



การปรับปรุงสมบัติเบสของแคลเซียมออกไซด์จากขยะเปลือกหอยนางรมเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล

มานิดา ทองรุ่ง

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชลดา โกมินทรชาติ*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐานและพลศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 06 5945 4741 อีเมล: cholada.k@ku.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.10.007

รับเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2566 แก้ไขเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2567 ตอรับเมื่อ 6 มีนาคม 2567 เผยแพร่ออนไลน์ 1 ตุลาคม 2567

© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

สมบัติความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ได้จากการเผาเปลือกหอยนางรม ได้ถูกปรับปรุงโดยการชุบเปียกด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชใช้แล้ว (Waste Cooking Oil; WCO) กับเอทานอล (Ethanol; EtOH) เพื่อผลิตไบโอดีเซล โดยศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ อัตราส่วนโดยมวลของ CaO ต่อ KOH (1 : 1 ถึง 1 : 4) ในขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของ WCO ต่อ EtOH อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วน CaO/KOH 4.0% โดยน้ำหนัก ซึ่งเตรียมจากอัตราส่วนโดยมวล 1 : 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลเป็น 1 : 10 ของ WCO : EtOH ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใน 240 นาที ให้ผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 100 จากการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีและกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR) เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction; XRD) การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA) พบว่า บริเวณรูพรุนของพื้นผิว CaO ที่ชุบด้วยไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) และโพแทสเซียมไอออน (K⁺) มีขนาดขยาย เป็นการเพิ่มบริเวณทำปฏิกิริยา ที่มีสมบัติความเป็นเบสเพิ่มขึ้นและเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ซึ่งสมบัติของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ผลิตในการศึกษาวิจัยนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานแห่งประเทศไทย

คำสำคัญ: แคลเซียมออกไซด์ เปลือกหอยนางรม ชุบเปียก ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ไบโอดีเซล

การอ้างอิงบทความ: มานิดา ทองรุ่ง และ ชลดา โกมินทรชาติ, “การปรับปรุงสมบัติเบสของแคลเซียมออกไซด์จากขยะเปลือกหอยนางรมเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 35, ฉบับที่ 3, หน้า 1-13, เลขที่บทความ 253-127455, ก.ค.-ก.ย. 2568.



The Improvement of Basic Properties of Calcined Oyster Shells as Catalyst for Biodiesel Production

Manida Tongroon

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sri Racha, Kasetsart University, Chon Buri, Thailand

Cholada Komintarachat*

Department of Basic Science and Physical Education, Faculty of Science at Sri Racha, Kasetsart University, Chon Buri, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 06 5945 4741, E-mail: cholada.k@ku.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.10.007

Received 10 November 2023; Revised 6 February 2024; Accepted 6 March 2024; Published online: 1 October 2024

© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The basic properties of a calcium oxide (CaO) catalyst derived from oyster shells, calcinated and impregnated with potassium hydroxide (KOH), have been enhanced for catalyzing transesterification reactions of waste cooking oil (WCO) and ethanol (EtOH) to produce biodiesel. The parameters investigated include the mass ratio of CaO to KOH (1 : 1 to 1 : 4) in the catalyst preparation, as well as the catalyst amount, molar ratio of WCO to EtOH, reaction temperature, and reaction time in the transesterification process. The experimental results reveal that a 4.0% w/w CaO/KOH catalyst, prepared with a 1 : 2 mass ratio and a 1 : 10 molar ratio of WCO to EtOH, at 60°C for 240 minutes, yields 100% biodiesel. Characterization of the chemical and physical properties of the catalyst using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Thermogravimetric analysis (TGA) discloses that the CaO surface porosity, impregnated by hydroxide ions (OH⁻) and potassium ions (K⁺), increases active sites. These absorptive characteristics enhance the basic properties and accelerate the reaction rate of biodiesel synthesis. The fuel properties of the biodiesel produced in this research are within the standard specifications of the Department of Energy Business of Thailand.

Keywords: Calcium Oxide, Oyster Shell, Wet Impregnation, Transesterification, Biodiesel

Please cite this article as: M. Tongroon and C. Komintarachat, "The improvement of basic properties of calcined oyster shells as catalyst for biodiesel production," *The Journal of KMUTNB*, vol. 35, no. 3, pp. 1–13, ID. 253-127455, Jul.–Sep. 2025 (in Thai).

1. บทนำ

การเกิดปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้น ตามพฤติกรรมและปริมาณขยะที่มาจากขยะขนาดของชุมชนและจำนวนประชากรที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การใช้พาหนะในการเดินทางในรูปแบบคมนาคมทางบก ทางน้ำหรือทางอากาศ ซึ่งใช้เชื้อเพลิงดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ ซึ่งหากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์จะเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม [1] สุขภาพและสังคม การหาพลังงานทางเลือก เพื่อมาทดแทนการใช้ดีเซลยังจำเป็นต้องวิจัยและศึกษาในการแก้ปัญหาตามที่กล่าวมา

การใช้พลังงานสะอาดที่มีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อย ลดปริมาณเขม่าจากการเผาไหม้และใช้วัตถุดิบที่มาจากแหล่งธรรมชาติหมุนเวียน ที่มีการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter; PM) มีกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อนและใช้ต้นทุนต่ำ ไบโอดีเซลซึ่งเป็นสารประกอบเอสเทอร์ จึงเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงธรรมชาติดีเซลได้ [2] ไบโอดีเซลสังเคราะห์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์สายสั้น (Ethanol หรือ Methanol) เร่งปฏิกิริยาด้วยกรดหรือเบส และความร้อน จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบเอสเทอร์ (Ester) หรือไบโอดีเซล และ ผลิตภัณฑ์พลอยได้กลีเซอรอล (Glycerol)

ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งชนิดเบส เช่น CaO SrO หรือ MgO ที่เป็นโลหะออกไซด์ของธาตุหมู่ 2 มีความเป็นเบสและว่องไวต่อปฏิกิริยาสูง [3] แยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายเมื่อนำมาเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้มีความบริสุทธิ์ จึงลดขั้นตอนการล้างน้ำและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระและน้ำ ปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ซึ่งเป็นการประหยัดต้นทุนในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [1], [4], [5]

ปัญหาขยะที่เกิดจากการบริโภคอาหารทะเล ในชุมชนและร้านอาหารหรือครัวเรือน “เปลือกหอยนางรม” ที่มี

ปริมาณเพิ่มขึ้นและใช้เวลานานในการย่อยสลาย แนวทางหนึ่งที่จะลดปัญหาขยะ ด้วยการเพิ่มมูลค่าและนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ คือ นำมาเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เนื่องจากในเปลือกหอยนางรมมีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ปริมาณสูง เมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงจะเปลี่ยนเป็น CaO

CaO เป็นของแข็ง โลหะออกไซด์ที่มีสถานะเป็นเบส มีประสิทธิภาพสูงในการเร่งปฏิกิริยา [3] เพื่อผลิตไบโอดีเซล แต่ปัญหาที่พบจากการใช้ CaO เร่งปฏิกิริยา คือ ไวต่อความชื้น มีการกร่อนหรือถูกชะ (Leaching) ของตัวเร่งปฏิกิริยา [6], [7] ในขั้นตอนการรีฟลักซ์ด้วยความร้อน ทำให้โลหะ Ca หลุดออกจากพื้นผิว อาจเจือปนในผลิตภัณฑ์และลดประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากบริเวณรูพรุนที่ว่างไวการทำงานปฏิกิริยาถูกแทนที่ด้วยกรดไขมัน [3], [8] นอกจากนี้ ปริมาณ Ca ที่เจือปน อาจไม่เป็นไปตามมาตรฐานของเชื้อเพลิง [9]

การเพิ่มประสิทธิภาพ CaO ด้วยการชุปกับสารละลายที่มีองค์ประกอบเป็นโพแทสเซียมไอออน (K^+) ที่มีความเป็นเบสสูง ช่วยเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันผลิตไบโอดีเซลในสถานะไม่รุนแรง เช่น CaO ชุปกับ K_2CO_3 ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันคาโนล่าได้ร้อยละ 97 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 ชั่วโมง [10] มีงานวิจัยที่ชุป CaO สารละลาย KCl [11] และสารละลาย KBr ในการเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วกับเมทานอลได้ผลิตภัณฑ์ร้อยละ 82 และมีประสิทธิภาพดีเมื่อนำไปผสมกับดีเซลในอัตราส่วน B10 และ B20 จะลดการปลดปล่อย PM2.5 นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่นำ CaO จากการเผาเปลือกไข่ มาชุปกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอล ได้ผลิตภัณฑ์ร้อยละ 87 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส [12]

เพื่อเป็นปรับปรุงประสิทธิภาพและลดปัญหาที่เกิดจากการกร่อนที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา CaO [13] งานวิจัยนี้ จึงพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยา CaO จากขยะเปลือกหอยนางรม ที่นำไปเผา และชุปเปียกด้วย KOH ให้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็ง CaO ชุป KOH โดยการเพิ่มหมู่ OH ซึ่งเข้าไปยึดเกาะที่รูพรุนของ CaO ทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น แล้วนำไปเร่งปฏิกิริยา

ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชใช้แล้วกับเอทานอล เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล สำหรับการใช้อีทานอลในการทำปฏิกิริยาจะลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้วิจัยและแอลกอฮอล์ชนิดนี้หาได้ง่าย ราคาไม่สูงและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา CaO จากเปลือกหอยนางรม

โดยนำขยะเปลือกหอยนางรมที่รวบรวมจากตลาดสด และร้านอาหาร ในชุมชนอ่าวอุดม อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี มาทำความสะอาดด้วยน้ำ 2-3 รอบ เพื่อกำจัดสิ่งเศษดินและโคลนตม แล้วนำมาตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้น 1 คืน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าเตาเผา (Furnace) โดยกำหนดอุณหภูมิเผาที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง [14], [15] ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียส/นาที เพื่อให้แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ในเปลือกหอยนางรมเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์อย่างสมบูรณ์ คือ CaO Oyster (CaO) จากนั้นนำ CaO มาบดเป็นผงละเอียดกรองผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมโครเมตร เก็บในโถดูดความชื้นปิดสนิท ก่อนนำไปใช้งาน

2.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา CaO/KOH ด้วยวิธีขุบแบบเปียก

นำ CaO 20 กรัม มาขุบด้วย KOH ละลายในน้ำปราศจากไอออน (Deionized Water, DI) ปริมาตร 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความเข้มข้น 1.785 3.57 และ 7.14 โมลาร์ แล้วกวนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง [15] ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง CaO ต่อ KOH คือ 1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 4 แล้วนำสารผสมไปกรองด้วยชุดเครื่องกรองบุชเนอร์ เก็บส่วนของแข็งไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ได้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ขุบด้วย KOH คือ CaO/KOH (1 : 1) CaO/KOH (1 : 2) และ CaO/KOH (1 : 4) เพื่อให้ KOH มีประสิทธิภาพในการเคลือบฝังที่พื้นผิวของ CaO จากการขุบ จึงนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมงอีกครั้งก่อนนำไปใช้งาน

2.3 การตรวจสอบเอกลักษณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์

นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้มาตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมีและกายภาพดังนี้ ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของบริเวณพื้นผิวด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR model BRUKER Tensor 27) โดยวัดค่า Transmittance ช่วงเลขคลื่น 400-4000 cm^{-1} วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction; XRD Model BRUKER AXS Model D8 Discover) วัดที่มุม 2θ (10-90 องศา) โดยใช้ Cu ที่ 40 กิโลโวลต์ 40 มิลลิแอมป์ อัตราการเพิ่มมุม 0.0229 องศา วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยภาพถ่ายออสถุณฐานระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM model JEOL JSM-6610LV) ที่กำลังการขยาย 5,000 และ 25,000 เท่า หาความเสถียรทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric analysis (TGA model NETZSCH TG 209 F3 Tarsus) จากอุณหภูมิ 30-600 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และทดสอบความแรงของเบส ด้วยวิธี Hammett Indicator โดยพิจารณาความสามารถในการรับโปรตอนจากไฮโดรเจนของอินดิเคเตอร์และการเปลี่ยนสี ที่ช่วงความแรงของเบส (H) 9.3 - 18.4 คือ ฟีนอล์ฟทาลีน (H₊ = 9.3) 2,4-ไดไนโตรแอนิลีน (H₊ = 15.0) และ 4-ไนโตรแอนิลีน (H₊ = 18.4) เป็นอินดิเคเตอร์

2.4 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้

ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ ซึ่งน้ำมันพืชใช้แล้ว (Waste Cooking Oil; WCO) 30 กรัม ลงในขวดก้นกลมและเติมเอทานอล (Ethanol; EtOH) ตามอัตราส่วนโดยโมลที่กำหนดของเอทานอลต่อน้ำมัน (WCO : EtOH) คือ 5 : 1, 10 : 1 และ 15 : 1 ลงขวดก้นกลมนำไปให้ความร้อนตามอุณหภูมิที่ศึกษา (50-80 องศาเซลเซียส) พร้อมต่อกับคอนเดนเซอร์ เพื่อป้องกันเอทานอลระเหยในระหว่างให้ความร้อน ด้วยการกลั่นแบบไหลย้อน (Reflux)

เติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ โดยทำปฏิกิริยาตามเวลาที่กำหนด (120–300 นาที) และคัดเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ผลิตภัณฑ์สูงสุดจากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ ในการสังเคราะห์ไปโอดีเซลทำการทดลอง 3 ซ้ำ (Triplicate) ในทุกสภาวะ เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าทางสถิติ

2.5 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

การวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี Gas Chromatography, GC-FID Agilent Technologies รุ่น 7693A) คอลัมน์ HP-88 (บรรจุซิลิกา ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาว 100 เมตร) โดยมีวิธีการดังนี้ นำผลิตภัณฑ์ 0.5 กรัม ละลายในเฮกเซน 5 มิลลิลิตร แล้วฉีดตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร เข้าเครื่อง GC โดยมีแก๊สฮีเลียม (He) เป็นแก๊สตัวพา (Carrier Gas) กำหนดอุณหภูมิหัวฉีดที่ 150 องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีดสาร (Split Ratio) 100 : 1 อุณหภูมิของตัวตรวจวัด (Detector) เท่ากับ 250 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของคอลัมน์ เริ่มต้น 120 องศาเซลเซียส และเพิ่มเป็น 200 และ 250 องศาเซลเซียส ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ตามลำดับ

วิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ได้จากการนำข้อมูลของเวลา (Retention Time) และพื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ มาคำนวณหาปริมาณ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ หรือไปโอดีเซล ด้วยวิธี External Standard [16] ดังนี้

$$\text{ร้อยละไปโอดีเซล} = \frac{\text{น้ำหนักกรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กรัม)}} \times 100$$

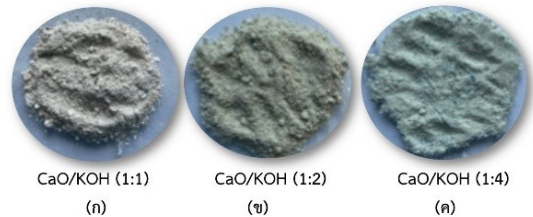
3. ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

3.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา CaO และ CaO/KOH ที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยนางรม

ลักษณะทางกายภาพของเปลือกหอยนางรม ก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ในรูปที่ 1 พบว่าเมื่อความร้อนสูงทำให้เปลือกหอยสลายตัวและสีเปลี่ยนเป็น



รูปที่ 1 เปลือกหอยนางรม (ก) ก่อน และ (ข) หลัง การเผาที่ 900 องศาเซลเซียส

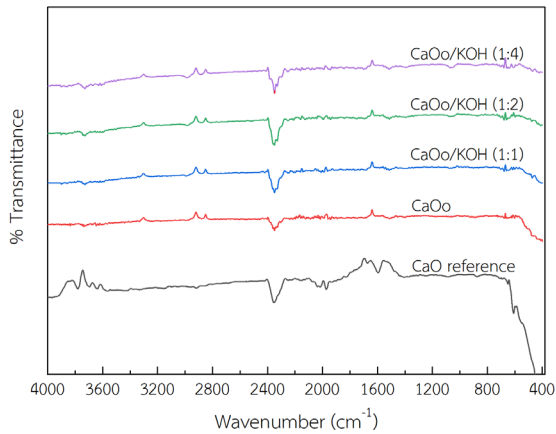


รูปที่ 2 ตัวเร่งปฏิกิริยาซูป CaO/KOH ในอัตราส่วนโดยมวลระหว่าง CaO ต่อ KOH เป็น (ก) 1 : 1 (ข) 1 : 2 และ (ค) 1 : 4

ขาวปนน้ำตาล โดยมีลักษณะเป็นผง เมื่อสัมผัสจะติดมือ ซึ่งแสดงความไวต่อความชื้นของ CaO นอกจากนี้ ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้องค์ประกอบในเปลือกหอย (CaCO_3) สลายตัวทางความร้อน เช่น น้ำ สารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่งผลให้ CaO ที่ได้น้ำหนักลดลงและเป็นรูพรุน [17]

เมื่อนำ CaO จากการเผา ไปเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา CaO/KOH ด้วยวิธีซูปเปียกในอัตราส่วนโดยมวลต่าง ๆ และเผาอีกครั้ง ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยามีสีแตกต่างกัน โดยมีสีฟ้าเขียวปนกับสีน้ำตาลตามความเข้มข้นของ KOH ที่มากขึ้นดังรูปที่ 2

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเทคนิค ATR/FTIR ดังรูปที่ 3 พบว่า CaO และ CaO มาตรฐานเพื่ออ้างอิง (CaO Reference) ปรากฏพิกจากทั้งสองตรงกัน คือ เลขคลื่น 875 cm^{-1} , 1,078 cm^{-1} และ 1,423 cm^{-1} ซึ่งเป็นพันธะ C=O ของ CO_3^{2-} ที่พบในธรรมชาติ [18] โดย CaO พบการสั่นแบบงอ (Bending Vibration) ที่เลขคลื่น 1,631 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่



รูปที่ 3 ATR/FT-IR แสดงหมู่ฟังก์ชันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ (CaOo และ CaOo/KOH) ในอัตราส่วนโดยมวล 1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 4

ไฮดรอกซิล (OH) ของโมเลกุลน้ำที่เกาะผิวด้านนอกของของแข็ง (Physisorbed) [19], [20] ที่เลขคลื่น 3,693 cm^{-1} แสดง หมู่ OH-stretching ซึ่งเกิดจากความชื้นในอากาศ

เมื่อนำ CaOo ไปชุบเปียกกับ KOH พบว่า ไม่ปรากฏพิกัดความชื้น อาจเนื่องจากการเคลือบฝัง KOH ใน CaOo ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาลดความไวต่อความชื้น หรือ CO_2 ในอากาศ โดยความเข้มของหมู่ไฮดรอกซิล ที่มาจากการชุบ KOH สูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้น เป็นที่น่าสังเกตว่า CaOo/KOH (1 : 2) มีตำแหน่งพิกัดของเบส (OH) เข้มกว่า CaOo/KOH (1 : 4) อาจเนื่องมาจาก ที่สัดส่วนนี้ ผง CaOo ที่นำมาทวนใน

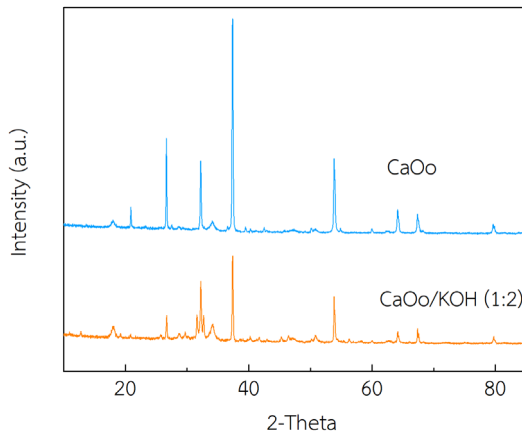
สารละลาย KOH มีความเข้มข้นสูง ทำให้ของผสมมีความเข้มข้นเกิดการเคลือบฝัง K^+ หรือ OH^- ในรูพรุน กระจายตัวได้น้อยกว่าอัตราส่วนอื่น นอกจากนี้อาจเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของเครื่องทวนและอุณหภูมิห้องที่ใช้ในขั้นตอนการชุบเปียก

ในตารางที่ 1 แสดงความแรงของเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาจากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ หลังจากเติมเอทานอลลงไปในตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วเกิดโลหะอัลคอกไซด์ (Alkoxides) ที่ตำแหน่งหมู่อัลคอกไซด์สามารถรับโปรตอนจากอินดิเคเตอร์แต่ละชนิด ผลการวิเคราะห์พบว่า CaOo/KOH (1 : 2) มีความแรงของเบสสูงสุด เปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสีชมพูเข้ม ($H_+ > 9.3$) เปลี่ยนเป็นสีม่วงเมื่อทดสอบด้วย 2,4-ไดไนโตรแอนิลีน ($H_+ > 15.0$) และสีไม่เปลี่ยนเมื่อทดสอบกับ 4-ไนโตรแอนิลีน ($H_+ < 18.4$) แสดงว่า CaOo/KOH (1 : 2) มีความแรงของเบสอยู่ในช่วง $9.3 < H_+ < 18.4$

ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกจากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ในรูปที่ 4 พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา CaOo ที่เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 5 ชั่วโมง เปลี่ยนแปลงโครงสร้างจาก CaCO_3 ไปเป็น CaO อย่างสมบูรณ์ โดยปรากฏพิกัดของผลึก CaOo ที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 32.20 องศา 37.39 องศา 53.83 องศา 64.36 องศา และ 67.37 องศา ยืนยันตำแหน่งที่ตรงกันกับ JCPDS File No. 01-082-1691 ที่แสดง CaO มีรูปร่างเป็นลูกบาศก์ (Cubic) [21] นอกจากนี้ ปรากฏพิกัดที่มุม 37.4 องศา และ 53.8 องศา เป็นตำแหน่งของพิกัดที่

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ของตัวเร่งปฏิกิริยา

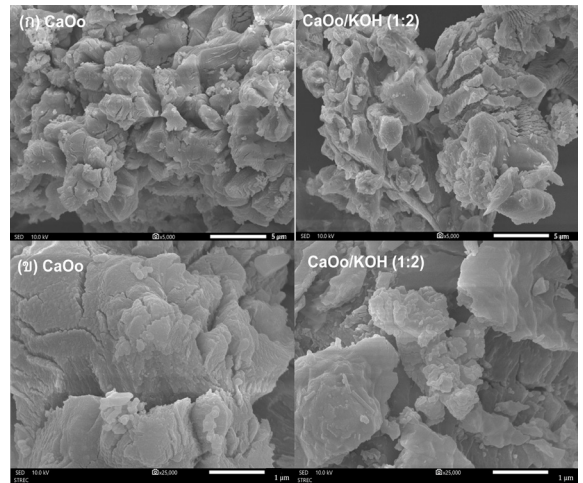
	อินดิเคเตอร์			ความแรงของเบส
	ฟีนอล์ฟทาลีน	2,4-ไดไนโตรแอนิลีน	4-ไนโตรแอนิลีน	
	$H_+ > 9.3$	$H_+ < 15.0$	$H_+ < 18.4$	
ตัวเร่งปฏิกิริยา	ใส-ชมพู	เหลือง-ม่วง	เหลือง-ส้ม	
CaOo	ชมพูอ่อน	เหลือง	เหลือง	$H_+ < 9.3$
CaOo/KOH (1 : 1)	ชมพูเข้ม	เหลืองชมพู	เหลืองเข้ม	$9.3 < H_+ < 15$
CaOo/KOH (1 : 2)	ชมพูเข้ม	ม่วง	เหลืองส้ม	$15 < H_+ < 18.4$
CaOo/KOH (1 : 4)	ชมพูเข้ม	ชมพู	เหลืองเข้ม	$15 > H_+ < 18.4$



รูปที่ 4 XRD โครมาโทแกรมของตัวเร่งปฏิกิริยา

แสดงเอกลักษณ์เฉพาะของ CaO จากเปลือกหอยพันธุ์ *Anadaragrana* [22] และ เปลือกไข่ที่เผาที่ 900 องศาเซลเซียส [23] ตัวเร่งปฏิกิริยาซุบ CaO/KOH (1 : 2) มีโครงสร้างเป็นผลึกและตำแหน่งมุม 2θ ที่มีรูปแบบการเลี้ยวเบนไม่แตกต่างจากเดิม [24] การซุบ CaO ด้วย KOH จึงไม่เกิดการแทนที่ในตำแหน่งแลตทิซของของแข็งไอออนิกสังเกตได้ในโครมาโทแกรม XRD และ ATR/FTIR ไม่ปรากฏเฟส K_2O [25] และพันธะ K-O ซึ่งยืนยันได้ว่า KOH ที่เป็นผลึกและมีไอออน K^+ เข้าไปซุบในรูพรุนของ CaO [26] เพิ่มแอคติฟไซต์ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์และเอทานอลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

เมื่อนำภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา CaO และตัวเร่งปฏิกิริยาซุบ CaO/KOH (1 : 2) ที่กำลังขยาย 5,000 และ 25,000 เท่า ดังแสดงในรูป (ก) และ (ข) มาวิเคราะห์พบว่า พื้นผิวของ CaO มีผิวไม่เรียบและมีลักษณะเป็นรูพรุนในโครงสร้าง โดยรูพรุนเกิดขึ้นในขั้นตอนการเผาเปลือกหอยนางรม ที่ปล่อย CO_2 และความชื้นที่ระเหยออกจากเปลือกหอยนางรม ดังแสดงในรูปที่ 5 จะสังเกตได้ว่าการซุบ CaO ด้วยสารละลาย KOH มองเห็นรูพรุนกระจายทั่วพื้นผิวและเกาะกลุ่ม โดยขนาดของรูพรุนเพิ่มขึ้นเพิ่มพื้นที่ผิวให้โมเลกุลทำปฏิกิริยา [27] ได้ดีขึ้น โดยขนาดของรูพรุนบริเวณผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา จะมีผลในการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน [28]



รูปที่ 5 ลักษณะพื้นผิวของ CaO และ CaO/KOH (1 : 2) ที่กำลังการขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 25,000 เท่า

3.2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

3.2.1 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันที่ใช้แล้วต่อเอทานอล เป็น 1 : 10 ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 180 นาที ในการเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้ผลิตไบโอดีเซลมีปริมาณสูง ซึ่งผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH มีประสิทธิภาพดีที่สุด ในการเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะกำหนด เนื่องจากการทำปฏิกิริยาในระบบเป็นแบบเอกพันธ์ ที่ใช้ KOH เร่งปฏิกิริยานี้ จะลดปัญหาเรื่องความแตกต่างของเฟสและการถ่ายโอนมวล (Mass Transfer) ระหว่างเฟสของของผสม [29] ทำให้ปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์และเอทานอลเกิดได้ดี แต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกับสารตั้งต้นนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงมีความเป็นเบส ต้องใช้น้ำปริมาณมากในการล้างผลิตภัณฑ์ เป็นการเพิ่มขึ้นตอนและมีผลเสียตามมาในเรื่องสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

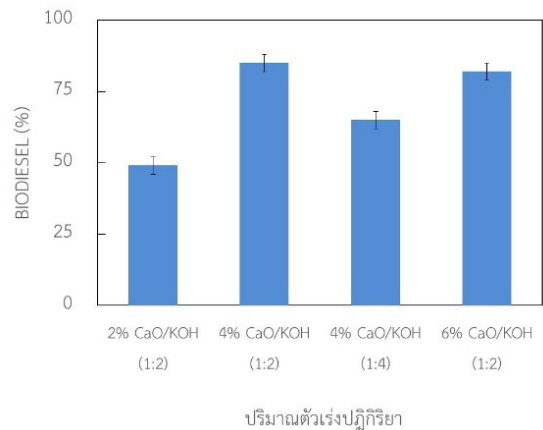
การทดลองที่	ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	ไบโอดีเซล (ร้อยละ)
1	KOH	100
2	CaO reference	19
3	CaOo	16
4	CaOo/KOH (1 : 1)	23
5	CaOo/KOH (1 : 2)	85
6	CaOo/KOH (1 : 4)	65

สถานะในการทดลอง: ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมล WCO : EtOH = 1 : 10 ที่ 60 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็ง CaOo จึงนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาที่กล่าวมา จากผลการวิจัยในตารางที่ 2 พบว่าการปรับปรุง CaOo ด้วยการชุกกับสารละลาย KOH ได้ผลิตผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกได้ง่าย โดยการเพิ่ม KOH เข้าไปเคลือบในโครงสร้าง CaOo ที่เป็นวัสดุรูพรุนเพิ่มบริเวณแอคทีฟไซต์ (Active Sites) ของตัวเร่งปฏิกิริยา และ K^+ จะเพิ่มความเป็นเบสให้ตัวเร่งปฏิกิริยา [30] เร่งการทำปฏิกิริยาของกรดไขมันอิสระหรือไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืชใช้แล้วกับเอทานอลได้ดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มเดียวกับงานวิจัยของ Nayebzadeh และคณะ [30], [31] พบว่าการเพิ่มสมบัติเบสให้แก่ CaO ด้วยการเคลือบฝัง KOH มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซล

3.2.2 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

จากผลการวิเคราะห์ความแรงของเบสด้วยวิธี Hammett Indicator พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา CaOo/KOH (1 : 2) และ (1 : 4) มีความแรงของเบสสูงใกล้เคียงกัน จึงนำมาศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดนี้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สถานะเดียวกัน โดยกำหนด อัตราส่วนโดยโมลของ WCO : EtOH เป็น 1 : 10 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 180 นาที ผลการทดลอง

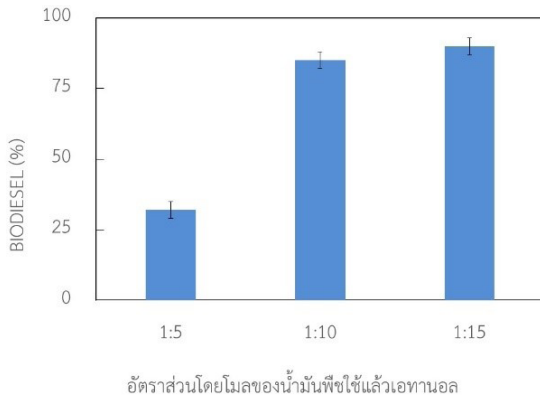


รูปที่ 6 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

แสดงในรูปที่ 6 พบว่า เมื่อปริมาณ CaOo/KOH (1 : 2) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.0 4.0 และ 6.0 โดยน้ำหนัก ไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 49 85 และลดลงเป็น 80 โดยตัวเร่งปฏิกิริยา CaOo/KOH (1 : 2) มีประสิทธิภาพดีกว่า CaOo/KOH (1 : 4) ที่ภาวะเดียวกัน ซึ่งเป็นผลจากความแรงของเบสที่พื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากกว่าให้ปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์และเอทานอลเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น

3.2.3 ผลของปริมาณเอทานอลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปริมาณเอทานอลเป็นสารตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จะเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างหมู่เอสเทอร์ (กรดไขมัน) ในไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ โดยจะเกี่ยวข้องกับการละลายได้และการทำปฏิกิริยาโดยตรงกับไตรกลีเซอไรด์หรือกรดไขมันอิสระ ที่อยู่ในน้ำมันพืชใช้แล้ว ในการวิจัยได้หาปริมาณที่เหมาะสมของแอลกอฮอล์ ด้วยการหาอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อเอทานอลได้แก่ 1 : 5, 1 : 10 และ 1 : 15 จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลของ WCO : EtOH เป็น 1 : 15 ตัวเร่งปฏิกิริยา CaOo/KOH (1 : 2) ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก เวลา 180 นาที และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เกิดไบโอดีเซลร้อยละ 90 เนื่องจากเมื่อปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้น เพิ่มความเข้ากันได้และเพิ่ม



รูปที่ 7 ผลของปริมาณเอทานอลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ผิวสัมผัสระหว่างโมเลกุลแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์ [32] เป็นการสลายพันธะระหว่างกลีเซอรินและกรดไขมันของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งสัมพันธ์กับความมีขี้ของเอทานอลและไบโอดีเซล โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ควรมีแอลกอฮอล์มากเกินไปทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเป็นสารตั้งต้น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มผลผลิตไบโอดีเซลและความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล [32] ผลการวิจัยแสดงดังรูปที่ 7

3.2.4 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การเพิ่มอุณหภูมิและเวลา เพื่อกระตุ้นให้ตัวเร่งปฏิกิริยา รวมถึงความร้อนจะสลายพันธะภายในเอทานอลและกรดไขมันให้ทำปฏิกิริยากันได้ดีขึ้น ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 3 ของการทดลองที่ 1 2 และ 6 จะสังเกตเห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จาก 50 องศาเซลเซียส เป็น 60 องศาเซลเซียส ปริมาณไบโอดีเซลเพิ่มจากร้อยละ 55 เป็นร้อยละ 85 โดยความร้อนจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารละลายผสมทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ตามการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่ปฏิกิริยาจะเกิดที่อุณหภูมิที่เป็นจุดเดือดของแอลกอฮอล์ [33] โดยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าจุดเดือดของเอทานอล (จุดเดือด = 78 องศาเซลเซียส) จึงไม่ทำลายพันธะภายในโมเลกุล จึงทำให้

ไม่เกิดปฏิกิริยาหรือเกิดได้น้อยมาก ขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 องศาเซลเซียส ผลผลิตกลับเกิดลดลง สาเหตุอาจเกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้และเอทานอลลดความแอคทีฟจากความร้อน ในการทำปฏิกิริยานาน [34] ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่เร่งปฏิกิริยาด้วย CaO/KOH (1 : 2) ในงานวิจัยนี้ คือ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ไบโอดีเซล (%)
1	50	180	55
2	60	180	85
3	60	120	75
4	60	240	100
5	60	300	65
6	70	180	80

สถานะในการทดลอง: CaO/KOH (1 : 2) ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมล $\text{WCO} : \text{EtOH} = 1 : 10$

นอกจากนี้ เวลาในการทำปฏิกิริยามีผลต่อการเกิดไบโอดีเซล โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของการทดลอง (การทดลองที่ 2-5) พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 180-240 นาที ปริมาณผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อเวลาการทำปฏิกิริยา 300 นาที ซึ่งอาจเกิดจากไบโอดีเซลเกิดการสลายตัวทางความร้อน (Thermal Decomposition) ไปเป็นสารประกอบอื่น [35] หรือผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ โดยภาวะที่เหมาะสม (Optimum Condition) ของการทดลองนี้ คือ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO/KOH (1 : 2) ปริมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเอทานอลเป็น 1 : 10 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 240 นาที จะเปลี่ยนรูปไตรกลีเซอไรด์ เป็นไบโอดีเซลได้ร้อยละ 100 ตามมาตรฐานกำหนด ที่ไบโอดีเซลต้องมีปริมาณเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 96.5 [36]

3.2.5 สมบัติเชื้อเพลิงเบื้องต้นของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้ว

ผลการทดสอบสมบัติเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่เร่งปฏิกิริยาด้วย CaO/KOH (1 : 2) ได้นำมาวิเคราะห์และใช้วิธีตรวจสอบตามมาตรฐานกำหนด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติเชื้อเพลิงเบื้องต้นของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

สมบัติทางเคมี/เชื้อเพลิง	ไบโอดีเซล	ค่าและวิธีทดสอบของมาตรฐาน
กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ) (Free Fatty Acid) [37]	ร้อยละ 0.404	ร้อยละ 0.2-0.824 EN14214
ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g) (Acid Value) [37]	0.3456	น้อยกว่า 0.8 EN14214
ค่าความหนืดที่ 40°C (mm ² /s) (Viscosity) [38]	1.9266	1.9-6.0 ASTMD6751
ความหนาแน่น (g/cm ³) (Density) [38]	0.8092	0.82-0.90 ASTMD6751
จุดหมอก (Cloud Point), °C [38]	18	12.8 ASTMD6751
จุดไหลเท (Pour Point), °C [38]	3	0 ASTMD6751

ซึ่งสมบัติของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ผลิตในงานวิจัยนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานแห่งประเทศไทย หากแต่ยังมีสมบัติบางประการที่ไม่สามารถนำไปใช้โดยตรงกับเครื่องยนต์ดีเซล เช่น จุดหมอก ค่าความร้อนหรือค่าการเผาไหม้ เพื่อให้มีประสิทธิภาพต่อการนำไปใช้งานในอนาคต อาจนำไปผสมกับดีเซลและตรวจสอบสมบัติเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้งาน

4. สรุปผลการทดลอง

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยนางรมด้วยการเผาที่ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 ชั่วโมง เปลี้นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) เป็น CaO อย่างสมบูรณ์ ในการปรับปรุงพื้นที่ผิวด้วยวิธีการ

ชุบแบบเปียกกับสารละลาย KOH ในอัตราส่วนโดยมวลที่ 1 : 2 ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะเป็นผลึกเพิ่มสมบัติความเป็นเบส โดยรูพรุนมีขนาดขยายและบริเวณพื้นผิวเรียบขึ้น เร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้วกับเอทานอล ได้ไบโอดีเซลร้อยละ 100 ซึ่งการชุบ CaO ด้วย KOH จะทำให้ไอออน K⁺ และ OH⁻ บริเวณแอคทีฟในรูพรุนเร่งปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์และเอทานอลทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลสูงขึ้น

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันใช้แล้วกับเอทานอล คือ ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO/KOH ที่เตรียมด้วยอัตราส่วน 1 : 2 โดยมวลของ CaO : KOH ปริมาณร้อยละ 4.0 ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเอทานอล 1 : 10 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 240 นาที ได้ไบโอดีเซลร้อยละ 100 โดยสมบัติของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ที่ผลิตในการศึกษาวิจัยนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานแห่งประเทศไทย ประโยชน์ของงานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นวัตถุดิบต้นทางในการผลิตพลังงานทางเลือก ข้อมูลการทดลองยังเป็นการวิจัยในห้องปฏิบัติการ การนำไปใช้งานและการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิงนี้ อาจยังต้องศึกษาเชิงลึกในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ปีงบประมาณ 2565 และคณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Thitipatanapong, P. Visuwan, C. Komintarachat, K. Theinnoi, and S. Chuepeng, "Insight into nanoparticle-number-derived characteristics of precharged biodiesel exhaust gas in nonthermal plasma state," *ACS Omega*, vol. 7, no. 6, pp. 5376-5384, 2022.
- [2] S. Boonyuen, S. M. Smith, M. Malaithong,

- A. Prokaew, B. Cherdhirunkorn, and A. Luengnaruemitchai, "Biodiesel production by a renewable catalyst from calcined Turbo jourdani (Gastropoda: Turbinidae) shells," *Journal of Cleaner Production*, vol. 177, pp. 925–929, 2018.
- [3] D. Papargyriou, E. Broumidis, M. de Vere–Tucker, S. Gavrielides, P. Hilditch, J. T. S. Irvine, and A. D. Bonaccorso, "Investigation of solid base catalysts for biodiesel production from fish oil," *Renewable Energy*, vol. 139, pp. 661–669, 2019.
- [4] M. Farooq, A. Ramli, and A. Naeem, "Biodiesel production from low FFA waste cooking oil using heterogeneous catalyst derived from chicken bones," *Renewable Energy*, vol. 76, pp. 362–368, 2015.
- [5] M. Dangsunthonchai, P. Visuwan, C. Komintarachat, K. Theinnoi, and S. Chuepeng, "Nanoparticle components and number-size distribution of waste cooking oil-based biodiesel exhaust gas from a diesel particulate filter-equipped engine," *ACS Omega*, vol. 7, no. 4, pp. 3384–3394, 2022.
- [6] Z. Kesic, I. Lukic, M. Zdujic, L. Mojovic, and D. Skala, "Calcium oxide based catalysts for biodiesel production: A review," *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, vol. 22, no. 4, pp. 391–408, 2016.
- [7] S. F. Basumatary, S. Brahma, M. Hoque, B. K. Das, M. Selvaraj, S. Brahma, and S. Basumatary, "Advances in CaO-based catalysts for sustainable biodiesel synthesis," *Green Energy and Resources*, vol. 1, no. 3, 2023.
- [8] Y. C. Wong, Y. P. Tan, Y. H. Taufiq–Yap, I. Ramli, and H. S. Tee, "Biodiesel production via transesterification of palm oil by using CaO–CeO₂ mixed oxide catalysts," *Fuel*, vol. 162, pp. 288–293, 2015.
- [9] S. Palitsakun, K. Koonkuer, B. Topool, A. Seubsai, and K. Sudsakorn, "Transesterification of Jatropa oil to biodiesel using SrO catalysts modified with CaO from waste eggshell," *Catalysis Communications*, vol. 149, 2021.
- [10] N. Degirmenbasi, S. Coskun, N. Boz, and D. M. Kalyon, "Biodiesel synthesis from canola oil via heterogeneous catalysis using functionalized CaO nanoparticles," *Fuel*, vol. 153, pp. 620–627, 2015.
- [11] W. Win Mar and E. Somsook, "Methanolysis of soybean oil over KCl/CaO solid base catalyst for biodiesel production," *ScienceAsia*, vol. 38, no. 1, 2012.
- [12] S. Oko, I. Syahrir, and M. Irwan, "The Utilization Of CaO Catalyst Impregnated With KOH In Biodiesel Production From Waste Cooking Oil," *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 7, pp. 115–118, 2018.
- [13] M. Kouzu, S.-y. Yamanaka, J.-s. Hidaka, and M. Tsunomori, "Heterogeneous catalysis of calcium oxide used for transesterification of soybean oil with refluxing methanol," *Applied Catalysis A: General*, vol. 355, no. 1–2, pp. 94–99, 2009.
- [14] N. Suwannasingha, A. Kantavong, S. Tunkijjanukij, C. Aenglong, H.–B. Liu, and W. Klaypradit, "Effect of calcination temperature on structure and characteristics of calcium oxide powder derived from marine shell waste," *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 26, no. 2, 2022.



- [15] C. Komintarachat and S. Chuepeng, "Catalytic enhancement of calcium oxide from green mussel shell by potassium chloride impregnation for waste cooking oil-based biodiesel production," *Bioresource Technology Reports*, vol. 12, 2020.
- [16] A. B. Fadhil, E. T. Al-Tikrity, and A. M. Khalaf, "Transesterification of non-edible oils over potassium acetate impregnated CaO solid base catalyst," *Fuel*, vol. 234, pp. 81–93, 2018.
- [17] S. Ha, J. W. Lee, S.-H. Choi, S.-H. Kim, K. Kim, and Y. Kim, "Calcination characteristics of oyster shells and their comparison with limestone from the perspective of waste recycling," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 21, no. 5, pp. 1075–1084, 2019.
- [18] X. Inthapanya, S. Wu, Z. Han, G. Zeng, M. Wu, and C. Yang, "Adsorptive removal of anionic dye using calcined oyster shells: isotherms, kinetics, and thermodynamics," *Environmental Science and Pollution Research International*, vol. 26, no. 6, pp. 5944–5954, 2019.
- [19] M. L. Granados, M. D. Z. Poves, D. M. Alonso, R. Mariscal, F. C. Galisteo, R. Moreno-Tost, J. Santamaría, and J. L. G. Fierro, "Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 73, no. 3–4, pp. 317–326, 2007.
- [20] T. Saba, J. Estephane, B. El Khoury, M. El Khoury, M. Khazma, H. El Zakhem, and S. Aouad, "Biodiesel production from refined sunflower vegetable oil over KOH/ZSM5 catalysts," *Renewable Energy*, vol. 90, pp. 301–306, 2016.
- [21] N. Mansir, S. H. Teo, N.-A. Mijan, and Y. H. Taufiq-Yap, "Efficient reaction for biodiesel manufacturing using bi-functional oxide catalyst," *Catalysis Communications*, vol. 149, 2021.
- [22] A. Linggawati, "Preparation and Characterization of Calcium Oxide Heterogeneous Catalyst Derived from Anadara Granosa Shell for Biodiesel Synthesis," *KnE Engineering*, vol. 1, no. 1, 2016.
- [23] K. Ngaosuwan, W. Chaiyariyakul, O. Inthong, W. Kiatkittipong, D. Wongsawaeng, and S. Assabumrungrat, "La₂O₃/CaO catalyst derived from eggshells: Effects of preparation method and La content on textural properties and catalytic activity for transesterification," *Catalysis Communications*, vol. 149, 2021.
- [24] S. Ahmad, S. Chaudhary, V. V. Pathak, R. Kothari, and V. V. Tyagi, "Optimization of direct transesterification of *Chlorella pyrenoidosa* catalyzed by waste egg shell based heterogenous nano-CaO catalyst," *Renewable Energy*, vol. 160, pp. 86–97, 2020.
- [25] A. G. Abdullah, H. Husin, A. Abubakar, S. Ramadhani, C. F. B. Sijabat, F. Hasfita, and A. B. D. Nandiyanto, "Coconut husk ash as heterogenous catalyst for biodiesel production from cerbera manghas seed oil," *MATEC Web of Conferences*, vol. 197, 2018.
- [26] M. E. Bambase, R. A. R. Almazan, R. B. Demafelis, M. J. Sobremisana, and L. S. H. Dizon, "Biodiesel production from refined coconut oil using hydroxide-impregnated calcium oxide by cosolvent method," *Renewable Energy*, vol. 163, pp. 571–578, 2021.
- [27] H. Li, Y. Wang, X. Ma, Z. Wu, P. Cui, W. Lu, F. Liu, H. Chu, and Y. Wang, "A novel magnetic CaO-based catalyst synthesis and characterization:

- Enhancing the catalytic activity and stability of CaO for biodiesel production,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 391, 2020.
- [28] D. T. Oyekunle, M. Barasa, E. A. Gendy, and S. K. Tiong, “Heterogeneous catalytic transesterification for biodiesel production: Feedstock properties, catalysts and process parameters,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 177, pp. 844–867, 2023.
- [29] A. Macario, G. Giordano, B. Onida, D. Cocina, A. Tagarelli, and A. M. Giuffrè, “Biodiesel production process by homogeneous/heterogeneous catalytic system using an acid–base catalyst,” *Applied Catalysis A: General*, vol. 378, no. 2, pp. 160–168, 2010.
- [30] H. Nayebzadeh, N. Saghatoleslami, and M. Tabasizadeh, “Optimization of the activity of KOH/calcium aluminate nanocatalyst for biodiesel production using response surface methodology,” *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 68, pp. 379–386, 2016.
- [31] A. Kurniawan and S. Oko, “Modification of CaO Catalyst with Impregnation Method Using KoH in Biodiesel Synthesis from Waste Cooking Oil,” *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, vol. 19, no. 2, 2019.
- [32] I. A. Musa, “The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process,” *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 25, no. 1, pp. 21–31, 2016.
- [33] C. Esonye, O. D. Onukwuli, and A. U. Ofoefule, “Chemical kinetics of a two-step transesterification of *dyacrodes edulis* seed oil using acid–alkali catalyst,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 145, pp. 245–257, 2019.
- [34] Z. Wei, C. Xu, and B. Li, “Application of waste eggshell as low–cost solid catalyst for biodiesel production,” *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 11, pp. 2883–2885, 2009.
- [35] A. A. Ayoola, O. S. I. Fayomi, O. A. Adeeyo, J. O. Omodara, O. Adegbite, and M. Kunelbayev, “Impact assessment of biodiesel production using CaO catalyst obtained from two different sources,” *Cogent Engineering*, vol. 6, no. 1, 2019.
- [36] J. Thawornprasert, K. Somnuk, Y. M. Oo, and G. Prateepchaikul, “Feasibility of using diesel–palm fatty acid distillate ethyl ester–hydrous ethanol blend in an unmodified direct injection diesel engine: An assessment of stability, fuel properties, and emissions,” *ACS Omega*, vol. 5, no. 32, pp. 20021–20033, 2020.
- [37] Sahar, S. Sadaf, J. Iqbal, I. Ullah, H. N. Bhatti, S. Nouren, R. Habib ur, J. Nisar, and M. Iqbal, “Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 41, pp. 220–226, 2018.
- [38] M. U. H. Suzihaque, N. Syazwina, H. Alwi, U. K. Ibrahim, S. Abdullah, and N. Haron, “A sustainability study of the processing of kitchen waste as a potential source of biofuel: Biodiesel production from waste cooking oil (WCO),” *Materials Today: Proceedings*, vol. 63, pp. S484–S489, 2022.