สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเบื้องต้นการเกิดอีมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซล



นายธนวัฒน์ อุตตมะรูป
นายธิติ เธียรพฤทธิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45692
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Preliminary Study of Emulsion Forming in Biodiesel Purification

Mr.Tanawat Uttamaroop

Mr.Thiti Thianprued

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

For the Degree of Bachelor in Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นการเกิดอีมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซล

โดย นายธนวัฒน์ อุตตมะรูป
นายธิติ เธียรพฤทธิ์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

.....กรรมการ
(ดร.โจโกะ เทเรซ่า อิโต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นการเกิดอีมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซล
โดย นายธนวัฒน์ อุตตมะรูป
นายธิติ เธียรพฤทธิ์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการเกิดอีมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซลหลังจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้วกับเมทานอล โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (5, 15, 30, 45, 60, 120, 180 และ 300 นาที) การล้างและไม่ล้างน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยา ความเร็วรอบในการกวน (210 และ 594 รอบต่อนาที) และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างไบโอดีเซล (24 และ 60 องศาเซลเซียส)

การวิเคราะห์หาปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5, 15, 30, 45, 60, 120, 180 และ 300 นาที พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกัน สำหรับปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระจะลดลง จึงทำให้เกิดอีมัลชันน้อยเนื่องจากสบู่ของกรดไขมันอิสระเป็นสารก่ออีมัลชัน การล้างน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นมีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระน้อยกว่าการไม่ล้าง ในการทดลองล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำพบว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง 60 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวน 210 รอบต่อนาที จะเกิดอีมัลชันน้อยกว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง 24 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบในการกวน 594 รอบต่อนาที ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	A Preliminary Study of Emulsion Forming in Biodiesel Purification
By	Mr.Tanawat Uttamaroop
	Mr.Thiti Thianprued
Advisor	Asst. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya
Report for	Bachelor Degree of Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This research studied on the emulsion formation problem in biodiesel washing step after transesterification reaction of spent vegetable oil with methanol catalyzed by sodium hydroxide. The studied variables were transesterification reaction time (5, 15, 30, 45, 60, 120, 180 and 300 minutes), spent vegetable oil washed and not washed by water before transesterification reaction, stirring speed (210 and 594 rpm) and washing water temperature (24 and 60°C).

Gas Chromatography analysis demonstrated that there was no significant difference of the amount of monoglyceride, diglyceride and triglyceride synthesized at the different reaction times above. The quantitative analysis of sodium hydroxide and free fatty acid soap showed that when the reaction time increased, the quantities of sodium hydroxide and free fatty acid soap were decreased and would form less emulsion because free fatty acid soap was emulsifier. Spent vegetable oil being washed with water provided less sodium hydroxide and free fatty acid soap than another one not being washed with water. Experiments of biodiesel after transesterification showed that biodiesel synthesized for 5 hours and being washed with water at 60 °C at the stirring speed of 210 rpm would form less emulsion than biodiesel synthesized at the same period and being washed with water at 24 °C at the stirring speed of 594 rpm, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ และคุณธีระโชติ ศรีธีระโรจน์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ

คุณจักรพงษ์ ไชยบุรี และคุณชัชรี ไทยสุชาติ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย ทั้งนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายธนวัฒน์ อุตตมะรูป
นายธิติ เธียรพฤทธิ์
3 เมษายน 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1. บทนำ 1
2. ทฤษฎี
   - 2.1 ความหมายของไบโอดีเซล 4
   - 2.2 ไบโอดีเซลในประเทศไทย 4
   - 2.3 เหตุผลที่ต้องมีการพิจารณาการวิจัยเพื่อพัฒนาไบโอดีเซล 5
   - 2.4 ชนิดของไบโอดีเซล 6
   - 2.5 ความเหมาะสมของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง 10
   - 2.6 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล 11
   - 2.7 การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ 12
   - 2.8 สิ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกเทคนิคที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซลดิบ 13
3. ขั้นตอนการทดลอง
   - 3.1 การเปรียบเทียบปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ สบู่ของกรดไขมันอิสระ 14
     โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ของไบโอดีเซล
     ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นต่างๆ
   - 3.2 การเปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลจากการทำปฏิกิริยาที่ 30 นาที 16
     และ 5 ชั่วโมง ด้วยน้ำที่อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง 24 และ 60 องศาเซลเซียส
     ที่ความเร็วรอบ 210 และ 594 รอบต่อนาที
   - 3.3 การเปรียบเทียบการทำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่าน 17
     การล้างด้วยน้ำและไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยา
     ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

4.1 การเปรียบเทียบปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ สบู่ของกรดไขมันอิสระ 19
โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ของไบโอดีเซล
ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นต่างๆ

4.2 การเปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลจากการทำปฏิกิริยาที่ 30 นาที 24
และ 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง 24 และ 60 องศาเซลเซียส
ที่ความเร็วรอบ 210 และ 594 รอบต่อนาที

4.3 การเปรียบเทียบการทำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการล้าง 27
ด้วยน้ำและไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยา
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง 29

เอกสารอ้างอิง 30

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การคำนวณ

1. การหาค่ากรดในน้ำมัน 32
2. การคำนวณจำนวนกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ใน 34
การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น
3. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย 34
กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 โมลาร์
4. ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 35
และสบู่ของกรดไขมันอิสระต่อไบโอดีเซล 1 กรัม

ภาคผนวก ข ข้อมูลการไทเทรต 36

ภาคผนวก ค กราฟเปรียบเทียบความเร็วรอบในการกวน 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการแยกสลายน้ำมันพืชโดยความร้อน 7

รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไปจากการทำปฏิกิริยา 12
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น 15

รูปที่ 4.1 กราฟการไทเทรตน้ำมันไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นต่างๆกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 โมลาร์

รูปที่ 4.2 ปริมาณเปอร์เซ็นต์ไบโอดีเซลโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ 22
และไตรกลีเซอไรด์ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง 24
ด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 24 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวน
210 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง 24
ด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 24 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวน
594 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง 25
ด้วยน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวน 210 และ
594 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานาน 30 นาที 26
และ 5 ชั่วโมง ด้วยน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ
ในการกวน 210 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.7 กราฟการไทเทรตเปรียบเทียบการเตรียมน้ำมันพืชก่อนทำปฏิกิริยา 28
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น โดยไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 โมลาร์

รูปที่ ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการกวนและเลขบอกระดับความเร็วที่เครื่อง ... 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 น้ำมันพืชที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลในประเทศต่างๆ 2

ตารางที่ 2.1 จุดหลอมเหลวของไขมันอิสระ กลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ 9
เปรียบเทียบกับเมทิลเอสเทอร์

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระของไบโอดีเซล 19
ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณเปอร์เซ็นต์ไบโอดีเซลโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ 21
และไตรกลีเซอไรด์

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระของไบโอดีเซล 27
ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง

ตารางที่ ข-1 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น 45 นาที 36

ตารางที่ ข-2 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น 60 นาที 37

ตารางที่ ข-3 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น 120 นาที 38

ตารางที่ ข-4 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น 180 นาที 39

ตารางที่ ข-5 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น 300 นาที 40

ตารางที่ ข-6 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น 300 นาที 41
(น้ำมันพืชใช้แล้วผ่านการล้างด้วยน้ำก่อนการทำปฏิกิริยา)

ตารางที่ ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการกวนและเลขบอกระดับความเร็ว 42
ที่เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา [1-2,4]

ปัจจุบันทั่วโลกประสบปัญหาด้านราคาน้ำมันที่สูงจึงเป็นสาเหตุให้มีการศึกษาแหล่งเชื้อเพลิงอื่นเพื่อทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม โดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียนที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น น้ำมันพืชเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจโดยนำไปใช้กับเครื่องยนต์ประเภทต่างๆ ทั้งเครื่องยนต์ทางการเกษตร เครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องยนต์เบนซิน

การทดลองใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงมีมาตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นมากมาย เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลมีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลให้การเผาไหม้เกิดได้ยากกว่า และไม่สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำๆ นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชโดยตรงกับเครื่องยนต์แบบเดิมจึงไม่เหมาะสม ถ้าจะนำมาใช้ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ก่อน ซึ่งเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก ปัญหาดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถแก้ไขโดยใช้สารประกอบเอสเทอร์ ซึ่งได้จากการนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ได้สารที่เรียกว่า ไบโอดีเซล ในต่างประเทศยังคงมีการวิจัยการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลอย่างต่อเนื่อง โดยใช้น้ำมันพืชจากพืชน้ำมันที่มีปริมาณการเพาะปลูกมากในแต่ละประเทศ ตามที่แสดงในตารางที่ 1 ในปัจจุบันได้มีการตั้งโรงงานเพื่อผลิตไบโอดีเซลเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากวิกฤตน้ำมันของโลก รวมถึงปัญหาทางภาคการเกษตรด้านผลผลิตล้นตลาด ราคาตกต่ำ ปัญหาทางการเงินของประเทศที่ต้องการรักษาเงินตราต่างประเทศ และที่สำคัญคือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้น สำหรับประเทศไทยได้เริ่มมีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 โดยทดลองใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล แต่ก็ยังพบว่ามีปัญหากับเครื่องยนต์ ยังต้องมีการวิจัยและพัฒนาอีกต่อไป

ในการผลิตไบโอดีเซลจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น ภายหลังจากทำปฏิกิริยาแล้วจะต้องมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างโดยการล้างด้วยน้ำ ปัญหาที่มักเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้คือ ปัญหาเรื่องการเกิดอีมัลชันซึ่งมีผลทำให้ได้ปริมาณไบโอดีเซลน้อยลง จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะทำการวิจัยหาสาเหตุของการเกิดอีมัลชัน และหาทางแก้ไขเพื่อให้เกิดอีมัลชันน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 น้ำมันพืชที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลในประเทศต่างๆ [4]

ประเทศ	ชนิดของน้ำมัน
ฝรั่งเศส	เมล็ดเรพ ทานตะวัน
สเปน	เมล็ดเรพ ทานตะวัน
อิตาลี	ถั่วเหลือง
ออสเตรีย	น้ำมันที่ใช้แล้ว
เยอรมัน	เมล็ดเรพ น้ำมันที่ใช้แล้ว
สหรัฐอเมริกา	ถั่วเหลือง
มาเลเซีย	ปาล์ม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาสาเหตุการเกิดอีมัลชันในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำหลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นที่เวลาต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษากระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาขั้นตอนผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและศึกษาปัญหาของการแยกสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้หลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

1.3.2 ทำการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นและวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ สบู่ของกรดไขมันอิสระ ไบโอดีเซล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์

1.3.3 ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาล้างด้วยน้ำและไม่ล้างด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น โดยวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระ

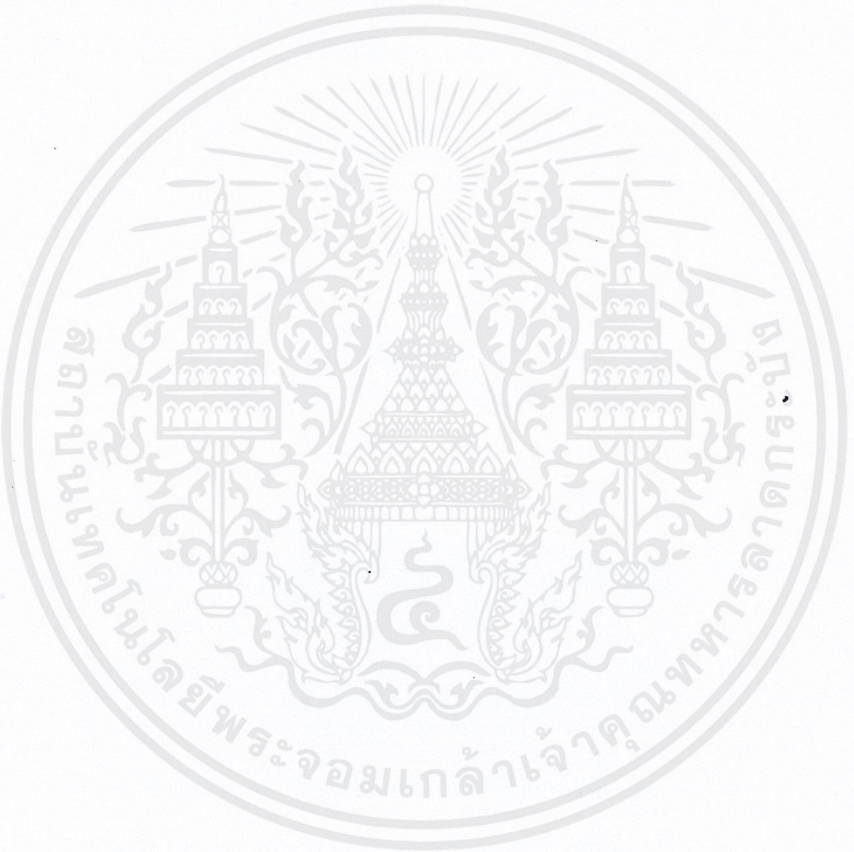
1.3.4 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดอีมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซล คือ ความเร็วรอบในการกวน อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงานวิจัย

1.4.1 สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอีมัลชันในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลหลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

1.4.2 สามารถผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วได้ และสามารถลดการเกิดอีมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซลหลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ความหมายของไบโอดีเซล [5]

ไบโอดีเซลในทางวิชาการและการใช้งานของต่างประเทศทั้งในสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศยุโรป หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการนำน้ำมันพืชดิบชนิดต่างๆมาสกัดเอายางเหนียวและสิ่งเจือปนออก จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) และกลีเซอไรด์ (Glyceride) ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ หรือเรียกว่า ไบโอดีเซล โดยเมทิลเอสเทอร์มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดเล็ก มีความเสถียรภาพ และมีความหนืดน้อยกว่าน้ำมันพืช ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ทดแทนเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

สำหรับน้ำมันพืชที่ประเทศไทยนำมาใช้งานในขณะนี้ มีแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญ คือ ปาล์ม และมะพร้าว โดยเป็นการนำเอาน้ำมันพืชที่เป็นน้ำมันพืชดิบ หรือน้ำมันพืชกลั่น มาผสมกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าดในสัดส่วนที่แตกต่างกัน และนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีความแตกต่างจากไบโอดีเซลที่มีการใช้งานในต่างประเทศที่เป็นลักษณะของการนำเอาเมทิลเอสเทอร์มาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล

2.2 ไบโอดีเซลในประเทศไทย [5]

ประเภทของน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันชนิดอื่นๆที่มีใช้งานในประเทศไทย ประกอบด้วย

2.2.1 น้ำมันพืชผสมที่คิดค้นโดยภูมิปัญญาชาวบ้าน เป็นการนำน้ำมันพืชดิบมาผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทอื่น เพื่อลดความหนืดและนำไปเติมใช้งานในรถยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์ทางการเกษตร ได้แก่

ก) สูตรอำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสาครใช้น้ำมันมะพร้าวดิบ:น้ำมันก๊าด:น้ำมันดีเซลในอัตราส่วนโดยปริมาตร 20:1:4

ข) สูตรอำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ใช้น้ำมันมะพร้าวดิบ:น้ำมันก๊าดในอัตราส่วนโดยปริมาตร 20:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) สูตรจังหวัดชุมพร ใช้น้ำมันปาล์มดิบ:น้ำมันก๊าด:น้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนโดยปริมาตร 60:7:40

2.2.2 น้ำมันพืชผสมที่นำเสนอโดยการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) เป็นการนำน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการกลั่น ได้แก่ น้ำมันปาล์มกลั่น หรือน้ำมันมะพร้าวกลั่น มาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนโดยปริมาตร 1:9 โดยปตท.มีแผนการผลิตและจำหน่ายใช้งานกับรถยนต์ดีเซลของหน่วยงานราชการและรัฐวิสาหกิจ ตามมติคณะกรรมการที่ปรึกษานายกรัฐมนตรีฝ่ายติดตามการปฏิบัติราชการ เพื่อเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรในเรื่องปัญหาราคาน้ำมันปาล์มและมะพร้าวตกต่ำ

2.3 เหตุผลที่ต้องมีการพิจารณางานวิจัยเพื่อพัฒนาไบโอดีเซล [3]

2.3.1 วิกฤตของแหล่งน้ำมัน

ในอนาคตน้ำมันดิบจะค่อยๆหมดไปจากส่วนต่างๆบนโลก คาดว่าน้ำมันดิบทางทะเลเหนือจะหมดไปในปี ค.ศ.2010 [7] ทุกประเทศจะต้องหาทางเลือกเกี่ยวกับพลังงานของตนเอง ไม่ว่าจะเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือพลังงานน้ำ เป็นต้น

2.3.2 วิกฤตสิ่งแวดล้อม

ก) ไบโอดีเซลชนิดผสมเอสเทอร์ของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ เมื่อเผาผลาญจะให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่าน้ำมันดีเซลปกติ และไม่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ข) ลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิงปกติลง การใช้ไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์จะลดผลของปรากฏการณ์เรือนกระจกได้อย่างน้อย 3.2 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์สมมูลต่อกิโลกรัมของไบโอดีเซลที่ใช้ [10] อาจกล่าวได้ว่า ก๊าซผสมในกลุ่มซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะลดลง 99 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซผสมในกลุ่มของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง 32 เปอร์เซ็นต์ และในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ [7]

ค) ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติของน้ำมันธรรมชาติอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ สามารถถูกจุลินทรีย์ในธรรมชาติย่อยสลายได้ มีรายงานว่าไบโอดีเซลสามารถถูกย่อยสลายได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 3 สัปดาห์ ในสภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 สถานภาพของเศรษฐกิจทางเกษตรของประเทศ

สำหรับประเทศไทยนั้น ปัญหาราคาพืชผลตกต่ำ เป็นปัญหาต่อเนื่องมาตลอด การสร้างเสถียรภาพของราคาสินค้าเกษตร คือ การสร้างความต้องการที่คงที่ การพัฒนาสินค้าเกษตรไปเป็นวัตถุดิบของพลังงานจะเป็นการแก้ปัญหาที่ได้ผลทั้งระยะสั้นและระยะยาว

2.4 ชนิดของไบโอดีเซล [3]

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.4.1 การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง

น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันเกาะอยู่ ในสูตรโครงสร้างของกรดไขมันมี R เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่ง R จะมีสูตรโครงสร้างเป็น C_nH_{2n+1} ซึ่งจะมีลักษณะใกล้เคียงกับสูตรโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มพาราฟิน ที่มีสูตรโครงสร้างเป็น C_nH_{2n+2} จึงทำให้เกิดคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงได้ใกล้เคียงกัน การเอาน้ำมันพืชมาผสมกับน้ำมันดีเซลทำได้ง่าย เพราะน้ำมันพืชในอุณหภูมิปกติเป็นของเหลวจึงผสมเข้ากันได้ทันที และการผลิตใช้ต้นทุนต่ำกว่าวิธีอื่นๆที่จะกล่าวต่อไป น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่างๆที่วางจำหน่ายในประเทศไทยเป็นการผสมด้วยวิธีนี้เป็นส่วนใหญ่

การผลิตไบโอดีเซลวิธีนี้ถือว่าเป็นการผลิตไบโอดีเซลอย่างง่ายที่สุด ความสะดวกและข้อดีของการเตรียมไบโอดีเซลแบบผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง คือ

(1) น้ำมันพืชในธรรมชาติเป็นของเหลว จึงสามารถผสมได้โดยตรงทันที

(2) น้ำมันพืชมีพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้สูง คือ ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันดีเซล

(3) ผลิตได้จากพืชหลายๆชนิด ฉะนั้นแต่ละแหล่งพื้นที่สามารถใช้น้ำมันพืชที่มีในแหล่งนั้นๆได้

จากคุณสมบัติที่แตกต่างกันระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันพืชจะทำให้เกิดปัญหาดังต่อไปนี้

- ความหนืด ในการผสมน้ำมันพืชในน้ำมันดีเซลนั้น สามารถผสมได้ตั้งแต่ 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปัจจัยสำคัญที่กำหนดปริมาณน้ำมันพืชที่ใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล คือ ค่าความหนืด และความบริสุทธ์ของน้ำมันพืช ไบโอดีเซลที่ผลิตโดยวิธีนี้มีความหนืดสูง และความหนืดจะแปรผันกับอุณหภูมิอย่างมาก เมื่ออุณหภูมิต่ำ ไบโอดีเซลจะมีความหนืดสูงทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำมันไบโอดีเซลเป็นไปได้ไม่สะดวก มีผลทำให้การติดเครื่องทำได้ยากและเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาในเครื่องยนต์ เช่น เครื่องเดินสะดุด การสันดาปไม่สมบูรณ์และไม่ต่อเนื่อง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

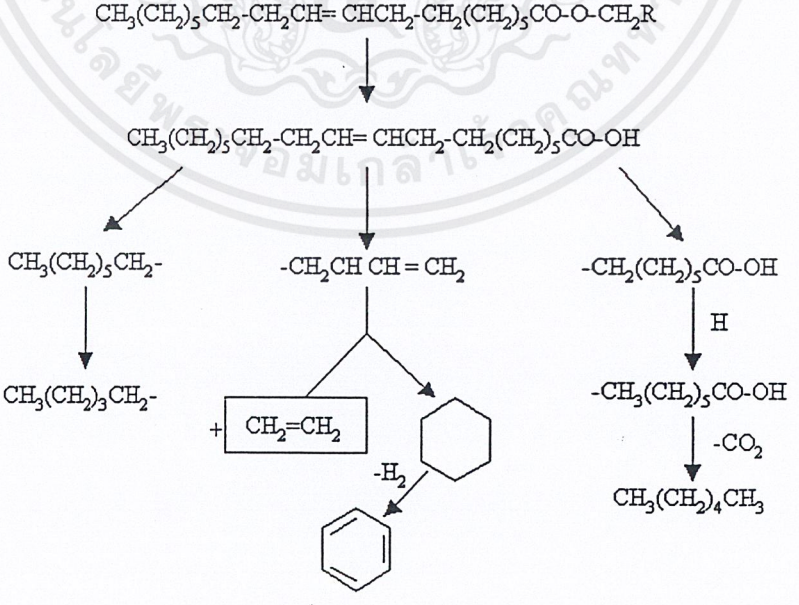
- องค์ประกอบและสิ่งเจือปน เช่น น้ำ หรือ Gum เป็นสาเหตุให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดเขม่าในเครื่องยนต์ ชนิดของน้ำมันพืชที่แตกต่างกันก็จะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่างชนิดกัน กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเหล่านี้เมื่อถูกความร้อนสามารถจะรวมกันเป็นสารโมเลกุลสูง สารเหล่านี้จะเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และทำให้เกิดเขม่า

2.4.2 การทำไมโครอีมัลชั่น

ในการแก้ไขปัญหาความหนืดของไบโอดีเซลชนิดผสมโดยตรง อาจทำได้โดยการใช้ตัวทำละลายบางชนิด และทำให้เกิดการกระจายตัวที่สมดุล ก็สามารถเพิ่มคุณสมบัติในการเผาไหม้ให้ดีขึ้น [8,11] ไบโอดีเซลชนิดนี้มีส่วนประกอบของสารมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด สำหรับประเทศไทยมีสูตรผสมบางสูตรที่เป็นการผสมระหว่างน้ำมันหลายๆชนิด เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล น้ำมันก๊าด และน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งถือได้ว่าเป็นกลุ่มของไมโครอีมัลชั่น

2.4.3 การแยกสลายน้ำมันพืชโดยความร้อน

การแยกสลายสารโดยความร้อน คือ การเปลี่ยนแปลงสารจากชนิดหนึ่งเป็นอีกชนิดหนึ่งโดยใช้ความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นไปด้วยความสลับซับซ้อน และอาจจะมีการเกิดเป็นสารได้หลายๆชนิดพร้อมๆกัน ตัวอย่างดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการแยกสลายน้ำมันพืชโดยความร้อน [11]

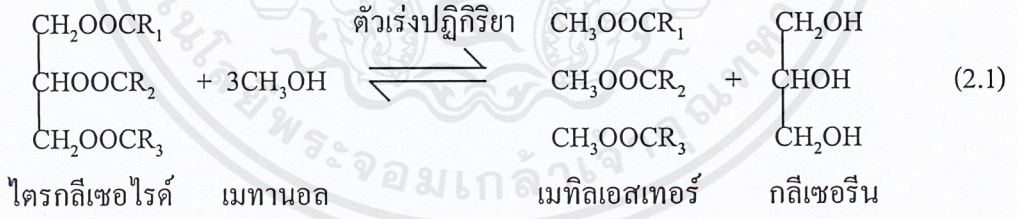
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

วิธีนี้เป็นวิธีมาตรฐานทั่วๆไปสำหรับการผลิตไบโอดีเซล เมื่อกล่าวถึงไบโอดีเซลที่ผลิตในยุโรปหรือสหรัฐอเมริกา ปฏิกิริยานี้เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มแอลกอฮอล์กับกรดไขมันหรือน้ำมัน ปฏิกิริยาเป็นแบบย้อนกลับได้ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาและต้องใช้แอลกอฮอล์มากกว่าที่คำนวณได้ จากปฏิกิริยาผลได้ (Yield) จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ-ริฟิเคชั่นขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการทดลอง โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่อผลได้คือ อัตราส่วนของน้ำมันพืชต่อแอลกอฮอล์ ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา รวมถึงปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันด้วย โดยกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับด่างที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นผลให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดช้าลง

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาส่วนมากมักจะใช้เมทานอลหรือเอทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา ทั้งนี้เพราะราคาถูก หาง่าย และมีคุณสมบัติที่ดี เป็นโมเลกุลที่มีขั้วและโมเลกุลเล็ก แต่ปฏิกิริยานี้ต้องไม่มีน้ำ เพราะน้ำจะไปทำให้เกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification) ซึ่งหมายถึงการเกิดสบู่ จะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเอสเทอร์ลดลงและการแยกกลีเซอรอลออกจากเอสเทอร์ทำได้ยากมากขึ้น ดังนั้นการเตรียมด่างในปฏิกิริยาจะใช้ด่างละลายในเมทานอลแทนน้ำ

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นในการผลิตไบโอดีเซล สามารถเขียนได้ดังสมการ



เมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรีนนั้นจำเป็นต้องแยกออกจากกัน เพราะเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์เท่านั้นที่มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงที่ดี จากตารางที่ 2.1 เมื่อเปรียบเทียบจุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่างๆที่อยู่ในรูปเมทิลเอสเทอร์กับที่อยู่ในรูปโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ จะเห็นว่าจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่อยู่ในรูปเมทิลเอสเทอร์จะต่ำกว่าในรูปโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ นั่นหมายถึงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมทิลเอสเทอร์มีสถานะเป็นของเหลว ดังนั้นน้ำมันพืชหรือไขมันของสัตว์ที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นก็จะเป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่เหลวและสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 จุดหลอมเหลวของกรดไขมันอิสระ กลีเซอไรด์ชนิดต่างๆเปรียบเทียบกับเมทิลเอสเทอร์ [6]

กรดไขมัน		จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)				
ชื่อ	คาร์บอน	กรดไขมันอิสระ	Methyl Ester	(1)-Monoglyceride	(1,3)-Diglyceride	Triglyceride
Myristic	14	54.4	18.8	70.5	66.8	57.0
Palmitic	16	62.9	30.6	77.0	76.3	63.5
Stearic	18	69.6	39.1	81.5	79.4	73.1
Oleic	18:1	16.3	-19.8	35.2	21.5	5.5
Linoleic	18:2	-6.5	-35.0	12.3	-2.6	13.1

ข้อดีและข้อจำกัดของไบโอดีเซลเมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล [1,4-5]

ข้อดี

(1) เป็นพลังงานทดแทนที่หมุนเวียน และสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบภายในประเทศ

(2) ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายทางชีวภาพได้ ไม่มีซัลเฟอร์และสารก่อมะเร็ง

(3) ค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล นั่นคือจุดติดไฟได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ ทำให้ได้คาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซ้ำเติมสิ่งแวดล้อม

(4) ความหนืดคงที่ จึงตัดปัญหาเรื่องความหนืดออกไปได้

(5) สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลแบบเดิม โดยไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ และสามารถเก็บได้ในที่เก็บน้ำมันดีเซลที่มีอยู่แล้ว

(6) ลดปริมาณการปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ลดปัญหาการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกได้

(7) สามารถใช้โดยนำมาผสมน้ำมันดีเซลหรือไม่ต้องผสมกับน้ำมันดีเซลก็ได้

(8) ช่วยหล่อลื่นมากกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นจึงช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์

(9) มีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล แสดงให้เห็นว่ามีความปลอดภัยในการขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัด

(1) มีราคาแพง ต้นทุนสูงกว่าไบโอดีเซลแบบอื่นๆ

(2) เครื่องยนต์ให้กำลังต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

(3) มีการสร้างแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เพิ่มขึ้น

(4) ต้องดัดแปลงส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่เป็นยาง ซึ่งสามารถถูกทำลายโดยไบโอดีเซลได้

(5) ในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำอาจมีความจำเป็นต้องเติมสารเติมแต่ง

สำหรับการวิจัยนี้จะศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่น เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ต่อไปในการกล่าวถึงไบโอดีเซลจะหมายถึงไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

2.5 ความเหมาะสมของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง [1]

มีรายงานเกี่ยวกับการใช้ไบโอดีเซลในประเทศอังกฤษและสหรัฐอเมริกาว่าไบโอดีเซลเป็นสารไม่มีพิษ ย่อยสลายทางชีวภาพได้ ไม่มีซัลเฟอร์และสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลแบบดั้งเดิมโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ แต่มีปัญหาที่ราคาของไบโอดีเซลสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก เช่นในสหรัฐอเมริกา น้ำมันดีเซลมีราคา 0.7 ดอลลาร์ต่อแกลลอน ในขณะที่ไบโอดีเซลมีราคา 2.2 ดอลลาร์ต่อแกลลอน ดังนั้นในประเทศอังกฤษและสหรัฐอเมริกาจึงใช้เชื้อเพลิงนี้ในรูปเชื้อเพลิงผสม โดยผสมน้ำมันดีเซลต่อไบโอดีเซลในอัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนดังกล่าวสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ในปี 2000

วิสัยทัศน์รัฐบาลเกี่ยวกับไบโอดีเซลและเอทานอลในประเทศไทย ปัจจุบันทั่วโลกกำลังให้ความสนใจเกี่ยวกับปัญหาในเรื่องของมลพิษและมลภาวะที่มีผลต่อคุณภาพชีวิตของคนและโลก ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องจักรกลและรถยนต์ทั่วโลก เมื่อสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งชาติสหรัฐอเมริกา หรือ EPA (Environmental Protection Agency) มีมติให้ดำเนินการยกเลิกการผสมเมทิลเทอร์เชียรี่บิวทิลอีเทอร์ (Methyl t-buthyl ether) หรือ MTBE ซึ่งเป็นสารเพิ่มออกเทนในน้ำมันเบนซิน เพราะก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม โดยให้ใช้เอทานอลแทน เนื่องจากเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มาจากพืช เอทานอลจึงได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้น นั่นคือทันทีที่ประกาศใช้เอทานอลแทนเมทิลเทอร์เชียรี่บิวทิลอีเทอร์ ความต้องการเอทานอลในตลาดโลกก็เพิ่มมากขึ้นทันที แค่มลรัฐแคลิฟอเนียรัฐเดียว ก็ใช้กันถึง 20 ล้านลิตรต่อวัน ยังไม่นับถึงการที่นำเอทานอลไปผสมกับน้ำมันดีเซลทำเป็นดีโซฮอล์เพื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

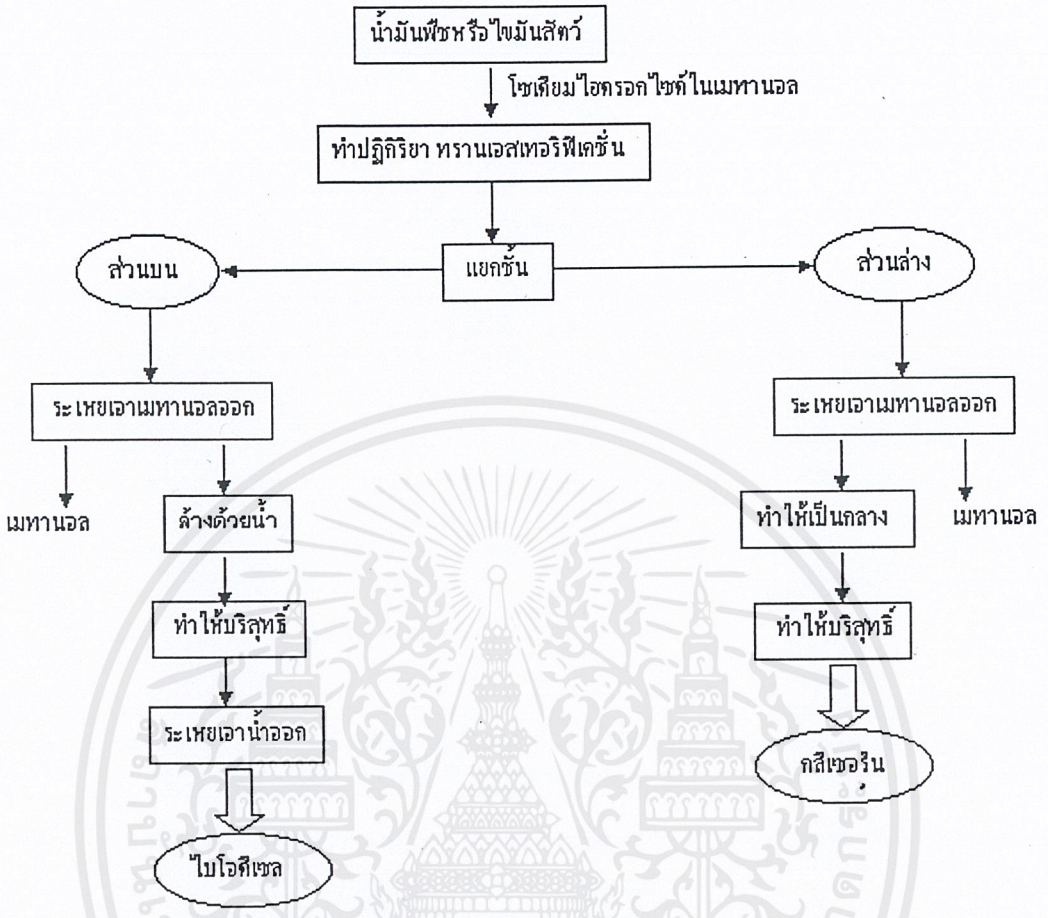
หลังจากนั้นไม่นานสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งชาติสหรัฐอเมริกาได้ออกมาประกาศให้ลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลจาก 500 ส่วนในล้านส่วน ให้เหลือแค่ 50 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งทำให้เกิดกระแสความต้องการสารที่จะใช้ผสมในน้ำมันดีเซลเพื่อเพิ่มความสามารถในการหล่อลื่นแทนกำมะถัน และสารดังกล่าวก็คือสารไดเมทิลเอสเทอร์ หรือไบโอดีเซลเอสเทอร์ ซึ่งเหมือนเป็นการเปิดตลาดใหม่ สำหรับการแปรรูปไบโอดีเซลเป็นสารทดแทนกำมะถันในน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกับที่เอทานอลแทน MTBE สำหรับประเทศไทยใช้น้ำมันดีเซล 15,000 ล้านลิตรต่อปี ถ้าใช้ไบโอดีเซลผสม 5 เปอร์เซ็นต์ จะต้องใช้ไบโอดีเซลถึง 750 ล้านลิตรต่อปี หรือประมาณ 2 ล้านลิตรต่อวัน

เช่นเดียวกับประเทศอื่นๆในแถบภูมิภาคเอเชีย ที่กำลังตื่นตัวรับกระแสความต้องการไบโอดีเซล ประเทศไทยก็มีโอกาสที่จะเป็นยักษ์ใหญ่ในการผลิตไบโอดีเซลและเอทานอลเพื่อป้อนให้ตลาดขนาดใหญ่ ทั้งยังสามารถลดปัญหาเรื่องการว่างงานในประเทศได้เป็นอย่างดีอีกด้วย ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของแนวทางเศรษฐกิจแบบใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับประเทศไทยที่เป็นประเทศเกษตรกรรม อีกทั้งประเทศไทยยังมีวัตถุดิบจำนวนมากที่จะนำมาแปรรูปให้ได้เอทานอล เช่น มันสำประหลังอ้อย เป็นต้น

2.6 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น โดยใช้เมทานอล และมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถทำได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไป จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น [3]

2.7 การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

หลังจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นและผ่านการแยกส่วนของไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรีน ไบโอดีเซลดิบที่ได้ยังคงมีสิ่งปนเปื้อน และมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดปัญหาในการนำไบโอดีเซลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงต้องผ่านขั้นตอนที่จะทำให้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์มากขึ้น

ขั้นตอนย่อยของการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ มีดังนี้

2.7.1 การขจัดเมทานอล เนื่องจากในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งอาจจะมีเมทานอลบางส่วนหลงเหลืออยู่ โดยการขจัดเมทานอลนี้จะนำเมทานอลกลับไปใช้ใหม่หรือขจัดทิ้งออกไป ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่จะเลือกใช้และแนวคิดที่จะนำเมทานอลกลับมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การล้างไบโอดีเซลดิบ เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างและสกัดสิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลดิบออก

2.7.3 การขจัดน้ำ หลังจากการทำปฏิกิริยาและการล้างไบโอดีเซลดิบแล้ว จะมีน้ำอยู่บางส่วนในไบโอดีเซล ซึ่งต้องขจัดออกโดยการระเหย

จากขั้นตอนย่อยๆเหล่านี้ ขั้นตอนที่สำคัญและยุ่งยากที่สุด คือ การล้างไบโอดีเซลดิบ เพราะมีสิ่งที่ต้องคำนึงอยู่มากมาย การล้างไบโอดีเซลดิบจะใช้หลักการสกัดของเหลวด้วยของเหลว ซึ่งเหมาะสมกับการสกัดสิ่งปนเปื้อนและลดค่าความเป็นกรด-ด่างในไบโอดีเซล สารที่ใช้สกัดมักจะเป็นน้ำหรือน้ำผสมกรดเล็กน้อย

2.8 สิ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกเทคนิคที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซลดิบ

2.8.1ค่าความเป็นกรด-ด่างของไบโอดีเซลหลังจากการล้าง

การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของไบโอดีเซล เป็นวัตถุประสงค์หลักในการล้างไบโอดีเซล เทคนิคที่จะนำมาใช้จึงต้องสามารถปรับความเป็นกรด-ด่างของไบโอดีเซลให้ใกล้เคียงค่าความเป็นกลาง หรือมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7

2.8.2 การเกิดอีมัลชัน

การเกิดอีมัลชันระหว่างในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซล จะทำให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้หลังจากการสกัดลดลง และเป็นการเพิ่มสิ่งปนเปื้อน ทำให้ขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลเป็นไปได้ยากมาก

2.8.3 การกัดกร่อน

บางเทคนิคอาจจะมีข้อจำกัดในเรื่องของวัสดุที่จะนำมาใช้สร้างเป็นถังล้าง เนื่องจากไบโอดีเซลดิบนั้นจะมีสภาพเป็นด่างค่อนข้างสูง และมีลักษณะเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว ซึ่งอาจจะกัดกร่อนวัสดุบางประเภทได้

2.8.4 เวลาที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซล

เป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกเทคนิคการล้างไบโอดีเซลอีกตัวแปรหนึ่ง โดยเฉพาะการประยุกต์ให้เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องโดยอาศัยหลักการถ่ายเทมวล ซึ่งต้องพิจารณาเวลาที่น้ำสัมผัสกับไบโอดีเซลเพื่อถ่ายเทมวลโซเดียมไฮดรอกไซด์จากไบโอดีเซลมาสู่น้ำจนค่าความเป็นกรด-ด่างในไบโอดีเซลประมาณ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 การเปรียบเทียบปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ สบู่ของกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ของไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นต่างๆ

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- สารเคมี

1) น้ำมันพืชใช้แล้ว
2) เมทานอล เกรดทางการค้า
3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์
4) กรดไฮโดรคลอริก เกรดวิเคราะห์ ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์

- อุปกรณ์

1) ชุดอุปกรณ์การทำปฏิกิริยา
2) บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร
3) กรวยแยก
4) แท่งแม่เหล็กสำหรับกวน
5) ปีเปตขนาด 25 มิลลิลิตร
6) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
7) ขวดเก็บสารตัวอย่าง
8) กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร
9) เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง
10) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

1) หาค่ากรด (acid value) ในน้ำมันพืชใช้แล้ว เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่จะใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (ดูภาคผนวก ก ข้อที่ 1)

2) เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามที่คำนวณไว้ดังข้อที่ 1

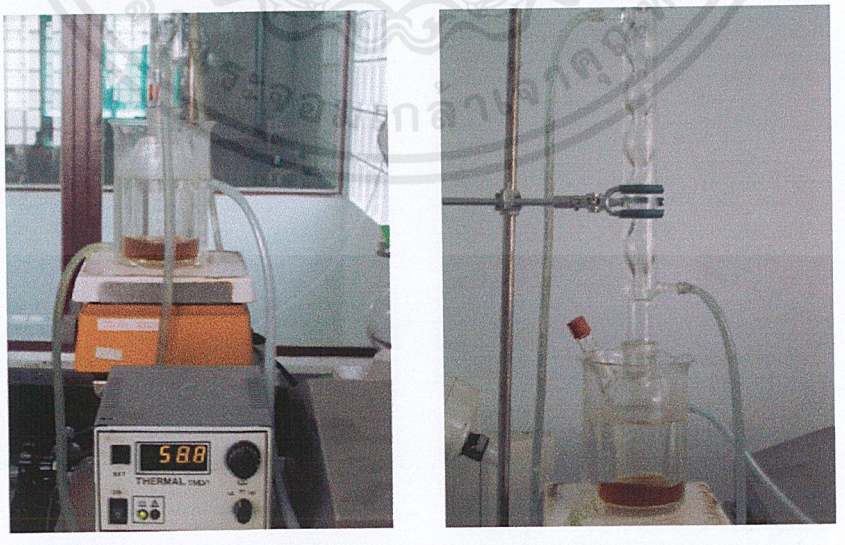
3) จัดชุดอุปกรณ์สำหรับทำปฏิกิริยา ดังรูปที่ 3.1

4) ใส่น้ำมันพืชใช้แล้ว 400 กรัม ลงในขวดทำปฏิกิริยา ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เติมสารละลายที่ได้จาก ข้อ 2 จำนวน 80 มิลลิลิตร ลงในขวดทำปฏิกิริยา

5) เก็บตัวอย่างโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเก็บที่เวลา 45, 60, 120, 180 และ 300 นาที นำไปหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสบู่ของกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการสร้างกราฟการไทเทรตหาจุดยุติ โดยเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลประมาณ 10 กรัม ละลายในเอทานอล 150 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรต ส่วนที่สองเก็บตัวอย่างที่เวลา 5, 15, 30, 45, 60, 120, 180 และ 300 นาที มา 25 มิลลิลิตรใส่ลงในกรวยแยกที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2.5 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยา ไขกรดออก เทน้ำร้อนลงไปในกรวยแยกเพื่อล้างกรดบางส่วน แล้วไขส่วนที่เป็นน้ำออก

6) หลังจากหยุดปฏิกิริยาด้วยกรดแล้ว นำตัวอย่างใส่ลงในบีกเกอร์แล้วอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำออก

7) นำตัวอย่างที่อบระเหยน้ำแล้วไปหาปริมาณไบโอดีเซล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลจากการทำปฏิกิริยาที่ 30 นาที และ 5 ชั่วโมง ด้วยน้ำที่อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง 24 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 210 และ 594 รอบต่อนาที

การทดลองนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลในการเกิดอิมัลชัน คือ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง และความเร็วรอบในการกวนผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำ (เนื่องจากต้องการศึกษาการเกิดอีมัลชันในไบโอดีเซลที่มีปริมาณสบู่ของกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกัน)

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- สารเคมี

น้ำมันไบโอดีเซลหลังทำปฏิกิริยาที่เวลา 30 นาทีและ 5 ชั่วโมง

- อุปกรณ์

1) ขวดรูปชมพู่
2) แผ่นให้ความร้อน
3) กรวยแยก
4) แท่งแม่เหล็กสำหรับกวน
5) กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
6) กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร
7) เทอร์โมมิเตอร์

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

1) เก็บตัวอย่างไบโอดีเซลจากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และที่ 5 ชั่วโมง มาอย่างละ 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่

2) สองตัวอย่างแรกเติมน้ำที่อุณหภูมิห้องปรับอากาศ (24 องศาเซลเซียส) ส่วนตัวอย่างที่เหลือเติมน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตัวอย่างละ 20 มิลลิลิตร

3) ใส่แท่งแม่เหล็กกวน ในตัวอย่างที่เติมน้ำอุณหภูมิ 24 และ 60 องศาเซลเซียส นำไปกวนบนเครื่องกวนที่ความเร็วรอบบนเครื่องเบอร์ 2 หรือที่ความเร็วรอบประมาณ 210 รอบต่อนาที (ดูภาคผนวก ค) และที่ความเร็วรอบบนเครื่องเบอร์ 6 หรือที่ความเร็วรอบประมาณ 594 รอบต่อนาที ตามลำดับ ทำการกวนนาน 15 นาที เทใส่ในกรวยแยก เปรียบเทียบการเกิดอีมัลชัน

จากการทดลองนี้จะเลือกเวลาในการทำปฏิกริริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นที่ทำให้เกิดอีมัลชันน้อยที่สุด เพื่อทำการทดลองที่ 3.3 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.3 การเปรียบเทียบการทำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการล้างด้วยน้ำและไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

การทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบการทำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากแหล่งเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันพืชก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น คือ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำน้ำมันพืชใช้แล้วไปทำการล้างโดยการกวนด้วยน้ำก่อนนำไปทำปฏิกิริยา ส่วนที่ 2 นำน้ำมันพืชไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นโดยไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำ

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

- สารเคมี

1) น้ำมันพืชใช้แล้ว
2) เมทานอล เกรดทางการค้า
3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์

- อุปกรณ์

1) ชุดอุปกรณ์การทำปฏิกิริยา
2) บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
3) กรวยแยก
4) แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
5) แท่งแม่เหล็กสำหรับกวน
6) กระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร
7) กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร
8) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

3.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 การทำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่นำมาล้างด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยา

1) หาค่ากรดในน้ำมันพืชใช้แล้ว คำนวณหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา

2) นำน้ำมันพืชใช้แล้วมาประมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำ 250 มิลลิลิตร ใส่แท่งแม่เหล็กกวนลงไป ทำการกวนบนแผ่นให้ความร้อน ใช้เวลาการกวนประมาณ 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
45692

3) นำไปแยกชั้นในกรวยแยก เพื่อแยกส่วนที่เป็นน้ำออก แล้วนำส่วนที่เป็นน้ำมันใส่บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำ 250 มิลลิลิตร ทำการกวนอีกครั้ง 15 นาที

4) ทำซ้ำข้อ 3 อีก 1 ครั้ง

5) นำไปแยกชั้นน้ำออกในกรวยแยกแล้วนำส่วนที่เป็นน้ำมันมาตั้งบนแผ่นให้ความร้อนกวนเบาๆเพื่อระเหยน้ำ ให้สังเกตจนกว่าจะไม่มีละอองน้ำมันกระจายในน้ำมัน หลังจากนั้นให้ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้ววัดค่ากรดในน้ำมัน

6) เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามที่คำนวณค่ากรดในน้ำมันในข้อที่ 5

7) จัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.1

8) ใส่น้ำมันที่เวลาในการทำปฏิกิริยาในการทดลองที่ 3.2 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำและระเหยน้ำแล้ว 250 กรัม ลงในขวดทำปฏิกิริยา เติมสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์จากข้อ 6 และเมทานอล จำนวน 50 มิลลิลิตร

9) เก็บตัวอย่างที่ได้ไปหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสบู่ของกรดไขมันอิสระโดยการสร้างกราฟการไทเทรตหาจุดยุติ

ตอนที่ 2 การทำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยา

เตรียมไบโอดีเซลเช่นเดียวกับตอนที่ 1 แต่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่ไม่ผ่านการล้างน้ำในการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและสรุปการทดลอง

4.1 การเปรียบเทียบปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ สบู่ของกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ของไบโอดีเซล ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นต่างๆ

4.1.1 ผลการทดลองหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสบู่ของกรดไขมันโดยการไทเทรตด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.02 โมลาร์

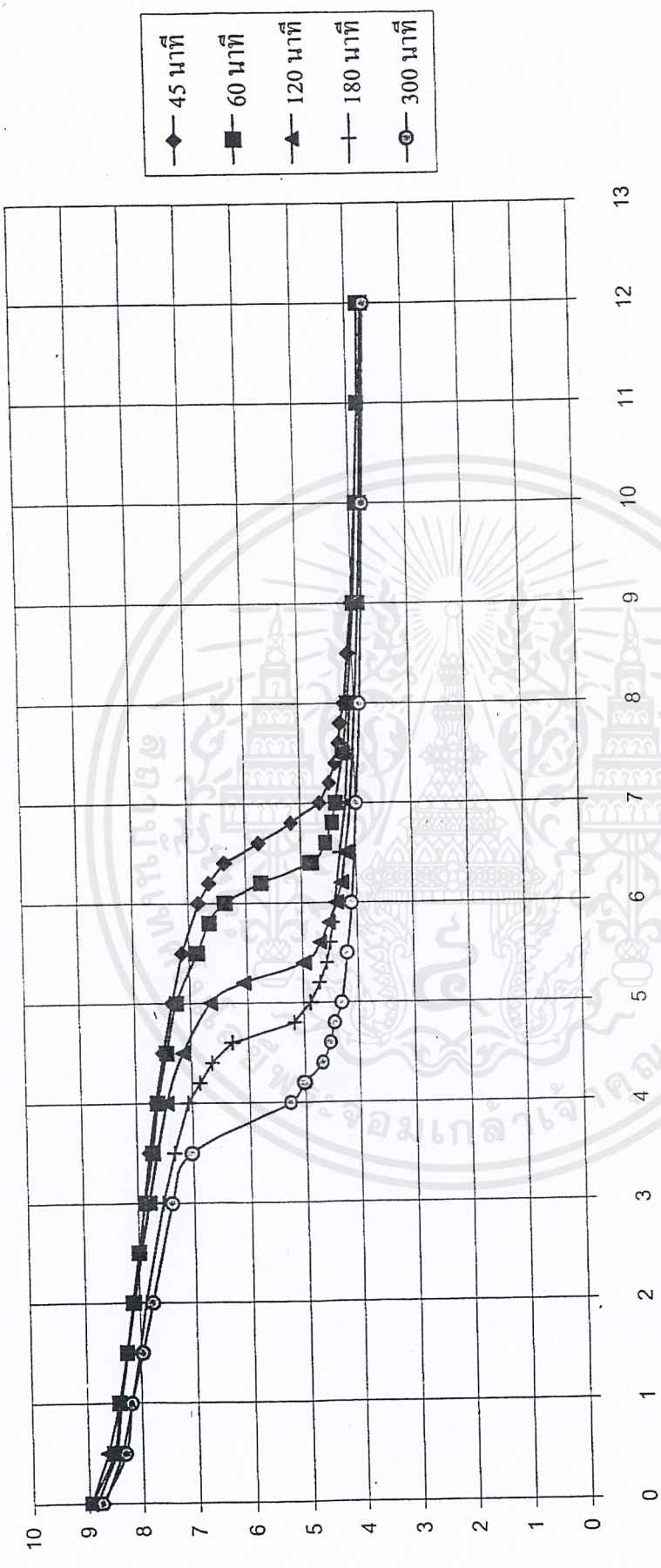
ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระต่อไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ข้อที่ 4 ส่วนข้อมูลการไทเทรตทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

การหาจุดสมมูลดูได้จากกราฟรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระของไบโอดีเซลที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณไบโอดีเซลที่ละลายในเอทานอล 150 มิลลิลิตร (กรัม)	ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่จุดยุติจากรูปที่ 4.1 (มิลลิลิตร)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระต่อไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม (โมลต่อกิโลกรัมไบโอดีเซล)
45	10.07	6.8	0.0135
60	10.03	6.3	0.0126
120	10.12	5.3	0.0105
180	10.06	4.7	0.0093
300	10.00	3.7	0.0074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟการไทเทรตน้ำมันไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชั่นต่างๆกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 จะได้ว่า

- ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ปริมาณสบู่ของกรดไขมันอิสระมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระจะถูกเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลบางส่วน

- ปริมาณสบู่ของกรดไขมันอิสระจะมีผลกระทบต่อการเกิดอีมัลชัน เนื่องจากสบู่ของกรดไขมันอิสระเป็นสารก่ออีมัลชัน (Emulsifier) ซึ่งเป็นปัญหาในกระบวนการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำหลังทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

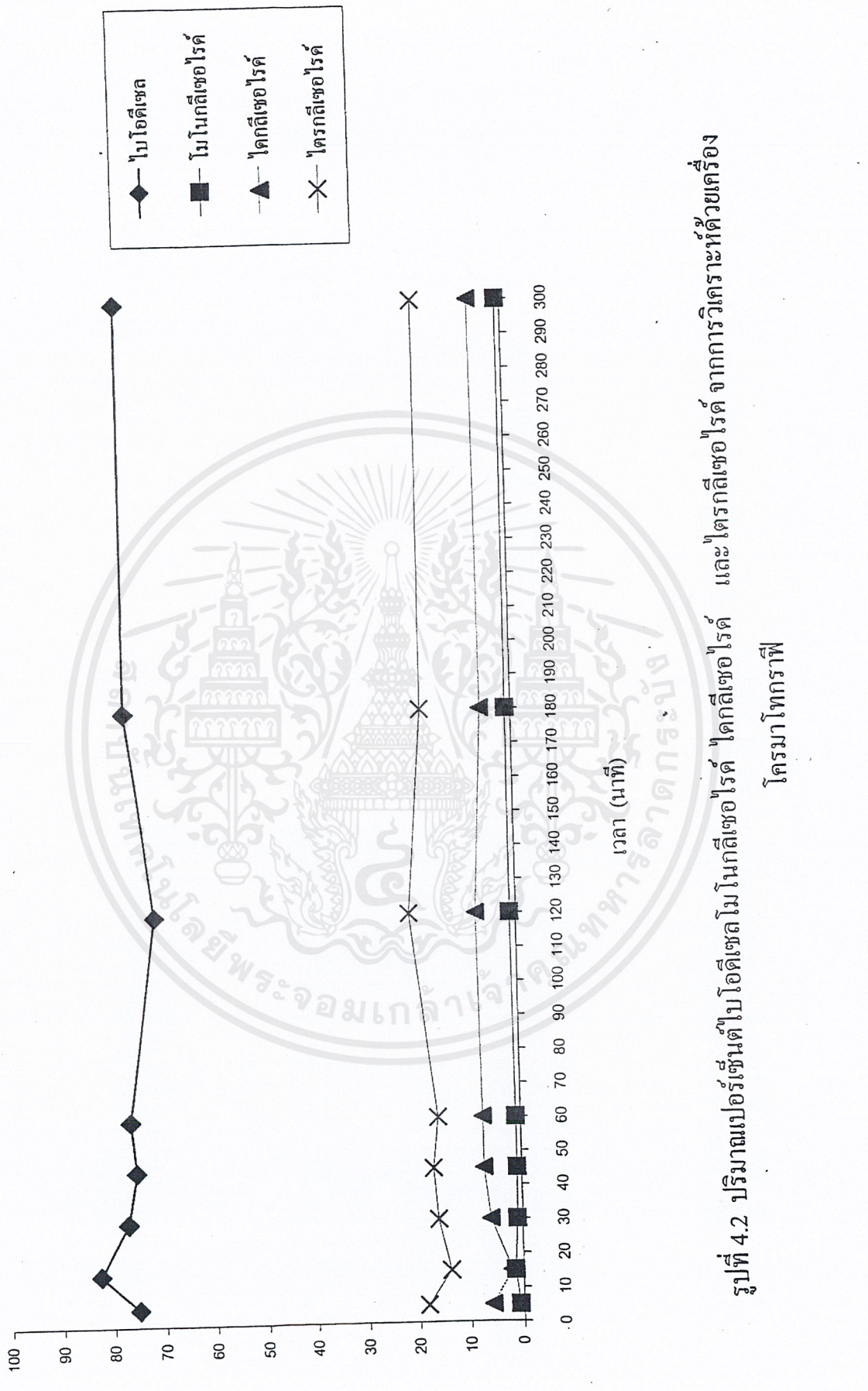
4.1.3 ผลทดลองหาปริมาณเปอร์เซ็นต์ไบโอดีเซล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี

การเปรียบเทียบค่าต่างๆ ดูได้จากกราฟรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณเปอร์เซ็นต์ไบโอดีเซลโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์

ที่เวลา (นาที)	ปริมาณ ไบโอดีเซล (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณ โมโนกลีเซอไรด์ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณ ไดกลีเซอไรด์ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณ ไตรกลีเซอไรด์ (เปอร์เซ็นต์)
5	75.21	0.70	5.81	18.27
15	82.59	1.52	2.14	13.75
30	77.06	1.01	5.92	16.01
45	75.30	0.83	7.09	16.78
60	76.25	0.90	7.11	15.73
120	70.73	1.15	7.61	20.51
180	75.77	1.00	5.82	17.40
300	75.67	0.88	6.21	17.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ปริมาณเปอร์เซ็นต์ไบโอดีเซล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าปริมาณไบโอดีเซล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ มีแนวโน้มค่อนข้างจะคงที่ตั้งแต่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที เป็นต้นไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองการเปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลจากการทำปฏิกิริยาที่ 30 นาที และ 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้าง 24 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 210 และ 594 รอบต่อนาที

4.2.1 ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 เปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างไบโอดีเซลที่ 24 และ 60 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบในการกวน 210 และ 594 รอบต่อนาที (รูปที่ 4.3 และ 4.4)



อุณหภูมิน้ำล้าง 24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำล้าง 60 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง ด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 24 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวน 210 รอบต่อนาที



อุณหภูมิน้ำล้าง 24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำล้าง 60 องศาเซลเซียส

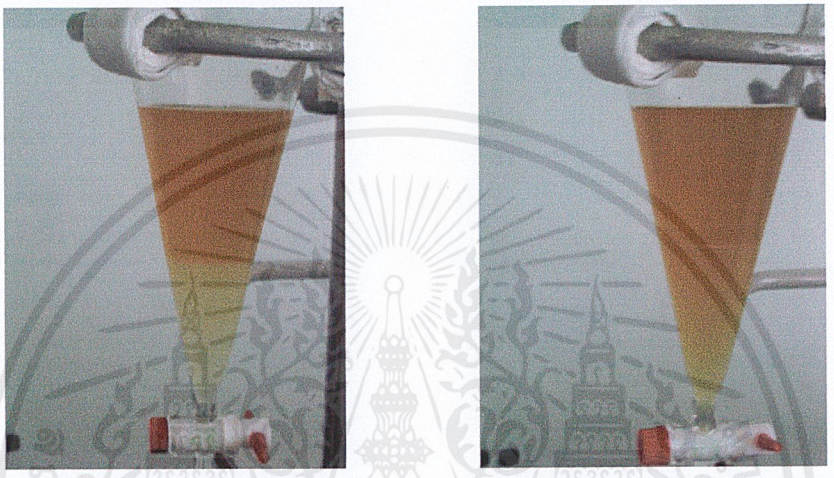
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง ด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 24 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวน 594 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 สรุปผลการทดลองตอนที่ 1

- จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 การล้างไบโอดีเซลที่ทำปฏิกิริยานาน 5 ชั่วโมง ด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เกิดอีมัลชันน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส

เพื่อยืนยันผลการทดลองที่ว่า การกวนที่ความเร็วรอบในการกวนต่ำจะเกิดอีมัลชันน้อยกว่าที่ความเร็วรอบในการกวนสูง ดูจากรูปที่ 4.5



210 รอบต่อนาที 594 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง ด้วยน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวน 210 และ 594 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 สรุปผลการทดลองตอนที่ 2

จากรูปที่ 4.6 การล้างไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง ด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบในการกวน 210 รอบต่อนาที เกิดอีมัลชันน้อยกว่าไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที (สังเกตจากมีชั้นที่ขุ่นขาวน้อยกว่า) เนื่องจากที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง มีปริมาณสบู่ของกรดไขมันอิสระซึ่งเป็นสารก่ออีมัลชันน้อยกว่าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ตอนที่ 2 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และ 5 ชั่วโมง



ทำปฏิกิริยา 30 นาที ทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบการล้างไบโอดีเซลที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และ 5 ชั่วโมง ด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวน 210 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเปรียบเทียบระหว่างการทำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการล้างด้วยน้ำและไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

4.3.1 ผลการทดลอง

ก่อนนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาล้างด้วยน้ำ น้ำมันพืชใช้แล้วมีค่ากรด = 0.139 เปอร์เซ็นต์

หลังนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาล้างด้วยน้ำ น้ำมันพืชใช้แล้วมีค่ากรด = 0.118 เปอร์เซ็นต์

สร้างกราฟการไทเทรตน้ำมันไบโอดีเซลเมื่อทำปฏิกิริยานาน 5 ชั่วโมง กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 โมลาร์ สามารถคำนวณหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระได้จากรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระของไบโอดีเซลที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง

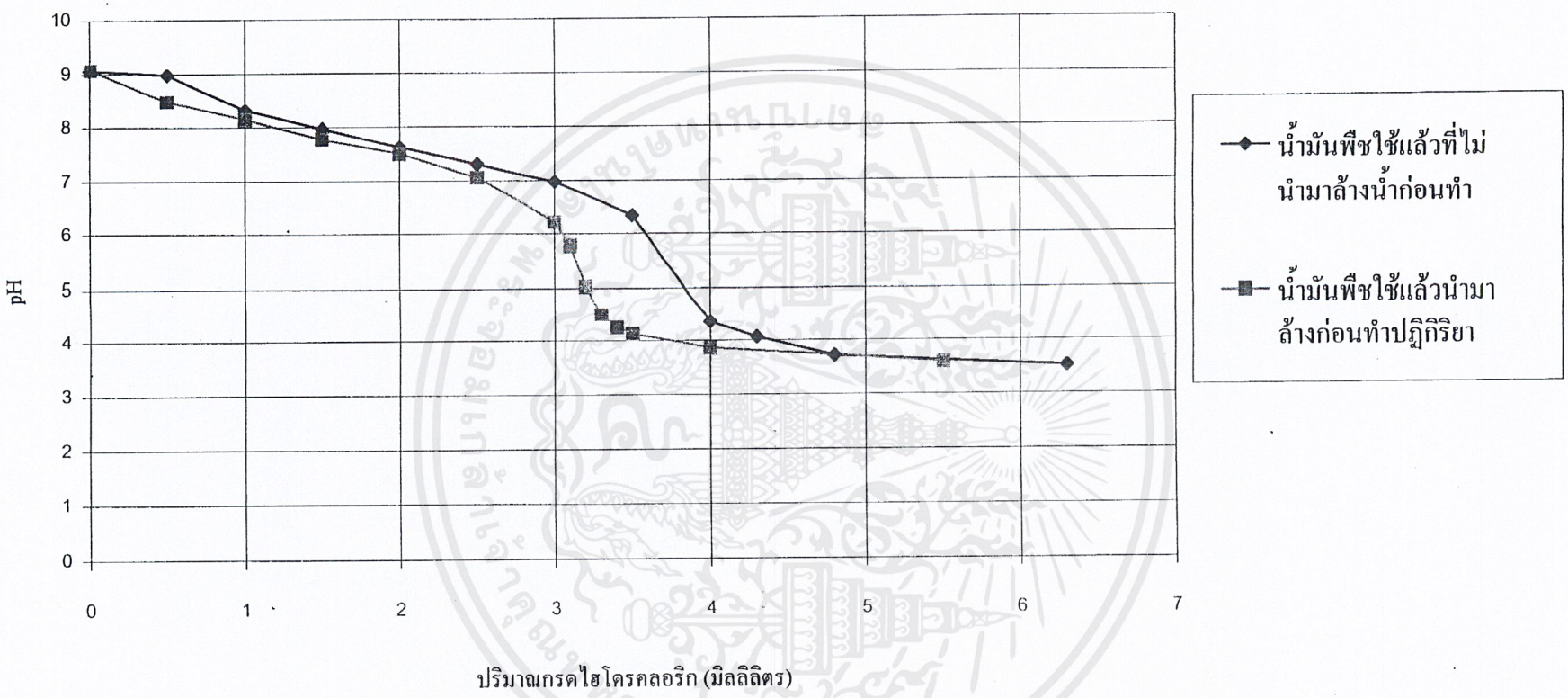
การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนทำปฏิกิริยา	ปริมาณไบโอดีเซลที่ละลายในเอทานอล 150 มิลลิลิตร (กรัม)	ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่จุดยุติจากรูปที่ 4.3 (มิลลิลิตร)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระต่อไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม (โมลต่อกิโลกรัมไบโอดีเซล)
ล้างด้วยน้ำ	10.04	3.2	0.0064
ไม่ล้างด้วยน้ำ	10.09	3.8	0.0075

4.3.2 สรุปผลการทดลอง

- การล้างน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยน้ำสามารถลดค่ากรดในน้ำมันลงได้จาก 0.139 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.118 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ลดปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยา

- ปริมาณสบู่ของกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการล้างด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยามีน้อยกว่าน้ำมันพืชใช้แล้วที่ไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟการไทเทรตเปรียบเทียบการเตรียมน้ำมันพืชก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น โดยไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 โมลาร์

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.4.1 สาเหตุการเกิดอีมัลชันระหว่างน้ำกับน้ำมัน คือ การมีสารก่ออิมัลชัน และการกวนหรือการใส่แรงกระทำระหว่างชั้นน้ำและน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งจะทำให้พื้นที่ในการสัมผัสกันเพิ่มมากขึ้น

4.4.2 การล้างไบโอดีเซลหลังทำปฏิกิริยาด้วยน้ำ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการเกิดอีมัลชัน ซึ่งเกิดจากความแรงในการการกวน และปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ คือ สบู่ของกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณสบู่ของกรดไขมันอิสระ คือ เมื่อทำปฏิกิริยานานขึ้นจะทำให้ปริมาณสบู่ของกรดไขมันอิสระน้อยลง ทำให้เกิดอีมัลชันน้อยลง แต่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะไม่มีผลต่อปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์

4.4.3 การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดอีมัลชันน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เนื่องจากความร้อนทำให้แรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำมีค่าน้อยลง ทำให้เกิดการแยกชั้นได้ง่ายขึ้น

4.4.4 ความเร็วรอบในการกวนเป็นสาเหตุของการเกิดอีมัลชัน เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบในการกวนสูงจะทำให้อนุภาคของน้ำมันกระจายในน้ำได้ดี เกิดเป็นอีมัลชันและทำให้แยกชั้นได้ยาก

4.4.5 น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการล้างด้วยน้ำก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นจะทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าน้ำมันพืชใช้แล้วที่ไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำ เนื่องจากน้ำสามารถสกัดเอากรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันพืชใช้แล้วได้ และกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นสบู่ของกรดไขมันอิสระซึ่งจะทำให้เกิดอีมัลชันในกระบวนการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กัญจนา บุณยเกียรติ และ สุกัญญา มากมี. ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล, วารสารวิทยาศาสตร์. พฤษภาคม-มิถุนายน 2544: 148-155.

[2] พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กันยายน-ธันวาคม 2544: E1-E2.

[3] กล้าณรงค์ ศรีรอต. ไบโอดีเซลแนวทางการวิจัยเพื่อพัฒนาสำหรับประเทศไทย, แนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์. มิถุนายน 2544 : ก1-ก20.

[4] ป๋วย อุ่นใจ และสยาม ภพลือชัย. ไบโอดีเซลเชื้อเพลิงชีวภาพแห่งยุคสมัย, UPDATE. สิงหาคม 2544: 50-56.

[5] สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา. ผลกระทบของการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชต่อเครื่องยนต์และมลพิษทางอากาศ, แนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์. มิถุนายน 2544 : F1-F3.

[6] Formo, M.W., 1979. *Physical properties of fats and fatty acid,*. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol. 1,4 4th edition. John Wiley and Sons, New York. P. 193.

[7] Korbitz, W., 1999. *Biodiesel Production in Europe and North America*: An Encouraging Prospect. Renewable Energy 16, 1078-1083

[8] A.O.C.S. official method Ca 5a-40, Sampling and Analysis of commercial, Fats and Oils, Free Fatty Acid.

[9] Rodinger, W., 1994. Neue Daten zur Umweltvertraglichkeit von RME im Vergleich zu Diesel-Krafrstoff. *Bundesanstalt fur Wassergute*, Vienna, Austria.

[10] Scharmer, K.,1993. Umweltaspekte bei Herstellung und Verwendung von RME. In:*RME Hearing. Ministry for Agriculture*, Vienna, Austria.

[11] Schwab, A.W., Bagby, M.O. and Freedman B., 1987. *Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils*, Fuel 66, 1372-1378.

[12] Freedman B., Pryde E.H., Mounts T.L. (1984) *Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils*, J.Am. Oil Chem. Soc. 26 1638-1643.

[13] Planc C. and Lorbeer E. (1995) *Simultaneous Determination of Glycerol and Mono-, Di- and Triglycerieds in Vegetable Oil Methyl Esters by Capillary Gas Chromatography*, J. Chromatog. A 697 461-468

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การคำนวณ

1. การหาค่ากรดในน้ำมัน [8]

1.1 การหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยสารละลายโปตัสเซียม-ไฮโดรเจนพาทาเลต

1.1.1 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอล ความเข้มข้นโดยประมาณ 0.1 นอร์แมล โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 1 กรัม ละลายในเอทานอล ปรับปริมาตรให้สารละลายมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร

1.1.2 นำโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลตไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลตมา 1.299 กรัม (มวลโมเลกุล = 204.22) ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จะได้

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต} = \frac{(1.0299)(1000)}{(204.22)(100)}$$

$$= 0.0504 \text{ นอร์แมล}$$

1.1.3 ไทเทรตสารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต 50 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ในการไทเทรตใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 24 มิลลิลิตร ที่จุดสมมูล หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้จาก

จำนวนโมลของโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต = จำนวนโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$K \times V_1 = N \times V_2$$

$$N = \frac{(0.0504 \text{ นอร์แมล})(50 \text{ มิลลิลิตร})}{(24 \text{ มิลลิลิตร})}$$

$$N = 0.105 \text{ นอร์แมล}$$

เมื่อ

K คือ ความเข้มข้นของสารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต (นอร์แมล)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์แมล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตเมื่อถึงจุดยุติ (มิลลิลิตร)

1.2 การไทเทรตหาค่ากรดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (0.105 นอร์แมล)

1.2.1 การหาค่ากรดในน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนการล้างด้วยน้ำ

ชั่งน้ำมันพืชใช้แล้ว 56.42 กรัม ละลายในเอทานอล 50 มิลลิลิตร ก่อนนำมาละลายให้หยดฟีนอล์ฟทาลีนในเอทานอล และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เล็กน้อยเพื่อปรับเอทานอลให้เป็นกลาง แล้วจึงนำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ในการไทเทรตใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18.7 มิลลิลิตร คิดเป็นจำนวนกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องเติมในน้ำมัน 100 กรัม เพื่อให้เป็นกลาง

$$= \frac{(0.105 \text{ นอร์แมล})(18.7 \text{ มิลลิลิตร})(40 \text{ กรัมต่อโมลโซเดียมไฮดรอกไซด์})}{(1000)(56.42 \text{ กรัม})} \times 100$$

$= 0.139$ เปอร์เซ็นต์

1.2.2 การหาค่ากรดในน้ำมันพืชใช้แล้วหลังล้างด้วยน้ำ 3 ครั้ง

ชั่งน้ำมันพืชใช้แล้ว 56.42 กรัม ละลายในเอทานอล 50 มิลลิลิตร ก่อนนำมาละลายให้หยดฟีนอล์ฟทาลีนในเอทานอล และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เล็กน้อยเพื่อปรับเอทานอลให้เป็นกลาง แล้วจึงนำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ในการไทเทรตใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไป 15.8 มิลลิลิตร คิดเป็นจำนวนกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องเติมในน้ำมัน 100 กรัม เพื่อให้เป็นกลาง

$$= \frac{(0.105 \text{ นอร์แมล})(15.8 \text{ มิลลิลิตร})(40 \text{ กรัมต่อโมลโซเดียมไฮดรอกไซด์})}{(1000)(56.42)} \times 100$$

$= 0.118$ เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณจำนวนกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น

ในงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนโดยมวลในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันพืชใช้แล้ว : โซเดียมไฮดรอกไซด์ = 100 : 0.1 ทำปฏิกิริยากับเมทานอล 20 มิลลิลิตร

เมื่อทำการหาค่ากรดในน้ำมันพืชแล้ว จะนำไปคำนวณหาปริมาณโซเดียมที่ต้องเพิ่มเข้าไปเพื่อทำให้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นกลาง

2.1 การหาอัตราส่วนในการทำปฏิกิริยาสำหรับน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนทำการล้างด้วยน้ำ

น้ำมันพืชใช้แล้วเมื่อไม่นำไปล้างน้ำก่อนทำปฏิกิริยาจะมีค่ากรด = 0.139 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 100 กรัม = 0.1 + 0.139 = 0.239 กรัม โดยละลายในเมทานอล 20 มิลลิลิตร

2.2 การหาอัตราส่วนในการทำปฏิกิริยาสำหรับน้ำมันพืชใช้แล้วหลังทำการล้างด้วยน้ำ

น้ำมันพืชใช้แล้วเมื่อนำไปล้างน้ำก่อนทำปฏิกิริยาจะมีค่ากรด = 0.118 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 100 กรัม = 0.1 + 0.118 = 0.218 กรัม โดยละลายในเมทานอล 20 มิลลิลิตร

3. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 โมลาร์

3.1 การหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยสารละลายโปตัสเซียม-ไฮโดรเจนพาทาเลต

3.1.1 นำโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลตไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลตมา 2.0044 กรัม (มวลโมเลกุล = 204.22) ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

$$\text{คิดเป็นความเข้มข้น} = \frac{(2.0044)(1000)}{(204.22)(100)} = 0.0981 \text{ นอร์แมล}$$

เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ ความเข้มข้นโดยประมาณ 0.1 นอร์แมล โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 0.4 กรัม ละลายในน้ำจนสารละลายมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.1.2 ไทเทรตสารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต 50 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ใช้ปริมาตรไป 48 มิลลิลิตร

$$\text{คิดเป็นความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์} = \frac{(0.0981)(50)}{(48.7)}$$

$$= 0.1007 \text{ นอร์แมล}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นโดยประมาณ 0.02 นอร์แมล โดยนำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์ (12.076 โมลาร์) มาจำนวน 1.7 มิลลิลิตร เจือจางในน้ำจนสารละลายมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เตรียมไว้ 50 มิลลิลิตร มาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

ในการไทเทรตใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไป 10 มิลลิลิตร

คิดเป็นความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก $= \frac{(0.1007)(10)}{(50)}$

$= 0.0201$ นอร์แมล

4. ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสบู่ของกรดไขมันอิสระต่อไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม

- ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 45 นาที

น้ำหนักของน้ำมันไบโอดีเซลที่สุ่มตัวอย่าง = 10.07 กรัม ละลายในเอทานอล 150 มิลลิลิตร ที่จุดสมมูลของปฏิกิริยาใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 โมลาร์ จำนวน 6.8 มิลลิลิตร

ดังนั้น

ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสบู่ของกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม

$= \frac{(6.8)(0.02)}{(10.07)}$

$= 0.0135$ โมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการไทเทรต

ผลการทดลอง การไทเทรตไบโอดีเซลด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก 0.02 โมลาร์

ข้อมูลจากการไทเทรตตั้งแต่ตารางที่ ข-1 ถึง ข-7 เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง 1 ครั้ง

ตารางที่ ข-1 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น 45 นาที เมื่อนำไบโอดีเซลมา 10.04 กรัม ละลายในเอทานอล 150 มิลลิลิตร

ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	pH	ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	pH
0.0	8.854	7.0	4.667
0.5	8.469	7.2	4.467
1.0	8.382	7.4	4.347
1.5	8.245	7.6	4.272
2.0	8.105	7.8	4.241
2.5	7.985	8.0	4.165
3.0	7.875	8.5	4.084
3.5	7.769	9.0	3.998
4.0	7.642	10.0	3.897
4.5	7.494	11.0	3.812
5.0	7.324	12.0	3.776
5.5	7.121		
6.0	6.830		
6.2	6.629		
6.4	6.350		
6.6	5.756		
6.8	5.178		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น 60 นาที เมื่อนำไบโอดีเซลมา 10.03 กรัม ละลายในเอทานอล 150 มิลลิลิตร

ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	pH
0.0	8.944
0.5	8.530
1.0	8.410
1.5	8.254
2.0	8.128
2.5	8.000
3.0	7.866
3.5	7.720
4.0	7.609
4.5	7.435
5.0	7.245
5.5	6.886
5.8	6.634
6.0	6.353
6.2	5.722
6.4	4.834
6.6	4.567
6.8	4.424
7.0	4.351
7.5	4.202
8.0	4.105
9.0	3.967
10.0	3.886
11.0	3.816
12.0	3.780

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น 120 นาที เมื่อนำไบโอดีเซลมา 10.12 กรัม ละลายในเอทานอล 150 มิลลิลิตร

ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	pH
0.0	8.961
0.5	8.631
1.0	8.418
1.5	8.254
2.0	8.102
3.0	7.795
4.0	7.451
4.5	7.143
5.0	6.641
5.2	6.066
5.4	4.992
5.6	4.697
5.8	4.518
6.0	4.363
6.2	4.267
6.5	4.192
7.0	4.093
8.0	3.975
9.0	3.876
10.0	3.810
12.0	3.713

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น 180 นาที เมื่อนำไบโอดีเซลมา 10.06 กรัม ในละลายในเอทานอล 150 มิลลิลิตร

ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	pH
0.0	8.715
0.5	8.376
1.0	8.177
1.5	8.011
2.0	7.881
3.0	7.548
3.5	7.333
4.0	7.072
4.2	6.861
4.4	6.630
4.6	6.270
4.8	5.174
5.0	4.889
5.2	4.720
5.4	4.569
5.6	4.489
5.8	4.440
6.0	4.388
6.5	4.283
7.0	4.173
8.0	4.056
10.0	3.917
12.0	3.795

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น 300 นาที เมื่อนำไบโอดีเซลมา 10.00 กรัม ละลายในเอทานอล 150 มิลลิลิตร

ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	pH
0.0	8.749
0.5	8.307
1.0	8.176
1.5	7.960
2.0	7.760
3.0	7.383
3.5	7.023
4.0	5.273
4.2	5.014
4.4	4.679
4.6	4.519
4.8	4.436
5.0	4.301
5.5	4.189
6.0	4.089
7.0	3.980
8.0	3.884
10.0	3.764
12.0	3.668

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น 300 นาที (น้ำมันพืชใช้แล้วผ่านการล้างด้วยน้ำก่อนการทำปฏิกิริยา) เมื่อนำไบโอดีเซลมา 10.04 กรัม ละลายในเอทานอล 150 มิลลิลิตร

ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	pH
0.0	9.080
0.5	8.480
1.0	8.146
1.5	7.774
2.0	7.500
2.5	7.062
3.0	6.227
3.1	5.785
3.2	5.038
3.3	4.481
3.4	4.245
3.5	4.128
4.0	3.861
5.5	3.597

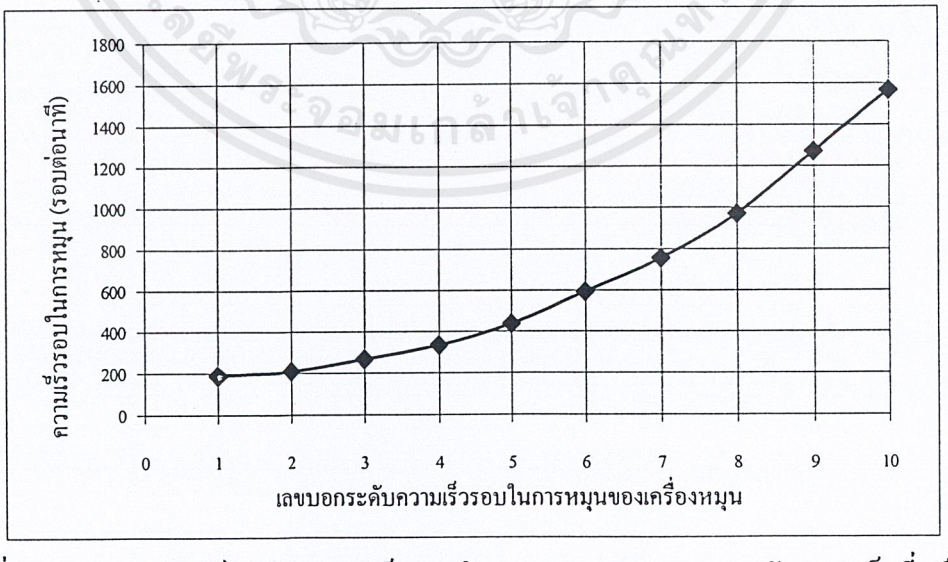
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

กราฟเทียบความเร็วรอบในการกวน

ตารางที่ ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการกวนและเลขบอกระดับความเร็วที่เครื่อง

เลขบอกระดับความเร็วที่เครื่อง	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)
1	188
2	210
3	268
4	335
5	439
6	594
7	753
8	971
9	1272
10	1567



รูปที่ ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการกวนและเลขบอกระดับความเร็วที่เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้