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 แจขจัด[1] และ รจพรรณ นิรัญศิลป์[1*]
Panuwich Jaekhakad[1] and Rotjapan Nirunsin[1*]
[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[1]School 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

สิ่งแวดล้อมของชุมชนและสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนได้อีกด้วย

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

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและเศรษฐกิจของประเทศเกิดการชะลอตัว จึงทำให้การนำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปลดลงเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา โดยส่งผลกระทบเป็นอย่างมากกับภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม ที่จำเป็นต้องใช้น้ำมันดีเซลในการดำเนินงาน จึงทำให้มีการพัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาทดแทนน้ำมันดีเซล และจากสถานการณ์การใช้พลังงานทดแทนในปีที่ผ่านมาทำให้ทราบได้ว่ามีการใช้ไบโอดีเซลซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) จึงทำให้มีการพัฒนาการใช้โบโอดีเซลร่วมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนของ B7, B10 และ B20 เป็นต้น เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิง อีกทั้งยังมีการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลเพื่อเพิ่มความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภค และเพิ่มความมั่นคงทางด้านพลังงาน โดยไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน และวัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตมาจากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือแม้กระทั่งน้ำมันพืชใช้แล้ว (วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล, 2559) โดยเมื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนพบว่าสามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิต ส่งเสริมการกำจัดน้ำมันพืชใช้แล้วอย่างถูกวิธีทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพราะการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้ซ้ำจะส่งผลเสียต่อสุขภาพทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ และหากนำไปกำจัดด้วยการเททิ้งจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมทำให้ระบบนิเวศโดยรอบเสียหาย

การผลิตไบโอดีเซลในชุมชนโดยส่วนใหญ่เป็นการผลิตโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากสารเคมี เนื่องจากใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยและมีปริมาณผลผลิตสูง แต่ในทางกลับกันการผลิตจากตัวเร่งปฏิกิริยาสารเคมีทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีต้นทุนในการผลิตสูง และเมื่อปล่อยน้ำล้างไบโอดีเซลลงสู่ธรรมชาติจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในชุมชนอย่างมาก (Mansir, Taufiq-Yap, Rashid, & Lokman, 2017) นอกจากไบโอดีเซลที่ได้ในกระบวนการผลิตแล้วยังมีกลีเซอรีนซึ่งเป็นผลพลอยได้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอีกด้วย จึงจำเป็นต้องกำจัดกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซลก่อนจะนำไปใช้งานได้ ดังนั้น จึงมีการคิดค้นการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติ โดยมีการพัฒนาใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทโลหะอัลคาไลน์ออกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ในการผลิตไบโอดีเซล 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% เนื่องจากแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดหนึ่งที่นิยมสังเคราะห์เพื่อนำมาผลิตไบโอดีเซล โดยในการทดลองนี้ได้ลดขั้นตอนในการล้างไบโอดีเซลเพื่อป้องกันไม่ให้ไบโอดีเซลเกิดการปนเปื้อนและไม่สร้างมลพิษให้แก่สิ่งแวดล้อม (สุภกร บุญยืน, พัชรพร เทียมปาน, สมลักษณ์ เรืองสุทธินฤภาพ, ปวีณ หุ่นพานิชย์, จักรกฤษณ์ ชื่นใจเล็ก, และ ศิวพร มีจู สมิธ, 2556)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์จากธรรมชาติ โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทนี้จะสามารถช่วยลดปัญหาในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากไบโอดีเซลและช่วยลดการใช้สารเคมี ลดต้นทุนในการผลิต เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ และช่วยลดปัญหาการใช้น้ำมันซ้ำ เพื่อป้องกันปัญหาทางด้านสุขภาพ งานวิจัยนี้ยังมุ่งเน้นแนวทางในการพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์จากธรรมชาติสำหรับในส่วนของชุมชนที่มีการนำผลงานวิจัยไปต่อยอดเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตไบโอดีเซลและพัฒนาเพื่อเป็นต้นแบบการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนของศูนย์เรียนรู้ไบโอดีเซลในชุมชนบ้านภูดิน ตำบลแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นชุมชนที่ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเดิมที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และส่งผลกระทบทำให้การผลิตที่ผ่านมามีต้นทุนสูง เพื่อเป็นการลดปัญหาในด้านนี้จึงได้มีการส่งเสริมให้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์จากธรรมชาติแทนตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่งสามารถผลิตไบโอดีเซลให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาตินั้นเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งที่ได้จากชุมชนอื่น เพื่อส่งเสริมให้มีการทำงานร่วมกันในหลาย ๆ ชุมชน โดยในชุมชนบ้านโพธิ์หวาย ตำบลบางกุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่เป็นชุมชนชาวประมง ซึ่งประสบปัญหาในการกำจัดขยะจากอาหารทะเล โดยเฉพาะเปลือกปูม้าที่มีจำนวนมากจึงทำให้ไม่มีพื้นที่ทิ้งขยะได้เพียงพอ และประสบปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นจากกองเปลือกปูม้า

ที่เททิ้งไว้ จึงเล็งเห็นให้นำวัสดุที่เหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดและยังเป็นอีกหนึ่งวิธีในการจัดการขยะที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในชุมชนอีกด้วย อีกทั้งยังเป็นการร่วมมือกันระหว่างชุมชนที่ผลิตไบโอดีเซลและชุมชนที่ต้องการจัดการขยะจากเปลือกปูม้า รวมถึงยังเป็นการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลที่ได้จากฟอสซิล และยังช่วยลดผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า
2. เพื่อศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า
3. เพื่อศึกษาแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในชุมชนจังหวัดเชียงใหม่ ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า เพื่อช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะจากเปลือกปูม้าในชุมชนจังหวัดสุราษฎร์ธานี และวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ พร้อมทั้งนำไปเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตในท้องตลาดทั่วไป เพื่อหาต้นทุนการผลิตที่ลดลงของไบโอดีเซลที่ผลิตจากตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ และศึกษาวิธีการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า พร้อมทั้งศึกษาปัญหาและผลกระทบที่ชุมชนได้รับในการจัดการเปลือกปูม้าและการผลิตไบโอดีเซล

ส่วนที่ 2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า

ปรับสภาพเปลือกปูม้าโดยการล้างด้วยน้ำร้อน เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับเปลือกปูม้า แล้วนำไปตากให้แห้งก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เพื่อไล่ความชื้นที่อยู่ในเปลือกปูม้า แล้วทำการเผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 4 h แล้วทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า โดยการวิเคราะห์ลักษณะสีและความละเอียด วิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา (XRF) และวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าในระดับจุลภาค (SEM)

ส่วนที่ 3 การผลิตไบโอดีเซล โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า 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 ปริมาณสารละลายด่างที่ใช้, (ml)
N คือ ความเข้มข้นของสารละลายด่าง, (mol/L)
M คือ โมเลกุลของกรดไขมัน, (g/mol)
m คือ น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง, (g)

ในส่วนขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเถ้าเปลือกปูม้า 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 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนทางด้านวัตถุดิบและต้นทุนทางด้านไฟฟ้า โดยต้นทุนทางด้านไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 และสมการที่ 4 และนำไปเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตของไบโอดีเซลตามท้องตลาดทั่วไป เพื่อหาต้นทุนการผลิตที่ลดลง

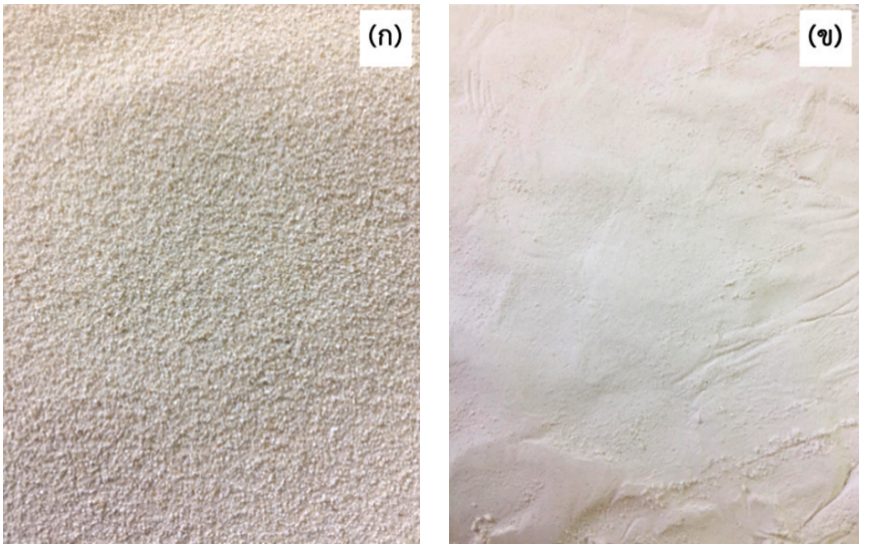
พลังงานไฟฟ้า (kW_h) = กำลังไฟฟ้า (W) x เวลา (h) / 1000 (3)

ค่าไฟฟ้า (Baht) = พลังงานไฟฟ้า (kW_h) x ราคาต่อหน่วย (Baht/kW_h) (4)

ผลการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า

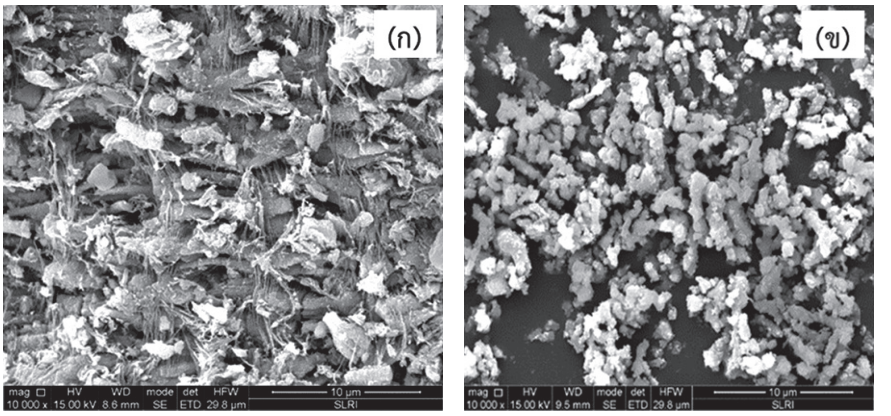
ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า พบว่า เปลือกปูม้าบดก่อนนำไปเผามีลักษณะเป็นเม็ดกลม สีครีม เนื้อหยาบ ไม่มีสิ่งเจือปน ซึ่งเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900°C พบว่า มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาวขุ่น มีลักษณะคล้ายเนื้อแป้ง ผิวสัมผัสบางเบา ดังแสดงในรูปที่ 1



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

การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าในระดับจุลภาค

สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าในระดับจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่า ก่อนการนำเปลือกปูม้าไปเผามีลักษณะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน มีเส้นใยบาง ๆ เชื่อมติดกัน มีรูพรุนน้อย และมีลักษณะโครงสร้างเป็นแท่งยาวต่อ ๆ กัน แต่เมื่อทำการเผาเปลือกปูม้าที่อุณหภูมิ 900°C พบว่า ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยามีการกระจายตัวมากขึ้น ไม่เกาะกันเป็นกลุ่ม มีโครงสร้างเป็นแท่งสั้น ๆ มีรูพรุนมาก และไม่มีเส้นใยที่เชื่อมติดกัน เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้โครงสร้างและลักษณะต่าง ๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการปรับเปรียบรูปทรงมากขึ้น



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

การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า

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

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า

องค์ประกอบ (mass%)	เปลือกปูม้า	เปลือกปูม้า อบที่อุณหภูมิ 110°C	ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า 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

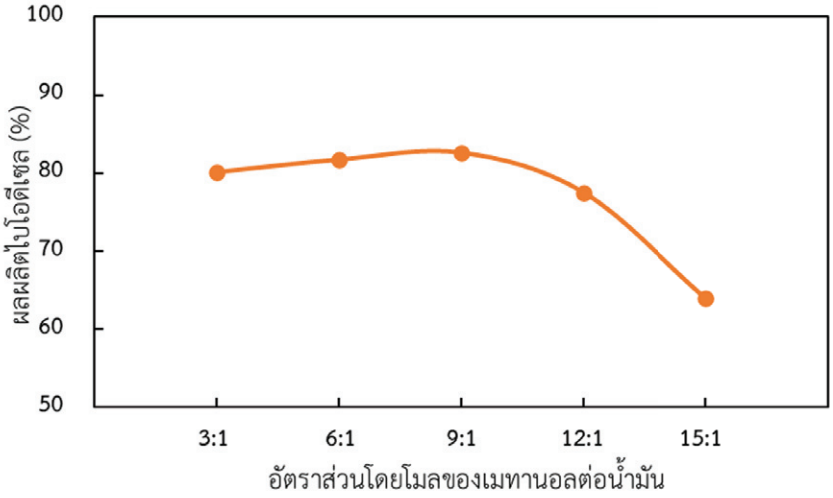
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกปูม้าและตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า จากตารางที่ 1 พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้ามีปริมาณธาตุคาร์บอนลดลง 85.58% ซึ่งในขณะเดียวกันปริมาณของธาตุแคลเซียมกลับเพิ่มสูงขึ้นถึง 86.42% เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้สูญเสียธาตุคาร์บอนออกไปด้วย และเมื่อวิเคราะห์ถึงสารประกอบในตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า พบว่า มีสารประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงถึง 75.21% ซึ่งแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดหนึ่งที่สามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบทางธรรมชาติและนิยมนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาสมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว

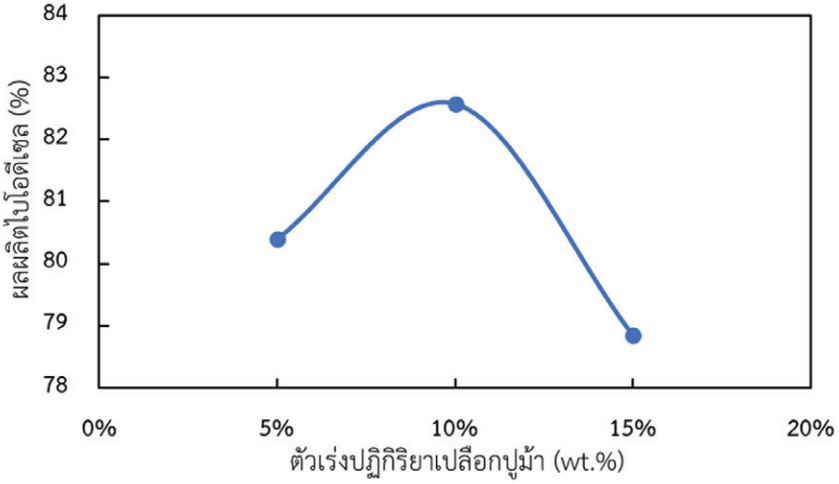
เมื่อทำการกรองและให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชใช้แล้ว เพื่อแยกเศษตะกอนและไล่ความชื้นออก จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยการวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) พบว่า ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีค่า 0.83% ดังนั้น น้ำมันที่ใช้สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้ เพราะว่าค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันมีค่าไม่เกิน 2.50% หากน้ำมันมีค่ากรดไขมันอิสระมากเกินไปจะส่งผลให้การทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ยาก ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลลดลง และปริมาณกลีเซอรีนที่เกิดขึ้นหลังสิ้นสุดปฏิกิริยามีมากเกินไป (Panpraneecharoen, Chumanee, Pongpian, Khoomsab, & Rodkate, 2018)

การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า

การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า 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 โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันกับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่ 10 wt.% ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาผลิต คือ 9:1 โดยให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 82.58% เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนในการผลิตกลับได้ผลผลิตไบโอดีเซลลดลง และส่วนที่ 2 กล่าวถึงตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่มีต่อผลผลิตไบโอดีเซล โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้ากับอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1 ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่เหมาะสมในการนำมาผลิตไบโอดีเซลอยู่ที่ 10 wt.% เนื่องจากสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุด และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เหมาะสมจะทำให้การเกิดปฏิกิริยาได้ไม่สมบูรณ์



รูปที่ 3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อผลผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 4 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่มีต่อผลผลิตไบโอดีเซล

การวิเคราะห์สมบัติไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า

โดยศึกษาการวิเคราะห์สมบัติไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C โดยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาที่เงื่อนไขของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 5–15 wt.%

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

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า

เมทานอลต่อน้ำมัน	ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า (wt.%)	ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)	ความเป็นกรด (mg KOH/g)	จุดขุ่น (°C)	จุดไหลเท (°C)	ค่าความถ่วงจำเพาะ
ไบโอดีเซลตามมาตรฐาน	–	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 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 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 ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน เท่ากับ 6°C และ 2°C ตามลำดับ

การวิเคราะห์การลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล

ผลการวิเคราะห์แนวทางการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้า ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดเป็นแนวทางในการลดต้นทุนและส่งเสริมการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน ดังกรณีของชุมชนบ้านภูดิน ตำบลแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นชุมชนต้นแบบในการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน โดยได้ทำการวิเคราะห์การผลิตตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งทำการคำนวณต้นทุนของไบโอดีเซลที่มีผลผลิตไบโอดีเซลและสมบัติไบโอดีเซลตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน (ประเทศไทย) โดยพบว่าเงื่อนไขอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า 5 wt.% ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 h และที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65°C เป็นเงื่อนไขที่ได้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดและมีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนทางด้านวัตถุดิบและต้นทุนทางด้านไฟฟ้า (ศรีสุดา อาชวานันทกุล, 2560) โดยต้นทุนทางด้านไฟฟ้ามีค่าไฟฟ้า เท่ากับ 3.2484 Baht/kW_h ซึ่งประกอบไปด้วยรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน

ต้นทุนทางด้านวัตถุดิบ	น้ำมันพืชใช้แล้ว เป็นน้ำมันที่ได้จากการเก็บรวบรวมในชุมชน	ไม่มีค่าใช้จ่าย
	ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า เป็นเปลือกปูม้าที่เหลือทิ้งในชุมชน	ไม่มีค่าใช้จ่าย
	เมทานอล	
	เมทานอล 1 L ราคา 53.50 บาท การผลิต 1 ครั้ง ใช้เมทานอล 0.35 L	18.73 บาท
ต้นทุนทางด้านไฟฟ้า	**เตาอบ**	
	อบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 12 h ใช้กำลังไฟฟ้า 1,025 W ในการอบ 1 ครั้ง จะสามารถใช้เปลือกปูม้าได้ 18 ครั้ง	2.21 บาท
	เตาเผา	
	เผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 4 h ใช้กำลังไฟฟ้า 3,750 W ในการเผา 1 ครั้ง จะสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้ 10 ครั้ง	4.87 บาท
	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**

ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าภายใต้เงื่อนไขอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า 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 ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าต้นทุนน้อยกว่าตามท้องตลาดทั่วไป 12.38 Baht/L จึงสามารถนำไปเป็นแนวทางในการช่วยลดต้นทุนการผลิตในชุมชนและเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากธรรมชาติ

อภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าที่นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 900°C โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shankar & Jambulingam (2017) ในด้านของการใช้อุณหภูมิที่ 900°C เหมือนกันในการเผาเปลือกปู ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอุณหภูมิที่ 900°C นี้เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทดลองในครั้งนี้ แล้วพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้ามีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาวขุ่น มีลักษณะคล้ายเนื้อแป้งนั้นส่งผลดีต่อการนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล เพราะว่าตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำปฏิกิริยาร่วมกันกับเมทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพถึงแม้ว่าจะไม่หลอมเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า พบว่า เปลือกปูม้าบดก่อนนำไปเผามีปริมาณธาตุคาร์บอนและออกซิเจนสูง แต่เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงพบว่ามีปริมาณของธาตุคาร์บอนลดลงในขณะที่ปริมาณธาตุแคลเซียมออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raya, Mayasari, Yahya, Syahrul, & Latunra (2015) ที่ได้ทำการศึกษาลักษณะและสังเคราะห์แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์จากเปลือกปูม้า (*Portunus pelagicus*) ผลการทดลองพบว่าในเปลือกปูม้ามีองค์ประกอบของธาตุแคลเซียมมากกว่าธาตุคาร์บอน 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 มีลักษณะโครงสร้างคล้ายรูปกระดูกสุนัข มีรูพรุนในโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่และจำนวนมากกระจายตัวอย่างต่อเนื่องตามโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลอยู่ที่ 10 wt.% หากใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เหมาะสมจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์

เนื่องจากลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยากับน้ำมันและเมทานอลได้ยาก (Laskar, Rajkumari, Gupta, Chatterjee, Paul, & Rokhum, 2018) ในขณะเดียวกันอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องมีการควบคุมให้เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา โดยอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสม คือ 9:1 เนื่องจากปริมาณเมทานอลที่ไม่เหมาะสมทำให้ความสามารถในการทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ซึ่งส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยากับน้ำมันได้ยาก (Sirisomboonchai et al., 2015) เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า พบว่า อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า 10 wt.% ที่อุณหภูมิ 65°C เวลา 2 h ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่มีผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 82.58% แม้ว่าจะมีผลผลิตไบโอดีเซลน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ แต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ยังช่วยลดขั้นตอนในการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ ลดของเสียจากกระบวนการผลิตและสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำได้ (วุฒิชัย รสชาติ และ จาณียา ขันชะลี, 2561) โดยทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ค่าความเป็นกรด จุดขุ่น จุดไหลเทและค่าความถ่วงจำเพาะ โดยมีผลการวิเคราะห์ เท่ากับ 890 kg/m^3, 0.22 mg KOH/g, 7°C, 3°C และ 0.89 ตามลำดับ โดยค่าความเป็นกรดจะบ่งบอกถึงความสามารถในการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ เพื่อป้องกันเครื่องยนต์ถูกกัดกร่อนจึงจำเป็นต้องใช้ไบโอดีเซลที่มีความเป็นกรดอยู่ในค่ามาตรฐาน (Zhang, Lu, Ren, Knothe, & Tu, 2019) ส่วนจุดขุ่นเป็นค่าที่บอกถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มเป็นไขขัดขวางการไหลของน้ำมันซึ่งทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรองน้ำมันได้ (จิรพัฒน์พงษ์ เสนาบุตร, อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล, และ กนกพงษ์ ศรีเที่ยง, 2560) และจุดไหลเทบ่งบอกถึงจุดที่อุณหภูมิต่ำสุดที่ไบโอดีเซลเริ่มไม่ไหลหรือไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยยังไม่เกิดไขมาขัดขวางการไหล (รัชฎาภรณ์ อินเกิด, ชูรัตน์ ธารารักษ์, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี, 2559) และเมื่อทำการวิเคราะห์ต้นทุนเปรียบเทียบกับราคาตามท้องตลาดทั่วไป พบว่า มีต้นทุนน้อยกว่าตามท้องตลาดทั่วไป 12.38 Baht/L ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ถึงแนวทางในการช่วยลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน อีกทั้งยังช่วยพัฒนาชุมชนเพื่อส่งเสริมการเป็นชุมชนต้นแบบการผลิตไบโอดีเซลได้อีกด้วย และตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็งทำให้สามารถแยกออกจากไบโอดีเซลได้ โดยไม่ต้องคิดต้นทุนการผลิตใหม่ เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายในด้านของวัตถุดิบตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศิริวัฒนา หัทสนธ์ (2556) ที่ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ CaO จากเปลือกปูทะเลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดสอบการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า สามารถนำกลับมาใช้งานซ้ำได้และให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลใกล้เคียงกับการผลิตในครั้งแรก

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900°C โดยวิเคราะห์ค่า FFA ของน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนการทดลอง พบว่ามีค่า FFA อยู่ที่ 0.83% จากการศึกษาการทำปฏิกิริยาที่เงื่อนไขอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกปูม้า 10 wt.% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 2 h ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด โดยมีปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 82.58% โดยผลที่ได้คือปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ อีกทั้งการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์สามารถช่วยลดน้ำเสียจากขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ ลดปริมาณการใช้สารเคมีและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ พบว่า มีค่าความหนาแน่น 890 kg/m^3, ค่าความเป็นกรด 0.22 mg KOH/g, จุดขุ่น 7°C, จุดไหลเท 3°C และค่าความถ่วงจำเพาะ 0.89 ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตจากตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ได้ในอนาคต อีกทั้งยังสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการส่งเสริมการพัฒนาชุมชนต้นแบบการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนบ้านภูดิน และสามารถช่วยเพิ่มทางเลือกในการกำจัดขยะจากเปลือกปูม้าในชุมชนบ้านโพธิ์หวาย เพื่อช่วยลดปัญหาการจัดการขยะในชุมชนและสร้างองค์ความรู้ในการพัฒนาขยะให้เกิดประโยชน์สูงสุดให้แก่ชาวบ้านในชุมชน

ข้อเสนอแนะ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกปูม้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ ซึ่งไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับเมทานอล จึงต้องควรมีเทคนิคในการนำตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากอุปกรณ์การผลิต เพื่อป้องกันการอุดตันของอุปกรณ์

2. ควรวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้วและวัตถุดิบที่จะนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในชุมชนอื่น ๆ ก่อนนำมาผลิตไบโอดีเซล

3. การผลิตไบโอดีเซลโดยการเพิ่มขนาดปริมาณการผลิต จำเป็นต้องทำการคำนวณต้นทุนการผลิตใหม่ทุกครั้ง

4. ควรส่งเสริมให้ชุมชนที่มีการใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง เช่น ชุมชนที่มีการทำเซรามิก เพื่อช่วยลดต้นทุนในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2562” จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน และทุนศิษย์ก้นกุฏิ ประจำปี 2562 จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รวมไปถึงชุมชนบ้านภูดิน ตำบลแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และชุมชนบ้านโพธิ์หวาย ตำบลบางกุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่สนับสนุนข้อมูลและวัตถุดิบในการทำการวิจัยในครั้งนี้

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).

วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล. (2559). *เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยตัวเร่งชีวภาพ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วุฒิชัย รสชาติ และ จาณียา ขันชะลี. (2561). กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยแครงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประหยัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 20(1), 94–106.

ศรีสุดา อาชวานันทกุล. (2560). *การบัญชีต้นทุน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศิริวัฒนา หัทสนธ์. (2556). *การผลิตไบโอดีเซลจากเปลือกทิวมะพร้าว โดยใช้ CaO จากเปลือกหอยแครงและเปลือกปูทะเลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวเคมี. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุภกร บุญยืน, พัชรพร เทียมปาน, สมลักษณ์ เรืองสุทธินฤภาพ, ปวีณ หุ่นพานิชย์, จักรกฤษณ์ ชื่นใจเล็ก, และ ศิวพร มีจู สมิธ. (2556). การสังเคราะห์ตัวเร่งวิวิธพันธ์จากเปลือกหอยเหลือทิ้งเพื่อใช้เตรียมไบโอดีเซล. *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). Shynthesis 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 tranquebaricafor* 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*.