JiTR Journal of Innovative Technology Research
วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม
ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม - ธันวาคม 2560 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มแบบหมุนวนด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว

ทนงศักดิ์ ประสิทธิ์[1] และ กฤช สมนึก[2*]

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รับเมื่อ 8 กุมภาพันธ์ 2560 ตอบรับเมื่อ 29 มิถุนายน 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 1 กรกฎาคม 2560

© 2017 Rajamangala University of Technology Lanna. All Rights Reserved.

บทความวิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำกรดไขมันปาล์ม (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD) ที่มีค่าความเป็นกรดสูงมาเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มแบบหมุนวนด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวกรดไขมันปาล์มเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์จากน้ำมันปาล์มดิบซึ่งมีราคาถูกและไม่ได้ถูกนำมาใช้ผลิตอาหาร อุปกรณ์ที่สำคัญที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวเพื่อประยุกต์ใช้กับปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรด โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณเมทานอล (ร้อยละ 60 wt, 80 wt และ 100 wt) ปริมาณกรดซัลฟิวริก (ร้อยละ 5 wt, 10 wt และ 15 wt) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (10-90 min) ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60ºC จากผลการทดลองพบว่า ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันสามารถลดค่าความเป็นกรดของกรดไขมันปาล์มจาก 265 $mgKOH.g^{-1}$ ให้มีค่าน้อยกว่า 1.97 $mgKOH.g^{-1}$ ด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวที่เงื่อนไขแนะนำ คือ ปริมาณเมทานอลร้อยละ 100 wt ปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 15 wt และเวลาทำปฏิกิริยา 20 min ดังนั้นท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันขั้นตอนเดียว

คำหลัก : ไบโอดีเซล กรดไขมันปาล์ม ท่อผสมชนิดขดเกลียว ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน

**Corresponding author : krit.s@psu.ac.th โทรศัพท์ 074 287227 โทรสาร 074 558830*

1 นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

2 อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

JiTR Journal of Innovative Technology Research
Vol.1 No.1 July - December 2017 Rajamangala University of Technology Lanna

Circulation Biodiesel Production Process from Palm Fatty Acid Distillate Using Helical Static Mixer

Tanongsak Prasit[1] and Krit Somnuk[2*]

Faculty of Engineering, Songkla University.

Received 8 February 2017; accepted 29 June 2017; published online 1 July 2017

© 2017 Rajamangala University of Technology Lanna. All Rights Reserved.

Research Article

Abstract

In this study, the high free fatty acid palm fatty acid distillate (PFAD) was used as a raw material for circulation biodiesel production process by using the helical static mixer. The PFAD is a by-product from the physical refining of crude palm oil (CPO), which is a low market value and non-edible grade. The key part of this study is a helical static mixer, which was applied in the circulation process of acid-catalyzed esterification. Three parameters: methanol (60 wt%, 80 wt%, and 100 w.%), sulfuric acid (5 wt%, 10 wt%, and 15 wt%), reaction time (10-90 min), and reaction temperature (60^{o}C) were studied. The results showed that 265 mgKOH.g^{-1} of acid value in PFAD can be reduced to less than 1.97 mgKOH.g^{-1} under the recommended condition: 100 wt% methanol, 15 wt% sulfuric acid, and 20 min reaction time at 60^{o}C. Consequently, the helical static mixer can be applied to produce the biodiesel from PFAD in the circulation process of acid-catalyzed esterification.

Keywords : biodiesel; palm fatty acid distillate; helical static mixer; esterification reaction

**Corresponding author : krit.s@psu.ac.th Tel 074 287227 Fax 074 558830*

1. Master Degree, Department of Mechanical Engineering.

2. Lecturer, Department of Mechanical Engineering.

1. บทนำ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 เพื่อให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบพลังงานทดแทนที่มีอยู่ภายในประเทศให้ได้เต็มศักยภาพ การพัฒนาศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนด้วยเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสม และการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อผลประโยชน์ร่วมกันในมิติด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชน [1] การศึกษาและวิจัยทางด้านไบโอดีเซลก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สำคัญที่ช่วยผลักดันและพัฒนาศักยภาพด้านพลังงานทดแทนของไทย ทั้งนี้ ไบโอดีเซลยังเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ [2 – 3] และสามารถผลิตได้จากพลังงานทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศ ซึ่งผลิตจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ [4]

ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยสามารถผลิตน้ำมันปาล์มได้เป็นอันดับสามของประเทศในแถบภูมิภาคอาเซียน รองจากประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย ซึ่งสามารถผลิตได้ถึง 55.7 ล้านตัน [5] โดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลจะใช้น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบหลัก แต่เนื่องจากน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันบริโภค หากนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลมากเกินก็จะทำให้ตลาดน้ำมันเกิดการขาดแคลนดังเช่นในปี พ.ศ. 2553 - 2554 จนต้องทำให้มีการนำเข้าน้ำมันปาล์มจากประเทศมาเลเซีย [6] ทีมวิจัยจึงใช้ผลพลอยได้จากกระบวนกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มคือ กรดไขมันปาล์ม (PFAD) ซึ่งไม่ได้นำมาใช้เพื่อบริโภคและมีราคาต่ำกว่าน้ำมันปาล์มดิบ โดยทั่วไป PFAD จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ [7] แต่เนื่องจาก PFAD มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) สูงมากกว่าร้อยละ 90 wt หรือค่าความเป็นกรด (Acid Value, AV) เท่ากับ 265 $mgKOH.g^{-1}$ จึงจำเป็นต้องใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเพื่อลดค่าความเป็นกรด (AV) ให้มีค่าน้อยกว่า 2 $mgKOH.g^{-1}$ ก่อนไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซลที่มีค่าความบริสุทธิ์สูงในขั้นตอนต่อไป [8]

อุปกรณ์ผสมที่สำคัญที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว เนื่องจากท่อผสมแบบสถิตมีประสิทธิภาพในการผสมสารตั้งต้นได้ดีกว่าวิธีโดยทั่วไป สามารถช่วยลดเวลาในการทำปฏิกิริยา ลดปริมาณการใช้สารเคมี ลดขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ และได้ปริมาณผลได้ที่สูง [9 – 11] ซึ่งทีมวิจัยได้ใช้ท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว (Helical Static Mixer) เพื่อประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยระบบหมุนวนสารเคมีและวัตถุดิบ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน

2.2 เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน

2.3 เพื่อสามารถผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวแบบหมุนวนให้มีค่าความเป็นกรด (AV) เหลือน้อยกว่า 2 $mgKOH.g^{-1}$

3. แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงดีเซลที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่าย ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือก นอกเหนือจากดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียม โดยมีคุณสมบัติการเผาไหม้ใกล้เคียงกับดีเซลจากปิโตรเลียม และสามารถใช้ทดแทนกันได้ คุณสมบัติสำคัญของไบโอดีเซล คือ สามารถย่อยสลายได้เองตาม

กระบวนการชีวภาพในธรรมชาติ [12] และเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าดีเซล โดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) น้อยกว่าร้อยละ 1 wt สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลขั้นตอนเดียวได้ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน แต่สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงมาก ๆ จำเป็นต้องใช้การผลิตแบบสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเพื่อลดค่ากรดไขมันอิสระให้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1 wt หรือค่าความเป็นกรด (AV) น้อยกว่า 2 $mgKOH.g^{-1}$ เนื่องจากกรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดสบู่และผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ยากและได้ปริมาณผลได้ต่ำ จากนั้นขั้นตอนที่สองเมื่อค่ากรดไขมันอิสระให้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1 wt แล้วจึงนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบจำพวกกลีเซอไรด์ให้เป็นเอสเทอร์ [13] โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ ทีมวิจัยของ Jain et al. ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำด้วยกระบวนการแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกคือใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65ºC และขั้นตอนที่ 2 ใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50ºC อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันร้อยละ 3:7 vol ใช้กรดซัลฟิวริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณร้อยละ 1 wt กวนผสมที่ความเร็วรอบ 400 rpm ได้ปริมาณผลได้ร้อยละ 21.2 และร้อยละ 90.1 ตามลำดับ [14] ทีมวิจัยของ Tamariz et al. ศึกษาคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขมันไก่ โดยใช้กระบวนการเอสเทอริฟิเคชันและทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน พบว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 ที่ 60ºC ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 60 min อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 6:1 ได้ปริมาณผลได้ร้อยละ 81.91 และปริมาณเอสเทอร์ร้อยละ 96.5 [16] ทีมวิจัยของSuksumrit et all. ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันร่วมกับสภาวะเมทานอลเหนือจุดวิกฤตเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลอง คือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับกรดไขมันปาล์ม 9:1 เวลา 60 min และอุณหภูมิ 300ºC ได้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 97.942 สามารถลดค่าความเป็นกรดให้มีค่าเท่ากับ 2.232 $mgKOH.g^{-1}$ [16] ซึ่งการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นขององค์ประกอบน้ำมันสามารถทำได้โดยวิธีการไทเทรต และนำมาคำนวณหาค่าความเป็นกรดตามสมการที่ (1)

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับไบโอดีเซลสมัยใหม่ได้พัฒนารูปแบบการผสมและลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลให้ดีขึ้น เช่น การนำท่อผสมแบบสถิตมาแทนเครื่องผสมแบบเดิม โดยส่วนใหญ่จะเป็นระบบแบบถังกวนผสม ซึ่งใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน ใช้ปริมาณสารเคมีมาก และขนาดของเครื่องปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ ทีมวิจัยของ Somnuk et al. ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนจากน้ำมันปาล์มดิบชนิดกรดไขมันอิสระสูงด้วยท่อผสมแบบสถิตหมุนวน ในขั้นตอนแรกได้ใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลร้อยละ 19.8 vol กรดซัลฟิวริกร้อยละ 2.0 vol และเวลาทำปฏิกิริยา 50 min ที่อุณหภูมิ 60ºC อัตราเร็วในการป้อนน้ำมันปาล์มดิบ 40 $L.h^{-1}$ ผ่านท่อผสมแบบสถิตที่มีความยาว 5 m พบว่าสามารถลดความเป็นกรดในน้ำมันปาล์มดิบจาก 30 $mgKOH.g^{-1}$ เหลือ 2 $mgKOH.g^{-1}$ และขั้นตอนที่ 2 ได้ใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลร้อยละ 23.81 vol โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 11.8 wt และเวลาที่ทำปฏิกิริยา 60 min ที่อุณหภูมิ 60ºC อัตราการไหลของน้ำมัน 40 $L.h^{-1}$ ผ่านท่อผสมแบบสถิตที่ความยาว 5 m พบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

มากกว่าร้อยละ 96.5 wt [11] ทีมวิจัยของ Rahmat et al. ศึกษาการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ผลของการแยกชั้นของกลีเซอรอล คุณสมบัติของไบโอดีเซล และการวิเคราะห์สมดุลมวล เครื่องปฏิกรณ์ถูกออกแบบโดยใช้ปั๊มหมุนวนหรือเครื่องกวนและท่อผสมแบบสถิต มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้เมทานอล และลดเวลาการทำปฏิกิริยา พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้สารตั้งต้นลง อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกลีเซอรอลลดลงจาก 6:1 เหลือ 5:1การผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 42.37 เป็นร้อยละ 49.34 [17]

จากการทบทวนเอกสาร ดังนั้นแนวคิดของงานวิจัยนี้จึงใช้กรดไขมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระหรือค่าความเป็นกรดสูงมากมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล ใช้ท่อผสมแบบสถิตมาเป็นอุปกรณ์เพราะมีประสิทธิภาพในการผสมสูง และกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดเพื่อลดค่ากรดไขมันอิสระหรือค่าความเป็นกรดลง ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดโดยแปรค่าปริมาณเมทานอล ปริมาณกรดซัลฟิวริก และเวลาในการหมุนวนสารผสมเพื่อทำให้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนเอสเทอริฟิเคชันสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนที่ 2 ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์จากขั้นตอน 1 เป็นไบโอดีเซลที่มีค่าความบริสุทธิ์สูง

4. วิธีการวิจัย

4.1 วัตถุดิบและสารเคมี

กรดไขมันปาล์ม (PFAD) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิสระ และแสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของ PFAD จะมีลักษณะเป็นไขที่อุณหภูมิประมาณ 30ºC และเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 43ºC ดังรูปที่ 1(ก) และ 2(ข) ตามลำดับ สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย คือ เมทานอล (เกรดเชิงการค้าความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9) และกรดซัลฟิวริก (เกรดเชิงการค้าความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ไอโซโพรพานอล โพแทสเซียม-ไฮดรอกไซด์ และฟีนอร์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

(ก) (ข)

รูปที่ 1 ลักษณะของกรดไขมันปาล์ม (ก) ที่อุณหภูมิ 30ºC (ข) ที่อุณหภูมิ 43ºC

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกรดไขมันปาล์ม

องค์ประกอบ	ปริมาณ (wt.%)
กรดไขมันอิสระ	90.417
โมโนกลีเซอไรด์	5.041
ไดกลีเซอไรด์	2.437
ไตรกลีเซอไรด์	1.231
เอสเทอร์	0.874

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

การผลิตไบโอดีเซลจาก PFAD ใช้ท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว (Helical Static Mixer) ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยเอลิเมนต์ของท่อผสมแบบสถิตใช้แผ่นสแตนเลสหนา 1 mm และอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 1.5 mm บิดให้เป็นเกลียวทำมุม 180º จากนั้นนำแต่ละเอลิเมนต์มา

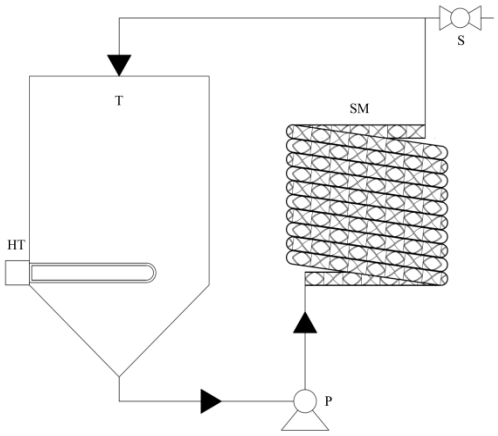
เชื่อมต่อกันทำมุม 90º โดยเอลิเมนต์ชนิดนี้เรียกว่า Twisted-Ribbon โดยมีความยาวเท่ากับ 15 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 mm และติดตั้งในท่อสแตนเลสความยาวเท่ากับ 5 m จากนั้นนำมาม้วนเป็นรูปขดเกลียวเพื่อลดขนาดของเครื่องปฏิกรณ์

4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

การผลิตไบโอดีเซลจาก PFAD ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ท่อผสมชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน โดยได้แสดงแผนผังชุดทดลองในรูปที่ 2 โดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระกับแอลกอฮอล์ ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์ คือ เอสเทอร์หรือไบโอดีเซลและน้ำ ตามรูปที่ 3 โดยได้แปรค่าปริมาณเมทานอล 60, 80 และร้อยละ 100 wt ปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 5, 10 และ 15 wt และเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-90 min ควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60ºC โดยเริ่มจากการเตรียม PFAD ปริมาณ 2000 g ใส่ในถังปฏิกรณ์พร้อมเปิดฮีทเตอร์เพื่ออุ่น PFAD ให้ละลายเป็นของเหลว และเปิดปั๊มหมุนวนสารเคมีที่มีอัตราการไหลที่ 20 $L.h^{-1}$ จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 60ºC จึงเติมเมทานอลตามสัดส่วนทดลองหมุนวนสารผสมทั้งสองชนิดจนกระทั่งอุณหภูมิ 50ºC จึงเติมกรดซัลฟิวริกตามสัดส่วนที่ทดลองเข้าในระบบ และเริ่มจับเวลาทันทีเมื่อมีการเติมกรดซัลฟิวริกลงไปเก็บตัวอย่างน้ำมันลดกรดที่เวลาทำปฏิกิริยา 10 - 90 min โดยเก็บทุกๆ 10 min จากนั้นนำน้ำมันลดกรดไปหยุดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทันทีด้วยการนำไปแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 0ºC จากนั้นนำน้ำมันลดกรดมาล้างเพื่อกำจัดของเสีย และส่วนของสารเคมีที่เหลือออกจากน้ำมันจนได้น้ำมันลดกรดที่มีความบริสุทธิ์ และนำน้ำมันไปวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดด้วยเทคนิคการไทเทรต

4.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากได้ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มแบบหมุนวนด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวจึงนำมาวิเคราะห์หาค่า AV ด้วยเทคนิคการไทเตรทใช้วิธีของ The American Oil Chemists' Society Official Method Cd 3a-63 for Acid Value [18] โดยเริ่มชั่งตัวอย่างน้ำมันในขวดรูปชมพู่ประมาณ 1 g หยดสารละลายไอโซโพรพานอลเพื่อลดความหนืดของน้ำมันลดกรด หลังจากนั้นหยดสารละลายฟีนอร์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์และเขย่าให้เข้ากัน ไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายวิเคราะห์ที่บรรจุอยู่ในบิวเรตที่เตรียมจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายอยู่ในไอโซโพรพานอล ความเข้มข้น 0.1 normal จากนั้นเขย่าจนสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนคงที่



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มแบบหมุนวนด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว (HT: Heater, T: Tank, P: Pump, S: Sampling Port และ SM: Static Mixer)

$$\text{FFA + Alcohol} \xleftrightarrow{\text{catalyst}} \text{Ester + Water}$$

รูปที่ 3 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน

ประมาณ 30 sec และนำไปคำนวณหาค่า AV ตามสมการที่ (1)

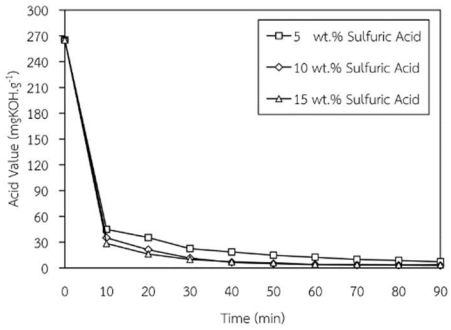
$$AV = \frac{V \times M \times 56.1}{m} \quad (1)$$

เมื่อ AV คือ ค่าความเป็นกรด, mgKOH.g^{-1}, V คือ ปริมาณด่างที่ใช้ mL, M คือ ความเข้มข้นของด่าง normal, m คือ น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง g

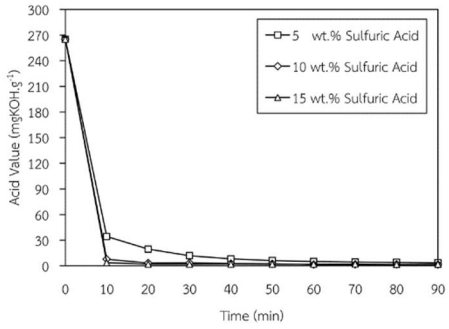
5. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยท่อผสมชนิดขดเกลียวแบบหมุนวนโดยแปรค่าปริมาณเมทานอลร้อยละ 60, 80 และ 100 wt ปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 5, 10 และ 15 wt และเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-90 min ควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60ºC จากรูปที่ 4(ก) พบว่าที่ปริมาณเมทานอลร้อยละ 60 wt เมื่อใส่กรดซัลฟิวริกลงไปสารผสมถูกผสมด้วยการหมุนวน และเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันในระหว่างการผสม ภายในระยะเวลา 10 min สามารถลดค่าความเป็นกรดของกรดไขมันปาล์มจาก 265 mgKOH.g^{-1} ในมีค่าความเป็นกรดน้อยกว่า 45, 36 และ 29 mgKOH.g^{-1} ที่เงื่อนไขปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 5, 10 และ 15 wt ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา ค่าความเป็นกรดก็จะลดลงเรื่อยๆ โดยที่เวลาทำปฏิกิริยา 90 min และปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 5 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดเหลือ 7.15 mgKOH.g^{-1} และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็นร้อยละ 10 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดเหลือ 2.74 mgKOH.g^{-1} แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็นร้อยละ 15 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดได้เท่ากับ 4.08 mgKOH.g^{-1} ที่เวลาทำปฏิกิริยา 60 min และเข้าสู่ภาวะสมดุลจนถึงระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 90 min จากรูปที่ 4(ข) เมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเป็นร้อยละ 80 wt พบว่าที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 5 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดได้เท่ากับ 3.58 mgKOH.g^{-1} แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็นร้อยละ 10 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดได้น้อยกว่า 2 mgKOH.g^{-1} ตั้งแต่เวลาทำปฏิกิริยา 60 min และลดลงเหลือต่ำสุด 1.59 mgKOH.g^{-1} ที่เวลา 90 min และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็นร้อยละ 15 wt ก็สามารถลดค่าความเป็นกรดได้ประมาณ 2 mgKOH.g^{-1} ตั้งแต่เวลาทำปฏิกิริยา 30 min แล้วจึงเข้าสู่ภาวะสมดุล จากรูปที่ 4(ค) ที่ปริมาณเมทานอลร้อยละ 100 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดของ PFADเหลือน้อยกว่า 3 mgKOH.g^{-1} ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 5 wt และเวลาทำปฏิกิริยา 60 min และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็นร้อยละ 10 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดเหลือน้อยกว่า 3 mgKOH.g^{-1} ตั้งแต่เวลาทำปฏิกิริยา 40 min และสามารถลดค่าความเป็นกรดเหลือน้อยกว่า 2 mgKOH.g^{-1} ที่เวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 20 min ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 15 wt และลดลงเหลือ 1.50 mgKOH.g^{-1} ที่เวลา 50 min ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกจะสามารถลดค่าความเป็นกรดของ PFAD ลงได้ ดังนั้นกรดซัลฟิวริกมีผลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรดของ PFAD อย่างมีนัยสำคัญ

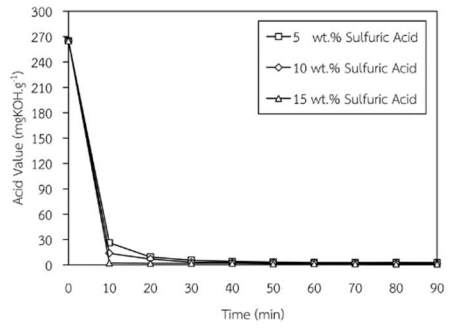
และเมื่อพิจารณาถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณเมทานอล พบว่าจากรูปที่ 4(ก) ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 5 wt และที่ปริมาณเมทานอลร้อยละ 60 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดของ PFAD จาก 265 mgKOH.g^{-1} ได้เท่ากับ 7.15 mgKOH.g^{-1} แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเป็นร้อยละ 80 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดให้เหลือ 3.58 mgKOH.g^{-1} และที่ปริมาณเมทานอลร้อยละ 100 wt. สามารถลดค่าความเป็นกรดให้เหลือ 2.81 mgKOH.g^{-1} ที่เวลา 60 min และเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของ PFAD ของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มแบบหมุนวนด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวที่เงื่อนไข (ก) เมทานอลร้อยละ 60 wt (ข) เมทานอลร้อยละ 80 wt และ (ค) เมทานอลร้อยละ 100 wt

เพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็นร้อยละ 10 wt จาก รูปที่ 4(ข) สามารถลดค่าความเป็นกรดให้เหลือเท่ากับ 2.74 mgKOH.g^{-1} ที่ปริมาณเมทานอลเท่ากับร้อยละ 60 wt และเมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเท่ากับร้อยละ 80 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดได้เท่ากับ 1.52 mgKOH.g^{-1} ตั้งแต่เวลา 60 min และเข้าสู่สภาวะสมดุล แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเท่ากับร้อยละ 100 wt พบว่าไม่สามารถลดค่าความเป็นกรดให้น้อยกว่า 2 mgKOH.g^{-1} เนื่องจากปริมาณเมนานอลที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดน้ำขึ้นระหว่างกระบวนการทำปฏิกิริยาซึ่งทำให้สารเคมีถูกเจือจาง จากรูปที่ 4(ค) เมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็นร้อยละ15 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดได้น้อยกว่า 2 mgKOH.g^{-1} ที่ปริมาณเมทานอลร้อยละ 80 wt ใช้เวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 min และเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเท่ากับร้อยละ 100 wt สามารถลดค่าความเป็นกรดได้น้อยกว่า 2 mgKOH.g^{-1} ที่เวลา 10 min และเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเมทานอลมีผลต่อการลดค่าความเป็นกรดของ PFAD อย่างมีนัยสำคัญ แต่การเพิ่มปริมาณเมทานอลที่มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันลดลงด้วยเช่นกัน

6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มซึ่งมีค่าความเป็นกรดสูงด้วยเครื่องปฏิกรณ์ท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน พบว่ายังมีการใช้ปริมาณสารเคมีที่สูง เนื่องจากระหว่างกระบวนการทำปฏิกิริยาได้เกิดน้ำขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารเคมีลดลง และประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันลดลง ซึ่งผลจากการทดลองนี้คาดว่าเครื่องปฏิกรณ์ท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียวสามารถประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องได้อีกกระบวนการหนึ่ง แต่ควรแยกถังสารเคมี ถังวัตถุดิบ และถังทำปฏิกิริยาออกจากกัน

7. สรุป

การผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยท่อผสมชนิดขดเกลียวแบบหมุนวน โดยแปรค่าปริมาณเมทานอลร้อยละ 60, 80 และ100 wt ปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 5, 10 และ 15 wt และเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-90 min ควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60ºC พบว่าที่ปริมาณเมทานอลร้อยละ 100 wt ปริมาณกรดซัลฟิวริกร้อยละ 15 wt และเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 min สามารถลดค่าความเป็นกรดของ PFAD จาก 265 mgKOH. g^{-1} ให้เหลือเท่ากับ1.97 mgKOH.g^{-1} และเข้าสู่ภาวะสมดุลเมื่อเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและสามารถนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบกลีเซอไรด์ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูงได้

8.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัยและสนับสนุนทุนวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ ENG570563S

9.เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy. Alternative Energy Development Plan : AEDP2015 [On-line]. Available : http://www.dede.go.th/main. php? filename= index., 2015. (in Thai)

[2] V. K. Shahir, C. P. Jawahar, P. R. suresh. Comparative study of diesel biodiesel on CI engine with emphasis to emission – A review, Renewable and Sustainable Energy Review, (45) : 686 – 697., 2015.

[3] D. Ciolkosz, Chapter 34 – What' s so different about biodiesel fuel?, Bioenergy Biomass to Biofuels : 551 – 555., 2015.

[4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy. Biodiesel [On-line] Available : http:// www4.dede.go. th/dede /index.php?option= com_content&view =article&id=898&Itemid., 2016. (in Thai)

[5] United States Department of Agriculture. Palm Oil [On-line]. Available : http://www. pecad. fas. usda. gov/ cropexplorer/ cropview/ commodityView.aspx?., 2015.

[6] B. Kitiphaisannon. "Vegetable oil crisis" First time bomb…Thai food industry. Analysis of Industrial Economics : 1 – 4 ., 2011. (in Thai)

[7] Ab Gapor Md Top. Production and utilization of palm fatty acid distillate (PFAD), Lipid Technology 22(1) : 11 – 13., 2010.

[8] D. Yujaroen, M. Goto, M. Sasaki, A. Shotipruk. Esterification of palm fatty acid distillate (PFAD) in supercritical methanol : Effect of hydrolysis on reaction reactivity, Fuel 88 : 2011-2016., 2009.

[9] P. Sungwornpatansakul, J. Hiroi, Y. Nigahara, T.K. Jayasinghe, K. Yoshikawa. Enhancement of biodiesel production reaction employing the static mixing, Fuel Processing Technology 116 : 1 – 8., 2013.

[10] A. Ghanem, T. Lemenand, D.D. Vallea, H. Peerhossaini. Static mixers : Mechanisms,

application, and characterization methods A review, Chemical Engineering Research and Design 92 : 205 – 228., 2014.

[11] K. Somnuk, S. Niseng, G. Prateepchaikul. Optimization of High Free Fatty Acid Reduction in Mixed Crude Palm Oils Using Circulation Process through Static Mixer Reactor and Pilot- Scale of Two- Step Process. Energy conversion and Management 80 : 374 – 381., 2014.

[12] C. Tongurai, S. Klinpikul, C. Limworapan, S. Wanichwiriya. The Research For Transformation Plam Oil to be Fuel Substitute in Agriculture Diesel Engines. Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering Prince of Songkha University., 2002. (in Thai)

[13] S. Niseng. Two-Stage Biodiesel Production System from High Free Fatty Acid Crude Palm Oil Using Circulation through static Mixer. Prince of Songkha University : 1 – 137., 2014. (in Thai)

[14] United States Department of Agriculture. Palm Oil [On-line] . Available : http://www. Pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/commodityView.aspx?., 2015.

[15] M. N. Buendia-Tamariz, R. Trejo-Calzada, AbimbolaAbiola, A. Pedroza- Sandoval, R. Jacobo- Salcedo, M. Reveles- Hernandez. Characterization of Biodiesel Produced from Chicken Fat and Pennycress Oil using Different Concentrations of Basic Catalysts, journal of Agriculture and Environmental Sciences 4(1) : 127 – 133., 2015.

[16] J. Suksumrit, A. Sakulkalavek, V. Punsuvon, C. Puemchalad. Biodiesel Production from Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Using Esterification Master of Engineering Thesis. Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineeringwith Supercritical Methanol, Thasin. J 18(3) : 137 – 144. , 2015.

[17] B. Rahmat, I. S. Setiasih, R. Kastaman. Biodiesel Reactor Design with Glycerol Separation to Increase Biodiesel Production Yield. Makara Seri Teknologi 17(1) : 11 – 16., 2013.

[18] Albright LF. Albright's Chemical Engineering handbook. New York: CRC Press; 2008. AOCS. Official Method Cd 3a - 63 for Acid Value. The American Oil Chemists' Society. Champaign, III., 1998.