009). Quality control in fast pyrolysis bio-oil production and use, *Environ Prog Sustain*, vol. 28(3), August 2009, pp. 404-409.