

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using KOH with Microwave Heating

ติณณภพ สันทัดคำ และมาลี สันติคุณาภรณ์*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์วิจัย ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Tinnabhop Santadkha and Malee Santikunaporn*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,

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

บทคัดย่อ

ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้กำหนดราคาขายปลีกน้ำมันดีเซล ซึ่งปัจจุบันเป็นของผสมระหว่างไบโอดีเซลกับดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม ดังนั้นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพสามารถช่วยลดราคาน้ำมันดีเซลลงได้ งานวิจัยนี้จึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วในระบบการไหลอย่างต่อเนื่องด้วยคลื่นไมโครเวฟ น้ำมันปาล์มใช้แล้วถูกผ่านเข้ากระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงจาก 1.83 เป็น 0.31 % โดยมวล จากนั้นน้ำมันดังกล่าวผ่านเข้ากระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันภายใต้สภาวะต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิช่วง 50-60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 6:1 ถึง 12:1 และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0-2.5 % โดยมวล จากผลการศึกษาสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ 12:1 และความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.5 % โดยมวล ซึ่งได้ปริมาณเมทิลเอสเตอร์ 89.4 % นอกจากนี้พบว่าการผลิตไบโอดีเซลในระบบที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบหมุนให้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่าไบโอดีเซลที่ได้จากระบบที่ไม่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบหมุน ภายใต้สภาวะการผลิตเดียวกัน

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล; ไมโครเวฟ; น้ำมันปาล์มใช้แล้ว; โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์; ปฏิกิริยาสองขั้นตอน

Abstract

Biodiesel production cost is one of parameters defining the retail price of diesel currently being blended between biodiesel and diesel from petroleum. Therefore, excellent biodiesel

*ผู้รับผิดชอบบทความ : smalee@engr.tu.ac.th

production process can reduce the retail price. This research studies the factors that affect to biodiesel production from the used palm oil in a continuous flow system under microwave heating. The used palm oil was passed through the esterification process for reducing the amount of free fatty acid from 1.83 %wt. to 0.31 %wt. Then, this oil was passed through the transesterification process under the conditions such as the temperature of 50-60 °C, alcohol to oil molar ratio in range of 6 : 1 to 12 : 1 and catalyst concentration of 1.0-2.5 %wt. From the studied results, the optimum conditions for transesterification were 60 °C, 12 : 1 molar ratio of alcohol, and potassium hydroxide concentration of 2.5 %wt of catalyst, which resulted in 89.4 % FAMES content. In addition, the biodiesel production from a tubular membrane reactor gave biodiesel with high purity than that from a regular tubular reactor under the same reaction conditions.

Keywords: biodiesel; microwave; used palm oil; potassium hydroxide; two-step reaction

1. บทนำ

พลังงานเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการเติบโตของเศรษฐกิจ ในปัจจุบันพลังงานเชื้อเพลิงเป็นพลังงานที่ได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก พลังงานดังกล่าวเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ราคาแพง และมีความผันผวนของราคาซึ่งขึ้นกับกลไกการตลาด จากรายงานของกรมเชื้อเพลิงธรรมชาติพบว่าปริมาณสำรองน้ำมันดิบที่พิสูจน์แล้วของประเทศไทยรวมทั้งพื้นที่พัฒนาร่วม ไทย-มาเลเซีย ณ สิ้นปี พ.ศ. 2556 มีเพียง 257.04 ล้านบาร์เรล ซึ่งเมื่อเทียบตามปริมาณการผลิตโดยรวมของประเทศแล้ว คาดว่า จะสามารถใช้ได้อีก 5.4 ปี ส่วนแก๊สธรรมชาติมีปริมาณที่พิสูจน์แล้ว 8,414.77 ล้านบาร์เรล หรือเทียบตามปริมาณการผลิตของประเทศแล้วจะสามารถใช้ได้อีก 46.86 ปี [1] นอกจากนี้ยังมีการคาดคะเนอัตราการขยายตัวของการใช้ น้ำมันดีเซลอยู่ที่ร้อยละ 3-4 ต่อปี ประเทศไทยเป็นประเทศที่พึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อเป็นพลังงานหลักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการขนส่งและคมนาคม และเพื่อที่จะตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นรวมถึงเป็นการตอบสนองต่อนโยบายเพื่อลดปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อน

ประเทศไทยจึงเพิ่มปริมาณพลังงานเชื้อเพลิงทางเลือกมากขึ้นจาก 6.5 ล้านลิตรต่อวัน ในปี พ.ศ. 2560 เป็น 14 ล้านลิตรต่อวัน ในปี พ.ศ. 2579 ตามแผนยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของกรมเชื้อเพลิงพลังงาน [2]

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ได้รับการยอมรับและถูกนำมาใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อลดปริมาณการใช้ น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมลงได้ เนื่องจากไบโอดีเซลมีสมบัติที่ดีและเหมาะสม เช่น มีความหนืดต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชหรือสัตว์ และมีสมบัติการหล่อลื่นที่ดีกว่าน้ำมันดีเซล นอกจากนี้การเผาไหม้ยังปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณที่ต่ำ เนื่องจากในโครงสร้างของไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจึงทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [3,4] ดังนั้นราคาขายปลีกของน้ำมันดีเซลจึงขึ้นกับราคาของน้ำมันดิบกับราคาของไบโอดีเซล ดังนั้นการพัฒนาระบบการผลิตไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพจะสามารถช่วยลดราคาขายน้ำมันดีเซลลงได้ ราคาของไบโอดีเซลขึ้นกับราคาของน้ำมันพืชที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นและกระบวนการให้ความร้อนเป็นหลัก

ไบโอดีเซล สามารถผลิตได้ทั้งจากระบบแบบกะ

และแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบต่าง ๆ ภายใต้การให้ความร้อนด้วยขดลวด คลื่นไมโครเวฟ อัลตราโซนิคและอื่น ๆ Encinar และคณะ [5] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ระบบการไหลแบบต่อเนื่องภายในเครื่องไมโครเวฟความเร็วรอบพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 99 เมื่อใช้อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันอยู่ที่ 12:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา KOH 1 % โดยมวล ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มภายใต้คลื่นไมโครเวฟซึ่งมีกำลังการผลิตสูงถึง 760 มิลลิลิตร/นาที่ และพบว่าการใช้ CH_3ONa เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ผลที่ดีกว่าการใช้ NaOH และ KOH เล็กน้อย นอกจากนี้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้กลีเซอรอลแข็งตัว [6] Sherbiny และคณะ [7] เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันสบู่ดำด้วยการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟและแบบธรรมดา ซึ่งพบว่าการใช้ไมโครเวฟใช้เวลาสั้นกว่ามาก คือ เพียง 2 นาที่ จากเดิมต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานถึง 150 นาที่ Teo และคณะ [8] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ได้จากสาหร่ายชนิดต่าง ๆ ได้แก่ *Nannochloropsis* sp. และ *Tetraselmis* sp. ภายใต้การให้ความร้อนแบบธรรมดาและแบบไมโครเวฟที่ติดตั้งระบบหล่อเย็น จากการทดลองพบว่าปริมาณไบโอดีเซลสูงสุดได้จากระบบไมโครเวฟ โดย *Nannochloropsis* sp. และ *Tetraselmis* sp. ให้ปริมาณไบโอดีเซลเท่ากับ 83.33 และ 77.14 % ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 1:12 และความเข้มข้น NaOH 1 % โดยมวล นอกจากนี้ระบบไมโครเวฟนี้ใช้พลังงานเพียง 40.26 % ของระบบการให้ความร้อนแบบธรรมดา

การให้ความร้อนโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่ความร้อน ซึ่งถือเป็นกระบวนการให้ความร้อนอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟซึ่งสามารถส่งผ่านพลังงานไปยังโมเลกุลของสารได้โดยตรง นอกจากนี้น้ำมันเป็นโมเลกุลที่มีขั้วจึงทำให้สามารถใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานความร้อนได้ [9] ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วในระบบการผลิตต่อเนื่อง โดยใช้ไมโครเวฟซึ่งสามารถผลิตไบโอดีเซลได้จำนวนมากในระยะเวลาสั้น [5] โดยศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ อุณหภูมิ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสาร เพื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วด้วยคลื่นไมโครเวฟและสามารถนำสภาวะดังกล่าวไปใช้ในระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุอุปกรณ์ในงานวิจัย

น้ำมันที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ น้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ 1.83 % โดยมวล โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ชนิดเม็ด (85 % จากบริษัท ไคโรเออบา) เมทิลแอลกอฮอล์ (98 % จากบริษัท Q-Rec) และกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 85 % โดยมวล จากบริษัท Q-Rec

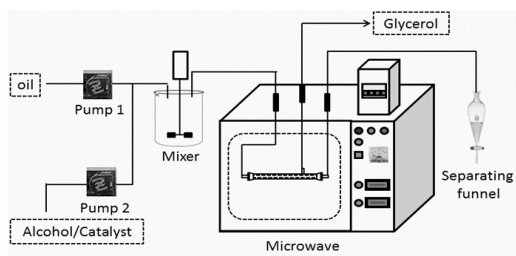
2.2 กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ก่อนผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน น้ำมันพืชใช้แล้วต้องผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันด้วยการผ่านของผสม ซึ่งได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว กรดซัลฟิวริกในปริมาณ 6 % โดยมวลของกรดไขมันอิสระ [4] และเมทิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนเท่ากับ 24:1 โดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อ

น้ำมัน เข้าสู่ท่อแก้วขดถูกวางไว้ในเครื่อง ให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ และตั้งอุณหภูมิให้คงที่ที่ 65 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการไหลเชิงปริมาตร 50 มิลลิลิตร/นาที่ น้ำมันที่ได้จะถูกนำมาใช้เป็นน้ำมันตั้งต้นสำหรับกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแบบที่ใช้และไม่ใช้เมมเบรน ดังแสดงในรูปที่ 1

เริ่มจากการปัมน้ำมันดังกล่าวเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ ซึ่งภายในบรรจุเครื่องปฏิกรณ์แก้วเพื่อให้ น้ำมันทำปฏิกิริยากับสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่สภาวะต่าง ๆ ซึ่งศึกษา 4 ปัจจัย คือ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และรีเทนชันไทม์ ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบผลการผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้และ

ไม่ใช้เมมเบรนโดยเปรียบเทียบ 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน และรีเทนชันไทม์ นอกจากนี้สารผลิตภัณฑ์ที่ได้ถูกวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเมทิลเอสเตอริฟิเคชันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (รุ่น HP 6890) และปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยเครื่องไตเตรทอัตโนมัติ (Mettler Toledo, G20)



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบใช้และไม่ใช้เมมเบรนภายใต้ระบบไมโครเวฟ

ตารางที่ 1 สภาวะการทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแบบที่ใช้และไม่ใช้เมมเบรน

ตัวแปร	ช่วงที่ศึกษา							
	ระบบที่ไม่ใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน				ระบบที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน			
อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน	6:1	7.5:1	9:1	12:1	-			
ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละโดยมวล)	1.0	1.5	2.0	2.5	-			
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	50	55	60	65	-			
รีเทนชันไทม์ (วินาที)	25	40	95		40	80	120	160

3. ผลการทดลอง

น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันมีค่ากรดไขมันอิสระลดลงจาก 1.83 เป็น 0.31 % โดยมวล มีค่าต่ำกว่า 1.0 % โดยมวล ซึ่งถือว่าเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

3.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

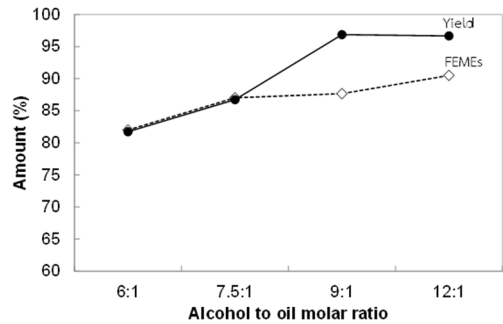
เป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตไบโอดีเซล จากสมการเคมีของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแสดงให้เห็นว่า ไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับแอลกอฮอล์ 3 โมล แต่ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องใช้ปริมาณแอลกอฮอล์มากเกินไป เพื่อให้ไตรกลีเซอไรด์ถูกเปลี่ยนเป็นเอสเตอริฟิเคชันได้มากขึ้น [10,11] ซึ่งค่าอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ 6:1 ได้รับการยอมรับว่าเป็นค่าที่เหมาะสมในการกำหนดเป็นค่าเริ่มต้นสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงกำหนดอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันในช่วง 6:1 ถึง 12:1 โดยกำหนดค่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา KOH คงที่ที่ 1.5 % โดยมวล อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลเชิงปริมาตร 520 มิลลิลิตร/นาที่ จากการทดลองพบว่าปริมาณของเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแอลกอฮอล์ ดังแสดงในรูปที่ 2 เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ การเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์จะส่งผลต่อสถานะสมดุลของปฏิกิริยา โดยทำให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินไปข้างหน้าและเกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น จากสถานะที่ใช้ศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 ได้ไบโอดีเซลเท่ากับ 96.7 % โดยมวล และมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 90.5 % โดยมวล

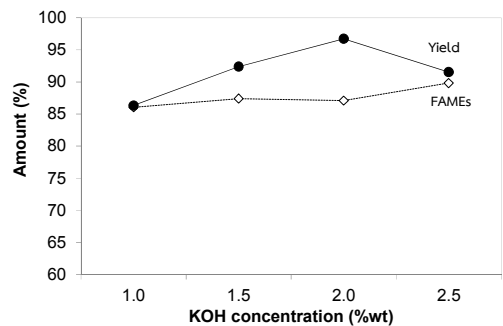
3.2 ผลของความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยา KOH

รูปที่ 3 แสดงผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณเอสเทอร์ สถานะที่ใช้ศึกษา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาคงที่ที่ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ 520 มิลลิลิตร/นาที่ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเท่ากับ 7.5 : 1 และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา KOH ช่วง 1.0-2.5 % โดยมวล จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลต่อการเกิดเอสแตร์น้อยมาก กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KOH จาก 1.0 เป็น 2.5 % ปริมาณเอสเทอร์ที่ได้เท่ากับ 86.0 เป็น 89.8 % แต่กลับส่งผลต่อปริมาณไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อระบบมีปริมาณ KOH เพิ่มขึ้นจาก 1.0 เป็น 2.0 % ปริมาณไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นจาก 86.3 เป็น 96.7 % แต่เมื่อระบบมีปริมาณ KOH เพิ่มขึ้นสูงถึง 2.5 % พบว่าปริมาณไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นมีจำนวนลดลงเหลือเพียง 91.6 % เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา KOH ที่มากเกินไปส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

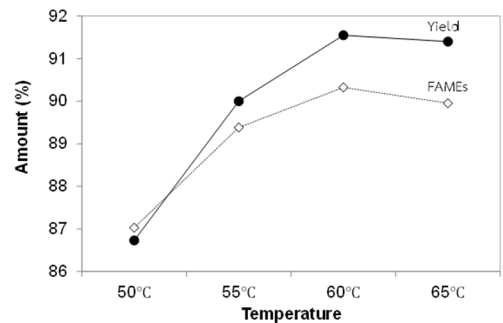
ข้างเคียงซึ่งในที่นี้ คือ ไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับ KOH เกิดเป็นสบู่ขึ้นในระบบ [10,12]



รูปที่ 2 ผลของอัตราส่วนของโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์



รูปที่ 3 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์



รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

โดยทั่วไป อุณหภูมิมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิกิริยาเช่น ปฏิกิริยาคูดความร้อนหรือปฏิกิริยาคายความร้อน ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันกับเมทิลแอลกอฮอล์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิไม่สูงนัก เช่น 40-45 องศาเซลเซียส เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ดังนั้นการศึกษาผลของอุณหภูมิจึงศึกษาในช่วง 50-65 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่สูงกว่าจุดเดือดของเมทิลแอลกอฮอล์ (64.7 องศาเซลเซียส) มากนัก รูปที่ 4 แสดงผลของอุณหภูมิต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันใช้แล้ว สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิจึงใช้ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันคงที่ที่ 7.5 : 1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1.5 % โดยมวล และอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ 520 มิลลิลิตร/นาที่ จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบจาก 50-60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีปริมาณสูงสุดซึ่งเท่ากับ 90.32 % โดยมวล แต่เมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าจุดเดือดของเมทิลแอลกอฮอล์เล็กน้อย ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้กลับลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงจนเกินสภาวะที่เหมาะสมจะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสaponification เพิ่มขึ้นในระบบได้ [12,13]

3.4 การเปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลระหว่างระบบที่ใช้และไม่ใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน

การผลิตไบโอดีเซลด้วยระบบที่ไม่ใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรนข้างต้น พบว่าอุณหภูมิ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์กับน้ำมัน และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลต่อปริมาณเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น และสามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับ

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพีซีใช้แล้ว คือ การใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ 12 : 1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 2.5 % โดยมวล และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่ 60 องศาเซลเซียส

การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ทำให้กระบวนการผลิตไบโอดีเซลดังกล่าวมีข้อจำกัด ทางหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือ การใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยระบบที่ใช้และไม่ใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน โดยศึกษาผลของรีเทนชันไทม์ที่มีต่อปริมาณเอสเทอร์ (FAMES) ที่เกิดขึ้น ภายใต้สภาวะที่ดีที่สุดจากการศึกษาข้างต้น

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจากระบบที่ใช้และไม่ใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรนที่รีเทนชันไทม์ต่าง ๆ รีเทนชันไทม์เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น ค่ารีเทนชันไทม์มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เนื่องจากรีเทนชันไทม์ที่นานเกินไปจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ [14] จากการศึกษาพบว่าที่สภาวะการผลิตไบโอดีเซลใด ๆ รีเทนชันไทม์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจะมีค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่ง กล่าวคือ ถ้ารีเทนชันไทม์มีค่าต่ำเกินไปส่งผลให้ปริมาณเอสเทอร์เกิดขึ้นได้น้อย แต่ถ้ารีเทนชันไทม์ที่ใช้มีค่าสูงเกินไป ปริมาณเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยเนื่องจากปฏิกิริยาย้อนกลับ แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ใช้และไม่ใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรนพบว่าที่สภาวะเดียวกัน ปริมาณเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นภายใต้ระบบที่ใช้เมมเบรนมีค่าสูงกว่าปริมาณเอสเทอร์ที่ได้จากระบบที่ไม่ใช้เมมเบรน สำหรับระบบที่ไม่ใช้เมมเบรนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อ

น้ำมัน 12:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 2.5 % โดยน้ำหนัก พบว่าค่ารีเทนชันใหม่ที่เหมาะสม คือ 40 วินาที ซึ่งได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์เท่ากับ 89.4 % โดยมวล ในขณะที่ระบบที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน ได้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์สูงถึง 94.3 % โดยมวล

4. สรุป

สถานะที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้ว ในระบบการผลิตที่มีการไหลแบบต่อเนื่องโดยใช้ไมโครเวฟเป็นแหล่งความร้อนมีผลต่อความบริสุทธิ์และปริมาณไบโอดีเซลที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันมีผลต่อปฏิกิริยาและร้อยละโดยมวลของเมทิลเอสเทอร์อย่างชัดเจน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และรีเทนชันใหม่ต้องเลือกใช้ค่าที่เหมาะสม ถ้าเลือกใช้ค่าที่ต่ำหรือสูงเกินไปจะส่งผลไม่ดีต่อปริมาณเอสเทอร์ที่ได้ โดยเฉพาะรีเทนชันใหม่เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการผลิตไบโอดีเซลในระบบที่ใช้และไม่ใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน พบว่าการผลิตไบโอดีเซลภายใต้สถานะเดียวกัน ระบบที่ใช้เมมเบรนได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าไบโอดีเซลที่ได้จากระบบที่ไม่ใช้เมมเบรน

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุน ภายใต้โครงการเครือข่ายพันธมิตรมหาวิทยาลัยเพื่อการวิจัย จากเงินกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และนายตีณณภพ สันทัตคำ ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนทุนการศึกษา ระดับบัณฑิตศึกษา

6. รายการอ้างอิง

- [1] กรมเชื้อเพลิงพลังงาน, ปริมาณสำรองปิโตรเลียม, แหล่งที่มา : <http://goo.gl/PxxbMw>, 3 พฤศจิกายน 2559.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน, แผนยุทธศาสตร์การใช้ไบโอดีเซล, แหล่งที่มา : <http://http://www4.dede.go.th>, 26 เมษายน 2560.
- [3] Hoekman, S.K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E. and Natarajan, M., 2011, Review of biodiesel composition, properties, and specifications, *Renew. Sustain. Ener. Rev.* 16: 143-169.
- [4] นิรันดร์ สุมาลี, 2557, กว่าจะได้มาเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสายพันธุ์ ม.อ. สงขลา, สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- [5] Encinar, J.M., 2011, Soybean oil transesterification by the use of a microwave flow system, *Fuel* 95: 386-393.
- [6] ชาญณรงค์ อัครเทศานุกาภาพและศิริพรณกัณศิริ, 2557, การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการให้ความร้อนจากไมโครเวฟและการไหลต่อเนื่องและการทดสอบสมรรถนะของไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว, *ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 22: 437-446
- [7] Sherbiny, S.A.E., Refaat, A.A. and Sheltawy, S.T.E., 2010, Production of biodiesel using the microwave technique, *J. Adv. Res.* 1: 309-314.
- [8] Teo, C.L. and Idris, A., 2014, Rapid alkali catalyzed transesterification of microalgae lipids to biodiesel using simultaneous cooling and microwave heating and its optimization, *Bioresour. Technol.* 174: 311-

- 315.
- [9] Koopmans, C., Iannelli, M., Kerep, P., Klink, M., Schmitz, S. and Sinnwell, S., 2006, Microwave-assisted polymer chemistry: Heck-reaction, transesterification, Baeyer-villager oxidation, oxazoline polymerization, acrylamide, Tetrahedron 62: 4709-4714.
- [10] Leung, D.Y.C. and Guo Y., 2006, Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production, Fuel Proc. Technol. 87: 883-890.
- [11] Zhang Y., Dube, M.A., McLean, D.D. and Kates M., 2003, Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis, Bioresour. Technol. 90: 229-240.
- [12] Eevera, T., Rajendran, K. and Saradha, S., 2009, Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions, Renew Energy 34: 762-765.
- [13] Freedman, B., Pryde, E.H. and Mounts, T.L., 1984, Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils, J. Am. Oil Chem. Soc. 61: 1638-1643.
- [14] Eevera, T., Rajendran, K. and Saradha S., 2009, Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions, Renew Energy 34: 762-765.