การศึกษาประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่สำหรับการผลิตไบโอดีเซล

Efficiency study of Chamberlainia hainesiana shell as catalyst filler for biodiesel production

มัลลิกา หล้าพันธ์[1*] และ สังสรรค์ หล้าพันธ์[2]
Mallika Lapunt[1*]and Sunksun Lapunt[2]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000
[1]Physics Program, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Loei 42000, Thailand
[2]สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000
[2]Information Technology Program, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Loei 42000, Thailand
*Corresponding author, e-mail: mallika.pud@lru.ac.th
(Received: Jun 18, 2021; Revised: Jul 6, 2021; Accepted: Jul 15, 2021)

บทคัดย่อ

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารประกอบที่ถูกพบมากในเปลือกหอย เมื่อเปลือกหอยถูกเผาแคลไซน์แคลเซียมคาร์บอเนตจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์สำหรับใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไบโอดีเซล จึงวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่สำหรับผลิตไบโอดีเซล เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ โดยเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบโครงสร้างของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ตำแหน่ง (2θ) เท่ากับ 32.21 37.24 53.77 64.13 67.57 และ 92.5 องศา มีพื้นผิวขรุขระ ในการผลิตไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ที่อุณหภูมิ 60°C ใช้เวลา 30 นาที ได้ไบโอดีเซลสูงสุดร้อยละ 78.32 และพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติผ่านตามมาตรฐาน ASTM และ EN 14103 ข้อค้นพบนี้สามารถเป็นทางเลือกสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยวัสดุในท้องถิ่นและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้

คำสำคัญ : ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ไบโอดีเซล หอยกาบใหญ่

Abstract

Calcium carbonate is the major component found in shells. When calcined at certain temperature, calcium carbonate converts to calcium oxide as catalyst for biodiesel. This research aimed to study the performance of Chamberlainia hainesiana shell as catalyst filler for biodiesel production. Chamberlainia hainesiana shell catalyst was prepared by calcination process with temperature at 900°C for 4 hours. Furthermore, calcium oxide (CaO) was confirmed through characteristic of XRD patterns (2θ) at 32.21, 37.24, 53.77, 64.13, 67.57and 92.5 degree with a high porosity. The molar ratio of methanol to oil was 9:1 for transesterification at temperature was 60° C for 30 minutes resulting in the biodiesel production more than 78.32% and the biodiesel that was had qualities following American Society for Testing and Material (ASTM) methods and European standard methods (EN 14103) was found. The result from this research can be an option for biodiesel production with local and environment friendly materials.

Keywords: calcium oxide catalyst, biodiesel, Chamberlainia hainesiana shell

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย.
YRUJST
YRU JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Print ISSN: 2539-5688, e-ISSN: 2672-9873

บทนำ

ปัจจุบันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียนที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากไบโอดีเซลสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย ปลอดสารพิษกับสิ่งแวดล้อม (Namjan *et al*., 2018) และช่วยลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับภาคการเกษตรอีกด้วย ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนประเภทดีเซลจากธรรมชาติ โดยการนำเอาน้ำมันจากพืชหรือสัตว์มาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (เอทานอล หรือเมทานอล) และมีตัวเร่งปฏิกิริยามาเป็นตัวช่วยจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเตอร์ (Marinkovic *et al*., 2016) และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้คือ กลีเซอรอล (Glycerol) (Colombo *et al*., 2017)

ในการเกิดปฏิกิริยาจำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีทั้งชนิดกรดและเบส เช่น เปลือกไข่ กระดูกสัตว์ หอยชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ร้อยละ 80-90 เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงจะได้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ มีการประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล (Boonyuen *et al*., 2013 ; Hatthason *et al*., 2013 ; Mustakimah *et al l*., 2012) การวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณสูง เปลือกหอยกาบใหญ่ที่ใช้ในการศึกษา ได้จากบริเวณแม่น้ำเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย ความน่าสนใจในการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้คือ มีต้นทุนต่ำในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ จากเปลือกหอยกาบใหญ่
2. เพื่อศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ลงพื้นที่เก็บเปลือกหอยกาบใหญ่บริเวณแม่น้ำเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย นำเปลือกหอยที่เก็บได้มาล้างน้ำให้สะอาดโดยไม่แยกขนาดของเปลือกหอย จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาบดให้ละเอียดคัดขนาดอนุภาคที่ได้โดยเลือกเฉพาะอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 80 Mesh ตามมาตรฐาน ASTM E11 จากนั้นนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งมีรูพรุนสูง (Boonyuen *et al*., 2013) ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction (XRD)) ยี่ห้อ X 'pert Pro model โดยวัดที่ Cu K-alpha radiation เท่ากับ 40 กิโลโวลต์ 35 มิลลิแอมแปร์ ในช่วง 2θ จาก 10° ถึง 100° ขนาด 0.02° ความเร็วในการสแกน 0.5° ต่อวินาที วิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM)) และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ด้วยเทคนิค EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) ลักษณะเปลือกหอยแสดงในภาพที่ 1 และศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกอบใหญ่มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลองครั้งนี้นำน้ำมันปาล์มและเมทานอลผสมในบีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร โดยอัตราส่วนเชิงโมล (Molar Ratio) เมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 (Namjan *et al*., 2018) โดยเทียบ 100 มิลลิลิตร ใช้เมทานอล 28.5 มิลลิลิตร และน้ำมันปาล์ม 71.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มบนเตาความร้อนไฟฟ้า (Hot Plate) ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา คือ 60°C ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.0 2.5 3.0 3.5 และ 4.0 ต่อน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม ปั่นที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที เวลา 30 นาที เมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยาแล้วตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรอล กรองส่วนไบโอดีเซลด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากน้ำมัน นำไปต้มบนเตาความร้อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 – 70 °C เพื่อระเหยเมทานอลออก ทดลองซ้ำที่ร้อยละตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ จำนวน 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบเปอร์เซนต์ผลตอบแทนของน้ำมันไบโอดีเซล (% Yield) ที่ร้อยละตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน ตรวจสอบสมบัติเคมีได้แก่ ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซล ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์แบบประมาณ และสมบัติทางเชื้อเพลิงได้แก่ สี ความหนาแน่น และความหนืด ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D6751 ASTM D 1298 และ ASTM D 445 ตามลำดับ



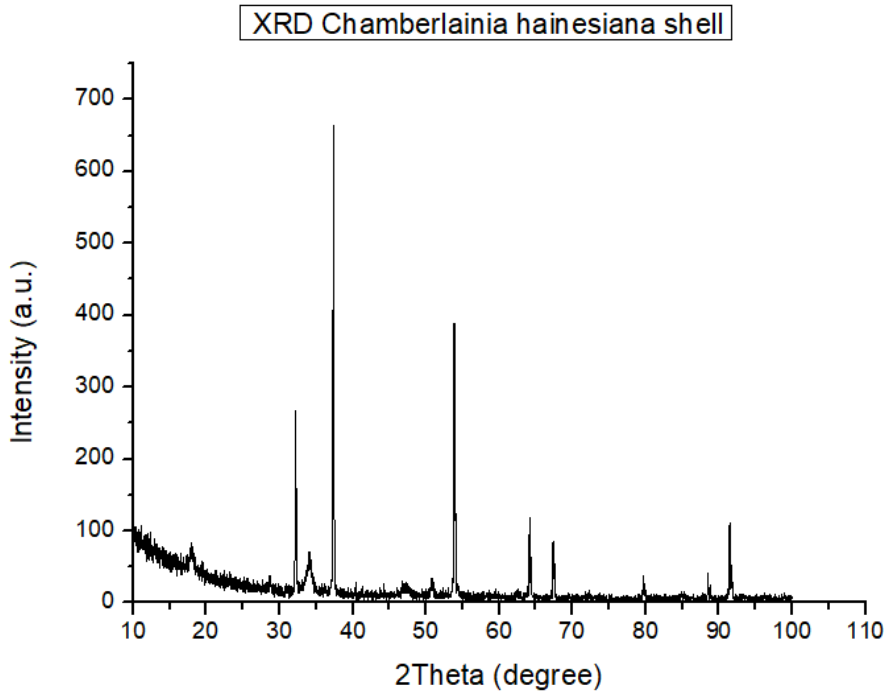
(a) (b)

ภาพที่ 1 (a) เปลือกหอยกาบใหญ่ (b) เปลือกหอยกาบใหญ่ที่ผ่านการบดและเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C

ผลการวิจัย

1. ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction) นำเปลือกหอยกาบใหญ่ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C ภายใต้บรรยากาศของอากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มาศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction) ปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์แสดงในสมการ (1) และ ภาพที่ 2

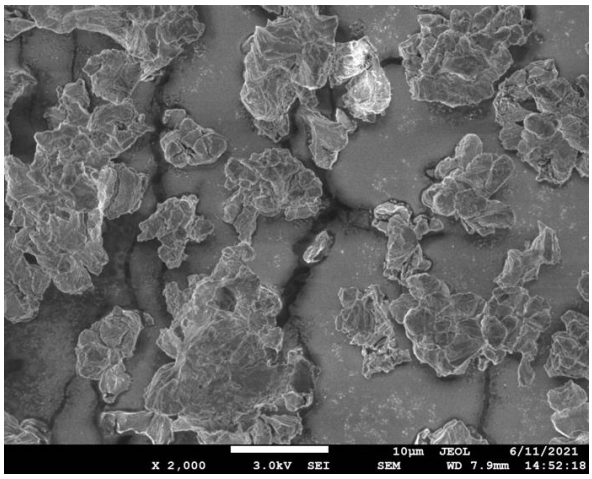
$$CaCO_3(s) \xrightarrow{\text{heat}} CaO(s) + CO_2(g) \quad (1)$$



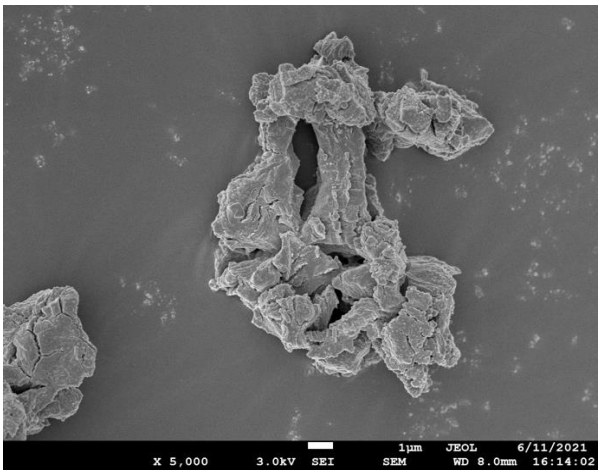
ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย.
YRUJST
YRU JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Print ISSN: 2539-5688, e-ISSN: 2672-9873

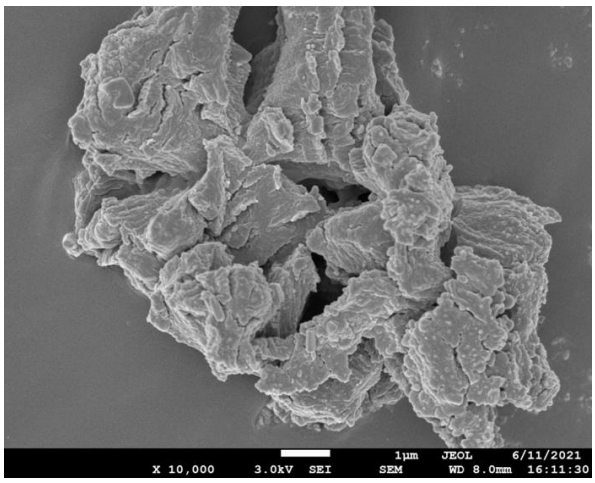
2. ศึกษาลักษณะของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM)) นำเปลือกหอยกาบใหญ่ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C ภายใต้บรรยากาศของอากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมงมาศึกษาลักษณะของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM)) ดังแสดงในภาพที่ 3



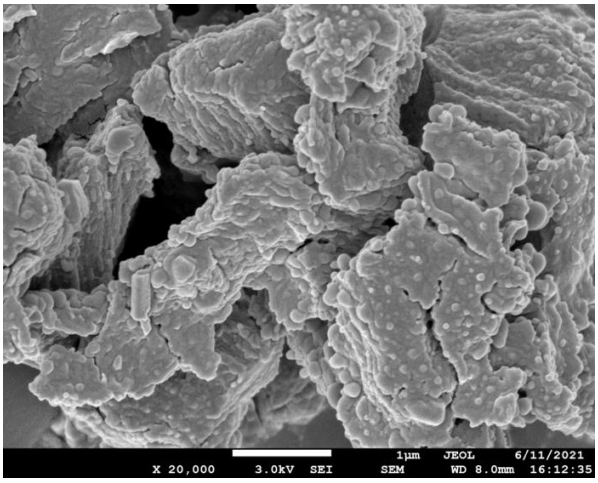
(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ SEM ของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ เผาที่แคลไซน์ทีอุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (a) กำลังขยาย × 2,000 (b) กำลังขยาย × 5,000 (c) กำลังขยาย × 10,000 (d) กำลังขยาย × 20,000

3. วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C ด้วยเทคนิค EDS ดังตารางที่ 1

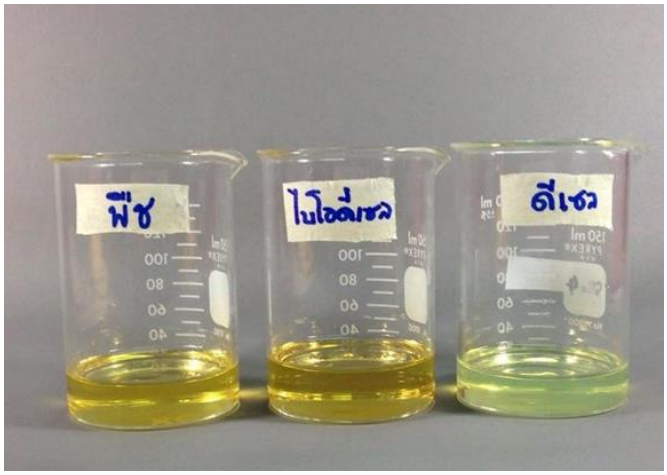
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C ด้วยเทคนิค EDS

ธาตุ	น้ำหนัก (% wt.)	ค่าความเบี่ยงเบน (wt.% Sigma)
C	9.07	0.52
O	38.86	0.73
Ca	37.42	0.58
Au	14.66	0.60

4. ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยอัตราส่วนเชิงโมล (Molar Ratio) เมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 2.0 2.5 3.0 3.5 และ 4.0 ดังแสดงในตารางที่ 2 และเปรียบเทียบสีของน้ำมันพืช น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 4

ตารางที่ 2 สมบัติของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหอยกาบใหญ่แปรผลเทียบค่ามาตรฐาน (Lapunt, 2018)

ร้อยละตัวเร่งปฏิกิริยา	ร้อยละผลได้เฉลี่ย (% Yield)	สี (ASTEM D 6751)	ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (kg/m^3) (ASTM D 1298)	ค่าความหนืดเฉลี่ย (cSt) (ASTM D 445)	ร้อยละเมทิลเอสเทอร์แบบประมาณ (EN 14103)
2.0	78.32	เหลืองใส	898.85	5.03	99.53
2.5	63.64	เหลืองใส	901.20	3.95	99.52
3.0	69.23	เหลืองใส	888.95	3.92	99.23
3.5	66.20	เหลืองใส	880.13	3.58	98.98
4.0	63.87	เหลืองใส	949.11	3.14	98.75



ภาพที่ 4 การสังเกตสีน้ำมันไบโอดีเซลเทียบกับสีของน้ำมันพืชและน้ำมันดีเซล (ที่มา : Lapunt, 2018)

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction) พบโครงสร้างของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ตำแหน่ง (2θ) เท่ากับ 32.21° 37.24° 53.77° 64.13° 67.57° และ 92.5 องศา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lani *et al*., (2017) และพบว่าที่มุม 2θ เท่ากับ 37.24 องศา มีพีทสูงสุด เนื่องจากแสดงพีทของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จึงกล่าวได้ว่า เปลือกหอยกาบใหญ่ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C สามารถดูดความชื้นได้ดีสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mustakimah *et al*., (2012) เมื่อศึกษาลักษณะของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM)) พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 12 ไมครอน มีหลายรูปทรง มีการกระจายตัวที่ดี มีพื้นผิวขรุขระ มีผลทำให้การเร่งปฏิกิริยาดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaggernagth *et al*., (2015) และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่เผาแคลไซน์ที่ 900°C ด้วยเทคนิค EDS พบธาตุ C O Ca และ Au ในปริมาณร้อยละ 9.07 38.86 37.42 และ 14.66 โดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่า ปริมาณธาตุออกซิเจน และแคลเซียมมีอยู่ปริมาณมาก เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักของแคลเซียมออกไซด์ ส่วนธาตุ Ca C และ O สามารถเกิดแคลเซียมออกไซด์ และแคลเซียมคาร์บอเนต สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD เมื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 2.0 ให้ปริมาณไบโอดีเซลเท่ากับ 56 มิลลิลิตร คิดเป็นร้อยละ 78.32 จากการสังเกตสีพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีสีเหลืองใส ซึ่งตรงตามมาตรฐานไบโอดีเซล ASTEM D 6751 ทดสอบหาความหนาแน่นซึ่งส่งผลต่อความหนืดของน้ำมัน โดยความหนาแน่นมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลอยู่ในช่วง 860 – 900 kg/m^3 ตามมาตรฐาน ASTM D 1298 และจากการวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง DIGITAL DISPLAY VISCOMETER ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D 445 มีค่าไม่ต่ำกว่า 3.50 cSt และไม่สูงกว่า 5.00 cSt และวิเคราะห์หาค่าร้อยละเมทิลเอสเตอร์พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีค่าร้อยละเมทิลเอสเตอร์แบบประมาณเป็นไปตามค่ามาตรฐาน EN 14103

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่ เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบโครงสร้างแคลเซียมออกไซด์ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มีลักษณะเป็นเม็ด รูปร่างหลายแบบ มีการกระจายตัวที่ดี มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 12 ไมครอน มีพื้นผิวขรุขระและมีการกระจายตัวที่ดี การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน พบว่าอัตราส่วนเชิงโมล เมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ที่อุณหภูมิ 60°C ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 2.0 สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นไบโอดีเซลถึงร้อยละ 78.32 ตามมาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยกาบใหญ่ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์นำกลับมาใช้ซ้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Boonyuen, S., Ruengsuttinaruebhap, S., Amnuaybhanich, Y. & Thapkri, T. (2013). Biodiesel production using synthetic heterogeneous catalyst from useless shells, *Technology Science Journal.21*, 526-532. (in thai)

Colombo, K., Ender, L. & Barros, C. (2017). The study of biodiesel production using CaO as a heterogeneous catalytic reaction. *Egyptian Journal of Petroleum*. *26*, 341-349.

Hatthason, S., Pairintra, R. & Krisnangkura, K. (2013).Comparison of Biodiesel Production Using CaO of Cockle Shell and Mud Crab Shell Catalysts. *Agricultural Science Journal. 44* (2) (*Suppl)*, 553-556. (in Thai)

Jaggernauth-all, P., John, E. & Bridgemohan, P. (2015). The application of calcined marlstones as a catalyst in biodiesel production from high free fatty acid coconut oil. *Fuel*. *158*, 372-378.

Lani, N., Ngadi, N., Yahya, N. & Rahman, R. (2017). Synthesis, characterization and performance of silica impregnated calcium oxide as heterogeneous catalyst in biodiesel production. *Journal of Cleaner Production. 146*, 116-124.

Lapunt, M. (2018). Production of Biodiesel from Palm Oil Using Catalysts Derived from Local Shells in Loei Province. *Journal of Materials Science and Applied Energy. 7*(2), 282-287.

Marinkovic, D., Stankovic, M., Velickovic, A., Avramovic, J., Miladinovic, M., Stamenkovic, O., Velikovic, V. & Jovanovic, M. (2016). Calcium oxide as a promising heterogeneous catalyst for biodiesel production. *Current state and perspectives Renewable and Sustainable Energy. Reviews. 56*, 1387-1408.

Mustakimah, M., Suzana, Y. & Saikat, M. (2012). Decomposition study of calcium carbonate in cockle shell. *J. Eng. Sci. Tech nol. 7*, 1-10.

Namjan, M., Yimchun, M., Thongkham, C., Tochom, P., Boonmee, T. & Inthakusol, W. (2018). Novel developments of White Clay Filler catalysis for Biodiesel production. *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*. *13*(2), 84-98. (in Thai)