

การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เปลือกปฐมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาณุวิชญ์ แจขจัด

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2564

การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เปลือกปฐมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาณวิชญ์ แจขจัด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาระบบราชการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เปลือกปฐมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ภาควิชา ๖๖๖๖๖๖

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยาพรณ์ นริญศิลป์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชดาภรณ์ ปันทะรส)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยาพรณ์ นริญศิลป์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เปลือกปฐุมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
ชื่อผู้เขียน	นายภาณุวิชญ์ แจขจัด
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรรณ นิรัญศิลป์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกปฐุมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากการเผาเปลือกปฐุที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C ตามลำดับ เป็นเวลา 4 h จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบและสารประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) และวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานทางวิทยาระดับจุลภาคเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ก่อนนำไปศึกษาการผลิตไบโอดีเซลภายใต้เงื่อนไขอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 1-5%wt เวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 1-3 h และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 °C ผลการศึกษาด้านการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าการใช้อุณหภูมิการเผาเปลือกปฐุที่สูงขึ้นทำให้อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาดเล็กลง เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โครงสร้างเป็นรูพรongกระบอก มีพื้นผิวขรุขระเนื่องจากมีรูพรongในโครงสร้างจำนวนมาก เกิดจากการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่เพิ่มสูงขึ้นและก่อให้เกิดองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ต้องการมากยิ่งขึ้น โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C มีพื้นที่ของอนุภาคและพื้นที่ของรูพรongอยู่ที่ $463.97 \pm 147.24 \mu\text{m}^2$ และ $1.25 \pm 0.58 \mu\text{m}^2$ ตามลำดับ และมีปริมาณ CaO สูงถึง 75.21%wt จากการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 900 °C ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ภายใต้เงื่อนไขของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h สามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงถึง 80.40% และเมื่อวิเคราะห์ไบโอดีเซลที่ผลิตได้พบว่าสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานของประเทศไทยกำหนดไว้ ได้แก่ ค่าความหนืด 6.63 cSt, ความหนาแน่น 900 kg/m^3 , ความเป็นกรด 0.33 mg KOH/g, จุดขุ่น 6 °C, จุดไหลเท 3 °C, จุดวาบไฟ 216 °C, จุดติดไฟ 220 °C และความร้อน 41.37 MJ/kg นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุมาใช้ซ้ำในกระบวนการผลิตพบว่าสามารถใช้ซ้ำได้ 3 ครั้ง โดยยังคงให้ปริมาณผลผลิตและสมบัติของไบโ

ดีเซลในช่วงการผลิตในครั้งแรก จากการศึกษาพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้สามารถใช้งานได้
เครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรขนาดเล็ก ซึ่งทดสอบการใช้งานที่ความเร็วรอบ 1,400 rpm มีค่า
แรงบิด กำลังเบรก อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เท่ากับ
12.18 N-m, 2.40 kW, 713.79 kg/h และ 0.40 kg/kWh ตามลำดับ จากการสังเคราะห์ตัวเร่ง
ปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาสามารถนำไปผลิตไบโอดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยในครั้งนี้
สามารถใช้เป็นแนวทางในการผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์จากธรรมชาติ เพื่อลด
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการผลิตและด้านการใช้งาน รวมถึงช่วยลดปัญหาด้านต้นทุนในการ
ผลิตไบโอดีเซลและสามารถขยายผลเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, แคลเซียมออกไซด์, ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมา, น้ำมันพืชใช้แล้ว



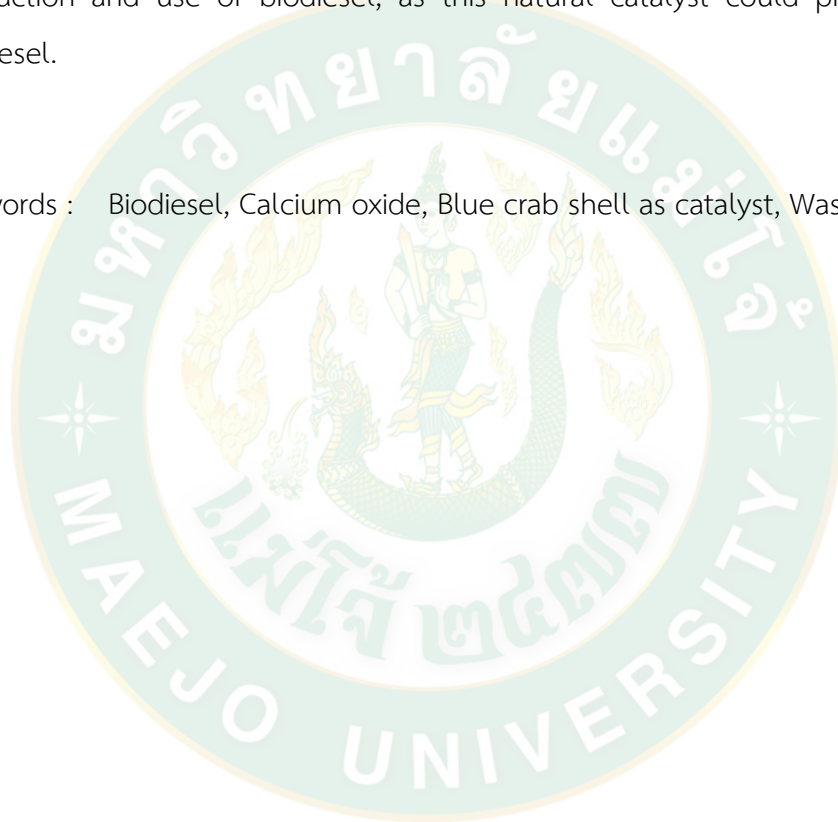
Title	BIODIESEL PRODUCTION BY USING BLUE CRAB SHELL AS CATALYST
Author	Mr. Panuwich Jaekhajad
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Rotjapun Nirunsin

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the synthesis of calcium oxide from blue crab shells as a catalyst for biodiesel production from waste cooking oil by transesterification. The catalysts were prepared by calcining blue crab shells at 700, 800 and 900 °C, respectively, for 4 h. Then, the physical and chemical properties of the synthesized catalysts were investigated in detail by X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and scanning electron microscope (SEM) before they were subjected to the transesterification process under the production conditions of 9:1, 12:1 and 15:1 molar ratio of methanol to oil, 1-5%wt catalyst amount, 1-3 h reaction time and 65 °C reaction temperature. The results showed that the use of a higher calcination temperature led to catalyst was smaller, uniformly distributed catalyst particles, cylindrical structure and rough surface because the more pores in structures due to the greater CaCO₃ decomposition to CaO. Therefore, calcination of blue crab shells at 900 °C resulted in better physical and chemical properties of the catalysts, namely, average particle area, average pore area and CaO content of 463.97±147.24 μm², 1.25±0.58 μm² and 75.21%wt, respectively. In the production of biodiesel, it was found that the best yield of 80.40% was obtained with 900 °C catalyst calcined, 5 wt% catalyst amounts, 9:1 molar ratio methanol to oil, and 2 h reaction time. The obtained biodiesel had good properties that met the biodiesel standard announced by the Department of the Energy Business, Ministry of Energy (Thailand), namely viscosity at 6.63 cSt, density at 900 kg/m³, acid value at 0.33 mg KOH/g, cloud point at 6 °C, pour point at 3 °C, flash point at 216 °C, fire point at 220

°C and heating value at 41.37 MJ/kg. Moreover, the catalyst could be reused up to 3 times in biodiesel production, and it still exhibited high yield and good properties. Finally, the performance of a small diesel engine using the produced biodiesel was investigated with an engine speed test at 1,400 rpm, which showed a torque, brake power, fuel consumption, and specific fuel consumption of 12.18 Nm, 2.40 kW, 713.79 kg/h, and 0.40 kg/kWh, respectively. It could be concluded that this research can serve as a guide to reduce the cost and environmental problems in the production and use of biodiesel, as this natural catalyst could produce efficient biodiesel.

Keywords : Biodiesel, Calcium oxide, Blue crab shell as catalyst, Waste cooking oil



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเนื่องจากการสนับสนุน ความช่วยเหลือ คำชี้แนะ และความร่วมมือเป็นอย่างดีจากบุคคลหลาย ๆ ท่าน ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรธม นิรัฐศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก พร้อมกับผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชดาภรณ์ ปันทะรส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ คำชี้แนะและแนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้กำลังใจในการดำเนินงานวิจัยเสมอมา พร้อมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สิ้นสุยา ประธานกรรมการสอบ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษา คำชี้แนะ ตรวจทานความถูกต้องและความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ทูสนับสนุน “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน ระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2562” จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และทูสนับสนุน “ทุนศิษย์ก้นกุฏิ ประจำปีการศึกษา 2562” จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนถึงพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ และบุคคลอันเป็นที่รักทั้งหลายที่มีส่วนช่วยเหลือ ผลักดันและให้กำลังใจเสมอมา จึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี

ภาณุวิชญ์ แจขจัด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูปภาพ.....	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
วัตถุประสงค์	5
ขอบเขตการศึกษา	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
ไบโอดีเซล.....	6
ประเภทของไบโอดีเซล	6
น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์.....	6
ไบโอดีเซลแบบลูกผสม	7
ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์	7
กระบวนการผลิตไบโอดีเซล	8
การใช้โดยตรงและการผสม	8
ไมโครอิมัลชัน	8
การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสภาวะเหนือวิกฤต	8

กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน.....	8
กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	9
กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	9
น้ำมันพืชใช้แล้ว	10
อันตรายจากการใช้น้ำมันทอดซ้ำ	10
ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	11
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดกรด.....	11
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดเบส	11
ตัวเร่งปฏิกิริยารวิธพันธ์	11
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์	12
แคลเซียมออกไซด์	12
สมบัติของแคลเซียมออกไซด์	13
ลักษณะปฏิกิริยา	13
ผลกระทบของสิ่งเจือปนต่าง ๆ	15
มาตรฐานของไบโอดีเซล	15
ข้อดีของไบโอดีเซล	18
ข้อด้อยของไบโอดีเซล.....	18
ผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล	19
เครื่องยนต์ดีเซล.....	19
การทดสอบการใช้งานไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล	20
แรงบิด.....	20
กำลังเบรก	21
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง.....	21
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ.....	22

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	29
วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	29
1. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	29
2. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว	29
3. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยตัวเร่ง ปฏิกิริยาเปลือกปฐมา ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	30
4. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซล	30
5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร	31
การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและการวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา	31
การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว และการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว	33
การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	33
การวิเคราะห์สมบัติไบโอดีเซล	34
การวิเคราะห์การนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมามาใช้ซ้ำ	38
การวิเคราะห์การใช้งานไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร	39
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผล	41
ผลการวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมา	41
1. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมา	41
2. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมา	43
3. ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัญญาณในระดับจุลภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมา	47
ผลการศึกษาศมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว	49
ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เปลือกปฐมาเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยา ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	51
1. ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทา นอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อผลผลิตของไบโอดีเซล	52

2. ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุมาและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตของไบโอดีเซล.....	54
3. ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตไบโอดีเซล.....	57
ผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เปลือกปฐุมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	58
1. ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด.....	58
2. ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น.....	60
3. ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด	62
4. ผลการวิเคราะห์จุดขุ่น และผลการวิเคราะห์จุดไหลเท.....	63
5. ผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟ.....	65
6. ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน	66
7. สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล.....	68
ผลการวิเคราะห์การนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุมาใช้ซ้ำ.....	68
ผลการวิเคราะห์การใช้งานไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ทางการเกษตร.....	70
1. ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	70
2. ผลการวิเคราะห์ของความเร็วยรอบที่มีผลต่อแรงบิดของเครื่องยนต์	71
3. ผลการวิเคราะห์ของความเร็วยรอบที่มีผลต่อกำลังเบรกของเครื่องยนต์.....	72
4. ผลการวิเคราะห์ของความเร็วยรอบที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ .	73
5. ผลการวิเคราะห์ของความเร็วยรอบที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์.....	74
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	76
สรุปผลการทดลอง.....	76
ข้อเสนอแนะ	78
บรรณานุกรม.....	79
ภาคผนวก.....	87

ภาคผนวก ก สูตรการคำนวณในการผลิตไบโอดีเซลและการวิเคราะห์สมบัติไบโอดีเซล..... 88

ภาคผนวก ข ผลการทดลองทางด้านเครื่องยนต์..... 91

ภาคผนวก ค บทความที่ได้เผยแพร่ในวารสารวิชาการและการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ... 94

ประวัติผู้วิจัย..... 130



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 สถานภาพและเป้าหมายการผลิตเชื้อเพลิงในภาคขนส่งจากพลังงานทดแทน	2
ตารางที่ 2 ผลกระทบของสิ่งเจือปนต่าง ๆ ต่อเครื่องยนต์	15
ตารางที่ 3 ข้อกำหนดสมบัติของไบโอดีเซลและมาตรฐานการทดสอบ	16
ตารางที่ 4 รายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร All Power รุ่น 186 F/E	39
ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปฐุมาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	44
ตารางที่ 6 สารประกอบทางเคมีของเปลือกปฐุมาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	45
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว	50
ตารางที่ 8 ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน .	52
ตารางที่ 9 ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา	55
ตารางที่ 10 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา	57
ตารางที่ 11 สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล	68
ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ไบโอดีเซลจากการนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุมามาใช้ซ้ำ	69
ตารางที่ 13 กำลังเบรกและแรงบิดของไบโอดีเซล	92
ตารางที่ 14 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของไบโอดีเซล ...	92
ตารางที่ 15 กำลังเบรกและแรงบิดของดีเซล B10	92
ตารางที่ 16 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของดีเซล B10...	93

สารบัญรูปร่างภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในด้านเศรษฐกิจของประเทศไทย	1
ภาพที่ 2 ปริมาณการผลิตและการใช้ไบโอดีเซลภาคเชื้อเพลิงของประเทศไทย	3
ภาพที่ 3 กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน	9
ภาพที่ 4 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	10
ภาพที่ 5 ลักษณะกระดองของปฐมาเพศผู้ (ชาย) และเพศเมีย (ขวา)	14
ภาพที่ 6 ลักษณะจับปั้งของปฐมาเพศผู้ (ชาย) และเพศเมีย (ขวา)	14
ภาพที่ 7 เปลือกปูม้าที่ผ่านการปรับสภาพ	31
ภาพที่ 8 ลักษณะของเปลือกปูม้า	32
ภาพที่ 9 ลักษณะของเปลือกปูม้าที่เผาด้วยอุณหภูมิสูง	32
ภาพที่ 10 การปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้ว	33
ภาพที่ 11 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าความหนืด	34
ภาพที่ 12 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น Hydrometer	35
ภาพที่ 13 การไตเตรทในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด	36
ภาพที่ 14 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าจุดขุ่นและจุดไหลเท	36
ภาพที่ 15 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าจุดวาบไฟ	37
ภาพที่ 16 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าความร้อน เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์	38
ภาพที่ 17 เครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร ยี่ห้อ All Power รุ่น 186 F/E	39
ภาพที่ 18 ลักษณะทางกายภาพของเปลือกปูม้าและตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า	42
ภาพที่ 19 ลักษณะโครงสร้างของเปลือกปูม้าและตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า	48
ภาพที่ 20 น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว	50
ภาพที่ 21 ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน .	53

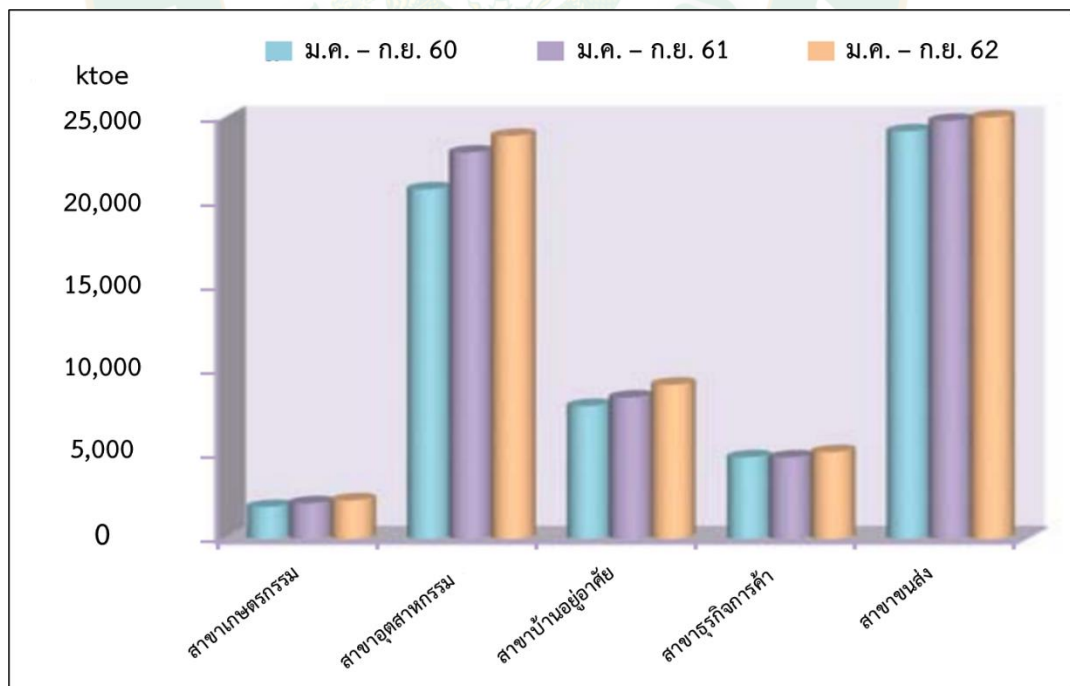
ภาพที่ 22 ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา	55
ภาพที่ 23 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตไปโอดีเซล.....	57
ภาพที่ 24 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด	59
ภาพที่ 25 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น	61
ภาพที่ 26 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด.....	62
ภาพที่ 27 ผลการวิเคราะห์จุดขุ่น	64
ภาพที่ 28 ผลการวิเคราะห์จุดไหลเท.....	64
ภาพที่ 29 จุดวาบไฟ	65
ภาพที่ 30 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน.....	67
ภาพที่ 31 ค่าแรงบิดและกำลังเบรกของการทำงานไปโอดีเซลในเครื่องยนต์.....	71
ภาพที่ 32 ผลการวิเคราะห์แรงบิดของเครื่องยนต์	72
ภาพที่ 33 ผลการวิเคราะห์กำลังเบรกของเครื่องยนต์	73
ภาพที่ 34 ผลการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์.....	74
ภาพที่ 35 ผลการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์	75

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานในช่วงเดือนมกราคม – กันยายนของปี พ.ศ. 2562 เพิ่มขึ้น 3.9% เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อน โดยมีการใช้พลังงานทั้งในภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม ภาคบ้านอยู่อาศัย ภาคธุรกิจการค้า และภาคขนส่ง ซึ่งพบว่าภาคขนส่งเป็นภาคที่มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่สูงที่สุด โดยคิดเป็น 38.1% ของการใช้พลังงานทั้งหมด อีกทั้งประเทศไทยยังมีการนำเข้าพลังงานในรูปแบบของน้ำมันดิบมากที่สุด รองลงมาเป็นถ่านหิน/ลิกไนต์และก๊าซธรรมชาติ แต่ด้วยภาวะเศรษฐกิจไทยที่อัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจชะลอตัวอย่างรวดเร็ว การลงทุนภาคเอกชนหดตัว ทำให้อัตราค่าใช้จ่ายบริการทางด้านพลังงานเพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้ประชาชนเข้าถึงแหล่งพลังงานได้ยาก ดังนั้น รัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มขึ้น รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พบว่า ในช่วงเดือนมกราคม – กันยายนของปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 10,879 ktoe เพิ่มขึ้น 12.4% เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562)



ภาพที่ 1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในด้านเศรษฐกิจของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2562)

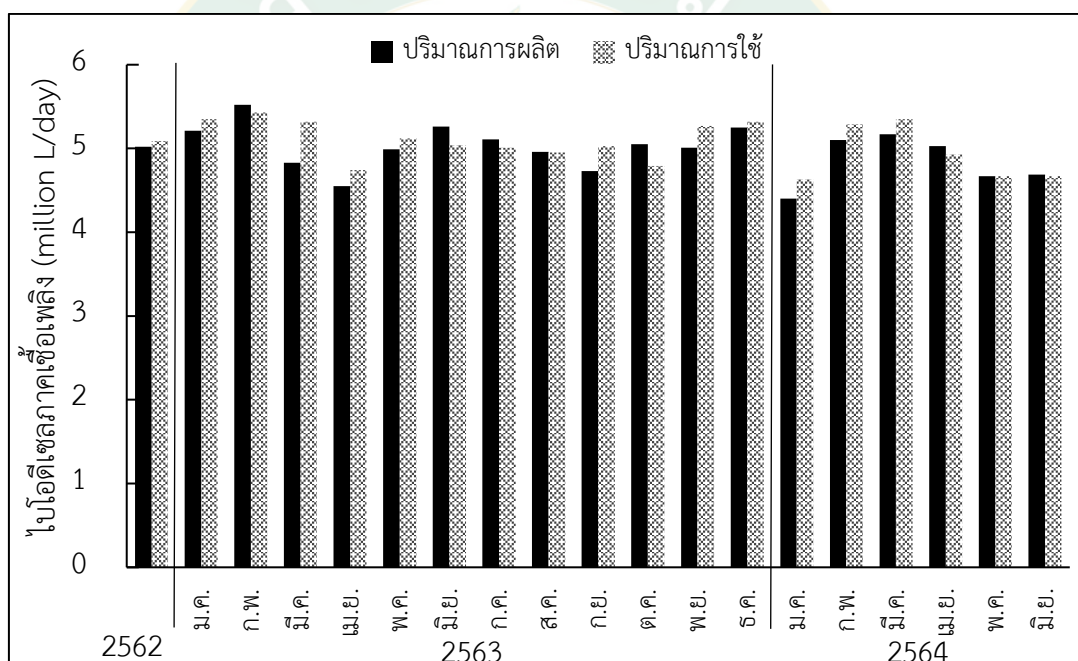
จากการที่รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มขึ้น ทำให้สอดคล้องในการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (AEDP2015) ที่จะเพิ่มศักยภาพแหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาพัฒนาได้ ทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยต้องเพิ่มขึ้น 30% ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปี 2579 ซึ่งความต้องการใช้เชื้อเพลิงในภาคขนส่งของปี พ.ศ. 2579 มีความต้องการใช้ถึง 34,798 ktoe ดังตารางที่ 1 จึงทำให้ปริมาณดังกล่าวถูกใช้เป็นกรอบในการกำหนดเป้าหมายเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) จากการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้เชื้อเพลิงในภาคการขนส่งทำให้ไบโอดีเซลซึ่งเป็นพลังงานทดแทนได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากน้ำมันจากพืช ไขมันจากสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน อีกทั้งไบโอดีเซลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดีเซลแต่มีปริมาณออกซิเจนมากกว่าจึงทำให้เมื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์สามารถช่วยลดปริมาณของ ไฮโดรคาร์บอน (HC), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และฝุ่นละออง (PM) ที่ปลดปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ได้ ซึ่งส่งผลให้ช่วยลดการอุดตันของระบบท่อไอเสียจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดปัญหาการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก (Sivakumar et al., 2018) โดยสถานการณ์การผลิตและการใช้ไบโอดีเซลในภาคเชื้อเพลิงของประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2564 ในช่วงเดือน มกราคม – มิถุนายน มีปริมาณการผลิตไบโอดีเซลอยู่ที่ 4.84 million L/day และปริมาณการใช้ไบโอดีเซลอยู่ที่ 4.92 million L/day ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า แต่ปริมาณสะสมไบโอดีเซลกลับมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณสะสมไบโอดีเซลของประเทศไทยในเดือนมิถุนายนอยู่ที่ 73.77 million L เพิ่มขึ้นจากเดือนพฤษภาคม 0.69 million L (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2564.) ดังแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 1 สถานภาพและเป้าหมายการผลิตเชื้อเพลิงในภาคขนส่งจากพลังงานทดแทน

ประเภทเชื้อเพลิง	สถานภาพ ณ สิ้นปี 2557		เป้าหมายปี 2579	
	Million L/day	ktoe	Million L/day	ktoe
ไบโอดีเซล	2.89	909.28	14.00	4,404.82
เอทานอล	3.21	872.88	11.30	2,103.50
น้ำมันไพโรไลซิส			0.53	170.87
ก๊าซไบโอมิเทนอัด (t/day)			4,800.00	2,023.24
เชื้อเพลิงทางเลือก				10.00
รวม (ktoe)		1,782.16		8,712.43

ประเภทเชื้อเพลิง	สถานภาพ ณ สิ้นปี 2557		เป้าหมายปี 2579	
	Million L/day	ktoe	Million L/day	ktoe
ความต้องการเชื้อเพลิงในภาคขนส่ง ทั้งประเทศ		26,801.00		34,798.00
สัดส่วนผลิตเชื้อเพลิงพลังงาน ทดแทนภาคขนส่ง (%)		6.65		25.04

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)



ภาพที่ 2 ปริมาณการผลิตและการใช้ไบโอเอทานอลภาคเชื้อเพลิงของประเทศไทย

กระบวนการผลิตไบโอเอทานอลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยส่วนใหญ่เป็นการผลิตที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากสารเคมีหรือตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ เพราะที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย และได้ปริมาณผลผลิตสูง แต่จากกระบวนการผลิตจะทำให้ได้สารประกอบประเภทเมทอกไซด์ที่มีความเป็นพิษต่อผู้ผลิตไบโอเอทานอลสูงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากน้ำล้างไบโอเอทานอล (Nasar et al., 2017) อีกทั้งทำให้เกิดกลีเซอรอลในปฏิกิริยาเป็นจำนวนมาก ดังนั้น จึงมีการคิดค้นการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติ โดยมีการพัฒนาใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทโลหะอัลคาไลน์ออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยารวพิษพันธุ์ในการผลิตไบโอเอทานอล เนื่องจากมี

สมบัติเป็นเบสและสามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ (Li et al., 2017) เพื่อลดการใช้สารเคมีและเป็นการใช้วัสดุทางธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด การใช้ประโยชน์จากวัสดุทางธรรมชาติสามารถใช้ได้หลายประเภท เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการเผาไหม้โดยตรง กระบวนการผลิตก๊าซ กระบวนการหมักเอทานอล และกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช เป็นต้น โดยสอดคล้องกับ Margaretha et al. (2012) ที่ได้ศึกษาการใช้เปลือกหอยเชอรี่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการเผาเปลือกหอยเชอรี่ที่ 900 °C เป็นเวลา 2 h เพื่อให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย XRD, XRF และ FT-IR เมื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตไบโอดีเซล พบว่าปริมาณสูงสุดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เท่ากับ 95.61% ภายใต้สภาวะการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 °C, ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 4 h, อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 7:1 และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 4%wt มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไบโอดีเซลซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM D6751 ซึ่งมีค่าความหนืด จุดวาบไฟ ค่าซีเทนและค่าความเป็นกรด เท่ากับ 1.9 – 6.0 cSt, 93 °C, 47 และ 0.5 mg KOH/g ตามลำดับ จึงทำให้ทราบได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติหรือตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้และช่วยลดความเป็นพิษในกระบวนการผลิต เป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยลดน้ำเสียจากการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ ลดปริมาณการใช้สารเคมี ลดต้นทุนการผลิตและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแก่แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมออกไซด์ โดยแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถพบได้ในเปลือกหอย เปลือกกุ้งและเปลือกปู ซึ่งปูม้าเป็นสัตว์น้ำชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นที่ต้องการในการนำมาบริโภคอย่างแพร่หลายจนเกิดเปลือกปูม้าเป็นจำนวนมาก จึงได้มีการนำเปลือกปูม้าไปใช้ประโยชน์ คือ การนำเปลือกปูม้ามาผลิตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากเปลือกปูม้ามีแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ที่ 40% ถึง 70% แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ (Indah et al., 2015) เพื่อจะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์เพราะว่าสามารถทำให้ผลิตไบโอดีเซลมากขึ้นสามารถนำมารองหรือตกตะกอนแยกออกจากไบโอดีเซลได้ง่าย สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก จึงทำให้เป็นการลดต้นทุนในการผลิตและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ดีกว่า

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากเปลือกปูม้า ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เพื่อช่วยลดการใช้สารเคมี ลดต้นทุนในการผลิต เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ และช่วยลดปัญหาการใช้ น้ำมันซ้ำ เพื่อป้องกันปัญหาด้านสุขภาพ ซึ่งไบโอดีเซลที่ผลิต

ได้จะนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร งานวิจัยนี้ยังมุ่งเน้นแนวทางในการพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์จากธรรมชาติ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ CaO จากเปลือกปฐุม้า
2. เพื่อศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยการใช้เปลือกปฐุม้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของไบโอดีเซลจากการใช้เปลือกปฐุม้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากับไบโอดีเซลมาตรฐาน
4. เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรที่ใช้ไบโอดีเซลจากการใช้เปลือกปฐุม้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ขอบเขตการศึกษา

1. การสังเคราะห์ CaO จากเปลือกปฐุม้า เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล
2. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
3. เจือปนอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่ 9:1, 12:1 และ 15:1 โดยใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 1 – 5 %wt เวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 1 – 3 h ที่อุณหภูมิ 65 °C
4. ศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุม้ามาใช้ซ้ำ
5. ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรที่ใช้ไบโอดีเซลจากการใช้เปลือกปฐุม้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำน้ำมันพืชใช้แล้วไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
2. เพื่อช่วยลดมลพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม จากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล
3. สามารถนำไบโอดีเซลที่ผลิตไปใช้กับเครื่องยนต์
4. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซล

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล จัดเป็นสารประเภทเอสเตอร์ทำจากน้ำมันพืชผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่ากระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน (Transesterification) โดยให้น้ำมันพืชทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีลักษณะเป็นเอสเตอร์ของกรดไขมัน เรียกว่า Fatty acid methyl ester การเรียกชื่อประเภทของไบโอดีเซลขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเตอร์ เป็นเอสเตอร์ที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา หรือเอทิลเอสเตอร์ เป็นเอสเตอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอล เป็นสารในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น (พิศมัย, 2548)

ประเภทของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลมีบทบาทในด้านอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก การเรียกชื่อประเภท ของไบโอดีเซลขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเตอร์ เป็นเอสเตอร์ที่ได้ จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา หรือเอทิลเอสเตอร์ เป็นเอสเตอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอล เป็นสารในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น โดยไบโอดีเซลมีการผลิตอยู่ 3 ประเภทดังนี้

น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์

ไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันของพืช หรือไขมันจากสัตว์โดยตรง เช่น ใช้น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม หรือ น้ำมันไขจากสัตว์ เช่น น้ำมันหมู เป็นต้น เดิมใส่เครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นใด และสิ่งสำคัญของการใช้น้ำมันพืชโดยตรงคือ ต้องมีการอุ่นน้ำมันในทุกจุดที่มีน้ำมันผ่านได้แก่ ถังน้ำมัน ท่อทางเดินน้ำมัน ชุดกรองน้ำมัน อุณหภูมิของน้ำมันที่อุ่นอย่างน้อย 70 °C แนวทางในการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง เป็นวิธีการที่ได้น้ำมันในราคาที่ถูกลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำน้ำมันพืช ซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นมาใช้งาน แต่การที่จะทำได้อย่างเหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยความร้อนในการหลอมเหลว ไขแข็ง และลดความหนืดของน้ำมัน เนื่องจากความหนืดของน้ำมันพืชมากกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11 – 17 เท่า ที่อุณหภูมิตัวน้ำมันพืชยังมีความหนืดสูงชันเป็นลำดับจนเกิดเป็นไข การที่น้ำมันพืชมีความหนืดกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมันฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์นอกจากนี้แล้ว น้ำมันพืช

มีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้าและน้อยมาก (Slow/low volatility) ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยาก และเหลือคราบเขม่าเกาะติดที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวน และวาล์ว จากสมบัติที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงและระเหยตัวได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยาก เมื่อใช้น้ำมันพืชโดยตรงในเครื่องยนต์ (พิสมัย และคณะ, 2558)

ไบโอดีเซลแบบลูกผสม

ไบโอดีเซลแบบลูกผสมเป็นการผสมน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากสัตว์กับน้ำมันก๊าด หรือ น้ำมันดีเซล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันลงเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น ไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันมะพร้าว เรียกว่า โคโคดีเซล (Cocodiesel) โดยอัตราส่วนผสมน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งาน อัตราส่วนผสมของน้ำมันก๊าดต่อน้ำมันพืช 10:90 ถึง 40:60 แต่อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่ 20:80 หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันก๊าดสามารถติดตั้งถังน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้ในการสตาร์ทและก่อนเลิกใช้งานเครื่องยนต์ ฤดูกาลที่ใช้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้ และไม่เกิดความยุ่งยากต่าง ๆ ตามมา เช่น การเกิดไขในท่อส่งน้ำมัน ทำให้เกิดการอุดตัน เป็นต้น (Carolina, 2015)

ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์เป็นที่ยอมรับในสากลและมีการใช้โดยทั่วไป เช่น สหพันธรัฐเยอรมัน มีคำจำกัดความว่า เป็นเชื้อเพลิงที่มีสมบัติเหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ทำให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ และได้น้ำมันที่มีความคงตัวมากขึ้น สามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด ทั้งเติมโดยตรงและผสมลงในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ เช่น B5 หมายถึง การผสมไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5:95 หรือ B100 ซึ่งเป็นน้ำมันไบโอดีเซล 100% เป็นต้น แต่ปัญหา คือ ต้นทุนการผลิตมีราคาแพงกว่าเมื่อเทียบกับไบโอดีเซลแบบอื่น ๆ ปัจจุบันราคาน้ำมันไบโอดีเซลยังสูงกว่าน้ำมันดีเซล 1 – 2 เท่าตัว ซึ่งการนำมาใช้กับเครื่องยนต์มักจะใช้ น้ำมันดีเซลมาผสมด้วย ซึ่งปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในระบบขนส่งมวลชน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีราคาไม่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก นอกจากนี้การเผาไหม้สมบูรณ์ ไม่มีเขม่าควันหลงเหลือให้เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากความนิยมเป็นอย่างมากเช่นนี้ทำให้สถานีเติมน้ำมันจำนวนมากนำไบโอดีเซลมาบริการให้กับลูกค้า เชื้อเพลิงชนิดนี้ มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จุดวาบไฟของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนี้ค่าซีเทนมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล (พิสมัย และคณะ, 2558)

กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลสามารถผลิตได้หลากหลายวิธี โดยวิธีที่เลือกใช้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันตั้งต้นที่นำมาผลิต รวมถึงผลผลิตที่ต้องการได้ในกระบวนการ และยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่แตกต่างกันในกระบวนการผลิต ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ เวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และลักษณะการกวนผสม เป็นต้น ซึ่งกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสามารถอธิบายได้ ดังนี้

การใช้โดยตรงและการผสม

การใช้โดยตรง คือ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันหมู ซึ่งสามารถนำเอามาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสม หรือ ผสมสารเคมีอื่นหรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงสมบัติของน้ำมัน ส่วนแบบผสม คือ เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ร่วมกับน้ำมันก๊าด หรือน้ำมันดีเซลหรืออื่น ๆ เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด (Veroneze et al., 2019)

ไมโครอิมัลชัน

ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) คือ คอลลอยด์ที่กระจายตัวในสถานะสมดุล โดยมีอนุภาคในคอลลอยด์ส่วนมากรวมอยู่ในช่วง 1 – 50 nm ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งเพื่อแก้ปัญหาค่าความหนืดสูงในน้ำมันพืชให้มีค่าความหนืดลดลง โดยใช้ควบคู่กับตัวทำละลาย (พิสมัย และคณะ, 2558)

การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวิธีนี้เป็นการนำเอาน้ำมันเป็นวัตถุดิบมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย พร้อมทั้งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กล่าวคือ ไม่มีของเสียจากกระบวนการ วิธีนี้จะต้องใช้อุณหภูมิ และความดันในระดับที่สูงถึง 512.2 K และ 8.1 MPa เพื่อต้องทำให้เมทานอลอยู่ในสถานะเหนือวิกฤต

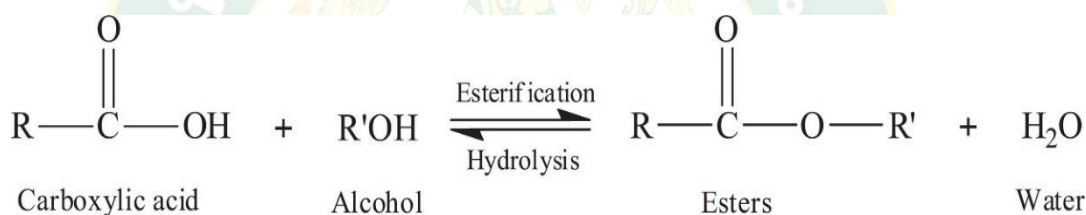
กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน

เป็นกระบวนการเปลี่ยนจากสารประกอบหนึ่งชนิดไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ มากกว่าหนึ่งชนิดโดยใช้ความร้อน หรือใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้จะต้องจำกัดปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการ

ผลิตไบโอดีเซลประมาณ 450 – 600 °C สารประกอบที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งกระบวนการนี้ยากที่จะกำหนด หรือควบคุมให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ เนื่องด้วยความหลากหลายทางน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ (Natural fatty acid) และ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน

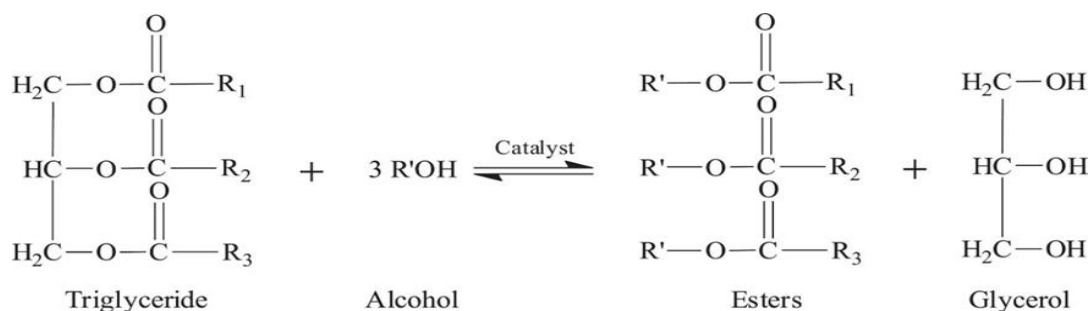
กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) กระบวนการนี้เหมาะกับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid : FFA) สูงเป็นปฏิกิริยาการเกิดหมู่เอสเทอร์ของจำพวกแอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ประเภทกรดไขมัน ทั้งนี้สามารถผลิตเชื้อเพลิงเหลวเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนได้จากกระบวนการผลิตแบบเอสเทอร์ฟิเคชันโดยน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูงกับเมทานอลเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาและมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอสเทอร์และน้ำ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) เป็นกระบวนการการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ ซึ่งบางครั้ง นิยมเรียกว่า “ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis)” ซึ่งหมายถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง ไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล แสดงดังภาพที่ 4 กระบวนการนี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางเพื่อใช้ปรับปรุง คุณภาพของเชื้อเพลิงที่พัฒนาจากไตรกลีเซอไรด์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะการลดค่าความหนืดของเชื้อเพลิงลง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะเมทานอล เพราะมีราคาที่ถูกกว่าแอลกอฮอล์ชนิดอื่น ๆ และมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยเพิ่มอัตราในการทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้มากที่สุด (Veroneze et al., 2019)



ภาพที่ 4 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

น้ำมันพืชใช้แล้ว

วัตถุดิบอีกประเภทหนึ่งที่ควรส่งเสริมให้นำไปผลิตไบโอดีเซล คือ น้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ด้านพลังงานแล้ว ยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข โดยในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ทั่วโลกมีอัตราเฉลี่ยในการบริโภคน้ำมันพืชเพิ่มขึ้น 4%/year ส่งผลให้ปัจจุบันมีการบริโภคน้ำมันพืชสูงกว่า 100 million t/year เพราะวิถีการบริโภคที่หันมานิยมอาหารประเภทจานด่วน (Fast food) ที่ปรุงด้วยการทอดมากขึ้น ผลที่ตามมา คือ มีน้ำมันพืชใช้แล้วจำนวนมากที่เหลือจากการปรุงอาหารซึ่งจำเป็นต้องหาวิธีจัดการ ไม่ว่าจะเป็นการกำจัด บำบัด หรือนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข (Siam bioenergy, 2555)

น้ำมันพืชใช้แล้วมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวสูงขึ้นและการกระจายขนาดโมเลกุลต่ำมีร้อยละสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชก่อนการใช้ ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการทำให้แตกตัวบางส่วนด้วยความร้อนขณะการประกอบอาหาร และยังเพิ่มปริมาณเพอรอกไซด์ในน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน

อันตรายจากการใช้น้ำมันทอดซ้ำ

น้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จะมีคุณภาพที่เสื่อมลงทั้งสี กลิ่น รสชาติที่เปลี่ยนไป ที่สำคัญจะเกิดสารประกอบที่สามารถสะสมในร่างกายและส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์ต่าง ๆ ได้ จึงทำให้ภาครัฐตระหนักถึงปัญหาด้านสุขภาพของประชาชนที่บริโภคน้ำมันพืชใช้แล้วโดยไม่รู้ตัว จึงได้ออกประกาศตั้งแต่ปี 2547 โดยกำหนดมาตรฐานน้ำมันพืชที่นำไปใช้ประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย แต่ประสบกับปัญหาการบังคับใช้กฎหมาย ประกอบกับภาระต้นทุนที่สูงขึ้นของผู้ประกอบการในปัจจุบัน ทำให้บางรายนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาปรุงอาหารเพื่อลดต้นทุน ยังให้ผลการรณรงค์ไม่นำน้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้ซ้ำไม่ค่อยได้ผลเท่าที่ควร ซึ่งต่างจากประเทศที่พัฒนาแล้ว ไม่ว่าจะเป็นสหรัฐอเมริกา ยุโรป หรือญี่ปุ่น ที่มีการออกกฎหมายมาควบคุมดูแล และมีวิธีการจัดการกับน้ำมัน

พืชใช้แล้วอย่างเข้มงวด เพราะถือว่าเป็นของเสียที่ต้องถูกกำจัด หรือบำบัดอย่างถูกต้องตามกฎหมาย โดยประเทศพัฒนาแล้วต่าง ๆ นิยมนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานด้วยการนำไปผลิตเป็น น้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งมีการดำเนินการอย่างเป็นรูปธรรม (Siam bioenergy, 2555)

ตัวเร่งปฏิกิริยา

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์จำเป็นต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดระยะเวลาการผลิต ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ด้วยกัน ดังนี้

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดกรด

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดกรดที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลโฟนิก เป็นต้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ นิยมใช้กับน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระปริมาณสูง และยังให้ปริมาณไบโอดีเซลในปริมาณที่สูงใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มีข้อเสีย คือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดเบส

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดเบสที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น โดยสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด เกิดการกัดกร่อนน้อยกว่า รวมทั้งการใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ส่วนอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาน้อยกว่า นอกจากนี้ยังมีปริมาณไบโอดีเซลในปริมาณที่สูงและมีความบริสุทธิ์มาก แต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มีข้อจำกัด คือ น้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง และมีน้ำอยู่ในระบบการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมาก ทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันหรือการเกิดสบู่ได้ จึงทำให้การแยกเอสเทอร์และกลีเซอรอลทำได้ยาก (Ma et al., 1998)

ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

การผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์มีสถานะเป็นของแข็ง และสารตั้งต้นมีสถานะเป็นของเหลวหรือก๊าซ ซึ่งจะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน การทำ

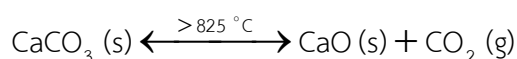
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นเบสสูงจะสามารถทำให้ไอออนลบของออกซิเจนบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถช่วยดึงโปรตอนจากเมทานอลได้ดี ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์นี้สามารถนำมากรองหรือตกตะกอนแยกออกจากไปโอดีเซลได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก จึงทำให้เป็นการลดต้นทุนในการผลิตและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ยังช่วยลดปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ดี เนื่องจากไม่ต้องล้างน้ำเพื่อกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตกค้างในระบบออก ซึ่งแตกต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ (Lui et al., 2008)

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์

การใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ถึงแม้จะใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยา แต่มีข้อดีกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากไม่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน มีความจำเพาะต่อปฏิกิริยาสูง แต่มีข้อจำกัด คือ มีต้นทุนในการผลิตสูง ต้องควบคุมค่า pH อุณหภูมิที่ใช้ และความเสถียรของการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้กลีเซอรอลที่เกิดขึ้นจะไปดูดซับบนผิวหน้าของเอนไซม์ได้ง่าย จึงเป็นการลดการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์อีกด้วย (Ranganathan et al., 2008)

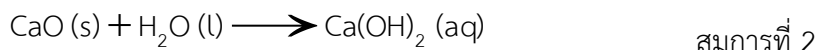
แคลเซียมออกไซด์

แคลเซียมออกไซด์มีสูตรทางเคมี คือ CaO มีมวลโมเลกุลที่ 56.0774 g/mol และเมื่อวิเคราะห์คุณภาพแล้ว พบว่า มีค่าความหนาแน่น จุดหลอมเหลวและจุดเดือด เท่ากับ 3.35 g/cm³, 2572 °C และ 2850 °C สามารถละลายได้ในน้ำได้ 1.19 g/L ที่ 25 °C และ 0.57 g/L ที่ 100 °C ลักษณะโดยทั่วไปเป็นผงสีขาว มีฤทธิ์เป็นด่าง กัดกร่อนได้ โดยปกติแล้วจะผลิตแคลเซียมออกไซด์ จากการเผาวัสดุใด ๆ ที่มีส่วนผสมของหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิมากกว่า 825 °C เรียกกระบวนการเผาใหม่นี้ว่า Calcination และจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา แคลเซียมออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในอากาศ โดยอาศัยระยะเวลาที่นานพอ เพื่อเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตได้ ดังนั้นการเก็บรักษาต้องระวังไม่ให้อากาศสามารถผ่านเข้าไปในภาชนะที่ใช้จัดเก็บได้

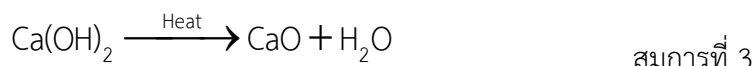


สมการที่ 1

โดยทั่วไปราคาของแคลเซียมออกไซด์เมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่น ๆ มีราคาถูกกว่าและสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตสารเคมีชนิดอื่น ๆ ได้ เช่น การผลิตแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากการนำแคลเซียมออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำ



นอกจากจะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์แล้ว ปฏิกิริยานี้ยังมีการเกิดความร้อนที่ 63.7 kJ/mol ทำให้สามารถประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนแบบพกพาได้อีกด้วย แต่ในทางกลับกันเมื่อเผาแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 512 °C ก็จะได้แคลเซียมออกไซด์กลับคืนมาดังเดิม



สมบัติของแคลเซียมออกไซด์

1. จะทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่สุด อาจมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำได้จึงต้องระมัดระวังในการใช้ โดยเฉพาะเมื่อมีสัตว์น้ำอยู่ในบ่อ
2. เมื่อสัมผัสกับน้ำจะเกิดความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น
3. เมื่อสัมผัสกับน้ำจะมีฤทธิ์กัดผิวหนัง จึงต้องใช้อย่างระมัดระวัง ควรสวมถุงมือเมื่อใช้ปูนกลุ่มนี้
4. เมื่อได้รับความชื้นแล้ว จะไม่จับตัวเป็นก้อน เนื่องจากผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูง ซึ่งเป็นการทำลายโครงสร้างให้มีขนาดอนุภาคเล็กแล้ว

ลักษณะปูม้า

ปูม้าหรือในภาษาอังกฤษเรียกว่า Blue swimming crab, Bluey crab หรือ Swimming crab ซึ่งเป็นสัตว์น้ำชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นที่ต้องการในการนำมาบริโภคอย่างมาก เพราะมีรสชาติดีและให้คุณค่าทางโภชนาการสูง โดยปูม้ามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Portunus armatus* เป็นสัตว์จำพวกครัสเตเชียน อยู่ในสกุล Portunidae ปูม้าแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหัว (Head) ออก (Thorax) และส่วนท้อง (Abdomen) โดยส่วนหัวกับออกรวมกันเรียกว่า เซฟาโลทอแรกซ์ (Cephalothorax) ส่วนนี้จะมีกระดองหุ้มไว้ ลักษณะภายนอก ลำตัวของปูมีแผ่นบาง ๆ เรียกว่า จับปิ้ง (Abdomen) พับอยู่ใต้กระดอง จับปิ้งเป็นส่วนที่ใช้เป็นที่อุ้มพุงไข่ของแม่ปู (ในระยะที่มีไข่นอกกระดอง) และเป็นส่วนที่ใช้แยกเพศได้อีกด้วย โดยในเพศเมียจับปิ้งจะมีลักษณะกว้างปลายมนกลม มีก้ามสั้นกว่ากระดอง ก้ามมีสีฟ้าอมน้ำตาลอ่อนมีจุดขาวทั่วไปทั้งกระดองและก้าม ส่วนเพศผู้มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมเรียวสูงและแคบ มีก้ามยาวเรียว ก้ามมีสีฟ้าอ่อน และมีจุดขาวทั่วไปทั้งกระดองและก้าม พื้นท้องเป็นสีขาว ดังแสดงในภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ปูม้าเป็นสัตว์ที่มีนิสัยชอบออกหากินเวลากลางคืน กินซากพืชซากสัตว์ รวมทั้งพืชทั่วไปและยังเป็นสัตว์ที่มีอัตราในการกิน

กันเองสูงโดยเฉพาะขณะที่มีการลอกคราบ ปูม้ามีการแพร่กระจายในเขตร้อนใกล้ชายฝั่งที่มีสภาพเป็นโคลน ทราย โคลนปนทราย บริเวณที่มีสาหร่ายและหญ้าทะเลที่มีความลึกของไม่เกิน 50 m สำหรับประเทศไทยปูม้ามีการแพร่กระจายอยู่ตามทะเลทางฝั่งทะเลอันดามัน และฝั่งอ่าวไทย (หทัยชนก, 2552)



ภาพที่ 5 ลักษณะกระดองของปูม้าเพศผู้ (ซ้าย) และเพศเมีย (ขวา)



ภาพที่ 6 ลักษณะจับปิ้งของปูม้าเพศผู้ (ซ้าย) และเพศเมีย (ขวา)

ที่มา: หทัยชนก, (2552)

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในปูม้าทั้งตัวรวมกระดอง พบว่า แร่ธาตุหลักในปูม้า ได้แก่ แคลเซียม (134.8 – 167.8 mg/g), โซเดียม (16.4 – 18.6 mg/g), แมกนีเซียม (10.2 – 12.8 mg/g), โพแทสเซียม (5.8 – 7.1 mg/g) และฟอสฟอรัส (5.4 – 6.3 mg/g) ในขณะที่แร่ธาตุรอง คือ เหล็ก (17.77 – 63 $\mu\text{g/g}$) (มนทกานติ, 2555) นอกจากนี้ในเปลือกปูม้ามีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตมากถึง 40 – 70% แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถนำไปแปรรูปเป็นแคลเซียมออกไซด์ได้ จากการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกปูม้า โดยนำเปลือกปูม้าไป

ทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการทำการเผาในช่วงอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนแปลงกบฏที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ (Indah et al., 2015)

ผลกระทบของสิ่งเจือปนต่าง ๆ

ไบโอดีเซลและเครื่องยนต์มีผลกระทบของสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่เกิดจากขั้นตอนต่าง ๆ ในการผลิตไบโอดีเซล หากมีการผลิตที่มีสิ่งเจือปนตกค้างอยู่อาจส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลในการเดินเครื่องได้ ซึ่งผลกระทบต่าง ๆ ที่เจือปน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลกระทบของสิ่งเจือปนต่าง ๆ ต่อเครื่องยนต์

สิ่งเจือปน	ผลกระทบต่อเครื่องยนต์
กรดไขมันอิสระ	เกิดการกัดกร่อน ลดเสถียรภาพต่อการออกซิเดชัน
น้ำ	เกิดการก่อตัวของกรดไขมันทำให้เกิดการอุดตันของไส้กรอง
เมทานอล กับ เอทานอล	ทำให้ค่าความหนาแน่น ความหนืด และจุดวาบไฟต่ำ ก่อให้เกิดปัญหาด้านการเก็บรักษา และการใช้งาน ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นส่วนที่เป็นอลูมิเนียม และสังกะสี
สบู่	เกาะตัวในหัวฉีด (คาร์บอนตกค้าง) อุดตันตัวกรอง (ถ้ากำมะถัน) เครื่องยนต์มี ประสิทธิภาพการทำงานต่ำลง
กลีเซอรอล	เครื่องยนต์กระตุก เดินไม่ราบรื่น เพิ่มการปลดปล่อยสารจำพวกอัลดีไฮด์ และอะครอลีน (Acrolein) เกิดการก่อตัวเป็นผลึก

ที่มา: กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2554)

มาตรฐานของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยเครื่องบางรุ่นอาจต้องการ การปรับปรุงระบบเชื้อเพลิงและถังเชื้อเพลิงเล็กน้อย การใช้งานส่วนใหญ่จึงนิยมไปผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อช่วยส่งเสริมให้เกิดการใช้ไบโอดีเซลอย่างแพร่หลาย ในหลายประเทศทั่วโลกจึงต้องกำหนดมาตรฐาน สำหรับคุณภาพไบโอดีเซล เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีมาตรฐาน ASTM D6751 ในทวีปยุโรปมี มาตรฐานที่ใช้ EN 14214:2003 ประเทศสหพันธรัฐเยอรมนีมีมาตรฐาน DIN E51606 และประเทศ ออสเตรเลีย มีมาตรฐานที่กำหนดขึ้นใช้เองเรียกว่า Fuel standard (Biodiesel) determination 2003 เป็นต้น

กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานได้ออกประกาศเพื่อกำหนดคุณภาพน้ำมัน และลักษณะของไบโอดีเซลขึ้น โดยประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของไขมัน พ.ศ. 2556 สำหรับไบโอดีเซลที่จะนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อบำบัดเชื้อเพลิงซึ่งสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกประเภทมีข้อกำหนด 25 ข้อพร้อมกับสารแต่งเติมอีก 1 ข้อรวมทั้งสิ้นเป็น 26 ข้อ ซึ่งสมบัติแต่ละข้อสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังตารางที่ 3 (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดสมบัติของไบโอดีเซลและมาตรฐานการทดสอบ

รายการ	หน่วย	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
1. เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester)	%w/w	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
2. ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C (Density at 15 °C)	kg/m ³	ไม่ต่ำกว่า 860 ไม่สูงกว่า 900	ASTM D 1298
3. ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40 °C)	cSt	ไม่ต่ำกว่า 3.5 ไม่สูงกว่า 5.0	ASTM D 445
4. จุดวาบไฟ (Flash point)	°C	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
5. กำมะถัน (Sulphur)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 2622
6. คาร์บอน (Carbon residue)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D4530
7. จำนวนซีเทน (Cetane number)	-	ไม่สูงกว่า 51	ASTM D 613
8. เถ้าซัลเฟต (Sulfated ash)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D 874
9. น้ำ (Water)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D 2709
10. สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total contaminate)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.0024	ASTM D 5452
11. การกัดกร่อนทองแดง (Copper strip corrosion)	-	ไม่สูงกว่าหมายเลข 1	ASTM D 130

รายการ	หน่วย	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
12. ค่าความเป็นกรด (Acid value)	mg KOH/g	ไม่สูงกว่า 0.50	ASTM D 664
13. เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเจน ณ อุณหภูมิ 110 °C (Oxidation stability at 110 °C)	hours	ไม่ต่ำกว่า 6	EN 14112
14. ค่าไอโอดีน (Iodine value)	g I ₂ /100 g	ไม่สูงกว่า 120	EN 14111
15. กรดลิโนลินิกเอสเทอร์ (Linolenic acid methyl ester content)	%w/w	ไม่สูงกว่า 12	EN 14103
16. เมทานอล (Methanol)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14110
17. โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.80	EN 14105
18. ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
19. ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
20. กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
21. กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.25	EN 14105
22. โลหะกลุ่มที่ 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) (Group 1 metals (Na+KOH))	mg/kg	ไม่สูงกว่า 5.0	EN 14108 และ EN14109
23. ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	%w/w	ไม่สูงกว่า 0.001	ASTM D 4951
24. จุดขุ่น (Cloud point)	°C	รายงาน*	

รายการ	หน่วย	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
25. จุดอุดตันการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Cold flow plugging point: CFPP)	°C		รายงาน*
26. สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิการบดีกรมธุรกิจ พลังงาน	

* ให้ผู้ค้าน้ำมันรายงานต่ออธิบดีกรมธุรกิจพลังงานเป็นรายไตรมาส ภายในวันที่ 15 ของเดือนถัดจากเดือนสุดท้ายของไตรมาสนั้น

ที่มา: กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2556)

ข้อดีของไบโอดีเซล

การใช้ไขมันจากพืช ไขมันจากไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นมีประโยชน์หลากหลายด้าน ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม ด้านเครื่องยนต์ และด้านการผลิตประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน, 2559)

1. สามารถลดมลพิษในอากาศอันเนื่องมาจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์
2. สามารถลดคาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ 20%, 78% และ 99% ตามลำดับ
3. สามารถลดฝุ่นละอองและควันดำได้มากกว่า 39% และ 50% ตามลำดับ
4. ในเครื่องยนต์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณ 10% ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่ม อัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดีจึงทำให้เผาไหม้ในกระบอกสูบเป็นอย่างดี นอกจากนี้ค่าแรงบิดเพิ่มขึ้นประมาณ 7.5% และให้กำลังเพิ่มขึ้น 12% เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล
5. มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ในกระบอกสูบ พร้อมทั้งทำให้เครื่องยนต์มีค่าแรงบิดและกำลังเพิ่มขึ้น

ข้อด้อยของไบโอดีเซล

1. เป็นของแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันดีเซล

2. ปลดปล่อยแก๊สไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล
 3. ชิ้นส่วนจากยางของปั๊มน้ำมันจะเสื่อมคุณภาพเร็ว
 4. ค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10%
 5. อาจทำให้เกิดการอุดตันในไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้ต้องเปลี่ยนไส้กรองบ่อยขึ้น
- การแก้ไขข้อด้อยเหล่านี้อาจกระทำด้วยการผสมกับน้ำมันดีเซลก่อนการนำมาใช้งานในเครื่องยนต์ (สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน, 2559)

ผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล

กลีเซอรอล คือ ผลผลิตพลอยได้ของการผลิตไบโอดีเซล มีลักษณะใส มีสีส้มเข้มจนถึงสีน้ำตาลเข้ม ไม่มีพิษ มีความหนืดค่อนข้างคงตัว สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่มีกลิ่นเหม็นหืน กลีเซอรอลที่จะนำไปจำหน่ายต้องผ่านการทำให้เป็นกลาง ซึ่งในการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลีเซอรอลที่ได้จะต้องผ่านการปรับสภาพโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก หรือ โซเดียมคลอไรด์ เพื่อทำให้ค่า pH ของกลีเซอรอลเป็นกลาง ในส่วนสีของกลีเซอรอลสามารถปรับสภาพสีให้จางลงได้โดยการกรองด้วยถ่านและยังเป็นวิธีที่จะช่วยในการลดการเกิดกลิ่นอื่น ๆ อีกด้วย นอกจากนี้กลีเซอรอลยังสามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์จึงเป็นตัวทำละลายที่ดีที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เนื่องจากกลีเซอรอลเมื่อถูกทำให้เย็นจะไม่แข็งตัวและเกาะกันเป็นก้อนเหมือนไขมัน (สโรชา และสมใจ, 2555)

เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซล หรือเครื่องยนต์อัดระเบิด (Compression – ignition engine) เป็นเครื่องยนต์ประเภทหนึ่งของเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งเครื่องยนต์อัดระเบิดจะอาศัยหัวฉีดเชื้อเพลิงฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นละอองฝอยขนาดเล็กเข้าไปรวมกับอากาศร้อนภายในกระบอกสูบ ซึ่งต่อมาละอองฝอยของเชื้อเพลิงจนถึงจุด ๆ หนึ่งเชื้อเพลิงจะสามารถจุดระเบิดได้ด้วยตัวเองและมีการเผาไหม้เกิดขึ้นโดยทั่วไปจะเป็นเครื่องยนต์ดีเซลแบบ 4 จังหวะ (Four – stroke engine) ซึ่งจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์จะแบ่งเป็น 4 จังหวะ ได้แก่ จังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะขยาย และจังหวะคาย (เอกชัย, 2559) โดยมีหลักการและการทำงานดังนี้

จังหวะที่ 1 จังหวะดูด (Intake stroke) เป็นจังหวะที่สารทำงาน ได้แก่ เชื้อเพลิงและอากาศถูกส่งเข้าสู่กระบอกสูบผ่านทางวาล์วไอดี (Intake valve) ที่เปิดออกขณะที่วาล์วไอเสีย (Exhaust valve) ปิดอยู่

จังหวะที่ 2 จังหวะอัด (Compression stroke) เป็นจังหวะที่สารทำงานถูกอัดให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนจุดระเบิด โดยที่วาล์วไอดีและวาล์วไอเสียปิด ซึ่งสารทำงานที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้วถูกอัดจนถึงจุด ๆ หนึ่ง สารทำงานจะเกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองจนเกิดการเผาไหม้เกิดขึ้น

จังหวะที่ 3 จังหวะขยาย (Expansion stroke) เป็นจังหวะที่เกิดขึ้นหลังจากที่สารทำงานเกิดการจุดระเบิดแล้ว โดยเมื่อสารทำงานจุดระเบิดแล้วทำให้สารทำงานถูกเผาไหม้กลายเป็นแก๊สไอเสียที่มีอุณหภูมิและความดันที่สูงทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงอย่างรวดเร็วขณะที่วาล์วไอดีและวาล์วไอเสียนั้นปิดอยู่

จังหวะที่ 4 จังหวะคาย (Exhaust stroke) เป็นจังหวะที่คายแก๊สไอเสียที่ได้มาหลังจากการที่สารทำงานถูกเผาไหม้ออกจากกระบอกสูบของเครื่องยนต์ผ่านทางวาล์วไอเสียที่เปิดออก ขณะที่วาล์วไอดีปิด

การทดสอบการใช้งานไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล

สมรรถนะของเครื่องยนต์ (Engine performance) คือ ความสามารถในด้านต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ ซึ่งอาจแสดงออกมาได้โดยความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องยนต์ คือ กำลังเบรก แรงบิด ความเร็วรอบ อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ (กฤตวัฒน์, อาทิตยา และ จิรายุ, 2560) สมรรถนะของเครื่องยนต์ช่วยให้ทราบถึงคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องยนต์เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานในเงื่อนไขต่าง ๆ และสามารถขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายจะบอกให้ทราบถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้น ๆ ด้วย

การผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเพื่อใช้ทดแทนหรือใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซลจำเป็นต้องมีการทดสอบการใช้งานในเครื่องยนต์เพื่อวัดค่าสมรรถนะต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน ซึ่งผลการศึกษา พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ โดยมีค่าการประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลประกอบไปด้วย ค่าแรงบิดเครื่องยนต์ กำลังเบรก อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ ซึ่งมีรายละเอียดและวิธีการคำนวณดังนี้

แรงบิด

แรงบิด คือ แรงหมุนของเพลลาเครื่องยนต์ เป็นแรงที่ใช้เพื่อส่งกำลังของเครื่องยนต์ไปหมุนเกียร์ เพลลา และ ล้อรถ เพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปได้ แรงบิดจะมีค่าแตกต่างกันไปที่ความเร็วรอบ

เครื่องยนต์ต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับารออกแบบของผู้ผลิตว่าต้องการให้มีแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ ปานกลาง หรือ สามารถคำนวณค่าแรงบิดได้ดังแสดงในสมการที่ 4 และ 5

$$T = F \times R \quad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ T คือ แรงบิด (N-m)
F คือ แรงกระทำต่อแขนไดนาโมมิเตอร์ (N)
R คือ ความยาวของแขนไดนาโมมิเตอร์ (m)

$$F = W \times g \quad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของโหลด (kg)
g คือ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

กำลังเบรก

กำลังเบรก หมายถึง กำลังของเครื่องยนต์ที่ได้รับจากเพลาท่อกับกำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้หักออกด้วยแรงเสียดทานภายในเครื่องยนต์แรงม้าสูงสุดของเครื่องยนต์แต่ละรุ่นแต่ละแบบจะอยู่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์แตกต่างกันไปแล้วแต่การออกแบบของผู้ผลิตโดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้สมการที่ 6

$$\text{BHP} = \frac{2\pi TN}{60} \quad \text{สมการที่ 6}$$

เมื่อ BHP คือ กำลังเบรก (kW)
N คือ ความเร็วรอบ (rpm)

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เป็นวิธีวัดเปรียบเทียบความสามารถของเครื่องยนต์ของแต่ละเครื่องบนพื้นฐานของกำลังที่ได้จากจำนวนเชื้อเพลิงที่หมดสิ้นไป โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้สมการที่ 7

$$\text{FC} = \frac{m}{t} \quad \text{สมการที่ 7}$$

เมื่อ FC คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)
m คือ ปริมาณเชื้อเพลิง (kg)
t คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (h)

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณหรือมวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้หมดไปในเวลาหนึ่งต่อกำลังที่ได้จากเชื้อเพลิงนั้น เรียกว่า การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, SFC) ดังแสดงในสมการที่ 8

$$SFC = \frac{FC}{BHP} \quad \text{สมการที่ 8}$$

เมื่อ SFC คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/kWh)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้เป็นการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ผู้จัดทำได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เปลือกปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงได้มีการศึกษาค้นคว้างานวิจัยเพิ่มเติมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยนี้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Risfidian et al. (2018) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่นกกระทา ซึ่งการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่นกกระทาสามารถทำได้โดยการให้ความร้อนแก่เปลือกไข่นกกระทาที่อุณหภูมิ 600 – 1,100 °C แล้วทำการวิเคราะห์ X-Ray measurement และ SEM เพื่อหาปริมาณองค์ประกอบของเถ้า ผลลัพธ์ของ X-Ray measurement พบว่า การเผาเปลือกไข่นกกระทาที่อุณหภูมิ 900 °C แคลเซียมออกไซด์มีลักษณะเป็นผงละเอียดและมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแคลเซียมออกไซด์ทั่วไปตามมาตรฐานจาก Joint Committee of Powder Diffraction Standard (JCPDS) การวิเคราะห์ SEM พบว่า ที่อุณหภูมิ 900 °C สัณฐานวิทยาของเปลือกไข่นกกระทามีโครงสร้างเป็นรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2 – 50 nm และเมื่อนำเปลือกไข่นกกระทาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล พบว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่นกกระทาที่อุณหภูมิ 900 °C ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความหนาแน่น 0.86 g/cm³, ความหนืด 5.50 cSt, ความเป็นกรด 0.56 mg KOH/g และค่าไอโอดีน 60.49 g I₂/100 g ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในมาตรฐานของ ASTM

Buasri et al. (2013) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์จากการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่ หอยแครงและหอยเชลล์ เพราะเป็นการประหยัดต้นทุนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยแมลงภู่ หอยแครงและหอยเชลล์ จะเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ หลังจากเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C เป็นเวลา 4 h ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ และใช้เวลาในการทำ

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 3 h ที่อุณหภูมิ 65 °C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 9:1 และตัวเร่งปฏิกิริยา 10%wt ด้วยความดัน 1 atm ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่ มีค่าความหนืด 4.4 cSt, ค่าความหนาแน่น 877 kg/m³, จุดวาบไฟ 164 °C และค่าความเป็นกรด 0.47 mg KOH/g ส่วนไบโอดีเซลที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกหอยแครง มีค่าความหนืด 4.6 cSt, ค่าความหนาแน่น 878 kg/m³, จุดวาบไฟ 165 °C และค่าความเป็นกรด 0.67 mg KOH/g สุดท้ายการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกหอยเชลล์ มีค่าความหนืด 4.5 cSt, ค่าความหนาแน่น 878 kg/m³, จุดวาบไฟ 164 °C และค่าความเป็นกรด 0.55 mg KOH/g และตัวเร่งปฏิกิริยามีศักยภาพที่จะใช้ในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อเปลี่ยนสภาพของน้ำมันปาล์ม อีกทั้งยังสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ได้มากถึง 4 ครั้ง จึงสามารถลดค่าใช้จ่ายของไบโอดีเซลและขั้นตอนการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ได้ ส่งผลให้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลด้านอุตสาหกรรม

Ikbal et al. (2018) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้เปลือกหอยทากเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการเผาเปลือกหอยทากในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 400 – 1,000 °C เพื่อสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์แล้วทำการวิเคราะห์ XRD, SEM, TEM, EDS, FT-IR, XRF และ TG / DTA พบว่า การเผาที่อุณหภูมิ 900 °C มีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อวิเคราะห์ FT-NMR และ IR spectroscopies พบกรดไขมันชนิดเมทิลเอสเทอร์ (FAMES) ทั้งหมด 9 ตัว ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 8 ครั้ง โดยไม่มีการสูญเสียประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อผลิตไบโอดีเซลที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา 3%wt และเวลาทำปฏิกิริยา 7 h โดยมีผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 91% เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าสมบัติของไบโอดีเซล โดยการวิเคราะห์ค่าความหนืด ค่าความหนาแน่น จุดวาบไฟ และค่าซีเทน มีค่าเท่ากับ 6.098 cSt, 877 kg/m³, 150 °C และ 55 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ GC-MS ไบโอดีเซล พบว่ามีองค์ประกอบของ methyl octadecadienoate (C18:2, linoleic acid) 48.94% , methyl hexadecanoate (C16:0, palmitic acid) 17%, methyl-docosanoate (C22:0, docosanoic acid) 9.49% and methyl nonadecanoate (C20:0, nonadecanoic acid) 7.84% จึงทราบได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยทากสามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้เทียบเท่ากับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสารเคมี มีต้นทุนในการผลิตต่ำ และเป็นการใช้วัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

Latchubugata et al. (2018) การศึกษาจลนศาสตร์และหาจุดสมดุลจากการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ ซึ่งงานวิจัยนี้การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ เนื่องจากเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลขนาดใหญ่และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี จากการทดลองพบว่า ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดที่ 93.5% โดยมีอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 15:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 °C ตัวเร่ง

ปฏิกิริยา 6%wt เป็นเวลา 4 h ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้สูงสุด 5 ครั้ง โดยให้อัตราผลผลิตที่ลดลงเพียง 5% สำหรับการใช้แต่ละครั้ง อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเกินกว่า 65 °C ทำให้ผลผลิตลดลงเนื่องจากสาเหตุที่เมทานอลมีแนวโน้มที่จะเดือดเหนือจุดวิกฤต ทำให้เมทานอลระเหยและยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา และการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานขึ้นไม่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของผลผลิตใด ๆ ในการกลับกันการเพิ่มเวลาให้นานขึ้นกับเป็นการเพิ่มการเกิดกลีเซอรอลในปฏิกิริยามากขึ้น

Yadav et al. (2016) การเพิ่มประสิทธิภาพด้วยอัลตราโซนิคในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Karabi โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ โดยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดประโยชน์หลายประเภท เช่น เชื้อเพลิงทดแทนและย่อยสลายได้ทางชีวภาพ การลดมลภาวะโลกร้อน ลงมลพิษทางอากาศ ปริมาณกำมะถันต่ำ การปล่อยสารพิษต่ำ จำนวนซีเทนสูง ลงมลพิษทางน้ำและดิน และลดความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Karabi ด้วยอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1-12:1 กับตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 60 °C ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 12:1 ได้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดอยู่ที่ 92.2% ผ่านการผลิตโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบทั่วไป และ 94.1% ผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยอัลตราโซนิค นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 4 ครั้ง โดยไม่ลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา และเมื่อนำไบโอดีเซลที่ได้จากการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยอัลตราโซนิคมาวิเคราะห์ค่าสมบัติไบโอดีเซล พบว่า มีค่าความหนาแน่น 840 kg/m³, ค่าความหนืด 4.1 cSt, จุดวาบไฟ 177 °C, จุดติดไฟ 190 °C, ค่าความร้อน 42.86 MJ/kg และค่าซีเทน 67 ซึ่งมีค่าสมบัติสูงกว่าเมื่อเทียบกับการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบทั่วไป

พัชยาภรณ์. (2561) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เดิมจากถ้ำชีวมวลมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยตัวเร่งปฏิกิริยาถ้ำชีวมวล โดยเตรียมตัวเร่งที่ได้จาก ถ้ำกาบมะพร้าว ถ้ำไม้ลำไย และถ้ำกลบข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำที่อุณหภูมิ 300, 600 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h และศึกษาสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค SEM และ EDS พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจากถ้ำกาบมะพร้าวและถ้ำไม้ลำไยนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนซ้ำจะมีปริมาณคาร์บอนในองค์ประกอบถ้ำลดลงในขณะที่ปริมาณออกซิเจน และแคลเซียมเพิ่มขึ้น จึงทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1-3%wt อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 6:1, 9:1 และ 12:1 อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 60 °C เป็นเวลา 1 h ผลการทดลองพบว่าการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาถ้ำไม้ลำไยที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 900 °C อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt เป็นเงื่อนไขที่ให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดที่ 95.32% และเหมาะสมในการศึกษาเพื่อผลิตไบโ

ดีเซลสำหรับใช้ทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติไบโอดีเซล พบว่า มีค่าความเป็นกรดตามมาตรฐาน ASTM D2896, ค่าความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM D1298, ค่าความหนืดตามมาตรฐาน ASTM D445, จุดวาบไฟตามมาตรฐาน ASTM D93, ค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D4809 และปริมาณเมทิลเอสเทอร์ตามมาตรฐาน EN 14103 เท่ากับ 0.50 mg KOH/g, 875 kg/m³, 4.50 cSt, 186 °C, 42.55 MJ/kg และ 96.5% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์การใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยทำการศึกษาด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ พบว่า มีค่าแรงบิดและกำลังเบรกเท่ากับ 19.40 N-m, 3.45 kW ตามลำดับ ด้านความสิ้นเปลืองพลังงาน ได้แก่ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงสุด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงสุด มีค่า 0.041 cc/s และ 0.00074 kg/kWh ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกได้ว่าไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

ปิยรัตน์ศิริ. (2556) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 6 ชนิด ได้แก่ ลำไย, ขนุน, มะขาม, เต็ง, ถ่าน และถั่วฝักยาว ซึ่งทำการศึกษาสภาวะของปฏิกิริยา ได้แก่ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่า สภาวะที่ให้ผลผลิตไบโอดีเซลดีที่สุดคือการใช้ลำไย 10%wt และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 h ให้ผลผลิตไบโอดีเซล เมทิลเอสเทอร์ที่ 92% และเอทิลเอสเทอร์ที่ 89% ซึ่งพบว่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM ร่วมกับเทคนิค EDS พบว่าการกระจายตัวของลำไยนั้นกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุที่มีองค์ประกอบสูงสุดสามลำดับพบว่า มีธาตุออกซิเจน 48.27%, โฟสเฟอรัส 20.19%, แคลเซียม 14.53% และคาร์บอน 9.51% ตามลำดับ จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซล พบว่าศึกษาค่าความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM D4052 โดยทั้งชนิดเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 875.90 และ 870.80 kg/m³ ตามลำดับ ศึกษาค่าความหนืดตามมาตรฐาน ASTM D445 โดยทั้งชนิดเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์มีค่าความหนืดเท่ากับ 4.12 และ 4.69 cSt ตามลำดับ ค่าจุดวาบไฟตามมาตรฐาน ASTM D93-10 โดยทั้งชนิดเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์มีค่าจุดวาบไฟเท่ากับ 120 และ 111 °C ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดตามมาตรฐาน ASTM D664 โดยทั้งชนิดเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์มีค่าความเป็นกรดมีค่าเท่ากับ 0.04 mg KOH/g

Madhu et al. (2016) การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันดิบ *Milletia pinnata* ของประเทศอินเดีย โดยใช้เปลือกปฏิกิริยา เริ่มจากการนำเปลือกปฏิกิริยาเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เมื่อได้ตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วทำการวิเคราะห์ XRD, XPS, BET, SEM-EDS และ FT-IR ของตัวเร่งปฏิกิริยา ในการผลิตไบโอดีเซลทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเพื่อลดค่ากรดไขมันอิสระแล้วตามด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอ

สเทอร์พิกะชันเพื่อให้กรดไขมันและเมทานอลทำปฏิกิริยากัน ผลจากการทดลองพบว่า อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 8:1 เวลาทำปฏิกิริยา 120 min ตัวเร่งปฏิกิริยา 2.5%wt ที่อุณหภูมิ 65 °C กวนผสมที่ 700 rpm มีผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดที่ 94% ของไบโอดีเซล เมื่อวิเคราะห์ค่าความหนืดที่ 40 °C, ค่าความหนาแน่นที่ 15 °C, ค่าความร้อน, จุดวาบไฟ, ค่าความเป็นกรด, ค่าซีเทน, ปริมาณกำมะถันรวมและค่าไอโอดีน มีค่าเท่ากับ 4.02 cSt, 881 kg/m³, 38.00 MJ/kg, 184 °C, 0.32 mg KOH/g, 53, 13 ppm และ 91 g I₂/100 g ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM และตัวเร่งปฏิกิริยามีความเสถียรและสามารถนำมาใช้ซ้ำได้ถึง 5 ครั้งโดยไม่ต้องสูญเสียประสิทธิภาพการทำงาน

Shankar & Jambulingam. (2017) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสะเดา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากการสังเคราะห์เปลือกปู บนตัวรองรับ Na-ZSM-5 เริ่มจากการเผาเปลือกปูที่อุณหภูมิ 900 °C เพื่อได้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์แล้วนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ไปเผาบนตัวรองรับ Na-ZSM-5 ที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 10 h จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO/Na-ZSM-5 เมื่อนำมาเป็นตัวเร่งในการผลิตไบโอดีเซล พบว่า การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสะเดา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO/Na-ZSM-5 ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันสะเดา 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 g ที่อุณหภูมิ 75 °C เวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 h ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM ที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในระดับสากล และปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดที่ 95% โดยเป็นผลมาจากแคลเซียมออกไซด์ที่รองรับด้วย Na-ZSM-5 15% จากการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่าแคลเซียมออกไซด์ที่เติม Na-ZSM-5 นั้นมีศักยภาพเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

ศิริวัฒนา. (2556) เพื่อการผลิตไบโอดีเซลจากเปลือกทิวมะพร้าว โดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยแครงและเปลือกปูทะเลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปมะพร้าวขาวของเกษตรกรทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผลิตจากเปลือกหอยแครง และเปลือกปูทะเล โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,300 °C เป็นเวลา 4 h พบว่า ผลผลิตของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยแครงมีค่าเท่ากับ 47% และจากเปลือกปูทะเลมีค่าเท่ากับ 53% จากนั้นศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยา 1-3%wt อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1, 9:1 และ 12:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 50, 55 และ 60 °C โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 0.5 – 2 h พบว่า สภาวะการทดลองที่เหมาะสมคือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 3%wt อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 12:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C ที่เวลา 2 h ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากกว่า 99% และจากการทดสอบการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าสามารถนำกลับมาใช้งานซ้ำได้ 1 ครั้ง ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากกว่า 80% ผลของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ลดลงอาจเป็นผลมาจากการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำอีกครั้ง ทำให้มีสารบางชนิด เช่น กลีเซอรอลติดอยู่บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เท่ากับ 3.30 cSt ค่าไอโอดีน เท่ากับ 12.93 g I₂/100 g และค่าซีเทน เท่ากับ 67.01 ซึ่งมีสมบัติ

ผ่านมาตรฐานของ ASTM PS121 ข้อดีของการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพันธู์สามารถช่วยลดน้ำเสียจากการล้างไบโอดีเซลในบริสุทธิ์ ลดปริมาณการใช้สารเคมี ลดต้นทุนการผลิต และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

Boey, Maniam and Hamid. (2009) การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้เปลือกปูทะเล (*Scylla serrata*) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากการเพาะเลี้ยงปูเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดของเสียเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันการศึกษาเปลือกต่าง ๆ ที่ถูกใช้เป็นแหล่งของแคลเซียมออกไซด์เพื่อเปลี่ยนสภาพน้ำมันปาล์มให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ผลการศึกษา พบว่า องค์ประกอบหลักของเปลือกหรือเศษเหลือทิ้ง คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ได้เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 2 h ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล คือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 0.5:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 °C และอัตราการกวนที่ 500 rpm เมื่อวิเคราะห์ค่าสมบัติไบโอดีเซล พบว่า มีค่าความหนาแน่น 884 kg/m³, ค่าความหนืด 4.2 cSt และค่าซีเทน 61 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูทะเลทำปฏิกิริยาได้เทียบเท่ากับการใช้สารเคมี ดังนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จึงเป็นแหล่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต้นทุนต่ำสำหรับการผลิตไบโอดีเซล และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 11 ครั้ง

Gad and Jayaraj. (2020) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของสารเติมแต่งนาโนต่อประสิทธิภาพและการปลดปล่อยมลพิษของการใช้งานไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำในเครื่องยนต์ดีเซล มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพและการปล่อยไอเสียของการใช้งานไบโอดีเซลจากสบู่ดำผสมสารเติมแต่งนาโนในเครื่องยนต์ดีเซล โดยการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา H₂SO₄ 1%wt ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 4 h และอัตราการกวนผสม 400 rpm ตามด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่สัดส่วนเดิมเป็นเวลา 90 min ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนการผสมไบโอดีเซลจากสบู่ดำต่อดีเซลที่ 20:80 (J20) และเติมสารเติมแต่งนาโน ได้แก่ CNTs, TiO₂ และ Al₂O₃ ใช้สำหรับเสริมสมบัติของเชื้อเพลิง จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าไบโอดีเซลผสมกับ Al₂O₃ ผสมในอัตรา 100 ppm (J20Al100) สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงได้ 6.5% เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่ทดลองทั้งหมด ไบโอดีเซลจากสบู่ดำผสมกับ CNTs ในอัตรา 50 ppm (J20C50) ให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง 35 และ 52% ตามลำดับ และไบโอดีเซลจากสบู่ดำผสมกับ TiO₂ ในอัตราผสม 25 ppm (J20T25) ทำให้ไฮโดรคาร์บอนและการปล่อยควันลดลงได้สูงขึ้นประมาณ 22 และ 50% ตามลำดับ ดังนั้นไบโอดีเซลจากสบู่ดำที่ผสมกับอนุภาคนาโน (J20Al100, J20C50 และ J20T25) ได้รับการปรับปรุงสมบัติเพื่อสามารถใช้งานในเครื่องยนต์

ดีเซลได้และสามารถลดการปล่อยมลพิษได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ผ่านการทดสอบในเงื่อนไขอื่น ๆ



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมา พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาและไบโอดีเซลที่ผลิตได้เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานไบโอดีเซล และศึกษาการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร โดยมีวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วน โดยประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว ส่วนที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ส่วนที่ 4 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซล และส่วนที่ 5 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

1. เปลือกปฐมา, ชุมชนบ้านโพธิ์หวาย ตำบลบางกุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี
2. เตาอบ, Drying and heating oven ยี่ห้อ Binder รุ่น FED 56
3. เตาเผา, Furnaces ยี่ห้อ Magmatherm รุ่น MT 1100-5-82
4. ตะแกรงขนาด 60 mesh
5. ถ้วยครุชชีเบล (Crucible)
6. โกร่งบดยา
7. โถดูดความชื้น (Desiccator)

2. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว

1. น้ำมันพืชใช้แล้ว, จากครัวเรือน
2. ผ้าขาวบาง
3. บิ๊กเกอร์ (Bigger)
4. แผ่นให้ความร้อนพร้อมระบบกวนแบบแม่เหล็ก (Hot plate)

5. แท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic bar)

6. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

3. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมา ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

1. เมทานอล (Methanol)

2. บีกเกอร์ (Bigger)

3. แผ่นให้ความร้อนพร้อมระบบกวนแบบแม่เหล็ก (Hot plate)

4. แท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic bar)

5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

6. กรวยแยก (Flash separator)

7. กรวยกรอง (Funnel)

8. กระดาษกรอง (Filter paper)

9. กระดาษฟอยล์

10. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

4. วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซล

1. หลอดแคปิลลารีแบบ U-tube (Capillary U-tubes)

2. เครื่องให้ความร้อนสำหรับวัดค่าความหนืด (Viscometer bath)

3. ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)

4. กระบอกตวง (Cylinder)

5. ไอโซโพรพานอล (Isopropanol)

6. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)

7. สารละลายต่าง (KOH) ความเข้มข้น 0.1 N

8. บิวเรตต์ (Burette)

9. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

10. ยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (Universal indicator strips)

11. หลอดทดลอง (Tube)

12. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

13. เครื่องให้ความเย็น

14. ถ้วยคลีฟแลนด์ (Cleveland)
15. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples)
16. เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์
17. ลวดบอมบ์

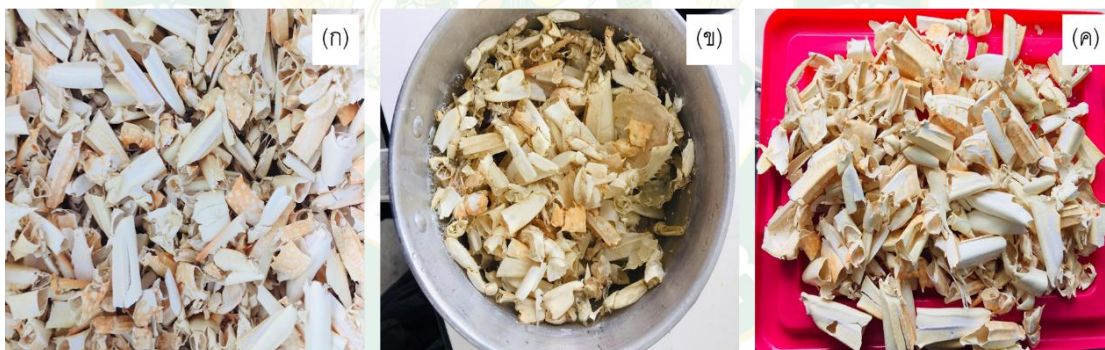
5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร

1. เครื่องยนต์ต้นกำลังที่นำมาทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลแบบ All Power รุ่น 186 F/E ขนาดกำลังสูงสุด 5.7 kW
2. ดีเซล B10, จำหน่ายตามท้องตลาด

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและการวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปทุมมา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

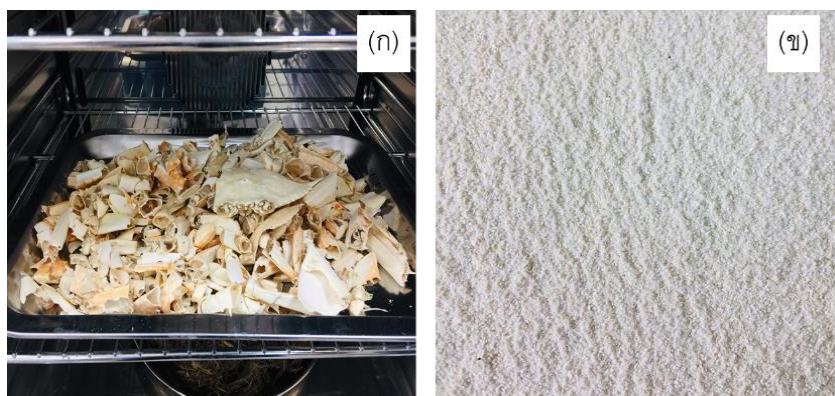
1. ปรับสภาพเปลือกปทุมมา โดยการล้างด้วยน้ำร้อนและตากให้แห้ง เพื่อกำจัดสิ่งเจือปน ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 เปลือกปทุมมาที่ผ่านการปรับสภาพ

(ก) เปลือกปทุมมา (ข) เปลือกปทุมมาที่ล้างด้วยน้ำร้อน และ (ค) เปลือกปทุมมาที่ตากให้แห้ง

2. ทำการอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 12 h เมื่อสิ้นสุดกระบวนการอบ ทำการบดให้ละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 60 mesh ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลักษณะของเปลือกปูม้า

(ก) เปลือกปูม้าที่อบที่อุณหภูมิ 110 °C และ (ข) เปลือกปูม้าที่ผ่านการบดละเอียด

3. ทำการเผาเปลือกปูม้าที่อุณหภูมิสูง ซึ่งได้ทำการเผาที่อุณหภูมิในช่วง 700 – 900 °C เป็นเวลา 4 h เพื่อให้ได้เถ้าเปลือกปูม้าที่มีองค์ประกอบเป็นแคลเซียมออกไซด์ เมื่อได้ตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วควรเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อป้องกันความชื้นที่จะสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาและเพื่อนำไปใช้ผลิตไบโอดีเซลในกระบวนการต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะของเปลือกปูม้าที่เผาด้วยอุณหภูมิสูง

ขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

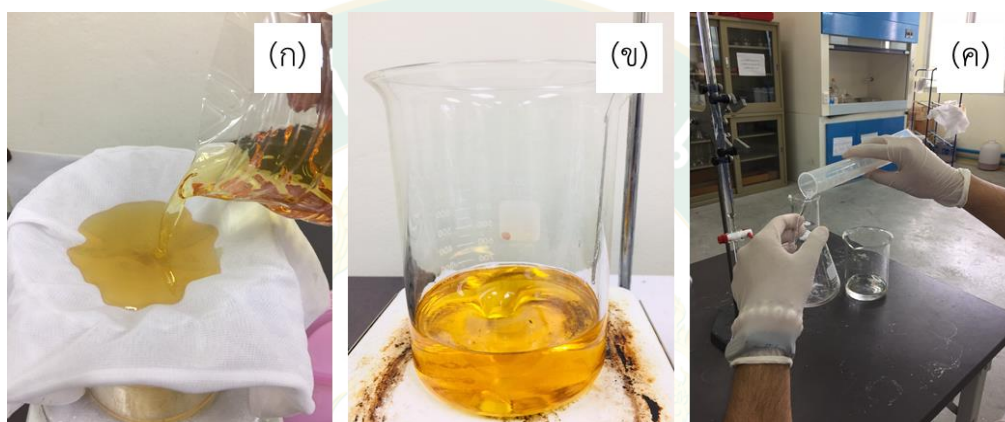
1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป
2. ลักษณะพื้นฐานของวัสดุในระดับจุลภาคด้วยเทคนิค SEM (Scanning Electron Microscope) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการดูลักษณะและขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบด้วยเทคนิค XRF (X-Ray Fluorescence Spectrometry) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุในตัวเร่งปฏิกิริยา

การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว และการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว

ปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้วเพื่อเตรียมวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล โดยการกรองแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันและให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชใช้แล้วเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid : FFA) ดังสมการที่ 10 และสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันพืชใช้แล้ว

$$\%FFA = \frac{\text{สารละลายต่างที่ใช้} \times \text{ความเข้มข้นของสารละลายต่าง} \times \text{โมเลกุลของกรดไขมัน}}{\text{น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง}} \times 100$$

สมการที่ 9



ภาพที่ 10 การปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้ว

(ก) การกรองน้ำมันพืชใช้แล้ว (ข) การให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชใช้แล้ว และ (ค) การวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ

การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

โดยศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอ้าเปลือกปูม่า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งจะมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 9:1, 12:1 และ 15:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 1-5%wt เวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 1-3 h และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 °C พร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการทำปฏิกิริยา

การวิเคราะห์สมบัติไบโอดีเซล

วิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ โดยวิเคราะห์เฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสถานะที่เหมาะสมแล้วนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานไบโอดีเซล ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้

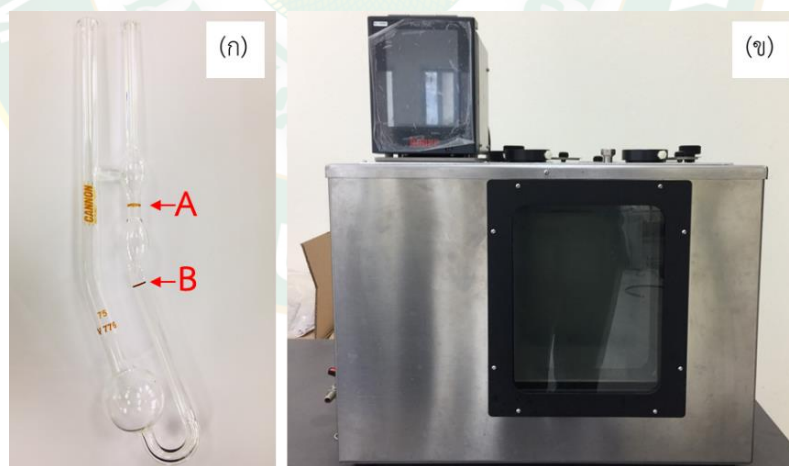
1. ค่าความหนืด ตามมาตรฐาน ASTM D445

ค่าความหนืด ตามมาตรฐาน ASTM D445 ณ อุณหภูมิ 40 °C อยู่ในช่วง 3.5 – 5.0 cSt โดยการวัดเวลาในการไหลของของเหลวปริมาณหนึ่งที่ไหล ภายใต้แรงโน้มถ่วงโลก ผ่านอุปกรณ์วัดความหนืด คือ หลอดแคปิลลารีแบบ U-tube โดยนำไบโอดีเซลตัวอย่างมา 15 ml บรรจุลงในหลอดแคปิลลารี แล้วบรรจุหลอดแคปิลลารีลงในเครื่องวัดความหนืด ดังแสดงในภาพที่ 10 แล้วให้ความร้อนแก่น้ำกลั่นที่บรรจุในเครื่องที่อุณหภูมิ 40 °C จากนั้นรอจนไบโอดีเซลมีอุณหภูมิตามที่กำหนดจึงดูดไบโอดีเซลขึ้นให้ผ่านจุด A จึงเริ่มจับเวลา เมื่อไบโอดีเซลไหลผ่านจุด B จึงหยุดเวลา แล้วทำการบันทึกเวลาที่ใช้ คำนวณดังสมการที่ 11

$$v = C \times t$$

สมการที่ 10

เมื่อ C ค่าคงที่จากการทำมาตรฐานของเครื่อง เท่ากับ 0.008 cSt/s
t เวลาที่ใช้ในการไหล (s)



ภาพที่ 11 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าความหนืด

(ก) หลอดแคปิลลารี แบบ U-tube และ (ข) เครื่องให้ความร้อนสำหรับวัดค่าความหนืด

2. ค่าความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D1298

ค่าความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D1298 ณ อุณหภูมิ 15 °C โดยมีค่ามาตรฐานอยู่ในช่วง 860 – 900 kg/m³ ทดสอบค่าโดยเทน้ำมันใส่กระบอกตวงขนาด 100 ml เียงกระบอกตวง

เพื่อให้น้ำมันไหลลงไปตามผนังของกระบอกตวงเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ นำน้ำมันไปแช่เย็นจนน้ำมันมีอุณหภูมิคงที่ 15 °C แล้วค่อย ๆ ใส่ Hydrometer ลงไป ปล่อยให้ลอยอยู่อย่างอิสระ ไม่เกาะติดกับกระบอกตวง จากนั้นทำการอ่านค่าความหนาแน่นจากอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น Hydrometer

3. ค่าความเป็นกรด ตามมาตรฐาน ASTM D664

ค่าความเป็นกรด ตามมาตรฐาน ASTM D664 โดยมีค่ามาตรฐานไม่สูงกว่า 0.5 mg KOH/g ทดสอบโดยใช้วิธีการไตเตรทสารละลายต่างลงในไปโอติเซล เตรียมไปโอติเซลตัวอย่าง ปริมาณ 5 g ในขวดรูปชมพู่และใส่ไฮโปฟอสฟอรัสปริมาณ 25 ml ผสมรวมกัน แล้วใส่ฟีนอล์ฟทาลีนจำนวน 3 – 5 หยด แล้วเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นทำการไตเตรทสารละลายต่าง ซึ่งเป็นสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N โดยค่อย ๆ หยดลงไปทีละหยดพร้อมทั้งเขย่าให้เข้ากันตลอดเวลา จนกระทั่งสารผสมที่เขย่าเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน ดังแสดงในภาพที่ 13 จึงทำการจดบันทึกปริมาณสารละลายต่างที่ใช้ แล้วคำนวณตามสมการที่ 11

$$AV = \frac{56.1 \times N \times V}{m}$$

สมการที่ 11

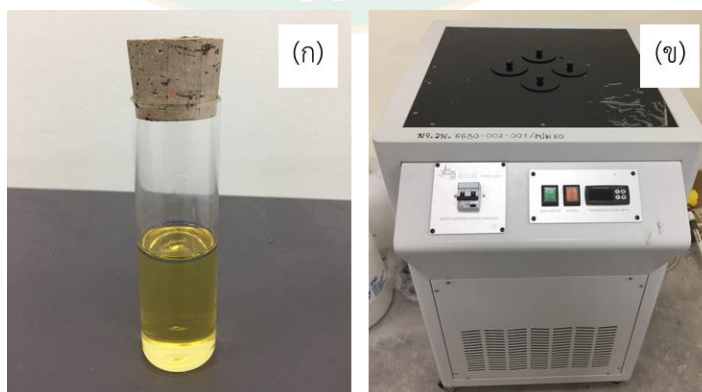
เมื่อ	N	ความเข้มข้นของสารละลายต่าง 0.1 N
	V	ปริมาณสารละลายต่างที่ใช้ (ml)
	m	น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (g)



ภาพที่ 13 การไตเตรทในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด

4. จุดขุ่น ตามมาตรฐาน ASTM D2500 และจุดไหลเท ตามมาตรฐาน ASTM D97

จุดขุ่น ตามมาตรฐาน ASTM D2500 มีค่าอยู่ที่ (-3) – 12 และจุดไหลเท ตามมาตรฐาน ASTM D97 มีค่าอยู่ที่ (-15) – 6 ทดสอบโดยนำน้ำมันตัวอย่างใส่หลอดทดลอง พร้อมทั้งปิดด้วยจุกไม้ และใส่เทอร์โมมิเตอร์ที่มีช่วง (-30) – 50 °C ลงไป แล้วบรรจุหลอดทดลองใส่เครื่องให้ความเย็น ดังแสดงในภาพที่ 14 เปิดเครื่องให้ความเย็น โดยค่อย ๆ ลดอุณหภูมิลงไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะสังเกตเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงโดยเป็นฝ้าขึ้นที่ใต้หลอด จึงบันทึกอุณหภูมิจากที่ได้เป็นจุดขุ่น เนื่องจากจุดขุ่นเป็นจุดที่น้ำมันยังคงมีสถานะเป็นของเหลวเมื่อเริ่มลดอุณหภูมิลง แต่มีความขุ่นและสามารถไหลได้ และเมื่อน้ำมันตัวอย่างเริ่มมีการแข็งตัวที่ใต้หลอด จึงบันทึกอุณหภูมิจากที่ได้เป็นจุดไหลเท ส่วนจุดไหลเทเป็นจุดอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มหยุดไหลและเริ่มแข็งตัว ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าจุดนี้จะทำให้ของเหลวทดสอบกลายเป็นไขและไม่สามารถไหลได้อีก สำหรับค่าคุณสมบัติด้านจุดขุ่นและจุดไหลเท ทางกรมธุรกิจพลังงานยังไม่ได้กำหนดค่าที่แน่นอนไว้

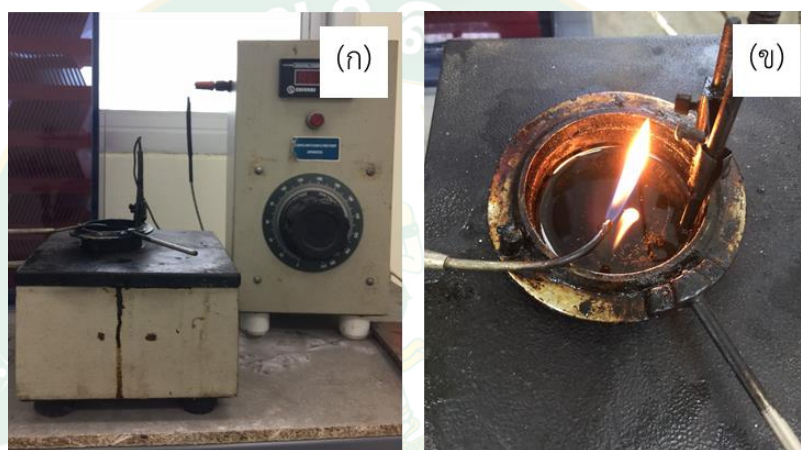


ภาพที่ 14 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าจุดขุ่นและจุดไหลเท

(ก) หลอดบรรจุน้ำมันตัวอย่าง และ (ข) เครื่องให้ความเย็น

5. ค่าจุดวาบไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D93

จุดวาบไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D93 มีค่ามาตรฐานไม่ต่ำกว่า 120 °C มีวิธีการทดสอบโดยเทน้ำมันตัวอย่าง ปริมาณ 60 ml ลงในถ้วยคลิฟแลนด์ จากนั้นวางลงในฐานรอง พร้อมทั้งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล อุปกรณ์วัดอุณหภูมิให้ปลายสัมผัสกับน้ำมันโดยตรง และจุดไฟโดยหันเปลวไฟให้อยู่บนผิวน้ำมัน ให้ความร้อนแก่น้ำมันตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 15 ระหว่างนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งถ้าน้ำมันเกิดติดไฟแล้วดับวูบกระพริบเป็นระยะ ๆ ให้บันทึกอุณหภูมิที่ได้เป็นจุดวาบไฟ แล้วรอจนกว่าน้ำมันติดไฟแล้วไม่มีการดับวูบบนผิวน้ำมันอีกเลย ให้บันทึกอุณหภูมิที่ได้เป็นจุดติดไฟ



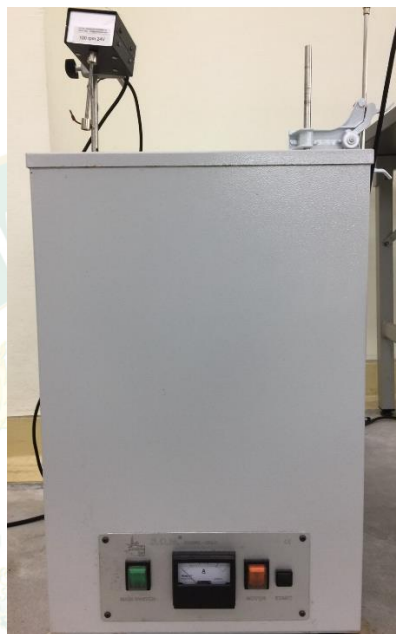
ภาพที่ 15 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าจุดวาบไฟ

(ก) อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ และ (ข) การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและการให้ความร้อนแก่น้ำมัน

6. ค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D4809

ค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D4809 โดยมีความมาตรฐานไม่ต่ำกว่า 36.42 MJ/kg ซึ่งวิเคราะห์ได้ด้วยการใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ดังแสดงในภาพที่ 16 โดยใช้เทคนิคการเผาไหม้ตัวอย่างด้วยออกซิเจน ที่ให้ความร้อนออกมาถ่ายเทให้แก่ น้ำที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับความร้อน ซึ่งระบบจะทำการวัดอุณหภูมิ น้ำที่เพิ่มขึ้น แล้วนำไปวิเคราะห์เป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงออกมา วิธีการทดสอบซึ่งน้ำมันตัวอย่าง 1 g ใส่ในถ้วยจุดระเบิด แล้วทำการมัดลวดสำหรับจุดระเบิด โดยใช้ความยาวลวดที่ 12 cm ติดกับขั้วโลหะสำหรับจุดระเบิดของฝาปิดกระบอกบอมบ์ทั้งสองด้าน จากนั้นนำถ้วยจุดระเบิดใส่ลงในช่องใส่ถ้วย แล้วนำฝาปิดที่มีลวดมัดไว้ไปปิดกระบอกบอมบ์หมุนฝาปิดกระบอกบอมบ์อย่างเบา ๆ เพื่อป้องกันน้ำมันในถ้วยจุดระเบิดหก และทำการอัดแก๊สออกซิเจนลงในกระบอกบอมบ์ 30 bar จากนั้นวางกระบอกบอมบ์ลงในถังใส่กระบอกบอมบ์ให้เรียบร้อย แล้วทำการวางถังลงในเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ แล้ว

จึงเติมน้ำลงในถังปริมาณ 2 L และต่อขั้วสายไฟ ไบวอน และเทอร์โมคัปเปิลให้เรียบร้อย ต่อไปทำการป้อนข้อมูลค่าน้ำหนักตัวอย่างและความยาวของลวดลงในโปรแกรมบอมบ์แคลอริมิเตอร์ จากนั้นจึงเริ่มเปิดไบวอนและกดปุ่มสตาร์ทเครื่อง รอจนเกิดการจุดระเบิดอย่างสมบูรณ์ให้ทำการนำลวดที่เหลือจากการเผาไหม้มาวัดความยาวที่เหลืออยู่ แล้วป้อนค่าความยาวลวดที่เหลือลงไปแทนค่าเดิม จึงทำการบันทึกค่าความร้อนที่ได้



ภาพที่ 16 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าความร้อน เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์
ยี่ห้อ ESSOM 2060/2070

การวิเคราะห์การนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปอูม้ามาใช้ซ้ำ

ในการทดลองการวิเคราะห์การนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปอูม้ามาใช้ซ้ำ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปอูม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 2 h และที่อุณหภูมิ 65 °C ทำการทดลองซ้ำในการทดลองข้างต้นอีกครั้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลและวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล โดยการวิเคราะห์ค่าความหนืด ตามมาตรฐาน ASTM D445 ค่าความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D1298 ค่าความเป็นกรดตามมาตรฐาน ASTM D664 และจุดวาบไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D93 เป็นต้น

การวิเคราะห์การใช้งานไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร

นำไบโอดีเซลที่ได้ในเงื่อนไขอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 2 h และที่อุณหภูมิ 65 °C ไปใช้ทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร ซึ่งทำการวิเคราะห์แรงบิด (Torque) กำลังเบรก (Brake power) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel consumption) และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption) เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรขนาดเล็ก ยี่ห้อ All Power รุ่น 186 F/E ดังแสดงในภาพที่ 17 โดยมีรายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 4



ภาพที่ 17 เครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร ยี่ห้อ All Power รุ่น 186 F/E

ตารางที่ 4 รายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร All Power รุ่น 186 F/E

รายละเอียดเครื่องยนต์	ค่าคุณสมบัติ
ชนิดของเครื่องยนต์	เครื่องยนต์ดีเซล
จังหวะการทำงานของลูกสูบ	4 จังหวะ
จำนวนลูกสูบ	1
ระบบระบายความร้อน	แบบอากาศ
ชนิดของระบบจ่ายน้ำมัน	แบบหัวฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง
กำลังผลิต	7.75 HP หรือ 5.7 kW
ประเภทเชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล

รายละเอียดเครื่องยนต์	ค่าคุณสมบัติ
รอบเครื่องยนต์	3,000/3,600 rpm
อัตราส่วนการอัด	19:1

สำหรับวิธีการทดลองทำการวอร์มเครื่องยนต์ก่อนทำการทดลอง เริ่มทำการทดลองด้วยการใส่น้ำมันตัวอย่างในถังบรรจุน้ำมัน ปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1800 rpm ด้วยการกำหนดค่าความถี่ แล้วทำการสตาร์ทเครื่องยนต์จึงเริ่มจับเวลาที่ใช้ พร้อมทั้งบันทึกค่ากำลังเครื่องยนต์ ความเร็วรอบและน้ำหนักของไหล เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ เมื่อน้ำมันไหลลงที่จุดหนึ่งจึงหยุดเวลา และบันทึกเวลาที่ได้ และทำการทดลองซ้ำด้วยวิธีเดียวกันอีก 2 ครั้ง จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ลดลงที่ 1,400, 1,000 และ 600 rpm โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง



บทที่ 4

ผลและอภิปรายผล

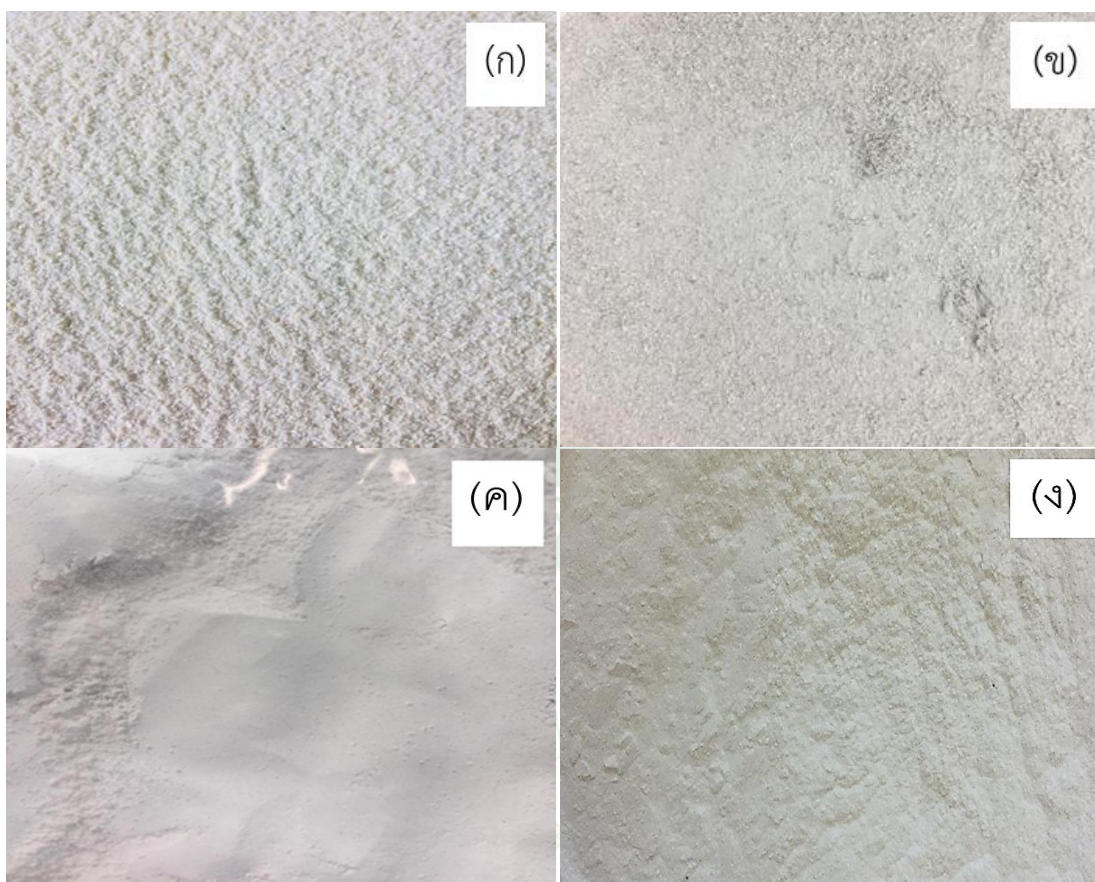
ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้าในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ซึ่งได้ทำการแบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้า ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เปลือกปุม้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ส่วนที่ 4 ผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เปลือกปุม้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ส่วนที่ 5 ผลการวิเคราะห์การนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้ามาใช้ซ้ำ และส่วนที่ 6 ผลการวิเคราะห์การใช้งานไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ทางการเกษตร โดยมีผลการวิเคราะห์ ดังนี้

ผลการวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า

ในการวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้า ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแคลเซียมออกไซด์ที่ผลิตได้จากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแก่วัสดุทางธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมเป็นหลัก โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเผาเปลือกปุม้าที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h เพื่อให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งก่อนนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้ทำการวิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเผาเปลือกปุม้าที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h สามารถอธิบายได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้ามีผลต่อสีและอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากก่อนทำการเผาที่อุณหภูมิสูงเปลือกปุม้ามีอนุภาคใหญ่ เนื้อสัมผัสหยาบและสีครีมอมเหลือง แต่เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาดเล็กลง เนื้อสัมผัสละเอียดขึ้น และเมื่อพิจารณาในเรื่องสีของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้า พบว่า สีมักจะเปลี่ยนแปลงไปและมีสีที่ใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าอุณหภูมิในการเผาจะต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ลักษณะทางกายภาพของเปลือกปูม้าและตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า
 (ก) เปลือกปูม้า (ข) ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าเผาที่อุณหภูมิ 700 °C (ค) ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า
 เผาที่อุณหภูมิ 800 °C และ (ง) ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าเผาที่อุณหภูมิ 900 °C

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า พบว่า เปลือกปูม้าก่อนนำไปเผามีลักษณะเป็นเม็ดกลมขนาดใหญ่ สีครีมอมเหลือง เนื้อหยาบ ไม่มีสิ่งเจือปน ซึ่งเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 4 h พบว่า มีลักษณะเป็นผงละเอียด ผิวสัมผัสหยาบ มีสีขาวปนเทา และที่การเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 4 h พบว่า ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะเป็นผงละเอียดมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการเผาที่อุณหภูมิก่อนหน้านี้ ผิวสัมผัสละเอียด มีสีขาวอมเทาเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 900 °C ที่เวลา 4 h จะทำให้สารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ภายในเกิดการสลายตัว ส่งผลให้เปลือกปูม้ามีลักษณะเป็นผงละเอียดมากขึ้น ผิวสัมผัสบางเบา ลักษณะคล้ายเนื้อแป้ง มีสีขาวขุ่น และเมื่อทำการเปรียบเทียบการเผาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่า ณ อุณหภูมิที่สูงขึ้น จะเกิดการเผาไหม้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สมบูรณ์กว่าการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ธาตุคาร์บอนในตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงส่งผลให้สีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จึงมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นและอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาดเล็กส่งผลให้น้ำหนักหลังการเผาจะลดลงตามเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จักรพงษ์และพนิดา. (2556) ที่ทำการศึกษาการเผากระดองปลาหมึกที่อุณหภูมิสูง เพื่อใช้เป็น

ตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 5 h พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นสามารถลดคาร์บอนในตัวเร่งปฏิกิริยาบริสุทธิ์มากขึ้น สีของตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีสีที่อ่อนลงและขนาดของอนุภาคเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้มีขนาดที่เล็กลงตาม โดยการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน เพื่อปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนออกมา และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภกร และคณะ. (2558) ที่ทำการศึกษาการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยหวาน เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยแครง โดยทำการแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 5 h พบว่า เปลือกหอยที่ผ่านการแคลไซต์ที่อุณหภูมิสูงจะมีขนาดของอนุภาคเล็กมาก มีความเปราะบางสูง อีกทั้งยังมีสีที่ขาวขึ้น เนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิส่งผลให้เปลือกหอยเกิดการเปลี่ยนแปลงอนุภาคของเปลือกหอยจึงมีขนาดเล็ก ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักหลังจากการแคลไซต์ที่จะมีน้ำหนักลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักก่อนการแคลไซต์ และเมื่อศึกษาในลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าการแคลไซต์ที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้นและส่งผลให้สีของเปลือกหอยจากสีเทาเปลี่ยนเป็นสีขาว และจากการสังเคราะห์งานวิจัยข้างต้นแล้วเปรียบเทียบกับงานวิจัยในครั้งนี้ที่ได้ใช้เปลือกปูม้าในการเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล พบว่า ในเปลือกปูม้ามีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตเช่นเดียวกับเปลือกหอย จึงทำให้เปลือกปูม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงเกิดการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะของอนุภาคเล็กมาก ลักษณะของสีมีความขาวมากขึ้น และยังสามารถได้ผลผลิตจากการเผาที่อุณหภูมิสูงเป็นแคลเซียมออกไซด์เช่นเดียวกัน ถึงแม้ว่าในการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจะทำให้ขนาดอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาเล็กลง แต่ลักษณะของสียังมีสีที่ใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าอุณหภูมิในการเผาจะต่างกัน

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า

เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ หรือเทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry : XRF ที่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบและสารประกอบทางเคมีของเปลือกปูม้าและตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C โดยพบองค์ประกอบของแคลเซียมในตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้ามากที่สุด ส่วนสารประกอบทางเคมีที่พบในตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้ามากที่สุด คือ แคลเซียมออกไซด์จากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงของเปลือกปูม้าจึงทำให้เกิดการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตไปเป็นแคลเซียมออกไซด์และทำให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในกระบวนการเผาไหม้ ซึ่ง

ส่งผลให้พบปริมาณแคลเซียมและแคลเซียมออกไซด์มีปริมาณมากในเปลือกปูม้า โดยมีผลการวิเคราะห์ของตัวอย่างแต่ละชนิดสามารถอธิบายได้ ดังแสดงในตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูม้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ

องค์ประกอบ (%wt)	เปลือกปูม้า	เผาที่อุณหภูมิ 700 °C	เผาที่อุณหภูมิ 800 °C	เผาที่อุณหภูมิ 900 °C
C	20.74	8.89	2.99	2.66
O	49.45	48.26	41.62	41.65
Na	0.21	0.42	0.47	0.26
Mg	1.64	2.39	3.68	3.56
Al	0.04	0.02	0.04	0.01
Si	0.06	0.03	0.06	0.02
P	1.40	2.03	2.75	2.33
S	0.12	0.11	0.17	0.14
Cl	0.01	0.02	0.02	0.02
K	0.02	0.05	0.07	0.06
Ca	25.93	37.25	47.82	48.34
Mn	0.02	n/d	n/d	n/d
Fe	0.02	0.03	0.02	n/d
Zn	< 0.01	n/d	n/d	n/d
Br	< 0.01	0.01	n/d	n/d
Sr	0.34	0.49	0.62	0.62

ตารางที่ 6 สารประกอบทางเคมีของเปลือกปูม้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ

สารประกอบ (%wt)	เปลือกปูม้า	เผาที่อุณหภูมิ 700 °C	เผาที่อุณหภูมิ 800 °C	เผาที่อุณหภูมิ 900 °C
CO ₂	66.72	33.21	11.10	9.92
Na ₂ O	0.23	0.59	0.67	0.38
MgO	2.28	4.13	6.45	6.23
Al ₂ O ₃	0.06	0.03	0.08	0.03
SiO ₂	0.11	0.06	0.14	0.05
P ₂ O ₅	2.65	4.87	6.74	5.71
SO ₃	0.25	0.29	0.45	0.37
Cl	0.01	0.03	0.02	0.02
K ₂ O	0.02	0.06	0.10	0.07
CaO	27.37	56.03	74.55	75.21
MnO	0.01	n/d	n/d	n/d
Fe ₂ O ₃	0.02	0.05	0.04	n/d
ZnO	< 0.01	n/d	n/d	n/d
Br	< 0.01	0.01	n/d	n/d
SrO	0.27	0.65	0.85	0.85

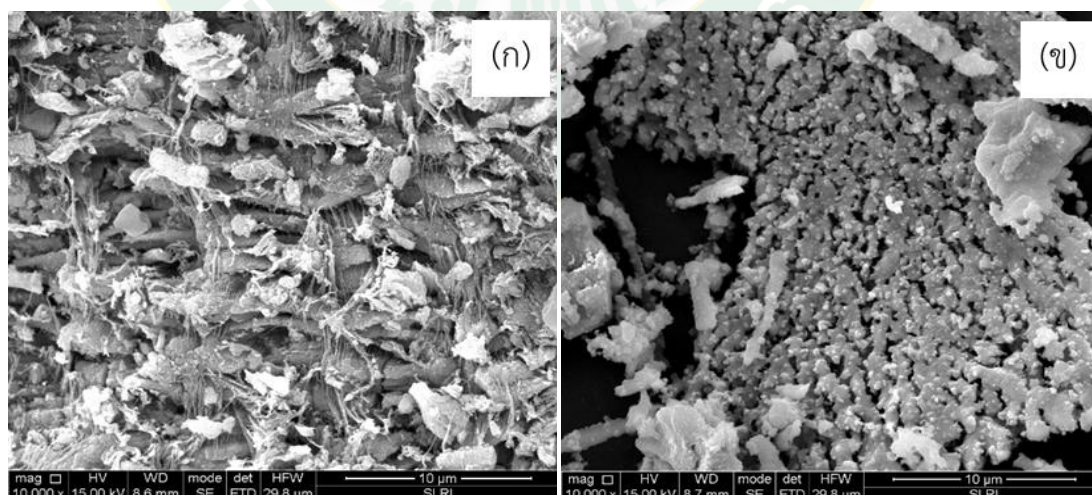
จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูม้าและตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าพบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงให้ระหว่างเปลือกปูม้ากับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนส่วนใหญ่จะเกิดให้ในธาตุประเภทคาร์บอน ออกซิเจน แมกนีเซียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาเปลือกปูม้าก่อนการทำปฏิกิริยาพบว่ามีปริมาณของธาตุออกซิเจนสูงที่สุดที่ 49.45%wt ตามด้วยธาตุแคลเซียมและคาร์บอนที่ 25.93%wt และ 20.74%wt ตามลำดับ แต่เมื่อทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่อุณหภูมิ 700 °C พบว่า ในตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้ามีปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนอยู่ที่ 48.26%wt และ 8.89%wt ตามลำดับ โดยธาตุคาร์บอนมีปริมาณการลดลงสูงถึง 57.14% แต่ในทางกลับกันปริมาณแคลเซียมกลับเพิ่มขึ้นมาจากเดิมถึง 43.66% ซึ่งในการเผาที่อุณหภูมิ 700 °C มีปริมาณแคลเซียมอยู่ที่ 37.25%wt อาจเป็นผลจากการที่เผาที่อุณหภูมินี้เป็นเพียงแค่การเผาเพื่อไล่สารอินทรีย์ในองค์ประกอบทางเคมีที่ปนเปื้อนออกไปเท่านั้น (Kaewdaeng and

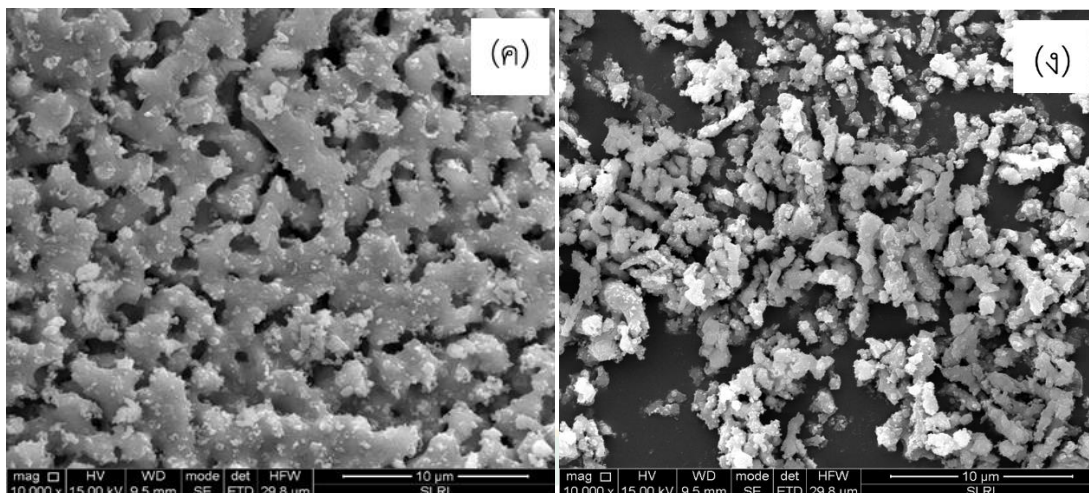
Nirunsin, 2019) และเมื่อทำการเผาในอุณหภูมิ 800 °C พบว่า ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้ามีปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนลดลงมาก แต่ในขณะเดียวกันปริมาณของแคลเซียมกลับเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมที่ได้กับปริมาณแคลเซียมที่ได้จากการเผาในอุณหภูมิก่อนหน้านี้นักกลับพบว่าปริมาณแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้นถึง 28.37% นอกจากนี้ยังได้ทำการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นที่ 900 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุดในการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกปูม้าในงานวิจัยครั้งนี้ จึงทราบได้ว่าปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีออกซิเจนและคาร์บอนเพียง 41.65%wt และ 2.66%wt ตามลำดับ และมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นแทนที่การลดลงของออกซิเจนและคาร์บอน โดยมีปริมาณแคลเซียมอยู่ที่ 48.34%wt และเมื่อทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูม้าและตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่อุณหภูมิ 900 °C พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้ามีปริมาณคาร์บอนลดลง 87.17% และมีปริมาณของแคลเซียมเพิ่มขึ้น 86.42% เนื่องจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้สูญเสียคาร์บอนออกไปด้วยในกระบวนการเผาและจะได้ปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นแทนที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raya et al. (2015) ที่ได้ทำการศึกษาลักษณะและสังเคราะห์แคลเซียมไฮดรอกไซด์จากพาไทต์จากปูม้า (*Portunus pelagicus*) พบว่า ในการสังเคราะห์แคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปูม้าทำให้ทราบว่าในปูม้ามีองค์ประกอบหลัก คือ ปริมาณแคลเซียม ซึ่งมีมากกว่าปริมาณออกซิเจนและคาร์บอน อีกทั้งยังทราบอีกว่าในปูม้ามีสารประเภทแคลเซียมคาร์บอเนตสูงถึง 40-70% ซึ่งสารประเภทแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ออกมาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ และงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกปูม้ามาสังเคราะห์เพื่อนำแคลเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มาใช้ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ในส่วนของการวิเคราะห์สารประกอบทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่ผ่านการเผาในอุณหภูมิ 900 °C มีสารประกอบแคลเซียมออกไซด์สูงถึง 75.21%wt เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกปูม้าที่มีสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ที่ 27.37%wt พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น 63.61% ซึ่งแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวีธีพันธุชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากวัตถุดิบทางธรรมชาติอีกด้วย แต่ในขณะเดียวกันในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่อุณหภูมิสูงยังมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในกระบวนการอีกด้วย ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณคงเหลือของคาร์บอนไดออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ปริมาณสารประกอบคาร์บอนไดออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง 85.13% จากเดิมที่เปลือกปูม้ามีปริมาณสารประกอบคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 66.72%wt และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sivakumar et al., 2014 โดยศึกษาและพัฒนาการนำเปลือกปูทะเล ซึ่งเป็นปูทะเลชนิดสีม่วง (*Scylla tranquebarica*) ที่มีจำนวนมากในธรรมชาติและนิยมนำมาประกอบอาหารมากที่สุดมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันดอก

ทานตะวันที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปุทุทะเลที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง พบว่า มีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักมากถึง 41.80% และมีโครงสร้างเป็นลักษณะผืนกเดี่ยว เมื่อทำการผลิตไบโอดีเซลสามารถผลิตไบโอดีเซลได้มากถึง 94.20% ซึ่งเป็นปริมาณผลผลิตที่สูงมากในการผลิตไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์จากงานวิจัยข้างต้นและเปรียบเทียบกับงานวิจัยในครั้งนีพบว่าในตัวเร่งปฏิกิริยาปุทุทะเลชนิดนี้มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลักจึงทำให้สามารถสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ออกมาได้ซึ่งแคลเซียมออกไซด์เป็นหนึ่งในตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ที่สามารถสังเคราะห์ได้จากธรรมชาติจึงนำมาผลิตไบโอดีเซลได้และยังเป็นเหตุผลที่ทำให้เลือกใช้เปลือกปุทุมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในครั้งนี้อีกด้วย เนื่องจากมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกันจึงสามารถสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ออกมาได้เช่นเดียวกัน

3. ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานในระดับจุลภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุทุ

การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุทุในระดับจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หรือ เทคนิค Scanning Electron Microscope : SEM ที่สามารถวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของเปลือกปุทุและตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุทุที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C โดยใช้กำลังขยายที่ 10,000x พบว่า เปลือกปุทุมามีลักษณะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและมีจำนวนรูพรุนเล็กน้อย แต่เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดีขึ้นและยังคงความเป็นรูพรุนดั้งเดิม ดังแสดงในภาพที่ 19





ภาพที่ 19 ลักษณะโครงสร้างของเปลือกปฐมาและตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมา
 ที่กำลังขยาย 10,000x (ก) เปลือกปฐมา (ข) ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมาเผาที่อุณหภูมิ 700 °C
 (ค) เผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ง) เผาที่อุณหภูมิ 900 °C

จากการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของเปลือกปฐมาและตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในระดับจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เปลือกปฐมามีลักษณะของอนุภาครวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเชื่อมต่อกันด้วยเส้นใยบาง ๆ เป็นแขนง ลักษณะโครงสร้างเป็นแท่งยาวต่อ ๆ กัน และจำนวนมีรูพรุนน้อย แต่ในทางกลับกันเมื่อทำการเผาเปลือกปฐมาที่อุณหภูมิ 700 °C พบว่า เส้นใยบาง ๆ ที่เป็นตัวเชื่อมก่อนอนุภาคแต่ละก้อนให้ติดกันเกิดการกระจายตัวตัวขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนทำให้เกิดการสลายสารอินทรีย์ในเปลือกปฐมาและส่งผลให้อนุภาคที่เกาะกลุ่มกันเป็นก้อนเกิดการสลายตัว แต่ด้วยอุณหภูมิที่ยังสูงไม่พอจึงทำให้ในบางส่วนของอนุภาคยังมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน (สุภกร และคณะ, 2558) ลักษณะโครงสร้างเป็นแท่งยาว ๆ ที่ไม่ได้เชื่อมต่อกัน และมีจำนวนรูพรุนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C พบว่าลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยามีการกระจายตัวมากขึ้น มีขนาดของอนุภาคเล็กลง ลักษณะของโครงสร้างเป็นแท่งไม่มีการเชื่อมต่อกัน และอนุภาคที่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนเกิดการสลายตัวได้ดีขึ้น ทำให้จำนวนรูพรุนของอนุภาคมีจำนวนเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมินี้ทำให้โลหะออกไซด์ที่เกาะกันอยู่เกิดการสลายตัวด้วยความร้อน (Hadiyanto, Lestari, and Widayat., 2016) และเมื่อทำการเผาเปลือกปฐมาที่อุณหภูมิ 900 °C พบว่า ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยามีการกระจายตัวอย่างต่อเนื่องมากขึ้นไม่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงพอต่อการเผาไหม้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาทำให้อนุภาคที่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนเกิดการสลายตัวจนหมด ส่งผลให้ขนาดของอนุภาคเล็กลงมากเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการเผาที่อุณหภูมิก่อนหน้านี้ ลักษณะโครงสร้างเป็นรูปทรงกระบอกขนาดสั้น ๆ ไม่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างโครงสร้าง และมีจำนวนรูพรุนในโครงสร้างของอนุภาคเพิ่ม

มากขึ้นกว่าการเผาที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้โครงสร้างของอนุภาคและลักษณะต่าง ๆ ของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และมีพื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มมากขึ้น (Asri et al., 2017) โดยมีค่าพื้นที่ของอนุภาค เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค รัศมีของอนุภาค พื้นที่ของรูพรุน เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน และรัศมีของรูพรุน โดยเฉลี่ยอยู่ที่ $463.97 \pm 147.24 \mu\text{m}^2$, $26.28 \pm 3.80 \mu\text{m}$, $13.14 \pm 1.90 \mu\text{m}$, $1.25 \pm 0.58 \mu\text{m}^2$, $1.34 \pm 0.42 \mu\text{m}$ และ $0.67 \pm 0.21 \mu\text{m}$ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hazri and Nasir. (2020) โดยได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติ ซึ่งทำการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1,000 °C ภายใต้แรงอัดอากาศของไนโตรเจน พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์เปลือกหอยที่อุณหภูมิ 950 °C มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ มีจำนวนของรูพรุนในโครงสร้างมากกว่าเปลือกหอยที่ยังไม่ผ่านการเผาและขนาดของรูพรุนมีขนาดใหญ่ โครงสร้างของอนุภาคมีลักษณะคล้ายรูปกระดุกสุนัข ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้เลือกการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C ว่าเป็นอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการเผาเปลือกปูม้า เพราะทำให้ได้โครงสร้างของอนุภาคออกมาเป็นรูปร่างสั้น ๆ จำนวนมากและมีจำนวนของรูพรุนมากเช่นกัน ทำให้มีพื้นที่ในการสัมผัสและทำปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิตติมา. (2557) ที่ทำการศึกษารูปแบบของอนุภาคของไฮดรอกไซด์ของแคลเซียมในตัวอย่างอินทรีย์เพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยเลือกใช้เปลือกปูทะเลชนิดปูสีเขี้ยว (*Scylla serrata*) ซึ่งพิจารณาจากปริมาณที่เหลือทิ้งและลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาของเปลือกปูทะเลมีรูพรุนขนาดกว้างและมีความลึกมาก อีกทั้งยังมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจึงสามารถดูดซับเอาน้ำมันพืชบนพื้นผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพและขนาดของอนุภาคที่พบยังมีขนาดเล็กมากอีกด้วย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในครั้งนี้ทำให้ทราบได้ว่าการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้ามีขนาดของอนุภาคเล็ก มีจำนวนรูพรุนมากและมีพื้นที่อนุภาคขนาดใหญ่ส่งผลดีต่อการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งทำให้มีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมันอย่างเหมาะสม อีกทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้ายังมีความเสถียรในการเก็บรักษา

ผลการศึกษาสมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว

น้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยประกอบไปด้วยค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด ค่าความเป็นกรด และค่า pH ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังแสดงในภาพที่ 20 และตารางที่ 7



ภาพที่ 20 น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว หลังจากผ่านการปรับสภาพน้ำมัน พบว่า มีลักษณะเป็นสีเหลืองเข้ม มีลักษณะใส ไม่มีเศษตะกอนเจือปน ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลเพราะจะทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพดี

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

สมบัติทางเคมี	น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว
ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)	0.94
ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)	910
ค่าความหนืด (cSt)	41.78
ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	2.53
ค่า pH	6

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยการวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) พบว่า ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว มีค่าเท่ากับ 0.94% จึงส่งผลให้น้ำมันพืชใช้แล้วนี้สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้โดยตรงและไม่ต้องผ่านขั้นตอนการปรับสภาพค่ากรดไขมันอิสระ เนื่องจากว่าค่ากรดไขมันอิสระมีค่าไม่เกิน 2.50% เพราะถ้าน้ำมันมีค่ากรดไขมันอิสระเกินมาตรฐานจะส่งผลให้การทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ยาก ผลผลิตลดลง (Panpraneecharoen et al., 2018) และต้องทำการลดค่ากรดไขมันอิสระลงก่อนด้วยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจากนั้นจึงทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิต (ศศิگانต์ และคณะ, 2561) ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด ค่าความเป็นกรดและค่า pH มีค่าเท่ากับ 910 kg/m^3 , 41.78 cSt, 2.53 mg

KOH/g และ 6 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและค่า pH พบว่าปริมาณค่าความเป็นกรดและค่า pH ที่พบมีค่าเป็นกรดอ่อนทำให้ทราบได้ว่าน้ำมันที่ใช้มีคุณภาพในการผลิตสูง เนื่องจากกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบไม่หลุดออกมาเป็นกรดไขมันอิสระจึงทำให้ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสในการผลิตไบโอดีเซล (สมสุข, 2559) โดยน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วจากการได้รับความร้อนสูงเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพลงและคุณภาพของน้ำมันจะเปลี่ยนแปลงไป อีกทั้งยังทำให้เกิดอันตรายในระยะเวลาอีกด้วย (Siam bioenergy, 2555) (นันทิรา, 2560) ส่งผลให้ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าความเป็นกรดมีค่าสูงเช่นกัน นอกจากนี้ น้ำมันพืชใช้แล้วที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้มีสมบัติทางเคมีสอดคล้องกับงานวิจัยของ Talebian-Kiakalaieh, Amin and Mazaheri. (2013) ที่ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืดและค่าความเป็นกรดของน้ำมันพืชใช้แล้ว พบว่า ค่าสมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน แต่เมื่อนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตไบโอดีเซลกลับได้ผลผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้น้ำมันพืช จากการศึกษาข้างต้นพบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำมาผลิตไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้ เนื่องจากหาได้ง่ายในครัวเรือนทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลง ช่วยในการจัดการปัญหาการกำจัดน้ำมันพืชใช้แล้วที่จะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นการใช้ประโยชน์จากน้ำมันพืชใช้แล้วแทนการนำไปทิ้ง อีกทั้งยังได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่สูงและนิยมนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบัน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เปลือกปฐมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

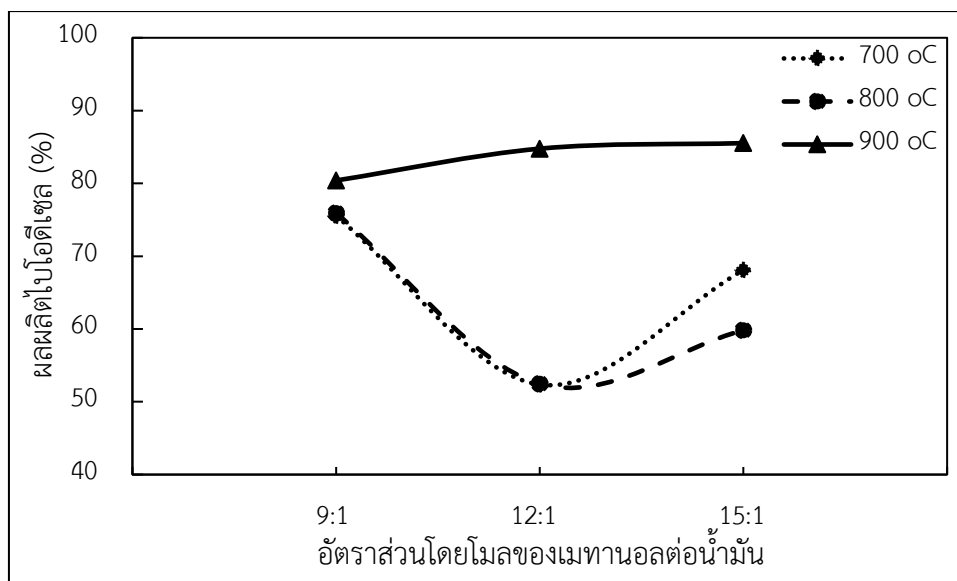
ในการศึกษาปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เปลือกปฐมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อผลผลิตของไบโอดีเซล ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตของไบโอดีเซล และผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตไบโอดีเซล โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุมาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อผลผลิตของไบโอดีเซล

โดยศึกษาอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุมาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อผลผลิตของไบโอดีเซล โดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสภาวะที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุมาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยผลการวิเคราะห์อุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุมาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อผลผลิตไบโอดีเซลดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 21

ตารางที่ 8 ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน

อุณหภูมิในการเผา ตัวเร่งปฏิกิริยา (°C)	อัตราส่วนโดย โมลของเมทานอล ต่อน้ำมัน	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%wt)	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (h)	ผลผลิตไบโอดีเซล (%)
700	9:1	5	2	75.54
	12:1	5	2	52.36
	15:1	5	2	68.10
800	9:1	5	2	75.92
	12:1	5	2	52.47
	15:1	5	2	59.83
900	9:1	5	2	80.40
	12:1	5	2	84.77
	15:1	5	2	85.53



ภาพที่ 21 ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเผาไหม้ของเปลือกปฐมาที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล โดยวิเคราะห์ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิในการเผาไหม้ 700 °C สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ 75.54% เนื่องจากการเผาในอุณหภูมินี้เป็นเพียงแค่การเผาเพื่อไล่สารอินทรีย์ในองค์ประกอบทางเคมีที่ปนเปื้อนออกไปเท่านั้น และยังพบองค์ประกอบของธาตุอื่น ๆ ปะปนอยู่จำนวนมาก อีกทั้งยังมีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ในปริมาณน้อยจึงทำให้ผลิตไบโอดีเซลได้น้อยเช่นกัน แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นถึง 800 °C ได้ผลผลิตไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้นถึง 75.92% เนื่องจากองค์ประกอบของธาตุอื่น ๆ เกิดการสลายตัวจากการได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ถ้าปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้นั้นยังไม่ใช่ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่มากที่สุด เพราะว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาไหม้ให้สูงขึ้นที่ 900 °C สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ 80.40% จากการวิเคราะห์องค์ประกอบและสารประกอบทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าในตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงจะมีปริมาณของแคลเซียมและแคลเซียมออกไซด์เป็นจำนวนมากจึงทำให้สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ปริมาณมากเช่นกัน เนื่องจากแคลเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้เป็นหนึ่งในตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์จากธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลและเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลระหว่างผลผลิตของไบโอดีเซลจากการเผาที่อุณหภูมิสูง (900 °C) กับผลผลิตของไบโอดีเซลจากการเผาที่อุณหภูมิต่ำ (700 °C) พบว่า การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลได้สูงถึง 6.43% ซึ่งถือว่าเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงมากในการผลิตไบโอดีเซล และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล โดยวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 °C จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 เป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลอยู่ที่ 80.40% และเมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนโดยโมลของเมทา

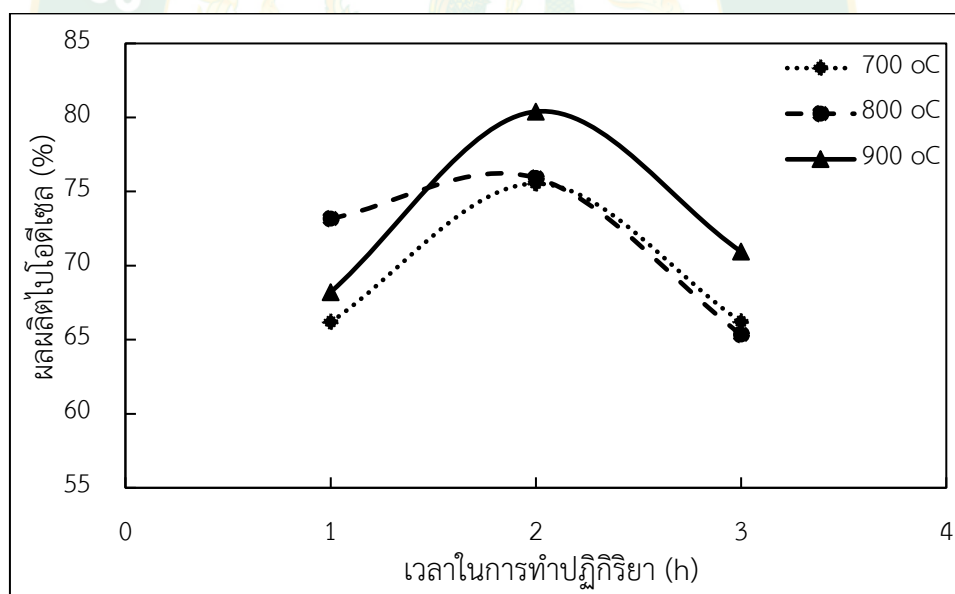
นอลต่อน้ำมันให้สูงขึ้นทำให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นตาม แต่เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่สัดส่วนสูงมีค่าสมบัติของไบโอดีเซลเกินกว่ามาตรฐาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศศิประภา. (2560) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากหอยขมที่อุณหภูมิ 700 – 900 °C ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยได้กล่าวไว้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาไหม้หอยขมส่งผลให้ปริมาณในการผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์เพิ่มขึ้นและได้แคลเซียมออกไซด์ในปริมาณที่สูงเพียงพอต่อการผลิตไบโอดีเซล และงานวิจัยของ Madhu et al. (2016) ที่ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันหีนน้ำดิบ (*Millettia pinnata*) โดยใช้เปลือกปูเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลจากการทดลองพบว่าอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 8:1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงพอสมควร และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนในการทำปฏิกิริยากลับทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่าคุณสมบัติที่ได้กลับมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ ในทางเดียวกันเมื่อลดอัตราส่วนในการผลิตทำให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลกลับลดลงตาม และเมื่อทำการศึกษการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซ้ำในอัตราส่วนดังกล่าวพบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลได้โดยตัวเร่งปฏิกิริยายังมีความเสถียรและไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการผลิต จากงานวิจัยข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาไหม้ให้สูงขึ้นจะทำให้สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ในปริมาณมากขึ้น และจากการศึกษาอุณหภูมิในการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์โดยทั่วไปมักจะใช้อุณหภูมิที่ 825 °C ดังนั้น การที่เลือกใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกปูม้าที่ 900 °C จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด เพราะสามารถสลายสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่ปนเปื้อนในเปลือกปูม้าออกได้หมดและสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลได้ผลผลิตสูงอีกด้วย

2. ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตของไบโอดีเซล

โดยศึกษาอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตของไบโอดีเซล โดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 1, 2 และ 3 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยผลการวิเคราะห์อุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตไบโอดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 9 และภาพที่

ตารางที่ 9 ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา

อุณหภูมิในการเผา ตัวเร่งปฏิกิริยา (°C)	อัตราส่วนโดย โมลของเมทานอล ต่อน้ำมัน	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%wt)	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (h)	ผลผลิตไบโอดีเซล (%)
700	9:1	5	1	66.19
		5	2	75.54
		5	3	66.21
800	9:1	5	1	73.17
		5	2	75.92
		5	3	65.34
900	9:1	5	1	68.21
		5	2	80.40
		5	3	70.95



ภาพที่ 22 ผลของอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา

จากการวิเคราะห์อุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 °C เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 1 h เป็น 2 h และ 3 h ซึ่งให้ผลผลิตไบโอดีเซลจาก 66.19% เพิ่มขึ้นเป็น 75.54% และลดลงเหลือ 66.21% ตามลำดับ ในส่วนการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 1 h เป็น 2 h และ 3 h ซึ่งให้ผลผลิตไบโอดีเซลจาก

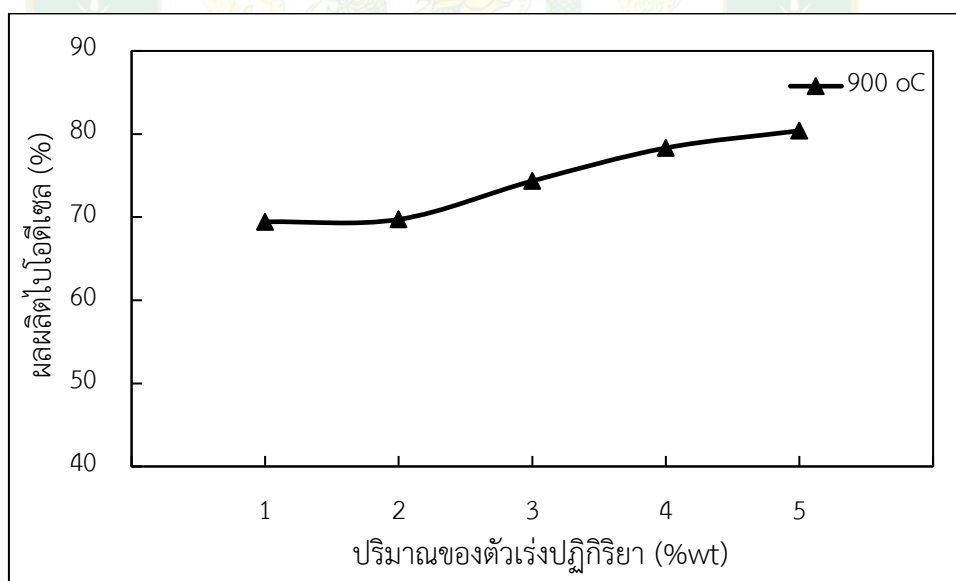
73.17% เพิ่มขึ้นเป็น 75.92% และลดลงเหลือ 65.34% ตามลำดับ และการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 1 h เป็น 2 h และ 3 h จะสามารถผลิตไบโอดีเซลจาก 68.21% เพิ่มขึ้นเป็น 80.40% และลดลงเหลือ 70.95% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 1 h อาจจะไม่เพียงพอจึงทำให้ได้ผลผลิตน้อย และเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 2 h ทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นตามด้วย ดังนั้นการทำปฏิกิริยาในเวลา 2 h จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เพราะถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็น 3 h ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลกลับลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งด้วยเหตุผลนี้จึงช่วยสนับสนุนให้เลือกใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h เป็นระยะเวลาที่ดีที่สุดในการทำปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลในครั้งนี้ นอกจากนี้จึงได้พิจารณาอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปอูม่า โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 700 °C เป็น 800 °C และ 900 °C พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้แนวโน้มของผลผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาให้สูงขึ้นจะทำให้เกิดการสังเคราะห์ธาตุที่จำเป็นต่อการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นและช่วยสลายธาตุที่ไม่จำเป็นออกจากตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งธาตุคาร์บอนเป็นหนึ่งในธาตุที่ไม่จำเป็นในตัวเร่งปฏิกิริยา (Nur Syazwani, Rashid and Taufiq Yap., 2015) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นธาตุคาร์บอนในตัวเร่งปฏิกิริยาจะลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเกิดได้ดียิ่งขึ้น โดยเมื่อพิจารณาที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปอูม่าที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 700 °C เป็น 900 °C จะสามารถได้ผลผลิตไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม 6.43% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirisomboonchai et al. (2015) ที่ทำการศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหอยเชลล์ในการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1000 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ 30, 60, 120 และ 180 min พบว่า เวลาในการทำปฏิกิริยาของไบโอดีเซลที่ได้ผลผลิตดีที่สุดอยู่ที่ 120 min เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นกลับมีแนวโน้มที่ได้ผลผลิตในปริมาณเท่าเดิม นอกจากนี้ยังได้ทำการลดเวลาในการทำปฏิกิริยา กลับพบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้กลับลดลงตามด้วยเช่นกัน ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงทำให้ทราบได้ว่าการใช้อุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 900 °C เป็นเวลา 4 h และเวลาในการทำปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลที่ 2 h เป็นอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษา โดยเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซล

3. ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตไบโอดีเซล

โดยศึกษาปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปอ
 ม้า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ตัวเร่ง
 ปฏิกิริยาจากเปลือกปอม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา
 1, 2, 3, 4 และ 5%wt ในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณ
 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตไบโอดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพที่ 23

ตารางที่ 10 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ผลผลิตไบโอดีเซล (%)
1	69.44
2	69.73
3	74.35
4	78.33
5	80.40



ภาพที่ 23 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อผลผลิตไบโอดีเซล

จากการศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปอม้าที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล โดย
 วิเคราะห์ปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1, 2, 3, 4 และ 5%wt จากตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปอม้าที่ผ่าน
 การเผาที่อุณหภูมิ 900 °C พบว่า ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1%wt ให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่
 69.44% ซึ่งเป็นปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่สูงพอสมควร ในขณะที่เดียวกันเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่ง

ปฏิกิริยาสูงขึ้นกลับพบว่าปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามด้วยเช่นกัน โดยปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงที่สุดในการทำปฏิกิริยาอยู่ที่ 5%wt และสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงถึง 80.40% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนหน้านี้ (4%wt) ทำให้ทราบได้ว่าปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงถึง 2.49% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Margaretha et al. (2012) ที่ทำการศึกษาศักยภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชอรี่เพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชอรี่ที่ผ่านการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 °C ในปริมาณ 1 – 5%wt พบว่า การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ด้วยความต่างของปริมาณผลผลิตที่ได้ทำให้การเลือกใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณมาก ๆ จึงไม่เป็นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สิ้นเปลืองอีกทั้งยังทำให้ได้ผลผลิตไบโอดีเซลที่สูงอีกด้วย จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นทำให้ทราบถึงการเลือกใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองเช่นกัน ถ้าใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เหมาะสมจะทำให้การทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ยากหรืออาจจะทำให้ผลผลิตที่ได้เป็นกลีเซอรอลมากกว่าไบโอดีเซล ดังนั้น การเลือกใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่ 5%wt ในการผลิตไบโอดีเซลในเงื่อนไขอื่น ๆ จึงเป็นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมและให้ผลผลิตที่มีประสิทธิภาพเช่นกัน

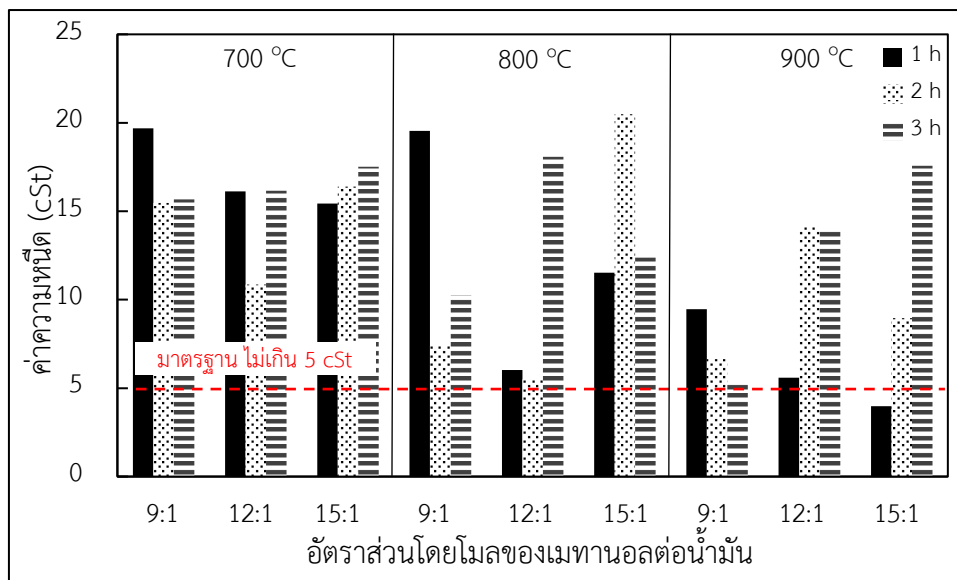
ผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เปลือกปูม้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลได้ทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดตามมาตรฐาน ASTM D664 ค่าความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D1298 ค่าความหนืด ตามมาตรฐาน ASTM D445 จุดขุ่น ตามมาตรฐาน ASTM D2500 จุดไหลเท ตามมาตรฐาน ASTM D97 ค่าจุดวาบไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D93 และค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D4809 โดยผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด

โดยศึกษาค่าความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในเงื่อนไขการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยาในช่วง

1, 2 และ 3 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D445 ดังแสดงในภาพที่ 24



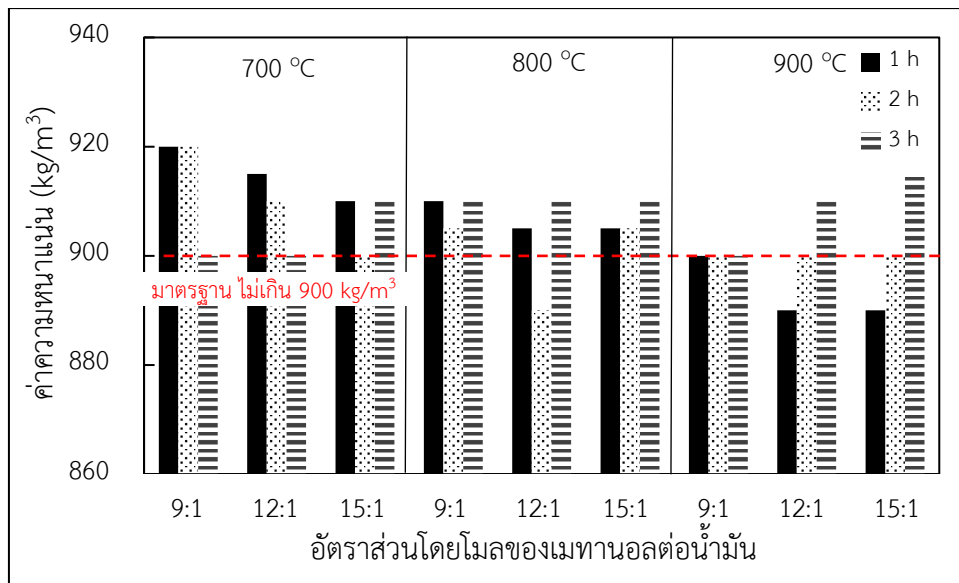
ภาพที่ 24 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C พบว่า ไบโอดีเซลที่ผลิตจากตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูกุ้งที่อุณหภูมิ 900 °C มีปริมาณค่าความหนืดอยู่ในช่วง 3.97 – 17.57 cSt โดยตามมาตรฐาน ASTM D445 มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 3.50 – 5.00 cSt แต่เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 900 °C พบว่าค่าความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนด โดยปริมาณค่าความหนืดของไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 800 °C อยู่ในช่วง 5.49 – 20.49 cSt และที่อุณหภูมิ 700 °C อยู่ในช่วง 10.85 – 19.69 cSt เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ตัวเร่งปฏิกิริยายังสูงไม่เพียงพอส่งผลให้ปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีน้อยการทำปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลจึงเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ค่าความหนืดที่ได้จึงมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด โดยค่าความหนืดที่ได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เพราะถ้าอุณหภูมิใช้ในการเผาไหม้ลดลงและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและผลผลิตไบโอดีเซลลดลง ดังนั้นความหนืดยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการใช้งานไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ เพราะว่าถ้าหากค่าความหนืดมีค่าสูงเกินกำหนด จะส่งผลโดยตรงกับระบบหัวฉีดในเครื่องยนต์ น้ำมันจะถูกฉีดเป็นฝอยละล่องได้ยากทำให้ละล่องน้ำมันมีขนาดหยดใหญ่ ส่งผลให้การเผาไหม้ในเครื่องยนต์เกิดไม่สมบูรณ์เกิดการปลดปล่อยมลพิษออกมา (หญิง, 2564) โดยเงื่อนไขการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูกุ้งที่

ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยาที่ 2 h ซึ่งมีความหนืดอยู่ที่ 6.68 cSt ถึงแม้ว่าค่าความหนืดจะเกินกว่ามาตรฐานเล็กน้อยแต่เพียงพอที่จะยอมรับได้ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศศิประภา. (2560) ที่ได้ศึกษาการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยขมในการผลิตไบโอดีเซล พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความหนืดสูงกว่ามาตรฐาน เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะเป็นของแข็งที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับสารตั้งต้น จึงส่งผลให้การทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ยากทำให้ความหนืดมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน จากการศึกษาความหนืดของไบโอดีเซลที่เกินกว่ามาตรฐานกำหนดเป็นผลมาจากในองค์ประกอบของเปลือกปูมามีสารในกลุ่มของไคติน (Chitin) ซึ่งไคตินเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจะมีสมบัติในการเป็นสารให้ความข้นหนืด (Thickening agent) และสารให้ความคงตัว (Stabilizing agent) ในสารละลาย โดยในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีการให้ความร้อนในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการแตกอนุภาคของไคตินออกมาเป็นจำนวนมาก โดยความหนืดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะแปรผันตามมวลโมเลกุลของไคตินที่มีในเปลือกปูม่า ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ได้แคลเซียมออกไซด์ออกมาในปริมาณมาก ในทางเดียวกันกับทำให้ไคตินออกมาด้วยเช่นกัน จึงทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูมามีความข้นหนืดมาก แต่สามารถลดปริมาณความหนืดที่เกิดขึ้นได้โดยการใส่สารเติมแต่งหรือจำเป็นต้องกำจัดไคตินออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนการนำไปผลิตไบโอดีเซล นอกจากนี้ความสามารถของไคตินยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวช่วยให้ไบโอดีเซลและกลีเซอรอลสามารถแยกชั้นออกมามากขึ้นได้ดีมากยิ่งขึ้น (สุธิดา, 2552) ดังนั้นความหนืดจึงเป็นปัจจัยที่ควรทำการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการใช้งานไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ นอกจากนี้ถ้าค่าความหนืดมีค่าต่ำจะทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ อุณหภูมิสูง การทำงานของหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่จะฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยเกิดขึ้นได้รวดเร็วเกินไปซึ่งจะทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ได้ และความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าเป็นสองเท่าของดีเซล ซึ่งความหนืดที่สูงกว่าดีเซลจะสามารถช่วยลดการสูญเสียเชื้อเพลิงในการใช้งานในเครื่องยนต์

2. ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น

โดยศึกษาค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม่า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในเงื่อนไขการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม่าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 1, 2 และ 3 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D1298 ดังแสดงในภาพที่ 25



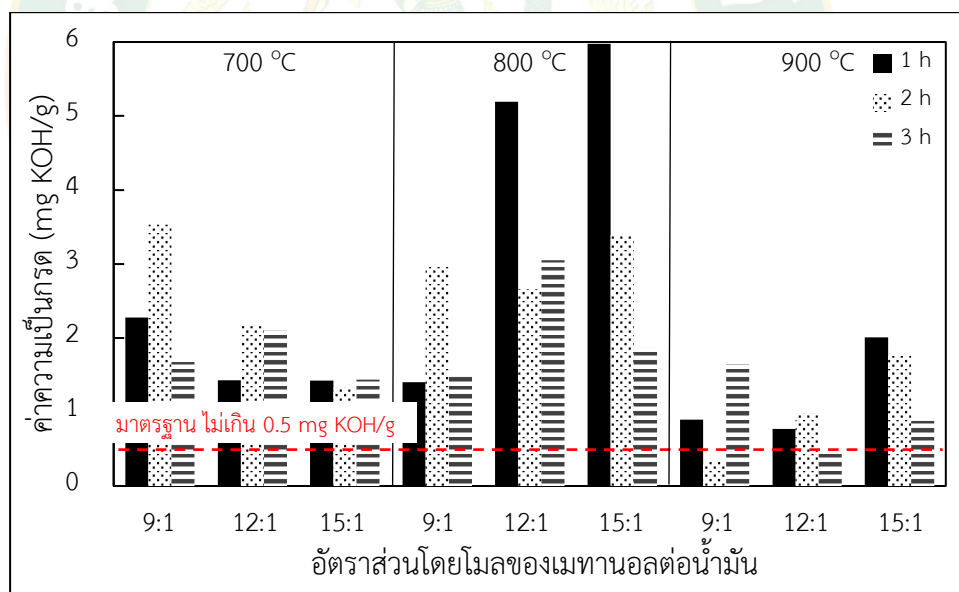
ภาพที่ 25 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น

จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C ตามมาตรฐาน ASTM D1298 ที่มีค่ามาตรฐานในช่วง 860 – 900 kg/m³ โดยไบโอดีเซลที่ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูกุ้ง 5%wt ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2 และ 3 h ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาในเรื่องของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C พบว่าค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 890 – 920 kg/m³ โดยพิจารณาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเดียวกัน จะเห็นได้ว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะมีผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมากที่สุด โดยมีค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 900 kg/m³ ในเงื่อนไขการผลิตที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h ในขณะที่การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 °C จะมีผลของค่าความหนาแน่นเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนด ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นในงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Kaewdaeng and Nirunsin. (2019) ซึ่งกล่าวไว้ว่าการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตจะสามารถช่วยลดปริมาณค่าความหนาแน่นลงได้ และค่าความหนาแน่นเป็นค่าที่ทำให้บ่งบอกถึงผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์และการทำงานของปั๊มเครื่องยนต์ จากคำกล่าวข้างต้นบ่งบอกได้ว่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์และประสิทธิภาพในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ต่างกัน โดยไบโอดีเซลมีค่าความหนาแน่นและประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงกว่าดีเซลเนื่องจากในไบโอดีเซลจะมีองค์ประกอบของออกซิเจน (Luoa et al., 2018) จึงส่งผลให้ออกซิเจนในไบโอดีเซลจะช่วยให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ได้ดีขึ้นทำให้เกิดพลังงาน

ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ นอกจากนี้ความหนาแน่นยังมีผลกระทบต่อค่าความร้อนและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงจะทำให้ค่าความร้อนสูงตาม และความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนพันธะคู่ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกล่าวได้ว่าเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงจะมีสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวจำนวนมาก แต่ที่สามารถลดความหนาแน่นลงได้โดยการเติมสารตกแต่งที่มีความหนาแน่นต่ำลงไป

3. ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด

โดยศึกษาค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุม้า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในเงื่อนไขการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 1, 2 และ 3 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D664 ดังแสดงในภาพที่ 26



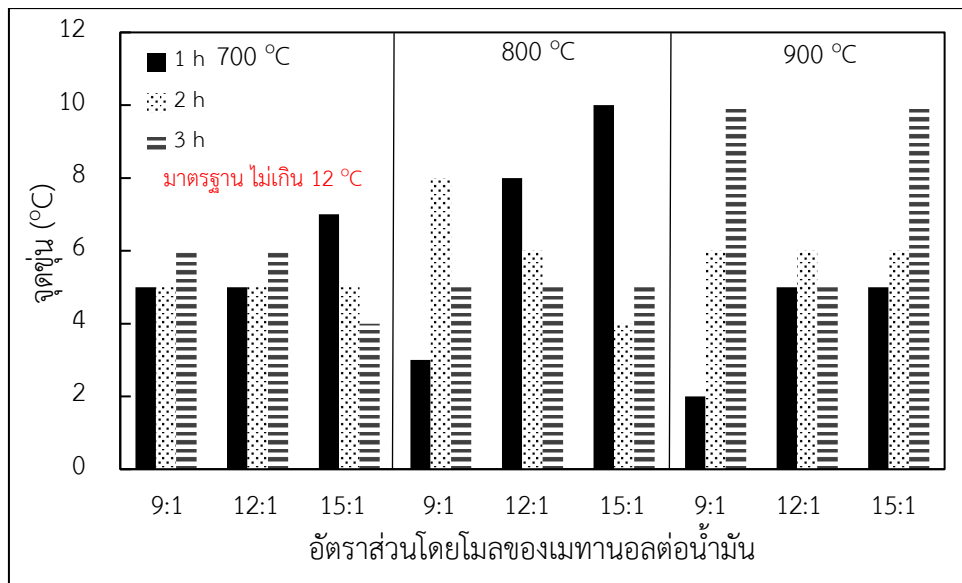
ภาพที่ 26 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดตามมาตรฐาน ASTM D664 ของไบโอดีเซลที่ผลิตจากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C ในปริมาณ 5%wt และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2 และ 3 h พบว่าค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลอยู่ในช่วง 0.33 – 5.98 mg KOH/g เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันและ

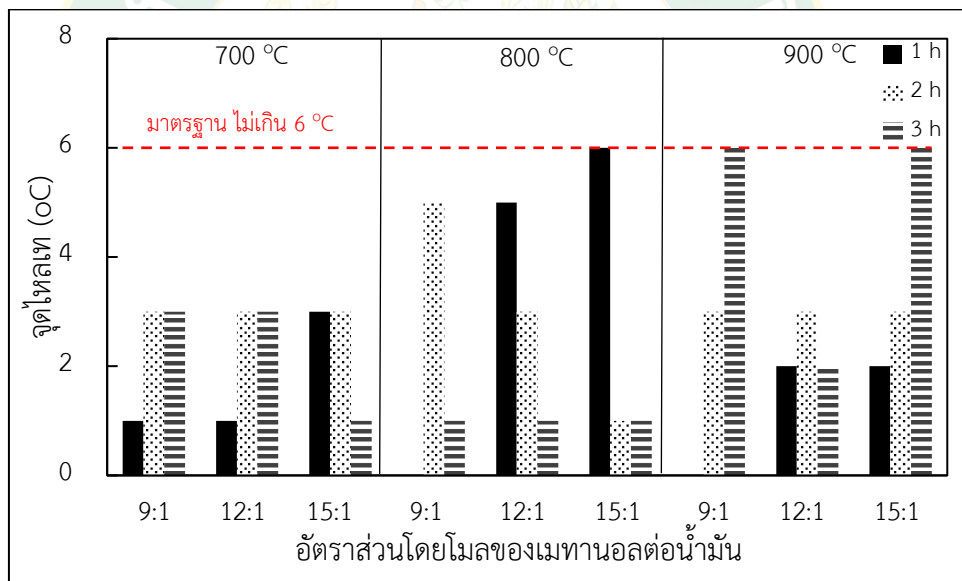
เวลาในการทำปฏิกิริยาเดียวกันกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C จะมีค่าความเป็นกรดเป็นไปตามมาตรฐานมากที่สุด ซึ่งมีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง 0.33 – 2.01 mg KOH/g โดยมีค่ามาตรฐานกำหนดไว้ไม่เกิน 0.5 mg KOH/g แต่เมื่อทำการลดอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาลงที่ 700 °C จะมีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง 1.40 – 5.98 mg KOH/g และ 800 °C จะมีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง 1.33 – 3.53 mg KOH/g จะเห็นได้ว่าปริมาณของค่าความเป็นกรดกลับเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่ามาตรฐานซึ่งส่งผลให้ปริมาณของค่าความเป็นกรดแปรผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเงื่อนไขในการผลิตไบโอดีเซลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาที่อุณหภูมิ 900 °C ปริมาณ 5 %wt เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h สามารถวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดได้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดอยู่ที่ 0.33 mg KOH/g ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Verma & Sharma. (2016) ที่มีค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดจึงได้ทำการทดลองเพื่อลดปริมาณค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล ดังนั้นค่าความเป็นกรดจึงเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ เพราะว่าถ้ามีค่าความเป็นกรดสูงจะทำให้เครื่องยนต์ถูกกัดกร่อน ระบบการจ่ายน้ำมันเกิดการกัดกร่อนและสึกหรองไม่สามารถใช้งานเครื่องยนต์ได้ตามปกติ เครื่องยนต์มีอายุการใช้งานสั้นลง (Zhang et al., 2019) ดังนั้นค่าความเป็นกรดจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเทียบเคียงความเหมาะสมในการนำไปใช้ไบโอดีเซลไปใช้งาน เพื่อป้องกันปัญหาการถูกกัดกร่อนที่จะเกิดขึ้นในเครื่องยนต์จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ไบโอดีเซลที่มีค่าความเป็นกรดที่อยู่ในมาตรฐานกำหนด

4. ผลการวิเคราะห์จุดขุ่น และผลการวิเคราะห์จุดไหลเท

โดยศึกษาจุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมา ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในเงื่อนไขการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 1, 2 และ 3 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยผลการวิเคราะห์จุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D2500 และ ASTM D97 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 27 และภาพที่



ภาพที่ 27 ผลการวิเคราะห์จุดหลอม



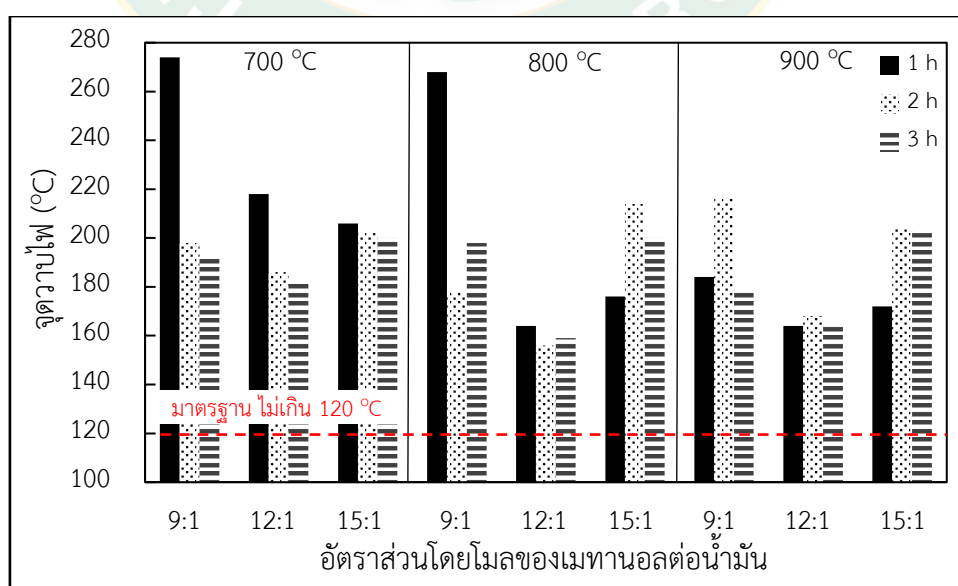
ภาพที่ 28 ผลการวิเคราะห์จุดหลอม

จากการวิเคราะห์จุดหลอมและจุดหลอมของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ตามมาตรฐาน ASTM D2500 ที่มีค่าอยู่ในช่วง (-3) – 12 °C และมาตรฐาน ASTM D97 ที่มีค่าอยู่ในช่วง (-15) – 6 °C ซึ่งจากการทดสอบพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาในอุณหภูมิ 700 °C มีค่าจุดหลอมอยู่ในช่วง 4 – 6 °C และมีค่าจุดหลอมอยู่ในช่วง 1 – 3 °C เมื่อเผาในอุณหภูมิ 800 °C มีค่าจุดหลอมอยู่ในช่วง 3 – 10 °C และมีค่าจุดหลอมอยู่ในช่วง 0 – 6 °C และการเผาในอุณหภูมิ 900 °C มีค่าจุดหลอมอยู่ในช่วง 2 – 10 °C และมีค่าจุดหลอมอยู่ในช่วง 0 – 6 °C เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิการเผา 900 °C จะมีค่าจุดหลอมและจุดหลอมที่เท่ากันทุกเงื่อนไข

การผลิต โดยมีค่าจุดขุ่นและจุดไหลเทใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Monirul et al. (2016) และงานวิจัยของ Boonyuen et al. (2018) ซึ่งมีค่าจุดขุ่นและจุดไหลเทเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งจุดขุ่นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มเป็นไขขัดขวางการไหลของน้ำมันซึ่งทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรองน้ำมันได้และจุดไหลเทบ่งบอกถึงจุดที่อุณหภูมิต่ำสุดที่ไบโอดีเซลเริ่มไม่ไหลหรือไม่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยยังไม่เกิดไขมาขัดขวางการไหล (จิรพัฒน์พงษ์, อมรรัตน และกนกพงษ์, 2560) นอกจากนี้จุดขุ่นและจุดไหลเทควรมีใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานเพื่อทำให้ไบโอดีเซลสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำ เพราะอาจก่อให้เกิดการอุดตันในเครื่องยนต์ได้และก่อให้เกิดปัญหาสำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ในภาวะอากาศเย็น เนื่องจากอากาศเย็นจะทำให้เชื้อเพลิงมีความหนืดสูงมากจนเชื้อเพลิงที่ใช้เกิดการแข็งตัวจนกลายเป็นของแข็ง นอกจากนี้จุดขุ่นและจุดไหลเทของไบโอดีเซลยังมีค่าสูงกว่าดีเซลเสมอจึงทำให้ไบโอดีเซลเกิดการแข็งตัวได้ไวกว่าดีเซล แต่ทว่าปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้โดยการผสมสารเติมแต่งลงไปเพื่อเพิ่มการไหลของไบโอดีเซลให้สามารถใช้งานได้ในพื้นที่อุณหภูมิต่ำ

5. ผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟ

โดยศึกษาจุดวาบไฟของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในเงื่อนไขการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 1, 2 และ 3 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟของไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D93 ดังแสดงในภาพที่ 29

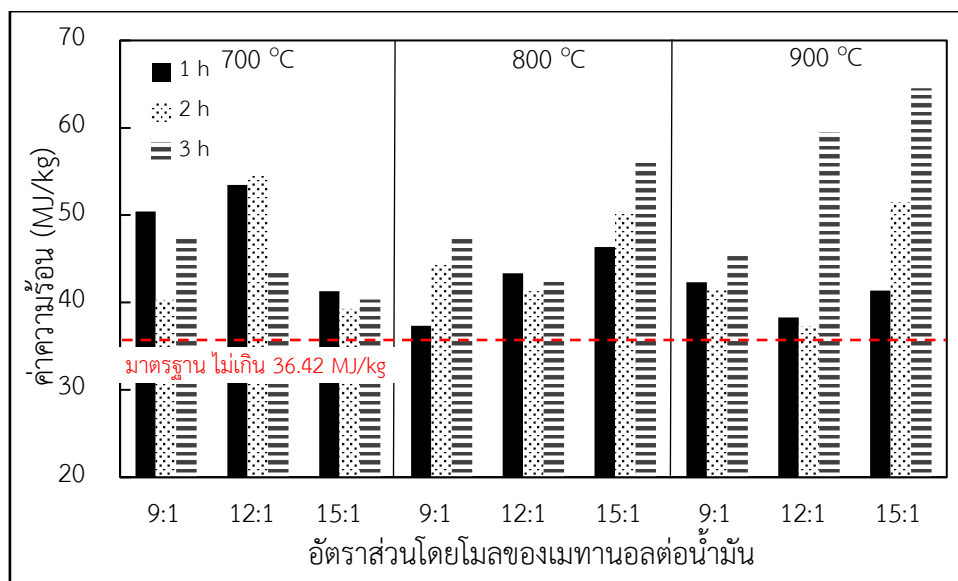


ภาพที่ 29 จุดวาบไฟ

โดยผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟของไบโอดีเซล ตามมาตรฐานของ ASTM D93 ที่กำหนดให้จุดวาบไฟของไบโอดีเซล ไม่ต่ำกว่า 120 °C พบว่า ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาในอุณหภูมิ 700 °C มีค่าจุดวาบไฟอยู่ในช่วง 182 – 274 °C ในส่วนการเผาในอุณหภูมิ 800 °C มีค่าจุดวาบไฟอยู่ในช่วง 156 – 268 °C และการเผาในอุณหภูมิ 900 °C มีค่าจุดวาบไฟอยู่ในช่วง 164 – 216 °C ซึ่งมีผลเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 900 °C จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h เป็นเงื่อนไขในการผลิตไบโอดีเซลที่มีผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟสูงสุดอยู่ที่ 216 °C โดยในงานวิจัยนี้มีค่าจุดวาบไฟใกล้เคียงกับผลในงานวิจัยของ Kaisan et al. (2017) ที่ได้ศึกษาค่าจุดวาบไฟของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันหลากหลายชนิดและไบโอดีเซลทุกชนิดมีค่าจุดวาบไฟไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานรวมทั้งไบโอดีเซลผสมดีเซลต่างก็มีค่าจุดวาบไฟอยู่ในช่วงเดียวกัน จึงสามารถอธิบายได้ว่าค่าจุดวาบไฟเป็นค่าที่ไม่มีผลต่อการนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ แต่เป็นค่าที่ใช้ไว้บ่งบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษา การขนส่งเชื้อเพลิงและการใช้งานสามารถช่วยลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นได้ ซึ่งอุณหภูมิที่ได้จากจุดวาบไฟจะเป็นอุณหภูมิที่ต่ำสุดที่ไบโอดีเซลสามารถลุกติดไฟได้ โดยในทางปฏิบัติแล้วจุดวาบไฟของไบโอดีเซลจะมีค่ามากกว่าดีเซลเสมอ (รวินิภา, พรสิณี และวิทยา, 2557) แต่ในทางกลับกันถ้าจุดวาบไฟที่ได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานอาจจะทำให้เกิดการระเบิดในเครื่องยนต์ได้ เนื่องจากในกระบวนการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์เกิดการกำจัดแอลกอฮอล์ออกจากไบโอดีเซลไม่หมด แอลกอฮอล์ที่ยังผสมอยู่ในไบโอดีเซลจะส่งผลให้การลุกติดไฟเกิดได้เร็วขึ้น นอกจากนี้การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชมีค่าจุดวาบไฟมากกว่าไบโอดีเซลจากไขมันสัตว์ (Rashid and Anwar, 2008)

6. ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน

โดยศึกษาค่าความร้อนของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในเงื่อนไขการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยาในช่วง 1, 2 และ 3 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D4809 ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน

จากการวิเคราะห์ค่าความร้อนของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปอไม้ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C ในปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 5%wt ในอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ในเวลาการทำปฏิกิริยา 1, 2 และ 3 h เมื่อทำการพิจารณาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C พบว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 39.27 – 54.59 MJ/kg, 37.33 – 56.42 MJ/kg และ 37.29 – 64.54 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ASTM D4809 โดยมีค่ามาตรฐานเท่ากับ 36.42 MJ/kg เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 900 °C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 15:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 h เป็นเงื่อนไขที่มีค่าความร้อนมากที่สุด ซึ่งค่าความร้อนเป็นค่าที่ใช้วัดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยจะส่งผลโดยตรงต่อการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ค่าความร้อนของไบโอดีเซลที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสัดส่วนไบโอดีเซลที่ใช้ในการผลิต เพราะว่าไบโอดีเซลมีองค์ประกอบของออกซิเจนเป็นหลัก ซึ่งแตกต่างจากดีเซลที่มีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนเป็นหลัก องค์ประกอบของออกซิเจนในไบโอดีเซลจะมีแนวโน้มที่ถูกออกซิไดซ์หรือเผาไหม้ได้ง่ายมากขึ้นจึงสามารถช่วยลดพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ (Linus et al., 2011) และไบโอดีเซลมีค่าความร้อนสูงแสดงถึงเชื้อเพลิงมีคุณภาพดีต่อการนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ เพราะจะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้งานด้วยดีเซล เนื่องจากดีเซลมีค่าความร้อนสูงมากและสูงกว่าไบโอดีเซลจึงทำให้เกิดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงตามด้วย (ศุภิสรา และคณะ, 2559) แต่เมื่อมีการผสมไบโอดีเซลกับดีเซลจึงทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น

เมื่อเทียบกับค่าความร้อนของไบโอดีเซล ดังนั้นค่าความร้อนจึงเป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญมากเพราะจะส่งผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไบโอดีเซลและยังส่งผลต่อสมบัติอื่น ๆ ด้วย

7. สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

จากการผลิตไบโอดีเซลในเงื่อนไขต่าง ๆ ข้างต้นจึงได้มีการวิเคราะห์เงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า เพื่อใช้เป็นปัจจัยในการทดลองการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำและการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ทางการเกษตร โดยผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตได้ปริมาณสูงบางเงื่อนไขมีสมบัติไบโอดีเซลเกิดกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการนำผลการวิเคราะห์ด้านผลผลิตไบโอดีเซลและสมบัติไบโอดีเซลมาใช้เป็นปัจจัยในการสรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลในการศึกษาครั้งนี้ โดยมีเงื่อนไขที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลที่อุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 700, 800 และ 900 °C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1, 12:1 และ 15:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2 และ 3 h ซึ่งได้ข้อสรุปในการผลิตไบโอดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

รายการ	เงื่อนไขในการผลิต
อุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา	900 °C
อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน	9:1
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา	5%wt
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา	2 h
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	65 °C

ผลการวิเคราะห์การนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้ามาใช้ซ้ำ

ในการทดลองการวิเคราะห์การนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้ามาใช้ซ้ำ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 h ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยทำการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลได้รับการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D1298 ค่าความหนืด ตามมาตรฐาน ASTM D445 ค่าความเป็นกรด ตามมาตรฐาน ASTM D664 และจุดวาบไฟ ตามมาตรฐาน ASTM D93 โดยผลการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ไบโอดีเซลจากการนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุมมาใช้ซ้ำ

ครั้งที่	ผลผลิตไบโอดีเซล (%)	ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)	ค่าความหนืด (cSt)	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	จุดวาบไฟ (°C)
1	83.75	900	6.69	0.33	195
2	77.84	900	6.91	0.56	179
3	70.84	910	8.32	0.90	162

จากการนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุมมาใช้ซ้ำ โดยการผลิตไบโอดีเซลที่เงื่อนไขอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิ 65 °C พบว่า การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำสามารถใช้ซ้ำได้ถึง 3 ครั้ง โดยในการผลิตไบโอดีเซลจากการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำจะส่งผลทำให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลลดน้อยลงและสมบัติของไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่ามาตรฐานกำหนดเมื่อใช้ซ้ำกันหลายครั้ง อาจเป็นผลมาจากการทำความสะอาดตัวเร่งปฏิกิริยาในการนำกลับมาใช้ซ้ำ โดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปแช่ในเมทานอลเพื่อกำจัดกลีเซอรอลที่ตกค้างอยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอลอาจจะกำจัดกลีเซอรอลออกไปไม่หมดทำให้เกิดการปกคลุมและเคลือบบนพื้นผิวสัมผัสของตัวเร่งปฏิกิริยาจนเกิดการรวมตัวกันของแคลเซียมออกไซด์กับกลีเซอรอลจนกลายเป็นแคลเซียมไกลเซอไรด์ (Ca-glyceroxide) ถึงแม้ว่าแคลเซียมไกลเซอไรด์จะยังคงมีประสิทธิภาพที่ดีในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน แต่ก็มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแคลเซียมออกไซด์ จึงส่งผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสหรือ active site ไม่สามารถเกิดการเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตได้ (Chen et al., 2014) (Roschat et al., 2016) ด้วยเหตุนี้การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำจึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดลง แต่ในทางกลับกันการศึกษาก่อนการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำจะเป็นการช่วยแก้ไขผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการผลิต เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์มีลักษณะเป็นของแข็งจึงสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้และจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมาก ในขณะที่การผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันพบว่ามีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้นและเป็นกระบวนการผลิตที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (วุฒิชัย และจาณียา, 2561) ซึ่งผลของการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khemthong et al. (2012) ที่ได้ทำการศึกษาก่อนการนำตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์กลับมาใช้ใหม่ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากเปลือกไข่ จากการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากเปลือกไข่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 5 ครั้ง โดยไม่ส่งผลต่อโครงสร้างและรูปร่างของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำกลับมาใช้ยังคงรักษาปริมาณของแคลเซียมออกไซด์

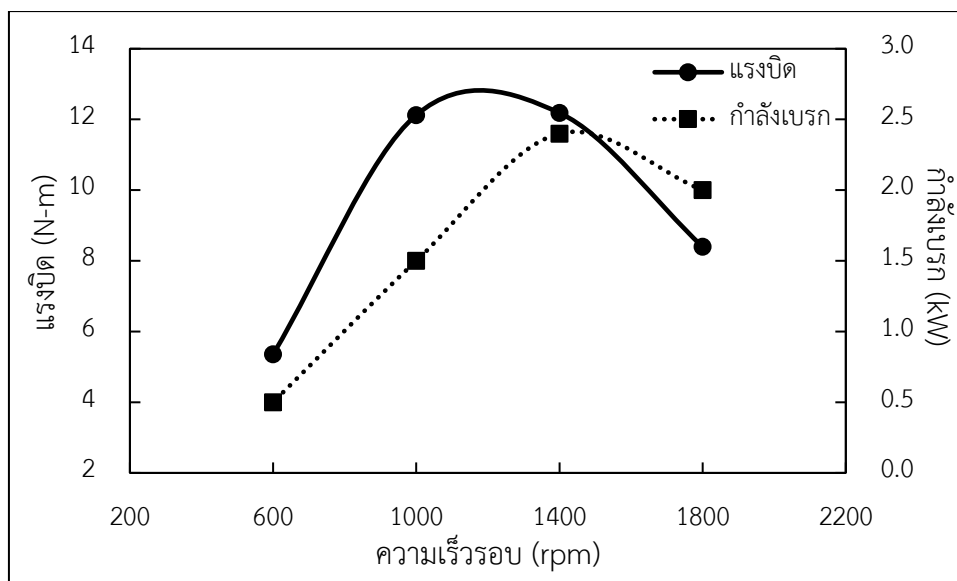
ในตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ได้หลังจากการนำกลับมาใช้ใหม่หลายครั้ง ซึ่งส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์มีศักยภาพสูงในการนำกลับมาใช้ใหม่

ผลการวิเคราะห์การใช้งานไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ทางการเกษตร

ในการทดลองการวิเคราะห์การใช้งานไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ทางการเกษตร โดยใช้ไบโอดีเซลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐุมาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 h ที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิ 65 °C โดยมีปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลอยู่ที่ 80.40% โดยใช้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 600, 1,000, 1,400 และ 1,800 rpm และเปรียบเทียบการใช้งานในเครื่องยนต์ระหว่างไบโอดีเซลที่ผลิตได้กับดีเซล B10 (ตามท้องตลาด) ซึ่งทำการวิเคราะห์แรงบิด (Torque) กำลังเบรก (Brake power) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel consumption) และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption) เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบการใช้ไบโอดีเซลในการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรขนาดเล็กแบบ 4 จังหวะ 1 ลูกสูบ ระบายความร้อนด้วยอากาศ แบบหัวฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง ยี่ห้อ All Power รุ่น 186 F/E ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เท่ากับ 600, 1,000, 1,400 และ 1,800 rpm ตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 15550-2002: International Combustion Engine Determination and Method for the Measurement of Engine Power (ISBGS, 2002) โดยผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ ประกอบด้วย แรงบิด (Torque), กำลังเบรก (Brake Power) และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 31

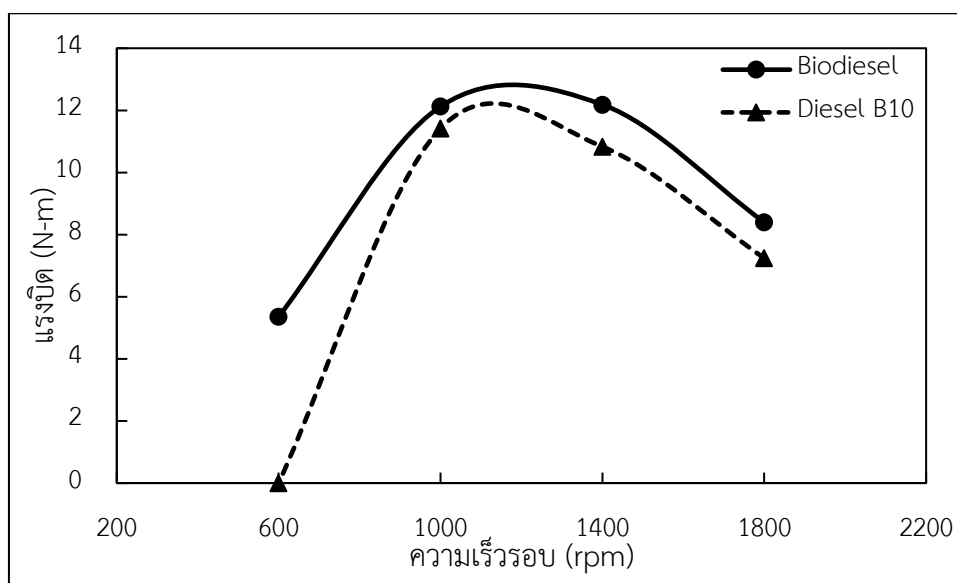


ภาพที่ 31 ค่าแรงบิดและกำลังเบรคของการใช้งานไบโอดีเซลในเครื่องยนต์

2. ผลการวิเคราะห์ของความเร็รรอบที่มีผลต่อแรงบิดของเครื่องยนต์

ผลการวิเคราะห์แรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อ น้ำมันพืชใช้แล้ว 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปอุน้ำที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 h ที่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิ 65 °C จากการทดสอบ ความเร็รรอบของเครื่องยนต์ที่ 600, 1,000, 1,400 และ 1,800 rpm ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ของ ความเร็รรอบที่มีผลต่อแรงบิดของเครื่องยนต์ ดังแสดงในภาพที่ 32 จากการทดสอบพบว่าการใช้ ความเร็รรอบที่ 600 rpm ทำให้มีแรงบิดอยู่ที่ 5.36 N-m ในขณะที่แรงบิดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่าง ต่อเนื่องเมื่อเพิ่มความเร็รรอบของเครื่องยนต์ให้อยู่ระหว่าง 1,000 – 1,400 rpm ซึ่งมีค่าแรงบิดอยู่ ในช่วง 12.13 – 12.18 N-m แต่เมื่อเพิ่มความเร็รรอบให้สูงขึ้นถึง 1,800 rpm กลับทำให้แรงบิดมี แนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากความเร็รรอบที่สูงขึ้นส่งผลให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีค่าสูง เช่นเดียวกันจึงส่งผลกระทบต่อทำให้แรงบิดมีค่าลดน้อยลง ดังนั้นเมื่อความเร็รรอบคงที่แรงเสียดทานที่ เกิดขึ้นจะมีค่าคงที่เช่นกัน (อัคมพงษ์ และไกรสร, 2563) แต่แรงบิดที่เกิดขึ้นในความเร็รรอบนี้ยังมีค่า มากกว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นจากความเร็รรอบเริ่มต้น (600 rpm) นอกจากนี้แรงบิดที่ได้ในงานวิจัยนี้มีค่า ไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ ชัยณรงค์, ฐิติมา และนิโรจน์, (2016) โดยกล่าวว่าการที่แรงบิดมี ค่าสูงเป็นผลมาจากไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าความหนาแน่นและความหนืดสูงทำให้แรงบิดที่ได้มีค่าสูง ด้วยเช่นกัน เชื้อเพลิงที่ให้แรงบิดสูงก็จะมีอัตราเร่งดีกว่าเชื้อเพลิงที่ให้แรงบิดต่ำ เมื่อศึกษาผลการ วิเคราะห์จะทำให้ทราบว่าการทำงานของไบโอดีเซลมีค่าแรงบิดเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลกระทบมาจากแรงเสียดทานที่ เกิดขึ้นในเครื่องยนต์มีค่าลดต่ำลง การที่ไบโอดีเซลมีแรงบิดสูงในความเร็รรอบต่ำจะทำให้การออกตัว

และอัตราเร่งช่วงต้นดี แต่ถ้าแรงบิดสูงในความเร็วรอบสูงจะทำให้อัตราเร่งดีในช่วงขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูง โดยในงานวิจัยนี้มีแรงบิดสูงที่สุดอยู่ที่ 12.18 N-m ในความเร็วรอบที่ 1,400 rpm เมื่อพิจารณาค่าแรงบิดในเครื่องยนต์ระหว่างไบโอดีเซลกับดีเซล B10 จะพบว่าดีเซล B10 มีแรงบิดอยู่ที่ 10.83 N-m ในความเร็วรอบเดียวกัน ซึ่งทำให้การใช้งานไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จะมีค่าแรงบิดมากกว่าการใช้ดีเซล B10 ซึ่งพบว่าเชื้อเพลิงที่ให้แรงบิดสูงจะมีอัตราเร่งในเครื่องยนต์ดีกว่าเชื้อเพลิงที่ให้แรงบิดต่ำ

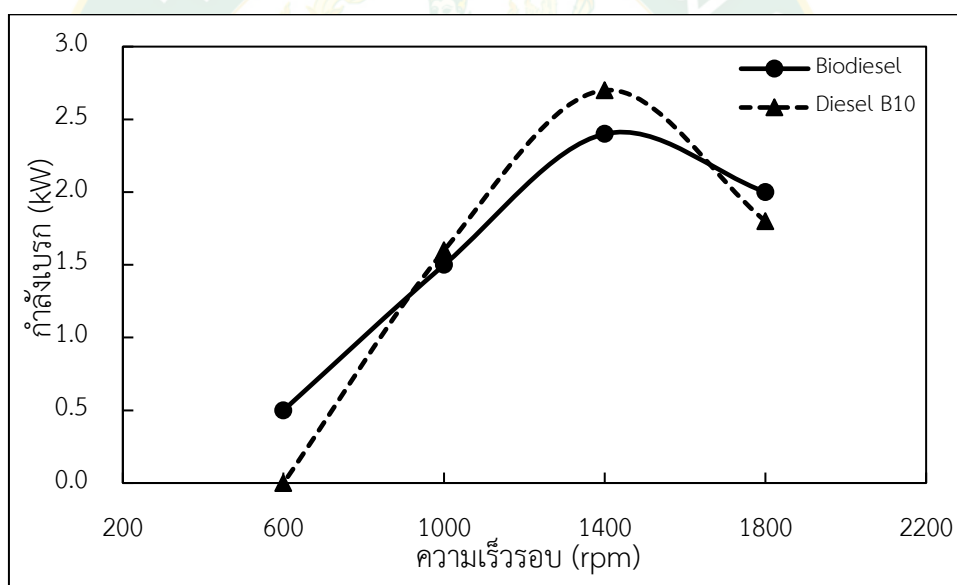


ภาพที่ 32 ผลการวิเคราะห์แรงบิดของเครื่องยนต์

3. ผลการวิเคราะห์ของความเร็วรอบที่มีผลต่อกำลังเบรกของเครื่องยนต์

ผลการวิเคราะห์กำลังเบรกของเครื่องยนต์โดยใช้ไบโอดีเซลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 h ที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิ 65 °C จากการทดสอบความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 600, 1,000, 1,400 และ 1,800 rpm ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ของความเร็วรอบที่มีผลต่อกำลังเบรกของเครื่องยนต์ ดังแสดงในภาพที่ 33 เมื่อทำการทดสอบพบว่าผลของกำลังเบรกที่ได้จากการทดสอบการใช้งานไบโอดีเซลในเครื่องยนต์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับแรงบิดที่ได้ทำการศึกษาไปแล้วในช่วงต้น เนื่องจากค่าของกำลังเบรกมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงอย่างต่อเนื่อง เมื่อถึงความเร็วรอบสูงที่สุด (1,800 rpm) กำลังเบรกกลับมีอัตราการลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูง จะทำให้เกิดแรงเสียดทานในเครื่องยนต์มากจึงทำให้แรงบิดที่ได้มีค่าลดน้อยลงส่งผลกระทบต่อกำลังเบรกในเครื่องยนต์จะมีค่าลดน้อยลงตามด้วยเช่นกัน (อัคขพงศ์ และไกรสร, 2563) แต่ในความเร็วรอบที่ 600 – 1,400 rpm กำลังเบรกที่ได้มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างมี

นัยสำคัญ เนื่องจากกำลังเบรคจะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องเมื่อมีการเพิ่มความเร็วยกให้สูงขึ้นเช่นกัน โดยค่าของกำลังเบรคที่เพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วง 0.5 – 2.4 kW โดยผลที่ได้ในงานวิจัยนี้มีค่าของกำลังเบรคใกล้เคียงกันกับงานวิจัยของ คุณานนต์ และเกียรติฟา, (2556) โดยกล่าวไว้ว่ากำลังเบรคมีค่าแปรผันตรงกับแรงบิด เมื่อแรงบิดมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังเบรคมีค่าเพิ่มขึ้นเหมือนกัน แต่ถ้าแรงบิดมีค่าลดลง กำลังเบรคจะมีค่าลดลงตามด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบงานวิจัยข้างต้นกับงานวิจัยที่ได้ทำการทดลองในครั้งนี้สามารถทราบได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังเบรคที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วยกในการใช้งานและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทำงานอีกด้วย เมื่อพิจารณาการใช้งานในเครื่องยนต์ระหว่างไบโอดีเซลกับดีเซล B10 ในความเร็วยกที่ 1,400 rpm โดยกำลังเบรคของไบโอดีเซลและดีเซล B10 มีค่าอยู่ที่ 2.4 และ 2.7 kW ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังเบรคของไบโอดีเซลจะมีค่าน้อยกว่าดีเซล B10 โดยจุดที่มีค่ากำลังเบรคมากที่สุดเป็นจุดที่เกิดขึ้นหลังจากเครื่องยนต์สามารถชนะภาระโหลดที่มากกระทำกับเครื่องยนต์ได้

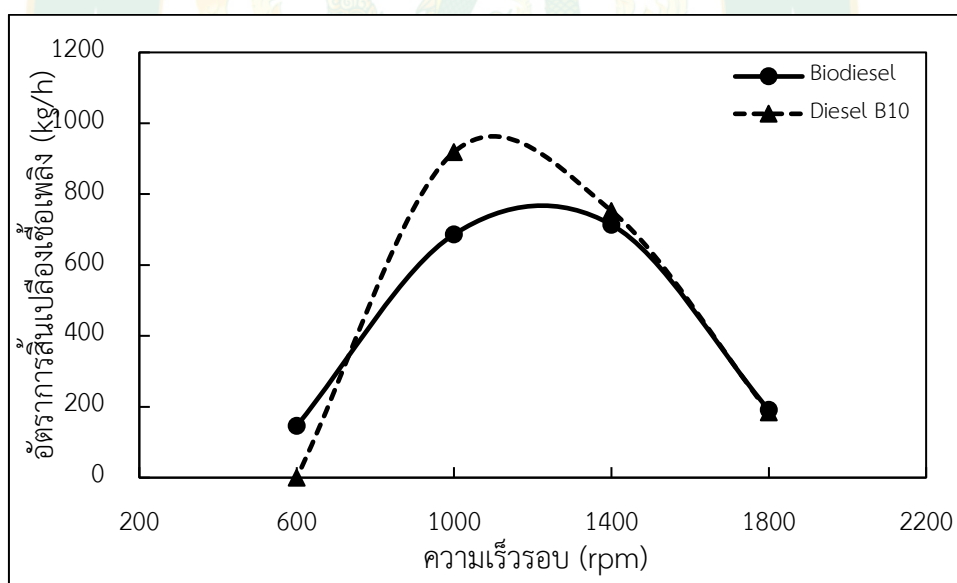


ภาพที่ 33 ผลการวิเคราะห์กำลังเบรคของเครื่องยนต์

4. ผลการวิเคราะห์ของความเร็วยกที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

ผลการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์โดยใช้ไบโอดีเซลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 h ที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิ 65 °C จากการทดสอบความเร็วยกของเครื่องยนต์ที่ 600, 1,000, 1,400 และ 1,800 rpm ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ของความเร็วยกที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ดังแสดงในภาพที่ 34 จากการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงพบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีลักษณะของการ

แสดงผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการแสดงผลของแรงบิด โดยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ได้อยู่ในช่วง 145.99 – 713.79 kg/h เมื่อพิจารณาความเร็รรอบในเครื่องยนต์จะเห็นได้ว่าที่ความเร็รรอบ 6000 – 1,400 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มความเร็รรอบให้สูงขึ้นกลับทำให้ผลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นลดน้อยลง เนื่องมาจากเพิ่มความเร็รรอบให้สูงขึ้นทำให้เครื่องยนต์มีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นในระบบด้วยเช่นกัน จึงจำเป็นต้องจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่กระบอกสูบในปริมาณมากขึ้นเพื่อลดทอนแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น อากาศถูกอัดเข้ากระบอกสูบลดน้อยลงจึงทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงไปด้วยเช่นกัน (อนุตร, 2550) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงโดยเฉพาะเชื้อเพลิงที่มีค่าความหนืดสูงและค่าความร้อนต่ำจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วยเช่นกัน (Öner and Altun, 2009) โดยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงสุดของไบโอดีเซลอยู่ที่ 713.79 kg/h ในความเร็รรอบ 1,400 rpm และเมื่อพิจารณาการใช้งานดีเซล B10 ในเครื่องยนต์ที่ความเร็รรอบเดียวกัน ดีเซล B10 มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ 752.72 kg/h ซึ่งในความเร็รรอบนี้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลและดีเซล B10 อยู่ในช่วงเดียวกัน

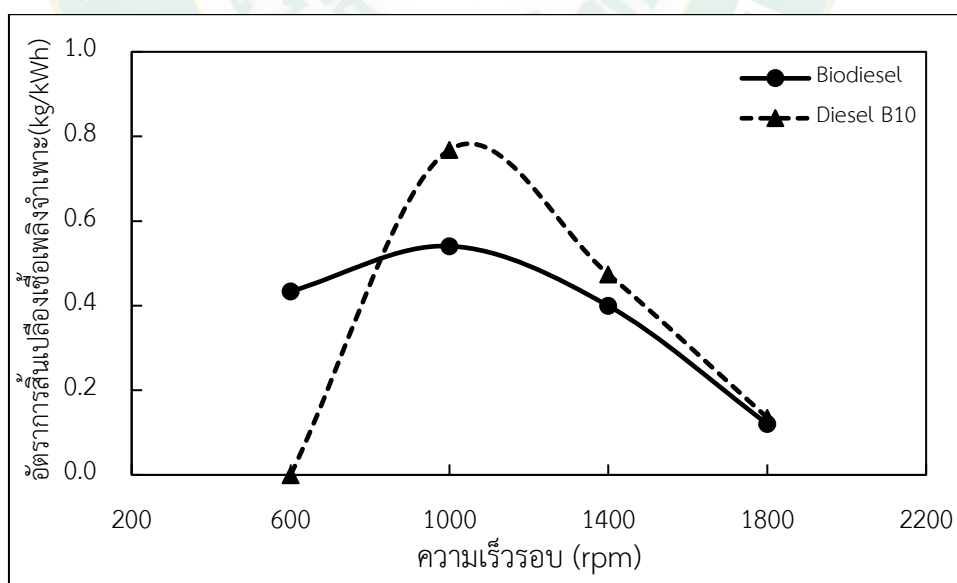


ภาพที่ 34 ผลการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

5. ผลการวิเคราะห์ของความเร็รรอบที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์

ผลการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์โดยใช้ไบโอดีเซลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปอุน้ำที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 h ที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt ในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่

อุณหภูมิ 65 °C จากการทดสอบความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 600, 1,000, 1,400 และ 1,800 rpm ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ของความเร็วรอบที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ ดังแสดงในภาพที่ 35 พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีผลการวิเคราะห์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงบิดและกำลังเบรก เนื่องจากในความเร็วรอบที่ 600 – 1,000 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบในเกินกว่า 1,000 rpm กลับทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง ด้วยความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากในการเพิ่มความเร็วรอบทำให้ภาระโหลดที่เกิดขึ้นคงที่ แต่แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์กลับมีค่ามากขึ้นกว่าเดิมและหัวฉีดจ่ายเชื้อเพลิงเกิดการทํางานมากขึ้นกว่าเดิม อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจึงมีค่าลดลง (คุณานนท์, กัมพล และตั้งเฮง, 2559) โดยในความเร็วรอบที่ 1,000 rpm เป็นความเร็วรอบที่มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.54 kg/kWh ซึ่งมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสอดคล้องกับงานวิจัยของ คงเดช และคณะ. (2562) โดยกล่าวว่าความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นมีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เนื่องจากจะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลง ดังนั้นเมื่อทำการพิจารณาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของการใช้ไบโอดีเซลและดีเซล B10 ในเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบเดียวกัน (1,000 rpm) ซึ่งดีเซล B10 มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่าไบโอดีเซล 0.30% ทั้งนี้การใช้งานจริงต้องทำการทดลองใช้กับเครื่องยนต์อย่างต่อเนื่องเพื่อศึกษาการสึกหรอต่าง ๆ ที่เกิดจากการใช้งานไบโอดีเซลต่อไปในอนาคต



ภาพที่ 35 ผลการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 h ในอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 9:1, 12: และ 15:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1-5%wt เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 1-3 h และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 °C ซึ่งได้ทำการแบ่งสรุปผลการทดลองออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันพืชใช้แล้ว ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลและสมบัติของไบโอดีเซล ส่วนที่ 4 การวิเคราะห์การนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้ามาใช้ซ้ำ และส่วนที่ 5 การวิเคราะห์การใช้งานไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ทางการเกษตร โดยสามารถสรุปผลการทดลอง ดังนี้

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า โดยการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้าอยู่ที่ 900 °C เป็นเวลา 4 h เมื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้ามีลักษณะเป็นผงละเอียดมากขึ้น ผิวสัมผัสบางเบา ลักษณะคล้ายเนื้อแป้ง มีสีขาวขุ่น เนื่องจากสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ภายในเปลือกปุม้าเกิดการสลายตัว ส่วนลักษณะทางเคมีพบว่า มีปริมาณธาตุแคลเซียมและแคลเซียมออกไซด์อยู่ที่ 48.34%wt และ 75.21%wt ตามลำดับ อีกทั้งตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะการกระจายตัวอย่างต่อเนื่องไม่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ส่งผลให้ขนาดของอนุภาคเล็กลง ลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุนกระบอกขนาดสั้น ๆ มีจำนวนรูพรุนในโครงสร้างของอนุภาคจำนวนมาก และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก โดยมีค่าพื้นที่ของอนุภาค เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค พื้นที่ของรูพรุน และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนอยู่ที่ $463.97 \pm 147.24 \mu\text{m}^2$, $26.28 \pm 3.80 \mu\text{m}$, $1.25 \pm 0.58 \mu\text{m}^2$, และ $1.34 \pm 0.42 \mu\text{m}$ ตามลำดับ

2. การศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันพืชใช้แล้ว พบว่า น้ำมันพืชใช้แล้วจากครัวเรือนมีลักษณะเป็นสีเหลืองเข้ม ใสไม่ขุ่น ไม่มีเศษตะกอนเจือปน เมื่อศึกษาค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว มีค่าเท่ากับ 0.94% นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด ค่าความเป็นกรดและค่า pH ของน้ำมันพืชใช้แล้ว มีค่าเท่ากับ 910 kg/m^3 , 41.78 cSt,

2.53 mg KOH/g และ pH 6 ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้น้ำมันพืชใช้แล้วที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการปรับสภาพความเป็นกรดของน้ำมันก่อน

3. การศึกษาปริมาณผลผลิตและสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เปลือกปฐมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาที่อุณหภูมิการเผา 900 °C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล โดยสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงถึง 80.40% ซึ่งทำการศึกษาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมา 5%wt เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h ที่อุณหภูมิ 65 °C เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ซึ่งมีค่าเป็นไปตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน โดยมีค่าความหนืด 6.63 cSt, ความหนาแน่น 900 kg/m³, ค่าความเป็นกรด 0.33 mg KOH/g, จุดขุ่น 6 °C, จุดไหลเท 3 °C, จุดวาบไฟ 216 °C, จุดติดไฟ 220 °C และค่าความร้อน 41.37 MJ/kg ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมาซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบบิวริวิธพันธุ์สามารถช่วยลดขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ทำให้สามารถลดปริมาณน้ำเสียจากการผลิต ลดปริมาณการใช้สารเคมีและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งโดยตรงและโดยอ้อม

4. การวิเคราะห์การนำตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมามาใช้ซ้ำ ซึ่งทำการศึกษาในเงื่อนไขที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปฐมา 5%wt เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h ที่อุณหภูมิ 65 °C พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซลได้ถึง 3 ครั้ง โดยในการผลิตไบโอดีเซลจากการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำจะส่งผลทำให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลลดน้อยลงและสมบัติของไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่ามาตรฐานกำหนดเมื่อใช้ซ้ำ อาจเป็นผลมาจากกระบวนการทำความสะอาดตัวเร่งปฏิกิริยาและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา

5. การศึกษาการใช้งานไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรขนาดเล็ก ทำให้ทราบได้ว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ได้จริง เนื่องจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์พบว่าเมื่ออัตราการเพิ่มขึ้นของแรงบิดที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยสามารถทดสอบค่าแรงบิดได้สูงที่สุดอยู่ที่ 12.18 N-m ในขณะที่ผลของการทดสอบกำลังเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีผลไปในทิศทางเดียวกันกับแรงบิดที่กล่าวไปแล้วข้างต้น โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มความเร็วรอบให้สูงขึ้น แต่เมื่อกำลังเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าสูงสุดแล้วเมื่อเพิ่มความเร็วรอบให้สูงขึ้นอีกกลับทำให้ค่าของกำลังเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดน้อยลง ซึ่งกำลังเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ทดสอบได้ค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.4 kW และ 713.79 kg/h นอกจากนี้ผลของแรงบิด กำลังเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ได้กล่าวไปข้างต้นเป็นผลมาจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้ความเร็วรอบที่ 1,400 rpm ซึ่งสามารถอธิบายได้อีกว่าความเร็วรอบนี้เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานไบโอดีเซลที่

ผลิตได้ในงานวิจัยนี้ในเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรขนาดเล็ก เนื่องจากความเร็วรอบเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่บ่งบอกถึงลักษณะการนำเชื้อเพลิงไปใช้งานในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ โดยพบว่าที่ความเร็วรอบ 1,400 rpm มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ที่ 0.40 kg/kWh ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มความเร็วรอบทำให้ภาระโหลดที่เกิดขึ้นคงที่ แต่แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์กลับมีค่ามากขึ้นกว่าเดิมอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่เกิดขึ้นจึงมีค่าน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามค่าของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ได้ไม่ได้ส่งผลเสียต่อการใช้งานในเครื่องยนต์แต่อย่างใด ดังนั้นผลจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้งานไปโอตดีเซลที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรขนาดเล็กที่ทำการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาวัสดุที่จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิถีพ่นรู้อย่างละเอียด โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้และปัญหาที่พบเจอ
2. ควรศึกษาเทคนิคในการนำตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากอุปกรณ์การผลิต เพื่อป้องกันการอุดตันของอุปกรณ์และยังสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำได้อีก
3. ควรคำนึงถึงความเป็นไปได้และต้นทุนในการผลิต เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาและการผลิตไบโอดีเซล
4. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเผาที่อุณหภูมิสูงและส่งเสริมในพื้นที่ที่มีการใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยา
5. ควรมีการวิเคราะห์มลพิษที่ปลดปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์จากการใช้งานไบโอดีเซลที่ผลิตได้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการใช้งานพลังงานทดแทนแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

บรรณานุกรม

- กฤตวัฒน์ โตเจริญ, อาทิตยา วัฒนะไมตรี และ จิรายุ แม้นนิล. 2560. การศึกษาสมรรถนะของ เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลและการระเหยเอทานอลในโหมดเชื้อเพลิงร่วม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์ , มหาวิทยาลัยบูรพา.
- กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนด คุณลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556. แหล่งที่มา <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/E/158/15.PDF> (7 มกราคม 2563)
- กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. โครงการวิจัย สาธิต และพัฒนาการใช้ไบโอดีเซล ชุมชนเพื่อลดต้นทุนการผลิต. แหล่งที่มา <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/Binder1final.pdf> (7 มกราคม 2563)
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงาน ทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 (AEDP2015). แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/aedp> (9 มกราคม 2563)
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2562. สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม - กันยายน 2562. แหล่งที่มา https://www.dedo.go.th/download/stat62/frontpage_jan_sep_62.pdf (8 มกราคม 2563)
- คงเดช พะสีนาม, ธันวมาส กาศสนุก, เกียรติศักดิ์ นิคมชัยประเสริฐ และวีรชัย อัจหาญ. 2562. การศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล. PSRU Journal of Science and Technology, 4(1), 28-38.
- คุณานนต์ ศักดิ์กำปัง และ เกียรติฟา ตั้งใจจิต. 2556. การศึกษาสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันไก่. วารสารวิจัย มข. ปีที่ 18 ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม - สิงหาคม), 616-627.
- คุณานนต์ ศักดิ์กำปัง, กัมพล นันทจักร และ ตั้งเฮง ยนต์สถิตกุล. 2559. การศึกษาสมรรถนะและการ ปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันไก่ผสมน้ำมันปาล์มดิบเป็น เชื้อเพลิง. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 8(1), 71-80.

- จักรพงษ์ ไชยบุรี และ พนิดา สุมานะตระกูล. 2556. การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดองปลาหมึก. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 18(2), 1-7.
- จิตติมา เจริญพานิช. 2557. การหาวัสดุค้ำจุนราคาถูกสำหรับตรึงรูปเอนไซม์ไลเปสชอบอุณหภูมิสูงและบนตัวทำละลายอินทรีย์จาก *Acinetobacter baylyi* เพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล. รายงานวิจัยงบประมาณเงินแผ่นดิน มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ชัยณรงค์ หล่มช่างคำ, จิตติมา แก่นท้าว และนิโรจน์ วงศ์เมืองแก่น. 2016. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลของไบโอดีเซลจากเมล็ดกระทิง. Journal of Energy and Environment Technology, 3(1), 21-28.
- นันทิรา หงษ์ศรีสุวรรณ. 2560. อันตรายจากน้ำมันทอดซ้ำ. RMUTP Research Journal, 9(1), 163-175.
- ปิยรัตน์ศิริ พันธุ์จันทร์. 2556. การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันโดยใช้ตัวเร่งจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการเตรียมอนุพันธ์ของกลีเซอรอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พิชยาภรณ์ สิงห์รัญ. 2561. การผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเถ้าชีวมวล สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- พัทธนันท์ ภูสกุล. 2554. ศึกษาการใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล โดยมีการป้อนกลับแอลกอฮอล์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2548. คุยเฟื่องเรื่องวิทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 20 ฉบับที่ 3, 12-16.
- พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และลลิตา อัตนโก. 2558. รอบรู้เรื่องราวไบโอดีเซล. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.).
- มนทกานติ ท้ามดิน, สุพิศ ทองรอด, จีรรัตน์ เกื้อแก้ว และสิริพร ลือชัย ชัยกุล. 2555. การตอบสนองของลูกปูม้า (*Portunus pelagicus*, Linnaeus 1758) ต่อแร่ธาตุรวมระดับสูงในอาหาร. แหล่งที่มา https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20170301080401_file.pdf (14 มกราคม 2563)
- รวินภา ศรีมูล, พรสิณี ดาราพงษ์ และ วิทยา คณาวงษ์. 2557. การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระทิงเพื่อผลิตไบโอดีเซล. วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ, 2(2), 131-138.
- วุฒิชัย รสชาติ และจาณิยา ชันชะลี. 2561. กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยแครงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประหยัดและเป็นมิตรกับ

- สิ่งแวดลอม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน), 94-106.
- ศศิกันต์ ปานปราณีเจริญ, เสาวภา ชูมณี, วิไลพร ปองเพียร, รุจิรา คุ่มทรัพย์และนันทรักษ์ รอดเกต. 2561. Journal of Science & Technology Phetchabun Rajabhat University, 3(1), 1-12.
- ศศิประภา แก้วแดง. 2560. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เปลือกหอยขมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ศิริวัฒนา ทัทสนธ์. 2556. การผลิตไบโอดีเซลจากเปลือกทิวมะพร้าว โดยใช้ CaO จากเปลือกหอยแครงและเปลือกปูทะเลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวเคมี. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศุภิสรา พรราวพันธุ์, สุรียา พันธโกศล, แก้วกัญญา สุดประเสริฐ, กรณ์กนก อายุสุข และคณิต กฤษณังกูร. 2556. การประมาณค่าความจุความร้อนของไบโอดีเซล. Journal of Energy and Environment Technology, 3(1), 11-20.
- สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน. 2559. ข้อดีของไบโอดีเซล. แหล่งที่มา http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/adv_disadv.php (29 กรกฎาคม 2564)
- สโรชา เพ็งศรี และสมใจ เพ็งปรีชา. 2555. การกำจัดกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย. การประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 1909-1915.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.). กระทรวงพลังงาน. 2564. สถานการณ์ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ. แหล่งที่มา [http://www.eppo.go.th/index.php/th/petroleum/biofuel/situation-biofuel?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/petroleum/biofuel/situation-biofuel?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1) (2 0 กรกฎาคม 2564)
- สุธิดา คงทอง. 2552. ไคติน-ไคโตซาน. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน), 1-7.
- สุภกร บุญยืน, มณฑา มาลัยทอง, อภิสสิทธิ์ โพธิ์แก้ว, เบญญา เชิดหิรัญกร และอิสรพงษ์ เชื้อสันเทียะ. 2558. การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย. Thai Journal of Science and Technology ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม), 115-122.

- สมสุข ไตรศุกิตติ. 2559. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกรดดำโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน), 62-69.
- หญิง ชูศรี. 2564. การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเถ้าเปลือกหอยบนตัวรองรับซิลิกาเถ้าแกลบข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ทดแทน. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- หทัยชนก เสาร์สูง. 2552. การเปลี่ยนแปลงตามแหล่งและฤดูกาลของความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์และขนาดปฐมา จากการศึกษาประมงพื้นบ้านและนัยทางการจัดการประมง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการประมง. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อนุตร จำลองกุล. 2550. การศึกษาการใช้ไขมันมะพร้าวแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เล็กดีเซล. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี ปีที่ 5 ฉบับที่ 10, 22-26.
- อัคมพงศ์ สถาวรินทุ และ ไกรสร รวยป้อม. 2563. ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับห้องปฏิบัติการ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม), 68-76.
- เอกชัย สุธีรศักดิ์. 2559. เอกสารการสอน รายวิชา 503353 เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ฉบับปรับปรุง), ภาควิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- Asri N. P., Podjojono B., Fujiani R., and Nuraini. 2017. Utilization of eggshell waste as low-cost solid base catalyst for biodiesel production from used cooking oil. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 67, 012021.
- Boey P.-L., Maniam G. P., and Hamid S. A. 2009. Biodiesel production via transesterification of palm olein using waste mud crab (*Scylla serrata*) shell as a heterogeneous catalyst. Bioresource Technology, 100(24), 6362–6368.
- Boonyuen S., Smith S. M., Malaithong M., Prokaew A., Cherdhirunkorn B., and Luengnaruemitchai A. 2018. Biodiesel production by a renewable catalyst from calcined *Turbo jourdani* (Gastropoda:Turbinidae) shells. Journal of Cleaner Production, 177, 925–929.
- Buasri A., Chaiyut N., Loryuenyong V., Worawanitchaphong P., and Trongyong S. 2013. Calcium oxide derived from waste shells of mussel, cockle, and scallop as the heterogeneous catalyst for biodiesel production. The Scientific World Journal, 2013, 1–7.

- Carolina T. 2015. Microalgae lipid and biodiesel production: A brazilian challenge. *American Journal of Plant Sciences*, 6, 10-15.
- Chen G., Shan R., Shi J., and Yan B. 2014. Ultrasonic-assisted production of biodiesel from transesterification of palm oil over ostrich eggshell-derived CaO catalysts. *Bioresource Technology*, 171, 428–432.
- Gad M. S., and Jayaraj S. 2020. A comparative study on the effect of nano-additives on the performance and emissions of a diesel engine run on *Jatropha* biodiesel. *Fuel*, 267, 117168.
- Hadiyanto H., Lestari S.P., and Widayat W. 2016. Preparation and characterization of *Anadara Granosa* shells and CaCO₃ as heterogeneous catalyst for biodiesel production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 11(1), 21-26.
- Hazri M. M. & Nasir N. F. 2020. Calcium oxide from waste shells as potential green catalyst for biodiesel production. *Research progress in mechanical and manufacturing engineering* vol. 1, 44-55.
- Kaewdaeng S., and Nirunsin R. 2019. Synthesis of calcium oxide from river snail shell as a catalyst in production of biodiesel. *Applied Environmental Research*, 41(1), 31-37
- Kaisan M. U., Anafi F. O., Nuzskowski J., Kulla D. M., and Umaru S. 2017. Calorific value, flash point and cetane number of biodiesel from cotton, *jatropha* and neem binary and multi-blends with diesel. *Biofuels*, 1–7.
- Laskar I. B., Rajkumari K., Gupta R., Chatterjee S., Paul B., and Rokhum L. 2018. Waste snail shell derived heterogeneous catalyst for biodiesel production by the transesterification of soybean oil. *RSC Advances*, 8(36), 20131–20142.
- Latchubugata C. S., Kondapaneni R. V., Patluri K. K., Virendra U., and Vedantam S. 2018. Kinetics and optimization studies using response surface methodology in biodiesel production using heterogeneous catalyst. *Chemical Engineering Research and Design*, 135, 129-139.
- Li C., Hu X., Feng W., Wu B., and Wu K. 2017. A supported solid base catalyst synthesized from green biomass ash for biodiesel production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental effects*, 40(2), 142–147.

- Linus N. O., Sedoo V. B., Nwamaka R. E., and Bello Y. M. 2011. Synthesis, calorimetric and viscometric study of groundnut oil biodiesel and blends. *Research Journal of Chemical Sciences*, 1(3), 49-57.
- Lui X., He H., Wang Y., Zhu S., and Piao X. 2008. Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. *Fuel*, 87, 216-221.
- Luo X, Cao J, Yang H, Gong H, Yin H, and He L. 2018. Study on separation characteristics of water in oil (W/O) emulsion under ultrasonic standing wave field. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 123, 214-220.
- Ma F. and Hanna M.A. 1998. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70, 1-15.
- Madhu D., Chavan S. B., Singh V., Singh B., and Sharma Y. C. 2016. An economically viable synthesis of biodiesel from a crude *Millettia pinnata* oil of Jharkhand, India as feedstock and crab shell derived catalyst. *Bioresource Technology*, 214, 210-217.
- Margaretha Y. Y., Prastyo H. S., Ayucitra A. and Ismadji S. 2012. Calcium oxide from *Pomacea* sp. Shell as a catalyst for biodiesel production. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3(1), 33.
- Monirul I. M., Masjuki H. H., Kalam M. A., Mosarof M. H., Zulkifli N. W. M., Teoh Y. H., and How H. G. 2016. Assessment of performance, emission, and combustion characteristics of palm, jatropha and *Calophyllum inophyllum* biodiesel blends. *Fuel*, 181, 985-995.
- Nasar M., Yun Hin T., Umer R., and Ibrahim M. 2017. Investigation of heterogeneous solid acid catalyst performance on low grade feedstocks for biodiesel production: A review. *Energy Conversion and Management* 141, 171-182.
- Nur Syazwani O., Rashid U., and Taufiq Yap Y. H. 2015. Low-cost solid catalyst derived from waste *Cyrtopleura costata* (Angel Wing Shell) for biodiesel production using microalgae oil. *Energy Conversion and Management* 101, 749-756.
- Öner C., & Altun Ş. 2009. Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine. *Applied Energy*, 86(10), 2114-2120.

- Panpraneecharoen, S., Chumanee, S., Pongpian, W., Khoomsab, R., and Rodkate, N. 2018. Study the optimal conditions for biodiesel production from used cooking oil with potassium hydroxide catalyst. *Journal of Science & Technology Phetchabun Rajabhat University*, 3(1), 1-12.
- Ranganathan S.V. and Muthukumar K. 2008. An overview of enzymatic production of biodiesel. *Bioresource Technology*, 99, 3975-3981.
- Rashid U. and Anwar F. 2008. Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil. *Fuel*, 87, 265-273.
- Raya I., Mayasari E., Yahya A., Syahrul M., and Latunra A. I. 2015. Synthesis and characterizations of calcium hydroxyapatite derived from crab shells (*Portunus pelagicus*) and its potency in safeguard against to dental demineralizations. *International Journal of Biomaterials*, 1-8.
- Risfidian M., Abi S., Kiki A., and Aldes L. 2018. Calcium oxide catalyst based on quail eggshell for biodiesel synthesis from waste palm oil. *J. Pure App. Chem. Res.*, 7(2), 130-139.
- Roschat W., Siritanon T., Yoosuk B., and Promarak V. 2016. Biodiesel production from palm oil using hydrated lime derived CaO as a low-cost basic heterogeneous catalyst. *Energy Conversion and Management*, 108, 459-467.
- Shankar V. & Jambulingam R. 2017. Waste crab shell derived CaO impregnated Na-ZSM-5 as a solid base catalyst for the transesterification of neem oil into biodiesel. *Sustainable Environment Research*, 27, 273-278.
- Siam bioenergy. 2555. น้ำมันพืชใช้แล้ว. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2561, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.siambioenergy.com/bio65/index.php/2012-10-14-08-55-20/2012-10-14-08-56-36> (15 มกราคม 2563)
- Sirisomboonchai S., Abudwayiti M., Guan G., Samart C., Abliz S., Hao X., Kusakabe K., and Abudula, A. 2015. Biodiesel production from waste cooking oil using calcined scallop shell as catalyst. *Energy Conversion and Management*, 95, 242-247.
- Sivakumar M., Sundaram N., Ramesh R., and Thasthagir M. 2018. Effect of aluminium oxide nanoparticles blended pongamia methyl ester on performance,

- combustion, and emission characteristics of diesel engine. *Renewable Energy*, 116, 518-526.
- Sivakumar P., Sivakumar P., Anbarasu, K. Mathiarasi, R. and Renganathan S. 2014. An Eco-friendly catalyst derived from waste shell of *scylla tranquebarica* for biodiesel production. *International Journal of Green Energy*, 11(8), 886–897.
- Talebian-Kiakalaieh A., Amin N. A. S., and Mazaheri H. 2013. A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil. *Applied Energy*, 104, 683–710.
- Verma P., & Sharma M. P. 2016. Comparative analysis of effect of methanol and ethanol on Karanja biodiesel production and its optimisation. *Fuel*, 180, 164–174.
- Veroneze M., Schwantes D., and Gonçalves C. 2019. Production of biogas and biofertilizer using anaerobic reactors with swine manure and glycerin doses. *Journal of Cleaner Production*, 213, 176-184.
- Yadav A. K., Khan M. E., Pal A., and Singh B. 2016. Ultrasonic-assisted optimization of biodiesel production from Karabi oil using heterogeneous catalyst. *Biofuels*, 9(1), 101-112.
- Zhang J., Lu M., Ren F., Knothe G., and Tu Q. 2019. A greener alternative titration method for measuring acid values of fats, oils, and grease. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(10), 1083-1091.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก สูตรการคำนวณในการผลิตไบโอดีเซลและการวิเคราะห์สมบัติไบโอดีเซล



การคำนวณหาค่า %FFA

$$\%FFA = \frac{\text{สารละลายต่างที่ใช้} \times \text{ความเข้มข้นของสารละลายต่าง} \times \text{โมเลกุลของกรดไขมัน}}{\text{น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง}} \times 100$$

เมื่อ สารละลายต่างที่ใช้ = ค่าสิ้นสุดของการไทเทรต - ค่าเริ่มต้นของการไทเทรต (ml)

ความเข้มข้นของสารละลายต่าง = 0.1 N

โมเลกุลของกรดไขมัน = 278 g/mol

น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (g)

$$\%FFA = \frac{1.7\text{ml} \times 0.1\text{N} \times 278\text{g}}{5.03\text{g} \times 1000\text{ml} \times \text{mol}} \times 100$$

$$\%FFA = 0.94\%$$

การคำนวณหาปริมาณเมทานอล

จากสูตร $n = \frac{m}{MW}$

เมื่อ $m =$ น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว (g)

$MW =$ มวลโมเลกุลของน้ำมันพืชใช้แล้ว 278 g/mol

จะได้ $n = \frac{200\text{g}}{278\text{g}}$

$$n = 0.72\text{mol}$$

เมื่อ มวลโมเลกุลเมทานอล 32.04 g/mol

อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1

$$m = n \times MW$$

$$m = 0.72\text{mol} \times 9 \times 32.04\text{g/mol}$$

$$m = 207.62\text{g}$$

อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่ 12:1

$$m = n \times MW$$

$$m = 0.72\text{mol} \times 12 \times 32.04\text{g/mol}$$

$$m = 276.82\text{g}$$

อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่ 15:1

$$m = n \times MW$$

$$m = 0.72 \text{ mol} \times 15 \times 32.04 \text{ g/mol}$$

$$m = 346.03 \text{ g}$$

การคำนวณ %yield ของไบโอดีเซลจากการทดลอง

จากสูตร $\% \text{yield} = \frac{B(\text{g})}{A(\text{g})} \times 100\%$

เมื่อ A น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (g)

B น้ำหนักไบโอดีเซล (g)

$$\% \text{yield} = \frac{160.85 \text{ g}}{200.05 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{yield} = 80.40\%$$

การคำนวณค่าความหนืดของไบโอดีเซล

$$V = C \times t$$

เมื่อ C ค่าคงที่จากการทำมาตรฐานของเครื่อง เท่ากับ 0.008 cSt/s

t เวลาที่ใช้ในการไหล (s)

$$V = 0.008 \text{ cSt/s} \times 829 \text{ s}$$

$$V = 6.63 \text{ cSt}$$

การคำนวณค่าความเป็นกรด

$$AV = \frac{56.1 \times N \times V}{m}$$

เมื่อ N ความเข้มข้นของสารละลายต่าง 0.1 N

V ปริมาณสารละลายต่างที่ใช้ (ml)

m น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (g)

$$AV = \frac{56.1 \times 0.1 \text{ N} \times 0.30 \text{ ml}}{5.10 \text{ g}}$$

$$AV = 0.33 \text{ mgKOH/g}$$



ภาคผนวก ข ผลการทดลองทางด้านเครื่องยนต์

ตารางที่ 13 กำลังเบรกและแรงบิดของไบโอดีเซล

ความเร็วรอบ (rpm)	จำนวนครั้ง	ระยะเวลา (min)	กำลังเบรก (kW)	แรงบิด (N-m)
1,800	1	1.43	2.00	8.51
	2	1.54	2.00	8.73
	3	1.36	2.00	7.94
1,400	1	0.49	2.40	12.14
	2	0.52	2.40	12.20
	3	0.55	2.40	12.18
1,000	1	0.52	1.50	12.22
	2	0.54	1.50	11.83
	3	0.56	1.50	12.32
600	1	1.14	0.50	5.21
	2	1.12	0.50	5.65
	3	1.11	0.50	5.17

ตารางที่ 14 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของไบโอดีเซล

ความเร็วรอบ (rpm)	จำนวนครั้ง	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/kWh)
1,800	1	182.10	0.11
	2	173.38	0.11
	3	178.68	0.12
1,400	1	757.96	0.43
	2	717.69	0.40
	3	677.45	0.38
1,000	1	718.85	0.56
	2	670.00	0.54
	3	672.86	0.52
600	1	140.00	0.43
	2	154.29	0.43
	3	142.70	0.44

ตารางที่ 15 กำลังเบรกและแรงบิดของดีเซล B10

ความเร็วรอบ (rpm)	จำนวนครั้ง	ระยะเวลา (min)	กำลังเบรก (kW)	แรงบิด (N-m)
1,800	1	1.20	1.80	7.24
	2	1.21	1.80	7.25
	3	1.19	1.80	7.23
1,400	1	0.44	2.70	10.83
	2	0.42	2.70	10.81
	3	0.46	2.70	10.85
1,000	1	0.38	1.60	11.42
	2	0.39	1.60	11.45
	3	0.36	1.60	11.44
600	1	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 16 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของดีเซล B10

ความเร็วรอบ (rpm)	จำนวนครั้ง	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/kWh)
1,800	1	184.48	0.12
	2	184.50	0.14
	3	184.51	0.14
1,400	1	752.77	0.46
	2	752.69	0.44
	3	752.73	0.47
1,000	1	918.96	0.79
	2	918.92	0.76
	3	918.94	0.77
600	1	0.00	0.00
	2	0.00	0.00
	3	0.00	0.00

ภาคผนวก ค บทความที่ได้เผยแพร่ในวารสารวิชาการและการประชุมวิชาการระดับ
นานาชาติ



บทความทางวิชาการที่ 1

ชื่อผู้แต่ง: ภาณุวิชญ์ แจขจัด

รจพรรณ นิรัญศิลป์

ชื่อบทความ: การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปอไม้

ชื่อวารสาร: วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

ปีที่พิมพ์: 16

ฉบับที่: 1

หน้าที่ตีพิมพ์: 35-54



ที่ ยว ๐๖๓๔.๘/ ๐๕๒



สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์ ๕๓๐๐๐

๒๓ เมษายน ๒๕๖๔

เรื่อง ตอบรับการตีพิมพ์บทความวารสาร

เรียน คุณภาณุวิชญ์ แจจจิด และคณะ

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัย เรื่อง "การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูกุ้ง" เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ปีที่ ๑๖ ฉบับที่ ๑ (มกราคม - มิถุนายน ๒๕๖๔) (ISSN ๑๖๘๖ ๕๔๐๙ (Print) ISSN ๒๖๕๓ ๑๒๐๗ (Online)) นั้น

บัดนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิได้ประเมินบทความของท่านตามกระบวนการแล้ว และเห็นควรรับบทความของท่านไว้เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการฉบับดังกล่าว โดยให้แก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิตามเงื่อนไขของวารสาร ทั้งนี้ หากมหาวิทยาลัยดำเนินการจัดพิมพ์รูปเล่มวารสารวิชาการและเผยแพร่ลงในเว็บไซต์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/uruj/index> เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จักได้จัดส่งให้ท่านต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(อาจารย์ ดร.กิตติ เมืองต้อม)

บรรณาธิการผู้พิมพ์และโฆษณา

วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

งานบริการวิชาการ

โทร. ๐๕๕-๔๑๖๖๐๓-๓๐ ต่อ ๑๖๔๒

โทรสาร. ๐๕๕-๔๑๖๖๐๓-๓๐ ต่อ ๑๖๔๒



มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)

ACADEMIC JOURNAL UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY
Science and Technology (for Local Development)

ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2564
Vol.16 No.1 January-June 2021

ISSN 1686 4409 (Print) ISSN 2651 1207 (Online)

3

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่
โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า

BIODIESEL PRODUCTION FROM USED VEGETABLE OIL IN CHIANG MAI
COMMUNITY USING BLUE CRAB SHELL AS CATALYST

วันที่รับ: 23 กุมภาพันธ์ 2564

วันที่แก้ไข: 29 มีนาคม 2564

วันตอบรับ: 21 เมษายน 2564

ภาณุวิชญ์ แจกจัด¹ และ รจพรณ นิรัญศิลป์^{1*}

Panuwich Jaekhakad¹ and Rotjapun Nirunsin^{1*}

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290

*Corresponding author e-mail: rotjapun@gmail.com



บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า พร้อมทั้งศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่ จากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าเหลือทิ้งในชุมชนจังหวัดสุราษฎร์ธานีและศึกษาแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน โดยทำการเผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 4 h ทำการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1–15:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 5–15 wt.% และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h เมื่อวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า โดยการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า (XRF) พบว่า มีการกระจายตัวของอนุภาคอย่างต่อเนื่องและมีรูพรุนในโครงสร้างของอนุภาคซึ่งทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง โดยมีค่าพื้นที่อนุภาคเฉลี่ย พื้นที่รูพรุนเฉลี่ย และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ยอยู่ที่ 463.97 μm^2 , 1.25 μm^2 และ 1.34 μm ตามลำดับ การวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า พบว่ามีแคลเซียม (Ca) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูง อยู่ที่ประมาณ 48.34% และ 75.21% ตามลำดับ โดยสัดส่วนการผลิตไบโอดีเซลที่เหมาะสม คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 10 wt.% ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ที่ 65°C เป็นเวลา 2 h ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดที่ 82.58% โดยมีสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน (ประเทศไทย) และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้มากถึง 12.38 Baht/L โดยส่งผลให้เป็นการเพิ่มมูลค่าแก่น้ำมันพืชใช้แล้ว และยังช่วยลดปัญหาขยะจากเปลือกปูม้าที่สามารถนำไปสู่การลดปัญหา

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่
โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า

ภาณุวิชญ์ แจชจัต และ รจพรหม นิลัญศิลป์

สิ่งแวดล้อมของชุมชนและสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ อีกทั้งยังสามารถ
ใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนได้อีกด้วย


คำสำคัญ: ไบโอดีเซล, ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า, แคลเซียมออกไซด์, น้ำมันพืชใช้แล้ว



Abstract

This research aimed to study synthesis blue crab shell catalyst. Furthermore, study to biodiesel production in Chiang Mai community from used vegetable oil via transesterification process using blue crab shell catalyst (BCS) from Surat Thani and study to guidelines for reducing production cost in community. Blue crab shells were calcined at 900°C for 4 h and then it was used in transesterification reaction using used vegetable oil as feedstock with methanol. The experiments were done under condition of molar ratio methanol: oil of 3:1–15:1, BCS catalyst amount at 5–15 wt.% and reaction time of 2 h. BCS was examined characteristic by scanning electron microscope analysis (SEM) and X-ray fluorescence spectrometry (XRF). The results showed BCS had continuous particle dispersion and porous in particle structures which make them higher surface area. The average particle area, average pore area and average pore diameter of BCS were about 463.97 μm^2 , 1.25 μm^2 and 1.34 μm , respectively. Element and compound analysis of BCS were found high contents of calcium (Ca) and calcium oxide (CaO). They were around 48.34% and 75.21%, respectively. The optimum conditions of biodiesel production were 10 wt.% catalyst amount using methanol: oil molar ratio of 9:1 at 65°C for 2 h. The maximum mass yield of biodiesel extended to 82.58% and physicochemical properties of biodiesel were closed to the standard announced by the department of energy business, Ministry of Energy (Thailand). Biodiesel from this research could reduce production cost to 12.38 Baht/L. Therefore, they were can increased value to used vegetable oil and reduce of waste blue crab shell that for reduce environmental problem in community and used to the most benefit. Also, this research can used as guidelines for reducing biodiesel production costs in Chiang Mai community.

Keywords: Biodiesel, Blue Crab Shell Catalyst, Calcium Oxide, Used Vegetable Oil


บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาหาค่าน้ำมันที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและเศรษฐกิจของประเทศเกิดการชะลอตัว จึงทำให้การนำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปลดลงเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา โดยส่งผลกระทบเป็นอย่างมากกับภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม ที่จำเป็นต้องใช้น้ำมันดีเซลในการดำเนินงาน จึงทำให้มีการพัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาทดแทนน้ำมันดีเซล และจากสถานการณ์การใช้พลังงานทดแทนในปีที่ผ่านมาทำให้ทราบได้ว่ามีการใช้ไบโอดีเซลซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) จึงทำให้มีการพัฒนาการใช้ไบโอดีเซลร่วมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนของ B7, B10 และ B20 เป็นต้น เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิง อีกทั้งยังมีการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลเพื่อเพิ่มความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภค และเพิ่มความมั่นคงทางด้านพลังงาน โดยไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน และวัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตมาจากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือแม้กระทั่งน้ำมันพืชใช้แล้ว (วรวิมล จุฬาลักษณ์นกุล, 2559) โดยเมื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนพบว่าสามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิต ส่งเสริมการกำจัดน้ำมันพืชใช้แล้วอย่างถูกวิธีทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพราะการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้ซ้ำจะส่งผลเสียต่อสุขภาพทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ และหากนำไปกำจัดด้วยการเททิ้งจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมทำให้ระบบนิเวศโดยรวมเสียหาย

การผลิตไบโอดีเซลในชุมชนโดยส่วนใหญ่เป็นการผลิตโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากสารเคมี เนื่องจากใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยและมีปริมาณผลผลิตสูง แต่ในทางกลับกันการผลิตจากตัวเร่งปฏิกิริยาสารเคมีทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีต้นทุนในการผลิตสูง และเมื่อปล่อยน้ำล้างไบโอดีเซลลงสู่ธรรมชาติจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในชุมชนอย่างมาก (Mansir, Taufiq-Yap, Rashid, & Lokman, 2017) นอกจากนี้ไบโอดีเซลที่ได้ในกระบวนการผลิตแล้วยังมีกลีเซอรินซึ่งเป็นผลพลอยได้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอีกด้วย จึงจำเป็นต้องกำจัดกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซลก่อนจะนำไปใช้งานได้ ดังนั้น จึงมีการคิดค้นการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติ โดยมีการพัฒนาใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทโลหะอัลคาไลนออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นเบสและสามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ (Li, Hu, Feng, Wu, & Wu, 2017) เพื่อลดการใช้สารเคมีและเป็นการใช้วัสดุทางธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังงานวิจัยของ Sivakumar, Sivakumar, Anbarasu, Mathiarasi, & Renganathan (2014) ที่ได้ศึกษาถึงการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากเปลือกปูทะเล (*Scylla tranquebarica*) โดยใช้วัตถุดิบในการผลิต คือ น้ำมันจากดอกทานตะวัน เมื่อศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูทะเลที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 780°C เป็นเวลา 1 h โดยทำการวิเคราะห์เอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) และการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูทะเลมีองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นหลัก และมีโครงสร้างเป็นผลึกเดี่ยว ในส่วนของลักษณะสัณฐานของพื้นผิวมีลักษณะหยาบ เมื่อศึกษาการผลิตไบโอดีเซลพบว่า การทดลองที่เงื่อนไขของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 12:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูทะเลที่ 8 wt.% ในเวลา 75 min ที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการผลิตไบโอดีเซล โดยมีผลผลิตไบโอดีเซลอยู่ที่ 94.20% เนื่องจากแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพเพื่อนำมาผลิตไบโอดีเซล โดยในการทดลองนี้ได้ลดขั้นตอนในการล้างไบโอดีเซลเพื่อป้องกันไม่ให้ไบโอดีเซลเกิดการปนเปื้อนและไม่สร้างมลพิษให้แก่สิ่งแวดล้อม (สุภกร บุญยืน, พัชรพร เทียมปาน, สมลักษณ์ เรืองสุทธิณภาพ, ปวีณ หุ่นพานิชย์, จักรกฤษณ์ ชื่นใจเล็ก, และ ศิวพร มีจุ สมิต, 2556)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้าที่แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์จากธรรมชาติ โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทนี้จะสามารถช่วยลดปัญหาในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากไบโอดีเซลและช่วยลดการใช้สารเคมี ลดต้นทุนในการผลิต เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ และช่วยลดปัญหาการใช้ไขมันซ้ำ เพื่อป้องกันปัญหาทางด้านสุขภาพ งานวิจัยนี้ยังมุ่งเน้นแนวทางในการพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์จากธรรมชาติสำหรับในส่วนของชุมชนที่มีการนำผลงานวิจัยไปต่อยอดเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตไบโอดีเซลและพัฒนาเพื่อเป็นต้นแบบการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนของศูนย์เรียนรู้ไบโอดีเซลในชุมชนบ้านภูดิน ตำบลแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นชุมชนที่ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเดิมที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และส่งผลกระทบต่อสุขภาพทำให้การผลิตที่ผ่านมามีต้นทุนสูง เพื่อเป็นการลดปัญหาในด้านนี้จึงได้มีการส่งเสริมให้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์จากธรรมชาติแทนตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่งสามารถผลิตไบโอดีเซลให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาตินั้นเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งที่ได้จากชุมชนอื่น เพื่อส่งเสริมให้มีการทำงานร่วมกันในหลาย ๆ ชุมชน โดยในชุมชนบ้านโพธิ์หวาย ตำบลบางกุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่เป็นชุมชนชาวประมง ซึ่งประสบปัญหาในการกำจัดขยะจากอาหารทะเล โดยเฉพาะเปลือกปุม้าที่มีจำนวนมากจึงทำให้ไม่มีพื้นที่ทิ้งขยะได้เพียงพอ และประสบปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นจากกองเปลือกปุม้า

ที่เห็นได้ชัด จึงสังเกตเห็นให้น้ำมันที่เสียทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดและยังเป็นอีกหนึ่งวิธีในการจัดการขยะที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในชุมชนอีกด้วย อีกทั้งยังเป็นการร่วมมือกันระหว่างชุมชนที่ผลิตไบโอดีเซลและชุมชนที่ต้องการจัดการขยะจากเปลือกปุม้า รวมถึงยังเป็นการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลที่ได้จากฟอสซิล และยังช่วยลดผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า
2. เพื่อศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า
3. เพื่อศึกษาแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่ ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า เพื่อช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะจากเปลือกปุม้าในชุมชนจังหวัดสุราษฎร์ธานี และวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ พร้อมทั้งนำไปเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตในท้องตลาดทั่วไป เพื่อหาต้นทุนการผลิตที่ลดลงของไบโอดีเซลที่ผลิตจากตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้า ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ และศึกษาวิธีการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า พร้อมทั้งศึกษาปัญหาและผลกระทบที่ชุมชนได้รับในการจัดการเปลือกปุม้าและการผลิตไบโอดีเซล

ส่วนที่ 2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า

ปรับสภาพเปลือกปุม้าโดยการล้างด้วยน้ำร้อน เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับเปลือกปุม้า แล้วนำไปตากให้แห้งก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เพื่อไล่ความชื้นที่อยู่ในเปลือกปุม้า แล้วทำการเผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 4 h แล้วทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า โดยการวิเคราะห์ลักษณะสีและความละเอียดวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา (XRF) และวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้าในระดับจุลภาค (SEM)

ส่วนที่ 3 การผลิตไบโอดีเซล โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยการกรองเพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันและนำไปให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้น แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ของน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนนำไปผลิตไบโอดีเซล โดยคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) จากสมการที่ 1

$$\%FFA = \frac{A \times N \times M}{m} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ A คือ ปริมาณสารละลายต่างที่ใช้, (ml)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายต่าง, (mol/L)

M คือ โมเลกุลของกรดไขมัน, (g/mol)

m คือ น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง, (g)

ในส่วนขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม่า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งจะมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 5–15 wt.% โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C ทำการกวนผสมที่ 900 rpm เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาทำการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ โดยคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\%yield = \frac{m_{Biodiesel}}{m_{oil}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ $m_{Biodiesel}$ คือ น้ำหนักของไบโอดีเซล, (g)

m_{oil} คือ น้ำหนักของน้ำมันตั้งต้น, (g)

ส่วนที่ 4 การวิเคราะห์สมบัติไบโอดีเซล

วิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซล โดยวิเคราะห์เฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมแล้วนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานไบโอดีเซล ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (ASTM D1298) ค่าความเป็นกรด (ASTM D664) จุดขุ่น (ASTM D2500) จุดไหลเท (ASTM D97) และค่าความถ่วงจำเพาะ ตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน (เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, 2561)

ส่วนที่ 5 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนทางด้านวัตถุดิบและต้นทุนทางด้านไฟฟ้า โดยต้นทุนทางด้านไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 และสมการที่ 4 และนำไปเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตของไบโอดีเซลตามท้องตลาดทั่วไป เพื่อหาต้นทุนการผลิตที่ลดลง

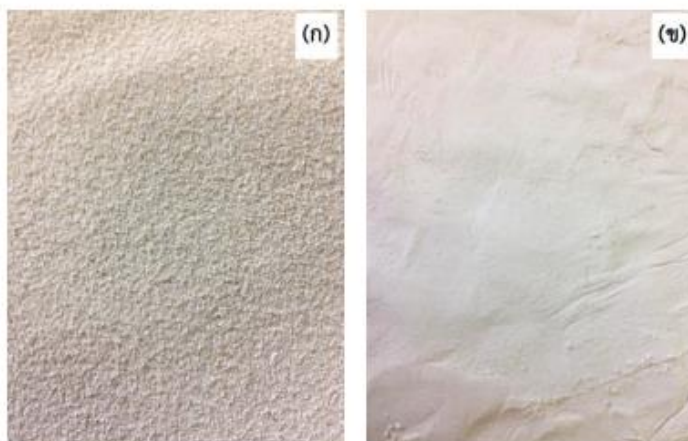
$$\text{พลังงานไฟฟ้า (kW}_h) = \text{กำลังไฟฟ้า (W)} \times \text{เวลา (h)} / 1000 \quad (3)$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า (Baht)} = \text{พลังงานไฟฟ้า (kW}_h) \times \text{ราคาต่อหน่วย (Baht/kW}_h) \quad (4)$$

ผลการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า

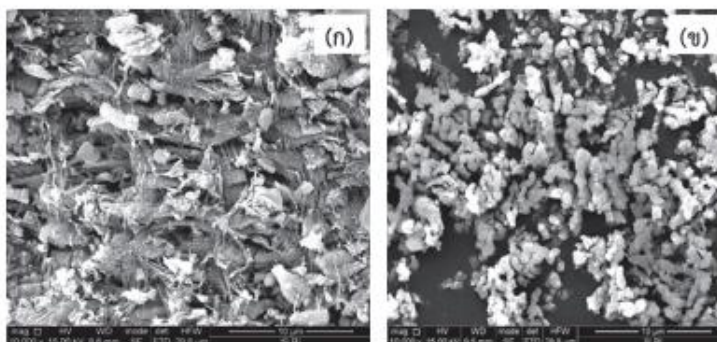
ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้า พบว่า เปลือกปุม้าบดก่อนนำไปเผา มีลักษณะเป็นเม็ดกลม สีครีม เนื้อหยาบ ไม่มีสิ่งเจือปน ซึ่งเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900°C พบว่า มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาวขุ่น มีลักษณะคล้ายเนื้อแป้ง ผิวสัมผัสบางเบา ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้า
(ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผาที่อุณหภูมิ 900°C

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมาในระดับจุลภาค

สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมาในระดับจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่า ก่อนการนำเปลือกปฐมาไปเผา มีลักษณะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน มีเส้นใยบาง ๆ เชื่อมติดกัน มีรูพรุนน้อย และมีลักษณะโครงสร้างเป็นแท่งยาวต่อ ๆ กัน แต่เมื่อทำการเผาเปลือกปฐมาที่อุณหภูมิ 900°C พบว่า ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา มีการกระจายตัวมากขึ้น ไม่เกาะกันเป็นกลุ่ม มีโครงสร้างเป็นแท่งสั้น ๆ มีรูพรุนมาก และไม่มีเส้นใยที่เชื่อมติดกัน เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้โครงสร้างและลักษณะต่าง ๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการปรับเปลี่ยนรูปทรงมากขึ้น



รูปที่ 2 ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมา (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผาที่อุณหภูมิ 900°C

การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมา

ในส่วนของ การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมา (X-Ray Fluorescence Spectrometry: XRF) โดยผลการวิเคราะห์ของตัวอย่างแต่ละชนิดสามารถอธิบายได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมา

องค์ประกอบ (mass%)	เปลือกปฐมา	เปลือกปฐมา อบที่อุณหภูมิ 110°C	ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมา เผาที่อุณหภูมิ 900°C
C	20.74	20.49	2.99
O	49.45	48.95	41.65
Na	0.21	0.22	0.26
Mg	1.64	1.60	3.56
Al	0.04	0.06	0.01
Si	0.06	0.07	0.02
P	1.40	1.36	2.33
S	0.12	0.13	0.14
Cl	0.01	0.01	0.02
K	0.02	0.02	0.06
Ca	25.93	26.69	48.34
Mn	0.02	0.03	n/d
Fe	0.02	0.02	n/d
Zn	< 0.01	n/d	n/d
Br	< 0.01	< 0.01	n/d
Sr	0.34	0.35	0.62

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกปฐมาและตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมา จากตารางที่ 1 พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปฐมามีปริมาณธาตุคาร์บอนลดลง 85.58% ซึ่งในขณะเดียวกันปริมาณของธาตุแคลเซียมกลับเพิ่มสูงขึ้นถึง 86.42% เนื่องจากการเผาที่ อุณหภูมิสูงทำให้สูญเสียธาตุคาร์บอนออกไปด้วย และเมื่อวิเคราะห์ถึงสารประกอบในตัวเร่ง ปฏิกิริยาเปลือกปฐมา พบว่า มีสารประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงถึง 75.21% ซึ่งแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิธพันธุ์ชนิดหนึ่งที่สามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบ ทางธรรมชาติและนิยมนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาสมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว

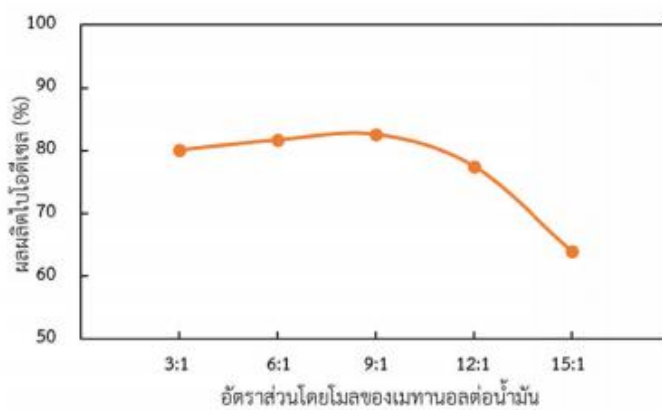
เมื่อทำการกรองและให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชใช้แล้ว เพื่อแยกเศษตะกอนและไล่ความชื้นออก จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยการวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) พบว่า ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่า 0.83% ดังนั้น น้ำมันที่ใช้สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้ เพราะค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันมีค่าไม่เกิน 2.50% หากน้ำมันมีค่ากรดไขมันอิสระมากเกินไปจะส่งผลให้การทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ยาก ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลลดลง และปริมาณกลีเซอรินที่เกิดขึ้นหลังสิ้นสุดปฏิกิริยามีมากเกินไป (Panpraneecharoen, Chumanee, Pongpian, Khoomsab, & Rodkate, 2018)

การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้า

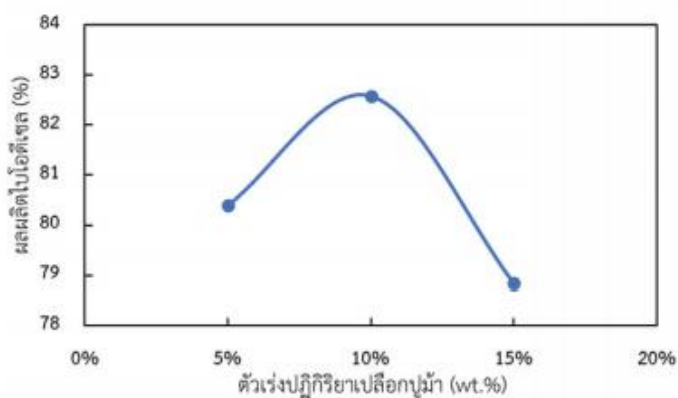
การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้า ในอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 5–15 wt.% โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C ทำการกวนผสมที่ 900 rpm ซึ่งสามารถอธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตของไบโอดีเซลออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 กล่าวถึงอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อผลผลิตไบโอดีเซล โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันกับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้าที่ 10 wt.% ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาผลิต คือ 9:1 โดยให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 82.58% เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนในการผลิตกลับได้ผลผลิตไบโอดีเซลลดลง และส่วนที่ 2 กล่าวถึงตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้าที่มีต่อผลผลิตไบโอดีเซล โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้ากับอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1 ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้าที่เหมาะสมในการนำมาผลิตไบโอดีเซลอยู่ที่ 10 wt.% เนื่องจากสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุด และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เหมาะสมจะทำให้การเกิดปฏิกิริยาได้ไม่สมบูรณ์

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่
โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้า

ภาณุวิชญ์ แจชจัด และ ราชพรรณ นีวีญศิลป์



รูปที่ 3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อผลผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 4 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้าที่มีต่อผลผลิตไบโอดีเซล

การวิเคราะห์สมบัติไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้า โดยศึกษาการวิเคราะห์สมบัติไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้าที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C โดยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาที่เงื่อนไขของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 5-15 wt.%

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่
โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้า

ภาณุวิทย์ แจจจิด และ รชพรรณ นวิฤศิลป์

โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C ทำการกวนผสมที่ 900 rpm ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ค่าความเป็นกรด จุดขุ่น จุดไหลเทและค่าความถ่วงจำเพาะ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของไบโอดีเซลตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้า

เมทานอล ค่อน้ำมัน	ตัวเร่งปฏิกิริยา เปลือกปູມ้า (wt.%)	ค่าความ หนาแน่น (kg/m ³)	ความเป็นกรด (mg KOH/g)	จุดขุ่น (°C)	จุดไหลเท (°C)	ค่าความ ถ่วงจำเพาะ
ไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน	-	860-900	ไม่เกิน 0.5	(-3)-12	(-15)-6	0.86-0.90
3:1	5	925	0.56	8	4	0.93
6:1	5	910	0.22	8	4	0.91
9:1	5	900	0.22	7	3	0.90
12:1	5	900	0.78	7	3	0.90
15:1	5	900	1.01	7	3	0.90
3:1	10	920	0.45	7	3	0.92
6:1	10	915	0.33	7	3	0.91
9:1	10	890	0.22	6	2	0.89
12:1	10	890	0.22	6	2	0.89
15:1	10	885	0.78	6	2	0.88
3:1	15	920	0.56	8	4	0.92
6:1	15	915	0.45	8	4	0.91
9:1	15	900	0.22	8	4	0.90
12:1	15	915	0.33	8	4	0.91
15:1	15	920	0.67	8	4	0.92

ผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากตารางที่ 2 พบว่า ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้าที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 10 wt.% เป็นเงื่อนไขที่มีผลการทดลองดีที่สุด โดยมีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 890 kg/m^3 ตามมาตรฐาน ASTM D1298 แต่เมื่อลดอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ทำให้ค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลเพิ่มมากขึ้นและสูงกว่าค่ามาตรฐานกำหนด ส่วนค่าความเป็นกรดตามมาตรฐาน ASTM D664 มีค่าไม่เกิน 0.5 mg KOH/g ซึ่งไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าความเป็นกรด เท่ากับ 0.22 mg KOH/g และเมื่อวิเคราะห์จุดขุ่น มาตรฐาน ASTM D2500 และจุดไหลเท มาตรฐาน ASTM D97 ตามลำดับ ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานเท่ากับ 6°C และ 2°C ตามลำดับ

การวิเคราะห์การลงทุนการผลิตไบโอดีเซล

ผลการวิเคราะห์แนวทางการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปູມ้า ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดเป็นแนวทางในการลดต้นทุนและส่งเสริมการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน ดังกรณีของชุมชนบ้านภูดิน ตำบลแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นชุมชนต้นแบบในการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน โดยได้ทำการวิเคราะห์การผลิตตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งทำการคำนวณต้นทุนของไบโอดีเซลที่มีผลผลิตไบโอดีเซลและสมบัติไบโอดีเซลตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน (ประเทศไทย) โดยพบว่าเงื่อนไขอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้า 5 wt.% ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C เป็นเงื่อนไขที่ได้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดและมีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนทางด้านวัตถุดิบและต้นทุนทางด้านไฟฟ้า (ศรีสุตา อาชวานันทกุล, 2560) โดยต้นทุนทางด้านไฟฟ้ามีค่าไฟฟ้า เท่ากับ 3.2484 Baht/kWh ซึ่งประกอบไปด้วยรายละเอียดดังตารางที่ 3

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่
โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้า

ภาณุวิชญ์ แจจจิด และ รชพรรณ นิวิญศิลป์

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน

ต้นทุน	น้ำมันพืชใช้แล้ว เป็นน้ำมันที่ได้จากการเก็บรวบรวมในชุมชน	ไม่มีค่าใช้จ่าย
ทางด้าน	ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้า เป็นเปลือกปູມ้าที่เหลือทิ้งในชุมชน	ไม่มีค่าใช้จ่าย
วัตถุดิบ	เมทานอล เมทานอล 1 L ราคา 53.50 บาท การผลิต 1 ครั้ง ใช้เมทานอล 0.35 L	18.73 บาท
ต้นทุน	เตาอบ	
ทางด้าน	อบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 12 h ใช้กำลังไฟฟ้า 1,025 W	2.21 บาท
ไฟฟ้า	ในการอบ 1 ครั้ง จะสามารถใช้เปลือกปູມ้าได้ 18 ครั้ง	
	เตาเผา	
	เผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 4 h ใช้กำลังไฟฟ้า 3,750 W	4.87 บาท
	ในการเผา 1 ครั้ง จะสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้ 10 ครั้ง	
	เครื่องทำความร้อน	
	ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 min ใช้กำลังไฟฟ้า 782 W	0.64 บาท
	ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 2 h ใช้กำลังไฟฟ้า 713 W	4.63 บาท
	รวม	31.08 บาท

ตั้งนั้นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้า ภายใต้เงื่อนไขอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้า 5 wt.% ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C โดยมีผลผลิตไบโอดีเซล 1.02 L และมีสมบัติของไบโอดีเซลเป็นไปตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน เมื่อทำการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลที่ผลผลิตไบโอดีเซล 1 L พบว่า มีต้นทุนในการผลิต เท่ากับ 30.47 Baht/L เมื่อเปรียบเทียบกับราคาตามท้องตลาดทั่วไปที่ราคา 42.85 Baht/L (ปี 2564) พบว่า ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีต้นทุนน้อยกว่าตามท้องตลาดทั่วไป 12.38 Baht/L จึงสามารถนำไปเป็นแนวทางในการช่วยลดต้นทุนการผลิตในชุมชนและเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาวิวทัศน์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากธรรมชาติ



อภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 900°C โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shankar & Jambulingam (2017) ในด้านของการใช้อุณหภูมิที่ 900°C เหมือนกันในการเผาเปลือกปู ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอุณหภูมิที่ 900°C นี้เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทดลองในครั้งนี้ แล้วพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้ามักมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาวขุ่น มีลักษณะคล้ายเนื้อแป้งนั้นส่งผลต่อการนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล เพราะว่าตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำปฏิกิริยาร่วมกันกับเมทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพถึงแม้ว่าจะไม่หลอมเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า พบว่า เปลือกปูม้าบดก่อนนำไปเผาไม่มีปริมาณธาตุคาร์บอนและออกซิเจนสูง แต่เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงพบว่ามีปริมาณของธาตุคาร์บอนลดลงในขณะที่ปริมาณธาตุแคลเซียมออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raya, Mayasari, Yahya, Syahrul, & Latunra (2015) ที่ได้ทำการศึกษาลักษณะและสังเคราะห์แคลเซียมไฮดรอกไซด์จากเปลือกปูม้า (*Portunus pelagicus*) ผลการทดลองพบว่าในเปลือกปูม้ามียอดประกอบของธาตุแคลเซียมมากกว่าธาตุคาร์บอน รวมทั้งยังมีสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตั้งต้นหลักในการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ที่ใช้ในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้ ในส่วนของการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าในระดับจุลภาค พบว่า มีการกระจายตัวอย่างต่อเนื่องไม่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนและมีรูพรุนจำนวนมากในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ส่งผลให้การทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ (Jeffry, Putra Jaya, Abdul Hassan, Yaacob, Mahmud, & Al-Saffar, 2020) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณหาค่าพื้นที่อนุภาคเฉลี่ย พื้นที่รูพรุนเฉลี่ยและเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าอยู่ที่ 463.97 μm^2 , 1.25 μm^2 และ 1.34 μm ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hazri & Nasir (2020) ในเรื่องของลักษณะการกระจายตัวและลักษณะของรูพรุนในโครงสร้าง โดยได้ทำการศึกษาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอย โดยใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาธรรมชาติที่มีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซล ผลการทดลองการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอย ซึ่งได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิ 950°C พบว่า มีลักษณะโครงสร้างคล้ายรูปกระดุกสุนัข มีรูพรุนในโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่และจำนวนมากกระจายตัวอย่างต่อเนื่องตามโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลอยู่ที่ 10 wt.% หากใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เหมาะสมจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์

เนื่องจากลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยากับน้ำมันและเมทานอลได้ยาก (Laskar, Rajkumari, Gupta, Chatterjee, Paul, & Rokhum, 2018) ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องมีการควบคุมให้เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา โดยอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมคือ 9:1 เนื่องจากปริมาณเมทานอลที่ไม่เหมาะสมทำให้ความสามารถในการทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงซึ่งส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยากับน้ำมันได้ยาก (Sirisomboonchai et al., 2015) เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้าพบว่า อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้า 10 wt.% ที่อุณหภูมิ 65°C เวลา 2 h ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่มีผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 82.58% แม้ว่าจะมีผลผลิตไบโอดีเซลน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ แต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาริวิธพันธุ์ยังช่วยลดขั้นตอนในการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ ลดของเสียจากกระบวนการผลิตและสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำได้ (วุฒิชัย รสชาติ และ จาณิยา ชันชะลี, 2561) โดยทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ค่าความเป็นกรด จุดชູน จุดไหลเทและค่าความถ่วงจำเพาะ โดยมีผลการวิเคราะห์ เท่ากับ 890 kg/m³, 0.22 mg KOH/g, 7°C, 3°C และ 0.89 ตามลำดับ โดยค่าความเป็นกรดจะบ่งบอกถึงความสามารถในการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ เพื่อป้องกันเครื่องยนต์ถูกกัดกร่อนจึงจำเป็นต้องใช้ไบโอดีเซลที่มีค่าความเป็นกรดอยู่ในค่ามาตรฐาน (Zhang, Lu, Ren, Knothe, & Tu, 2019) ส่วนจุดชູนเป็นค่าที่บอถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มเป็นไขขัดขวางการไหลของน้ำมันซึ่งทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรองน้ำมันได้ (จิรพัฒน์พงษ์ เสนาบุตร, อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล, และ กนกพงษ์ ศรีเที่ยง, 2560) และจุดไหลเทบ่งบอกถึงจุดที่อุณหภูมิต่ำสุดที่ไบโอดีเซลเริ่มไม่ไหลหรือไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยยังไม่เกิดไขมาขัดขวางการไหล (รัชฎาภรณ์ อินเกิด, ชูรัตน์ อารารักษ์, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี, 2559) และเมื่อทำการวิเคราะห์ต้นทุนเปรียบเทียบกับราคาตามท้องตลาดทั่วไป พบว่า มีต้นทุนน้อยกว่าตามท้องตลาดทั่วไป 12.38 Baht/L ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ถึงแนวทางในการช่วยลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน อีกทั้งยังช่วยพัฒนาชุมชนเพื่อส่งเสริมการเป็นชุมชนต้นแบบการผลิตไบโอดีเซลได้อีกด้วย และตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปູມ้าที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็งทำให้สามารถแยกออกจากไบโอดีเซลได้ โดยไม่ต้องคิดต้นทุนการผลิตใหม่ เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายในด้านของวัตถุดิบตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศิริวัฒนา หัทสนธ์ (2556) ที่ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ CaO จากเปลือกทุทะเลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดสอบการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า สามารถนำกลับมาใช้งานซ้ำได้และให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลใกล้เคียงกับการผลิตในครั้งแรก



สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900°C โดยวิเคราะห์ค่า FFA ของน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนการทดลอง พบว่ามีค่า FFA อยู่ที่ 0.83% จากการศึกษาการทำปฏิกิริยาที่เงื่อนไขอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปุม้า 10 wt.% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 2 h ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด โดยมีปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 82.58% โดยผลที่ได้คือปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ อีกทั้งยังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์สามารถช่วยลดน้ำเสียจากขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ ลดปริมาณการใช้สารเคมีและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ พบว่า มีค่าความหนาแน่น 890 kg/m³, ค่าความเป็นกรด 0.22 mg KOH/g, จุดขุ่น 7°C, จุดไหลเท 3°C และค่าความถ่วงจำเพาะ 0.89 ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตจากตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ได้ในอนาคต อีกทั้งยังสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงส่งเสริมการพัฒนาชุมชนต้นแบบการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนบ้านภูดิน และสามารถช่วยเพิ่มทางเลือกในการกำจัดขยะจากเปลือกปุม้าในชุมชนบ้านโพธิ์หวาย เพื่อช่วยลดปัญหาการจัดการขยะในชุมชนและสร้างองค์ความรู้ในการพัฒนาขยะให้เกิดประโยชน์สูงสุดให้แก่ชาวบ้านในชุมชน

ข้อเสนอแนะ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปุม้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ ซึ่งไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับเมทานอล จึงต้องควรมีเทคนิคในการนำตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากอุปกรณ์การผลิต เพื่อป้องกันการอุดตันของอุปกรณ์
2. ควรวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้วและวัตถุดิบที่จะนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในชุมชนอื่น ๆ ก่อนนำมาผลิตไบโอดีเซล
3. การผลิตไบโอดีเซลโดยการเพิ่มขนาดปริมาณการผลิต จำเป็นต้องทำการคำนวณต้นทุนการผลิตใหม่ทุกครั้ง
4. ควรส่งเสริมให้ชุมชนที่มีการใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง เช่น ชุมชนที่มีการทำเซรามิก เพื่อช่วยลดต้นทุนในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2562” จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน และทุนศิษย์กัณกฎิ ประจำปี 2562 จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รวมไปถึงชุมชนบ้านภูดิน ตำบลแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และชุมชนบ้านโพธิ์หวาย ตำบลบางกุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่สนับสนุนข้อมูลและวัตถุดิบในการทำกรวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). *สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย เดือนมกราคม-กันยายน ประจำปี 2563*. กระทรวงพลังงาน.
- จิรพัฒน์พงษ์ เสนาบุตร, อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล, และ กนกพงษ์ ศรีเที่ยง. (2560). การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสพลาสติกพอลิพรอพิลีนเป็นเชื้อเพลิงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกาอสัณฐานที่ทำการสกัดได้จากแกลบข้าว. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 10(2), 12-23.
- เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. (2561). *กลยุทธ์การผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัชฎาภรณ์ อินเกิด, ชูรัตน์ ธารารักษ์, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี. (2559). การสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันพืชด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน. *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12*, (น. 754-760).
- วรวิมล จุฬาลักษณ์นกุล. (2559). *เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยตัวเร่งชีวภาพ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วุฒิชัย รสชาติ และ จาณิยา ชันชะลี. (2561). กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยแครงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประหยัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 20(1), 94-106.
- ศรีสุดา อาชวานันทกุล. (2560). *การบัญชีต้นทุน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

- ศิริวัฒนา หัทสนธิ์. (2556). การผลิตไบโอดีเซลจากเปลือกหิวมะพร้าว โดยใช้ CaO จากเปลือกหอยแครงและเปลือกปูทะเลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวเคมี. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุภกร บุญยีน, พัชรพร เทียมปาน, สมลักษณ์ เรืองสุทธิณฤภาพ, ปวีณ หุ่นพานิชย์, จักรกฤษณ์ ชื่นใจเล็ก, และ ศิวพร มีจุ สมธิ. (2556). การสังเคราะห์ตัวเร่งวิธพันธ์จากเปลือกหอยเหลือทิ้งเพื่อใช้เตรียมไบโอดีเซล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 21(6 ฉบับพิเศษ), 526–532.
- Hazri, M. M., & Nasir, N. F. (2020). Calcium Oxide from Waste Shells as Potential Green Catalyst for Biodiesel Production. *Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering*, 1(1), 44–55.
- Jeffry, S. N. A., Putra Jaya, R., Abdul Hassan, N., Yaacob, H., Mahmud, M. Z. H., & Al-Saffar, Z. H. (2020). The Influence of Nano-carbon from Coconut Shell Ash as Modifier on the Properties of Bitumen. *Road Materials and Pavement Design*, 1–17.
- Laskar, I. B., Rajkumari, K., Gupta, R., Chatterjee, S., Paul, B., & Rokhum, L. (2018). Waste Snail Shell Derived Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production by the Transesterification of Soybean Oil. *RSC Advances*, 8(36), 20131–20142.
- Li, C., Hu, X., Feng, W., Wu, B., & Wu, K. (2017). A Supported Solid Base Catalyst Synthesized from Green Biomass Ash for Biodiesel Production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40(2), 142–147.
- Mansir, N., Taufiq-Yap, Y. H., Rashid, U., & Lokman, I. M. (2017). Investigation of Heterogeneous Solid Acid Catalyst Performance on Low Grade Feedstocks for Biodiesel Production: A Review. *Energy Conversion and Management*, 141, 171–182.
- Panpraneecharoen, S., Chumanee, S., Pongpian, W., Khoomsab, R., & Rodkate, N. (2018). Study the Optimal Conditions for Biodiesel Production from Used Cooking Oil with Potassium Hydroxide Catalyst. *Journal of Science & Technology Phetchabun Rajabhat University*, 3(1), 1–12.

- Raya, I., Mayasari, E., Yahya, A., Syahrul, M., & Latunra, A. I. (2015). Synthesis and Characterizations of Calcium Hydroxyapatite Derived from Crab Shells (*Portunus pelagicus*) and its Potency in Safeguard Against to Dental Demineralizations. *International Journal of Biomaterials*, 1–8.
- Shankar, V., & Jambulingam, R. (2017). Waste Crab Shell Derived CaO Impregnated Na-ZSM-5 as a Solid Base Catalyst for the transesterification of neem Oil into Biodiesel. *Sustainable Environment Research*, 27(6), 273–278.
- Sirisomboonchai, S. et al. (2015). Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Calcined Scallop Shell as Catalyst. *Energy Conversion and Management*, 95, 242–247.
- Sivakumar, P., Sivakumar, P., Anbarasu, K., Mathiarasi, R., & Renganathan, S. (2014). An Eco-friendly Catalyst Derived from Waste Shell of *Scylla tranquebarica* for Biodiesel Production. *International Journal of Green Energy*, 11(8), 886–897.
- Zhang, J., Lu, M., Ren, F., Knothe, G., & Tu, Q. (2019). A Greener Alternative Titration Method for Measuring Acid Values of Fats, Oils, and Grease. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.

บทความทางวิชาการที่ 2

ชื่อผู้แต่ง: Panuwich Jaekhajad
Tanate Chaichana
Ratchadaporn Puntharod
Rotjapan Nirunsin

ชื่อบทความ: Biodiesel Production from Waste Cooking Oil using Calcined Blue Crab Shell Ash as Catalyst

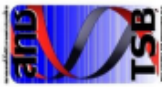
ชื่อการประชุมวิชาการ: Thai Society for Biotechnology International Conference Online
“Green Energy & Zero Waste Society”

ชื่อหน่วยงานที่จัดประชุม: Thai Society for Biotechnology (TSB)

สถานที่จัดประชุม: Online Conference, Bangkok, Thailand

วันที่จัดประชุม: 2 April 2021

หน้าที่ตีพิมพ์: 217-223



Thai Society for Biotechnology International Conference Online

Certificate of Appreciation

THIS IS TO CERTIFY THAT

Panuwich Jaekhajad

Gave an oral presentation entitled:

Biodiesel Production from Waste Cooking Oil using Calcined Blue Crab
Shell Ash as Catalyst

2 April 2021, Online Conference, Bangkok, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Penjit Srinophakun
President of the Thai Society for Biotechnology
Chair of Organizing Committee

PROCEEDINGS

**Thai Society for Biotechnology
International Conference Online**

“Green Energy & Zero Waste Society”



**April 2, 2021
Bangkok, Thailand**

ONLINE CONFERENCE



*Organized by
Thai Society for Biotechnology (TSB)*





**Thai Society for Biotechnology International Conference
Online
"Green Energy & Zero Waste Society"**

www.onlinetsb.com



Thai Society for Biotechnology International Conference Online
"Green Energy & Zero Waste Society"

Organized by



Thai Society for Biotechnology (TSB)



BEB10

Biodiesel Production from Waste Cooking Oil using Calcined Blue Crab Shell Ash as Catalyst

Panuwich Jaekhajad¹, Tanate Chaichana¹, Ratchadaporn Puntharod² and Rotjapun Nirunsin^{1,*}

¹*Department of Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, Thailand, 50290*

²*Department of Chemistry, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand, 50290*

*Corresponding author. E-mail: rotjapun@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this study was to produce biodiesel from waste cooking oil via transesterification process using a heterogeneous catalyst derived from calcined blue crab shells ash at 900 °C for 4 hr (CBCSA). The physical and chemical properties of CBCSA were measured by X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and scanning electron microscope (SEM). The prepared catalyst was used in the biodiesel production that suitable reaction parameters were investigated, namely methanol to oil molar ratio at 9:1 12:1 and 15:1, and reaction time for 1-3 hr under the same amount of catalyst at 5%wt and reaction temperature at 60 °C. The results showed CBCSA structure had small particles with an average diameter of 26.28±3.80 μm that covered densely rough surfaces and high porosity which made the porosity had an average diameter of 1.34 ± 0.42 μm. In addition, its composition was found calcium and calcium oxide from analyze XRF technique at 48.34% and 75.21%, respectively. The study of the production revealed using CBCSA at 5%wt, 9:1 of molar ratio methanol to oil under reaction temperature at 60 °C for 1 hr were the best condition that could reach biodiesel yield at 80.40%. Moreover, the obtained fuel had good quality because its properties closed to the biodiesel standard announced by the Department of the Energy Business, Ministry of Energy, Thailand. Therefore, using waste materials as the substrate and catalyst in biodiesel production could give a high yield and high-quality biodiesel.

Keywords: Biodiesel, Calcined blue crab shell ash, Transesterification, Waste cooking oil



INTRODUCTION

Biodiesel is clean renewable energy that recognized worldwide as a replacement for fossil diesel and trusted as energy which can develop the country's economy because it can be produced from sustainable resources, namely animal fat, vegetable oil, along with waste cooking oil that is transformed to be biodiesel by chemical reaction process, known as "transesterification". The advantages of this fuel are capable to replace diesel efficiently, environmentally friendly since its biodegradable, and able to reduce engine emissions (Ahmad et al., 2019). However, the production still faces problems of high production costs and wastewater generation from the use of chemical catalysts in the process. Therefore, this research is likely to focus on using low-cost feedstocks in production which can solve the problems and generate friendlier biodiesel (Kant Bhatia et al., 2020).

Heterogeneous catalysts are considered to highly reliable in biodiesel production because they can reduce the problem of chemical residue and wastewater generation. Moreover, they also had quite a cheap price because they can be synthesized from natural or waste resources, such as eggshells, animal bones, shells, and even wood ash through calcination process with high temperature. Hence, the biodiesel production in which the catalyzation will be more obliging to the environments than the others. In addition, many reports indicated that using heterogeneous catalysts could promote the production to reach high biodiesel yield and quality (Adepoju et al., 2020). e.g., Foroutan et al. (2020) studied biodiesel production from waste edible oil (WEO) using CaO combined with MgO nanocatalyst derived from calcined chicken eggshells at 900 °C for 4 hr. The results found the production using the amount of catalyst at 4.571wt%, 16.7:1 of methanol to oil molar ratio, reaction time for 7.08 hr, and reaction temperature at 69.37 °C, reached high biodiesel yield at 98.37% with good properties, such as viscosity, density, flash point, cloud point, pour point, cetane number, and acid values in the range of the international biodiesel standards.

As mentioned above, it was the origin of this research that aimed to study biodiesel production through transesterification or alcoholysis with methanol by using low-cost materials from natural or waste sources which were waste cooking oil (collected from the cooking process at a household level around Maejo University) as the feedstock, and blue crab shell from a fishing farm in Surat Thani as the catalyst.

MATERIAL AND METHODS

Materials

The raw material used in this study was waste cooking oil. Filter waste cooking oil and boiled at 100 °C for moisture removal. Analysis of raw free fatty acid (FFA) for waste cooking oil according to the standard ASTM D5555-95 by titration with a standard-based solution.

$$\text{FFA}(\%) = \frac{A \times N \times M}{m} \times 100$$

Where A is the volume of the KOH solution (ml), N is the concentration of the KOH solution, M is a molecule of the fatty acid (g/mol) and m is the weight of oil (g).



Catalyst preparation and characterization

The raw material used as catalyst was a blue crab shell from a fishing farm in Surat Thani. The blue crab shell was washed thoroughly several times with hot water to remove the impurities and other interference materials. The clean blue crab shell dried at 110 °C for 12 hr in a dry oven. Then blue crab shell was crushed to fine powder and calcined at 900 °C for 4 hr in a furnace. Analyze the physical and chemical properties of calcined blue crab shell ash catalysts by X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and scanning electron microscope (SEM).

Biodiesel production in the transesterification process

The experiments were done under conditions at the molar ratio methanol: oil of 9:1, 12:1, and 15:1. The calcined blue crab shell ash catalysts of 5%wt and reaction temperature at 60 °C on a hot plate for 1-3 hr. After the transesterification reaction was completed, the analysis physical and chemical properties of the biodiesel and calculate the biodiesel yield.

$$\text{yield(\%)} = \frac{m_{\text{Biodiesel}}}{m_{\text{oil}}} \times 100$$

Biodiesel properties

The properties of biodiesel products were analyzed by viscosity (ASTM D445), density (ASTM D1298), acid value (ASTM D644), cloud point (ASTM D2500) and pour point (ASTM D97) to the standard announced by the department of the energy business, Ministry of Energy.

RESULTS AND DISCUSSION

The result of X-ray fluorescence spectrometry (XRF)

XRF analysis was performed and is presented in table 1. The study increasing calcination temperature at 900 °C for blue crab shells found a decrease of carbon content whereas calcium content increased at 48.34%. Furthermore, analyze the compound in the calcined blue crab shell ash catalyst found that calcium oxide (CaO) content for 75.21% which calcium oxide was commonly used in biodiesel production.

Table 1. Composition of the calcined blue crab shell ash.

compositions (mass%)	Blue crab shell	Calcined blue crab shell ash
C	20.74	2.99
O	49.45	41.65
Al	0.04	0.01
Na	0.21	0.26
Mg	1.64	3.56
P	1.40	2.33
Si	0.06	0.02
Cl	0.01	0.02
S	0.12	0.14
K	0.02	0.06
Ca	25.93	48.34
Mn	0.02	n/d
Br	< 0.01	n/d
Zn	< 0.01	n/d
Fe	0.02	n/d
Sr	0.34	0.62



The result of scanning electron microscope (SEM)

The particle analysis using scanning electron microscopy technique. As shown in Figure 1, the blue crab shell was found that had particle agglomerated together as big and connected with fibers. Furthermore, they had a porous structure. The calcined blue crab shell ash at 900 °C was found that the catalyst characteristics had an even distribution with the small structure with an average diameter of $26.28 \pm 3.80 \mu\text{m}$ and a lot of porous distribution in structures which made the porosity had an average diameter of $1.34 \pm 0.42 \mu\text{m}$. This increases a higher surface area to involve catalyst be able to react in the process (Bello et al., 2016). Due to the calcined at high temperature made structure and characteristics of the catalyst are more change contoured. According to a study by Mahmood Khan et al. (2020) In the research for biodiesel production from used cooking oil using waste ostrich (*Struthio camelus*) bones catalyst found that the catalyst had a hexagonal crystal structure because of the decomposition of carbonates and the coalescence of alkali metals oxides. This effect on structure size is reduced, had changed to shape and pore size distribution. The changes in structure have resulted from the decomposition of the composition after the calcined process. Consequently, this research focuses on using natural catalysts from calcined blue crab shell ash.

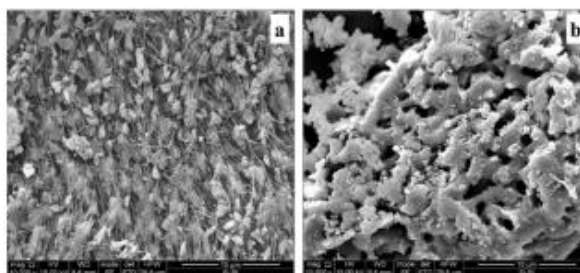


Figure 1. SEM images for calcined blue crab shell ash.

Effect of molar ratio methanol per oil and reaction time on biodiesel yield

Free fatty acid (FFA) of waste cooking oil was 0.83%. So, its referred to be good feedstock in biodiesel production but if the free fatty acid was more than 2.50%, it was found that the biodiesel yield decreased, and the amount of glycerin increased (Panpraneecharoen et al., 2018). Biodiesel yield analysis from waste cooking oil by using calcined blue crab shell ash. The effect of molar ratio methanol: oil to biodiesel yield was found that the molar ratio of methanol: oil at 15:1, the calcined blue crab shell ash at 5%wt, and reaction time at 2 hr for highest biodiesel yield at 85.53% as shown in Figure 2. The molar ratio reduction made biodiesel yield decrease. Furthermore, the reaction time unsuitable influenced biodiesel yield because the first hour, catalyst is less reacting with methanol and waste cooking oil which resulting in low yield. While increase the time to 3 hr made the biodiesel yield reduces due to increased viscosity of the mixture (Laskar et al., 2020).

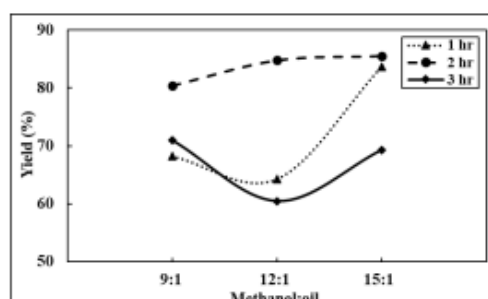


Figure 2. Effect of molar ratio methanol: oil using calcined blue crab shell ash to biodiesel yield.

Properties of biodiesel production

Biodiesel properties were done under the condition at the molar ratio methanol: oil of 9:1, 12:1, and 15:1. The calcined blue crab shell ash of 5%wt and reaction temperature at 60 °C on a hot plate for 1-3 hr. The properties as shown in table 2.

Table 2. Biodiesel properties of calcined blue crab shell ash.

Biodiesel properties	9:1			12:1			15:1		
	1 hr	2 hr	3 hr	1 hr	2 hr	3 hr	1 hr	2 hr	3 hr
Viscosity at 40 °C (cSt)	9.46	6.63	5.34	5.58	14.12	14.01	3.97	8.95	17.57
Density at 15 °C (kg/m ³)	900	900	900	890	900	910	880	900	915
Acid value (mg KOH/g)	0.90	0.22	1.65	0.77	0.98	0.44	1.99	1.76	0.88
Cloud point (°C)	2	6	12	5	6	5	5	6	10
Pour point (°C)	0	3	8	2	3	2	2	3	6

The condition high biodiesel yield and properties of biodiesel were closed to standard at the molar ratio of 9:1, the calcined blue crab shell ash of 5%wt and reaction temperature and time at 60 °C and 1 hr, respectively. This condition has biodiesel yield at 80.40%. The first property was viscosity (ASTM D445) of 6.63 cSt. It can be concluded that the high viscosity of the biodiesel because in the calcined blue crab shell ash had the chitin make to catalyst were stabilizing agent and thickening agent (Narayanasamy et al., 2020). The second property was density (ASTM D1298) of 900 kg/m³. The density of the biodiesel affects the engine performance, engine pump, fuel consumption, carbon emissions, and effect on the efficiency of combustion in engines. While exhaust gas from the combustion of biodiesel is maybe to lessen carbon dioxide than diesel fuel (Ching-Velasquez et al., 2020). The third property was the acid value (ASTM D664) of 0.22 mg KOH/g. The acid value used to indicate the decency of the biodiesel for usability. So, an acid value higher than standard makes erosion in engine, oil supply system damaged and nonfunctional the engine. According to a study by Sivakumar et al. (2014). The research for biodiesel production using waste shell of *Scylla Tranquebarica* found that biodiesel production from sunflower oil using waste shell of *Scylla Tranquebarica* as catalyst had acid value were closed to the standard and this research.



CONCLUSION

The heterogeneous catalyst, extracted from calcined blue crab shell ash with the high heating temperature at 900 °C for 4 hr, had high Ca and CaO compositions at 48.34 and 75.21%, respectively. In addition, its SEM images showed CBCSA consisted of small rough surface particles (average diameter of 26.28±3.80 μm) that fulfilled with high porosity. When using the catalyst in the biodiesel production under investigation of proper conditions from reaction parameters, such as methanol to oil molar ratio at 9:1 12:1 and 15:1, and reaction time for 1-3 hr with the same catalyst loading at 5%wt, and 60 °C of reaction temperature. The results found 9:1 of molar ratio methanol to oil in the 1 hr in transesterification. This suitable condition that has a high value of biodiesel yield at 80.40%. However, these seem lower than the standard of biodiesel but biodiesel on this research was guidelines for development biodiesel production from heterogeneous catalysts. The biodiesel properties closed to the biodiesel standard, announced by the Department of the Energy Business, Ministry of Energy, Thailand, namely viscosity, density, acid value, cloud point, and pour point at 6.63 cSt, 900 kg/m³, 0.22 mg KOH/g, 6 °C, and 3 °C, accordingly. Therefore, using waste materials as the substrate and catalyst in biodiesel production could give a high yield and high-quality biodiesel since it was the effective catalyst in the biodiesel production due to it had high values of CaO and the porosity had an average diameter of 1.34 ± 0.42 μm. Therefore, they were can increased value to waste cooking oil and reduce of waste blue crab shell that for reduce environmental problem in community and used to the most benefit.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the following supporters of this research; School of Renewable Energy, Maejo University for ASEAN countries for graduate students (2019) for supporting testing facilities, Standardization at Maejo University for assisting research budget and Graduate School at Maejo University.

REFERENCES

- Adepoju, T. F., Ibeh, M. A., Babatunde, E. O., & Asquo, A. J. (2020). Methanolysis of CaO based catalyst derived from egg shell-snail shell-wood ash mixed for fatty acid methylester (FAME) synthesis from a ternary mixture of *Irvingia gabonensis* -*Pentaclethra macrophylla* - *Elais guineensis* oil blend: An application of simplex lattice and central composite design optimization. *Fuel*, 275, 117997.
- Ahmad, T., Danish, M., Kale, P., Geremew, B., Adeloju, S. B., Nizami, M., & Ayoub, M. (2019). Optimization of process variables for biodiesel production by transesterification of flaxseed oil and produced biodiesel characterizations. *Renewable Energy*, 139, 1272–1280.
- Bello, O. S., Owojuyigbe, E. S., Babatunde, M. A., & Folaranmi, F. E. (2016). Sustainable conversion of agro-wastes into useful adsorbents. *Applied Water Science*, 7(7), 3561–3571.
- Ching-Velasquez, J., Fernández-Lafuente, R., Rodrigues, R. C., Plata, V., Rosales-Quintero, A., Torrestiana-Sánchez, B., & Tacias-Pascacio, V. G. (2020).



- Production and characterization of biodiesel from oil of fish waste by enzymatic catalysis. *Renewable Energy*, 153, 1346-1354.
- Foroutan, R., Mohammadi, R., Esmaili, H., Mirzaee Bektashi, F., & Tamjidi, S. (2020). Transesterification of waste edible oils to biodiesel using calcium oxide@magnesium oxide nanocatalyst. *Waste Management*, 105, 373–383.
- Kant Bhatia, S., Gurav, R., Choi, T.-R., Joong Kim, H., Yang, S.-Y., Song, H.-S., Young Park, J., Park, Y.-L., Han, Y.-H., Choi, Y.-K., Kim, S.-H., Yoon, J.-J., & Yang, Y.-H. (2020). Conversion of waste cooking oil into biodiesel using heterogenous catalyst derived from cork biochar. *Bioresource Technology*, 122872
- Laskar, I. B., Deshmukhya, T., Bhanja, P., Paul, B., Gupta, R., & Chatterjee, S. (2020). Transesterification of soybean oil at room temperature using biowaste as catalyst; an experimental investigation on the effect of co-solvent on biodiesel yield. *Renewable Energy*, 162, 98-111.
- Mahmood Khan, H., Iqbal, T., Haider Ali, C., Javaid, A., & Iqbal Cheema, I. (2020). Sustainable biodiesel production from waste cooking oil utilizing waste ostrich (*Struthio camelus*) bones derived heterogeneous catalyst. *Fuel*, 277, 118091.
- Narayanasamy, A., Balde, A., Raghavender, P., Shashanth, D., Abraham, J., Joshi, I., & Nazeer, R. A. (2020). Isolation of marine crab (*Charybdis natator*) leg muscle peptide and its anti-inflammatory effects on macrophages cells. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 101577.
- Sivakumar, P., Sivakumar, P., Anbarasu, K., Mathiarasi, R., & Renganathan, S. (2014). An eco-friendly catalyst derived from waste shell of scylla tranquebarica for biodiesel production. *International Journal of Green Energy*, 11(8), 886–897.
- Panpraneecharoen, S., Chumanee, S., Pongpian, W., Khoomsab, R., & Rodkate, N. (2018). Study the optimal conditions for biodiesel production from used cooking oil with potassium hydroxide catalyst. *Journal of Science & Technology Phetchabun Rajabhat University (JSTPCRUCR)*, 3(1), 1-12.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ภาณุวิชญ์ แจขจัด
เกิดเมื่อ	31 กรกฎาคม 2539
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาพลังงานทดแทน เกียรตินิยมอันดับ 2 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ประวัติการทำงาน	<ul style="list-style-type: none"> • ภาณุวิชญ์ แจขจัด, ไกรชล นันไชย, วิลาวัลย์ สุทธิ และ รจพรรณ นิรัญศิลป์. 2561. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันหมูโดยใช้เถ้าไม้ลำไยร่วมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14. • ภาณุวิชญ์ แจขจัด, ฝิโลทัย ไวยจารีย์ และ รจพรรณ นิรัญศิลป์. 2562. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอทานอลร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน. การประชุมวิชาการระดับชาติ มศว. วิจัย ครั้งที่ 12, 698-709. • รจพรรณ นิรัญศิลป์, จุฑาภรณ์ ชนะภรณ์, ปริญ คงกระพันธ์, พัชยาภรณ์ สิงห์รัญ และ ภาณุวิชญ์ แจขจัด. 2562. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เถ้าไม้ลำไยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. การประชุมวิชาการการถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 18.