



บทความวิจัย

## การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยด้วยกระบวนการรีฟลักซ์

จิรนนท์ รอดเพราะบุญ และ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร\*

สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0533 3194 อีเมล: winchana.jc@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.08.005

รับเมื่อ 29 ธันวาคม 2565 แก้ไขเมื่อ 9 มีนาคม 2566 ตอรับเมื่อ 30 มีนาคม 2566 เผยแพร่ออนไลน์ 8 สิงหาคม 2567

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยแมลงภู่ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป  $\text{CaO}$  ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่เหลือทิ้งสำหรับการผลิตไบโอดีเซล เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แก้วชนิดบอโรซิลิเกตเป็นตัวรองรับและโซเดียมซิลิเกตเป็นตัวเชื่อมประสาน ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา (XRF) จากการทดลองพบตำแหน่งการเลี้ยวเบนสูงสุด  $34.50^\circ$  แสดงถึงการมี  $\text{CaO}$  เป็นองค์ประกอบ ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไบโอดีเซล เช่น ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก อัตราส่วน  $\text{CaO}:\text{Support}$  30:70 50:50 และ 70:30 อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน ช่วง 6:1–18:1 ทำการผลิตไบโอดีเซลด้วยเทคนิคการรีฟลักซ์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า ให้ปริมาณผลได้ของไบโอดีเซลสูงสุดร้อยละ 81.20 ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 อัตราส่วน  $\text{CaO}:\text{Support}$  ที่ 70:30 มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAME) ร้อยละ 82.46 และสมบัติทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน โดยรวมผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้เปลือกหอยแมลงภู่ในการสังเคราะห์  $\text{CaO}$  สำหรับการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและวิธีการอัดขึ้นรูปเพื่อสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ผลการทดลองยังมุ่งไปเพื่อให้ความสำคัญของปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด

**คำสำคัญ:** เปลือกหอยแมลงภู่ แคลเซียมออกไซด์ ไบโอดีเซล ตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูป

การอ้างอิงบทความ: จิรนนท์ รอดเพราะบุญ และ จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, “การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยด้วยกระบวนการรีฟลักซ์,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 35, ฉบับที่ 1, หน้า 1–12, เลขที่บทความ 251-046696, ม.ค.-มี.ค. 2568.



## Biodiesel Production by Extruded CaO-based Catalysts from Mussel Shells Using Reflux Technique

Jiranan Rodproobun and Jutaporn Chanathaworn\*

Department of Renewable Energy, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 0533 3194, E-mail: : winchana.jc@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.08.005

Received 29 December 2022 ; Revised 9 March 2023 ; Accepted 30 March 2023; Published online: 8 August 2024

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

The objective of this research is to develop a catalyst for biodiesel production using CaO synthesized from waste mussel shells. The catalyst was prepared by the extrusion method using borosilicate glass as catalyst support and sodium silicate as a binder. The characteristics of the catalyst were analyzed using SEM, XRD, and XRF techniques. The results showed the presence of CaO as a component in the catalyst. We discovered that the maximum diffraction position occurred at an angle of  $34.50^\circ$ , indicating the presence of CaO as a key component in our catalyst. To determine the optimal conditions for biodiesel production, we conducted a series of experiments varying the amount of catalyst used (10%, 15%, or 20%wt), the ratio of CaO:Support (30:70, 50:50, and 70:30), and the methanol to oil molar ratio (ranging from 6:1 to 18:1). The study also investigated the effects of important parameters on biodiesel yield, including catalyst loading, CaO:Support ratio, and methanol to oil molar ratio. The experiments were carried out via transesterification using the reflux technique at  $65^\circ\text{C}$  for 3 hours. The maximum biodiesel yield was found to be 81.20% at 15%wt catalyst loading, a methanol to oil molar ratio of 9:1, and a CaO:Support ratio of 70:30. In the of physical properties, the biodiesel product contained 82.46% FAME and met the standard requirements of the Department of Energy Business. Overall, this study demonstrates the potential of using waste mussel shells to synthesize CaO for catalyst preparation, as well as the extrusion method to produce effective catalysts for biodiesel production. The results also highlight the importance of optimizing the parameters for maximum biodiesel yield.

**Keywords:** Mussel Shells, Calcium Oxide, Biodiesel, Extrusion Catalyst

Please cite this article as: J. Rodproobun and J. Chanathaworn, "Biodiesel production by extruded CaO-based catalysts from mussel shells using reflux technique," *The Journal of KMUTNB*, vol. 35, no. 1, pp. 1–12, ID. 251-046696 Jan.–Mar. 2025 (in Thai).

## 1. บทนำ

พลังงานถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตและการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนาจัดเป็นกลุ่มที่ต้องการบริโภคพลังงานที่อยู่ในรูปของน้ำมันค่อนข้างสูง ปัจจุบันพบว่าประเทศไทยกำลังประสบปัญหาปริมาณน้ำมันดิบที่ลดลง ไม่เพียงพอกับความต้องการในอนาคต และยังมีอัตราการใช้น้ำมันค่อนข้างสูง ซึ่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล [1] พลังงานในกลุ่มของน้ำมัน โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลที่ใช้สำหรับการเกษตร คมนาคมขนส่ง และอุตสาหกรรม มีแนวโน้มความต้องการเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ซึ่งในขั้นตอนการใช้งานจะผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Combustion) ทำให้ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมที่เป็นพิษตามมา เป็นสาเหตุหลักของการเกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) และส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนจากปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) [2], [3] ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซล (Biodiesel) จึงเป็นพลังงานทดแทนที่มีการใช้งานมากขึ้นในภาคคมนาคมและการขนส่ง ใช้งานในรูปแบบของการผสมกับน้ำมันดีเซลพื้นฐานที่มีการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากไบโอดีเซลมีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สามารถผลิตได้จากแหล่งชีวภาพ (Biological Sources) จึงสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ อีกทั้งยังจัดอยู่ในกลุ่มพลังงานหมุนเวียนที่ไม่มีวันหมด เป็นพลังงานสะอาด และไม่เป็นพิษ รวมถึงในกระบวนการเผาไหม้ของไบโอดีเซลนั้นปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลในการใช้งานกับเครื่องยนต์

ไบโอดีเซล เป็นผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ของกรดไขมัน ผ่านกับทำปฏิกิริยาด้วยแอลกอฮอล์ ที่เรียกว่าปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิส (Alcoholysis) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดหรือเบสเพื่อผลักดันปฏิกิริยาไปข้างหน้า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Catalysts) และตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous Catalysts) การเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่เป็นวัตถุดิบ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์มีข้อดี

ในเรื่องของการไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ทำให้การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากไบโอดีเซลทำได้โดยไม่ผ่านขั้นตอนการล้างทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ [4], [5]

CaO จากธรรมชาติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ ที่เริ่มมีการศึกษาวิจัยเพื่อศึกษาการผลิตและการใช้งาน จากผลงานวิจัยพบว่า สามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น CaO ที่สังเคราะห์จากเปลือกไข่ [6] เปลือกหอย [7] กระจุกวัว [8] กระจุดงปลาหมึก [9] งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่เปลือกหอย ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรม ประมงทางภาคใต้ ที่มี  $\text{CaCO}_3$  เป็นองค์ประกอบหลัก จึงทำให้ได้ CaO ที่มีความเป็นเบสสูง ส่งผลให้มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลักดันปฏิกิริยาไปข้างหน้าได้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึงร้อยละ 93–95 [10] มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตไบโอดีเซลหลากหลายงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ Ngamcharussrivichai และคณะ [11] ศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ca และ Zn ผ่านการแคลไซด์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล 1:30 พบว่า ให้ผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 94 งานวิจัยของ Wan และคณะ [12] ทำการสังเคราะห์ CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ ผ่านการแคลไซด์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส สามารถเปลี่ยน  $\text{CaCO}_3$  เป็น CaO ได้สมบูรณ์ นำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มเป็นเมทิลเอสเทอร์ ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ถึงร้อยละ 98 อีกทั้งยังสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซ้ำได้ถึง 4 ครั้ง มีปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ลดลงเหลือร้อยละ 90 งานวิจัยของ Ching-Lung และคณะ [13] การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันปลาโดยใช้ SrO บนตัวรองรับซิลิกาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งให้ผลผลิตไบโอดีเซลถึงร้อยละ 80 จะเห็นว่าการศึกษาและวิจัยพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลช่วยให้ตัวเร่งมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ส่วนใหญ่ใช้งานในรูปแบบผงขนาดเล็กประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาสูง แต่กลับส่งผลให้



ขั้นตอนการแยกตัวเร่งก่อนข้างซับซ้อน ตัวเร่งปฏิกิริยาปนเปื้อนและตกค้างในผลิตภัณฑ์ และยังสูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาไปในปริมาณมาก ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพลดลงเมื่อผ่านการใช้ซ้ำ และว่องไวต่อความชื้น และจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Jiranan และคณะ [14] ได้ศึกษาการอัดขึ้นรูปของเปลือกหอยแมลงภู่และศึกษาสมบัติพื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาอัดเม็ด แต่การทดลองยังไม่ครอบคลุมปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญต่อผลผลิตไบโอดีเซล เช่น ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมัน รวมถึงสมบัติของน้ำมันของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่พัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของสารตั้งต้นตัวรองรับและอัดขึ้นรูปก่อนนำไปใช้เร่งปฏิกิริยา [14] ทำการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สถานะที่ต่างต่างกัน โดยทำการสังเคราะห์ CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ อัดขึ้นรูปโดยใช้แก้วที่ผ่านการบดเป็นผงละเอียดเป็นตัวรองรับและโซเดียมซิลิเกตเป็นตัวเชื่อมประสาน [14] ทำการผลิตไบโอดีเซลผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน (6:1-18:1) ผลจากงานวิจัยสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล และเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้ง ลดต้นทุนในการผลิตในขั้นตอนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยา และลดการใช้ น้ำสำหรับนำมาใช้ในการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลได้อีกในอนาคต

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวรองรับ

#### 2.1.1 การสังเคราะห์ CaO จากเปลือกหอย

เปลือกหอยแมลงภู่ถูกใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับสังเคราะห์ CaO นำเปลือกหอยแมลงภู่มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำและตากให้แห้ง บดหยาบ จากนั้นนำมาต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 10

โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดกาโปรตีนบนผิวของเปลือกหอย สังเกตจากเปลือกชั้นผิวนอกที่มีสีเขียวปนน้ำตาลของหอยแมลงภู่ถูกกำจัดออก แสดงให้เห็นว่าสารละลายสามารถละลายชั้นผิวนอกของวัสดุ นำเปลือกหอยที่ผ่านการต้มมาล้างด้วยน้ำสะอาด อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง บดละเอียด กรองผ่านตะแกรงขนาดอนุภาคน้อยกว่า 0.04 มิลลิเมตร หลังจากผ่านตะแกรงทำการเก็บเปลือกหอยไว้นิโอดูดความชื้น

#### 2.1.2 การเตรียมวัสดุรองรับ

หลอดแก้วชนิดบอโรซิลิเกต (Borosilicate Glass) ใช้สำหรับเป็นตัวรองรับในการอัดขึ้นรูป นำมาล้างทำความสะอาดบดละเอียดด้วยครกหินอ่อน จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.7 มิลลิเมตร จะได้แก้วบดละเอียดเพื่อใช้สำหรับเป็นวัสดุรองรับ

## 2.2 การอัดขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยา

ผสม CaO และแก้วที่บดเป็นผงละเอียด ที่อัตราส่วนผสม CaO ต่อวัสดุรองรับ (CaO:Support) 30:70 50:50 และ 70:30 ตามลำดับ ผสมตามอัตราส่วนโดยใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นตัวประสานปริมาณ 20 มิลลิลิตร บดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน อัดขึ้นรูปด้วยพิมพ์ขึ้นรูปลักษณะทรงกระบอก กลวง เส้นผ่านศูนย์กลางยาว 5 มิลลิเมตร และความยาว 5.5 มิลลิเมตร นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการอัดขึ้นรูปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการแคลไซน์ซ้ำอีกครั้งที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังการผสมตามอัตราส่วนและผ่านการแคลไซน์แล้วนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ ด้วยวิธีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปจุ่มลงในน้ำที่ความลึก 25 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปที่ได้ไปชั่งหาน้ำหนักความสามารถในการดูดซึมน้ำผ่านของน้ำ และทดสอบการแตกหักด้วยวิธีการปล่อยตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปลงบนพื้นคอนกรีตด้วยระยะ 1 เมตร จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 250 นำส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปที่เหลือไปชั่งหาน้ำหนัก ทำการวิเคราะห์

คุณลักษณะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ X-ray Diffraction (XRD) เพื่อศึกษาโครงสร้างของผลึก วิเคราะห์พื้นผิวลักษณะสัณฐานวิทยาลักษณะโครงสร้างภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) และวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)

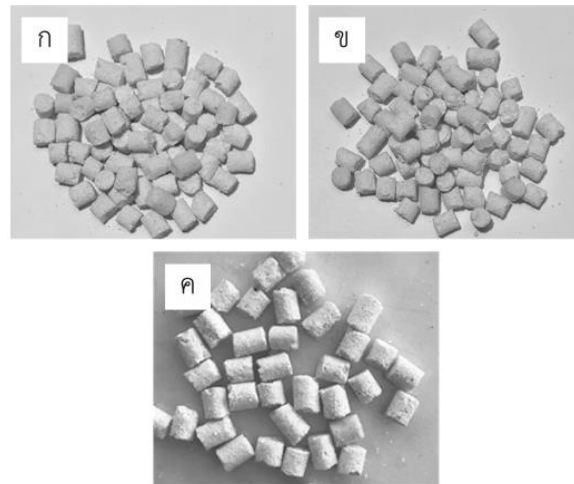
### 2.3 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

เตรียมน้ำมันปาล์ม 100 กรัม ในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์เพื่อผลิตไบโอดีเซลให้ความร้อนน้ำมันจนมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 9:1 12:1 15:1 และ 18:1 ผสมเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาตามอัตราส่วนที่ทำการศึกษาค้นคว้า ผสมลงในขวดก้นกลม ทำการรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง หลังจากปฏิกิริยาเสร็จสิ้นวางทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอรอลใช้คีมวิทยาศาสตร์คีบแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารผสม จากนั้นเทสารผสมลงในกรวยแยก ไชแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซล สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาหากมีการใช้ซ้ำจะผ่านการทำความสะอาดด้วย เมทานอลก่อนการใช้งานในที่นี้ไม่ได้แนะนำในส่วนของการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการคำนวณหาร้อยละผลผลิตการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นไบโอดีเซล (%yield) โดยที่ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลคำนวณได้จากสมการที่ (1) และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph-Flame Ionization Detector (GC-FID) Hewlett Packard (GC6890)

$$\text{ผลผลิต (\%)} = \frac{\text{ปริมาณของไบโอดีเซลโดยน้ำหนัก}}{\text{ปริมาณของน้ำมันตั้งต้นโดยน้ำหนัก}} \times 100 \quad (1)$$

### 3. ผลการทดลอง

ตัวเร่งปฏิกิริยาทรงกระบอกขนาดเล็กที่ผ่านการอัดขึ้นรูป



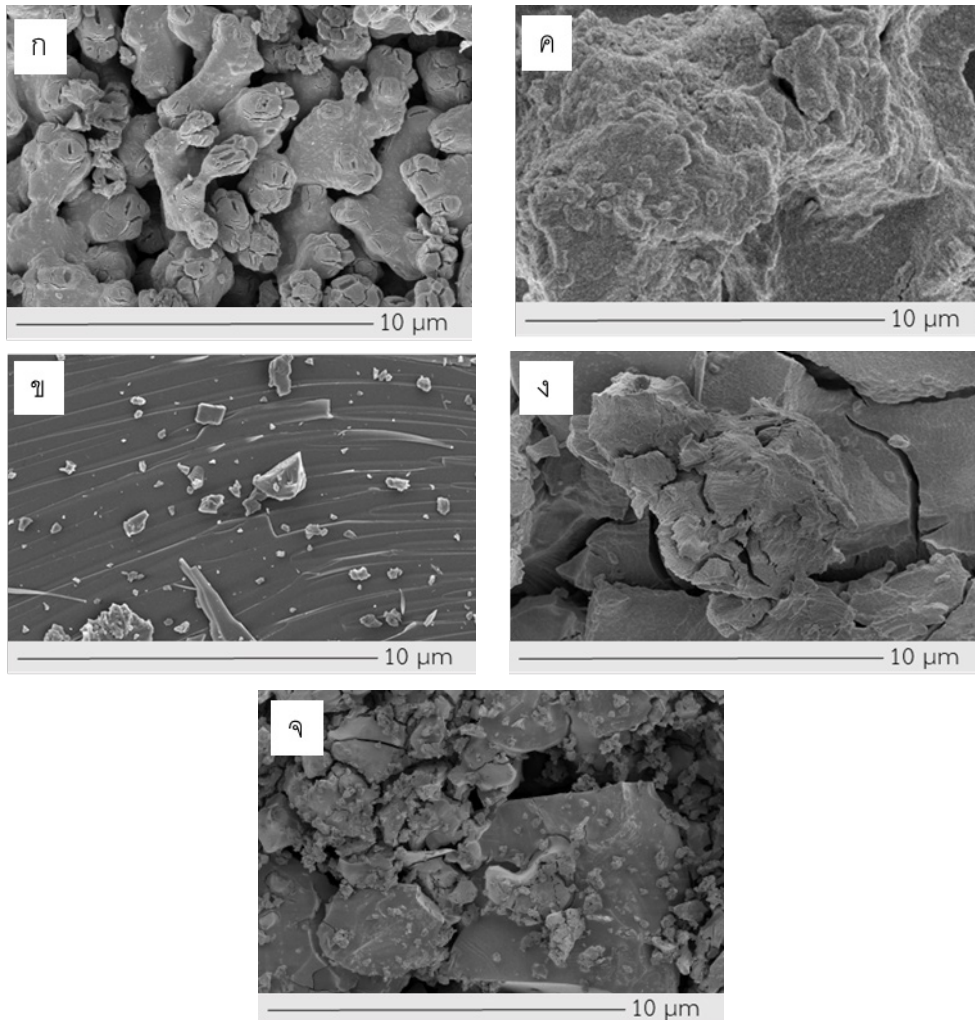
รูปที่ 1 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการอัดขึ้นรูป ที่อัตราส่วน CaO:Support (ก) 30:70 (ข) 50:50 และ (ค) 70:30

โดยใช้ CaO ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกหอยแมลงภูโดยมีแก้วเป็นวัสดุรองรับ และโซเดียมซิลิเกตเป็นตัวเชื่อมประสาน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการอัดขึ้นรูปที่สภาวะ CaO:Support 30:70 50:50 และ 70:30 แสดงดังรูปที่ 1 ตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะสีขาวมีจำนวนรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ทดสอบการแตกหักอยู่ในช่วงร้อยละ 86.2–88.2 และการดูดซึมน้ำร้อยละ 81–88 [14]

### 3.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูป

การวิเคราะห์พื้นผิวภายนอกและลักษณะสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยแมลงภูก่อนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง SEM ลักษณะพื้นผิวแสดงดังรูปที่ 2(ก) ที่กำลังขยาย 5000 เท่าพบว่าโครงสร้างมีรอยขรุขระ จึงทำให้เปลือกหอยมีลักษณะเปราะ หักง่าย และจากรูปที่ 2(ข) การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของแก้ว จากรูปโครงสร้างผลึกของแก้วมีลักษณะเรียบเนียน รูปทรงเหลี่ยมหน้าตัดและมีรอยขรุขระเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับกรวดรับวัสดุรองรับและอัดขึ้นรูปจากงานวิจัยของ Jiranan และคณะ [14] วิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะของ CaO ที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยแมลงภูได้เท่ากับ 33 ตารางเมตร โดย CaO ปริมาณ 1 กรัม จะ



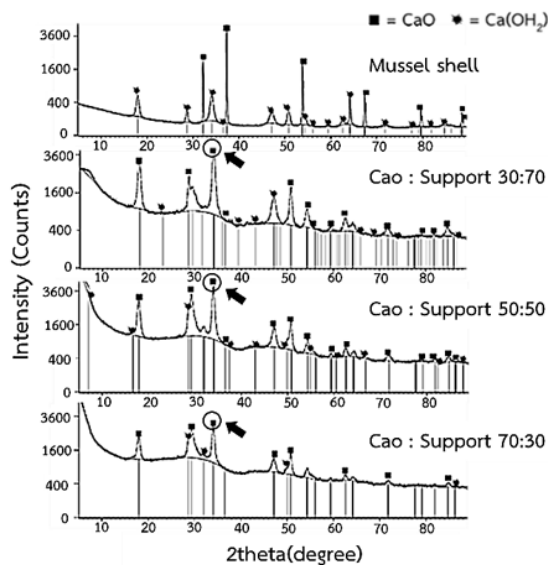


**รูปที่ 2** ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของ (ก) เปลือกหอยแมลงภู่มาก่อนการอัดขึ้นรูป กำลังขยาย 5,000x (ข) แก้ว กำลังขยาย 5,000x และอัตราส่วน CaO: Support (ค) 30:70 กำลังขยาย 350x (ง) 50:50 กำลังขยาย 5,000x และ (จ) 70:30 กำลังขยาย 350x

มีพื้นที่เข้าร่วมทำปฏิกิริยา 33 ตารางเมตร และมีขนาดรูพรุนเท่ากับ 9.6 นาโนเมตร และจากรูปที่ 2 (ค)-(จ) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของอัตราส่วน CaO:Support ที่ 30:70 50:50 และ 70:30 ตามลำดับจะสังเกตเห็นลักษณะของโครงสร้างมีรอยขรุขระค่อนข้างมาก อาจเนื่องมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในเปลือกหอยหลังได้รับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงที่ทำให้สารประกอบประเภท  $\text{CaCO}_3$  เกิดการสลายตัวและฟอรัมตัวเป็นสารประกอบ CaO [15]

ลักษณะผิวด้านในของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเกิดจากการบดละเอียดผสมกันก่อนการอัดขึ้นรูป และจากรูปที่ 2(ค) พบว่า มีลักษณะอนุภาคขนาดเล็กแตกกระจายตัว รูปทรงโดยทั่วไปมีรอยขรุขระ มีรูพรุนสูง เนื่องจากมีปริมาณของ CaO ค่อนข้างน้อย จากรูปที่ 2(ง) และ 2(จ) ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยามีโครงสร้างขรุขระเช่นเดียวกันสังเกตเห็นรูพรุนขนาดเล็ก พื้นผิวมีลักษณะค่อนข้างแน่น

การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวเร่ง



รูปที่ 3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการอัดขึ้นรูป

ปฏิกิริยา แสดงดังรูปที่ 3 สังเกตเห็นการเลี้ยวเบนปรากฏขึ้นที่ตำแหน่งของสารประกอบ CaO และ Ca(OH)<sub>2</sub> โดยปรากฏพีคสูงสุดของ CaO ในทุกอัตราส่วนผสม โดยผลการทดลองพีคของ CaO ที่อัตราส่วนของ CaO:Support ที่ 30:70 [14] 50:50 และ 70:30 ปรากฏที่ตำแหน่งมุม 34.40° 33.90° และ 34.50° ตามลำดับและตำแหน่งของพีคที่ปรากฏในเปลือกหอยชนิดผงในการทดลองของ Jiranan และคณะ [16] ที่ไม่ผ่านการอัดขึ้นรูปจะมีตำแหน่งของพีค CaO ใกล้เคียงกับการอัดขึ้นรูป จากผลการทดลองมุมที่ปรากฏแสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เปลือกหอยสามารถเปลี่ยนโครงสร้าง CaCO<sub>3</sub> เป็น CaO อย่างสมบูรณ์ ซึ่งขนาดของมุมที่เป็นแบบรูปทรงหกเหลี่ยม (Hexagonal) ของ CaO สอดคล้องกับงานวิจัยของ Peng-Lim และคณะ [9] และงานวิจัยของ สุภกร และคณะ [17] พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน นอกจากนี้การปรากฏตำแหน่งมุมของสารประกอบ Ca(OH)<sub>2</sub> ในบางตำแหน่งเนื่องจาก CaO เกิดการทำปฏิกิริยากับ CO<sub>2</sub>

ผลการวิเคราะห์ธาตุของตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปด้วยเทคนิค XRF ดังตารางที่ 1 พบองค์ประกอบหลักของธาตุ Ca

ในเปลือกหอยก่อนการอัดขึ้นรูป หลังผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ร้อยละ 38.08 โดยน้ำหนัก O ร้อยละ 32.43 โดยน้ำหนัก และธาตุอื่น ๆ ได้แก่ Mg, Si, Al, S, P และ Cl ปริมาณเล็กน้อย อยู่ในช่วงร้อยละ 0.01-0.06 โดยน้ำหนัก และจากตารางที่ 2 พบสารประกอบของ CaO สูงถึงร้อยละ 54.29 โดยน้ำหนัก แสดงถึงการมีความเป็นเบสสูงส่งผลให้สามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับผลการทดลองของ วลัยพัชร์ และคณะ [18]

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของธาตุในเปลือกหอยด้วยเทคนิค XRF

ชนิดของสารประกอบ	ความเข้มข้น (%w/w)
Ca	38.8
O	32.43
N	14.51
C	12.45
H	1.04
Na	0.32
Sr	0.22

### 3.2 ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล

จากการทดลองการผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านการอัดขึ้นรูป การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ง่าย ไม่ผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาด ผลการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดดังต่อไปนี้

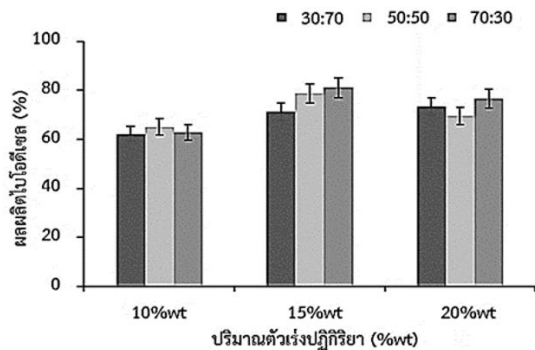
#### 3.2.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณไบโอดีเซล

จากการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักพบว่า ผลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อปริมาณของผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ให้ปริมาณของไบโอดีเซลที่น้อยกว่าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 15 และ 20 โดยน้ำหนัก โดยที่อัตราส่วน CaO:Support ที่อัตราส่วน 30:70 ให้ปริมาณร้อยละผลได้ 62.3 และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นร้อยละ 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 30:70 พบว่า ให้ปริมาณร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 71.21 และ 73.4 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล

ต่อน้ำมันที่ 9:1 ซึ่งแสดงผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 4 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้น ส่งผลให้มีร้อยละผลได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าร้อยละ 15 ส่งผลให้ปริมาณของร้อยละผลได้ลดลงเล็กน้อย ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสอดคล้องกับงานวิจัยของวลัยพัชร และคณะ [18] รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลที่ได้ลดลงเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณมากเกินไป ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาไปมีส่วนร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification) และเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่ม ส่งผลให้ไบโอดีเซลที่ควรจะมีปริมาณสูงจึงลดต่ำลง [19]

### 3.2.2 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ต่อวัสดุรองรับ

จากการศึกษาผลของอัตราส่วน CaO:Support ที่ 30:70 50:50 และ 70:30 ต่อร้อยละผลได้ของไบโอดีเซล พบว่า อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อผลผลิตไบโอดีเซล จากการศึกษาที่อัตราส่วน 30:70 50:50 และ 70:30 ที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละผลได้ 62.30 65.07 และ 62.80 ตามลำดับ และที่สภาวะปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 15 ที่อัตราส่วน 30:70 50:50 และ 70:30 ให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละผลได้ 71.21 78.00 และ 81.20 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 โดยที่อัตราส่วน 70:30 ให้ปริมาณร้อยละผลได้สูงสุด 81.20 ที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 15 โดยน้ำหนักที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1 จากการทดลองเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ CaO สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน โดยที่อัตราส่วน 30:70 ให้ร้อยละผลได้น้อยที่สุดที่ร้อยละ 62.3 ที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สำหรับสภาวะที่อัตราส่วน 50:50 เพิ่มอัตราส่วนเป็น 70:30 พบว่า ปริมาณร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นจาก 78.6 เป็นร้อยละ 81.20 ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก



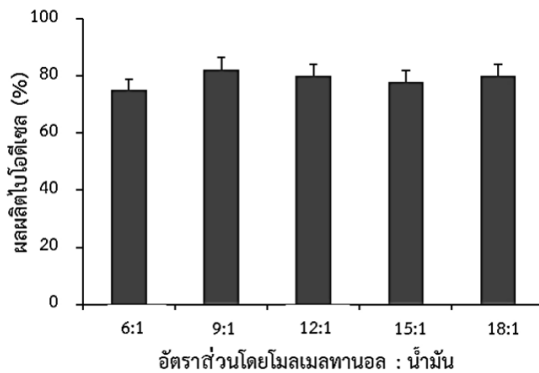
รูปที่ 4 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วน CaO:Support 30:70 50:50 และ 70:30 ต่อปริมาณร้อยละผลผลิตไบโอดีเซล

การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน CaO ส่งผลให้ในปฏิกิริยามีปริมาณของบริเวณเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาถูกผลักดันไปข้างหน้ามากขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน และอาจมีการหลุดตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปขณะทำปฏิกิริยาจึงส่งผลให้บางปริมาณตัวเร่งให้ผลผลิตไบโอดีเซลลดลง เนื่องจากลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็งส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยากับน้ำมันและเมทานอลได้ยากดังรูปที่ 4

### 3.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน

จากผลการทดลองที่มีการใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน CaO:Support ที่ 70:30 ให้ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด จึงนำมาทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 9:1 12:1 15:1 และ 18:1 ผลการทดลองดังรูปที่ 5 ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนของเมทานอลมีอิทธิพลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ เมื่อเพิ่มปริมาณของเมทานอลจะส่งผลให้ปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้สูงขึ้น [20] จากการทดลองอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนเป็น 9:1 ส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 75.40 เป็นร้อยละ 82.30 แต่หากมีการเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของเมทานอลมากกว่า 9:1 จะส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลได้ลดลงเล็กน้อยสังเกตได้จากที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 15:1 และ 18:1 ร้อยละ 80.1 78.4 และ 80.11 ตามลำดับ เป็นผลมาจาก





รูปที่ 5 ผลของสัดส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันต่อ ปริมาณร้อยละผลผลิตไบโอดีเซล

การเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปเป็นไตรกลีเซอไรด์ทำให้การสัมผัสกับตำแหน่งที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาและน้ำมัน ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Buasri และคณะ [4] รายงานว่าอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจนมากเกินไปในปฏิกิริยาจะทำให้ความสามารถในการละลายตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจึงลดลง ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้มีค่าลดลง ซึ่งจากการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1 ให้ปริมาณของร้อยละผลผลิตได้สูงที่สุด และทั้งนี้ยังใช้อัตราส่วนโดย โมลของเมทานอลที่น้อยกว่าที่อัตราส่วน 12:1 และ 18:1

### 3.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล

ผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากสภาวะการทดลองที่ให้อัตราส่วนผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด ที่สภาวะการทดลองอัตราส่วน CaO:Support 70:30 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาอัตราส่วนร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 มีค่าความหนาแน่น 890 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนืด 4.8 เซนติสโตก ซึ่งสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้โดยรวมผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ดังตารางที่ 2

จากการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester; FAME) ด้วยเทคนิคแก๊สโครมา

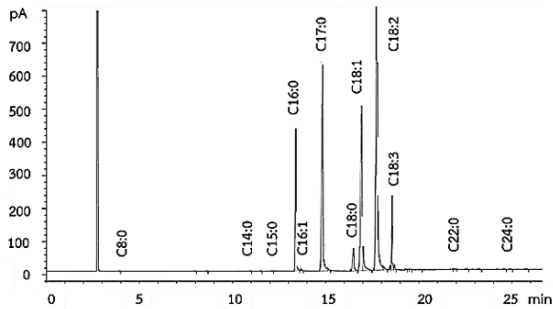
โทกราฟี ดังตารางที่ 3 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอัตราส่วนอัตราส่วน CaO:Support ที่ 70:30 อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เป็นสภาวะที่ให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดพบว่า มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ร้อยละ 87.36 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ผ่านมาในการใช้เปลือกหอยแมลงภู่นิวเคลียสพบว่า ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ให้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์น้อยกว่าเพียงเล็กน้อย [21] อาจเนื่องมาจากการใช้งานในรูปของผงจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยากระจายตัวได้ทั่วถึงและสัมผัสกับตัวทำละลายได้ดีกว่า แต่เกิดปัญหาในขั้นตอนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้สูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนข้างมาก และมีตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปผงปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน	ผลการวิเคราะห์
ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	860-900	890
ความหนืด @40°C (cSt)	3.5-5.0	4.8
จุดวาบไฟ °C	>120	175
ค่าความเป็นกรด mg KOH/g	<0.50	0.47
ค่าความร้อน MJ/kg	-	38.4

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของกรดไขมัน

ชนิดกรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	ปริมาณพื้นที่ (Area %)
กรดไขมันอิ่มตัว		
กรดปาล์มติก	C16:0	8.90
กรดสเตียริก	C17:0	9.52
กรดอะโรลิก	C18:0	2.61
กรดบิฮีนิก	C20:0	0.19
กรดบีฮีนิก	C22:0	0.20
กรดไขมันไม่อิ่มตัว		
กรดปาล์มโตเลอิก	C16:1	2.86
กรดโอเลอิก	C18:1	18.68
กรดลิโนเลอิก	C18:2	41.12
กรดลิโนเลนิก	C18:3	3.94



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีพบว่า มีองค์ประกอบของไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งการมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวชนิดและปริมาณที่ต่างกัมนั้นจะส่งผลต่อสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ โดยไขมันอิ่มตัวมีองค์ประกอบของ C17:0 สูงที่สุดซึ่งแสดงถึงการมีกรดเฮปาทเดคาโนอิกเป็นองค์ประกอบ มีปริมาณร้อยละ 9.52 รองลงมาเป็นองค์ประกอบของกรดปาล์มิติก (C16:0) ปริมาณร้อยละ 8.9 กรดสเตียริก (C18:0) ปริมาณร้อยละ 2.61 กรดอะราคิดิก (C20:0) ปริมาณร้อยละ 0.19 และกรดปีนิค (C22:0) มีปริมาณเพียงร้อยละ 0.20 แสดงดังตารางที่ 3 และที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวพบว่า มีองค์ประกอบกรดลิโนเลอิก (C18:2) สูงที่สุดปริมาณ 41.12% รองลงมาเป็นกรดโอเลอิก (C18:1) ปริมาณร้อยละ 18.68 กรดลิโนเลนิก (C18:3) ปริมาณร้อยละ 3.94 และกรดปาล์มิติก (C16:1) มีปริมาณร้อยละ 2.86 และมีกรดอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย เช่น C8:0 C14:0 C15:0 C16:1 C24:0 C20:1 และ C24:1 ดังรูปที่ 6 การที่เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูงจะส่งผลให้จำนวนซีเทนมีค่าที่ต่ำลง

#### 4. สรุป

การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูป CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ว่า การใช้แก้วเป็นตัวรองรับและโซเดียมซัลไฟด์เป็นตัวเชื่อมประสาน สามารถยึดเกาะและคงรูปตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปได้ดี จากการสังเกตลักษณะสีฐานวิทยา

ของตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปในแต่ละอัตราส่วนมีลักษณะผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยพบตำแหน่งการเลี้ยวเบนสูงสุดที่ตำแหน่งมุม  $34.50^\circ$  พบองค์ประกอบธาตุ Ca ร้อยละ 38.08 โดยน้ำหนัก จากการนำตัวเร่งปฏิกิริยาอัดขึ้นรูปมาผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการรีฟลักซ์ สภาวะที่ให้ปริมาณร้อยละผลที่ได้สูงสุดที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ปริมาณไบโอดีเซลสูงสุดร้อยละ 81.20 มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 87.36

ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวค่อนข้างสูง ค่าความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ และค่าความเป็นกรดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน โดยรวมทำให้สมบัติทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ผ่านตามาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบการอัดขึ้นรูปสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย แยกผลิตภัณฑ์และตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่ายและรวดเร็ว ลดต้นทุนในขั้นตอนการล้างทำความสะอาด และมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ในเรื่องของวัตถุดิบตั้งต้นที่นำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเป็นของเหลือทิ้งและสามารถหาได้ทั่วไปสำหรับการนำตัวเร่งไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม อาจมีการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดผงประเภทเบสชนิดอื่นเข้ากับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาและปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันให้สูงขึ้น ซึ่งองค์ความรู้ดังที่กล่าวมาสามารถเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานในระดับการค้าได้ในอนาคต

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้ทุนศิษย์ก้นกุฏิ จากบัณฑิตวิทยาลัย ประจำปี 2562 ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ และทุนโครงการผลิตและพัฒนาศัลยกรรมบัณฑิต ทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] N. E. Viriya, P. Krasae, W. Nualpaeng, B. Yoosuk, and K. Faungnawakij, "Biodiesel production over Ca-based solid catalysts derived from industrial wastes," *Fuel*, vol. 92, pp. 239–244, 2012.
- [2] M. Kouzu, T. Kasuno, M. Tajika, Y. Sugimoto, S. Yamanaka, and J. Hidaka, "Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production," *Fuel*, vol. 87, pp. 2798–2806, 2008.
- [3] H. Ibrahim, A. Ahmed, S. Bugaje, I. M. Mohammed-Dabo and C. D. Ugwumma, "Synthesis of bulk calcium oxide (CaO) catalyst and its efficiency for biodiesel production," *Journal of Energy Technologies and Policy*, vol. 12, pp. 14–16, 2013.
- [4] A. Buasri, B. Ksapabutr, M. Panapoy, and N. Chaiyut, "Biodiesel production from waste cooking palm oil using calcium oxide supported on activated carbon as catalyst in a fixed bed reactor," *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol. 29, pp. 1–5, 2012.
- [5] S. L. Lee, Y. C. Wong, Y. P. Tan, and S. Y. Yew, "Transesterification of palm oil to biodiesel by using waste obtuse horn shell-derived CaO catalyst," *Energy Conversion and Management*, vol. 93, pp. 282–288, 2015.
- [6] A. Shamshad, C. Shalini Vinayak, V. Pathak, K. Richa, and V. Vineet, "Optimization of direct transesterification of *Chlorella pyrenoidosa* catalyzed by waste egg shell based heterogenous nano – CaO catalyst," *Renewable Energy*, vol. 20, pp. 960–1481, 2020.
- [7] P. S. Ana, P. Jaime, G. Joao, J. Maria, and B. Joao, "Biodiesel production over lime. Catalytic contributions of bulk phases and surface Ca species formed during reaction," *Renewable Energy*, vol. 99, pp. 622–630, 2016.
- [8] M. Siwaporn, O. Chutima, W. Vararut, B. Christopher, C. Smith, C. Suwilai, K. Pradudnet, and B. Supakorn, "Transesterification of soybean oil using bovine bone waste as new catalyst," *Bioresource Technology*, vol. 143, pp. 686–690, 2013.
- [9] B. L. Peng, P. Gaanty, and H. Shafida, "Biodiesel production via transesterification of palm olein using waste mud crab (*Scylla serrata*) shell as a heterogeneous catalyst," *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 6362–6368, 2009.
- [10] X. Liu, H. He, Y. Wang, S. Zhu, and X. Piao, "Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst," *Fuel*, vol. 87, pp. 216–221, 2008.
- [11] C. Ngamcharussrivichai, P. Totarat, and K. Bunyakiat, "Ca and Zn mixed oxide as a heterogeneous base catalyst for transesterification of palm kernel oil," *Applied Catalysis A: General*, vol. 341, pp. 77–85, 2008.
- [12] T. Wan, P. Yu, S. Gong, Q. Li, and Y. Luo, "Application of KF/MgO as a heterogeneous catalyst in the production of biodiesel from rapeseed oil," *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol. 25, pp. 998–1003, 2008.
- [13] C. Ching-Lung, H. Chien-Chang, T. Dang, and C. Jo-Shu, "Biodiesel synthesis via heterogeneous catalysis using modified strontium oxides as the catalysts," *Bioresource Technology*, vol. 113, pp. 8–13, 2012.



- [14] J. Rodproobun and J. Chanathaworn, "The development of an extruded heterogeneous catalyst for biodiesel production," in *Thai Society for Biotechnology International Conference Online "Green Energy & Zero Waste Society"*, 2021, pp. 271–279 (in Thai).
- [15] C. Jutaporn, "Improvement of calcium oxide as a heterogeneous catalyst derived from material wastes for biodiesel production," *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, pp. 770–781, 2022. (in Thai).
- [16] R. Jiranan, C. Jutaporn, S. Natthanicha, and P. Pintana, "Characteristic analysis of waste mussel shell as a catalyst for biodiesel production," National Conference on Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments (20st), 18-20 March 2021, pp. 178–183.
- [17] B. Supakorn, M. Monta, and P. Apisit, "Decomposition study of calcium carbonate in shells" Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, 2015. (in Thai).
- [18] J. Walaipat, P. Rattanachai, and S. Kaokanya, "Biodiesel production by transesterification from chicken fat," *RMUTSB Academic Journal*, vol. 5, pp. 41–49, 2017. (in Thai)
- [19] H. Hadiyanto, S. P. Lestari, A. Abdullah, W. Widayat, and H. Sunanto, "The development of fly ash-supported Cao derived from mollusk shell of Anadara Granosa and Paphia Undulata as heterogeneous CaO catalyst in biodiesel synthesis," *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 7, pp. 297–305, 2016.
- [20] M. Shaban, M. R. Abukhadra, R. Hosny, A. R. Rabie, S. A. Ahmed, and N. A. Negm, "Diatomite supported by CaO/MgO nanocomposite as heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste cooking oil," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 279, pp. 224–231, 2019.
- [21] B. Supakorn, T. Pacaraporn, and P. Somluck, "The synthesis of waste mussel shell for the biodiesel preparation," *Science and Technology Journal*, vol. 21, pp. 526–532.