สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

T045681

นายณัฐพงศ์ เสนาธิบดี
นายวิธาน เกียรติอุบลไพบูล

เลขหมู่.................
เลขทะเบียน 45681
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Biodiesel from Palm Kernel Oil by Transesterification

Mr. Natthaphong Senathipbordee

Mr. Witan Kiatubolpaiboon

A Report Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน
โดย	นายณัฐพงศ์ เสนาธิบดี นายวิธาน เกียรติอุบลไพบูล
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ หัวหน้าภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

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

....กรรมการ
(ดร.โจโกะ เทเรซ่า อิโต้)

....กรรมการ
(อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

....กรรมการ
(รศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน
โดย	นายณัฐพงศ์ เสนาธิบดี นายวิธาน เกียรติอุบลไพบูล
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ หัวหน้าภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับเมทานอล โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มมากที่สุด คือ 95.8 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์จนถึงที่ 1.00 เปอร์เซ็นต์พบว่า เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้และเปอร์เซ็นต์ของกลีเซอรอลมีค่าสูงขึ้นเป็น 98.1 เปอร์เซ็นต์และ 21.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไปทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่า มีดัชนี-ซีเทนมากที่สุด คือ 43.1 และมีความหนาแน่นที่ 15.6 องศาเซลเซียส ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส จุดวาบไฟ และจุดไหลเทใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทั้งชนิดหมุนช้าและเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Biodiesel from Palm Kernel Oil by Transesterification
By	Mr. Natthaphong Senathipbordee
	Mr. Witan Kiatubolpaiboon
Advisor	Asst. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum
Co-advisor	Assoc. Prof. Dr. Tharapong Vitidsant
	Head of Department of Chemical Technology,
	Faculty of Science, Chulalongkorn University
Report for	Bachelor Degree of Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This paper studies biodiesel from transesterification reaction of palm kernel oil and methanol. The catalyst is sodium hydroxide. Parameters are weight ratio between palm kernel oil and methanol, reaction temperature, time and the amount of catalyst. With weight ratio of 4.5:1, sodium hydroxide 0.25 wt %, 60 °C and 30 mins yielded methyl ester 95.8 %. Methyl ester and glyceral increased to 98.1 and 24.1 % when sodium hydroxide increased to 1.00 wt %. The physical properties of methyl ester were characterized. Its cetane index is 43.1, density at 15.6 °C and viscosity at 40 °C, flash point and cloud point are close to the standard of low and high speed diesel oils.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ทักษิณสัมพันธ์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อน้ำมันเมล็ดในปาล์มเพื่อใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา และรศ.ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำแนะนำ ตลอดจนจัดหาอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลอง

ผู้จัดทำ

นายณัฐพงศ์ เสนาธิบดี

นายวิธาน เกียรติอุบลไพบูล

3 เมษายน 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ประเภทของพลังงาน	3
2.2 การผลิตไบโอดีเซล	4
2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	6
2.4 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล	8
2.5 น้ำมันดีเซล	12
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 การทดลอง	21
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	21
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	22
3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลที่วิเคราะห์	23
บทที่ 4 ผลการทดลอง	25
4.1 ผลของการการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง น้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล	25
4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	26
4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์	28
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometers (FTIR) 31
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง 35
5.1 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล 35
5.2 ผลของอุณหภูมิและเวลา 35
5.3 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 35
5.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์ 36
5.5 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล 37
5.6 สรุปผลการทดลอง 37
5.7 ข้อเสนอแนะ 38
รายการอ้างอิง 39
ภาคผนวก
ก. ตัวอย่างการคำนวณ 41
ข. วิธีทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์ 43
ค. กราฟแสดงผลการทดสอบหมู่ฟังก์ชันเมทิลเอสเทอร์ 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	9
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	10
ตารางที่ 2.3	สัดส่วนการใช้ประโยชน์น้ำมันปาล์มของอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศไทย	11
ตารางที่ 2.4	องค์ประกอบต่างๆ ของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม	12
ตารางที่ 2.5	ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์	14
ตารางที่ 2.6	มาตรฐานคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่าย	15
ตารางที่ 2.7	ผลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของไขมันสัตว์	17
ตารางที่ 2.8	สมบัติทางกายภาพของเอสเทอร์จากไขมันสัตว์ เอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดีเซล	18
ตารางที่ 2.9	สมบัติของเอสเทอร์ชนิดต่างๆ	19
ตารางที่ 4.1	เมทิลเอสเทอร์ที่ได้และความหนืดที่อุณหภูมิ 40 และ 100 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วน โดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลต่างๆ	25
ตารางที่ 4.2	เมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เวลา 5 นาที	27
ตารางที่ 4.3	เมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เวลา 30 นาที	27
ตารางที่ 4.4	เมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 200 กรัม	29
ตารางที่ 4.5	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล	30
ตารางที่ 4.6	ช่วงอุณหภูมิการกลั่น (Distillation curve) ที่ Initial Boiling Point (IBP) 10, 20, และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ค่า API และดัชนีซีเทนของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่างๆ	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันต่างของเมทิลเอสเทอร์จากอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 และ 8 ต่อ 1 เทียบกับสารที่ทราบชนิดแล้ว 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ผังอย่างง่ายในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์	6
รูปที่ 3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	22
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนในการทดลอง	24
รูปที่ 4.1	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล	26
รูปที่ 4.2	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลา	28
รูปที่ 4.3	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม	29
รูปที่ 4.4	ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ส่วนบนซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometers (FTIR) ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 เทียบกับสารที่ทราบชนิดแล้ว	32
รูปที่ 4.5	ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ส่วนบนซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometers (FTIR) ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 8 ต่อ 1 เทียบกับสารที่ทราบชนิดแล้ว	33
รูปที่ ข-1	อุปกรณ์วัดค่า API	43
รูปที่ ข-2	ชุดอุปกรณ์วัดค่าความหนืด	44
รูปที่ ข-3	อุปกรณ์ที่ใช้หาจุดวาบไฟ	45
รูปที่ ข-4.1	อุปกรณ์หาจุดไหลเท	46
รูปที่ ข-4.2	การเอียงหลอดทดลองเพื่อหาจุดไหลเท	47
รูปที่ ข-5	เครื่องกลั่น	48
รูปที่ ค-1	ผลการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 4.5 ต่อ 1 : Transmittance vs. Wave number	50
รูปที่ ค-2	ผลการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 4.5 ต่อ 1 : Absorbance Units vs. Wave number	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-3 ผลการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์จาก
น้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลอัตราส่วนโดยน้ำหนัก
เท่ากับ 8 ต่อ 1 : Transmittance vs. Wave number 52
รูปที่ ค-4 ผลการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์จาก
น้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลอัตราส่วนโดยน้ำหนัก
เท่ากับ 8 ต่อ 1 : Absorbance Units vs. Wave number 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล หรือที่เรียกว่า น้ำมันดีเซลชีวภาพ หรือ ไบโอดีเซล (Biodiesel) มีมาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เนื่องจากน้ำมันจากปิโตรเลียมยังมีราคาถูกและหาง่าย ทำให้ไม่มีผู้ใดสนใจใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซล หลังจากวิกฤตน้ำมันโลกในปี พ.ศ. 2514 เป็นต้นมา ได้เริ่มมีความตื่นตัวและพยายามหาพลังงานทดแทนมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น น้ำมันพืชเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักสำหรับ ภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การคมนาคม และการขนส่งของประเทศ ในต่างประเทศ เช่น ในยุโรปใช้น้ำมันเมล็ดเรพและน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ในสหรัฐอเมริกาใช้น้ำมันถั่วเหลือง ในประเทศมาเลเซียใช้น้ำมันปาล์ม ในประเทศเยอรมนีใช้น้ำมันที่ใช้แล้วมาใช้ทดลองเดินเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับประเทศไทยในปี พ.ศ. 2524 มีการทดลองใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ด-สบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อวิกฤตน้ำมันผ่านไป ความสนใจในการวิจัยและศึกษาความเหมาะสมในการใช้พลังงานทดแทนจากน้ำมันพืชก็ลดน้อยลง รวมทั้งภาครัฐไม่มีการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยในด้านนี้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ข้อมูลการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลของประเทศมีจำกัด ปัจจุบันการพัฒนาการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเรื่องที่นักวิชาการในประเทศกำลังให้ความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากน้ำมันดีเซลมีปริมาณการใช้มากขึ้นและราคาสูงขึ้นโดยตลอดเพราะค่าเงินบาทที่อ่อนตัวลง และประเทศผู้ผลิตน้ำมันส่งออก (OPEC) จำกัดจำนวนการผลิตทำให้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจและความเป็นอยู่ของประชาชนในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 ทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

1.2.2 ศึกษาตัวแปรในการทำปฏิกิริยา คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล อุณหภูมิ เวลา และปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.2.3 ศึกษาคุณสมบัติไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.3.1 หาอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

1.3.2 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

1.3.3 หาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

1.3.4 หาปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

1.3.5 ทดสอบคุณสมบัติไบโอดีเซลที่ได้เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

1.3.6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1.3.7 เขียนรายงาน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

1.4.2 มีข้อมูลสำหรับพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้เป็นแบบต่อเนื่องแทนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ประเภทของพลังงาน

2.1.1 พลังงานคืนรูปหรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy)

พลังงานคืนรูป คือ พลังงานที่เมื่อถูกใช้ไปแล้วสามารถถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานแก๊สชีวภาพ (Biogas) พลังงานชีวมวล (Biomass) เป็นต้น

2.1.2 พลังงานสิ้นเปลือง (Non-renewable energy)

พลังงานสิ้นเปลือง คือ พลังงานที่เมื่อใช้หมดไปแล้วไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือสร้างขึ้นมาใหม่ได้ในเวลาอันสั้น พลังงานกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะเป็นพวกทรัพยากรธรรมชาติ เช่น หินน้ำมัน ลิกไนต์ ก๊าซธรรมชาติ

ในประเทศที่พัฒนาแล้วได้มีการทำวิจัยพัฒนาแนวทางในการนำผลผลิตทางการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงาน พลังงานที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน คือ พลังงานจากไบโอ-ดีเซลซึ่งได้มาจากชีวมวล เพื่อใช้แทนน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลเป็นพลังงานที่เหมาะสมกับประเทศไทยด้วยเหตุผลดังนี้

ประการแรก ประเทศไทยประสบปัญหาราคาน้ำมันเพราะต้องนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ จึงไม่มีความแน่นอนและความมั่นคงด้านพลังงาน

ประการที่สอง ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และโครงสร้างราคาของผลผลิตทางการเกษตรไม่เหมาะสม เกษตรกรต้องประสบปัญหาด้านราคาอย่างต่อเนื่อง การสร้างเสถียรภาพของราคาสินค้าเกษตรทำได้โดยสร้างความต้องการที่คงที่ ดังนั้นการพัฒนาสินค้าเกษตรไปเป็นวัตถุดิบของพลังงานจะเป็นการแก้ปัญหาที่ได้ผลทั้งระยะสั้นและระยะยาว

ประการสุดท้าย ไบโอดีเซลมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงปกติ คือ การใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลสามารถลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ไม่สามารถเผาไหม้บางชนิด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อนุภาคเล็กๆ ที่แขวนลอยในอากาศได้ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และไม่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดขึ้น [1] สารที่ถูกปล่อยจากเครื่องยนต์ดีเซล สามารถแบ่งได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. องค์ประกอบที่สำคัญที่พบได้ในควันซึ่งเกิดจากการคาร์บอนในน้ำมันดีเซลที่เผาไหม้ไม่หมด องค์ประกอบนี้มีขนาดเล็กเป็นไมครอน ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้น้ำมันดีเซล และจะเกิดขึ้นเสมอเมื่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงกับอากาศในอัตราส่วนของน้ำมันกับอากาศไม่เหมาะสม

2. สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ส่วนหนึ่งขององค์ประกอบนี้มาจากการเผาไหม้ที่เกิดแบบไม่สมบูรณ์ของน้ำมัน และน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์

นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถถูกจุลินทรีย์ในธรรมชาติย่อยสลายได้ดี เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากธรรมชาติ จากการศึกษาของ University of Idaho เกี่ยวกับการสลายตัวทางด้านชีววิทยาของไบโอดีเซลโดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลที่ใช้เป็นตัวอย่างสามารถสลายตัวได้ 95 เปอร์เซ็นต์ภายใน 28 วัน ส่วนน้ำมันดีเซลนั้นสลายตัวได้เพียง 40 เปอร์เซ็นต์ภายใน 28 วัน และพบว่าการใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลทำให้เกิดการสลายตัวเร็วกว่าน้ำมันดีเซล แสดงว่าการใช้ไบโอดีเซลช่วยให้การสลายตัวเร็วกว่าน้ำมันดีเซล [1]

การใช้พลังงานที่มีวัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศ ย่อมเป็นการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ลดการขาดดุลการค้า เพิ่มความมั่นคงทางด้านพลังงาน ดังนั้น ไบโอดีเซลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงาน

2.2 การผลิตไบโอดีเซล [2]

2.2.1 การนำมาใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending)

การนำมาใช้โดยตรง คือ การนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องเติมสารเคมีอื่นเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน ความพยายามใช้น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดเป็นตัวทำละลายผสมกับน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์โดยตรงในสัดส่วนต่างๆ เพื่อต้องการลดความหนืดของน้ำมันพืช และไม่ให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวนั้น ในทางปฏิบัติปัญหาที่เห็นได้ชัด คือ น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์มีความหนืดสูงเพราะมีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระอยู่ ทำให้เกิดเป็นยางเหนียวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษากับปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจากการเผาไหม้ และเกิดคราบคาร์บอนสะสม

2.2.2 การทำเป็นไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

การทำไมโครอิมัลชันเป็นการกระจายอนุภาคของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งอย่างสมดุล ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1-150 นาโนเมตร โดยของเหลวทั้งสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และกระจายตัวอยู่ได้ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดมีประจุและไม่มีประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของวิธีการนี้ คือ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องความหนืดของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ที่มีค่าสูง โดยใช้ตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล และ 1-บิวทานอล ในการทำไมโครอิมัลชัน วิธีนี้สามารถปรับปรุงลักษณะการฉีดเป็นละอองฝอยของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์จากหัวฉีด

2.2.3 การแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking or Pyrolysis)

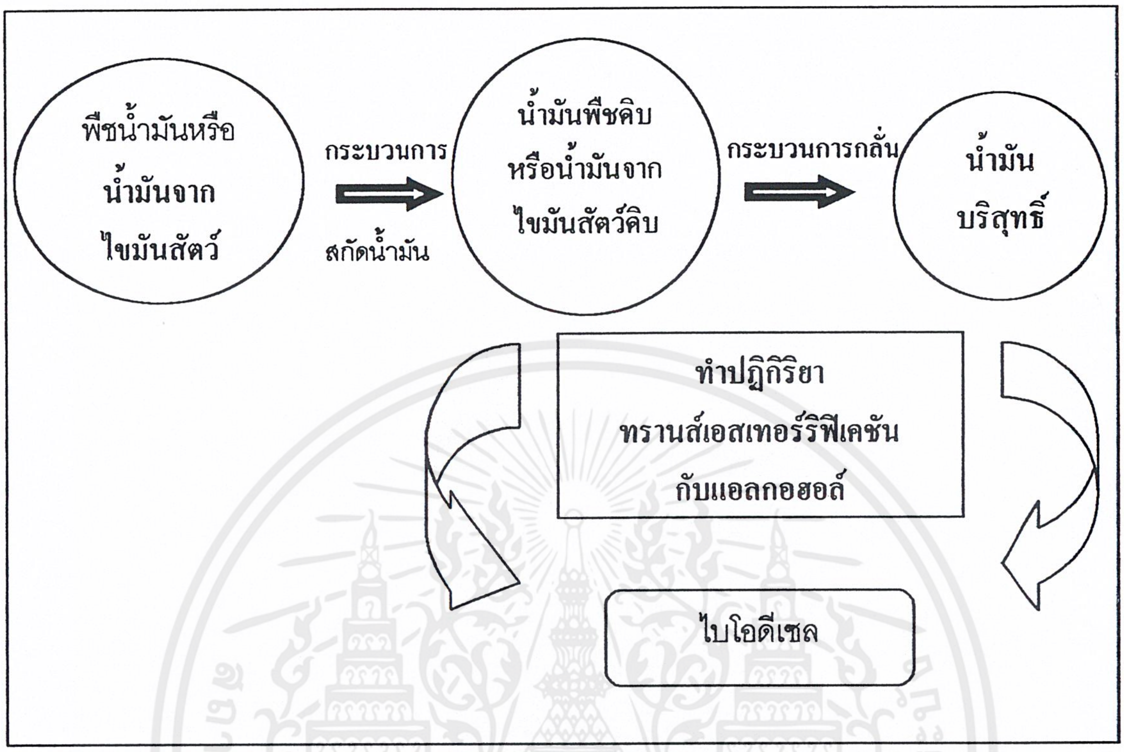
กระบวนการไพโรไลซิส เป็นการเปลี่ยนสารหนึ่งไปเป็นสารอื่นๆ มากกว่าหนึ่งสารโดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวหรือโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย โดยไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจน และการแตกพันธะทางเคมีไปเป็นโมเลกุลเล็กๆ วัตถุดิบที่ทำไพโรไลซิสอาจเป็นน้ำมันพืช น้ำมันจากไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

2.2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Tranesterification)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์และแอลกอฮอล์เพื่อเกิดเป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์มากเกินพอจะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางผลิตภัณฑ์ได้ดี ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

ในงานวิจัยครั้งนี้คำว่า ไบโอดีเซล หมายถึง น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์โดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เพื่อให้น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์เปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซลและสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล กระบวนการดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ผังอย่างง่ายในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ [2]

2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Tranesterification) [2]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ของไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น คือ เอสเทอร์และกลีเซอรอล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการที่ 2.1 ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันมักจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์มากเกินพอจะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางผลิตภัณฑ์มากขึ้น

$$
\begin{array}{lcccccl}
CH_2\text{-}OOC\text{-}R_1 & & & \text{catalyst} & R_1\text{-}COO\text{-}R' & & CH_2\text{-}OH \\
| & & & & & & | \\
CH\text{-}OOC\text{-}R_2 & + & 3R'OH & \rightleftharpoons & R_2\text{-}COO\text{-}R' & + & CH\text{-}OH \\
| & & & & & & | \\
CH_2\text{-}OOC\text{-}R_3 & & & & R_3\text{-}COO\text{-}R' & & CH_2\text{-}OH \\
\text{Glyceride} & & \text{Alcohol} & & \text{Ester} & & \text{Glycerol}
\end{array}
\qquad (2.1)
$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะลิฟาติกแอลกอฮอล์ (Aliphatic alcohols) ชนิดปฐมภูมิและทุติยภูมิที่มีหมู่ไฮดรอกซิลหมู่เดียวและมีคาร์บอน 1-8 อะตอม เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอมิลแอลกอฮอล์ สามารถนำมาใช้ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ซึ่งระหว่างแอลกอฮอล์ต่างๆ เหล่านี้ เมทานอลและเอทานอลนิยมนำมาใช้ในการทำปฏิกิริยามากที่สุด โดยเฉพาะเมทานอลเพราะมีราคาถูกและประโยชน์ในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ นั่นคือความมีขั้วและเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโซ่สั้นที่สุดซึ่งจะสามารถทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้เร็วมาก มวลสารสัมพันธ์ (Stoichiometric) ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์ คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์เท่ากับ 3:1 ในทางปฏิบัติจะต้องใช้อัตราส่วนที่สูงกว่านี้เพื่อให้สมดุลของปฏิกิริยามีทิศทางที่จะได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์มากที่สุด ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ด่าง กรด หรือเอนไซม์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดซัลโฟนิกและกรดไฮโดรคลอริก ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์นั้นสามารถใช้ไลเปส (Lipase) ได้ การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเร็วกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปกติจะใช้เวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชจะต้องเป็นแอนไฮดรัสอย่างแท้จริง (ปริมาณน้ำ $\leq$ 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และปราศจากกรดไขมันอิสระ (ปริมาณกรดไขมันอิสระ $\leq$ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เพราะว่าน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Sponification) ขึ้นบางส่วน สบู่จะลดการเกิดเอสเทอร์และจะทำให้เกิดการแยกของเอสเทอร์กับกลีเซอรอล รวมถึงจะทำให้การล้างผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำทำได้ยากขึ้น การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องการใช้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระต่ำๆ ถ้ามีน้ำหรือกรดไขมันอิสระในไตรกลีเซอไรด์มากควรใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดแทน ไตรกลีเซอไรด์สามารถทำให้บริสุทธิ์ได้โดยใช้ปฏิกิริยาการทำสบู่แล้วค่อยทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นด่าง

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์จะประกอบด้วยของผสมเอสเทอร์ กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ การแยกสิ่งเจือปนออกเพื่อให้ได้เอสเทอร์บริสุทธิ์ทำได้ยาก โมโนกลีเซอไรด์ทำให้เกิดความขุ่นในรูปของผสมของเอสเทอร์ ปัญหานี้เห็นได้ชัดโดยเฉพาะการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น ไขวัว สิ่งเจือปนเหล่านี้ก่อให้จุดหมอก (Cloud point) และจุดไหลเท (Pour point) สูงขึ้น นอกจากนี้กรดไขมันที่อยู่ในรูปในเอสเทอร์ของไขวัวจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวจำนวนมาก (ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดหมอกและจุดไหลเทสูงกว่าในเอสเทอร์ของน้ำมันพืช อย่างไรก็ตามองค์ประกอบเหล่านี้ก็มีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ในการทำอาหาร สารซักล้าง และการทำเครื่องสำอาง เป็นต้น กลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจะสามารถนำกลับไปใช้ได้ การแยกกลีเซอรอลทำได้โดยการตกตะกอนหรือแยกโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันและไขมันตามธรรมชาติเป็นกระบวนการที่นิยมที่สุดในการผลิตไบโอดีเซล วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้ก็คือการลดความหนืดของน้ำมันหรือไขมันลง แม้ว่าวิธีไมโครอิมัลชันและวิธีการผสมน้ำมันด้วยตัวทำละลายสามารถลดความหนืดได้ แต่ยังเกิดปัญหาในเรื่องประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ และเกิดคราบคาร์บอน ส่วนวิธีไพโรไลซิสนั้นจะผลิตก๊าซโซลีนออกมามากกว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนอย่างง่ายได้ดังนี้ คือ ในตอนแรกไตรกลีเซอไรด์จะถูกทำให้เป็นไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ จากนั้นในขั้นสุดท้ายโมโนกลีเซอไรด์ก็จะถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน อันดับของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับสภาวะของปฏิกิริยา ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ริฟิเคชัน คือ

1) อัตราส่วนโดยโมลของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์
2) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
3) อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา
4) ปริมาณของกรดไขมันอิสระกับน้ำในน้ำมันและไขมัน
5) ความเร็วรอบในการปั่นกวน

จากงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมาพบว่า อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ใช้กันมาก คือ อัตราส่วน 6 ต่อ 1 [2] ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่างมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือเอนไซม์ ปริมาณของด่าง และค่าที่ใช้ควรอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันหรือไขมัน [9] การใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นและจะลดเวลาในการทำปฏิกิริยาลง [2]

2.4 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล [3]

โดยทั่วไปไบโอดีเซลผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ น้ำมันพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันชนิดต่างๆ ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว มีปริมาณของกรดไขมันถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นองค์ประกอบ น้ำมันพืชเป็นสารที่ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ที่อุณหภูมิสูง หลังจากเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดเป็นสารเหนียวขึ้น น้ำมันพืชส่วนใหญ่มีคาร์บอนระหว่าง 12 ถึง 18 ตัวเป็นองค์ประกอบในกรดไขมัน และมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชเป็นดัชนีบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้มากหรือน้อย ดังนั้นการเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำในการทำไบโอดีเซล จะเกิดสารเหนียวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในเครื่องยนต์ต่ำ ชนิดของน้ำมันพืชแบ่งตามค่าไอโอดีนเป็น 3 กลุ่มดังนี้

1) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 160-230 หรือเรียกว่าน้ำมันชักแห้ง (Drying oil) เป็นน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้มาก

2) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 125-150 หรือเรียกว่าน้ำมันกึ่งชักแห้ง (Semi-drying oil)

3) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 120 หรือเรียกว่าน้ำมันไม่ชักแห้ง (Non-drying oil)

คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [3]

น้ำมันพืช	ความถ่วงจำเพาะ $^{21\,^{\circ}\text{ซ}}$ (กรัม/มิลลิลิตร)	ความหนืด $^{21\,^{\circ}\text{ซ}}$ (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
น้ำมันถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
น้ำมันทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
น้ำมันมะพร้าว	0.915	51.9	37,540
น้ำมันถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
น้ำมันปาล์ม	0.898	88.6	39,550
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ[1]	0.915	$36.9^{38\,^{\circ}\text{ซ}}$	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

[1]เจนวนิชปัญจกุล (2524)

คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [3]

น้ำมันพืช	ค่าไอโอดีน	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						
		C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
น้ำมันปาล์ม	14.1-21.0	ND-0.5	0.5-2.0	39.3-47.5	3.5-6.0	36.0-44.0	9.0-12.0	ND-0.5
น้ำมันปาล์มโอลีน	≥ 56	0.1-0.5	0.5-1.5	38.0-43.5	3.5-5.0	39.8-46.0	10.0-13.5	ND-0.6
น้ำมันปาล์มสเตียรีน	≤ 48	0.1-0.5	1.0-2.0	48.0-74.0	3.9-6.0	15.5-36.0	3.0-10.0	0.5
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	50.0-55.0	45.0-55.0	14.0-18.0	6.5-10.0	1.0-3.0	12.0-19.0	1.0-3.5	ND-0.2
น้ำมันมะพร้าว	6.3-10.6	45.1-53.2	16.8-21.0	7.5-10.2	2.0-4.0	5.0-10.0	1.0-2.5	ND
น้ำมันถั่วลิสง[1]	86-107	ND-0.1	ND-0.1	8.0-14.0	1.0-4.5	35.0-67.0	13.0-43.0	ND-0.3
น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	101	ND	ND	14.9	6.0	41.2	37.4	ND
น้ำมันเมล็ดเรพ	94-120	ND	ND-0.2	1.5-6.0	0.5-3.1	8.0-60.0	11.0-23.0	5.0-13.0
น้ำมันถั่วเหลือง	124-139	ND-0.1	ND-0.2	8.0-13.5	2.0-5.4	17.7-28.0	49.8-59.0	5.0-11.0

<u>หมายเหตุ</u> หมายเลขหน้าเครื่องหมาย : หมายถึง จำนวนคาร์บอนอะตอม

หมายเลขหลังเครื่องหมาย : หมายถึง จำนวนพันธะคู่

ND: ไม่พบ

[1] รวมถึง C 20:0 = 1.0-2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ใช้น้ำมันเมล็ดในปาล์มจาก บริษัท ทักษิณสัมพันธ์ จำกัด มาทำปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซล

2.4.1 น้ำมันปาล์ม [4-5]

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้นจัดอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงเจริญเติบโตได้ดีในเขตภาคใต้ของประเทศ บริเวณพื้นที่ที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุด คือ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล และตรัง ทั้งนี้เนื่องจากผลตอบแทนการปลูกปาล์มน้ำมันดีกว่าการปลูกพืชชนิดอื่น เช่น ยางพารา ข้าว จึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูก คาดว่าปริมาณความต้องการน้ำมันปาล์มภายในจะเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกมีแนวโน้มสูง น้ำมันปาล์มได้จากเนื้อของผลปาล์มสด น้ำมันปาล์มมีสีแดงส้ม เนื่องจากความเข้มข้นของแคโรทีนในน้ำมันปาล์มมีค่าสูงถึง 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สัดส่วนการใช้ประโยชน์น้ำมันปาล์มของอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศไทยแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สัดส่วนการใช้ประโยชน์น้ำมันปาล์มของอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศไทย [4]

ประเภทอุตสาหกรรม	เปอร์เซ็นต์
อุตสาหกรรมเพื่อการบริโภค	62.2
อุตสาหกรรมสบู่	9.2
อุตสาหกรรมของว่างและขบเคี้ยว	8.6
อุตสาหกรรมบริโภคอื่นๆ เช่น พลาสติก เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น	7.6
อุตสาหกรรมบะหมี่สำเร็จรูป	5.9
อุตสาหกรรมนมข้นหวานและนมจืด	4.4
อุตสาหกรรมครีมเทียม	1.3
อุตสาหกรรมเนยขาวและเนยเทียม	1.0

<u>หมายเหตุ</u> การใช้ประโยชน์ในการผลิตไบโอดีเซลยังไม่ได้ประเมิน

2.4.2 น้ำมันเมล็ดในปาล์ม [5]

เมื่อนำผลปาล์มมาสกัดน้ำมันจะให้น้ำมันสองชนิดที่แตกต่างกัน เนื้อของผลปาล์มจะให้น้ำมันปาล์ม ความเข้มของสีมีค่าสูง ประกอบด้วยกรดไขมันที่ประกอบด้วยคาร์บอน 16-18 อะตอม และอุณหภูมิจุดหลอมเหลวมีค่าสูงเป็นประโยชน์ของน้ำมันปาล์ม ส่วนเมล็ดในผลปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาสกัดจะได้น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm kernel oil) น้ำมันที่สกัดได้จะมีคุณสมบัติไม่มีสี มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ มีความอิ่มตัวสูง ช่วงอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของกลีเซอไรด์แคบ ลักษณะองค์ประกอบต่างๆ ของน้ำมันเมล็ดในปาล์มแสดงในตารางที่ 2.4 นอกจากนี้น้ำมันเมล็ดในปาล์มจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้มีกลิ่นเหม็นหืนได้ง่าย

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบต่างๆ ของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม [5]

Fatty acid composition		**Palm kernel oil (wt %)**
Caprylic	C 8:0	3
Capric	C 10:0	4
Lauric	C 12:0	51
Myristic	C 14:0	17
Palmitic	C 16:0	8
Stearic	C 18:0	2
Oleic	C 18:1	13
Linoleic	C 18:2	2

<u>หมายเหตุ</u> หมายเลขหน้าเครื่องหมาย : หมายถึง จำนวนคาร์บอนอะตอม

หมายเลขหลังเครื่องหมาย : หมายถึง จำนวนพันธะคู่

2.5 น้ำมันดีเซล [6]

น้ำมันดีเซล คือ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมชนิดหนึ่งที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ โดยมีช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่าง 150-360 องศาเซลเซียส น้ำมันดีเซลจะต้องจุดระเบิดได้เองโดยเร็วและเผาไหม้หมดภายใต้สภาวะภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

ชนิดของน้ำมันดีเซล

1) น้ำมันดีเซลหมุนช้า (Low speed diesel) หรือเรียกกันในชื่ออื่นๆ เช่น Industrial Diesel Oil (IDO) หรือน้ำมันขี้โล้ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบต่ำกว่า 300 รอบต่อนาทีใช้ในการขับเคลื่อนเรือเดินทะเล การผลิตไฟฟ้า

2) น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (High speed diesel) หรือเรียกกันในชื่ออื่นๆ เช่น Automotive Diesel Oil (ADO), Gas oil หรือน้ำมันโซล่า ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูงกว่า 1,000 รอบต่อนาที เช่น รถบรรทุก รถโดยสาร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลจะมีขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานในสภาวะต่างๆ ดังนั้นน้ำมันดีเซลจึงต้องมีคุณสมบัติเหมาะกับเครื่องยนต์นั้นๆ คือ ต้องจุดระเบิดได้เองโดยเร็วและเผาไหม้ภายใต้สภาวะภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่สำคัญมีดังนี้

1) ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญคุณสมบัติหนึ่งของน้ำมันดีเซล เพราะมีผลต่อการทำงานของปั๊มและหัวฉีดของเครื่องยนต์ดีเซล กล่าวคือ ถ้าน้ำมันใสหรือข้นเกินไปจะทำให้การพ่นฉีดเป็นละอองฝอยได้ไม่ดี ซึ่งจะมีผลต่อการเผาไหม้ และควันดำของไอเสีย

2) อุณหภูมิการกลั่น (Distillation temperature) เป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงการระเหย (Volatility) ของน้ำมัน ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันมีจุดเดือดสูงเกินไป เพราะจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่หมดและเกิดควันดำได้ จึงมีข้อกำหนดเกี่ยวกับอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันดีเซลที่ 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะต้องไม่ให้สูงกว่า 357 องศาเซลเซียส

3) จุดวาบไฟ (Flash point) โดยปกติน้ำมันจะไม่ติดไฟ แต่ส่วนที่ติดไฟได้คือไอของน้ำมันที่ระเหยออกมาผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม จุดวาบไฟมีความสัมพันธ์กับอัตราการระเหยกลายเป็นไอของน้ำมัน น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำจะทำให้เกิดการสิ้นเปลือง เพราะมีการระเหยง่าย จุดวาบไฟเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการขนส่งและการเก็บรักษา น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำจะต้องดูแลรักษาอย่างระมัดระวัง

4) จุดไหลเท (Pour point) จะบอกถึงอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่น้ำมันยังไหลได้โดยจะมีผลต่อการใช้น้ำมันที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันที่มีไขเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ไขจะแยกตัวออกมาเป็นผลึกและจับตัวกันหุ้มส่วนที่ยังไหลได้ไว้ภายในทำให้น้ำมันหยุดไหล

ตัวอย่างความสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์แสดงในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์ [6]

คุณสมบัติ	ผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์
ความหนืด	ผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ คือ เครื่องยนต์ความเร็วรอบต่ำสามารถใช้น้ำมันที่มีความหนืดสูงกว่าเครื่องยนต์ความเร็วรอบสูง
อุณหภูมิการกลั่น	ค่าอุณหภูมิการกลั่นถ้ามีค่าสูงเกินไปจะทำให้น้ำมันดีเซลมีจุดเดือดสูงเกินไปอันจะทำให้เกิดควัน มีกลิ่นเหม็น และเกิดความสกปรกต่อเครื่องยนต์
จุดวาบไฟ	จุดวาบไฟมีความสัมพันธ์กับการระเหยและการติดไฟระหว่างเครื่องยนต์ทำงาน แต่ถ้ามีค่าต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนดจะมีผลต่อความปลอดภัยในระหว่างการเก็บสำรองและการขนส่ง
จุดไหลเท	สำหรับมาตรฐานของค่าจุดไหลเทของน้ำมันดีเซลมีผลต่อการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดเพราะจะทำให้น้ำมันแข็งตัวมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์
ดัชนีซีเทน	ดัชนีซีเทนเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการจุดระเบิดและการลุกติดไฟ ซึ่งมีผลต่อการติดเครื่องยนต์ การเผาไหม้ และปริมาณมลพิษในไอเสีย ยิ่งค่าดัชนีซีเทนมีค่ามากขึ้นมีผลทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น
ค่าความร้อน	ค่าความร้อนมีผลต่อกำลังของเครื่องยนต์และการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	ถ้าน้ำมันดีเซลมีค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดงมากกว่าค่ามาตรฐานมีผลทำให้การกัดกร่อนชิ้นส่วนโลหะในเครื่องยนต์มากขึ้น
ปริมาณกากถ่าน	ปริมาณกากที่เหลือหลังจากการเผาไหม้เป็นสิ่งสกปรกที่เครื่องยนต์
ปริมาณเถ้า	เถ้าเป็นสารอนินทรีย์ที่คงเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ซึ่งเกาะผนังเครื่องยนต์ทำให้เครื่องยนต์มีความสกปรก
ปริมาณน้ำและกากตะกอน	น้ำและกากตะกอนมีผลต่อการอายุการใช้งานของไส้กรองและหัวฉีดหากมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.6
ปริมาณกำมะถัน	กำมะถันนอกทำให้เกิดการกัดกร่อนและทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศหลังการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่าย [7]

คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล	มาตรฐาน	น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล	
		หมุนช้า	หมุนเร็ว
ความหนืด ที่อุณหภูมิ 40 °ซ (เซนติสโตกส์)	ASTM D445	ไม่สูงกว่า 8	1.8-4.1
อุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 90 โดยปริมาตร (องศาเซลเซียส)	ASTM D86		ไม่สูงกว่า 357
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ASTM D93	ไม่ต่ำกว่า 52	ไม่ต่ำกว่า 52
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ASTM D97	ไม่สูงกว่า 16	ไม่สูงกว่า 10
ดัชนีซีเทน	ASTM D613	ไม่ต่ำกว่า 45	ไม่ต่ำกว่า 47
	ASTM D976		
ความถ่วงจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 15.6 °ซ	ASTM D1298	ไม่สูงกว่า 0.92	0.81-0.87
ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)			
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง ที่ 50° ซ	ASTM D130		ไม่สูงกว่า 0.05
ปริมาณกากถ่าน, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ASTM D189		ไม่สูงกว่า 0.05
ปริมาณเถ้า, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ASTM D482	ไม่สูงกว่า 0.02	ไม่สูงกว่า 0.01
ปริมาณน้ำและตะกอน, ร้อยละ โดยปริมาตร	ASTM D2709	ไม่สูงกว่า 0.3	ไม่สูงกว่า 0.05
ปริมาณกำมะถัน, ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ASTM D2622	ไม่สูงกว่า 1.5	ไม่สูงกว่า 0.05

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยภายในประเทศ [3]

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 นักวิจัยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) มีงานวิจัยในเรื่องการใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ (Jatropha curcas) น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล งานวิจัยใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ยันมาร์ขนาด 7 แรงม้า โดยไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใด ผลการทดลองพบว่า น้ำมันถั่วลิสงทั้งชนิดดิบและที่ผ่านกระบวนการกลั่นมีความหนืดสูง การติดเครื่องยนต์เป็นไปได้ยาก มีปัญหาในการเดินเครื่องที่รอบต่ำๆ เครื่องเดินสะดุด การสันดาปเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์และไม่ต่อเนื่อง ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระยะสั้น (Short term engine performance test) พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วลิสงทั้งชนิดดิบและที่ผ่านกระบวนการกลั่นเป็นเชื้อเพลิงให้กำลังใกล้เคียงกับที่ใช้น้ำมันดีเซล หลังการทดสอบเดินเครื่องยนต์ และจากการตรวจสภาพชิ้นส่วนของเครื่องยนต์พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสงมีเขม่าจับที่ลูกสูบและวาล์วมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และมีตะกรันขาวตกอยู่ในถังบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลต่อลูกสูบและหัวฉีดหากหลุดติดไปกับน้ำมันเชื้อเพลิง

เพื่อแก้ปัญหาเรื่องความหนืดสูง วท. [3] ได้ทดลองเดินเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบในน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าด โดยให้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบ 40 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันดีเซล และ 50 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันก๊าด ผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะสั้นพบว่า ใช้งานได้ดี ติดเครื่องยนต์ได้ง่าย เกิดการสันดาปอย่างต่อเนื่อง และไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดที่รอบต่ำเหมือนการใช้น้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบเพียงอย่างเดียว

วท. [3] นำ Fatty acid methyl ester จากน้ำมันปาล์ม หรือที่เรียกว่าเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มมาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับเมทานอลโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มที่ได้มีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ในการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า เครื่องยนต์ดีเซลให้กำลังเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซลทุกประการ อย่างไรก็ตามไม่มีรายงานการทดลองและผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์เมื่อใช้ในระยะยาว

สถาพร บุญสมบัติ [8] ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานของน้ำมันดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งผลทดสอบด้วยการนำรถยนต์วิ่งบนถนนจริงพบว่า สามารถติดเครื่องยนต์ดีเซลได้ และอัตราการสิ้นเปลืองใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์เดินเรียบและเงียบกว่าการใช้น้ำมันดีเซล สามารถลดควันดำได้ดีกว่าน้ำมันดีเซลโดยให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าน้ำมันดีเซลที่ให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกินกว่ามาตรฐาน 50 เปอร์เซ็นต์

2.6.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Praveen et al. (1996) [9] ทดลองโดยใช้ไขมันสัตว์และน้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันทำปฏิกิริยากับเมทานอล และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1-1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับไขมันสัตว์ ที่อุณหภูมิ 68-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากการทดลองโดยใช้ไขมันสัตว์พบว่า ได้เปอร์เซ็นต์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลิตภัณฑ์สูงสุด คือ 98 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ผลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของไขมันสัตว์ [9]

เปอร์เซ็นต์ตัวเร่งปฏิกิริยา	เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ผลที่ได้ (เปอร์เซ็นต์)
0.8[a]	1.5	75.0
1.35[a]	1.5	78.5
0.75[b]	1.5	83.1
1.40[a]	1.5	74.6
2.05[a]	1.5	73.9
1.0[b]	2.0	81.4
1.0[a]	2.0	80.0
0.33[b]	1.5	95.0
0.42[b]	1.5	98.0
0.52[b]	1.0	96.2
0.53[b]	1.5	97.0
0.61[b]	1.5	90.5

a เป็นสารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

b เป็นเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์

ส่วนการทดลองโดยใช้น้ำมันถั่วเหลือง ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.05-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันถั่วเหลือง ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 5-90 นาที จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเวลามีผลน้อยต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และได้เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์สูงสุด คือ 98 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาประมาณ 5-10 นาที ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์ของไขมันสัตว์ เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดีเซลแสดงในตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
45681

ตารางที่ 2.8 สมบัติทางกายภาพของเอสเทอร์จากไขมันสัตว์ เอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมัน-คีเซล [9]

คุณสมบัติทางกายภาพ	เอสเทอร์จากไขมันสัตว์	เอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันดีเซล
ความหนาแน่นที่ 40 องศา-เซลเซียส (กรัม/มิลลิลิตร)	0.856-0.859	0.866-0.869	0.835
ความหนืดที่ 40 องศา-เซลเซียส (เซนติสโตกส์)	3.75-3.99	3.70-3.90	2.63
จุดหมอก (องศาเซลเซียส)	10-12	(-1) – 2	(-19) - (-15)

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการ Recovery ของผลิตภัณฑ์ร่วม คือ กลีเซอรอลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น โดยนำมากลั่นเพื่อแยกเอากลีเซอรอลออก และเปลี่ยนกลีเซอรอลที่ได้ให้เป็นมอนอกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์โดยเติมไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มลงไป

Badal et al. (1997) [10] ได้รวบรวมผลงานที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ อนุพันธ์ของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ สมบัติของเอสเทอร์ชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 สมบัติของเอสเทอร์ชนิดต่างๆ [10]

ชนิดของเอสเทอร์	ค่าซีเทน (Cetane number)	ความจุความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)	ความหนืดที่ 40 °ซ (เซนติพอยส์)	จุดหมอก (องศาเซลเซียส)	จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)
เมทิลเอสเทอร์						
น้ำมันเมล็ดเรพ	54.4	40449	6.7	-2	-9	84
น้ำมันดอกคำฝอย	49.8	40060	-	-	-6	180
น้ำมันถั่วเหลือง	46.2	39800	4.08	2	-1	171
น้ำมันดอกทานตะวัน	46.6	39800	4.22	0	-4	-
เอทิลเอสเทอร์						
น้ำมันปาล์ม	56.2	39070	4.5	8	6	19
น้ำมันถั่วเหลือง	48.2	40000	4.41	1	-4	174
น้ำมันจากไขมันสัตว์	-	-	-	15	12	-

- ไม่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Freedman et al. (1984) [11] ได้ศึกษา 1) ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันพืชและเมทานอลต่อค่าการเปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์โดยใช้น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันเมล็ดฝ้าย จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 จะได้ค่าการเปลี่ยนสูงที่สุดประมาณ 93-98 เปอร์เซ็นต์ 2) ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ด่างจะเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และได้ศึกษาชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาด่างจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจากไขวัวพบว่า เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมเมทอกไซด์ในปริมาณ 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับไขวัวตามลำดับ จะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูงที่สุดและเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับไขวัว ค่าการเปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์เกือบจะเท่ากับเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับไขวัวหลังจากทำปฏิกิริยาผ่านไป 60 นาที 3) ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาพบว่า เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ริฟิเคชันจากน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันเมล็ดฝ้ายด้วยอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันพืชต่อเมทานอลเท่ากับ 1 ต่อ 6 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโซเดียม-เมทอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันพืช ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดทานตะวันจะได้ผลิตภัณฑ์ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์หลังจากทำปฏิกิริยาผ่านไป 1 นาที ค่าการเปลี่ยนของน้ำมันพืชทั้งสี่ชนิดไปเป็นเอสเทอร์เกือบจะเท่ากันหลังจากทำปฏิกิริยาผ่านไป 60 นาที (เกิดผลิตภัณฑ์ 93-98 เปอร์เซ็นต์) และ 4) ผลของอุณหภูมิพบว่า ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจากน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 32, 45 และ 60 องศาเซลเซียส จะเกิดเอสเทอร์ขึ้น 64, 87 และ 94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเวลาผ่านไป 6 นาที และการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์เอสเทอร์จะเท่ากันที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียสเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

1) แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)

2) ขวดสามคอขนาด 500 มิลลิลิตร

3) มอเตอร์และเครื่องควบคุมความเร็วรอบ

4) เครื่องควบแน่น

5) เทอร์โมมิเตอร์

6) กรวยแยก

7) บีกเกอร์

8) เครื่องชั่ง

9)ใบกวน

3.1.2 สารเคมี

1) น้ำมันเมล็ดในปาล์ม

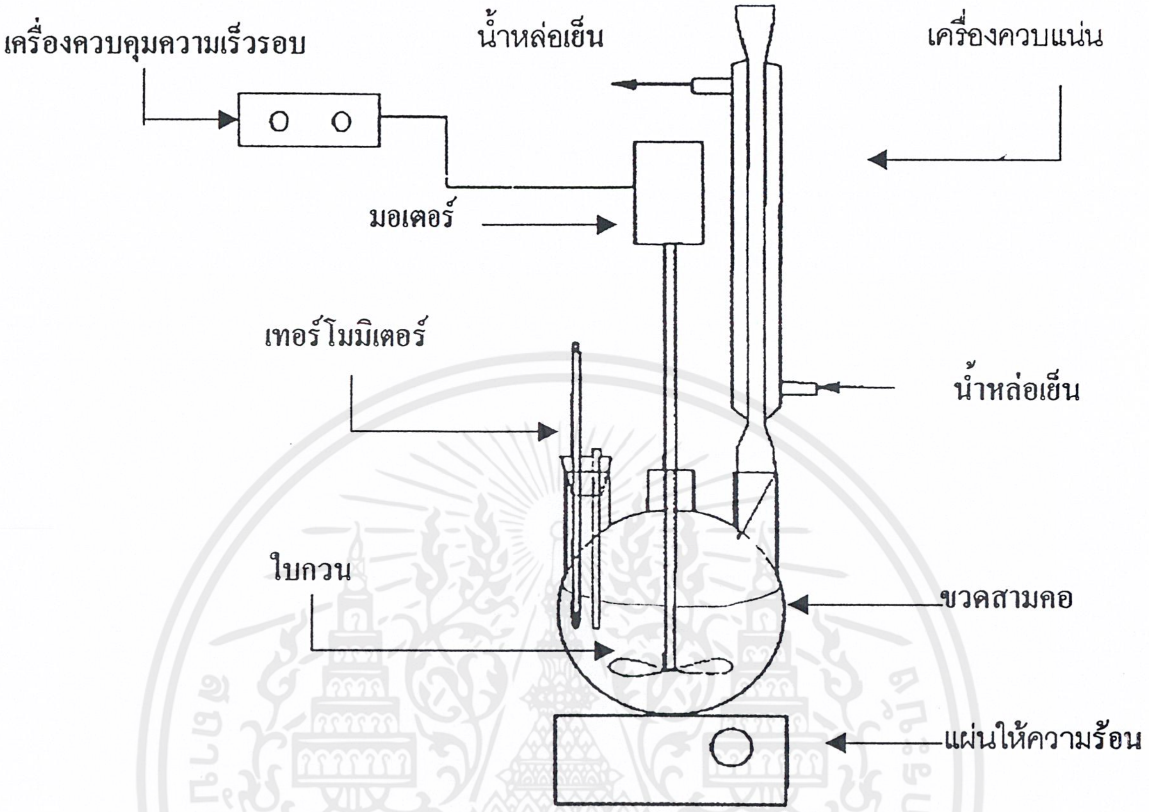
2) เมทานอลความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์

3) เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์

4) น้ำประปาอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองแสดงในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การเตรียมน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

นำน้ำมันเมล็ดในปาล์มไปผ่านการกรองแบบลดความดัน เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำมันเมล็ดในปาล์มออก หลังจากกรองน้ำมันเมล็ดในปาล์มแล้วจึงนำน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ผ่านการกรองแล้วไปใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อไป

3.2.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1) ชั่งน้ำหนักของน้ำมันเมล็ดในปาล์มประมาณ 200 กรัมใส่ลงในขวดสามคอ แล้วอุ่นให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 70 องศาเซลเซียส กวนที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผสมเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอล ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ต้องการ นำไปอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลาย

3) เทของผสมระหว่างเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลลงในน้ำมันเมล็ดในปาล์มแล้วติดตั้งเครื่องควบแน่นที่ขวดสามคอ จากนั้นปั่นกวนของผสมเป็นเวลาเท่ากับเวลาของการทำปฏิกิริยา คือ 5 หรือ 30 นาที

4) เมื่อครบเวลา ให้ไปใส่ลงในกรวยแยก ไขส่วนที่อยู่ด้านล่างซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรอลและเมทานอลออก จากนั้นล้างผลิตภัณฑ์ส่วนบนซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำประปาอุ่นประมาณ 50 องศาเซลเซียส 3 ครั้ง

5) นำผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

6) ทำการทดลองในข้อที่ 1-5 ซ้ำ โดยเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา แผนภาพแสดงขั้นตอนในการทดลองแสดงในรูปที่ 3.2

7) นำผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ในหัวข้อที่ 3.3 รายละเอียดและวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์แสดงในภาคผนวก ข

3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลที่วิเคราะห์

3.3.1 ค่า API และความหนาแน่นที่ 15.6 °ซ (ASTM D 1298)

3.3.2 ความหนืด (ASTM D 445) : Viscometer type E

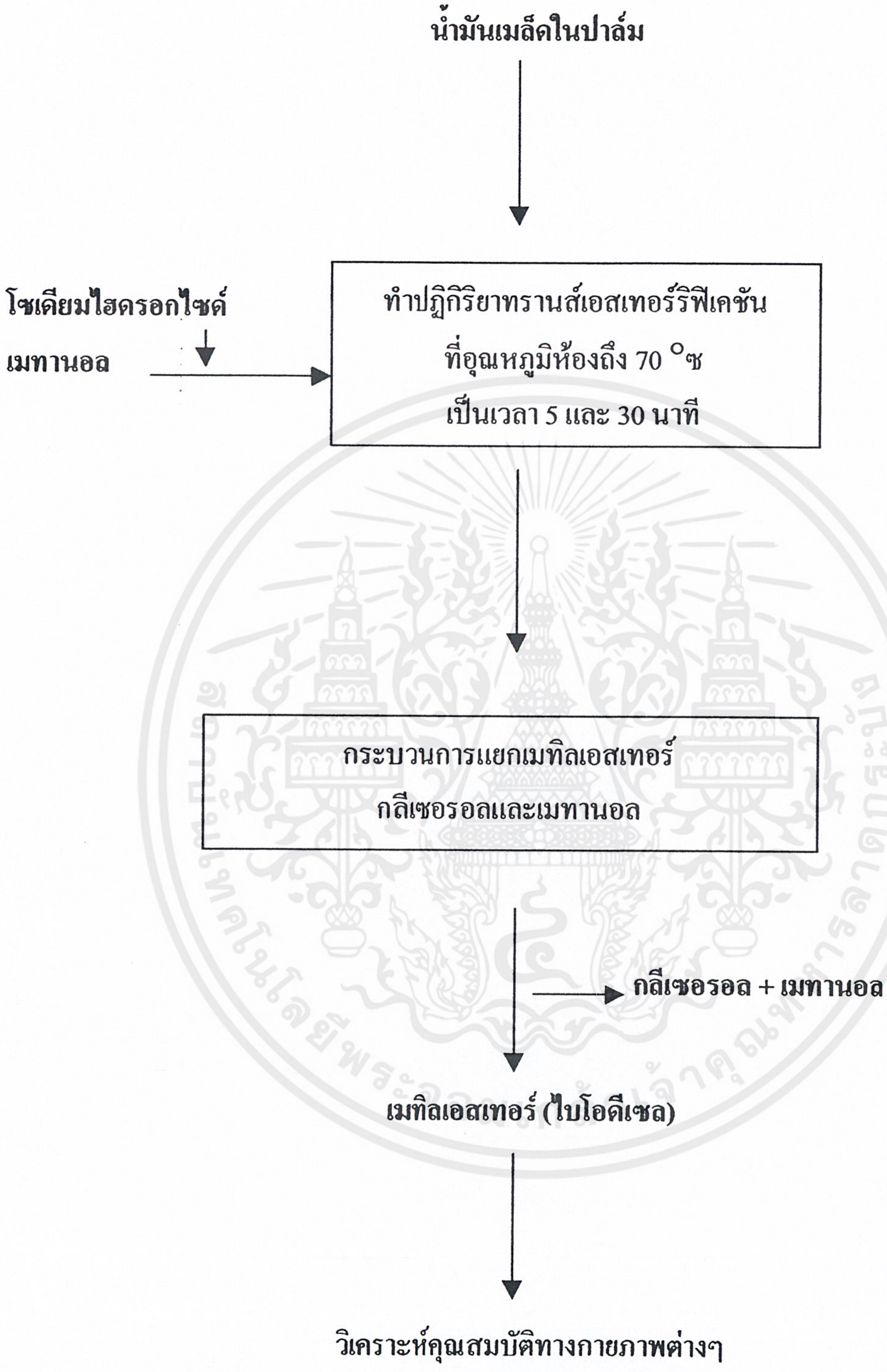
3.3.3 จุดวาบไฟ (ASTM D 92)

3.3.4 จุดไหลเท (ASTM D 97)

3.3.5 Distillation curve (ASTM D 86)

3.3.6 การพิสูจน์หมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล

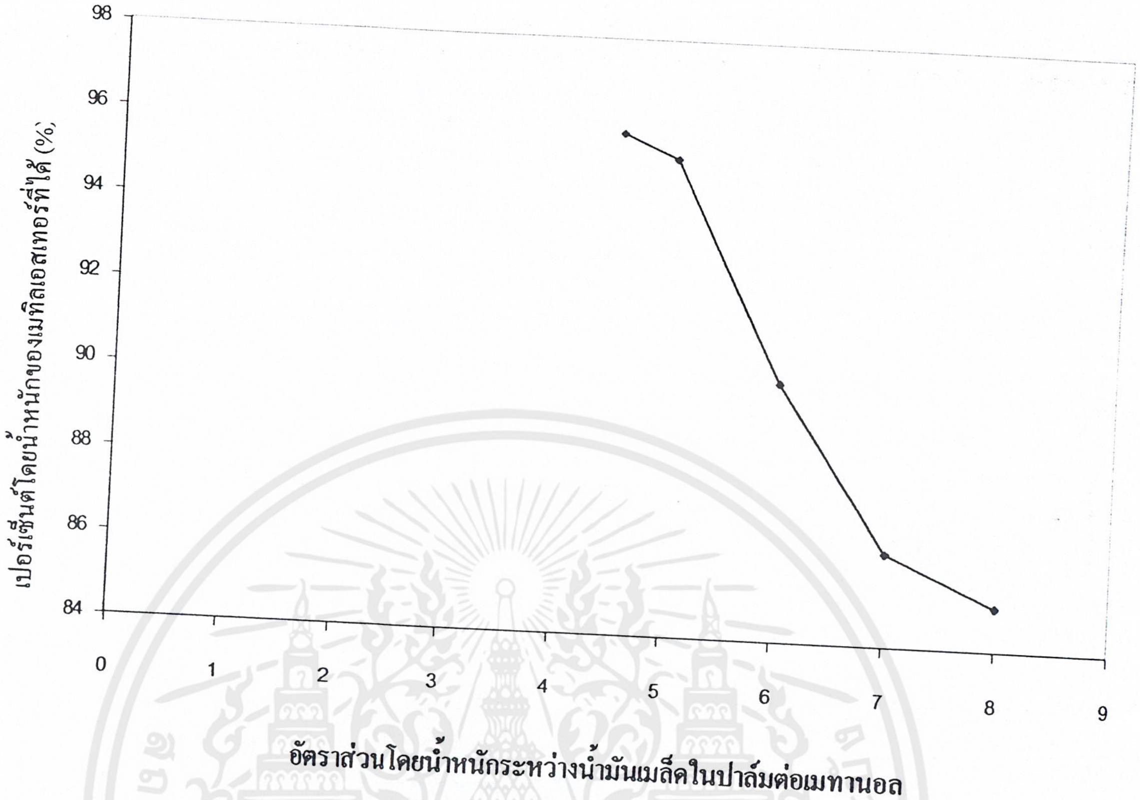
ผลของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มและความหนืดเป็นเซนติสโตกส์ จากการทดลองเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลต่างๆ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เมทิลเอสเทอร์ที่ได้และความหนืดที่อุณหภูมิ 40 และ 100 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลต่างๆ

อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล	เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม)	ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (เซนติสโตกส์)	ความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (เซนติสโตกส์)
8 : 1	85.03	6.95	2.88
7 : 1	86.19	6.19	2.41
6 : 1	90.08	5.12	2.13
5 : 1	95.22	4.63	1.88
4.5 : 1	95.78	4.44	1.68

หมายเหตุ การทดสอบความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนี้ได้ทำตามมาตรฐาน ASTM D 445 เพื่อตรวจสอบว่าน้ำมันมีความหนืดเหมาะสมต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล

4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ผลของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มจากการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที และ 30 นาที แสดงในตารางที่ 4.2, 4.3 และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 เมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เวลา 5 นาที

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (° ซ)	ปริมาณน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้ (กรัม)	เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้
อุณหภูมิห้อง*	-	-	-
50	50.02	45.86	91.70
60	50.02	50.60	101.20
70	50.03	53.90	107.70

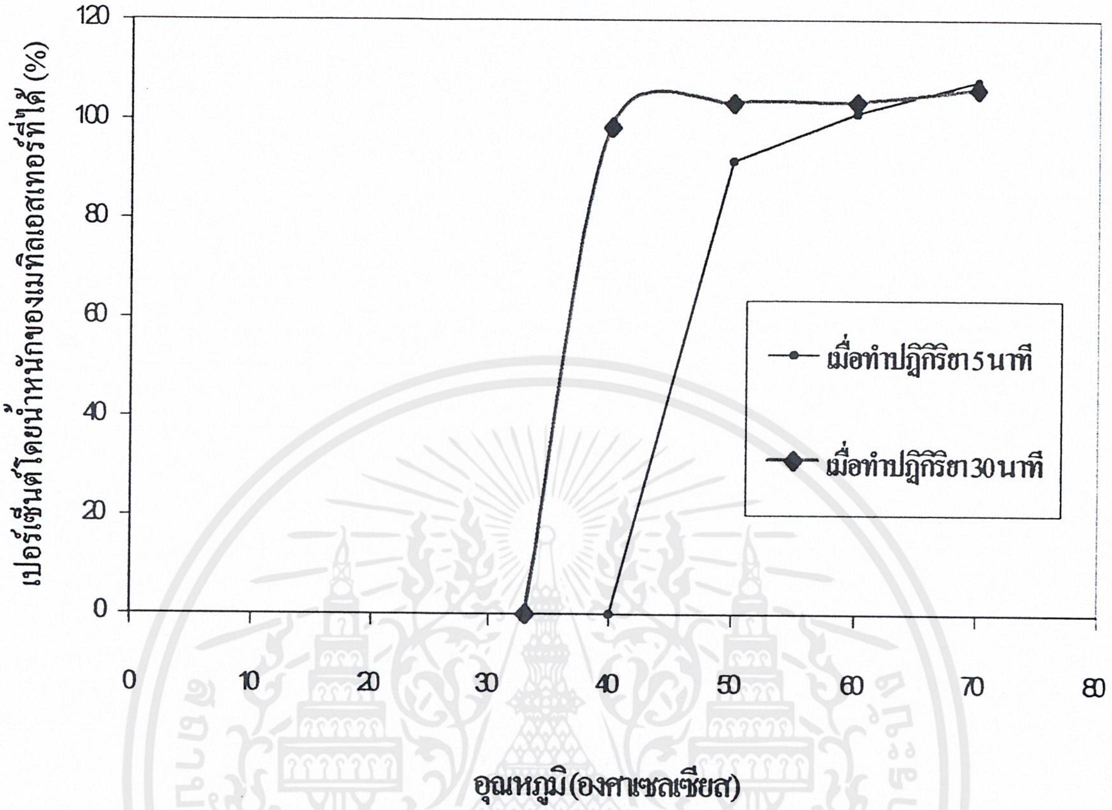
ตารางที่ 4.3 เมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เวลา 30 นาที

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (° ซ)	ปริมาณน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้ (กรัม)	เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้
อุณหภูมิห้อง*	-	-	-
40	50.25	49.43	98.38
50	50.01	51.68	103.30
60	50.01	51.76	103.50
70	50.02	53.07	106.10

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันนี้ยังไม่ได้ผ่านการล้างด้วยน้ำอุ่น ค่าที่ได้แสดงแนวโน้มอย่างคร่าวๆ ของการเกิดผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

* ไม่เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องในการทดลองที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลา

4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์

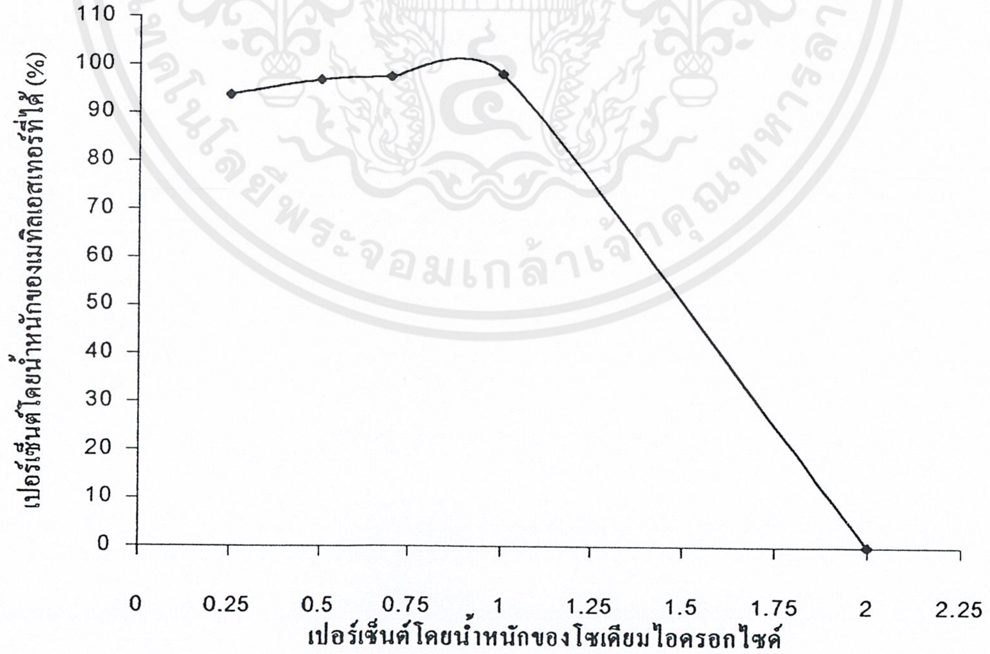
ผลของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม จากการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ 30 นาทีตามลำดับ แสดงในตาราง ที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 เมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 200 กรัม

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันเมล็ดในปาล์ม)	เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (กรัม)	ชั้นกลีเซอรอลที่ได้ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (%)	เปอร์เซ็นต์ของชั้นกลีเซอรอลที่ได้ (%)
0.25	189.3	16.4	93.7	0.8
0.50	193.7	37.1	96.8	18.5
0.70	195.4	42.2	97.5	21.0
1.00	196.2	42.8	98.1	21.4
2.00	-	-	-	-

หมายเหตุ การทำปฏิกิริยาที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันเมล็ดในปาล์มนี้เกิดสบู่ขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ได้ เนื่องจากของผสมจากการทำปฏิกิริยาผสมเป็นเนื้อเดียวกันไม่แยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์

เมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [7]

คุณสมบัติทางกายภาพที่วิเคราะห์	เมทิลเอสเทอร์จากการใช้ NaOH 0.25 % โดยน้ำหนัก	เมทิลเอสเทอร์จากการใช้ NaOH 1.00 % โดยน้ำหนัก	น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลชนิด	
			หมุนช้า	หมุนเร็ว
ความหนาแน่นที่ 15.6 °ซ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.890	0.873	≤ 0.92	0.81-0.87
ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °ซ (เซนติสโตกส์)	4.44	3.15	≤ 8	1.8-4.1
จุดวาบไฟ (°ซ)	134	190	≥ 52	≥ 52
จุดไหลเท (°ซ)	8	10	≤ 16	≤ 10
API	27.5	30.5	≥ 22.30	31.14 – 43.19
ดัชนีซีเทน	36.5	43.1	≥ 45	≥ 47

เมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ ที่ได้มาทำการวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิการกลั่น (Distillation curve) ที่ Initial Boiling Point (IBP) 10, 20, 30, 40, และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ ที่กลั่นออกมาจากเครื่องกลั่น ค่า API และดัชนีซีเทนแสดงในตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

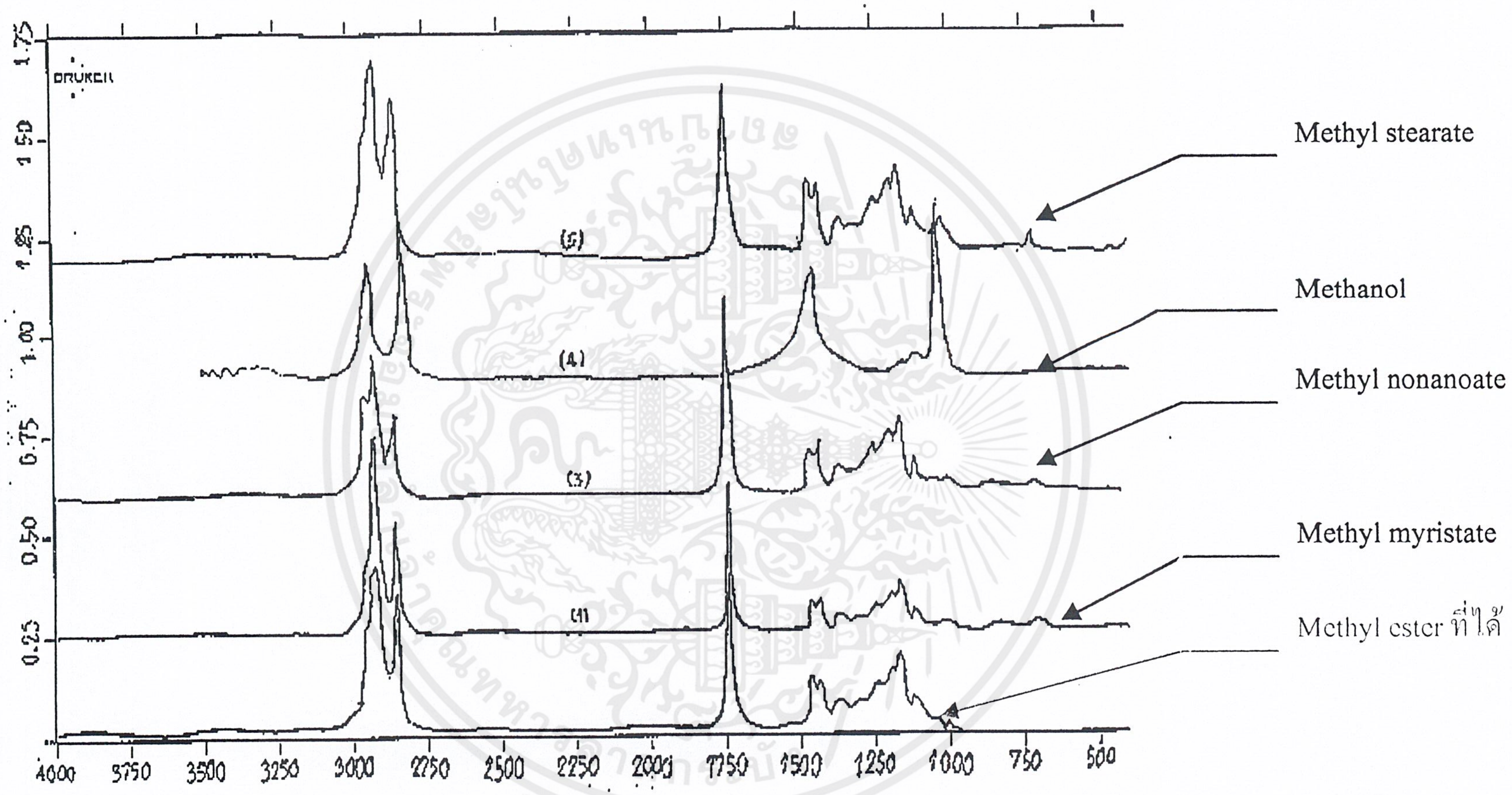
ตารางที่ 4.6 ช่วงอุณหภูมิการกลั่น (Distillation curve) ที่ Initial Boiling Point (IBP) 10, 20, และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ค่า API และดัชนีซีเทนของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่างๆ

	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม			
	0.25 %	0.50 %	0.70 %	1.00 %
IBP	81	78	80	86
10%	262	258	252	243
20%	266	264	262	260
50%	270	276	278	282
API	27.5	29.5	29.8	30.5
ดัชนีซีเทน	36.5	40.6	41.4	43.1

4.5 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometers (FTIR)

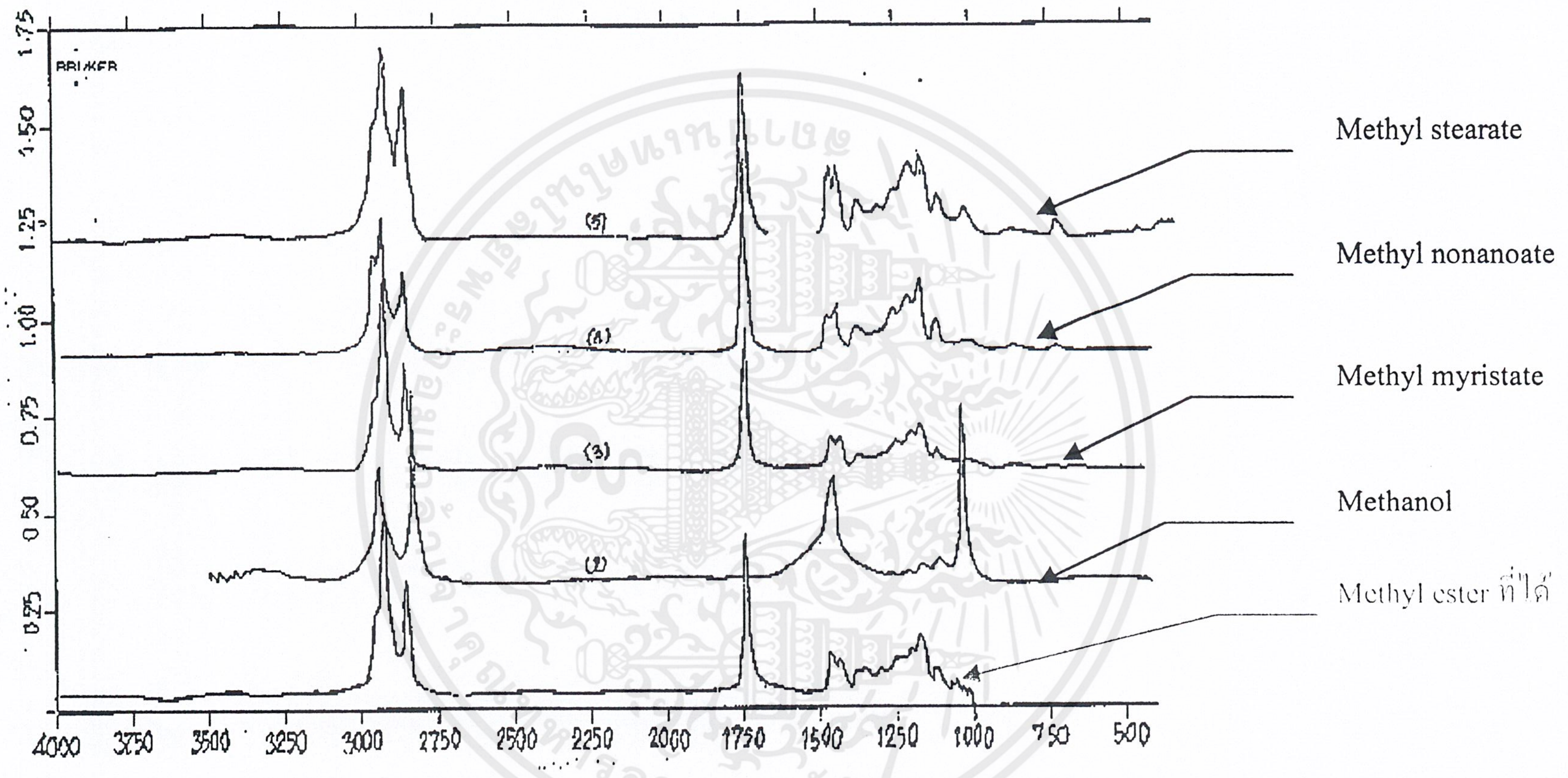
จากการนำผลิตภัณฑ์ส่วนบนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometers (FTIR) พบว่ามีหมู่ฟังก์ชัน คือ หมู่เมทิล (-CH3 : Methyl group) และหมู่คาร์บอนิลที่มีหมู่เมทิลต่ออยู่ (-CO- : Carbonyl group) จากเอกสารอ้างอิง [12] ระบุไว้ว่าช่วง Wave number ที่หมู่เมทิลดูดซับคลื่นแสงอินฟาเรด คือ 2,950-2,975 cm^{-1} ลักษณะกราฟจะเห็นได้ชัดเจน (Strong) และช่วง Wave number 2,865-2,885 cm^{-1} ลักษณะกราฟจะไม่ชัดเจน (Weak) ส่วนหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (Carbonyl) จะเกิดพีก (Peak) อย่างเห็นได้ชัดเจนที่ 1,735-1,750 cm^{-1} ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ส่วนบนซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometers (FTIR) เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 และ 8 ต่อ 1 และสารที่ทราบชนิดแล้วแสดงในรูปที่ 4.4, 4.5 และตารางที่ 4.7 ตามลำดับ พบว่าทั้งสองอัตราส่วนเกิดพีกในช่วง Wave number ดังกล่าวข้างต้น โดยกราฟแสดงค่า Transmittance (%) และค่าการดูดซับ (Absorbance Units) ต่อช่วง Wave number ต่างๆ ไว้ในภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ส่วนบนซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometers (FTIR) ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 เทียบกับสารที่ทราบชนิดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ส่วนบนซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometers (FTIR) ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 8 ต่อ 1 เทียบกับสารที่ทราบชนิดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์จากอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 และ 8 ต่อ 1 เทียบกับสารที่ทราบชนิดแล้ว

หมู่ฟังก์ชันที่ทดสอบ	มาตรฐานช่วง Wave number จากการทดสอบด้วยเครื่อง FTIR (cm^{-1})	อัตราส่วน 4.5 ต่อ 1	อัตราส่วน 8 ต่อ 1	Methyl myristate	Methyl nonanoate	Methyl stearate
หมู่เมทิล	2,950-2,975	✓	✓	✓	✓	✓
	2,865-2,885	✓	✓	✓	✓	✓
หมู่คาร์บอนิล	1,735-1,750	✓	✓	✓	✓	✓

✓ เกิดพีกในช่วง Wave number นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

5.1 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันลดลง ทำให้เปอร์เซ็นต์ของเมทิล-เอสเทอร์ที่ได้เพิ่มขึ้น และความหนืดลดลง

5.2 ผลของอุณหภูมิและเวลา

จากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มและเมทานอลที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการทำปฏิกิริยาที่เวลา 5 และ 30 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา 5 นาทีต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา 30 นาที สำหรับที่อุณหภูมิ 60-70 องศา-เซลเซียสที่เวลา 5 นาที และ 30 นาที เปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นเกิดขึ้นเร็วมาก สังเกตได้จากการทำปฏิกิริยาหลังจากเทของผสมระหว่างเมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่มีการปั่นกวนเป็นอย่างดี ของผสมจะมีลักษณะขุ่นขึ้นหลังจากปั่นกวนของผสมนั้นเพียงไม่ถึง 1 นาทีและของผสมนั้นใสขึ้นทันที จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา 5 นาทีและ 30 นาทีไม่แตกต่างกันมาก

5.3 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับเมทานอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ โดยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์จะแปรผันตามเปอร์เซ็นต์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคชันระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับเมทานอลเกิดสมบูรณ์ยิ่งขึ้นพบว่า ที่ 1.00 เปอร์เซ็นต์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยน้ำหนักได้เปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์มากที่สุดคือ 98.1 เปอร์เซ็นต์

สำหรับชั้นกลีเซอรอลที่ได้ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เพราะยังมีเมทานอลและน้ำผสมอยู่ เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทดลองนี้กับงานวิจัยที่ Praveen et al. [9] และ Freedman et al. [11] ที่ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ (น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันเมล็ดฝ้าย) และไขวัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่า เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าสูงใกล้เคียงกัน (มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

5.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 และ 4.6 ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มและเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาทีที่ 0.25 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มตามลำดับพบว่า

1) ความหนาแน่นที่ 15.6 องศาเซลเซียส มีค่า 0.890 และ 0.873 กรัมต่อลูกบาศก์-เซนติเมตรเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งมีค่าตามมาตรฐานความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า (ไม่สูงกว่า 0.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (ไม่สูงกว่า 0.81-0.87 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

2) ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส มีค่า 4.44 และ 3.15 เซนติสโตกส์เมื่อใช้โซเดียม-ไฮดรอกไซด์ 0.25 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งมีค่าตามมาตรฐานความหนืดของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า (ไม่สูงกว่า 8 เซนติสโตกส์) และสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (1.8-4.1 เซนติสโตกส์) ในกรณีเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3) จุดวาบไฟ มีค่า 134 และ 190 องศาเซลเซียสเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งได้ตามมาตรฐานจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทั้งชนิดหมุนช้าและเร็ว (ไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส) ดังนั้นจึงปลอดภัยต่อการขนส่งและการเก็บสำรองที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันดีเซลแต่ไม่เกินจุดวาบไฟของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

4) จุดไหลเท มีค่า 8 และ 10 องศาเซลเซียสเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งมีค่าตามมาตรฐานจุดไหลเทของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีเซลหมุนช้า (ไม่สูงกว่า 16 องศาเซลเซียส) และสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (ไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส) ดังนั้นสามารถนำไปใช้งานที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 8 และ 10 องศาเซลเซียสได้

5) ดัชนีซีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์เทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ซึ่งที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 เปอร์เซ็นต์มีดัชนีซีเทนมากที่สุด คือ 43.1 แต่ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานดัชนีซีเทนของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า (ไม่ต่ำกว่า 45) และสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (ไม่ต่ำกว่า 47)

5.5 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

จากการนำผลิตภัณฑ์ส่วนบนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 และ 8 ต่อ 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาทีใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันเมล็ดใน-ปาล์มไปวิ เคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometers (FTIR) พบว่ามีหมู่ฟังก์ชัน คือ หมู่เมทิล (-CH3 : Methyl group) และหมู่คาร์บอนิลที่มีหมู่เมทิลต่ออยู่ ลักษณะของพีกที่เกิดขึ้นนี้ใกล้เคียงกับสารที่ทราบชนิดแล้วคือ เมทิลไมริสเตต เมทิลโนนาโนเอต และเมทิล-สเตรียเรต ซึ่งสารทั้งสามชนิดนี้เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว มีความแตกต่างกันไปตามปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมัน ไม่อิ่มตัว และมีดัชนีซีเทนและค่าความร้อนสูง [13]

5.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทา-นอลพบว่า ที่อัตราส่วน 4.5 ต่อ 1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มได้เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มมากที่สุด คือ 95.8 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์จนถึงที่ 1.00 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์และเปอร์เซ็นต์กลีเซอรอลที่ได้มีค่าสูงขึ้นเป็น 98.1 เปอร์เซ็นต์ และ 21.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีดัชนีซีเทนมากที่สุด คือ 43.1 และมีความหนาแน่นที่ 15.6 องศาเซลเซียส ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส จุดไหลเท และจุดวาบไฟใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทั้งชนิดหมุนช้าและเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 ข้อเสนอแนะ

สำหรับกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับเมทานอลเป็นสารที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา และเครื่องสำอาง ใช้ในการผลิตบุหรี่ ผลิตวัสดุหีบห่อ ผลิตสารหล่อลื่น เป็นต้น แต่กลีเซอรอลที่ได้จากการทดลองยังไม่บริสุทธิ์เพียงพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้เพราะยังมีสิ่งเจือปน เช่น เมทานอล น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นๆ การทำให้กลีเซอรอลบริสุทธิ์อาจทำได้โดยนำกลีเซอรอลไปกำจัดเมทานอลและน้ำโดยการระเหย จากนั้นนำไปบำบัดด้วยการเติมกรดเพื่อกำจัดความเป็นด่างของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์-ริฟิเคชัน สำหรับสีและสิ่งเจือปนอื่นๆ สามารถกำจัดได้โดยการใช้คาร์บอนกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

1. Biodiesel Resource Guide. 1998. U.S. Department of Energy Office of Transportation Technologies. National Alternative Fuels Hotline. March 30.
2. Fangrui Ma, Milford A. Hanna. 1999. Biodiesel Production : A Review Bioresource Technology. pp.1-15.
3. พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2544. ไบโอดีเซล พลังงานทางเลือก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 16 ฉบับที่ 3. หน้า 5-7.
4. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). 2544. จดหมายข่าวปาล์มน้ำมัน. ปีที่ 2 ฉบับที่ 3
5. J.F. van Oss. Material and Technology. Vol. 3
6. สถาบันวิจัยและเทคโนโลยีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2542. หนังสือชุดปิโตรเลียมน่ารู้. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว. หน้า 3-24.
7. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.). 2544. เอกสารเผยแพร่ในการเสวนา "นักวิจัยพบผู้ผลิต....ไขปัญหาไบโอดีเซล"
8. สถาพร บุญสมบัติ. 2544. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมเทคโนโลยีวิศวกรรมยานยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (สจพ.)
9. Praveen R. Muniyappa, Scott C. Brammer, Hossein Noureddini. 1996. "Improved conversion of plant oils and animal fats into Biodiesel and co-product". Bioresource Technology. Vol. 56. pp. 19-24.
10. Bacal C. Saha, Jonathan Woodward. 1st Ed. 1997. Fuel and Chemical from Biomass. American Chemical Society. pp.172-202.
11. Freedman B., Prude E. H., Mounts T. L. 1984. Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. JAOCS. Vol. 61. pp. 1638-1643.
12. John A. Dean. 15th Ed. 1999. Lange's Handbook of Chemistry, McGraw Hill, Inc. pp.7.41-7.50.
13. Air. Y., and Hanna, M.A., Alternative Diesel Fuels From Vegetable Oils. Bioresource Technology. Vol.50. pp.153-163.
14. ปราโมทย์ ไชยเวช. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. โรงพิมพ์สุนทรออฟเซท. 2537. หน้า 80-90, 157-161.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก-1 การคำนวณผลของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

จากการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล 4.5 ต่อ 1 ที่อุณหหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณ น้ำมันเมล็ดในปาล์ม 200.1 กรัม ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 196.2 กรัม

ผลของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ = (196.2 /200.1) x100

= 98.1 %

ก-2 การคำนวณความหนาแน่นที่ 15.6 องศาเซลเซียส [14]

จากการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วน โดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ปริมาณน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 200.1 กรัม ได้ค่า API = 30.5

จาก API = (141.5/ Sp.gr. 15.6°C) - 131.5

แทนค่าจะได้ 30.5 = (141.5/ Sp.gr. 15.6°C) - 131.5

Sp.gr. 15.6 °C = 0.873

ดังนั้นความหนาแน่นที่ 15.6 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 0.873 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ก-3 การคำนวณดัชนีซีเทน (Cetane index, CI) [14]

จากการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ปริมาณน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 200.1 กรัม ได้ค่า API = 30.5

จาก $CI = -420.34 + 0.016\,G^2 + 0.192\,G \log M + 65.01(\log M)^2 - 0.0001809\,M^2$

โดย CI = ดัชนีซีเทน

G = API gravity

M = อุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของเมทิลเอสเทอร์ที่กลั่นได้ จากเครื่องกลั่น (ASTM D 976)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าจะได้ CI = $-420.34 + 0.016(30.5)^2 + 0.192(30.5)\log 282 + 65.01(\log 282)^2 - 0.0001809(282)^2$

$= 43.1$

ก-4 การคำนวณความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส [14]

1) หาค่าคงที่ Viscometer โดยใช้ Viscometer type E

ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่า Kinematic viscosity ของน้ำเท่ากับ 6.52×10^{-7} m^2/s เวลาที่ใช้เท่ากับ 4.41 วินาที

ค่าคงที่ Viscometer = Kinematic viscosity / เวลาที่ใช้

$= 6.52\times10^{-7}/4.41$

$= 1.48\times10^{-7}$ m^2/s^2

2) หาความหนืดของเมทิลเอสเทอร์

จากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่า Kinematic viscosity ของน้ำเท่ากับ 6.52×10^{-7} m^2/s^2 เวลาที่ใช้เท่ากับ 4.41 วินาที

Kinematic viscosity = ค่าคงที่ Viscometer x เวลาที่วัดได้

$= 1.48\times10^{-7} \times 29.9$

$= 4.44\times10^{-6}$ m^2/s

จาก 1 เซนติสโตกส์ = 1×10^{-6} m^2/s

ดังนั้นความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่ 40 องศาเซลเซียสเท่ากับ 4.44 เซนติสโตกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์

ข-1 การหาค่า API ที่ 15 องศาเซลเซียส [14]

ขั้นตอนการหาค่า API ที่ 15 องศาเซลเซียส

1. เทเมทิลเอสเทอร์ปริมาตร 850 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร
2. ใส่น้ำและน้ำแข็งลงใน Water bath วัดอุณหภูมิให้ได้ 15 องศาเซลเซียส
3. นำกระบอกตวงที่ใส่เมทิลเอสเทอร์แล้วแช่ลงใน Water bath
4. เมื่ออุณหภูมิของเมทิลเอสเทอร์เป็น 15 องศาเซลเซียสแล้ว ให้นำแท่งวัดค่า API จุ่มลงในเมทิลเอสเทอร์ ค่าที่อ่านได้คือค่า API ดังแสดงในรูปที่ ข-1

รูปที่ ข-1 อุปกรณ์วัดค่า API

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 การหาค่าความหนืด [14]

ขั้นตอนการหาค่าความหนืด

1. เลือกขนาดของ Viscometer ให้เหมาะสมกับอัตราการไหล
2. ปรับอุณหภูมิของอ่างที่จะแช่ตัวอย่างให้ได้เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส
3. ถ้าตัวอย่างสกปรก มีฝุ่นละออง ให้กรองด้วยตะแกรง
4. ใส่น้ำกลั่นลงไปใน Viscometer เพื่อคำนวณค่าคงที่ Viscometer โดยให้ตัวอย่างอยู่ต่ำกว่าระดับของของเหลวในอ่างประมาณ 2 เซนติเมตร และสูงกว่าก้นอ่างไม่น้อยกว่า 2 เซนติเมตร รอให้อุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิของของเหลวภายในอ่าง
5. ใช้ลูกยางดูดน้ำกลั่นให้พ้นขีดบนของ Viscometer เริ่มจับเวลาตั้งแต่ตัวอย่างขีดบนจนถึงขีดล่าง จับเวลาซ้ำอีกครั้ง นำเวลาที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อคำนวณหาค่าความหนืด
6. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนน้ำกลั่นเป็นเมทิลเอสเทอร์

ความหนืด = เวลาที่วัดได้ (วินาที) x ค่าคงที่ Viscometer

อุปกรณ์ในการหาค่าความหนืดแสดงในรูปที่ ข-2

__หมายเหตุ__ ในขณะที่จับเวลาอยู่ ห้ามใส่หรือดึงหลอด Viscometer ออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ

รูปที่ ข-2 ชุดอุปกรณ์วัดค่าความหนืด

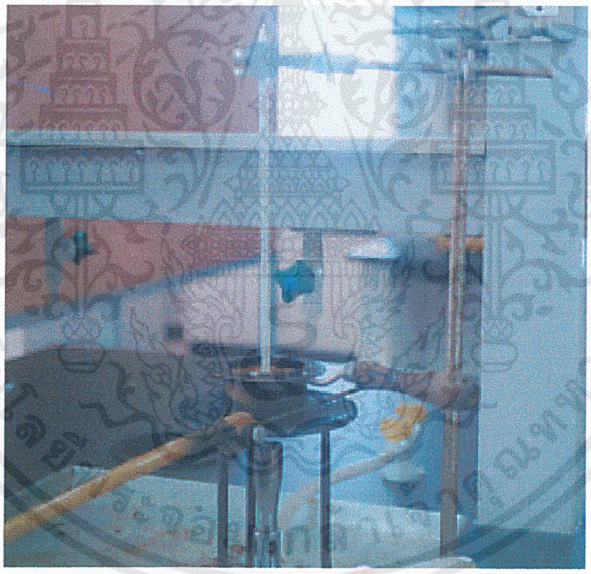
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-3 การหาค่าจุดวาบไฟ [14]

ขั้นตอนการหาค่าจุดวาบไฟ

1. ใส่ตัวอย่างลงใน Oil cup ให้พอดีกับขีดและอย่าให้มีฟองอากาศ
2. จุดเปลวไฟทดสอบสำหรับใช้ในการทดสอบจุดวาบไฟ
3. ให้ความร้อนกับตัวอย่างในอัตรา 14 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเข้าใกล้จุดวาบไฟที่คาดไว้ ให้ลดความร้อนลงเหลือ 2 องศาเซลเซียสต่อนาที
4. ผ่านเปลวไฟทดสอบไปบนผิวหน้าของน้ำมันจากขอบถ้วยด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในแนวราบเป็นรูปกากบาท อ่านจุดวาบไฟที่เกิดขึ้น โดยดูจากเทอร์โมมิเตอร์ที่จุ่มลงในตัวอย่าง
5. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

อุปกรณ์ที่ใช้หาจุดวาบไฟแสดงในรูปที่ ข-3



รูปที่ ข-3 อุปกรณ์ที่ใช้หาจุดวาบไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-4 การหาจุดไหลเท [14]

ขั้นตอนการหาจุดไหลเท

1. อุปกรณ์ในการหาจุดไหลเทแสดงในรูปที่ ข-4.1 เทตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุที่ทำด้วยแก้วรูปทรงกระบอกให้มีระดับของเหลวสูงประมาณ 54 มิลลิเมตร

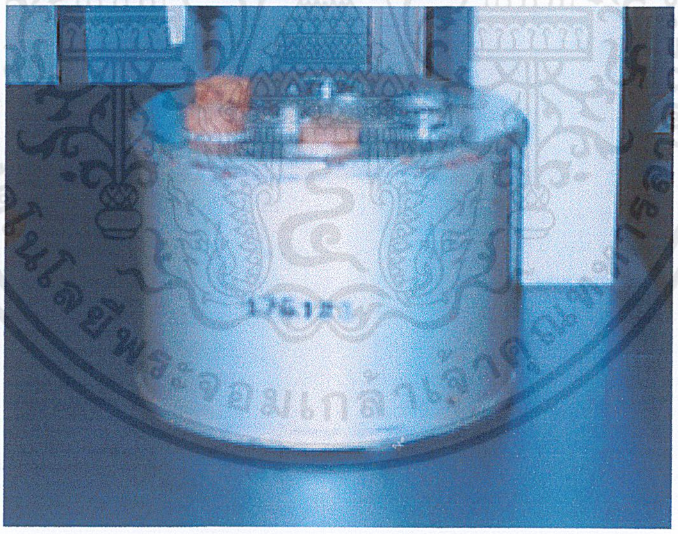
2. ใช้จุกคอร์กที่มีเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่ตรงกลางปิดภาชนะที่มีตัวอย่าง ให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์จมลง 26 มิลลิเมตรจากผิวหน้าของตัวอย่าง

3. นำตัวอย่างที่เตรียมเรียบร้อยใส่ลงในอ่างปรับอุณหภูมิ

4. เริ่มหาจุดไหลเทเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าจุดไหลเทที่คาดไว้ประมาณ 12 องศาเซลเซียสโดยเอียงภาชนะบรรจุตัวอย่างทุกๆ 2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างไม่ไหลภายใน 5 วินาทีเมื่อภาชนะบรรจุตัวอย่างเอียงขนานกับพื้น การเอียงภาชนะบรรจุตัวอย่างแสดงในรูปที่ ข-4.2

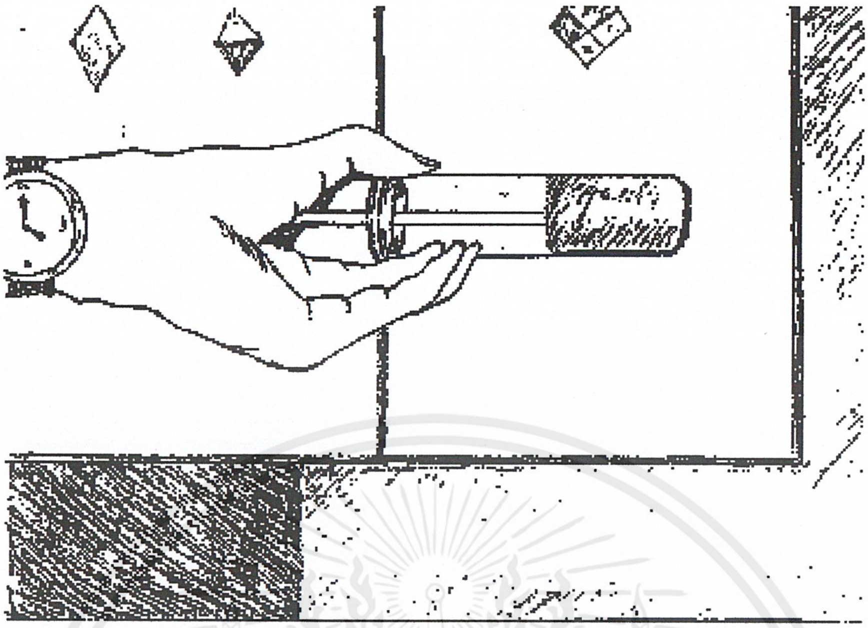
5. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

6. การรายงานผลของอุณหภูมิ ให้บวกอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีก 2 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิที่อ่านได้ เช่น อ่านได้ –2 องศาเซลเซียสให้รายงานเป็น 0 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข-4.1 อุปกรณ์หาจุดไหลเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3.2 การเอียงหลอดทดลองเพื่อหาจุดไหลเท

ข-5 การหา Distillation curve [14]

ขั้นตอนการหา Distillation curve

1. เทตัวอย่างลงใน Measuring flask ขนาด 100 มิลลิลิตรจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. เทตัวอย่างจากข้อ 1 ลงใน Distillation flask ระวังอย่าให้ตัวอย่างไหลออกจากก้าน Flask
3. นำ Flask ไปประกอบเข้ากับเทอร์โมมิเตอร์ ปิดจุกคอร์กให้สนิท
4. ปรับเทอร์โมมิเตอร์ให้ได้ระดับ
5. ต่อก้านของ Distillation flask เข้ากับเครื่องควบแน่น
6. ปรับระดับ Flask support ให้ได้ระดับพอดี
7. เริ่มทำการกลั่นโดยให้ระดับความร้อน และเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของตัวอย่างตรงตาม ASTM D 86 อุปกรณ์ในการหา Distillation curve แสดงในรูปที่ ข-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-5 เครื่องกลั่น

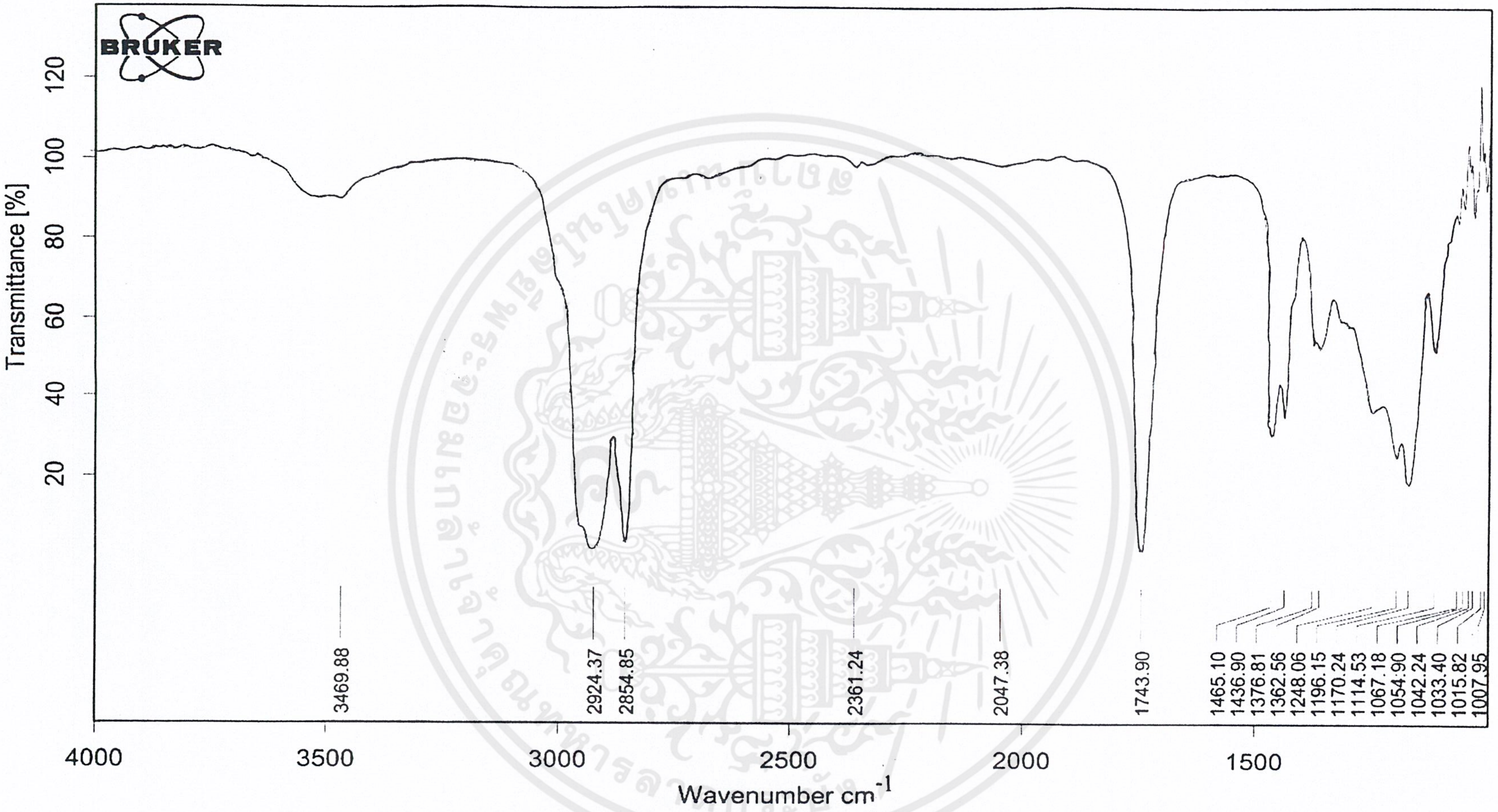
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

กราฟแสดงผลการทดสอบหมู่ฟังก์ชันเมทิลเอสเทอร์

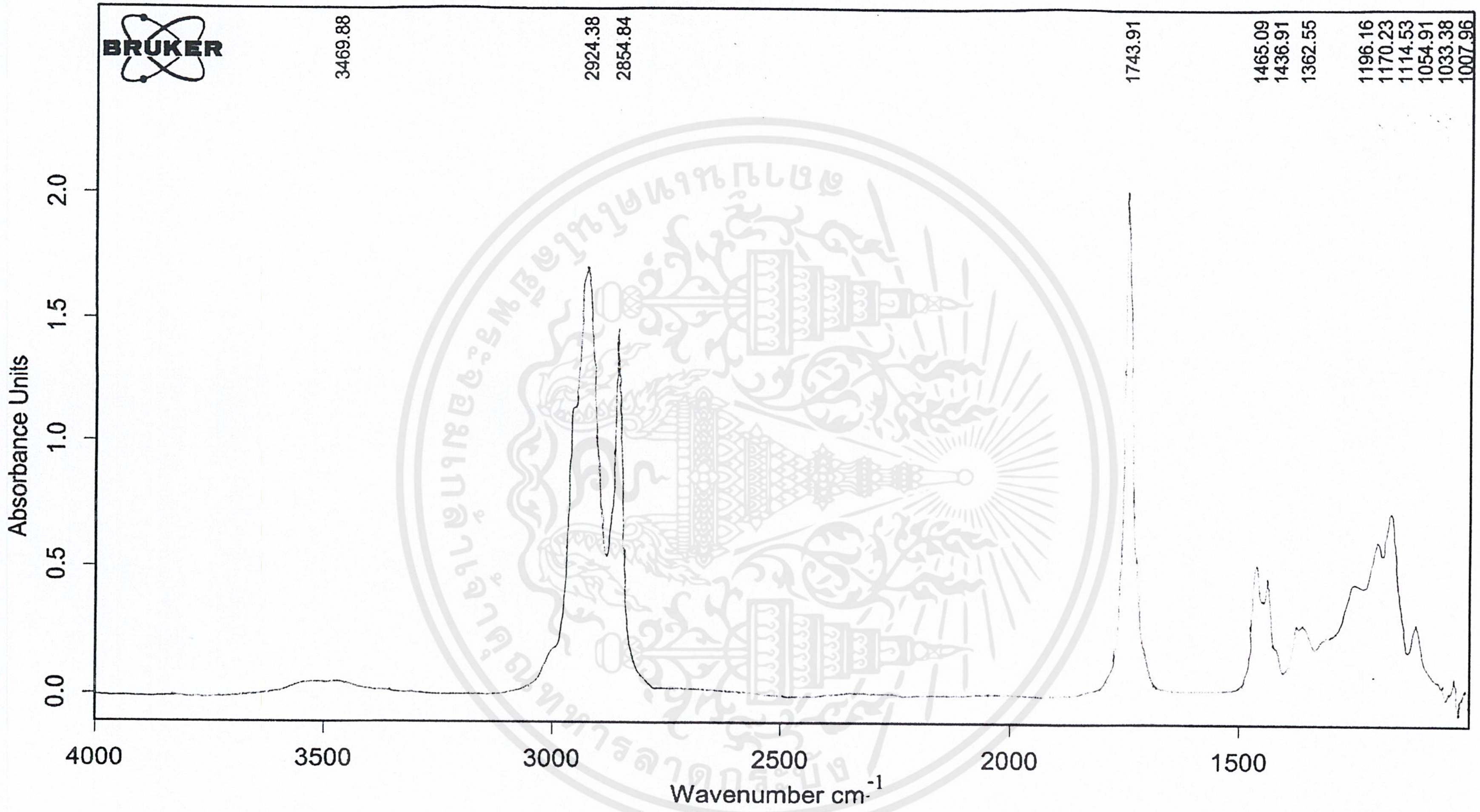
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



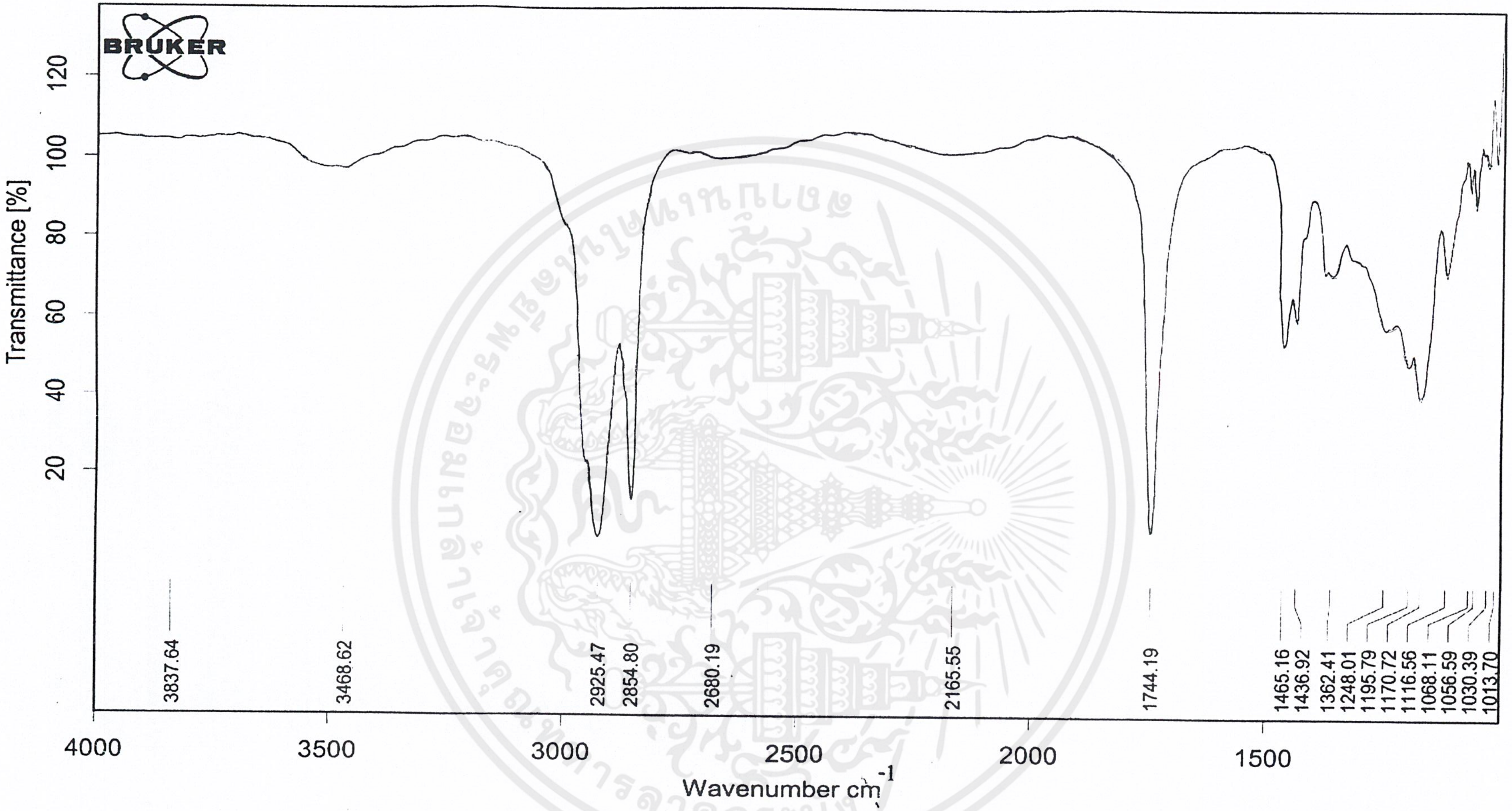
รูปที่ ค-1 ผลการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 4.5 ต่อ 1 : Transmittance vs. Wave number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



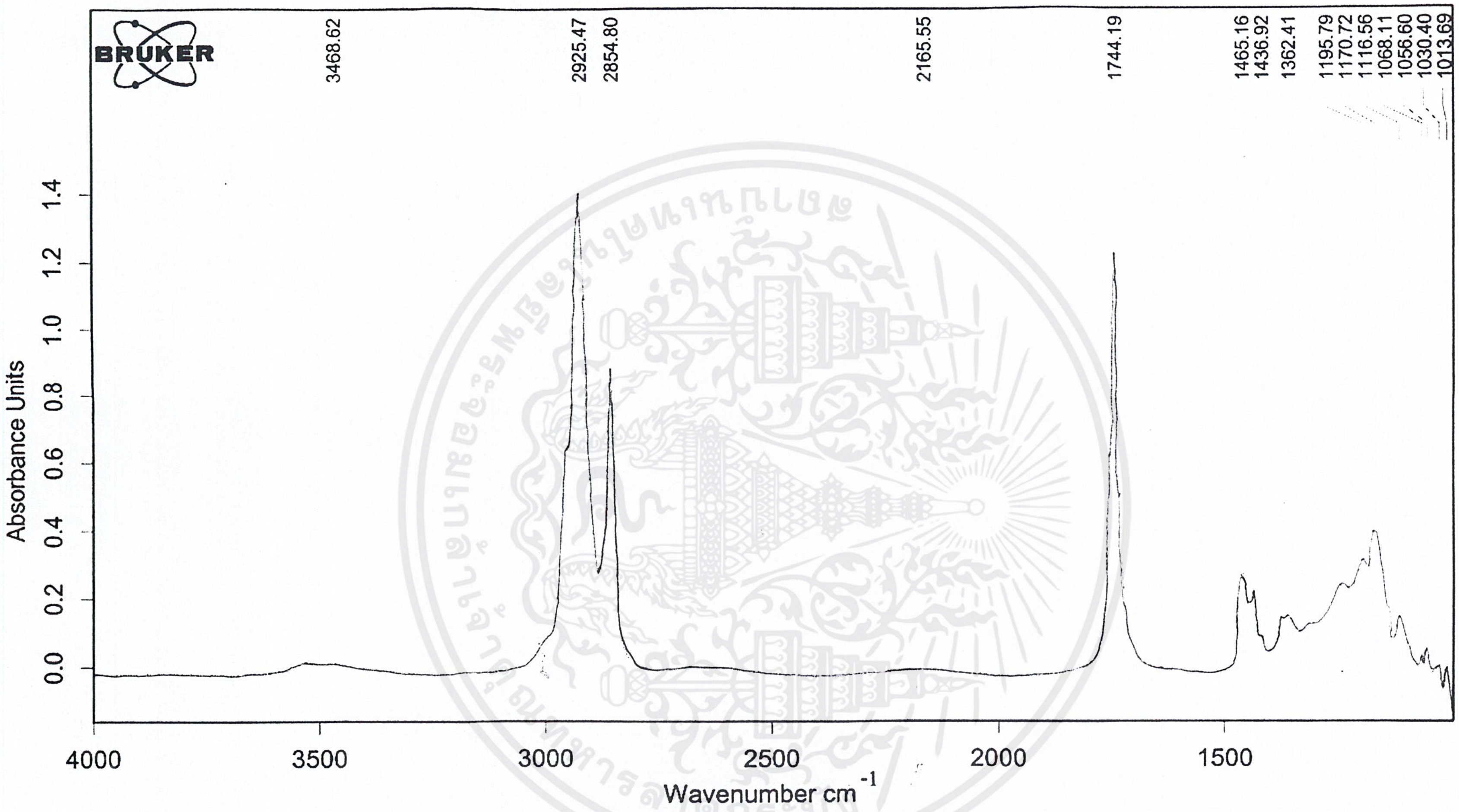
รูปที่ ค-2 ผลการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 4.5 ต่อ 1 : Absorbance Units vs. Wave number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-3 ผลการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 8 ต่อ 1 : Transmittance vs. Wave number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-4 ผลการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 8 ต่อ 1 : Absorbance Units vs. Wave number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้