

ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ด้วยเตาปฏิกรณ์แบบกวนเชิงกล

Transesterification of vegetable oil using heterogeneous catalyst via a mechanically agitated reactor

ศิวกร ทองทิพย์¹, จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์², จักรมาส เลหาวิช²

Siwakorn Thongthip¹, Jindaporn Jamradloedluk², Juckamas Laohavanich²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มและเมทานอลโดยใช้เตาปฏิกรณ์การกวนเชิงกลที่มีหลอดรังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนและใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากการแคลซิเนชันของเปลือกหอยเชอรี่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สภาพที่ใช้ในการทดลอง คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก) ร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ (ร้อยละ 25, 50 และ 75) และความเร็วรอบในการกวน (70, 130 และ 190 รอบต่อนาที) ที่มีผลต่อร้อยละผลได้และสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

ผลจากการทดลอง พบว่า ร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์มากกว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและความเร็วรอบในการกวน โดยการเพิ่มร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์จากร้อยละ 25 เป็นร้อยละ 75 ทำให้ได้ร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 67.75 เป็นร้อยละ 83.83 สภาพที่ดีที่สุดในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ร้อยละ 75 และความเร็วรอบในการกวนผสม 190 รอบต่อนาที ซึ่งให้ปริมาณผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 88.58 เมื่อพิจารณาสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ทั้งหมด พบว่า ความหนืด ความหนาแน่น และจุดวาบไฟ และมีค่าอยู่ในช่วง 4.7 – 6.2 เซนติสโตรก, 854 – 864 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 196 – 208 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ที่กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน กำหนด

คำสำคัญ : ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เมทิลเอสเทอร์ รังสีอินฟราเรด

Abstract

Biodiesel (fatty acid methyl ester, FAME) production via transesterification of palm oil and methanol using a combined mechanical stirred and infrared reactor is proposed in this research work. Calcium oxide prepared by calcination of golden apple snail shells is used as a catalyst. The transesterification process was setup at a

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

¹ Master degree student, ²Assistant Professor, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Khamriang, Kantarawichai, MahaSarakham, 44150 Thailand.



molar ratio of methanol and palm oil of 12:1, reaction temperature of 60°C and reaction time of 2 hours. Influences of catalyst amount (10, 15 and 20% wt.), volumetric percentage of reactant in the reactor (25, 50, and 75% vol.) and stirring speed (70, 130, and 190 rpm) on yield percentage and properties of the FAME obtained were presented.

The experimental results indicated that volumetric percentage of reactant in the reactor had stronger effect on yield percentage of FAME than catalyst amount and stirring speed, respectively. An increase in percentage of reactant in the reactor from 25% to 75% led to an increase of yield percentage from 67.75% to 83.83%. The optimum conditions for the transesterification process were at catalyst amount of 15% wt., volumetric percentage of reactant in the reactor of 75% and agitation speed of 190 rpm. Viscosity, density, and flash point of the obtained FAME were in the ranges of 4.7 – 6.2 cSt, 854 – 864 kg/m³ and 196 – 208°C, respectively. These properties were in accordance with the FAME standard set up by Department of Energy Business, Ministry of Energy.

Keywords : Heterogeneous catalyst, Infrared radiation, Methyl ester, Transesterification

บทนำ

วิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพความมั่นคงของนานาประเทศทั่วโลกมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาความต้องการน้ำมันปิโตรเลียมที่เพิ่มขึ้นสวนทางกับปริมาณทรัพยากรน้ำมันที่ลดลงในแต่ละปี สำหรับประเทศไทยซึ่งมีความต้องการน้ำมันดีเซลเพื่อตอบสนองการใช้งานในภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรมนั้น จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2556, 2557 และ 2558 พบว่า ประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันดีเซลปริมาณ 17,956, 18,169 และ 18,879 ล้านลิตรตามลำดับ ซึ่งเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง¹⁻² ดังนั้นในแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (2551 – 2565) จึงได้กำหนดให้ลดการใช้น้ำมันดีเซลและส่งเสริมการพัฒนาผลิตไบโอดีเซลภายในประเทศ โดยมีเป้าหมายเพิ่มการผลิตไบโอดีเซลให้ได้มากกว่า 4.5 ล้านลิตร/วันภายในปี พ.ศ. 2565 และจะเน้นน้ำมันดิบจากพืชที่มีศักยภาพการผลิตน้ำมันพืชสูงสุดภายในประเทศคือ ปาล์มน้ำมัน ที่ผลิตได้ 523 กิโลกรัมต่อไร่³

ไบโอดีเซลที่ส่งเสริมให้ผลิตในปัจจุบันใช้กระบวนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีเมื่อน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์รวมตัวกับแอลกอฮอล์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่า “แอลคิลเอสเทอร์”⁴ แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในการผลิตมีทั้ง เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล โดยทั่วไปนิยมใช้เมทานอลและเรียกไบโอดีเซลที่ได้ว่า “เมทิลเอสเทอร์” (Methyl ester) สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งทำหน้าที่เพิ่มอัตราเร็วในการทำปฏิกิริยา อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst), ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst) และตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ (Bio - catalyst) ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเหลวอยู่ในสถานะเดียวกับสารทำปฏิกิริยา ในอดีตจนถึงปัจจุบันถูกนำมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาและหาได้ง่าย⁵ มีทั้งชนิดกรดและด่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโซเดียมไฮดรอก



ไฮดรอกไซด์ (NaOH)⁶ แต่มีข้อเสีย คือเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากในกระบวนการล้างให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จะมีของเสียที่เกิดขึ้น ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ คือตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแตกต่างกับสารทำปฏิกิริยา โดยในที่นี้หมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะของแข็งไม่ละลายในของเหลว ดังนั้นเมื่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเสร็จสิ้น จึงสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย นอกจากนี้ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพหรือเอนไซม์นั้นไม่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้งานเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาทางด้านต้นทุนในการผลิตที่สูง⁷ ในทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์อย่างต่อเนื่อง โดยหนึ่งในตัวเร่งปฏิกิริยาที่น่าสนใจคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เนื่องจากราคาที่ไม่สูงมากนัก หาได้ง่าย มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูง ไม่เกิดการกัดกร่อน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์ได้จากทรัพยากรเหลือใช้ทางธรรมชาติที่มีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) เช่น เปลือกหอย เปลือกไข่ เปลือกกุ้ง กระดุกสัตว์ ฯลฯ⁸ ด้วยกระบวนการแคลซิเนชันโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800 – 1,000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 – 4 ชั่วโมงงาน⁹⁻¹⁰

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์มีข้อจำกัดคือ มักจะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ ทั้งนี้ก็เนื่องจากระบบการเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์มีจำนวนเฟสที่แตกต่างกันมากกว่าระบบการเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ ทำให้กระบวนการแพร่เกิดขึ้นยาก ปฏิกิริยาจึงเกิดช้ากว่า¹¹ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเทคนิคการให้ความร้อนต่าง ๆ หรือรูปแบบการกวนผสมที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดความต้านทานการแพร่ที่เกิดขึ้น

การพัฒนาเตาปฏิกรณ์ให้สามารถใช้งานใต้สภาวะอุณหภูมิวิกฤต (อุณหภูมิ 300 องศา

เซลเซียส) แม้จะเป็นหนึ่งในแนวทางการเพิ่มปริมาณเมทิลเอสเทอร์แต่มีข้อเสียในด้านการใช้พลังงานตัวเตาปฏิกรณ์มีความดันสูงเป็นอันตรายและแอลกอฮอล์ที่ใช้ไม่สามารถทนต่อสภาวะวิกฤตดังกล่าวเป็นเวลานานได้ รวมถึงการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนจากแหล่งความร้อนทำให้สูญเสียพลังงานสูง¹² ด้วยสาเหตุดังกล่าวเทคนิคการให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงได้ถูกนำมาใช้งาน ได้แก่ การแผ่รังสีจากคลื่นไมโครเวฟ (Microwave radiation) อัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) และการแผ่รังสีจากคลื่นอินฟราเรด (Infrared radiation) การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นใช้หลักการสั่นและการเสียดสีระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดความร้อนโดยตรงต่อปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงทำให้ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาลดลงอย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญของของการนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้คือการขยายขนาดการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมเป็นไปได้ยาก เนื่องจากขนาดของตัวแผ่คลื่นไมโครเวฟมีข้อจำกัดและอันตรายของการทะลุทะลวงของคลื่น นอกเหนือจากคลื่นไมโครเวฟแล้ว ในระยะหลังได้เริ่มมีการศึกษาการนำคลื่นรังสีอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ โดยรังสีดังกล่าวมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.75 – 100 ไมโครเมตร อยู่ระหว่างคลื่นแสงที่ตามองเห็น (Visible light) และคลื่นไมโครเวฟ โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคลื่น คือ รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (Short wave IR) รังสีอินฟราเรดคลื่นกลาง (Medium wave IR) และรังสีอินฟราเรดคลื่นไกล (Long wave IR) ที่ผ่านมามีการศึกษานำคลื่นรังสีอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอยู่พอสมควร เช่น Furusawa, T., et al. (2014)¹³ ได้ศึกษาเทคนิคการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์แบบไมโครแคปซูลร่วมกับฉายรังสีอินฟราเรด (Infrared radiation), แสงขาว (Visible light) และรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งพบว่า ตัวเร่ง

ปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์แบบไมโครแคปซูลสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่สุดในช่วงของรังสีอินฟราเรดชนิดคลื่นสั้น (Short wave IR) นอกจากนี้ Chakraborty, R. and H. Sahu (2014)¹⁴ ได้ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันแพะร่วมกับการให้ความร้อนจากอินฟราเรดขนาด 100 วัตต์ ซึ่งได้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 96.6 ที่สภาวะที่เหมาะสม ดังนั้นจากการรวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า คลื่นรังสีอินฟราเรดถือเป็นคลื่นรังสีที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทั้งนี้เนื่องจากการแผ่รังสีจากแหล่งความร้อนโดยตรงที่ไม่ผ่านตัวกลาง ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่น้อยกว่าการพาความร้อนของขดลวดให้ความร้อนแบบเดิม นอกจากนี้เทคนิคการให้ความร้อนเพื่อเพิ่มปัจจัยผลผลิตไบโอดีเซลแล้ว เทคนิคการกวนผสมที่ดียังเป็นอีกเรื่องที่น่าสนใจในงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่าเทคนิคการกวนผสมยังใช้เทคนิคการกวนด้วยแท่งแม่เหล็กร่วมกับขวดก้นแบบ (Round - bottom flask) ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อให้ความร้อนและการขยายขนาดเพื่อผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นการใช้เทคนิคการกวนผสมแบบใหม่จะเป็นอีกทางเลือกเพื่อใช้ผลิตไบโอดีเซลต่อไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ที่เตรียมจากเปลือกหอยเชอร์รี่และใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนด้วยเตาปฏิกรณ์แบบเชิงกลที่มีลักษณะการกวนแบบเหวี่ยงของเหลวหนีศูนย์กลาง

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

นำเปลือกหอยเชอร์รี่มาทำความสะอาดโดยล้างสิ่งสกปรกด้วยน้ำกลั่นและทำการอบไล่ความชื้นใน

ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น 100 – 800 ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบดเปลือกหอยให้มีขนาดเล็กกว่า 20 เมช (<0.05 มิลลิเมตร) นำผงเปลือกหอยที่ได้ไปเผาในเตาเผาความร้อนสูง (Muffle furnace) ยี่ห้อ Carbolite รุ่น CFW 1200 ภายใต้สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้เป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แยกเก็บไว้ในโถดูดความชื้นปราศจากแสง

2. ขั้นตอนการออกแบบ

สารทำปฏิกิริยาทั้งสามชนิดได้แก่ น้ำมันปาล์มโอเลอิน เมทานอล และแคลเซียมออกไซด์ถูกใส่เข้าไปในเตาปฏิกรณ์ลักษณะทรงกระบอกกลวง (Chamber) มีปริมาตร 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลึก 4.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 15 เซนติเมตร ที่มีลักษณะการกวนแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Orbital shaking) ดังแสดงใน Figure 1 ความร้อนที่ให้แผ่จากด้านบนผ่านกระจกใสสู่สารทำปฏิกิริยาด้วยหลอดอินฟราเรดคลื่นสั้น (500 วัตต์) ซึ่งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส การทำงานของ

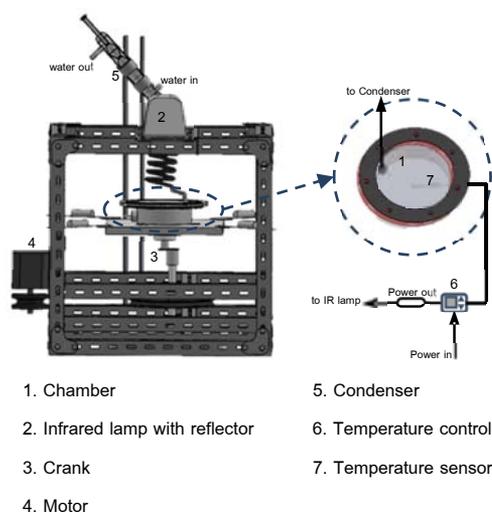


Figure 2 Schematic diagram of a mechanically agitated reactor.



หลอดอินฟราเรดถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติที่เชื่อมต่อกับจุดวัดอุณหภูมิอยู่ภายในกึ่งกลางของเตาปฏิกรณ์ ลักษณะการกวนผสมเป็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโดยเชื่อมต่อกับข้อเหวี่ยงซึ่งมีระยะ 3 เซนติเมตรจากศูนย์กลางและต่อเข้ากับเฟลมอเตอร์ทำหน้าที่ขับเคลื่อนและปรับความเร็วรอบได้ ลักษณะของของเหลวที่เคลื่อนที่ภายในมีลักษณะม้วนเคลื่อนที่ไปรอบๆ เตาปฏิกรณ์ตามแรงเหวี่ยงของมวลของสารทำปฏิกิริยา ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร ถูกติดตั้งผ่านกระจกใสเข้าไปยังเตาปฏิกรณ์โดยปลายอีกด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบแน่นที่มีน้ำไหลเวียนอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเพื่อควบแน่นแอลกอฮอล์ในสถานะไอกลับสู่สถานะของเหลวแล้วไหลกลับเข้าสู่เตาปฏิกรณ์

3. ขั้นตอนการทดลอง

3.1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกวนเชิงกล

ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 เมื่อปฏิกริยาสิ้นสุดแล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากเครื่องปฏิกรณ์กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองขนาด 200 ไมโครเมตร เพื่อกรองเอาตัวเร่งปฏิกริยาออก เพลลิตภัณฑ์ที่ได้ลงในกรวยแยกสารเพื่อแยกเมทิลเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอล จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง จึงค่อยปล่อยกลีเซอรอลออกจนสังเกตเห็นว่าหมด จากนั้นนำไประเหยเมทานอลที่ตกค้างด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) ยี่ห้อ Buchi รุ่น Rotavapor R – 210/215 ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองขนาด 200 ไมโครเมตร กรองตะกอนของกลีเซอรอลออกอีกครั้ง แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS

รุ่น Pioneer™ (PA4102) เพื่อหาร้อยละผลได้ (Yield) จากสมการที่ (1) และทำการบันทึกผลการทดลอง

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{weight of biodiesel produced (g)}}{\text{weight of oil used (g)}} \times 100\% \quad (1)$$

3.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกริยา ร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์และความเร็วรอบการกวนผสมที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์

ในการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาแคลเซียมออกไซด์นั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณตัวเร่งปฏิกริยา 3 ระดับ คือ ที่ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักโดยกำหนดร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ที่ร้อยละ 46 และความเร็วยรอบการกวนผสมที่ 130 รอบต่อนาที และเมื่อได้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ออกมาจึงทำการหาร้อยละผลได้และสมบัติต่างๆ จากนั้นจึงเลือกปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาที่เหมาะสมที่สุดเพื่อไปศึกษาอิทธิพลของร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ โดยในการศึกษาส่วนนั้นนั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยา 3 ระดับ คือ ร้อยละ 25, 50 และ 75 แล้วจึงเลือกสภาวะที่ดีที่สุดเพื่อนำไปศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบการกวนผสมที่ 70, 130 และ 190 รอบต่อนาที ต่อไป โดยทุกสภาวะการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

3.3 การตรวจสอบคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

หลังจากปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสิ้นสุดลง ได้นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปหาสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น, ความหนืด, จุดวาบไฟ, จุดติดไฟและ ค่าความร้อน โดยใช้วิธีทดสอบตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอส

เทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556 (กรมธุรกิจพลังงาน, กระทรวงพลังงาน)

ผลการทดลอง

1. อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อ ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์

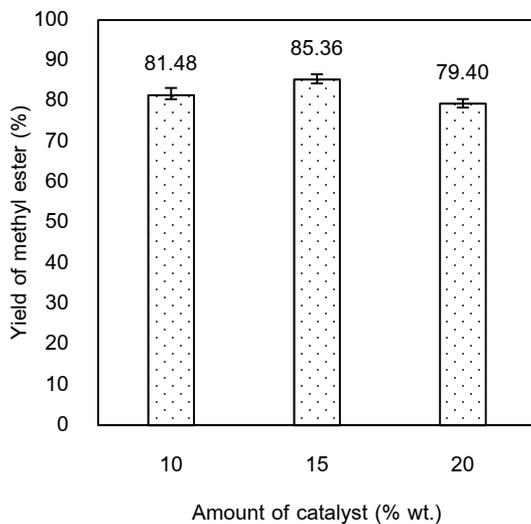


Figure 2 Effect of catalyst amount on FAME yield (at volumetric percentage of reactant in the reactor of 46% and agitation speed of 130 rpm)

ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นถือเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ โดยจากการศึกษาใน Figure 2 พบว่า การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ (Yield) เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 20 กลับส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่า ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้ด้วยดี แต่เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลให้สารทำปฏิกิริยามีความหนืดมากขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ส่งผลกระทบต่อการถ่ายโอนมวลในเฟสของเหลวไปสู่ของเหลวไปสู่ของแข็ง (Liquid – liquid – solid phase) ทำให้เวลาการสัมผัสกันของสารทำปฏิกิริยาลดลงส่งผลต่อร้อยละผลได้ของ

เมทิลเอสเทอร์^{11,15} ฉะนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 15 จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว

2. อิทธิพลของร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ที่มีต่อร้อยละผลได้ของ

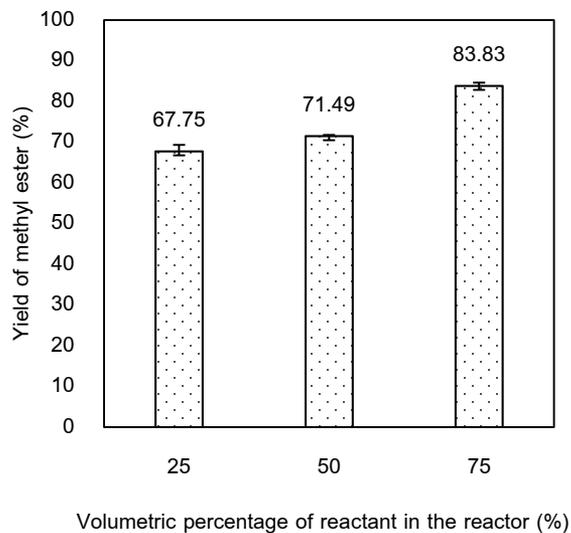


Figure 3 Effect of volumetric percentage of reactant in the reactor on FAME yield (at catalyst amount of 15% wt. and agitation speed of 130 rpm)

เมทิลเอสเทอร์

เมื่อพิจารณาจาก Figure 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ทำให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าสารทำปฏิกิริยาสามารถพาให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งเกิดการสัมผัสซึ่งกันและกันกับของเหลวอย่างทั่วถึง ลักษณะการเคลื่อนที่ของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์มีลักษณะที่ของเหลว/ของเหลว/ของแข็ง (น้ำมันปาล์ม/เมทานอล/ตัวเร่งปฏิกิริยา) ถูกแรงเหวี่ยงของเครื่องเหวี่ยงในลักษณะวงกลมตามขนาดของเตาปฏิกรณ์ ไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา การสัมผัสซึ่งกันและกันอย่างทั่วถึงของ

สารทำปฏิกิริยาทั้งหมดนี้จึงส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น

3. อิทธิพลความเร็วรอบการกวนผสมที่มีต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์

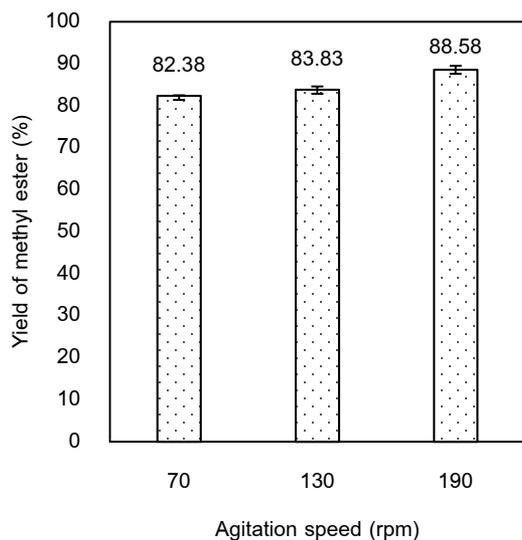


Figure 4 Effect of agitation speed on FAME yield (at volumetric percentage of reactant in the reactor of 75% and catalyst amount of 15% wt.)

อิทธิพลของความเร็วรอบการกวนผสมที่มีต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์แสดงไว้ใน Figure 4 ซึ่งพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ความเร็วรอบการกวนผสมที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่ทำการศึกษา (70 – 190 รอบต่อนาที) ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 82.38 เป็นร้อยละ 88.58 ทั้งนี้เนื่องจากว่าการเพิ่มความเร็วยรอบการกวนผสมมีโอกาที่จะทำให้เฟสที่แตกต่างกันระหว่างของเหลว/ของเหลว/ของแข็ง (น้ำมัน/เมทานอล/ตัวเร่งปฏิกิริยา) เกิดการสัมผัสกันมากขึ้น และส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น¹¹

4. คุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

จากผลการทดสอบหาสมบัติต่างๆของเมทิลเอสเทอร์ใน Table 1 พบว่า ค่าความหนาแน่น, ความหนืด และจุดวาบไฟ ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรตไชนัน พ.ศ. 2556 (กรมธุรกิจพลังงาน, กระทรวงพลังงาน)³

Table 1 Properties of the produced methyl ester compared with those of the FAME standard of Thailand.

Properties	Produced methyl ester from this work	FAME standard of Thailand
Density (kg/m ³)	854 – 864	860 – 900
Viscosity (cSt)	4.7 – 6.2	3.5 – 5.0
Flash point (°C)	196 – 208	>120
Fire point (°C)	205 – 220	N/A
Colorific value (kJ/kg)	37,945	N/A

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

สำหรับการเดินเครื่องปฏิกรณ์แบบกวนเชิงกลในการเตรียมเมทิลเอสเทอร์ด้วยการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 12:1 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงนั้น พบว่า อิทธิพลของร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด และสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันมากที่สุด คือ ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ร้อยละโดยปริมาตรของสารทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ที่ร้อยละ 75 และความเร็วรอบการกวนผสมที่ 190 รอบต่อนาที โดยจะให้ปริมาณ



ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด (ร้อยละ 88.58) โดยโดยสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556 (กรมธุรกิจพลังงาน, กระทรวงพลังงาน)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย ศูนย์เครื่องมือกลางและคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่เอื้อเพื่อสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. รายงานคุณภาพพลังงานของไทย 2557 ได้จาก: http://www.dede.go.th/download/stat58/Energy%20Balance%20of%20Thailand%202014_1.pdf May 14 2016.
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. รายงานคุณภาพพลังงานของไทย 2558 ได้จาก http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=1841%3A2010-09-22-07-02-07&catid=128&lang=th May 23 2016.
3. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. คู่มือการพัฒนาและลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 8 ไบโอดีเซล: 2554 ได้จาก <http://www.able.co.th/Upload/File/24.pdf> May 14 2016
4. Borges M.E, Díaz L. Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions. A review. *Renew Sustain Energ Rev* 2012;6(5):839-2849.
5. Shirley N, Alesandro B, Vannia CS., Victor HR S, Heron V, Fa'bio SN, Luiz PR. Use of anhydrous sodium molybdate as an efficient heterogeneous catalyst for soybean oil methanolysis. *Appl Catal Gen* 2008;351(2): 267-274.
6. Ramachandran K, Suganya T, Nagendra Gandhi N, Renganathan S. Recent developments for biodiesel production by ultrasonic assist transesterification using different heterogeneous catalyst. *Appl Catal Gen* 2013;22: 410-418.
7. Akhil B, Purva L, Prabhat NJ, Rajesh M. Biodiesel production through lipase catalyzed transesterification. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* 2010;62(1): 9-14.
8. Seik LL, Yong CW, Yen PT, Sook YY. Transesterification of palm oil to biodiesel by using waste obtuse horn shell-derived CaO catalyst. *Energ Convers Manag* 2015;93: 282-288.
9. Natarajan G, Subramania PN, Khadhar MMSB, Narayanan A. Utilization of a cost effective solid catalyst derived from natural white bivalve clam shell for transesterification of waste frying oil. *Fuel* 2013;111: 653-658.
10. Jutika B, Lakhya JK, Dhanapati D. Transesterification of non edible feedstock with lithium incorporated egg shell derived CaO for biodiesel production. *Fuel Process Tech* 2014;122: 72-78.
11. จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์. การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2553;16(1): 59-68.
12. Sajjadi B, Abdul Aziz AR, Ibrahim S. Investigation, modelling and reviewing the effective parameters in microwave-assisted transesterification. *Renew Sustain Energ Rev* 2014;37: 762-777.
13. Takeshi F, Fumio K, Hiroaki H, Ryosuke K,



- Masahide S, Noboru S. Transesterification of rapeseed oil with methanol using CaO and active carbon powders encapsulated microcapsule under the light irradiation. *Appl Catal Gen* 2014;475: 69-75.
14. Chakraborty R, Sahu H. Intensification of biodiesel production from waste goat tallow using infrared radiation: Process evaluation through response surface methodology and artificial neural network. *Appl Energ* 2014;114: 827-836.
15. Madhuvilakku R, Mariappan R, Jeyapal S, Sundar S, Piraman S. Transesterification of palm oil catalyzed by fresh water bivalve mollusk (*Margaritifera falcata*) shell as heterogeneous. *Ind Eng Chem Res* 2013;52: 17407-17413.