

การสังเคราะห์ตัวเร่งวิวิธพันธ์จากเปลือกหอยเหลือทิ้ง เพื่อใช้เตรียมไบโอดีเซล

The Synthesis of Waste Mussel Shell for the Biodiesel Preparation

สุภกร บุญยี่น*, พัชรพร เทียมปาน และสมลักษณ์ เรืองสุทธินฤภาพ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ปวีณ หุ่นพานิชย์ และจักรกฤษณ์ ชื่นใจเล็ก

มูลนิธิพลังงานที่ยั่งยืน 555 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

ศิวพร มีจู สมิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนพระรามที่ 6

แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

Supakorn Boonyuen*, Pacharaporn Tienpan and Somluck Ruangsuttinarupap

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Paween Hoonpanich and Jakkrit Chuenjailek

Sustainable Energy Foundation, 555 Vibhavadi Rangsit Road, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

Siwaporn Meejoo Smith

Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University, Rama VI Road,

Thung Phayathai, Ratchathewi Bangkok 10400

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเปลือกหอยแมลงภู่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล แคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารประกอบที่พบมากที่สุดในเปลือกหอย เมื่อเปลือกหอยถูกเผาแคลเซียมคาร์บอเนตจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสำหรับปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชัน โดยในงานวิจัยได้ทำการศึกษาการเผาเปลือกหอยเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ (300, 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส) เปลือกหอยที่เผาถูกวิเคราะห์ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการกระจายของรังสีเอกซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วย Brunauer-Emmett-Teller (BET) ผลการทดลองแสดง

แคลเซียมออกไซด์จะเกิดขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ดังกล่าว เปลี่ยนไปเป็นน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลร้อยละ 91 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 โดยมวล และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 สภาวะเดียวกันนี้จะถูกใช้กับน้ำมันพืชอื่น ๆ (น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะกอก น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันไข่แล้ว) นอกจากนี้การใช้เปลือกหอยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำให้คืนสภาพโดยการล้างด้วยเมทานอลและเฮกเซนก่อนแล้ว จึงนำมาใช้ซ้ำได้อีกครั้ง พบว่ายังคงให้ร้อยละการเปลี่ยนไปเป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่สูง ดังนั้นเปลือกหอยจึงเป็นแหล่งของแคลเซียมออกไซด์ที่ไม่เพียงแต่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น แต่ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้ประเภทอนินทรีย์อีกด้วย

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล; ตัวเร่งปฏิกิริยาวีวรีพันธ์; แคลเซียมออกไซด์; เศษเปลือกหอย

Abstract

In this research, utilizing calcined muscle shells as catalysts for biodiesel production was investigated. Calcium carbonate is the richest component found in seashells. When calcined at a certain temperature, calcium carbonate converts to CaO, an effective catalyst for transesterification reaction. In this work, the seashells were calcined for 5 hours at various temperatures (300, 500, 700 and 900 °C), and the calcined shells were characterized by various techniques such as X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), and Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface analysis. Formation of CaO occurred by calcinations at 900 °C. Biodiesel production *via* transesterification of palm oil and methanol was investigated by using the calcined waste shells. Palm biodiesel with 91 % yield was obtained by using CaO derived from calcined mussel shell and reaction temperature is 80 °C, employing 3.0 wt % catalysts and 9:1 methanol to oil molar ratio. High biodiesel yields were also obtained from transesterification between various types of vegetable oil (soy bean, olive oil, coconut oil and waste cooking oil) and methanol under the above reaction conditions. In addition, the spent seashell derived catalysts can be regenerated by washing with methanol and hexane, and reused giving high biodiesel yields. As the results, utilizing of waste shells as a source of CaO not only gives an opportunity to use it as catalyst but also adds value to the inorganic waste.

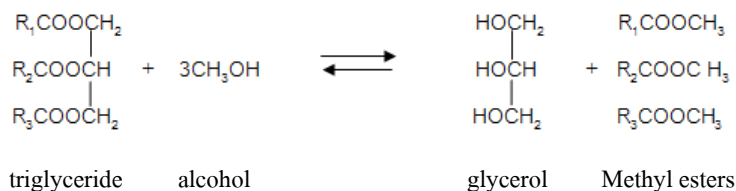
Keywords: biodiesel; heterogeneous catalyst; CaO; waste shell

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการด้านพลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมมากขึ้น รวมทั้งมีการใช้พาหนะในการขนส่งอย่างแพร่หลาย สิ่งตามมาคือภาวะการขาดแคลนแหล่ง พลังงาน

เชื้อเพลิง โดยเฉพาะน้ำมัน ประกอบกับปัญหาวิกฤติราคาน้ำมันโลกที่เพิ่มสูงขึ้น [1-3] ทำให้ประเทศไทยขาดเสถียรภาพด้านพลังงาน ดังนั้นเพื่อความมั่นคงด้านพลังงานและบรรเทาปัญหาดังกล่าว จึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับการหาพลังงานทดแทน และทางเลือกหนึ่งคือการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ ทั้งจากพืชและ

สัตว์ ที่ทำปฏิกิริยากับเมทานอล ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์

ทั้งที่จริงแล้ว การใช้น้ำมันไบโอดีเซลมีมาตั้งแต่ปี 2554 แต่ไม่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะราคาน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ มีราคาสูงกว่าน้ำมันดีเซล จนกระทั่งในภาวะการณปัจจุบัน เมื่อราคาน้ำมันปิโตรเลียมปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีผู้สนใจนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกมากยิ่งขึ้นและได้เป็นยุทธศาสตร์ไบโอดีเซลแห่งชาติ โดยกระทรวงพลังงานตั้งแต่ปี 2547 ในปี 2553 รัฐบาลได้ส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลมากขึ้น ดังที่เรพบเห็นเป็นน้ำมันดีเซล B5 (น้ำมันผสมระหว่างดีเซล 95 ส่วนไบโอดีเซล 5 ส่วน) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการผลิตไบโอดีเซล ยังมีความ จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีราคาสูงและต้องล้างน้ำมันที่ได้ด้วยน้ำซึ่งเป็นการสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม และยังเป็นการลงทุนที่มีราคาสูง [4-5] ประกอบการสังเคราะห์ไบโอดีเซล จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และสำหรับการใช้ตัวเร่งวิวิพันธ์ จะช่วยลดขั้นตอนในการล้างทำความสะอาดน้ำมัน ประกอบกับตัวเร่งชนิดดังกล่าวที่นิยมคือแคลเซียมออกไซด์ ทั้งนี้ได้มีรายงานวิจัยก่อนหน้า รายงานการสังเคราะห์น้ำมัน โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ [6]

ในงานวิจัย ผู้วิจัยสนใจศึกษาหาตัวเร่งปฏิกิริยาหอยแมลงภู่มารูป เพื่อใช้เป็นตัวเร่งวิวิพันธ์ โดยตัวเร่งชนิดที่เป็นของแข็งจะสามารถแยก

ออกจากน้ำมันไบโอดีเซลได้ง่าย ประกอบกับสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายรอบ โดยให้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณสูง รวมทั้งลดขั้นตอนการล้างน้ำมัน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและลดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม ตัวเร่งวิวิพันธ์ที่นิยมใช้ เช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาไบโอดีเซลชนิดแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปเผาหอยแมลงภู

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมเปลือกหอยเพื่อเผา

นำเปลือกหอยแมลงภู่มาล้างทำความสะอาดและเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในสภาวะบรรยากาศก่อนทำให้เย็นและบด กรองผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการกระจายของรังสีเอกซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วย Brunauer-Emmett-Teller (BET)

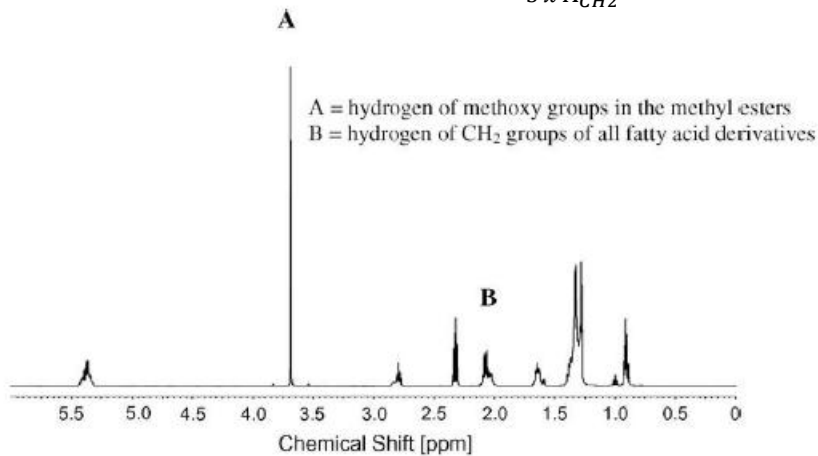
2.2 การเตรียมไบโอดีเซลชนิดวิวิพันธ์

น้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่ศึกษาได้ผ่านการกรองเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกในเบื้องต้น หลังจากนั้นจะทำการให้ความร้อนกับน้ำมันจนมีอุณหภูมิประมาณ 80 °C แล้วเติมผงเปลือกหอยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาด้วยกระบวนการข้างต้นในปริมาณร้อยละ 3 โดยมวล

และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ให้ ความร้อนเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วจึงแยกตัวเร่งออก ด้วยกระบวนการกรอง และแยกเมทานอลที่เหลือออก ด้วยการกลั่นระบบสูญญากาศ น้ำมันที่ได้ถูกนำมาหา

ร้อยละการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล อาศัยการติดตาม สัดส่วนพื้นที่ใต้กราฟของโปรตรอนตำแหน่งเมทอกซี (-OCH₃) และเมทิลีน (-CH₂-) ในโครงสร้างที่ศึกษา โดยเทคนิค ¹H-NMR spectroscopy (CHCl₃ solvent)

$$\text{ร้อยละการเปลี่ยนไป (\% conversion)} = \frac{2 \times A_{ME}}{3 \times A_{CH_2}} \times 100$$



รูปที่ 2 ¹H-NMR spectroscopy โดย A คือ สัญญาณของหมู่เมทอกซี (-OCH₃) และ B คือ เมทิลีน (-CH₂-)[4]

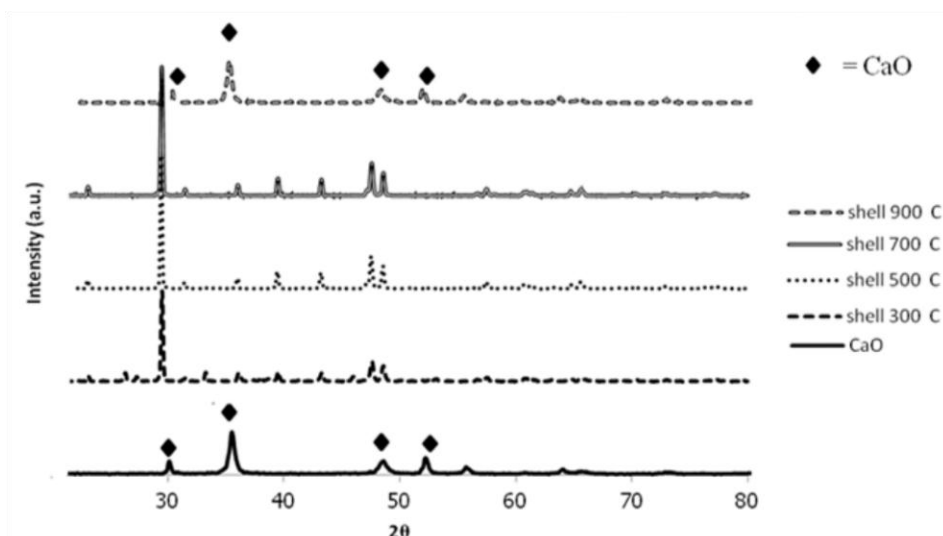
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อเผาเศษเปลือกหอยที่ อุณหภูมิต่ำ (300-500 องศาเซลเซียส) เปลือกหอยได้ เปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์เพียงเล็กน้อย มีเพียง ตำแหน่งพีคของแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่มากเท่านั้น แต่ เมื่อเผาไปจนถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบว่า สามารถตรวจพบพีคที่ตำแหน่ง 32.00°, 37.40° และ 53.00° (รูปที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งพีคของแคลเซียม ออกไซด์ และสอดคล้องกับตำแหน่งพีคมาตรฐานที่ ทดสอบเปรียบเทียบ จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ สูง (900 องศาเซลเซียส) จะสามารถเปลี่ยนเปลือกหอยให้ เป็นแคลเซียมออกไซด์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ที่เคยมี รายงานไว้

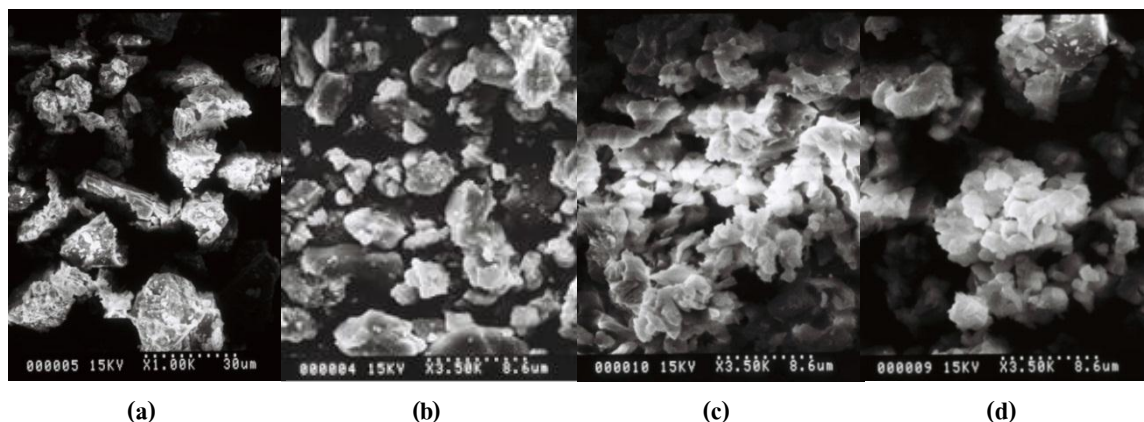
เปลือกหอยที่เผาที่อุณหภูมิสูงจะให้ขนาด อนุภาคเล็ก โดยนำไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้อง

จุลทรรศน์แบบส่องกราดอิเล็กตรอน (SEM) ซึ่งเปลือก หอยจะเปราะและแตกเป็นเม็ดที่มีขนาดเล็กมากขึ้น โดย ขนาดที่เล็กลงนี้จะมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาเพราะมี ปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น (รูปที่ 4)

กระบวนการเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้ได้อนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งมีสารที่ได้จะจับตัว เป็นก้อนดังตรวจพบในรูปที่ 4d ส่งผลให้การตรวจวัด ปริมาณพื้นที่ผิวให้ผลในปริมาณที่ต่ำ (24.02 m²/g) แต่ ด้วยสภาวะการเผาดังกล่าว ให้ผลผลิตของแคลเซียม ออกไซด์ในปริมาณสูงจึงทำให้ได้ร้อยละผลผลิตของ เมทิลเอสเทอร์สูงกว่ากรณีอื่น ๆ (91.00 ± 0.72 %) (ตารางที่ 1) และระยะเวลาในการเผา เพื่อให้ได้ตัวเร่ง ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด คือสภาวะการเผาที่ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง (ตารางที่ 2)



รูปที่ 3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของเปลือกหอยแครงที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300-900 องศาเซลเซียส และแคลเซียมออกไซด์ทางการค้า (CaO)



รูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ (a) 300 (b) 500 (c) 700 และ (d) 900 องศาเซลเซียส

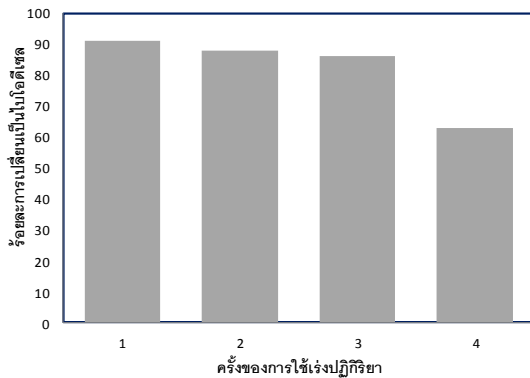
ร้อยละการเปลี่ยนไปเป็นน้ำมันไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ (ตารางที่ 3) พบว่าตัวเร่งดังกล่าวสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ และดีที่สุดคือน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 91.78 ± 0.70 ในขณะที่น้ำมันมะพร้าวให้ผลผลิตต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการมีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปริมาณมาก

รูปที่ 5 กราฟแสดงการเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันน้ำมันปาล์ม พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเผาสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะผ่านการล้างด้วย เมทานอลและเฮกเซนก่อนนำกลับไปใช้ใหม่ ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงเดิมมากกว่าร้อยละ 90 ในการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1 และ 2 และจะ

ตารางที่ 1 ร้อยละการเปลี่ยนไปเป็นไบโอดีเซลของน้ำมันปาล์มและพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ของการเผาเปลือกหอยแมลงภู่ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่เผาเปลือกหอยแมลงภู่ (°C)	พื้นที่ผิว (m ² /g)	ร้อยละการเปลี่ยนไปเป็นไบโอดีเซล
อุณหภูมิห้อง	59.91	0.00 ± 0.00
300	47.31	0.00 ± 0.00
500	42.31	14.60 ± 0.01
700	32.51	36.03 ± 0.01
900	24.02	91.00 ± 0.72

ร้อยละการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลกรณีใช้ CaO ที่ผ่านการเผาที่ 900 °C = 94.50 ± 0.82



รูปที่ 5 การเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันน้ำมันปาล์ม 30 กรัม เมทานอล 10 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยาหอยแมลงภู่เผาร้อยละ 3 โดยมวลของน้ำมันที่ใส่

ลดลงอย่างมากในครั้งที่ 4 เพราะแคลเซียมออกไซด์มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสิ่งสกปรกไปเกาะบริเวณผิวซึ่งจะขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยา [3] อย่างไรก็ตาม แสดง

ให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้มาจากเปลือกหอยสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และยังคงมีประสิทธิภาพได้ถึง 3 ครั้ง และจะมีประสิทธิภาพลดลงในครั้งที่ 4

ตารางที่ 2 ร้อยละการเปลี่ยนไปเป็นไบโอดีเซลและพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาของการเผาเปลือกหอยแมลงภู่ที่เผาอุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง

เวลาในการเผาเปลือกหอยแมลงภู่ (ชั่วโมง)	พื้นที่ผิว (m ² /g)	ร้อยละการเปลี่ยนไปเป็นไบโอดีเซล
1	24.04	72.20 ± 0.03
2	20.29	84.10 ± 0.07
3	16.94	89.00 ± 0.07
4	24.60	86.00 ± 0.02
5	24.02	91.00 ± 0.72

สภาวะการทดลอง น้ำมันปาล์ม 30 กรัม เมทานอล 10 กรัม อุณหภูมิ 80 °C

ตารางที่ 3 ร้อยละการเปลี่ยนไปเป็นน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลือกหอยแมลงภู่เผา

ชนิดน้ำมัน	Acid content (mg/g KOH)	ร้อยละการเปลี่ยนไปเป็นไบโอดีเซล
ปาล์ม	1.62	91.00 ± 0.72
ถั่วเหลือง	0.15	91.78 ± 0.70
มะพร้าว	4.26	80.65 ± 0.35
น้ำมันมะกอก	2.37	82.50 ± 0.70
น้ำมันใช้แล้ว	5.63	75.56 ± 0.47

สภาวะการเตรียมไบโอดีเซล อุณหภูมิ 80 °C ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเวลา 3 ชั่วโมง

4. สรุป

จากการศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ที่สังเคราะห์มาจากเปลือกหอยแมลงภู่น้ำจืดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลานั้นมีผลต่อการเกิดแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งพบว่าเมื่อมีอุณหภูมิในการสังเคราะห์สูงขึ้นจะส่งผลให้เปลือกหอยกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ได้มากขึ้น ที่เวลา 5 ชั่วโมงจะสามารถเปลี่ยนให้เป็นแคลเซียมออกไซด์ได้มากและสมบูรณ์ที่สุด ผงเปลือกหอยที่ผ่านกระบวนการแล้วถูกใช้เร่งปฏิกิริยาไบโอดีเซล ผลการทดลองแสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกเตรียมมีประสิทธิภาพสูงเช่นเดียวกับแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากในเชิงพาณิชย์ โดยให้ผลการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 (กรณีน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิสระมาก) ตัวเร่งเศษเปลือกหอยแมลงภู่น้ำจืดดังกล่าวมีศักยภาพที่จะถูกพัฒนาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทูสนับสนุนการวิจัย โดยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ทูวิจัยนวมินทร์ ประจำปี 2555 และสำนักงานสนับสนุนกองทุนวิจัย (สกว.) และมูลนิธิพลังงานที่ยั่งยืน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Emin, S.U., Mert, T. and Erol, S., 2009,

Transesterification of *Nannochloropsis oculata* microalga's lipid to biodiesel on Al_2O_3 supported CaO and MgO catalysts, *Biores. Technol.* 100: 2828-2831.

[2] Ayhan, D., 2009, Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification, *Ener. Conver. Manag.* 50: 923-927.

[3] Mônica, C.G.A., Diana, C.S.A., Célio, L.C.Jr., José, S.G., Josefa, M.M.R., Ramón, M.T., Enrique, R.C., Antonio, J.L. and Pedro, M.T., 2009, Transesterification of ethyl butyrate with methanol using MgO/CaO catalysts, *J. Mol. Catal. A Chem.* 300: 19-24.

[4] สุกกร บุญยี่น, สมลักษณ์ เรื่องสุทธินฤภาพ, จิรดา สิงขรัตน์ และนภัทร ทวีกาญจน์, 2553, อิทธิพลของกรดไขมันอิสระ ต่อการผลิตไบโอดีเซล, *ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 18(2): 37-41.

[5] สุกกร บุญยี่น และอ้อยใจ ทองเฉอ, 2551, การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบต่าง ๆ, *ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 16(2): 1-6.

[6] สุกกร บุญยี่น, สมลักษณ์ เรื่องสุทธินฤภาพ, युภา อำนวยภานิช และทัศนีย์ ทัทกรี, 2552, ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์สำหรับไบโอดีเซลน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้ว, *ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 17(4): 23-28.