



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อย

Bio-Oil Production from Sugarcane Bagasse

ธราพงษ์ รัตนสุทธิ รัชพล สันติวารากร* และ วศกร ตรีเดช

Trarapong Rattanasutti Ratchaphon Suntivarakorn* and Wasakron Treedet

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, 40002

Received: 11 พ.ย. 59

Accepted: 19 ธ.ค. 59

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อย โดยเตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน ซึ่งใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงและใช้ทรายเป็นตัวพาความร้อน ในการทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยได้กำหนดให้ทำการทดลองที่อัตราการไหลของทรายที่ 4.5 กิโลกรัมต่อวินาที ความเร็วของลมเริ่มต้นเท่ากับ 5, 6 และ 7 เมตรต่อวินาที และ อุณหภูมิทรายที่ 440 °C ถึง 520 °C จากการทดสอบพบว่าเตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยได้ สัดส่วน สูงสุดที่ 68.93 wt% ที่อุณหภูมิทราย 480 °C และความเร็วของลม 7 เมตรต่อวินาที โดยสัดส่วนผลผลิตของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีค่าแปรผกผันกับอุณหภูมิทราย ซึ่งเมื่ออุณหภูมิของทรายสูงขึ้นจะทำให้ สัดส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าลดลง จากนั้นเมื่อนำน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงพบว่ามีความร้อน ค่าความหนืด ค่าความหนาแน่นและค่า pH เท่ากับ 18,389 kJ.kg⁻¹, 24.54 mm²/s, 1,259 kg.m⁻³ และ 2 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยพบว่ามีต้นทุนการผลิต 29.05 บาทต่อลิตร

คำหลัก: เตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน ไพโรไลซิส น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ ชานอ้อย

Abstract

This research was conducted to produce bio-oil from bagasse using circulating fluidized bed reactor and using LPG as fuel and sand as convection media. The experiment of bio-oil production was conducted at a sand flow rate of 4.5 kg/s. The velocity of hot air was varied by 5, 6 and 7 m/s and the temperature of the sand was varied from 440 °C to 520 °C. From the experiment, it was found that the circulating fluidized bed reactor can produce bio-oil from bagasse, with the maximum bio-oil yield of 68.93 wt% at the temperature of 480 °C and the velocity of 7 m/s. The proportion of bio-oil production was inversely proportional to the temperature of the sand. When the temperature of sand was increased, the bio-oil yield was decreased. From the bio-oil property analysis, it was found that the heating value, viscosity, density and pH were 18,389 kJ.kg⁻¹, 24.54 mm²/s, 1,259 kg.m⁻³ and 2, respectively. Furthermore, cost of the bio-oil production was also studied, production and it was revealed that the production cost was 29.05 baht per liter.

Keywords: Circulating fluidized bed reactor, Pyrolysis, Bio-oil, Sugarcane bagasse

*ติดต่อ: Email: ratchaphon@kku.ac.th, โทร: 043-202845, โทรสาร: 043-202849

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในการอุปโภค บริโภค และการส่งออกแล้ว ก็ยังเหลือในส่วนของผลผลิตที่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้เหลืออีกเป็นจำนวนมาก จึงเป็นแนวทางในการศึกษาการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชีวมวล เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขวิกฤตด้านพลังงานในปัจจุบันและอนาคต

ประเทศไทยจึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนมากขึ้น ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งที่มีปริมาณมากและมีศักยภาพสูง ทั้งนี้จากการสำรวจพบว่าประเทศไทยได้มีการนำชีวมวล เช่น แกลบ ไม้ ฟืน เป็นต้น ไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานแล้ว และหลายท่านอาจ

ยังไม่ทราบว่าประเทศไทยผลิตน้ำตาลมากเป็นอันดับ 7 ของโลก (ประมาณ 7 ล้านตันต่อปี) ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลคือ อ้อย โดยในกระบวนการผลิตน้ำตาล อ้อย 1 ตัน ที่ป้อนเข้าสู่โรงงานน้ำตาล จะผลิตเป็นน้ำตาลได้ประมาณ 100 - 120 กิโลกรัม และกากของเหลือจากกระบวนการผลิต คือ ชานอ้อย ประมาณ 300 กิโลกรัม และจากฐานข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรมประเทศไทยมีโรงงานผลิตน้ำตาลจำนวน 192 โรงงาน ซึ่งจากการประมาณการพบว่า มีปริมาณชานอ้อยสูงถึง 20 ล้านตันต่อปี

การนำชีวมวลมาแปรรูปในรูปแบบของเชื้อเพลิงพลังงานนั้นสามารถจำแนกได้ตามสถานะได้แก่ เชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ โดยการนำชีวมวลมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง

เหลวนั้น ปัจจุบันสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) และกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis process) โดยกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis process) เป็นหนึ่งในกระบวนการเคมีความร้อน (Thermochemical process) คือการใช้ความร้อนในการสลายโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ของวัตถุดิบตั้งต้นให้มีขนาดโครงสร้างโมเลกุลที่เล็กลง (Thermal decomposition) ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรือมีในปริมาณที่จำกัด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีตั้งแต่โมเลกุลขนาดเล็ก เป็นแก๊สที่สภาวะห้อง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน เป็นต้น ส่วนผลิตภัณฑ์ของเหลวมีย่านโมเลกุลหลากหลายจำนวนอะตอมของคาร์บอนตั้งแต่ 5 ขึ้นไปจนถึงส่วนกลั่นได้ที่มีจุดเดือดมากกว่า 370 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถนำไปกลั่นแยกและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวชนิดต่างๆ เช่น แก๊ซอลีน เจทออยล์ ดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเตา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีของแข็งซึ่งเป็นส่วนของวัสดุตั้งต้นที่เหลืออยู่และ/หรือเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) เรียกว่า ถ่านชาร์ (char) โดยถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสสามารถนำไปแปรรูปเป็นคาร์บอนแบล็ค ซึ่งองค์ประกอบของวัสดุตั้งต้นจะขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในกระบวนการความร้อนเคมี ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ตัวเร่งปฏิกิริยา และแก๊สอื่น ๆ เป็นปัจจัยหลักกำหนดสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ยกตัวอย่างเช่น การใช้ถ่านหินซึ่งมีอัตราส่วน H/C ต่ำเป็นวัสดุตั้งต้น จะให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวน้อยกว่าการใช้ชีวมวลซึ่งมีอัตราส่วน H/C สูงกว่า เป็นต้น [1]

ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากชีวมวลนี้ได้เคยมีการศึกษาและทดลองกับชีวมวลหลายชนิดเช่น แกลบ

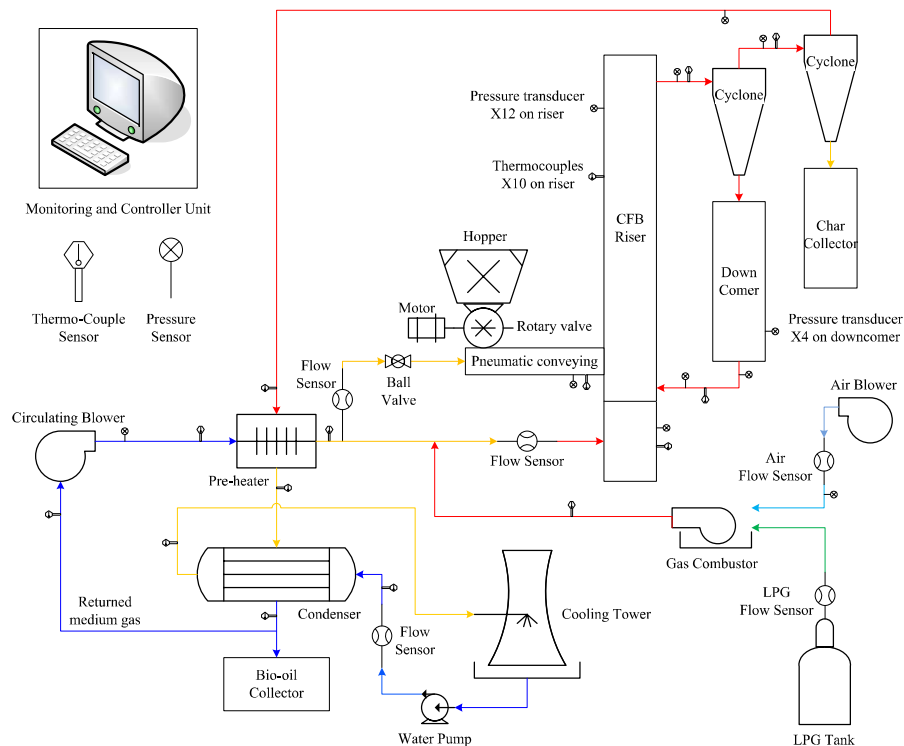
ฝ้าย และชีวมวลอื่นอีกหลายชนิด พบว่ามีศักยภาพเพียงพอที่สามารถผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงจากชีวมวลได้ แต่ยัง ไม่เคยปรากฏว่ามีการศึกษาทดลองกับชานอ้อยมาก่อน [2-8]

ด้วยเหตุที่ชานอ้อยเป็นวัสดุที่เหลือใช้เป็นพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในการนำไปแปรรูปเป็นพลังงาน และอีกทั้งปัญหาความต้องการด้านพลังงานในรูปของเชื้อเพลิงเหลวที่นำไปใช้ในด้านคมนาคมประกอบกับเชื้อเพลิงเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่ขนย้ายสะดวกและจัดเก็บได้ง่าย ทำให้คณะผู้วิจัยทำการศึกษาวิธีการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง ชีวภาพ จากชานอ้อย โดยจะทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อย ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าของชานอ้อยให้มีการนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุดและสามารถนำน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานแทนที่น้ำมันเชื้อเพลิงในรูปของน้ำมันดิบที่ต้องนำเข้า จากต่างประเทศตลอดจนเป็นการส่งเสริมนโยบายการใช้พลังงานทดแทนเพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานในประเทศไทยต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

การทำงานของเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยโดยใช้เตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียนจะอาศัยหลักการสลายโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal decomposition) โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วแก่วัสดุชีวมวลที่สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน และทำการกรองอนุภาคฝุ่นออกจากก๊าซที่ผ่านการเผาไหม้จากนั้นทำการลดอุณหภูมิก๊าซร้อนอย่างรวดเร็วเพื่อให้อากาศที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวลกลั่นตัวเป็นของเหลว โดยในการ



รูปที่ 1 แผนผังเตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

ทดลองจะใช้ไอเสียที่ได้จากห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซมาเป็นก๊าซตัวพาความร้อนไปสู่เตาปฏิกรณ์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิเบดให้ได้ระดับที่ทดลอง (ประมาณ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $550\text{ }^{\circ}\text{C}$) โดยเมื่ออุณหภูมิเบดได้ระดับที่จะทำการทดลองแล้วจะทำการป้อนชีวมวลเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ โดยใช้การขนถ่ายวัสดุด้วยลม โดยลมที่ใช้ในการป้อนวัสดุนี้จะใช้ก๊าซที่ไม่กลั่นตัว (Non-Condensable Gas) ที่ได้จากการกระบวนการผลิตนี้กลับมาใช้อีกรอบหนึ่ง ซึ่งในขณะที่ป้อนชีวมวลจนถึงการทดลองเสร็จสิ้นจะทำการควบคุมอุณหภูมิและความเร็ว Superficial ให้มีค่าคงที่ที่กำหนดไว้ในเริ่มแรก จากนั้นสังเกตก๊าซที่ไม่กลั่นตัว (มีลักษณะเป็นควันสีขาว) ถ้าไม่มีควันออกมาทางบริเวณทางออกแสดงว่าทำการเผาไหม้จนเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งสามารถเก็บผลการทดลองได้ โดยผลผลิต

ที่ได้จากเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยโดยใช้เตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียนจะประกอบไปด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ (บริเวณทางออก), ก๊าซที่ไม่กลั่นตัว (บริเวณทางออก) และผงถ่านชาร์ (บริเวณไซโคลน)

2.2 การออกแบบระบบเตาปฏิกรณ์

การออกแบบระบบเตาปฏิกรณ์จะทำการออกแบบเตาปฏิกรณ์ชนิดฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน (Circulating fluidized bed) และอธิบายความสำคัญของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในเตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน โดยตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการคำนวณจะแสดงได้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด	หน่วย
เส้นผ่านศูนย์กลางเตาปฏิกรณ์	10.16	cm
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทราย	248.92×10^{-6}	m
ความหนาแน่นทราย	1,542	kg.m ⁻³
ความหนาแน่นอากาศ	0.4405	kg.m ⁻³
พลศาสตร์ความหนืดของอากาศ	36.25×10^{-6}	kg.m ⁻¹ .s ⁻¹

โดยมีสมการความสัมพันธ์และรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

2.1.1 Archimedes number

$$Ar = \frac{\rho_f (\rho_b - \rho_f) g d_m^3}{\mu_f^2} \quad (1)$$

2.1.2 Reynolds number of minimum

fluidization

$$Re_{mf} = \sqrt{33.7^2 + 0.0408(Ar)} - 33.7 \quad (2)$$

2.1.3 หาค่าความเร็วต่ำสุดของก๊าซที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน (U_{mf})

$$U_{mf} = \frac{Re_{mf} \mu_f}{d_m \rho_f} \quad (3)$$

2.1.4 หาค่าความเร็วที่ทำให้เกิดเบดแบบปั่นป่วน (U_k)

$$U_k = 7.0 \sqrt{\rho_b d_m} - 0.77 \quad (4)$$

2.1.5 หาพื้นที่หน้าตัดของเตาปฏิกรณ์ ($A_{reactor}$)

$$A_{reactor} = \frac{\pi D_{reactor}^2}{4} \quad (5)$$

2.1.6 สามารถหาอัตราการไหลต่ำสุดของก๊าซไอเสีย (G_{Bmin})

$$G_{Bmin} = (U_f - U_{mf}) A_{reactor} \quad (6)$$

2.1.7 สามารถหาอัตราการไหลมากที่สุดของก๊าซไอเสีย (G_{Bmax})

$$G_{Bmax} = (U_f - U_{mf}) A_{reactor} \quad (7)$$

จากหัวข้อที่ 2.1.6 และ 2.1.7 นั้น จะใช้อัตราการไหลของก๊าซในการทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยโดยใช้เตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียนเท่ากับ

$$2.84 \times 10^{-2} < G_B < 5.64 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

2.1.8 หาจำนวนรูเจาะของแผ่นกระจายลม (N)

$$N = \frac{A_{reactor}}{A_{perforated}} \times S_r \quad (8)$$

ตารางที่ 2 ค่าที่ได้จากการคำนวณเตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

ตัวแปร	ค่าที่ได้จาก	
	การคำนวณ	หน่วย
เส้นผ่านศูนย์กลางเตาปฏิกรณ์	10.16	cm
ความสูงเตาปฏิกรณ์	4.2	m
เส้นผ่านศูนย์กลางของรูบนแผ่นกระจายลม	1.5	mm
จำนวนรูบนแผ่นกระจายลม	321	-

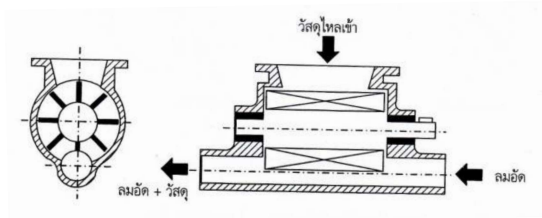
2.3 การออกแบบระบบแหล่งกำเนิดความร้อน

การออกแบบระบบกำเนิดความร้อนที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซตามที่อธิบายในหัวข้อที่ 3.2 โดยใช้ก๊าซแอลพีจีที่มีอัตราการไหล 0.377 กรัมต่อวินาที เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งการออกแบบต้องการไอเสียที่มีอัตราการไหล

0.0564 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือคิดเป็น 0.0157 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ที่อุณหภูมิไอเสีย 1300 °K) เพื่อให้เป็นก๊าซพาความร้อนไปสู่เตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด โดยการออกแบบลักษณะโครงสร้างของห้องเผาไหม้นี้ สามารถสรุปผลการออกแบบได้ตามตารางที่ 3

2.4 การออกแบบระบบป้อนวัตถุดิบ

ในระบบป้อนวัตถุดิบที่ใช้ในเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพในงานวิจัยนี้จะใช้หลักการขนถ่ายวัสดุด้วยลมโดยใช้โรตารีวาล์วแบบ Blow-Through เป็นอุปกรณ์กำหนดอัตราการจ่ายวัตถุดิบ ซึ่งลักษณะของระบบ โรตารีวาล์วแบบ Blow-Through นี้สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โรตารีวาล์วแบบ Blow-Through

ตารางที่ 3 ผลการออกแบบระบบห้องเผาไหม้

Description	Value	Unit
Air mass flow rate	0.0157	kg/s
Stoichiometric F/A ratio	0.0645	-
Combustion loading	1	kg/s atm ^{1.8}
Combustion efficiency	99.99	%
Combustion intensity	0.882	MW/atm m ³
Combustion temperature	2300	°K
Residence time	5.73	ms
Exit temperature	1300	°K
Combustion volume	0.0201	m ³
Diameter of liner	0.253	m
Diameter of outer	0.293	m
Length of combustor	0.406	m
Air fraction into each zone		
- Swirler	18.29	%
- Primary zone	9.15	%
- Secondary zone	40.24	%
- Dilute zone	32.32	%

ในการออกแบบโรตารีวาล์วสำหรับจ่ายวัสดุนี้สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$m_s = \alpha \cdot \rho_b \cdot v \cdot n \cdot N \quad \text{kg/min} \quad (9)$$

ในการคำนวณเพื่อหาอัตราการจ่ายวัสดุนี้จำเป็นต้องทราบถึงปริมาตร 1 ช่องของโรเตอร์ โดยจำนวนทั้งหมดของโรเตอร์จะออกแบบไว้ที่ 8 ช่อง ซึ่งปริมาตร 1 ช่องนี้สามารถหาได้จาก

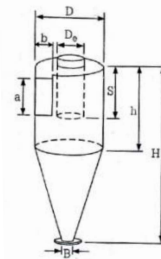
$$v = \frac{1}{8} \times \frac{\pi (D_{rotor}^2 - D_{shaft}^2)}{4} \times L \quad (10)$$

2.5 การออกแบบระบบดักจับฝุ่นละออง

ไซโคลนตัวที่ 1 และตัวที่ 2 จะใช้ท่อเหล็กขนาด 8 นิ้ว sch10 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ $D_o = 219.1 \text{ mm}$ ท่อหนา 3.76 mm

ตารางที่ 4 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณโรตารีวาล์วสำหรับจ่ายวัสดุ

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด	หน่วย
ความหนาแน่นของวัสดุ : (ρ_b)	80.49	kg/m ³
แฟกเตอร์การเติมวัสดุ (ที่ความเร็ว 0 - 10 rpm) : (α)	0.73	-
ปริมาตร 1 ช่องของโรเตอร์ : (v)	2.19×10^{-3}	m ³
จำนวนช่องของโรเตอร์ : (n)	8	-
ความเร็วรอบของมอเตอร์ : (N)	0 - 10	rpm



รูปที่ 3 สัญลักษณ์ที่ใช้ออกแบบไซโคลน

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

ตัวแปร	ค่าที่ได้	หน่วย
ความดันสูญเสียจากความเร่ง	160.4	
	5	Pa
ความดันสูญเสียจากการขนถ่ายวัสดุตามแนวตั้ง	6.24	Pa
ความดันสูญเสียจากการไหลไปตามท่อ	116.0	Pa
	3	Pa
ความดันสูญเสียจากการไหลผ่านท่อโค้ง	154.6	Pa
	6	Pa
ความดันสูญเสียรวม	437.4	Pa
	1	Pa
ความเร็วต่ำสุดในการขนถ่ายวัสดุ (v_{st})	4.78	m/s
ความเร็วของวัสดุขณะขนถ่าย (v_s)	8.53	m/sec
ความเร็วในการตกอย่างอิสระของวัสดุ (U_{fo})	1.24	m/sec

ตารางที่ 6 ขนาดของไซโคลนที่ได้รับการออกแบบ

Unit (mm)	ไซโคลนตัวที่ 1	ไซโคลนตัวที่ 2
D	210	210
a	105	105
b	53	42
S	130	105
D _c	105	105
h	420	315
H	840	840
B	53	79
N _H	8.0	6.40

2.6 ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน

ในงานวิจัยผลนี้จะใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด 2 ชุด ซึ่งประกอบไปด้วยชุดอุ่นอากาศก่อนเข้าสู่ฮีตเตอร์ไฟฟ้าและชุดควบแน่นไอน้ำให้กลับตัวเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยในการวิเคราะห์และออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้สามารถอธิบายได้ในหัวข้อต่อไป

การวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$U = \frac{1}{\frac{D_o}{h_i D_i} + \frac{D_o}{D_i} F_i + \left[\frac{D_o}{2k} \right] \ln \frac{D_o}{D_i} + F_o + \frac{1}{h_o}} \quad (11)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในท่อ (h_i) หาได้จาก

$$h_i = \frac{Nu_i k_i}{D_i} \quad (12)$$

$$\text{และ } Nu_i = 0.036 Re^{0.8} Pr^{1/3} \left(\frac{D}{L} \right)^{0.055}$$

และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนอกท่อ (h_o) หาได้จาก (พิจารณาให้อากาศเป็นของไหลที่ไหลนอกท่อ)

$$h_o = \frac{Nu_o k_o}{D_o} \quad (13)$$

$$\text{และ } Nu_m = 1.13 C_o Re^n Pr^{1/3}$$

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ตัวแปร	ชุดอุ่นอากาศ	ชุดควบแน่น
ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ของการไหลในท่อ (Re_i)	12,408	8,119,910
ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ของการไหลนอกท่อ (Re_o)	6,358	5,519
Nusselt number ของการไหลในท่อ (Nu_i)	50.83	18,473
Nusselt number ของการไหลนอกท่อ (Nu_o)	62.37	57.65
ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในท่อ ($h_i : W/m^2 \cdot ^\circ C$)	30.97	303.4
ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนอกท่อ ($h_o : W/m^2 \cdot ^\circ C$)	52.36	55.32
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์ ($U : W/m^2 \cdot ^\circ C$)	17.88	52.56

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อย

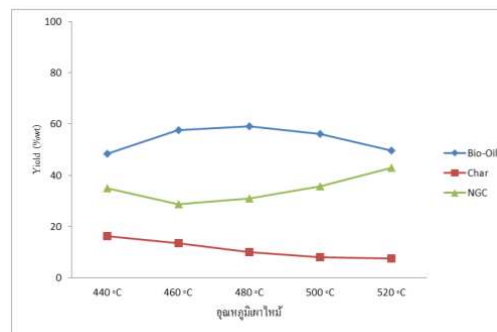
3.1.1 ผลการทดลองการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที ในการทดลองการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที อัตราการป้อนชีวมวลที่ 36 kg/h และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คือ 440 °C, 460 °C, 480 °C, 500 °C และ 520 °C โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 8 ผลการทดลองที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที อัตราการป้อนชีวมวลที่ 36 kg/h และที่ อุณหภูมิ 440 °C, 460 °C, 480 °C, 500 °C และ 520 °C

อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ (°C)	น้ำหนักชีวมวล (kg.)	ก๊าซไม่กลั่นตัว wt%	kg	ถ่านชาร์ wt%	kg	น้ำมันชีวภาพ wt%	kg
440	3.000	35.07	1.052	16.40	0.492	48.53	1.456
460	3.000	28.73	0.862	13.60	0.408	57.67	1.730
480	3.000	30.93	0.928	10.07	0.302	59.00	1.770
500	3.000	35.80	1.074	8.07	0.242	56.13	1.684
520	3.000	42.87	1.286	7.53	0.226	49.60	1.488

จากตารางที่ 8 และรูปที่ 4 พบว่า ที่อุณหภูมิ 480 °C และที่ความเร็วลมคงที่ที่ 5 เมตรต่อวินาที สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงได้ปริมาณสูงสุดที่ 59.00 wt% (สัดส่วนโดยมวล) และจากผลการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์มีค่าน้อยจะทำให้ได้ปริมาณถ่านชาร์และปริมาณก๊าซที่ไม่กลั่นตัวมีค่ามากขึ้นแต่ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์มีค่ามากขึ้นจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพและปริมาณถ่านชาร์

ลดลงแต่ได้ปริมาณก๊าซที่ไม่กลั่นตัวมีค่ามากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแตกตัว เกิดขึ้นได้ดี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 480 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวและถ่านชาร์มีค่าลดลง ส่วนผลิตภัณฑ์ก๊าซเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะส่งต่อการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวขั้นทุติยภูมิอย่างต่อเนื่องทันทีทำให้ปริมาณของถ่านชาร์มีการสลายตัวต่อไปได้ก๊าซที่ไม่สามารถกลั่นตัวได้เป็นผลทำให้มีสารระเหยที่เกิดการแตกตัวไปเป็นก๊าซมีปริมาณเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวมีค่าลดลงผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและก๊าซเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 สัดส่วนผลผลิตที่ได้จากการทดลองที่ความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที ณ อุณหภูมิต่างๆ

3.1.2 ผลการทดลองการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที

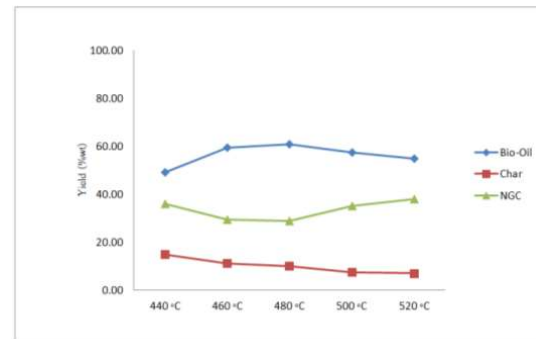
ในการทดลองการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที อัตราการป้อนชีวมวลที่ 36 kg/h และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คือ 440 °C, 460 °C, 480 °C, 500 °C และ 520 °C โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้ จากตารางที่ 9 และรูปที่ 5 พบว่าที่อุณหภูมิ

480 °C และที่ความเร็วลมคงที่ที่ 6 เมตรต่อวินาที สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงได้ปริมาณสูงสุดที่ 60.87 wt% (สัดส่วนโดยมวล) และจากผลการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์มีค่าน้อยจะทำให้ได้ปริมาณถ่านชาร์และปริมาณก๊าซที่ไม่กลั่นตัวมีค่ามากขึ้นแต่ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์มีค่ามากขึ้นจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพและปริมาณถ่านชาร์ลดลงแต่ได้ปริมาณก๊าซที่ไม่กลั่นตัวมีค่ามากขึ้น ขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแตกตัว เกิดขึ้นได้ดี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 480 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวและถ่านชาร์มีค่าลดลง ส่วนผลิตภัณฑ์ก๊าซเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะส่งต่อการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวขั้นทุติยภูมิอย่างต่อเนื่องทันที

ตารางที่ 9 ผลการทดลองที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที อัตราการป้อนชีวมวลที่ 36 kg/h และที่ อุณหภูมิ 440 °C, 460 °C, 480 °C, 500 °C และ 520 °C

อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ (°C)	น้ำหนักชีวมวล (kg.)	ก๊าซไม่กลั่นตัว		ถ่านชาร์		น้ำมันชีวภาพ	
		wt%	kg	wt%	kg	wt%	kg
440	3.000	39.60	1.188	10.53	0.316	49.87	1.496
460	3.000	27.73	0.832	8.47	0.254	63.80	1.914
480	3.000	22.93	0.688	8.13	0.244	68.93	2.068
500	3.000	35.87	1.046	6.93	0.208	58.20	1.746
520	3.000	42.87	1.286	6.60	0.198	50.53	1.516

ทำให้ปริมาณของถ่านชาร์มีการสลายตัวต่อไปได้ ก๊าซที่ไม่สามารถกลั่นตัวได้เป็นผลทำให้มีสารระเหยที่เกิดการแตกตัวไปเป็นก๊าซมีปริมาณเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวมีค่าลดลงผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและก๊าซเพิ่มขึ้น [9-14]



รูปที่ 5 สัดส่วนผลผลิตที่ได้จากการทดลองที่ความเร็ว 6 เมตรต่อวินาที ณ อุณหภูมิต่างๆ

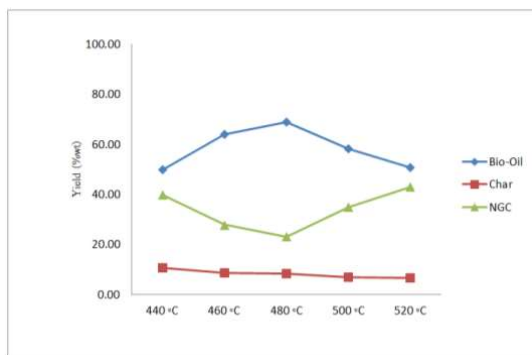
3.1.3 ผลการทดลองการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากขาน้อยที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที

ในการทดลองการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากขาน้อยที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที อัตราการป้อนชีวมวลที่ 36 kg/h และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คือ 440 °C, 460 °C, 480 °C, 500 °C และ 520 °C โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10 ผลการทดลองที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที อัตราการป้อนชีวมวลที่ 36 kg/h และที่ อุณหภูมิ 440 °C, 460 °C, 480 °C, 500 °C และ 520 °C

อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ (°C)	น้ำหนักชีวมวล (kg.)	ก๊าซไม่กลั่นตัว		ถ่านชาร์		น้ำมันชีวภาพ	
		wt%	kg	wt%	kg	wt%	kg
440	3.000	36.07	1.082	14.8	0.444	49.13	1.474
460	3.000	29.47	0.884	11.13	0.334	59.40	1.782
480	3.000	29.00	0.870	10.13	0.304	60.87	1.826
500	3.000	35.20	1.056	7.47	0.224	57.33	1.720
520	3.000	38.00	1.140	7.07	0.212	54.93	1.648

จากตารางที่ 10 และรูปที่ 6 พบว่า ที่อุณหภูมิ 480 °C และที่ความเร็วลมคงที่ที่ 7 เมตรต่อวินาที สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงได้ปริมาณสูงสุดที่ 68.93 wt% (สัดส่วนโดยมวล)

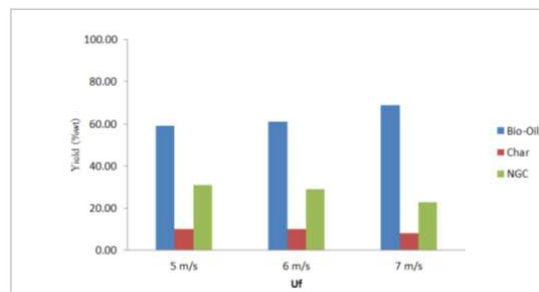


รูปที่ 6 สัดส่วนผลผลิตที่ได้จากการทดลองที่ความเร็ว 7 เมตรต่อวินาที ณ อุณหภูมิต่างๆ

และจากผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์มีค่าน้อยจะทำให้ได้ปริมาณถ่านชาร์และปริมาณก๊าซที่ไม่กลั่นตัวมีค่ามากขึ้นแต่ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์มีค่ามากขึ้นจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพและปริมาณถ่านชาร์ลดลงแต่ได้ปริมาณก๊าซที่ไม่กลั่นตัวมีค่ามากขึ้นขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแตกตัว เกิดขึ้นได้ดี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 480 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวและถ่านชาร์มีค่าลดลง ส่วนผลิตภัณฑ์ก๊าซเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวขั้นทุติยภูมิอย่างต่อเนื่องทันทีทำให้ปริมาณของถ่านชาร์มีการสลายตัวต่อไปได้ก๊าซที่ไม่สามารถกลั่นตัวได้เป็นผลทำให้มีสารระเหยที่เกิดการแตกตัวไปเป็นก๊าซมีปริมาณเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวมีค่าลดลงผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและก๊าซเพิ่มขึ้น

[9-14]

เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 480 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ได้ผลผลิตสูงสุด จะพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วลมขึ้นจะทำให้สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงได้ปริมาณที่สูงขึ้นและจะได้ปริมาณถ่านชาร์และปริมาณก๊าซที่ไม่กลั่นตัวลดลงดังแสดงตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 สัดส่วนผลผลิตที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 480 °C ณ ความเร็วต่างๆ

3.2 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ

เนื่องจากกระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนในการสลายพันธะของโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง (Thermal-decomposite) โดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้ออกซิเจนในปริมาณที่จำกัด ซึ่งผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจากชีวมวลคือน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนประกอบของน้ำในปริมาณมาก ดังนั้นในการทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพสามารถแสดงคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ยังไม่ผ่านการต้มไล่ความชื้น

น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ยังไม่ผ่านการต้มไล่ความชื้นมีลักษณะเป็นของเหลวสีดำ ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 11 คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ยังไม่ผ่านการต้มไล่ความชื้น

รายละเอียด	ค่าที่ได้	หน่วย
ค่าความร้อน	น้อยมาก	kJ/kg
ค่าความหนาแน่น	1,034.07	kg/m^3
ค่าความชื้น	38.93	wt%
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	2	-

3.2.2 น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านการต้มไล่ความชื้น

น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านการต้มไล่ความชื้นมีลักษณะเป็นของเหลวสีดำ ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 12 คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านการต้มไล่ความชื้น

รายละเอียด	ค่าที่ได้	หน่วย
ค่าความร้อน	18,389	kJ/kg
ค่าความหนาแน่น	1,259	kg/m^3
ค่าความหนืด	24.54	wt%
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	2	-

3.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ในการหาต้นทุนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจะแยกต้นทุนการผลิตตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลังงานที่ใช้ในการผลิตและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต โดยการหาต้นทุนการผลิตจะเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพมากที่สุด ซึ่งได้สัดส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพสูงสุดคือ 68.93 wt% โดยแสดงต้นทุนการผลิตได้ดังนี้

3.3.1 ต้นทุนวัตถุดิบ

เนื่องจากขานอ้อยที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นเป็นวัตถุดิบที่เหลือจาก

การใช้ประโยชน์ และเอาเฉพาะในส่วนที่มีขนาดเล็ก จึงไม่ต้องสับ และนำมาลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด ทำให้ไม่มีต้นทุนในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

3.3.2 ต้นทุนพลังงาน

การทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจะใช้พลังงานในส่วนเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งประกอบไปด้วย Blower, มอเตอร์ชุดปั๊มชีวมวล, ระบบหล่อเย็น และชุดเก็บข้อมูล DAQ – Lab view ซึ่งจะวัดอัตราการใช้พลังงานรวม

3.3.3 ต้นทุนเชื้อเพลิง

ในการทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากขานอ้อยจะใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงในการผลิต ซึ่งต้นทุนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 13

จากการทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากขานอ้อยสามารถผลิตน้ำมันได้สัดส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพสูงสุดคือ 68.93 wt% และเมื่อนำไปต้มไล่ความชื้นแล้วพบว่ามีความชื้นร้อยละ 38.93 ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ 57.90 wt% คิดเป็นน้ำหนักคือ 12.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และใช้ต้นทุนในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพเท่ากับ 291.30 บาทต่อชั่วโมง ดังนั้นต้นทุนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากขานอ้อยคิดเป็น 23.08 บาท/กิโลกรัม หรือคิดเป็น 29.05 บาทต่อลิตร

4. สรุป

จากงานวิจัยนี้สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้จริงจาก เครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยการนำขานอ้อยมาทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 13 แสดงต้นทุนที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยเทียบต่อชั่วโมง

ลำดับ ที่	รายการ	ต้นทุน (บาท)
1	ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ เท่ากับ 5.31 กิโลกรัม (LPG ราคา 24.14 บาท/กิโลกรัม)	128.18
2	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ เท่ากับ 7 หน่วย (อัตราค่าไฟฟ้าเท่ากับ 2.995 บาท/หน่วย)	20.97
3	ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต เท่ากับ 4.51 กิโลกรัม (LPG ราคา 24.14 บาท/กิโลกรัม)	116.11
4	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต เท่ากับ 7 หน่วย (อัตราค่าไฟฟ้าเท่ากับ 2.995 บาท/หน่วย)	20.97
5	ค่าเชื้อเพลิงต้มไล่ความชื้น เท่ากับ 0.21 กิโลกรัม (LPG ราคา 24.14 บาท/กิโลกรัม)	5.07
รวม		291.30

ชีวภาพ โดยทำการทดลองป้อนชานอ้อยที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม อัตราการป้อน 36 กิโลกรัมต่อชั่วโมงโดยจะที่ความเร็วของก๊าซร้อนที่ความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที 6 เมตรต่อวินาที และ 7 เมตรต่อวินาที และทำการทดลองที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 440 °C , 460 °C , 480 °C , 500 °C และ 520 °C ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าที่ความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที จะได้สัดส่วนน้ำมันชีวภาพมากที่สุดที่อุณหภูมิ 480 °C โดยได้สัดส่วนน้ำมันอยู่ที่ 59.00 wt% และที่ความเร็ว 6 เมตรต่อวินาที จะได้สัดส่วนน้ำมันชีวภาพมากที่สุดที่อุณหภูมิ 480 °C โดยได้สัดส่วนน้ำมันอยู่ที่ 60.87 wt% และความเร็ว 7 เมตรต่อวินาที จะได้สัดส่วน

น้ำมันชีวภาพมากที่สุดที่อุณหภูมิ 480 °C โดยได้สัดส่วนน้ำมันอยู่ที่ 68.93 wt%

4.1 ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ

จากการทดลองพบว่าสามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยโดยใช้ทรายเป็นตัวกลางในการพาความร้อนได้สัดส่วนสูงสุดที่ 68.93 wt% ที่อุณหภูมิ 480 °C และความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที โดยผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิเผาไหม้มีค่าสูงขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง จะทำให้ได้ปริมาณก๊าซที่ไม่กลั่นตัวสูงขึ้นและลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่จะทำให้ได้ปริมาณถ่านชาร์ลดลง และเมื่อทำการทดลองเพิ่มเติมพบว่าความเร็วลมจะมีผลต่อปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วย กล่าวคือ เมื่อความเร็วของลมต่ำจะทำให้ได้ปริมาณถ่านชาร์สูงและจะได้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพต่ำ แต่เมื่อเพิ่มความเร็วลมพบว่าจะได้ปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพสูงขึ้น แต่ปริมาณถ่านชาร์มีแนวโน้มลดลง

เมื่อนำเชื้อเพลิงที่ได้ไปไล่ความชื้นออกจะพบว่ามี ความชื้น 38.93 wt% ทำให้มี yield ที่ได้จากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยเท่ากับ 42.10%

4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจะทำการวิเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ยังไม่ผ่านการไล่ความชื้น และ น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านการไล่ความชื้นแล้ว โดยน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ยังไม่ผ่านการไล่ความชื้นนั้นจะมีค่าความร้อนที่ น้อยมาก และมีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 2

และ น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านการไล่ความชื้นแล้ว จะมีค่าความร้อนที่ $18,389 \text{ kJ.kg}^{-1}$ และมีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 2

4.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์หาต้นทุนในการผลิตซึ่งจะมีต้นทุนในส่วนของต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนพลังงานและ ต้นทุนเชื้อเพลิง โดยจะทำการคิดต้นทุนในขั้นตอนการเตรียมเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ และการไล่ความชื้น เมื่อทำการวิเคราะห์ต้นทุนแล้วพบว่าต้นทุนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยเท่ากับ 29.05 บาทต่อลิตร

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ กองทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ และกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณและเครื่องมืออุปกรณ์ ในการทำวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤดากร วัฒนพล. การแยกสลายขยะพอลิไธรีนด้วยความร้อน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. จังหวัดเชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2548.
- [2] กิรติณัฐ ธีรจิธรรมกุล. การผลิตน้ำมันชีวภาพจากฟางข้าวโดยไพโรไลซิสแบบเร็ว. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2553.
- [3] ณัฐวุฒิ เลหาะกาญจน์ศิริ. การกลั่นลำดับส่วนของเหลวทาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสไม้ไผ่. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2544.
- [4] ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย. การผลิตน้ำมันชีวภาพจากไม้และพลาสติกเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: จังหวัดเชียงใหม่; 2553.
- [5] นันทภพ จันตระกูล. การสังเคราะห์น้ำมันจากแผ่นกันแดดเตอรีโดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส. มหาวิทยาลัยขอนแก่น: จังหวัดขอนแก่น; 2552.
- [6] ปิรต์ วิระชาญชัย. คุณลักษณะของน้ำมันชีวภาพจากการสลายมวลชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2, 27-29 กรกฎาคม 2549, จังหวัดนครราชสีมา; 2549.
- [7] พิพัฒน์ พิเศษพงษ์. ผลของอุณหภูมิในการไพโรไลซิสต้นสับดำและต้นมันสำปะหลัง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 15, 5-7 กุมภาพันธ์ 2556, กรุงเทพฯ; 2556.
- [8] ภัทรานิษฐ์ รัชมีดารา. การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากไพโรไลซิสของยางรถยนต์ใช้แล้วโดยไม่โครเวฟ. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2553.
- [9] วรดาณ มุลศรีแก้ว. การผลิตน้ำมันชีวภาพจากชังข้าวโพด ต้นสับดำ และกากผลมะนาว และปรับปรุงคุณภาพด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล

- ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ; 2551.
- [10] วศกร ตริเดช. การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ
จากใบอ้อยในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด,
มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น; 2553.
- [11] วิชากร.คอม. (ออนไลน์). เชื้อเพลิงสังเคราะห์
จาก กระบวนการเคมีความร้อน [เข้าถึงเมื่อ 28
มิถุนายน 2551]. เข้าถึงได้จาก <http://www.vcharkarn.com/javafeed/article/37774>.
- [12] วิทยา บัณเฑียร. ไพโรไลซิสของ
เมล็ดสับด้า. การประชุมวิชาการ
ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45,
30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2550, กรุงเทพฯ;
2550.
- [13] สุพจน์ แหวนเพชร. การผลิตไบโอดีเซลจาก
ผักตบชวาโดยการไพโรไลซิสแบบเร็ว.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต].จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2553.
- [14] Sensoz S, Angin D. Pyrolysis of safflower
(*Charthamus tinctorius* L.) seed press cake
in a fixed-bed reactor: Part 2. Structural
characterization of pyrolysis bio - oils.
Bioresource Technology. 2008; 99, 5498 –
5504.