

การศึกษาการเปลี่ยนกรดไขมันอิสระของกรดไขมันปาล์มด้วยปฏิกิริยา

เอสเทอร์ฟิเคชันแบบขั้นตอนเดียว

Study on Conversion of Free Fatty Acid from Palm Fatty Acid Distillate by Single-Step Esterification Process

สายสุนีย์ กวีจารมมงคล¹⁾ ชาณณรงค์ อัสวเทศานุภาพ²⁾ และมาลี สันติคุณาภรณ์¹⁾

Saisunee Kaweejarumongkol¹⁾ Channarong Asavatesanupap²⁾ Malee Santikunaporn^{1)*}

¹⁾ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

²⁾ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันปาล์มกับเอทานอลโดยใช้กรดซัลฟูริกร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเพื่อผลิตไบโอดีเซล ถูกศึกษาภายใต้เครื่องปฏิกรณ์แผ่นกั้นแบบไหลแกว่งที่มีความถี่คงที่ 4.5 เฮิรท์ ระยะเวลาปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อกรดไขมันปาล์ม และแอมพลิจูดของเครื่องปฏิกรณ์ส่งผลโดยตรงต่อการเกิดปฏิกิริยา จากผลการศึกษา แอมพลิจูดซึ่งเป็นระยะทางในการแกว่งตัวของของไหลภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่ทำให้เอทานอลกับกรดไขมันปาล์มผสมกันได้ดีที่สุดคือ 12 มิลลิเมตร ซึ่งให้กรดไขมันอิสระลดลงสูงสุดที่ทุกอัตราส่วน ปริมาณเอทานอลที่ใช้มีผลโดยตรงต่อระยะเวลาปฏิกิริยา เมื่อปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลาปฏิกิริยาลดลงจากมากกว่า 9 นาที ที่อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อกรดไขมันปาล์ม 6:1 เหลือ 6 นาที ที่อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อกรดไขมันปาล์ม 9:1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันปาล์มกับเอทานอลด้วยกรดซัลฟูริกคือ แอมพลิจูด 12 มิลลิเมตร อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อกรดไขมันปาล์ม 9:1 นาน 6 นาที ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงจากร้อยละ 85 เหลือร้อยละ 6 ซึ่งคิดเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระสูงถึงร้อยละ 92.8

คำสำคัญ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน; กรดไขมันปาล์ม; เครื่องปฏิกรณ์แผ่นกั้นแบบไหลแกว่ง

Abstract

Esterification of palm fatty acid distillate (PFAD) with ethanol and 3 wt% of H₂SO₄ for biodiesel production was investigated using an oscillatory baffled reactor at a constant frequency of 4.5 Hz. The reaction time, ethanol to PFAD molar ratio and amplitude of reactor directly influenced on the esterification reaction. From the studied results, amplitude resulting in good mixing of ethanol and palm fatty acid distillate was 12 mm, which gave the highest FFA reduction for all ratios. Reduced FFA value in every molar ratio. Also, the amount of ethanol used directly affected the reaction time. As increase in amount of ethanol the reaction time decreased from more than 9 min at 6:1 to 6 min at 9:1. The optimal condition for esterification reaction of PFAD and ethanol with H₂SO₄ was at an amplitude of 12 mm and a PFAD to ethanol ratio of 9:1 for 6 min which the amount of free fatty acids (FFA) was reduced from 85 to 6% equaling to 93% of FFA conversion.

Keywords Esterification; Palm fatty acid distillate; Oscillatory baffled reactor

1. บทนำ

ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูปในปริมาณที่สูงที่สุดซึ่งคิดเป็นร้อยละ 58 ของการใช้พลังงานทั้งหมด เนื่องจากความต้องการที่มากทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันสำเร็จรูปสูงถึง 12 ล้านลิตรต่อวัน [1] นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีการใช้พลังงานจากถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัด ปริมาณความต้องการใช้พลังงานที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้การศึกษาหาแหล่งพลังงานทดแทนได้รับความสนใจ ไบโอดีเซลเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างกว้างขวางปัจจุบัน เนื่องจากช่วยลดการปล่อยควันดำ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุหนึ่งของภาวะโลกร้อนได้ [2] ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการส่งเสริมให้ภาคการขนส่งหันมาใช้ B20 ซึ่งเป็นดีเซลที่มีไบโอดีเซลผสมอยู่ร้อยละ 20 โดยให้ใช้กับกลุ่มรถบรรทุก รถโดยสาร และเรือโดยสาร [3]

การผลิตไบโอดีเซลนอกจากจะมีการพัฒนากระบวนการผลิตแล้ว วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตก็มีความสำคัญเช่นกันในการลดต้นทุนและประหยัดเวลา รวมถึงการได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพ กรดไขมันปาล์ม (PFAD) เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบที่มีกรดไขมันอิสระ (FFA) มากกว่าร้อยละ 80 แต่มีราคาถูกกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น โดยทั่วไป กรดไขมันปาล์มถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่ อุตสาหกรรมจาร์บี และอุตสาหกรรมโพลิเอสเตอร์ อากาศเช่น กรดไขมันสำหรับผลิตเทียนไข เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น [4] การนำกรดไขมันปาล์มมาผลิตเป็นไบโอดีเซลนั้นเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงยังไม่เป็นที่นิยม

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาถูกศึกษาและนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระสูง เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันก่อนที่จะนำไปผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [5] การทำปฏิกิริยาสองขั้นตอนดังกล่าวทำให้ได้ไบโอดีเซลที่มากกว่าการทำปฏิกิริยาขั้นตอน

เดียว [6,7] เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากเมทานอลเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายและเร็ว แต่เมทานอลผลิตได้จากปิโตรเลียมรวมถึงอาจเป็นอันตรายต่อคนและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเอทานอลซึ่งถือเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ [8] จึงได้รับความสนใจในการนำมาใช้แทนเมทานอล นอกจากนี้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากเอทานอลยังให้ค่าจุดไหลเทที่ต่ำกว่า ทำให้น้ำมันไม่แข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ [9]

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลสามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบกะหรือแบบต่อเนื่อง แต่ที่สำคัญคือ ระยะเวลาและต้นทุนการผลิตที่แตกต่างกัน [10,11] จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงนิยมทำปฏิกิริยาสองขั้นตอน อย่างไรก็ตามมีหลายงานวิจัยที่พัฒนาการผลิตไบโอดีเซลแบบขั้นตอนเดียว เพื่อเป็นการลดระยะเวลา ลดวัตถุดิบ รวมถึงเป็นการลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล [12,13]

เครื่องปฏิกรณ์แผ่นกั้นแบบไหลแกว่ง (Oscillatory baffled reactor; OBR) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ผสมสารหลายชนิดให้เป็นเนื้อเดียวกันภายในระยะเวลาสั้น โดยภายในท่อจะมีแผ่นกั้นเป็นช่วงๆ ตามความยาวของท่อ ซึ่งท่อที่ใช้กับเครื่องปฏิกรณ์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.91 เซนติเมตร และมีปริมาตรรวม 365 มิลลิลิตร ของไหลถูกผสมภายในท่อโดยอาศัยการแกว่งเป็นจังหวะจากกระบอกสูบที่ถูกกำหนดระยะเวลาที่แน่นอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผสมกันของของไหลภายในท่อ [2]

ตัวแปรที่มีผลต่อเครื่องปฏิกรณ์นี้คือ แอมพลิจูดซึ่งเป็นระยะทางในการแกว่งตัวของของไหลที่ควบคุมโดยก้านสูบของกระบอกสูบและความถี่เป็นส่วนของความเร็วของกระบอกสูบของเครื่องปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 2 ซึ่งถูกแสดงโดยค่า Reynolds number (Re) และ Strouhal number (St) ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$Re = \frac{2\pi x_o / \rho D}{\mu} \quad (1)$$

$$St = \frac{D}{4\pi x_o} \quad (2)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

μ คือ ความหนืดของของไหล (Pa-s)

f คือ ความถี่ของเครื่องปฏิกรณ์ (Hz)

X_o คือ แอมพลิจูดของเครื่องปฏิกรณ์ (m)

การทำปฏิกิริยาระหว่างของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แผ่นกั้นแบบไหลแกว่ง ซึ่งอาศัยการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ค่า Re ต้องมีค่ามากกว่า 130 และ St ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 เพื่อให้เกิดการผสมเข้ากันและเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ หากแอมพลิจูดและความถี่ของเครื่องปฏิกรณ์ต่างหรือสูงเกินไปส่งผลให้การผสมกันของของผสมภายในระบบเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร [14]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันปาล์มกับเอทานอลภายใต้เครื่องปฏิกรณ์แผ่นกั้นแบบไหลแกว่ง โดยทำการศึกษาผลของแอมพลิจูดของเครื่องปฏิกรณ์อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันปาล์ม

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

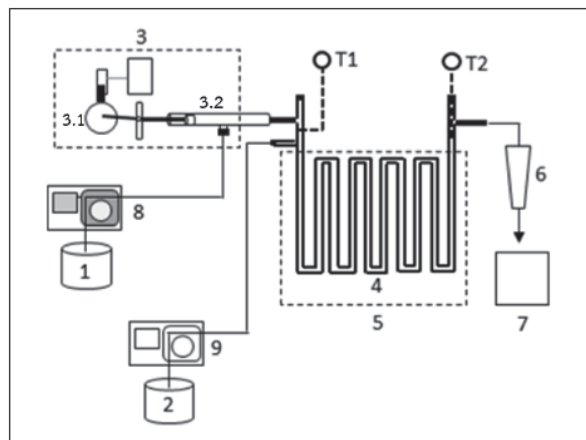
กรดไขมันปาล์มที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเฉลี่ยร้อยละ 85 ซึ่งได้จากบริษัท โอลิน จำกัด เอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 95 ได้จาก Gammaco และกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 98 ได้จาก Merck โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้จาก Carlo Erba ถูกใช้เป็นสารไทเทรนต์ และไอโซโพรพานอลได้จาก QREC เป็นสารไทเทรนต์

2.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันปาล์มกับเอทานอลถูกศึกษาในเครื่องปฏิกรณ์แบบ OBR ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.91 เซนติเมตร และมีปริมาตรรวม 365 มิลลิลิตร เครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวถูกติดตั้งอยู่ในอ่างอัลตราโซนิค (รุ่น 1024 ยี่ห้อ T. Ultrasonic Engineering) เพื่อให้ความร้อนแก่ระบบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ปั๊มลูกรีดเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันและแอลกอฮอล์ที่มีกรดกรดซัลฟูริกผสมอยู่ตามที่กำหนด รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ตัวแปรที่ใช้ศึกษามี 3 ตัวแปร ดังนี้ แอมพลิจูดของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 9 12 และ 15 มิลลิเมตร อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ 6:1 9:1 และ 12:1 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ที่ 3 6 และ 9 นาที

2.3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ไบโอดีเซลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรตด้วยเครื่องไทเทรตอัตโนมัติ (รุ่น G 20 ยี่ห้อ Mettler Toledo) สารตัวอย่างถูกเตรียมโดยการผสมไบโอดีเซล 1 กรัมในไอโซโพรพานอล 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จากนั้นนำค่ากรดไขมันอิสระที่ได้ไปคำนวณตามสมการที่ (3)



รูปที่ 1 ไดอะแกรมของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเครื่องปฏิกรณ์แผ่นกั้นแบบไหลแกว่ง [2] (1=กรดไขมันปาล์ม; 2=เอทานอลผสมกรดซัลฟูริก; 3=เครื่องกำเนิดจังหวะประกอบด้วย

3.1=ส่วนควบคุมความถี่ 3.2=ส่วนควบคุมควบคุมแอมพลิจูด;
4=เครื่องปฏิกรณ์; 5=อ่างอัลตราโซนิก; 6=กรวยแยก; 7=
เครื่องไทเทรตอัตโนมัติ; 8, 9=ปั๊มลูกกริด)

$$\%FFA \text{ Conversion} = \frac{((\text{Initial FFA} - \text{Final FFA}))}{(\text{Initial FFA})} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ Initial FFA คือ ค่า FFA เริ่มต้น

Final FFA คือ ค่า FFA สุดท้าย

3. ผลการทดลอง

กรดไขมันปาล์มมีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองอ่อน
ที่อุณหภูมิห้อง และมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงถึงร้อยละ 85
ดังแสดงในรูปที่ 2



กรดไขมันปาล์ม

ไบโอดีเซล

รูปที่ 2 ลักษณะของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา
เอสเทอริฟิเคชัน

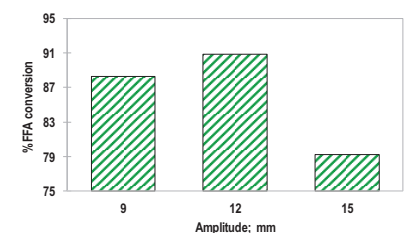
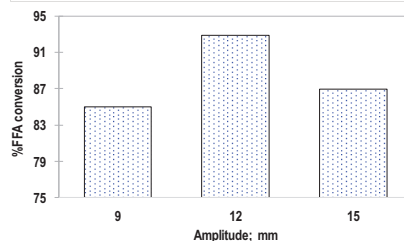
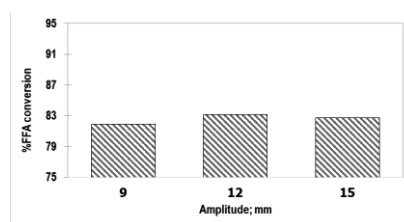
3.1 ผลของแอมพลิจูดของเครื่องปฏิกรณ์

แอมพลิจูดซึ่งเป็นระยะทางในการแกว่งตัวของของ
ไหลภายในเครื่องปฏิกรณ์ จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ที่
ความถี่คงที่ ระยะการแกว่งตัวของไหลส่งผลต่อการผสม
ของของไหลภายในเครื่องปฏิกรณ์ ที่ 6:1 เมื่อแอมพลิจูด
เพิ่มขึ้นจาก 9 มิลลิเมตร เป็น 12 มิลลิเมตร การลดลงของกรด
ไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 81.9 เป็น 83.2 แต่เมื่อแอมพลู
จูดเพิ่มขึ้นเป็น 15 มิลลิเมตร FFA conversion เท่ากับร้อยละ
82.8 ซึ่งต่ำกว่าที่แอมพลิจูด 12 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับที่ 6:1
การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระที่ 9:1 และ 12:1
ให้ผลเช่นเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อแอมพลิจูดเพิ่มขึ้น FFA
conversion มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลง โดยที่ 9:1 และ 12:1 มี

ค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.8 และ 90.8 ที่ 12 มิลลิเมตร
ตามลำดับทั้งนี้เนื่องจากการผสมกันของเอทานอลและกรด
ไขมันปาล์มขึ้นกับระยะเวลาการแกว่งและความถี่ของเครื่อง
ปฏิกรณ์ที่แอมพลิจูดต่ำหรือสูงเกินไป ส่งผลให้การผสมกัน
ของของผสมภายในระบบเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร

3.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อ น้ำมัน

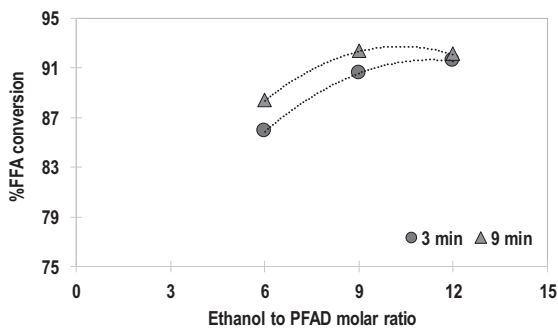
การสังเคราะห์ไบโอดีเซลหรืออัลคิลเอสเทอร์ที่
ได้ผลดีควรใช้ปริมาณแอลกอฮอล์มากกว่าจำนวน โมลของ
แอลกอฮอล์ที่ต้องการจากสมการเคมี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึง
ศึกษาโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อกรดไขมัน
ปาล์มที่ 6:1 9:1 และ 12:1 จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณ



รูปที่ 3 ผลของแอมพลิจูดต่อ %FFA Conversion ที่ได้จาก
ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 6 นาที
และความถี่ 4.5 เฮิรท์

เอทานอลที่ใช้ในปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันส่งผลต่อการลดลง
ของกรดไขมันอิสระในกรดไขมันปาล์ม โดยดูจาก %FFA
conversion ที่อัตราส่วน 6:1 %FFA conversion ที่ได้มีค่าต่ำกว่า

ที่อัตราส่วน 9:1 และ 12:1 โดยที่เวลาการทำปฏิกิริยา 3 นาที FFA conversion มีค่าเท่ากับร้อยละ 85.9 ที่อัตราส่วน 6:1 และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 90.6 และ 91.6 ที่อัตราส่วน 9:1 และ 12:1 เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ การเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์ช่วยผลักดันให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้า [15] สำหรับที่ 9 นาที FFA conversion มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 88.4 เป็น 92.3 เมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลจากอัตราส่วน 6:1 เป็น 9:1 แต่เมื่อเพิ่ม ปริมาณเอทานอลเป็น 12:1 พบว่า FFA conversion มีค่าลดลงเล็กน้อยจากร้อยละ 92.3 เป็น 92.1 จากผลการศึกษาดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อสารตั้งต้น จะช่วยทำให้ conversion สูงขึ้นแต่ถ้ามีปริมาณแอลกอฮอล์มากเกินไปจะไม่ส่งผลดีต่อการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากมีปริมาณน้ำในระบบมากขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนเอสเทอร์กลับไปเป็นกรดไขมันอิสระได้ [7] ดังแสดงในสมการที่ (4)

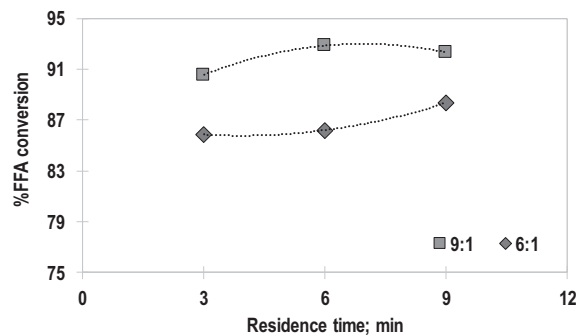


รูปที่ 4 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อกรดไขมันปาล์มต่อ FFA Conversion ที่เวลาการเกิดปฏิกิริยา 3 และ 9 นาที ที่ความถี่ 4.5 เฮิร์ต และแอมพลิจูด 12 มิลลิเมตร

3.3 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน 3 ค่า คือที่ 3 6 และ 9 นาที รูปที่ 5 แสดงผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อ FFA

conversion เมื่อมีการทดสอบปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อกรดไขมันปาล์ม 6:1 และ 9:1 จากผลการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วน 6:1 เมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันปาล์มกับเอทานอลเพิ่มสูงขึ้นจาก 3 นาที เป็น 6 และ 9 นาที FFA conversion เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 85.8 เป็น 85.7 และ 88.4 ตามลำดับ ค่า FFA conversion เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาจเนื่องจากเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 3 นาทีนั้นสั้นเกินไป ทำให้ปฏิกิริยาอาจเกิดไม่สมบูรณ์ [16] ดังนั้นการเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจึงทำให้ conversion มีค่าเพิ่มขึ้น แต่สำหรับที่อัตราส่วน 9:1 เมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 6 นาที FFA conversion เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 90.6 เป็น 92.8 แต่เมื่อยังเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 9 นาที FFA conversion ลดลงเล็กน้อย (ร้อยละ 92.3) นั่นแสดงว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้อัตราส่วน 9:1 เท่ากับ 6 นาที จากผลการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์ในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันส่งผลให้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า การผลิตไบโอดีเซลภายในเครื่องปฏิกรณ์แผ่นกั้นแบบไหลแกว่งสามารถประหยัดเวลามากกว่าการผลิตไบโอดีเซลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะหลายเท่า [10]



รูปที่ 5 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อ %FFA conversion ที่อัตราส่วนเอทานอลต่อกรดไขมันปาล์ม 6:1 และ 9:1 ที่ความถี่ 4.5 เฮิร์ต และแอมพลิจูด 12 มิลลิเมตร

4. สรุปผลการทดลอง

การเพิ่มมูลค่าของกรดไขมันปาล์มซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์สามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล ปฏิกิริยาเอสเทอร์

รีฟิเคชันของกรดไขมันปาล์มซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ร้อยละ 85 กับเอทานอลด้วยกรดซัลฟูริกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ถูกศึกษาภายใต้เครื่องปฏิกรณ์แผ่นกั้นแบบไหลแกว่งที่มีความถี่คงที่ที่ 4.5 เฮิร์ต ปริมาณเอทานอลที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาซึ่งถูกแสดงในรูปของอัตราส่วนโดยโมลเอทานอลต่อกรดไขมันปาล์มควรมีค่าสูงเพื่อช่วยผลักดันปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้า นอกจากนี้ ปริมาณเอทานอลยังมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาปฏิกิริยา ระยะเวลาปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 6 นาที เป็นมากกว่า 9 นาที เมื่ออัตราส่วนเปลี่ยนจาก 9:1 เป็น 6:1 แอมพลิจูดและความถี่ของเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของการผสมของของไหล แอมพลิจูดที่ 12 มิลลิเมตรเหมาะสมกับความถี่ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 4.5 เฮิร์ตซึ่งทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงต่ำสุด สภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันปาล์มกับเอทานอลภายใต้สภาวะกรด คือ ที่แอมพลิจูด 12 มิลลิเมตร อัตราส่วน 9:1 นาน 6 นาที ซึ่งจะได้ FFA conversion สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 92.8

5. กิตติกรรมประกาศ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณเพื่อจัดทำวิทยานิพนธ์และโครงการวิจัย จากคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อีกทั้งได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และขอขอบคุณบริษัท โอไลน์ จำกัด ในการสนับสนุนกรดไขมันปาล์ม สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูงสำหรับอัตราค่าบริการเครื่องมือวิเคราะห์ในอัตรา 1

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ENERGY POLICY AND PLANNING OFFICE, MINISTRY OF ENERGY, ENERGY OVERVIEW REPORT (JANUARY 2019), AVAILABLE SOURCE:
[HTTP://WWW.EPPO.GO.TH/INDEX.PHP/TH/ENERGY-
 INFORMATION/ENERGY-
 STATUS/MONTH?ORDERS\[PUBLISHUP\]=PUBLISHUP&
 ISSEARCH=1](http://www.epo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/month?orders[publishup]=publishup&issearch=1), APRIL 27, 2019. (IN THAI)

[2] SANTIKUNAPORN, M., TECHOPITTAYAKUL, T. AND ASAVATESANUPAP, C., 2018, BIODIESEL PRODUCTION FROM PALM OIL USING AN OSCILLATORY BAFFLED REACTOR, INT. J. OF CHEM. MATER. ENG. 12(9): 442-445.

[3] MINISTRY OF ENERGY, PRESS CONFERENCE "PROJECT TO PROMOTE THE USE OF HIGH SPEED DIESEL FUEL B20", AVAILABLE SOURCE
<https://energy.go.th/2015/category/minister-news-th/>, April 17, 2019. (in Thai)

[4] PALM FATTY ACID DISTILLATE, AVAILABLE SOURCE:
[HTTP://WWW.OLEEN.CO.TH/TH/PRODUCTS/STEARIN/OTHER/PALM-OIL/210-PALM-FATTY-ACID-DISTILLATE.HTML](http://www.oleen.co.th/th/products/stearin/other/palm-oil/210-palm-fatty-acid-distillate.html), APRIL 09, 2019. (IN THAI)

[5] BUREAU OF SCIENCE AND TECHNOLOGY INFORMATION, DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE, MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2010, TECHNOLOGY AND BIODIESEL PRODUCTION, AVAILABLE SOURCE:
[HTTP://LIB3.DSS.GO.TH/FULLTEXT/REPACK/IR13.PDF](http://lib3.dss.go.th/fulltext/repack/ir13.pdf), SEPTEMBER 09, 2018. (IN THAI)

[6] TALEBIAN-KIAKALAIEH, A. AND AMIN, N. A. S., 2014, SINGLE AND TWO-STEP HOMOGENEOUS CATALYZED TRANSESTERIFICATION OF WASTE COOKING OIL: OPTIMIZATION BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY, INT. J. GREEN ENERGY, 12(9), 888-899.

[7] KANJAIKAEW, U., TONGURAI, C., CHONGKHONG, S. AND PRASERTSIT, K., 2018, TWO-STEP ESTERIFICATION OF PALM FATTY ACID DISTILLATE IN ETHYL ESTER PRODUCTION: OPTIMIZATION AND SENSITIVITY ANALYSIS, RENEW. ENERGY. 119: 336-344.

[8] YUSOFF, M. F. M., XU, X. AND GUO, Z., 2014, COMPARISON OF FATTY ACID METHYL AND ETHYL ESTERS AS BIODIESEL BASE STOCK: A REVIEW ON PROCESSING AND PRODUCTION REQUIREMENTS, J. AM. OIL CHEM. SOC. 91: 525-531.

- [9] WINAYANUWATTIKUN, P., 2011, GREEN CATALYTIC TECHNOLOGIES FOR BIODIESEL PRODUCTION, CHULALONGKORN J. ENERGY RES. 8(2): 61-75. (IN THAI)
- [10] GANVIR VN., S. A. AND D. V., 2016, COMPARATIVE STUDY OF TRANS ESTERIFICATION OF PONGAMIA PINNATA IN AN OSCILLATORY BAFFLED REACTOR (OBR) & CONVENTIONAL BATCH REACTOR, INT. J. OF LIFE SCI. A6: 29-32.
- [11] RAMNING AMOL M., DHOTE PRIYA S. AND GANVIR V.N., 2013, PRODUCTION OF NEEM OIL METHYL ESTER (NOME) FROM OSCILLATORY BAFFLED REACTOR, RES. J. RECENT SCI. 2: 223-228.
- [12] NATTHAPON, S. AND KRIT, S., 2015, OPTIMIZATION OF METHYL ESTER PRODUCTION FROM PALM FATTY ACID DISTILLATE USING SINGLE-STEP ESTERIFICATION: A RESPONSE SURFACE METHODOLOGY APPROACH, J. ENG. APPL. SCI. 10: 7075-7079.
- [13] PRASIT, T. AND SOMNUK, K., 2017, CIRCULATION BIODIESEL PRODUCTION PROCESS FROM PALM FATTY ACID DISTILLATE USING HELICAL STATIC MIXER, RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LANNA J. INNOV. TECHNOL. RES. 1(1): 99-108. (IN THAI)
- [14] SOUFI, M. D., GHOBADIAN, B., NAJAFI, G., MOHAMAD MOUSAVI, S. AND AUBIN, J., 2017, OPTIMIZATION OF METHYL ESTER PRODUCTION FROM WASTE COOKING OIL IN A BATCH TRI-ORIFICE OSCILLATORY BAFFLED REACTOR, FUEL PROCESS. TECHNOL. 167: 641-647.
- [15] YIN, P., CHEN, L., WANG, Z., QU, R., LIU, X. AND REN, S., 2012, PRODUCTION OF BIODIESEL BY ESTERIFICATION OF OLEIC ACID WITH ETHANOL OVER ORGANOPHOSPHONIC ACID-FUNCTIONALIZED SILICA, BIORESOUR TECHNOL. 110: 258-263.
- [16] DESHPANDE, D.P., KUMBHAR, S. AND DEHAKAR, P., 2017, OPTIMIZATION OF REACTION PARAMETER IN AN OBR, INT. J. ENG. RES. TECHNOL. 10(1): 258-263.