

ผลของชนิดเครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อปริมาณและคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพ
ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของชีวมวล

Effect of reactor types on yields and property of bio-oil obtained
from biomass fast pyrolysis

สุนทร สุทธิбак^{1,*} และ เกยูร ดวงอุปมา²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Suntorn Suttibak^{1,*} and Keyoon Duanguppama²

¹Department of Mechanical Technology, Faculty of Technology, Udonthani Rajabhat University

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University

(Received: April 5, 2022; Accepted: June 17, 2022)

*ผู้ประสานงาน : รศ.ดร.สุนทร สุทธิбак อีเมล : suntorn_su@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของชนิดเครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อปริมาณและคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของชีวมวล โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการผลิตน้ำมันชีวภาพจากขานอ้อยโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ และเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคด์เบด ขนาดอัตราป้อนประมาณ 100-300 g/hr อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่ 400, 450, 500 และ 550°C เลือกใช้ขนาดอนุภาคขานอ้อย 0.250 - 0.500 mm จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมของการผลิตน้ำมันชีวภาพจากเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองชนิด จะเท่ากัน คือ ที่อุณหภูมิ 500°C ซึ่งการทดลองในหน่วยผลิตไพโรไลซิสที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคด์เบดจะได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 64.59 wt.% ส่วนการทดลองที่ใช้ในหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระจะได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 58.39 wt.% ปริมาณน้ำมันชีวภาพที่สูงกว่าของหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคด์เบดเนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า และกระจายความร้อนสู่อนุภาคชีวมวลได้ จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้ พบว่า น้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสของขานอ้อยในเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองชนิดจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำมันชีวภาพที่ได้จากหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคด์เบดจากมีค่าความร้อนที่สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งมีผลจากปริมาณคาร์บอนที่สูง

กว่า ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ของน้ำมันชีวภาพที่ได้ จะอยู่ระหว่าง 26.27 – 27.75 MJ/kg (ฐานแห้ง)

คำสำคัญ: เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ, เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชด์เบด, น้ำมันชีวภาพ, ไพโรไลซิสแบบเร็ว, ชานอ้อย

ABSTRACT

This article reports on study effect of reactor types on yields and property of bio-oil obtained from biomass fast pyrolysis. The investigating pyrolysis reactor two types; free fall and fluidized-bed reactor unit with feed rate of 100 - 300 g/h. Fast pyrolysis experiments were conducted using four pyrolysis setting temperatures (400, 450, 500 and 550°C) using a sugarcane bagasse was the sample with particle size of 0.250 - 0.500 mm. Results showed that the optimum pyrolysis temperature for obtaining highest liquid fuel yields from two pyrolysis reactors were 500°C. The highest liquid fuel yields was 64.59 wt.% on biomass dry basis for a fluidized-bed reactor and 58.39 wt.% on biomass dry basis for a free fall reactor. The high bio-oil yield from fluidized-bed reactor unit, due to heat transfer led to biomass particle is good than other types reactor. The liquid fuel products were also tested for their basic properties. Results showed that the bio-oil properties obtained from two types reactor were similar. The lower heating value (LHV) of bio-oil produces about 26.27 – 27.75 MJ/kg (on dry basis). High carbon would directly led to high heating value.

Keywords: Free fall reactor, Fluidized-bed reactor, Bio-oil, Fast pyrolysis, Sugarcane bagasse

1. บทนำ

ปัจจุบันวิกฤตปัญหาน้ำมันเชื้อเพลิงและสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาหลักที่สำคัญของโลก เนื่องจากแหล่งผลิตและปริมาณของเชื้อเพลิงมีไม่เพียงพอกับความต้องการที่สูงขึ้นตามความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ราคาน้ำมันในตลาดโลกยังมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้ยังส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล ซึ่งก่อให้เกิดปัญหามลพิษ ปัญหาภาวะโลกร้อน ที่เกิดจากก๊าซเรือนกระจก ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของโลกและก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นรากฐานของการพัฒนาและ

ความเจริญรุ่งเรืองของสังคมโลก การคิดค้นแหล่งพลังงานทดแทน จึงเป็นสิ่งสำคัญและพลังงานทางเลือกหนึ่งที่จำเป็นต้องนำมาใช้ คือพลังงานจากชีวมวล (Biomass) ซึ่งเป็นที่รู้จักมานานว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ยั่งยืน ที่ผ่านมามีการนำเอาเทคโนโลยีสำหรับผลิตพลังงานจากชีวมวลมาพัฒนาใช้ กระบวนการที่กำลังได้รับความสนใจมากในขณะนี้ คือ ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast pyrolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีคุณลักษณะพิเศษและเป็นอีกหนึ่งความหวังสำหรับการนำเอาชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและมีประสิทธิภาพ [1] ไพโรไลซิสแบบเร็ว เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลทางเคมีความร้อน โดยใช้ความร้อนสูง (ประมาณ 400-600°C) มีอัตราการให้ความร้อนสูง ประมาณ 1,000°C/s ระยะเวลาคงอยู่ของไอสั้นมาก ประมาณ 1 – 2 วินาที [2-4] เพื่อทำการย่อยสลายโครงสร้างทางเคมีของชีวมวลให้แตกลงในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ในขั้นนี้จะได้ ไอ์ไพโรไลซิส (Pyrolysis vapour) และถ่าน (Char) ถ่านจะถูกแยกออกโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไซโคลน (Cyclone) และจากนั้นไอ์ไพโรไลซิสส่วนหนึ่งจะถูกควบแน่นอย่างรวดเร็วที่อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser unit) และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบแน่นจะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลเข้ม เรียกว่า น้ำมันชีวภาพ หรือไบโอออยล์ (Bio-oil) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการนี้ น้ำมันชีวภาพสามารถผลิตได้สูงสุดประมาณร้อยละ 75 ของน้ำหนักชีวมวลเริ่มต้น (ฐานแห้ง) [5] ค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพประมาณครึ่งหนึ่งของเชื้อเพลิงจากฟอสซิล สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทั้งในการให้ความร้อน การนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า หรือใช้ร่วมกันทั้งการให้ความร้อนและผลิตกระแสไฟฟ้า หรือใช้ในอุตสาหกรรมทางเคมี [6-8] ส่วนผลิตภัณฑ์อื่นที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว ได้แก่ ถ่าน (Char) และแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ (Non-condensable gas) ซึ่งประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สไฮโดรคาร์บอน C₁-C₄ [9] เทคโนโลยีไพโรไลซิสแบบเร็วมีการพัฒนาและทดลองใช้ครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1970 [10] และต่อมาได้นำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีไพโรไลซิสแบบเร็วหลายรูปแบบ และมีการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์หลายแบบขึ้นมาใช้งานตามเงื่อนไขของผู้ใช้

หัวใจหลักของระบบไพโรไลซิสแบบเร็ว คือ เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor) ที่ผ่านมามีนักวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากชีวมวลโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเครื่องปฏิกรณ์หลายแบบ อาทิเช่น เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไรซ์เบดแบบเบดฟองแก๊ส (Bubbling fluidized bed reactor) เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไรซ์เบดแบบเบดไหลเวียน (Circulating fluidized bed reactor) เครื่องปฏิกรณ์แบบสกรูลำเลียง (Auger reactor) เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ (Free fall reactor) เครื่องปฏิกรณ์แบบหมุนเหวี่ยง (Rotating cone pyrolyzer reactor) เครื่องปฏิกรณ์แบบกัดกร่อน (Ablative pyrolyzer reactor) และเครื่องปฏิกรณ์แบบสุญญากาศ (Vacuum pyrolysis reactor) เป็นต้น [11] จากการศึกษาที่ผ่านมา จะพบว่าเครื่องปฏิกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง

คือ เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธด์แบบเบดฟองแก๊ส ซึ่งมีข้อดีตรงที่ระบบไม่มีความซับซ้อน ง่ายต่อการทำงาน สามารถผลิตน้ำมันชีวภาพได้ปริมาณสูงกว่าเครื่องปฏิกรณ์ชนิดอื่นๆ [12] แต่ข้อเสียของเครื่องปฏิกรณ์ประเภทนี้ จะพบว่าไม่สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง เนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนวัสดุตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนบ่อยครั้งทำให้ต้องหยุดการทำงานของหน่วยผลิตและทำให้เสียเวลาในการเปลี่ยนวัสดุตัวกลางใหม่ และปัญหาเกี่ยวกับระบบการป้อนมีการอุดตัน หรือใช้กับชีวมวลที่มีจุดหลอมเหลวต่ำหรือมีความชื้นมากไม่ได้ และเครื่องปฏิกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ได้กับชีวมวลทุกชนิด คือ เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระเป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการระบบป้อนชีวมวล

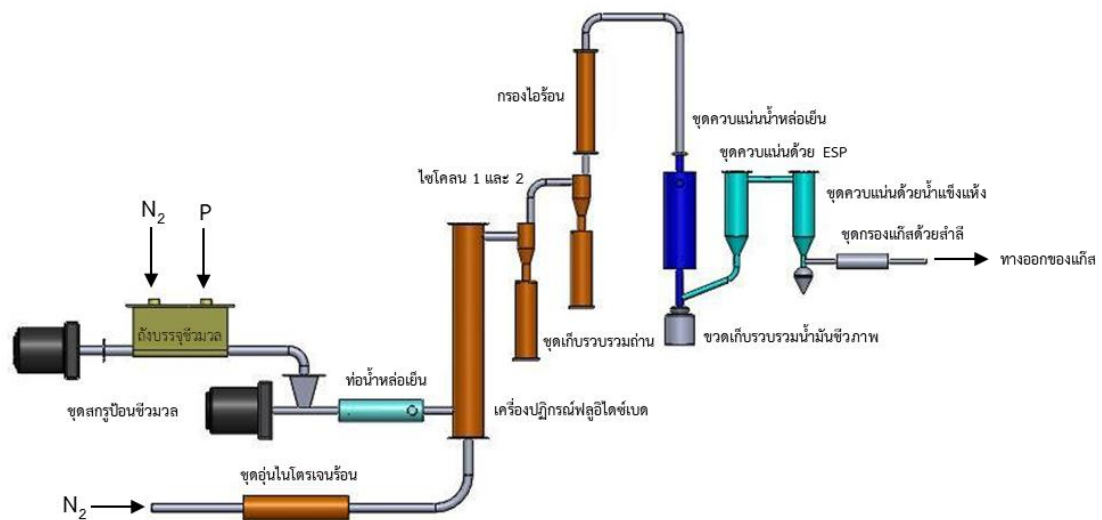
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อปริมาณและคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของชีวมวล โดยทำการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากตัวอย่างชีวมวลซึ่งใช้เครื่องปฏิกรณ์ที่พัฒนาขึ้น คือ เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธด์ และเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาจะใช้ชานอ้อยซึ่งเป็นชีวมวลที่ได้จากผลผลิตอ้อยซึ่งเป็นผลผลิตมีปริมาณมากในเขตพื้นที่จังหวัดอุดรธานี และมากที่สุดในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจะเป็นทางเลือกหนึ่งให้เกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ในอนาคต

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 หน่วยผลิตที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธด์

หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้ในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากชานอ้อยจะใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธด์ ขนาดอัตราป้อนประมาณ 100-300 g/hr ที่พัฒนาขึ้นจะมีส่วนประกอบของอุปกรณ์ในหน่วยผลิตซึ่งจะแสดงไว้ดังไดอะแกรมในรูปที่ 1 ประกอบด้วย ถังบรรจุชีวมวล (Hopper) ชุดสกรูป้อนชีวมวล (Two screw feeder) ชุดอุ่นไนโตรเจนร้อน (Pre-heater) เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธด์ (Fluidized-bed reactor) ชุดไซโคลน (Cyclone) ชุดเก็บถ่าน (Char pot) ชุดกรองไอร้อน (Hot filter) ชุดควบแน่นน้ำหล่อเย็น (Water-cooled condenser) ชุดควบแน่นด้วยเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator condenser, ESP) ขวดกักเก็บน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil bottle) ชุดอะซิโตนควบแน่นด้วยน้ำแข็งแห้ง (Dry-ice/Acetone condenser) ชุดกักเก็บของเหลว (Oil pot) และชุดกรองแก๊สด้วยสำลี (Cotton wool filter) ก่อนที่แก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะถูกปล่อยออกสู่ภายนอกที่ท่อทางออก (Vent) หน่วยผลิตที่ใช้ในการศึกษาจะแสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ไดอะแกรมหน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วของชีวมวลที่เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคเซเบต

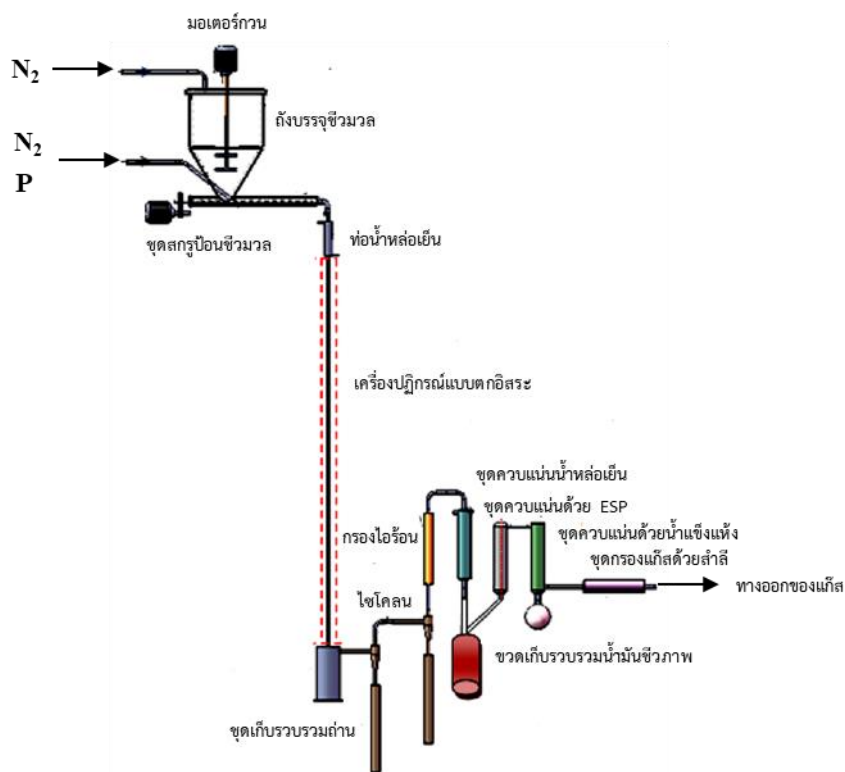


รูปที่ 2 หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคเซเบตสำหรับใช้ในการศึกษา

2.1.2 หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตอกอัสระ

หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้ในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากขานอ้อยที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตอกอัสระ ขนาดอัตราป้อนประมาณ 100-300 g/hr ที่พัฒนาขึ้นจะมีส่วนประกอบของอุปกรณ์ในหน่วยผลิตดังแสดงไว้ดังไดอะแกรมในรูปที่ 3 ประกอบด้วย มอเตอร์กวน (Stirrer) ถังบรรจุ

ชีวมวล (Hopper) ชุดสกรูป้อนชีวมวล (Screw feeder) ท่อน้ำหล่อเย็น (Water cooling jacket) เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ (Free fall reactor) ชุดไซโคลน (Cyclone) ชุดเก็บถ่าน (Char pot) ชุดกรองไอร้อน (Hot filter) ชุดควบแน่นน้ำหล่อเย็น (Water-cooled condenser) ชุดควบแน่นด้วยเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator condenser, ESP) ขวดกักเก็บน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil bottle) ชุดอะซิโตนควบแน่นด้วยน้ำแข็งแห้ง (Dry-ice/Acetone condenser) ชุดกักเก็บของเหลว (Oil pot) และชุดกรองแก๊สด้วยสำลี (Cotton wool filter) ก่อนที่แก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะถูกปล่อยออกสู่ภายนอกที่ท่อทางออก (Vent) หน่วยผลิตที่ใช้ในการศึกษาจะแสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ไดอะแกรมของหน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ



รูปที่ 4 หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระสำหรับการใช้การศึกษา

2.2 การเตรียมและวิเคราะห์พื้นฐานขานอ้อย

ตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาจะใช้ขานอ้อยขนาดอนุภาค 0.250-0.500 mm และทำการวิเคราะห์พื้นฐาน ได้แก่ วิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) วิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ค่าความร้อน (Heating value) และความหนาแน่นรวม (Bulk density) ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์แบบร้อยละของ ปริมาณความชื้น (Moisture) สารระเหยได้ (Volatile matter) เถ้า (Ash) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM E1756-01 E872-82 และ E1755-01 ตามลำดับ [13] สำหรับคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) จะทำการคำนวณหาจากค่าความแตกต่าง

2.2.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแร่ธาตุพื้นฐานในชีวมวล ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน ส่วนของออกซิเจนจะคำนวณหาจากค่าความแตกต่างโดยใช้เครื่องมือวัด Carbon Hydrogen Nitrogen Sulfur analyzer Model Carbon 628,628 S ทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2.3 ค่าความร้อน (Heating value) จะใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) มาทำการคำนวณโดยพื้นฐานแบบแห้ง ค่าความร้อนสูง (HHV) จะคำนวณหาตามสมการ Sheng and Azevedo [14] ตามสมการที่ (1) ค่าความร้อนต่ำ (LHV) จะใช้ค่าความร้อนสูง (HHV) และปริมาณไฮโดรเจน (H) คำนวณตามสมการของ ECN [15] ตามสมการที่ (2)

$$HHV \left(\frac{MJ}{kg} \right) = -1.3675 + 0.3137C + 0.7009H + 0.0318O^* \quad (1)$$

เมื่อ C และ H คือ ร้อยละของคาร์บอนและไฮโดรเจนตามลำดับ (พื้นฐานแบบแห้ง)

$$\text{ส่วน } O^* = 100 - C - H - \text{Ash}$$

$$LHV \left(\frac{MJ}{kg} \right) = HHV - 2.442 \times 8.936 \left(\frac{H}{100} \right) \quad (2)$$

2.2.4 ความหนาแน่นรวม (Bulk density) จะใช้ตัวอย่างอนุภาคของขานอ้อยขนาด 0.250-0.500 mm วิเคราะห์โดยใช้หลอดแก้วตวงขนาด 50 ml ทำการชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาความหนาแน่นตามสมการที่ (3)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

เมื่อ m และ V คือ น้ำหนักและปริมาตรของตัวอย่างอนุภาคขานอ้อย ตามลำดับ

2.3 เงื่อนไขการทดลอง

การทดลองผลิตน้ำมันชีวภาพจากขานอ้อยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองแบบ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม จะทำการทดลองที่อุณหภูมิไพโรไลซิส 4 ระดับ คือ 400, 450, 500 และ 550°C ดังเงื่อนไขการทดลองในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

ตัวแปร	อุณหภูมิไฟโรไลซิส (°C)			
	400	450	500	550
ขนาดอนุภาคชีวมวล (mm)	0.250-0.500			
อัตราป้อนชีวมวล (g/h)	300			
อัตราการไหลของไนโตรเจนเข้าจนถึงชีวมวล (L/min)	2			
อัตราการไหลของไนโตรเจนเข้าสกรูลำเลียงชีวมวล (L/min)	6			
เวลาที่ใช้ในการทดลอง (h)	1			

2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันชีวภาพ

คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์ ประกอบด้วย องค์ประกอบแร่ธาตุ พื้นฐาน (Elemental composition) ปริมาณน้ำ (Water content) ค่า pH (pH value) ความหนาแน่น (Density) และค่าความร้อน (Heating value) โดยเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้จากทั้งสองเครื่องปฏิกรณ์ และเลือกตัวอย่างน้ำมันชีวภาพที่ได้จากผลการทดลองอุณหภูมิที่เหมาะสมมาทำการวิเคราะห์ รายละเอียดมีดังนี้

2.4.1 องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน (Elemental composition) จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุที่อยู่ในน้ำมันชีวภาพ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และออกซิเจน ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ชีวมวล

2.4.2 ปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำมันชีวภาพ (Water content) จะทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณน้ำ โดยเทคนิคคาลฟีชเชอร์ไทดเรชัน (Karl-Fisher titration)

2.4.3 ค่า pH (pH value) จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ pH meter ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง

2.4.4 ความหนาแน่นของน้ำมันชีวภาพ (Density) จะใช้ขวดวัดความหนาแน่น ขนาด 10 ml ทำการวัดและชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาตามสมการที่ (3)

2.4.5 ค่าความร้อน (Heating value) ของน้ำมันชีวภาพ จะทำการคำนวณหาโดยใช้ข้อมูลจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐานของน้ำมันชีวภาพ สำหรับการวิเคราะห์ฐานแบบแห้ง (On dry basis) ค่าความร้อนสูง (HHV) จะใช้สมการของ Channiwala & Parikh [16] ดังสมการที่ (4) และค่าความร้อนต่ำ (LHV) จะคำนวณจากค่าความร้อนสูงและปริมาณไฮโดรเจน ดังสมการที่ (5) [15]

$$HHV_{dry} \left(\frac{MJ}{kg} \right) = 0.3491C + 1.1783H + 0.1005S - 0.10340O - 0.0151N - 0.0211A \quad (4)$$

โดยที่ C H S O N และ A คือ ร้อยละของปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ออกซิเจน ไนโตรเจน และเถ้า ของน้ำมันชีวภาพที่วิเคราะห์แบบฐานแห้ง

$$LHV \left(\frac{MJ}{kg} \right) = HHV - 2.442 \times 8.936 \left(\frac{H}{100} \right) \quad (5)$$

2.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองที่ได้จะทำการวิเคราะห์เชิงสถิติ (Statistical analysis) ทั้งผลการวิเคราะห์พื้นฐานชานอ้อย และน้ำมันชีวภาพ เพื่อให้คำตอบที่ดีที่สุดของชุดข้อมูล สถิติที่ใช้ ประกอบด้วย การหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลตามดั่งสมการที่ (6) และความคลาดเคลื่อนหรือความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ตามดั่งสมการที่ (7)

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (6)$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (7)$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย

$S.D.$ คือ ความคลาดเคลื่อน หรือความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X_i$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการวิเคราะห์พื้นฐานชานอ้อย

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานของชานอ้อยที่ทำการศึกษา จากผลการวิเคราะห์แบบประมาณ พบว่า ชานอ้อยจะมีปริมาณสารระเหยได้ ประมาณ 80.86 wt.% (ฐานแห้ง) ซึ่งชีวมวลที่มีปริมาณสารระเหยได้สูงจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงตามไปด้วย จากผลการวิเคราะห์แบบแยก

ธาตุ พบว่า ชานอ้อยมีปริมาณคาร์บอน 50.27 wt.% (ฐานแห้ง) ซึ่งปริมาณคาร์บอนที่สูงจะทำให้ได้ค่าความร้อนที่สูงตามไปด้วย และจากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน โดยวิธีการคำนวณ พบว่า ชานอ้อยมีค่าความร้อนต่ำ (LHV) ประมาณ 19.43 MJ/kg เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของชีวมวลประเภทไม้ฝัดถือว่าใกล้เคียงกัน [17] และเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลประเภทฟางข้าวถือว่ามีความสูงกว่าชัดเจน [18] ความหนาแน่นรวมของอนุภาคชานอ้อยที่ทำการทดสอบในช่วงอนุภาค 0.250 – 0.500 mm มีค่าเท่ากับ 58.59 kg/m³

ตารางที่ 2 คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างชานอ้อย

การวิเคราะห์	ชานอ้อย
การวิเคราะห์แบบประมาณ (ฐานแห้ง, wt.%)	
ความชื้น (ฐานเปียก)	13.17±0.16
สารระเหยได้	80.86±0.22
คาร์บอนคงตัว*	14.98±0.36
เถ้า	2.42±0.24
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ฐานแห้ง, wt.%)	
คาร์บอน (C)	50.27±0.07
ไฮโดรเจน (H)	7.83±0.02
ไนโตรเจน (N)	0.42±0.01
กำมะถัน (S)	0.35±0.01
ออกซิเจน* (O)	38.67±0.33
การวิเคราะห์ค่าความร้อน โดยวิธีการคำนวณ (ฐานแห้ง, wt.%)	
ค่าความร้อนสูง (HHV)	21.14±0.02
ค่าความร้อนต่ำ (LHV)	19.43±0.02
การวิเคราะห์ความหนาแน่น (kg/m³) (ขนาดอนุภาค 0.250 – 0.500 mm)	
ความหนาแน่นรวม	58.59±0.84

*คำนวณหาจากค่าความแตกต่าง

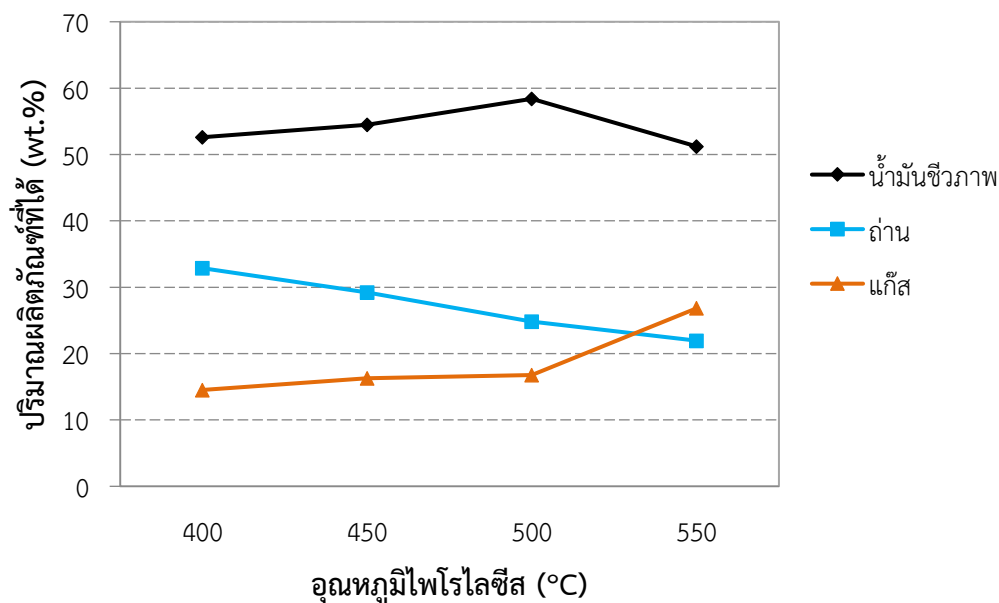
3.2 ผลของอุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมที่มีต่อปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ได้

รูปที่ 5 แสดงผลของอุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมที่มีต่อปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ได้ไพโรไลซิสแบบเร็วของชานอ้อยในหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ จากผลการทดลอง พบว่าอุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 500°C ได้ปริมาณของน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 58.39

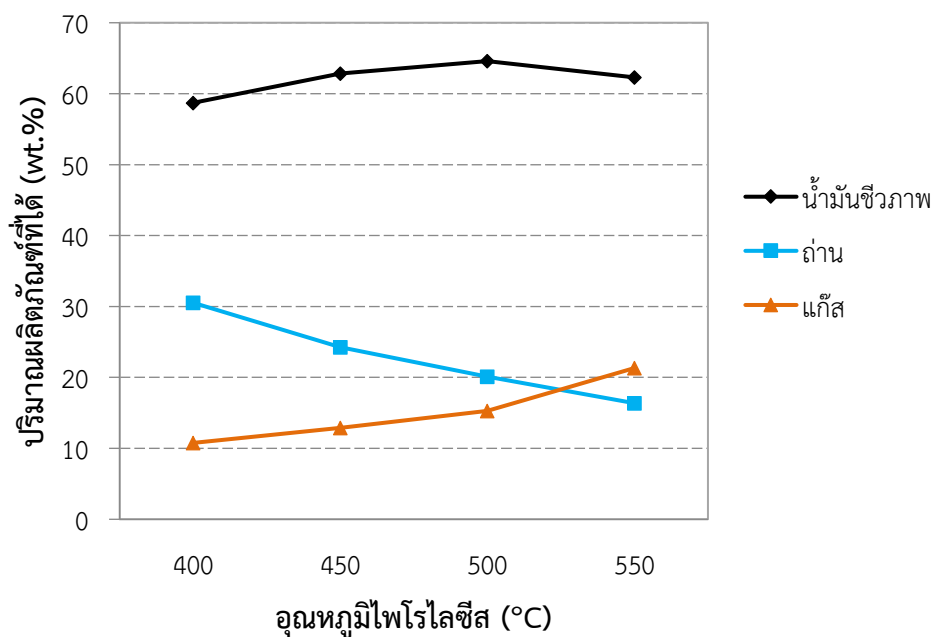
wt.% ปริมาณถ่านประมาณ 24.83 wt.% และแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ จะทำการคำนวณหาจากค่าความแตกต่าง ซึ่งได้ประมาณ 16.78 wt.%

รูปที่ 6 แสดงผลของอุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมที่มีต่อปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ได้ไพโรไลซิสแบบเร็วของขานอ้อยในหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบต จากผลการทดลอง พบว่าอุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 500°C ได้ปริมาณของน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 64.59 wt.% ปริมาณถ่านประมาณ 20.12 wt.% และแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ จะทำการคำนวณหาจากค่าความแตกต่าง ซึ่งได้ประมาณ 15.29 wt.%

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตน้ำมันชีวภาพจากขานอ้อยในหน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ทั้ง 2 ชนิด พบว่า อุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมของการผลิตน้ำมันชีวภาพจากขานอ้อยจะเท่ากัน คือ 500°C แต่หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบตจะให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพที่สูงกว่าอย่างชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bridgwater [5] ซึ่งเป็นผลมาจากเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบตจะมีการถ่ายโอนความร้อนภายในที่ดีกว่า และมีการกระจายความร้อนสู่อนุภาคที่ดีและทั่วถึงกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ เนื่องจากตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อน (ทรายซิลิกา) จะเป็นตัวกระจายความร้อนสู่อนุภาคชีวมวลโดยตรงทำให้ชีวมวลย่อยสลายได้ดีกว่าส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงตามไปด้วย



รูปที่ 5 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของขานอ้อย
ในหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ



รูปที่ 6 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของชานอ้อย
ในหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคเซเบด

3.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันชีวภาพ

รูปที่ 7 แสดงลักษณะของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของชานอ้อยในเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองชนิด และรูปที่ 8 แสดงน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการทดลองในหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ ทั้ง 4 อุณหภูมิตามเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะของน้ำมันชีวภาพที่ได้จะไม่แตกต่างกัน น้ำมันชีวภาพมีสีน้ำตาลเข้มและมีการแยกเฟสเล็กน้อยระหว่างส่วนที่เป็นเฟสน้ำซึ่งอยู่ด้านบนและส่วนที่เป็นเฟสอแกนิคส์ซึ่งอยู่ด้านล่าง



รูปที่ 7 ลักษณะของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของชานอ้อย
จากหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองชนิด



รูปที่ 8 ลักษณะของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของชานอ้อย
จากหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ทั้ง 4 อุณหภูมิตามเงื่อนไข

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพ

การวิเคราะห์	เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ	เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบต
อุณหภูมิไฟโรไลซิส (°C)	500	500
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ฐานแห้ง, wt.%)		
คาร์บอน (C)	67.93±0.97	68.79±1.58
ไฮโดรเจน (H)	5.35±0.24	6.43±0.18
ไนโตรเจน (N)	0.78±0.06	0.75±0.06
กำมะถัน (S)	0.55±0.06	0.27±0.03
ออกซิเจน* (O)	25.37±0.69	23.74±1.46
ปริมาณน้ำ (wt.%)	32.43±1.24	30.03±1.58
ความหนาแน่น (g/ml)	1.12±0.01	1.12±0.01
ค่า pH	3.76±0.50	3.46±0.05
การวิเคราะห์ค่าความร้อน โดยวิธีการคำนวณ (ฐานแห้ง, wt.%)		
ค่าความร้อนสูง (HHV)	27.44±0.12	29.15±0.49
ค่าความร้อนต่ำ (LHV)	26.27±0.17	27.75±0.53

*คำนวณจากค่าความแตกต่าง

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไฟโรไลซิสแบบเร็วของขาน้อยในเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองชนิด จากผลการวิเคราะห์ จะพบว่า น้ำมันชีวภาพที่ได้จากไฟโรไลซิสของขาน้อยในเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองชนิดจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำมันชีวภาพที่ได้จากหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบตจะมีค่าความร้อนที่สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งมีผลจากปริมาณคาร์บอนที่สูงกว่าค่าความร้อนต่ำ (LHV) ของน้ำมันชีวภาพที่ได้ จะอยู่ระหว่าง 26.27 – 27.75 MJ/kg (ฐานแห้ง) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Rueangsang et al. [19] ที่ทำการผลิตน้ำมันชีวภาพจากเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ พบว่า คุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Pattiya and Suttibak. [20] ที่ทำการผลิตน้ำมันชีวภาพจากขาน้อยในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบต พบว่า คุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาผลของชนิดเครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อปริมาณและคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไฟโรไลซิสแบบเร็วของขาน้อย โดยทำการศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระและเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบต ขนาดอัตราป้อน 100 - 300 g/hr ใช้ขาน้อยขนาดอนุภาค 0.250 - 0.500

mm เป็นตัวอย่างชีวมวล ทำการทดลองที่อุณหภูมิไพโรไลซิส 4 ระดับ คือ 400, 450, 500 และ 550°C จากผลการทดลองในหน่วยผลิตไพโรไลซิสที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ พบว่า อุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 500°C ได้ปริมาณของน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 58.39 wt.% ปริมาณถ่านประมาณ 24.83 wt.% และแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ประมาณ 16.78 wt.% สำหรับการทดลองในหน่วยผลิตไพโรไลซิสที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธด์เบด พบว่า อุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 500°C ได้ปริมาณของน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 64.59 wt.% ปริมาณถ่านประมาณ 20.12 wt.% และแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ประมาณ 15.29 wt.% เมื่อเปรียบเทียบการผลิตน้ำมันชีวภาพจากขานอ้อยในหน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ทั้ง 2 ชนิด จะเห็นว่า อุณหภูมิไพโรไลซิสที่เหมาะสมของการผลิตน้ำมันชีวภาพจากขานอ้อยจะเหมือนกัน คือ 500°C แต่หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธด์เบดจะได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพที่สูงกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธด์เบดจะมีการถ่ายโอนความร้อนภายในที่ดีกว่า และมีการกระจายความร้อนสู่อนุภาคที่ดีและทั่วถึงกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ เนื่องจากตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนจะเป็นตัวกระจายความร้อนสู่อนุภาคชีวมวลโดยตรงทำให้ชีวมวลย่อยสลายได้ดีกว่า ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงตามไปด้วย จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้ พบว่า น้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสของขานอ้อยในเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองชนิดจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำมันชีวภาพที่ได้จากหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธด์เบดจากมีค่าความร้อนที่สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งมีผลจากปริมาณคาร์บอนที่สูงกว่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (EPPO) กระทรวงพลังงาน ปีงบประมาณ 2560 และขอขอบคุณนายกิตติศักดิ์ หน้ฉลาด นายวิษณุ น้อยมลิวัน และนายภัทรพันธ์ วงษ์ทรงยศ ที่ช่วยอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Liu, R., Deng, C., and Wang, J. (2010). Fast pyrolysis of corn straw for bio-oil production in a bench-scale fluidized bed reactor. **Energy Source, Part A**, 32(1), 10-19.
- [2] Nomura, T., Mizuno, H., Minami, E., and Kawamoto, H. (2021). Fast Pyrolysis of Cellulose by Infrared Heating. **Energies**, 14, 1842.

- [3] Sharifzadeh, M., Sadeqzadeh, M., Guo, M., Borhani, T.N., Murthy Konda, N.V.S.N., Garcia, M.C., Wang, L., Hallett, J., and Shah, N. (2019). The multi-scale challenges of biomass fast pyrolysis and bio-oil upgrading: Review of the state of art and future research directions. **Progress in Energy and Combustion Science**, **71**, 1–80.
- [4] Kersten, S., and Garcia-Perez, M. (2013). Recent developments in fast pyrolysis of ligno-cellulosic materials. **Current Opinion in Biotechnology**, **24**, 414–420.
- [5] Bridgwater, A.V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. **Biomass and Bioenergy**, **38**, 68-94.
- [6] Suttibak, S., Sriprateep, K., and Pattiya, A. (2015). Production of Bio-oil from Pine Sawdust by Rapid Pyrolysis in a Fluidised-Bed Reactor. **Energy Sources, Part A**, **37**, 1440-1446.
- [7] Chiamonti, D., Oasmaa, A., and Solantausta, Y. (2007). Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, **11**, 1056–1086.
- [8] Brammer, J. G., Lauer, M., and Bridgwater, A. V. (2006). Opportunities for biomass-derived “bio-oil” in European heat and power markets. **Energy Policy**, **34**, 2871–2880.
- [9] Bridgwater, A.V., Meier, D., and Radlein, D. (1999). An overview of fast pyrolysis of biomass. **Organic Geochemistry**, **30**, 1479-1493.
- [10] Bridgwater, A.V. and Peacocke, G.V.C. (2002). Fast pyrolysis processes for biomass. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, **4**, 1-73.
- [11] Lu, Q., Li, W., and Zhu, X. (2009). Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils. **Energy Conversion and Management**, **50**, 1376–1383.
- [12] Kang, B. S., Lee, K. H., Park, H. J., Park, Y. K., and Kim, J. S. (2006). Fast pyrolysis of radiate pine in a bench scale plant with a fluidized bed: Influence of a char separation system and reaction conditions on the production of bio-oil. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, **76**, 32–37.
- [13] Pattiya, A. (2011). Thermochemical Characterization of Agricultural Wastes from Thai Cassava Plantations. **Energy Sources, Part A**, **33**, 691-701.

- [14] Sheng, C.D., and Azevedo, J.L.T. (2005). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. **Biomass & Bioenergy**, **28**(5), 499-507.
- [15] ECN. (2021). **Phyllis, database for biomass and waste**, Energy research Centre of the Netherlands, in, **Energy research Centre of the Netherlands**. Retrieved from <http://www.ecn.nl/phyllis/defs.asp>.
- [16] Channiwala, S.A. and Parikh, P.P. (2002). A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. **Fuel**, **81**(8), 1051-1063.
- [17] 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. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, **82**, 240-247.
- [18] 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**, **116**, 107-113.
- [19] Rueangsan, K., Kraisoda, P., Heman, A., Tasarod, H., Wangkulangkool, M., Trisupakitti, S., and Morris, J. (2021). Bio-oil and char obtained from cassava rhizomes with soil conditioners by fast pyrolysis. **Heliyon**, **7**, e08291.
- [20] Pattiya, A. and Suttibak, S. (2017). Fast pyrolysis of sugarcane residues in a fluidised bed reactor with a hot vapour filter. **Journal of the Energy Institute**, **90**, 110-119.