

การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกช่วยในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจาก
กรดไขมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันแบบกะ

Feasibility of Using Ultrasound-Assisted Biodiesel Production Process from
Palm Fatty Acid Distillate by Batch Esterification Reaction

ทนงค์ดี ประสิทธิ์^{1*}, ณัฐพล สร้อยสุวรรณ¹, อาริษา โสภารจารย์² และ กฤษ สมนึก¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
15 ถนนกาญจนวนิชย์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

²สาขาอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตรังภูมิ อำเภอรัษฎา จังหวัดสงขลา 90180

*ติดต่อ: E-mail: tanongsak.prasit@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 074-558830

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกเพื่อช่วยในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์ม (palm fatty acid distillate, PFAD) ด้วยปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันแบบกะซึ่ง PFAD เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (refined palm oil, RPO) และได้นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลของงานวิจัยนี้ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือกรดไขมันอิสระ (free fatty acid, FFA) ประมาณ 90.417 wt.% ดังนั้น PFAD จึงไม่ได้เป็นวัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตเป็นอาหาร ดังนั้นการใช้กรดไขมันปาล์มมาผลิตเป็นไบโอดีเซลจะช่วยลดปริมาณการใช้วัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตเป็นอาหารเช่นน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดเรพ น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์มในการทดลองใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่มีความถี่ 18 kHz กำลัง 1000 W โดยตัวแปรที่ศึกษา 3 ตัวแปรคือกรดซัลฟิวริก (ปริมาณ 2.5 wt.%, 5.0 wt.% และ 10.0 wt.%) แอลกอฮอล์ (ปริมาณ 80 wt.%, 90 wt.%, 100 wt.%, 150 wt.% และ 200 wt.%) และประเภทของแอลกอฮอล์ (เมทานอลและเอทานอล) ด้วยการเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกเป็นระยะเวลา 30 วินาทีจากการทดลองพบว่าที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 10 wt.% และปริมาณเมทานอลเท่ากับ 200 wt.% ได้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์สูงสุดเท่ากับ 97.435 wt.% และใช้กรดซัลฟิวริกเท่ากับ 10 wt.% และปริมาณเอทานอลเท่ากับ 200 wt.% ได้ความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเตอร์สูงสุดเท่ากับ 95.903 wt.% จากการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบแบบกะด้วยปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันสามารถเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกรดไขมันปาล์มให้เป็นเมทิลเอสเตอร์และเอทิลเอสเตอร์

คำหลัก: ไบโอดีเซล; กรดไขมันปาล์ม; คลื่นเสียง; เอสเตอร์ฟิเคชัน; เอทานอล; เมทานอล

Abstract

In this research, the feasibility of using ultrasound-assisted biodiesel production process from palm fatty acid distillate (PFAD) was studied with batch esterification reaction. The by-product from the refining process of refined palm oil (RPO), PFAD was used as the raw material for producing biodiesel. The PFAD containing 90.570 wt.% free fatty acid (FFA), which is not used for producing the food. Therefore, the PFAD will lessen competition with food resources for biodiesel production such as soybean oil, rapeseed oil, coconut oil, and crude palm oil. The 18 kHz, 1000 W ultrasonic homogenizer was carried out to study the ester conversions of biodiesel production from PFAD. Three parameters: sulfuric acid (2.5, 5.0, and 10 wt.%), alcohol (80, 90, 100, 150, and 200 wt.% of both methanol and ethanol) under the 30 s of ultrasonic reaction time, were investigated. The results showed that the 97.435 wt.% of maximum purity of methyl ester and 95.903 wt.% of maximum purity of ethyl ester were achieved, when both methanol and ethanol were used under the conditions: 10 wt.% sulfuric acid, 200 wt.% alcohol, and 30 s of ultrasonic reaction time. Almost FFA in PFAD can be

converted to methyl- and ethyl-ester by using a probe-type ultrasonic homogenizer in batch esterification reaction.

Keywords: biodiesel; palm fatty acid distillate; ultrasound; esterification; ethanol; methanol

1. บทนำ

พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีปริมาณการใช้ที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งไบโอดีเซลเป็นทางเลือกหนึ่งที่ผลิตจากทรัพยากรหมุนเวียนที่มีอยู่ภายในประเทศ เช่น น้ำมันพืชและไขมันสัตว์ [1]ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติการเผาไหม้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และสามารถใช้ทดแทนกันได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ อีกทั้งยังเป็นพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และลดการปล่อยก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม[2-4]

ปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มของประเทศในแถบภูมิภาคอาเซียนใน พ.ศ. 2558 สามารถผลิตน้ำมันปาล์มได้ปริมาณ 55.7 ล้านตัน โดยมีประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ได้แก่ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และไทย โดยสามารถผลิตได้ประมาณ 33, 20.5 และ 2.2 ล้านตัน ตามลำดับ [5]สำหรับประเทศไทยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล แต่เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบเป็นน้ำมันเพื่อการบริโภค หากนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลมากเกินไปจะทำให้เกิดการขาดแคลน จึงได้มีการศึกษาผลพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มดิบ เช่น กรดไขมันปาล์ม (palm fatty acid distillate, PFAD) เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล โดย PFAD มีคุณภาพและมีราคาต่ำกว่าน้ำมันปาล์มดิบและไม่จัดอยู่ในประเด็นด้านการนำมาบริโภคซึ่งปัจจุบัน PFAD ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอลเพื่อสกัดวิตามินอี และ อุตสาหกรรมผลิตสบู่ เป็นต้น แต่เนื่องจาก PFAD มีกรดไขมันอิสระ (free fatty acid, FFA) เป็นองค์ประกอบหลักมากกว่า 90% โดยน้ำหนักซึ่งไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยทั่วไปได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงค่า FFA ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ PFAD ให้เป็นเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ิฟิเคชัน[6,7]

เทคโนโลยีที่สำคัญที่นำมาใช้กับงานวิจัยนี้คือคลื่นเสียงอัลตราโซนิกโดยจากงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซลด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกได้สรุปไปใน

แนวทางเดียวกันว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผสมด้วยใบกวนและให้ความร้อนด้วยฮีทเตอร์การเร่งปฏิกิริยาด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกจะมีข้อดีมากกว่าคือลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาลดขนาดของเครื่องปฏิกรณ์และประหยัดพลังงานมากกว่าเช่น ทีมวิจัยของGude และคณะ (2013)ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกโดยตรงโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันใช้เวลาทำปฏิกิริยา 90 วินาทีและสามารถผลิตได้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์ 80 wt. %[8] ทีมวิจัยของBastante และคณะ (2014) ได้ศึกษาอิทธิพลการใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในชุดทดลองแบบกะ ซึ่งคลื่นเสียงอัลตราโซนิกช่วยลดเวลาในการทำปฏิกิริยาและช่วยประหยัดพลังงานซึ่งใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่ความถี่ 20 kHz สามารถผลิตเอสเทอร์ได้สูงสุดเท่ากับ 95.03% (จากน้ำมันเมล็ดเรพ), 94.66% (จากน้ำมันถั่วเหลือง), 81.37% (จากน้ำมันมะพร้าว) และ 93.08% (จากน้ำมันปาล์ม)[9]และทีมวิจัยของGuerra และคณะ (2014)ได้ศึกษาอิทธิพลของคลื่นเสียงอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่อง(continuous mode) และแบบช่วงๆ (pulse mode) โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันพืชใช้แล้ว (used vegetable oil, UVO) ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะใช้ความถี่ของคลื่นเสียงอัลตราโซนิก 20 kHz และกำลังสูงสุด 1000 W สำหรับคลื่นเสียงอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่องทำปฏิกิริยาที่เวลา 1-2 นาทีกำลังคลื่น 150 W สามารถผลิตไบโอดีเซลมีปริมาณผลได้ 93.5 wt. % และสำหรับคลื่นเสียงอัลตราโซนิกแบบช่วงๆ ได้ปริมาณผลได้ของไบโอดีเซล 98 wt. % ที่เวลาทำปฏิกิริยา 2.5 นาที[10]

วัตถุประสงค์และแนวคิดของงานวิจัยนี้ คือ ต้องการทราบถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกในการผลิตไบโอดีเซลแบบกะจากPFADที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงมากกว่า 90 wt. % มีตัวแปรอิสระคือปริมาณแอลกอฮอล์ (เมทานอล และเอทานอล) และปริมาณกรดซัลฟิวริก ที่ส่งผลต่อความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจาก PFAD ซึ่งคลื่นเสียงอัลตราโซนิกเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการช่วยเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดเวลาในการทำ

ปฏิกิริยา โดยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกจะทำให้เกิดปรากฏการณ์แควิเทชัน (cavitation) [11]

2. วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

กรดไขมันปาล์ม (PFAD) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ [12, 13] โดยมีองค์ประกอบคือ กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และเอสเทอร์ เท่ากับ 90.417 wt.% 5.041 wt.% 2.437 wt.% 1.231 wt.% และ 0.874 wt.% ตามลำดับซึ่งที่อุณหภูมิ 30°C จะมีลักษณะเป็นไขสีเหลืองและเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 43°C ดังแสดงในรูปที่ 1(ก) และ 1(ข) ตามลำดับสำหรับสารเคมีที่ใช้จะเป็นสารเคมีเกรดเชิงการค้าคือเมทานอลความบริสุทธิ์ 99% เอทานอลความบริสุทธิ์ 99.9% และกรดซัลฟิวริกความบริสุทธิ์ 98%



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 1 วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจาก PFAD ด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกแบบกะ
(ก) PFAD ที่อุณหภูมิ 30°C (ข) PFAD ที่อุณหภูมิ 43°C
(ค) ไบโอดีเซลดิบ และ (ง) ไบโอดีเซลบริสุทธิ์

2.2 วิธีการทดลอง

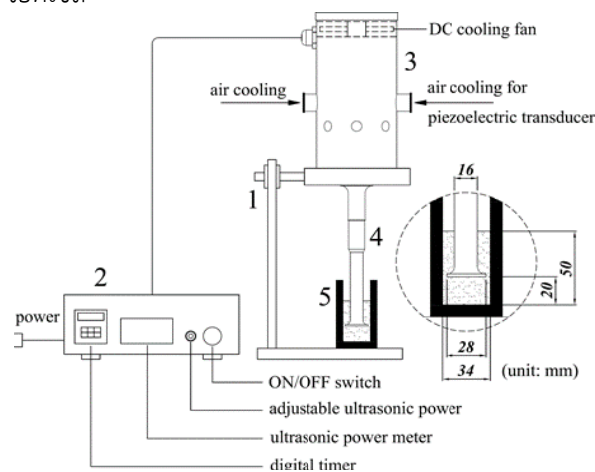
2.2.1 อุปกรณ์

การผลิตไบโอดีเซลจาก PFAD จะใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกเป็นตัวช่วยในการผสมและทำปฏิกิริยา โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ ultrasonic homogenizer มีกำลัง 1000 W ที่ความถี่ 18 kHz (model: AKHGZ-50420K) โดยมีชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 2 [14]

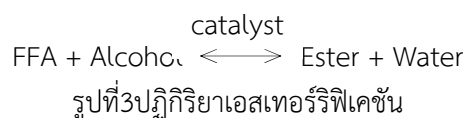
2.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์ม (PFAD) ด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกโดยใช้ปฏิกิริยาเอส-เทอร์ริเฟชันดังแสดงสมการในรูปที่ 3 [15] เริ่มจากการเตรียม PFAD จำนวน 200 กรัมในปิกเกอร์ขนาด 1000

มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนจนกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 43°C พร้อมกวน PFAD ด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar) ซึ่งจะใช้คู่กับเครื่องกวนสาร (magnetic stirrer) เพื่อให้อุณหภูมิของ PFAD เท่ากันทั้งปิกเกอร์ หลังจากนั้นจึงเติมแอลกอฮอล์ที่เตรียมไว้ผสมกับ PFAD ร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 50°C จึงดูดสารผสมระหว่าง PFAD กับแอลกอฮอล์ด้วยปิเปตใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ขวดแก้ว (glass reactor) พร้อมกับหยดกรดซัลฟิวริกเข้าไปผสมกับสารผสม จากนั้นจึงเปิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกโดยควบคุมที่ระยะเวลา 30 วินาที เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นจึงเก็บตัวอย่าง และนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 0°C ทันทีเพื่อหยุดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแบ่งชั้นออกเป็นสองชั้นโดยชั้นบนจะเป็นไบโอดีเซลดิบและชั้นล่างจะเป็นของเสียซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือน้ำดังรูปที่ 1(ค) หลังจากนั้นจึงนำไปโอดีเซลดิบไปล้างด้วยน้ำร้อนเพื่อกำจัดแอลกอฮอล์ กรดซัลฟิวริก และสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ตกค้างออก และนำไปอุ่นเพื่อระเหยน้ำที่ปะปนอยู่จากขั้นตอนการล้างเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ซึ่งมีสีส้มใส ดังแสดงในรูปที่ 1(ง) เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของไบโอดีเซล



รูปที่ 2 เครื่องปฏิกรณ์อัลตราโซนิกชนิดโรบบแบบกะ
(1: support stand with ring clamp, 2: ultrasonic generator, 3: ultrasonic homogenizer, 4: ultrasonic horn และ 5: glass reactor)



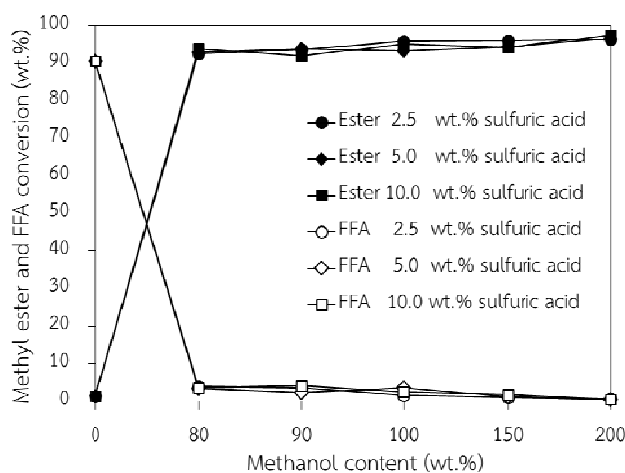
2.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันไบโอ-ดีเซลบริสุทธิ์ คือ ปริมาณเอสเทอร์ กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ โดยใช้เทคนิค thin layer chromatography with flame and ionization detection (TLC/FID)[16]

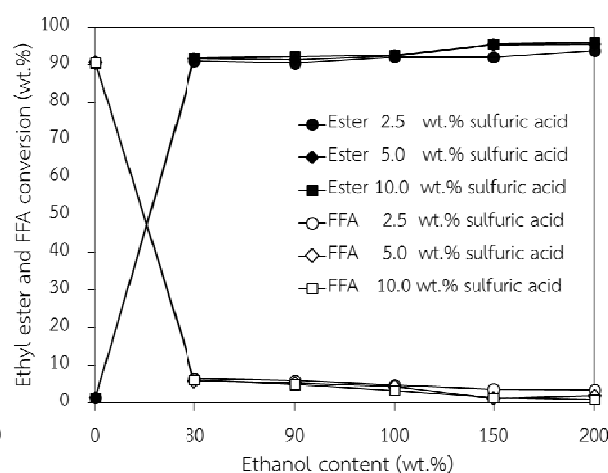
3. ผลการทดลองและการอภิปราย

สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกเพื่อช่วยในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันน้ำมัน (PFAD) ได้ทดลองใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบที่มีความถี่ 18 kHz กำลัง 1000 W และใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกแรงปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 วินาทีโดยตัวแปรที่ศึกษามี 3 ตัวแปรคือ ปริมาณกรดซัลฟิวริก (2.5 wt.% 5.0 wt.% และ 10.0 wt.%) ปริมาณแอลกอฮอล์ (80 wt.% 90 wt.% 100 wt.% 150 wt.% และ 200 wt.%) และประเภทของแอลกอฮอล์ (เมทานอลและเอทานอล) สำหรับกรณีใช้เมทานอลจากรูปที่ 4(ก) พบว่าที่ปริมาณเมทานอล 80 wt.% สามารถเปลี่ยนกรดไขมันอิสระ (FFA) ซึ่งเป็น

องค์ประกอบส่วนใหญ่ของ PFAD ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ และมีค่าอยู่ในช่วง 92-94 wt.% และเมื่อได้เพิ่มปริมาณเมทานอลเป็น 90 wt.% 100 wt.% 150 wt.% และ 200 wt.% พบว่าเมื่อใช้ปริมาณเมทานอลน้อยกว่า 150 wt.% ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่า 96 wt.% ที่ทุกเงื่อนไขของปริมาณกรดซัลฟิวริก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเป็น 200 wt.% และปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.5 wt.% 5.0 wt.% และ 10.0 wt.% สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้เท่ากับ 96.368 wt.% 96.523 wt.% และ 97.435 wt.% ตามลำดับสำหรับผลของปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยาเอส-เทอร์ฟิเคชันด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบแบบกะพบว่าค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกันเมื่อใช้เงื่อนไขปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.5 และ 5.0 wt.% กับปริมาณเมทานอล 200 wt.% แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 10.0 wt.% ทำให้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นประมาณ 1 wt.% เมื่อเปรียบเทียบกับที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 5.0 wt.% และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้กรดซัลฟิวริกที่เท่ากันเพื่อพิจารณาความมี



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 ปริมาณเอสเทอร์และกรดไขมันอิสระจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบแบบกะ
(ก) เมทิลเอสเทอร์จาก PFAD (ข) เอทิลเอสเทอร์จาก PFAD

นัยสำคัญของปริมาณเมทานอลพบว่าที่เงื่อนไขกรดซัลฟิวริก 2.5 wt.% สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ความบริสุทธิ์เท่ากับ 92.592 wt.% 93.670 wt.% 95.766 wt.% 96.011 wt.% และ 96.368 wt.% เมื่อใช้ปริมาณเมทานอลเท่ากับ 80 wt.% 90 wt.% 100 wt.% 150 wt.% และ 200 wt.% ในการทำปฏิกิริยาตามลำดับ โดยปริมาณของเมทานอลที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปฏิกิริยาเอส-เทอร์ฟิเคชันด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

ชนิดโพรบแบบกะมากกว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดซัลฟิวริกอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของกรดซัลฟิวริกที่สูงประมาณ 1.84 kg.L^{-1} [17] ทำให้ขณะเร่งปฏิกิริยาด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกต้องใช้เมทานอลในปริมาณมากเพื่อช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลระหว่างกรดไขมันน้ำมันเมทานอล และกรดซัลฟิวริก

สำหรับกรณีใช้เอทานอลจากรูปที่ 4(ข) พบว่าที่ปริมาณเอทานอล 80 wt.% สามารถทำให้ FFA เปลี่ยนไปเป็นเอทิลเอสเทอร์มีค่าความบริสุทธิ์ประมาณ 91 wt.% และเมื่อทดลองเพิ่มปริมาณเอทานอลเป็น 90 wt.% 100 wt.% 150 wt.% และ 200 wt.% พบว่าที่ปริมาณเอทานอลน้อยกว่า 150 wt.% ทำให้ความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเทอร์มีค่าน้อยกว่า 95 wt.% ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกทุกเงื่อนไข แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลเป็น 200 wt.% และปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.5 wt.% 5.0 wt.% และ 10.0 wt.% สามารถผลิตเอทิลเอสเทอร์ได้เท่ากับ 93.714 wt.% 95.610 wt.% และ 95.903 wt.% ตามลำดับและผลของปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกจาก 2.5 wt.% เป็น 5.0 และ 10.0 wt.% และปริมาณเอทานอล 200 wt.% ได้ค่าความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นประมาณ 1 wt.% แต่ที่ปริมาณเอทานอลน้อยกว่า 100 wt.% ความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเทอร์มีค่าใกล้เคียงกัน และการเพิ่มขึ้นของเอทานอลก็มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยคลิ่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบแบบกะอย่างมีนัยสำคัญอย่างไรก็ตามการใช้เอทานอลก็ยังใช้ในปริมาณสูงเช่นเดียวกับการใช้เมทานอล

จะเห็นได้ว่าในกรณีของการใช้เอทานอลจะได้ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ต่ำกว่ากรณีการใช้เมทานอล เช่น ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 10.0 wt.% และปริมาณแอลกอฮอล์ 200 wt.% ได้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์เท่ากับ 97.435 wt.% และ 95.903 wt.% ตามลำดับ อีกทั้งการใช้เอทานอลมาผลิตไบโอดีเซลก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเมื่อเทียบกับเมทานอล เนื่องจากราคาของเอทานอลที่สูงกว่าเมทานอล แต่อย่างไรก็ตามการใช้แอลกอฮอล์ทั้ง 2 ชนิดก็ยังมีปริมาณการใช้ในสัดส่วนที่สูงสำหรับผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มผ่านการเร่งปฏิกิริยาด้วยคลิ่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบแบบกะ

จากผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระมากกว่า 90 wt.% ด้วยคลิ่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบแบบกะโดยการใช้เมทานอล และเอทานอล พบว่ามีการใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่สูง เนื่องจากกรดซัลฟิวริกซึ่งมีความหนาแน่นสูงจึงทำให้ตกลงด้านล่างเครื่องปฏิกิริยาขณะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว โดยสัดส่วนของกรดซัลฟิวริกที่มากขึ้นจะ

ทำให้การผสมด้วยคลิ่นเสียงอัลตราโซนิกไม่สามารถทำให้กรดซัลฟิวริกแตกตัวได้หมด ดังนั้นการใช้คลิ่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบแบบกะเพียงอย่างเดียวจึงไม่เหมาะสมกับปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยควรจะมีการผสมสารทั้ง 3 ชนิดด้วยถังกวนผสม หรือท่อผสมแบบสตีต ก่อนสารผสมเข้าเครื่องปฏิกิริยาอัลตราโซนิกเพื่อลดปริมาณแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยา

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเบื้องต้นของการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มน้ำมัน (PFAD) ด้วยการประยุกต์ใช้คลิ่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบแบบกะ ทั้งการใช้เมทานอล และเอทานอล พบว่าที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 10.0 wt.% ปริมาณแอลกอฮอล์ 200 wt.% และใช้คลิ่นเสียงอัลตราโซนิกเร่งปฏิกิริยา 30 วินาที สามารถเปลี่ยนกรดไขมันอิสระ (FFA) ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ที่มีค่าความบริสุทธิ์สูงสุดเท่ากับ 97.435 wt.% และ 95.903 wt.% ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้คลิ่นเสียงอัลตราโซนิกมีความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจาก PFAD และสามารถทำปฏิกิริยาได้ในเวลาที่รวดเร็ว

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงานที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยและขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัยและสนับสนุนทุนวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ ENG5705635

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lam, M.K. and Lee, K.T. (2011). Chapter 15 production of biodiesel using palm oil, *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes*, pp. 353-374.
- [2] Yen Ping, B.T. and Yusof, M. (2009). Characteristics and properties of fatty acid distillates from palm oil, *Oil Palm Bulletin*, vol. 59, November 2009, pp. 5-11.

- [3] Ciolkosz, D. (2015). Chapter 34 - What's so different about biodiesel fuel?, *Bioenergy Biomass to Biofuels*, pp. 551 – 555.
- [4] Shahir, V.K., Jawahar, C.P. and Suresh, P.R. (2015). Comparative study of diesel and biodiesel on CI engine with emphasis to emissions - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, February 2015, pp. 686–697.
- [5] United States Department of Agriculture. (2015). *Palm Oil*. URL : <http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?>, access on 14/01/2016.
- [6] Chongkhong, S., Tongurai, C., Chetpat-tananondh, P. and Bunyakan, C. (2007). Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate, *Renewable Energy*, vol. 31, March 2007, pp. 563–568.
- [7] Yujaroen, D., Goto, M., Sasaki, M. and Shotipruk, A. (2016). Esterification of palm fatty acid distillate (PFAD) in supercritical methanol : Effect of hydrolysis on reaction reactivity, *Fuel*, vol. 88, February 2009, pp. 2011–2016.
- [8] Gude, V.G. and Grant, G.E. (2013). Biodiesel from waste cooking oils via direct sonication, *Applied Energy*, vol. 109, April 2013, pp. 135–144.
- [9] Sáez-Bastante, J., Pinzi, S., Arzamendi, G., Luque de Castro, M.D., Priego-Capote, F. and Dorado, M.P. (2014). Influence of vegetable oil fatty acid composition on ultrasound-assisted synthesis of biodiesel, *Fuel*, vol. 125, February 2014, pp. 183–191.
- [10] Martinez-Guerra, E. and Gude, V.G. (2015). Transesterification of waste vegetable oil under pulse sonication using ethanol , methanol and ethanol – methanol mixtures, *Waste Management*, vol. 34(12), February 2015, pp. 2611–2620.
- [11] Mason T. J. (1990). *Sonochemistry: The uses of ultrasound in chemistry*, ISBN: 0-85186-293-4, The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, The Science Park, Cambridge.
- [12] Gapor Md Top, A. (2010). Production and utilization of palm fatty acid distillate (PFAD), *Lipid Technology*, vol. 22(1), January 2010, pp. 11–13.
- [13] Soysuwan, N. and Somnuk, K. (2015). Optimization of methyl ester production from palm fatty acid distillate using single-step esterification: A response surface methodology approach, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 10(6), September 2015, ISSN 1819-6608.
- [14] Somnuk, K. and Prateepchaikul, G. (2014). Feasibility of using high-intensity ultrasound assisted biodiesel production from mixed crude palm oil in two-step process, *Advanced Materials Research*, vol. 875-877, February 2014, pp. 1687-1692.
- [15] Marchetti, M. and Errazu, A.F. (2009). Biodiesel production from acid oils and ethanol using a solid basic resin as catalyst, *Biomass and Bioenergy*, vol. 34(3), October 2009, pp. 272–277.
- [16] ทนงค์ศักดิ์ ประสิทธิ์, ณัฐพลณลำพูน, ณัฐพลสร้อยสุวรรณและกฤษสมนึก (2558). การผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันด้วยกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชันแบบกะ, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29*. 1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา.
- [17] Somnuk, K., Smithmaitrie, P. and Prateepchaikul, G. (2013). Optimization of continuous acid-catalyzed esterification for free fatty acids reduction in mixed crude palm oil using static mixer coupled with high-intensity ultrasonic irradiation, *Energy Conversion and Management*, vol. 68, January 2013, pp. 193–199.