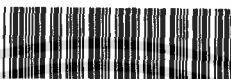


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสม  
ระหว่างดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล



T107864



นางสาวธราพรรณ  
นางสาวปัญจนารอ  
นางสาวพัชชา

พันธุ์รัตน์  
นิติเจริญรุ่ง  
ทรัพย์ทวี

มกราคม  
๒๕๕๓  
2553

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 107864  
วัน,เดือน,ปี..... - 8 ส.ย. 2553

b. 1294113A  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาเคมีอุตสาหกรรม  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Effect of Surfactant to Stability of Diesel-Biodiesel-Ethanol Blend**



**A special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the**

**Degree of Bachelor of Science**

**Industrial Chemistry**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**Academic Year 2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงการพิเศษ** ผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล

**นักศึกษา** นางสาว ชีราพรรณ พันธุ์รัตน์  
นางสาว ปัญจนารถ นีวัติเจริญรุ่ง  
นางสาว พัดชา ทรัพย์ทวี

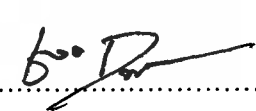
**ภาควิชา** เคมี

**สาขาวิชา** เคมีอุตสาหกรรม

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.สุธา	สุทธิเรืองวงศ์	
กรรมการ	ดร.อำนาจ	เพิ่มทรัพย์สกุล	
กรรมการ	ผศ.ดร.วันฉัตร	ชื่นชม	

  
 (ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)  
 หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อโครงการพิเศษ</b>	ผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซลไบโอดีเซล และเอทานอล		
<b>นักศึกษา</b>	นางสาว ชिरาพรรณ	พันธุรัตน์	รหัส 47050067
	นางสาว ปัญจนารต	นิวัติเจริญรุ่ง	รหัส 47050073
	นางสาว พัดชา	ทรัพย์ทวี	รหัส 47050079
<b>ภาควิชา</b>	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์	
<b>สาขา</b>	เคมีอุตสาหกรรม		
<b>ปีการศึกษา</b>	2550		
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล เมื่อใช้เอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร และผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสม น้ำมันไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันกับเมทานอล โดยสภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในงานวิจัยนี้ คือใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 6:1 ที่อุณหภูมิรีฟลักซ์ประมาณ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม ได้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 93.50 สำหรับสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันกับพอลิเอทิลีนไกลคอล 400 โดยสภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์ คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของพอลิเอทิลีนไกลคอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 6:1 ที่อุณหภูมิรีฟลักซ์ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม จากนั้นทำการศึกษาการผสมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์ได้ในเชื้อเพลิงผสม ในปริมาณร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 6 โดยปริมาตร เทียบกับพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอเลียด และพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอเลียดทางการค้า พบว่าเชื้อเพลิงผสมที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์ได้ลงไปมีความเสถียรสูงกว่าสารลดแรงตึงผิวทางการค้า และทำให้เชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล มีเสถียรภาพดีขึ้น และจากการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น จุดไหลเท จุดวาบไฟ และค่าความร้อน พบว่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Effect of Surfactant to Stability of Diesel-Biodiesel-Ethanol Blend		
<b>Student Name</b>	Miss. Thirapun Punrat		Code 47050067
	Miss. Puchanard Niwatcharoenrung		Code 47050073
	Miss. Padcha Suptawee		Code 47050079
<b>Department</b>	Chemistry		
<b>Program</b>	Industrial Chemistry		
<b>Academic Year</b>	2007		
<b>Special Project Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Vanchat Chuenchom		

### Abstract

This research studied the stability of diesel-biodiesel-ethanol blends using 10% ethanol by volume of the blends with different ratios of diesel to biodiesel, and studied the effect of surfactant on solubility of the blends. Biodiesel or methyl ester in this research was synthesised from palm olein oil by transesterification reaction with methanol. The transesterification reaction was completed in 5 hours at the reflux temperature of 65 °C using the methanol/oil mole ratio of 6:1 and potassium hydroxide as catalyst (1% weight of oil). The yield of methylester was 93.50%. Surfactant in this research was synthesised from palm olein oil by transesterification reaction with polyethylene glycol 400. The transesterification reaction was completed in 6 hours at the reflux temperature of 140 °C using the polyethylene glycol/oil mole ratio of 6:1 and sodium methoxide as catalyst (0.75% weight of oil). The synthetic surfactant was added in diesel-biodiesel-ethanol blends by 1 – 6 % by volume of the blends and was compared with the commercial polyethylene glycol monooleate and polyethylene glycol dioleate. The diesel/biodiesel/ethanol blends with the synthetic surfactant were more stable than the blends with the commercial ones and the blends without surfactant. Fuel properties (such as viscosity, density, pour point, flash point, heat of combustion) of the selected blends were examined and compared to diesel. It was found that the fuel properties were close to the specification limit for diesel fuel.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อันเนื่องมาจากได้รับความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้จัดทำจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่ายที่ทำให้โครงการนี้มีความสมบูรณ์ ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ความสนับสนุนดังรายนามต่อไปนี้

ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยนี้มาตลอด รวมทั้งยังเสียสละเวลาในการตรวจสอบแก้ไขเนื้อหารูปเล่ม

ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ และ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่สละเวลาเพื่อเป็นคณะกรรมการในการสอบ ให้ความเอาใจใส่ในการตรวจแก้ไข และให้คำแนะนำที่ดีมาตลอด

คณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความรู้ ตลอดจนคำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยนี้มาตลอด

เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และสารเคมี

บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมัน

บิดาและมารดา ผู้ที่คอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้

เพื่อนๆ และพี่ๆ ที่คอยรับฟังปัญหาต่างๆ ให้ความช่วยเหลือรวมทั้งให้กำลังใจตลอดการทำงานวิจัย

นางสาวธิดาพรรณ

พันธุรัตน์

นางสาวปัญจนารถ

นิวัติเจริญรุ่ง

นางสาวพัชชา

ทรัพย์ทวี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 น้ำมันดีเซล	4
2.2 น้ำมันไบโอดีเซล	5
2.3 การทดสอบสมบัติตามวิธีมาตรฐาน ASTM	12
2.4 ดีโซฮอล์	14
2.5 สารลดแรงตึงผิว	15
2.6 น้ำมันปาล์ม	18
2.7 ความขุ่น	21
2.8 แผนภูมิวิภูภาค	21
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	27
3.1 สารเคมีและวัสดุในงานวิจัย	27
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	27
3.3 วิธีการทดลอง	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทำทดลองและอภิปรายผล	37
4.1 ลักษณะของน้ำมันปาล์ม	37
4.2 เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์ม	38
4.3 การสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวจากน้ำมันปาล์ม	40
4.4 ความสามารถในการผสมเข้ากันระหว่างไบโอดีเซลและเอทานอล	44
4.5 ความสามารถในการผสมเข้ากันระหว่างดีเซลและเอทานอล	45
4.6 ความสามารถในการผสมเข้ากันระหว่างดีเซลและไบโอดีเซล	46
4.7 ความสามารถในการผสมเข้ากันระหว่างดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล	47
4.8 ผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล	49
4.9 การทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง	74
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	77
5.1 อภิปรายและสรุปผล	77
5.2 ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารอ้างอิง	80
ภาคผนวก	82

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การทดสอบน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM	5
ตารางที่ 2.2 สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	11
ตารางที่ 2.3 สมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล	12
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบสมบัติของสารลดแรงตึงผิว	17
ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม	19
ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม	20
ตารางที่ 3.1 สัดส่วนการผสมไบโอดีเซลกับเอทานอล	30
ตารางที่ 3.2 สัดส่วนการผสมดีเซลกับเอทานอล	31
ตารางที่ 3.3 สัดส่วนการผสมดีเซลกับไบโอดีเซล	31
ตารางที่ 3.4 สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล	32
ตารางที่ 3.5 สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณ พอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต ร้อยละ 1	33
ตารางที่ 3.6 สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณ พอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต ร้อยละ 2	33
ตารางที่ 3.7 สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณ พอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต ร้อยละ 3	34
ตารางที่ 3.8 สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณ พอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต ร้อยละ 4	34
ตารางที่ 3.9 สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณ พอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต ร้อยละ 5	35
ตารางที่ 3.10 สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณ พอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต ร้อยละ 6	35
ตารางที่ 4.1 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอลที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล ไดโอลิเอต	68
ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอลที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต	69
ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอลที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความขุ่น (NTU) ของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต	72
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความขุ่น (NTU) ของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล ได โอลิเอต	72
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความขุ่น (NTU) ของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม	73
ตารางที่ 4.7 การทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง	75
ตารางที่ ก-1 กรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมันปาล์ม	83
ตารางที่ ก-2 แสดงจำนวนวันที่สังเกตเห็นเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มกับพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 มีลักษณะเป็นของเหลวใส 1 ภูมิภาค	85

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล	6
รูปที่ 2.2 แสดงปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเอทานอล	6
รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่	7
รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างต่างๆ ของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งเป็น โมเลกุลแอมฟิพาติก	16
รูปที่ 2.6 แผนภูมิวิภาคของน้ำ	22
รูปที่ 2.7 แผนภูมิวิภาคของระบบ Sn-Bi	22
รูปที่ 2.8 แผนภูมิวิภาคของระบบ Water-IPP-Brij 97:1-butanol (2:1)	23
รูปที่ 4.1 โครงสร้างทั่วไปของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม	37
รูปที่ 4.2 $^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของ น้ำมันปาล์มใน $\text{CDCl}_3$	38
รูปที่ 4.3 โครงสร้างของเมทิลเอสเทอร์	39
รูปที่ 4.4 $^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของ เมทิลเอสเทอร์ใน $\text{CDCl}_3$	39
รูปที่ 4.5 โครงสร้างของพอลิเอทิลีน ไกลคอล	40
รูปที่ 4.6 $^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของ สารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มใน $\text{CDCl}_3$	41
รูปที่ 4.7 $^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของ พอลิเอทิลีนไกลคอล โมโน โอลิเอตใน $\text{CDCl}_3$	42
รูปที่ 4.8 $^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของพอลิเอทิลีนไกลคอล ไดโอลิเอตใน $\text{CDCl}_3$	42
รูปที่ 4.9 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม	43
รูปที่ 4.10 เชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลและเอทานอล	44
รูปที่ 4.11 เชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซลและเอทานอล	45
รูปที่ 4.12 เชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล	46
รูปที่ 4.13 เชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล	47
รูปที่ 4.14 ความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่อุณหภูมิห้อง	48
รูปที่ 4.15 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอลิเอต 1% ที่อุณหภูมิห้อง	50
รูปที่ 4.16 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอลิเอต 2% ที่อุณหภูมิห้อง	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.17 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล ใด โอลิเอต 3% ที่อุณหภูมิห้อง	52
รูปที่ 4.18 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล ใด โอลิเอต 4% ที่อุณหภูมิห้อง	53
รูปที่ 4.19 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล ใด โอลิเอต 5% ที่อุณหภูมิห้อง	54
รูปที่ 4.20 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล ใด โอลิเอต 6% ที่อุณหภูมิห้อง	55
รูปที่ 4.21 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต 1% ที่อุณหภูมิห้อง	56
รูปที่ 4.22 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต 2% ที่อุณหภูมิห้อง	57
รูปที่ 4.23 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต 3% ที่อุณหภูมิห้อง	58
รูปที่ 4.24 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต 4% ที่อุณหภูมิห้อง	59
รูปที่ 4.25 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต 5% ที่อุณหภูมิห้อง	60
รูปที่ 4.26 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต 6% ที่อุณหภูมิห้อง	61
รูปที่ 4.27 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 1% ที่อุณหภูมิห้อง	62
รูปที่ 4.28 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 2% ที่อุณหภูมิห้อง	63
รูปที่ 4.29 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 3% ที่อุณหภูมิห้อง	64
รูปที่ 4.30 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 4% ที่อุณหภูมิห้อง	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.31 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 5% ที่อุณหภูมิห้อง	66
รูปที่ 4.32 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 6% ที่อุณหภูมิห้อง	67
รูปที่ ข-1 ผลปาล์มสุก	86
รูปที่ ข-2 ดอกปาล์ม	87
รูปที่ ข-3 ผลปาล์มดิบเป็นสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีส้ม	88
รูปที่ ข-4 ผลปาล์มดิบเป็นสีดำ เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีแดง	88
รูปที่ ข-5 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม	90
รูปที่ ข-6 การแยกส่วนและการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม	92
รูปที่ ค-1 Density Meter	94
รูปที่ ค-2 Viscometer	95
รูปที่ ค-3 Pour and Cloud points Tester	95
รูปที่ ค-4 Flash point Tester	96
รูปที่ ค-5 Bomb Calorimeter	96

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

เนื่องจากปัญหาราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 2 ปีที่ผ่านมาประกอบกับสัดส่วนการบริโภคน้ำมันในประเทศกว่าร้อยละ 70 ถูกใช้ในด้านคมนาคม ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคส่วนใหญ่ โดยความต้องการบริโภคพลังงานส่วนนี้มีอย่างต่อเนื่องจากอัตรา 5.7 ล้านลิตรต่อวัน เป็น 8 ล้านลิตรต่อวัน ในช่วงปี พ.ศ. 2548 ถึง ปี พ.ศ. 2549 [1] ประกอบกับปริมาณทรัพยากรน้ำมันที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้ โดยปัจจุบันมีการใช้น้ำมันที่เรียกว่า “ไบโอดีเซล” มาใช้ทดแทน แต่หากกล่าวถึงในด้านการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มให้มีปริมาณเพียงพอกับความต้องการของประเทศนั้นทำได้ยาก ซึ่งถ้าจะปลูกต้นปาล์มให้พอกับการผลิตไบโอดีเซลที่จะนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซล จะต้องปลูกปาล์มน้ำมันถึง 35.79 ล้านไร่ จึงต้องมีการนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่มีสัดส่วนการบริโภคมากที่สุดประมาณปีละ 15,000 ล้านลิตร [2] ซึ่งอาจจะทำการผสมร่วมกับเอทานอลได้อีกด้วย เนื่องจากเอทานอลมีต้นทุนต่ำกว่าและยังมีสมบัติเป็นสารออกซิเจนเนต [3] คือการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ช่วยให้มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้สะอาด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเพียงอย่างเดียว แต่เนื่องจากการผสมเอทานอลกับน้ำมันดีเซลไม่สามารถเข้ากันได้ดีจะเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้เอทานอลยังมีค่าซีเทนที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อผสมกันแล้วจะเป็นการลดค่าซีเทนของเชื้อเพลิงผสมที่ได้ ซึ่งจะมีผลต่อการจุดระเบิดอัด โนมัตติของเครื่องยนต์ดีเซล และความหนืดของเอทานอลที่ต่ำกว่าของน้ำมันดีเซลก็ส่งผลต่อการหล่อลื่นของเครื่องยนต์ด้วย ดังนั้นการนำไบโอดีเซลมาใช้ผสมในเชื้อเพลิงผสมดีเซลและเอทานอลจึงเพิ่มความเข้ากันได้ของเชื้อเพลิงผสม เนื่องจากไบโอดีเซลมีสมบัติทดแทนข้อเสียของเอทานอลได้ และไบโอดีเซลยังสามารถละลายได้ทั้งในเอทานอลและในน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ข้อดีที่สำคัญของไบโอดีเซลก็คือ ค่าซีเทนที่มากกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อนำไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลและเอทานอลแล้วจะช่วยให้ค่าซีเทนสูงขึ้นกว่าการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับเอทานอลได้ และไบโอดีเซลกับเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้เองจากวัตถุดิบจากภาคการเกษตรจึงมีส่วนช่วยในระบบเศรษฐกิจภาคการเกษตรในประเทศ

ไบโอดีเซล คือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตมาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันให้อยู่ในรูปของเอทิลเอสเทอร์หรือเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับน้ำมันดีเซลมาก วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมีหลายชนิด สำหรับประเทศไทยปริมาณน้ำมันพืชที่ได้จากปาล์ม มีสัดส่วนที่สูงกว่าน้ำมันชนิดอื่นอยู่มาก และมีแนวโน้มสูงขึ้นดังนั้นการใช้ น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบในการผลิตจึงมีความเหมาะสม

ดังนั้น โครงการพิเศษนี้จึงได้ศึกษาความเหมาะสมของการนำไบโอดีเซลซึ่งผลิตจากน้ำมันปาล์มมาผสมกับเอทานอล และการนำไบโอดีเซลมาผสมกับดีเซลและเอทานอล โดยทำการเติมสารลดแรงตึงผิวเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล ไม่เกิดการแยกชั้นกันเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน สารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์ให้ในงานวิจัยนี้คือสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มและพอลิเอทิลีน ไกลคอลเนื่องจากน้ำมันปาล์มเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ผลิตได้มากภายในประเทศ และนอกจากนี้ยังทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงผสมนี้เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมสององค์ประกอบ ได้แก่ เชื้อเพลิงผสมระหว่างไบโอดีเซลกับเอทานอล ดีเซลกับเอทานอล และดีเซลกับไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงผสมสามองค์ประกอบ ได้แก่ ดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล
2. ศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวจากน้ำมันปาล์มกับพอลิเอทิลีน ไกลคอลเพื่อนำมาใช้ในเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล
3. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุที่นำมาเติมในเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสม
4. ศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลกับเอทานอล และเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมสารลดแรงตึงผิว

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและเอทานอล โดยใช้อัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเอทานอลเท่ากับ 1 ต่อ 6 และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชันที่อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

3. สังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวจากน้ำมันปาล์มและพอลิเอทิลีนไกลคอลโดยใช้อัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อพอลิเอทิลีนไกลคอลเท่ากับ 1 ต่อ 6 และใช้โซเดียมเมทอกไซด์ร้อยละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.75 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4. เตรียมเชื้อเพลิงผสมระหว่างไบโอดีเซลกับเอทานอล ดีเซลกับเอทานอล และดีเซลกับไบโอดีเซล โดยเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเชื้อเพลิงผสมทั้งสามชนิดนี้กับเอทานอล เป็น 0:100 10:90 20:80 30:70 40:60 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 95:5 และ 100:0 ตามลำดับ เพื่อศึกษาเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสม

5. เตรียมเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้เอทานอล 99.8 % ร้อยละ 10 โดยปริมาตร และเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของดีเซลต่อไบโอดีเซลเป็น 10:80 20:70 30:60 40:50 45:45 50:40 60:30 70:20 และ 80:10 ตามลำดับ เพื่อศึกษาเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสม

6. เตรียมเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนต่างๆ กันที่อุณหภูมิห้องโดยเติมสารลดแรงตึงผิวในปริมาณไม่เกินร้อยละ 6 โดยปริมาตร เพื่อศึกษาเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมเป็นเวลา 7 วัน

7. ทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลกับเอทานอล และเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวและมีเสถียรภาพดีที่สุด โดยสมบัติที่ทดสอบ ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด จุดไหลเท จุดวาบไฟ และความร้อนของการเผาไหม้ เพื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ กับน้ำมันดีเซล

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิว ซึ่งสามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซลไบโอดีเซลและเอทานอล
2. เชื้อเพลิงผสมที่มีสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดี เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 น้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซล (Diesel fuel) ได้มาจากการกลั่นปิโตรเลียมในช่วงอุณหภูมิ 250 – 370 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ได้แก่ พาราฟิน แนฟทีน โอลิฟิน และอะโรมาติก จำนวนคาร์บอนจะอยู่ในช่วง 12 – 18 ตัว น้ำมันดีเซลมีความหนาแน่น 850 กรัมต่อลิตร นำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล คุณภาพของน้ำมันดีเซลแสดงโดยค่าซีเทน ถ้าเกิดการเผาไหม้สูงค่าซีเทนจะสูง [4]

มาตรฐานการทดสอบและวัสดุของอเมริกา (The American Society for Testing and Materials ,ASTM) [5] แบ่งน้ำมันดีเซลไว้ดังนี้

##### 1. Grade low sulfur No. 1 – D

น้ำมันดีเซลประเภทนี้ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว หรือเครื่องยนต์ที่สามารถรับน้ำหนักได้หลากหลายและใช้ความเร็ว หรือใช้ในกรณีที่ต้องอยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำผิดปกติ

##### 2. Grade low sulfur No. 2 – D

น้ำมันดีเซลประเภทนี้จะระเหยกลายเป็นไอได้ยากกว่า Grade low sulfur No. 1 – D ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว หรือเครื่องยนต์ที่ต้องรับน้ำหนักมากและความเร็วคงที่ หรือใช้ในเครื่องยนต์ที่ไม่ต้องการการระเหยเป็นไอที่สูง

##### 3. Grade No. 1 – D

น้ำมันดีเซลประเภทนี้ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว หรือเครื่องยนต์ที่สามารถรับน้ำหนักได้หลากหลายและใช้ความเร็ว หรือใช้ในกรณีที่ต้องอยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำผิดปกติ

##### 4. Grade No. 2 – D

น้ำมันดีเซลประเภทนี้ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว หรือเครื่องยนต์ที่ต้องรับน้ำหนักมากและความเร็วคงที่ หรือใช้ในเครื่องยนต์ที่ไม่ต้องการการระเหยเป็นไอที่สูง

##### 5. Grade No. 4 – D

น้ำมันดีเซลประเภทนี้ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้าและเครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลางที่รับน้ำหนักได้ที่ความเร็วคงที่

การทดสอบน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM แสดงดังตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** การทดสอบน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM [5]

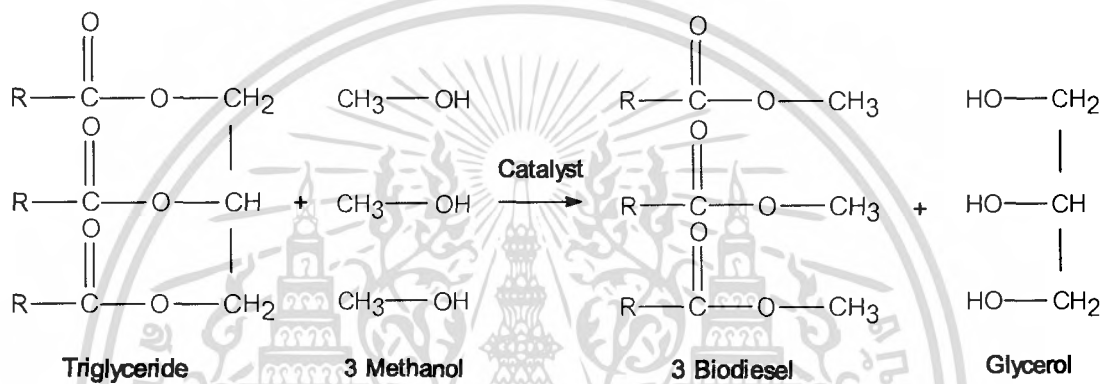
Properties	ASTM Test Method	Grade low sulfur No. 1 – D	Grade low sulfur No. 2 – D	Grade No. 1 – D	Grade No. 2 – D	Grade No. 4 – D
1.Flash point, °C, min	D 93	38	52	38	52	55
2.Water and sediment, %vol, max	D 2709	0.05	0.05	0.05	0.05	-
	D 1796	-	-	-	-	0.05
3.Distillation temperature, °C, 90% Recovered	D 86					
Min		-	282	-	282	-
Max		288	338	288	338	-
4.Kinematic viscosity, mm <sup>2</sup> /s at 40 °C	D 445					
Min		1.3	1.9	1.3	1.9	5.5
Max		2.4	4.1	2.4	4.1	24.0
5.Ash, %mass ,max	D 482	0.01	0.01	0.01	0.01	0.10
6.Sulfur, %mass ,max	D 2622	0.05	0.05	-	-	-
	D 129	-	-	0.50	0.50	2.00
7.Copper strip corrosion rating max 3 h at 50 °C	D 130	No.3	No.3	No.3	No.3	-
8.Cetane number, min	D 613	40	40	40	40	30
9.Cetane index, min	D 976	40	40	-	-	-
10.Rambottom carbon residue on 10% distillation residue, %mass,max	D 524	0.15	0.35	0.15	0.35	-

## 2.2 น้ำมันไบโอดีเซล

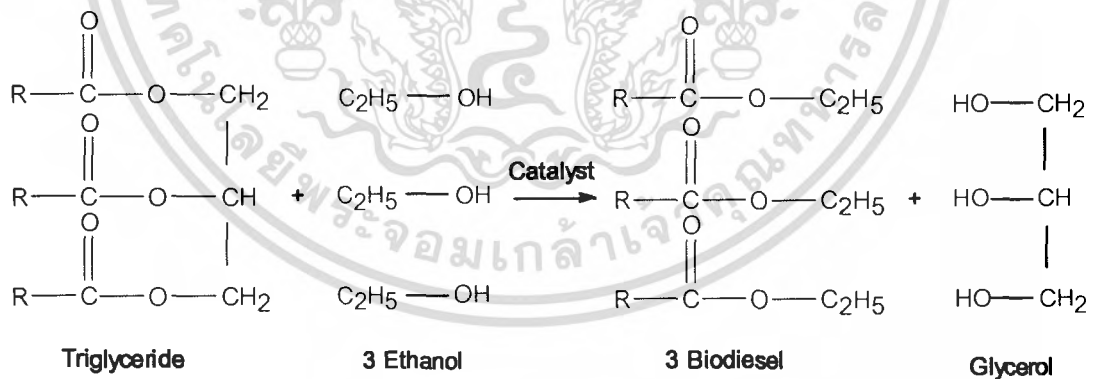
น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel fuel) คือน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ไบโอดีเซลบริสุทธิ์มีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ข้อแตกต่างของไบโอดีเซลกับดีเซลที่สำคัญคือ ไบโอดีเซลเป็นสารไม่ไวไฟและไม่ระเบิด [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลคือ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยากับ แอลกอฮอล์ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ให้เป็น โมโนอัลคิล เอสเทอร์ (Mono alkyl ester) โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็น เมทานอลผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ถ้าแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเอทานอล ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า เอทิลเอสเทอร์ (Ethyl ester) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันแสดงดังรูปที่ 2.1 และ 2.2



**รูปที่ 2.1** แสดงปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล [7]



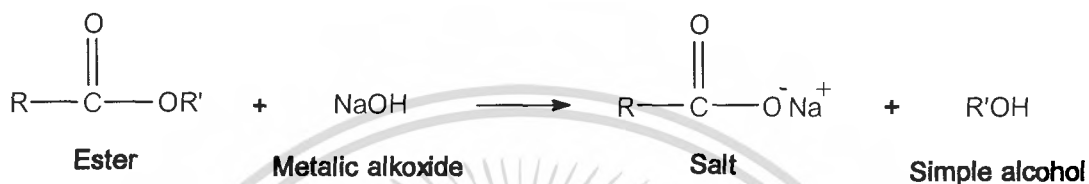
**รูปที่ 2.2** แสดงปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเอทานอล [7]

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification) ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

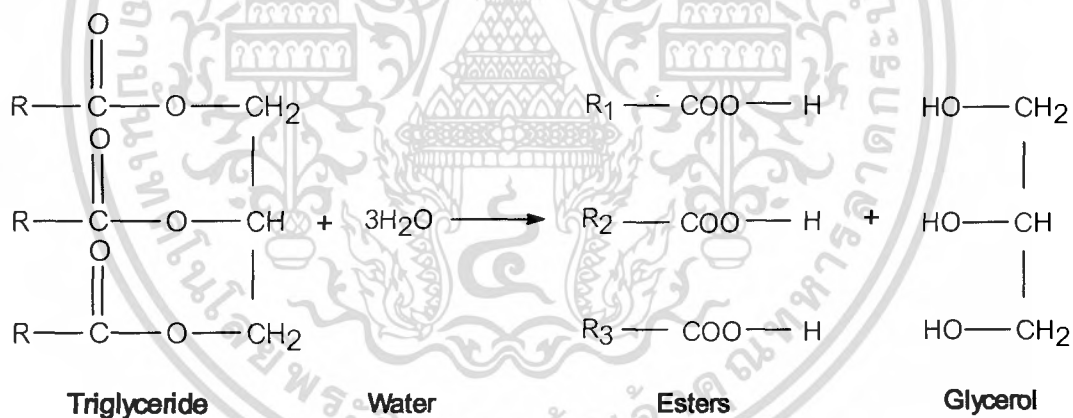


หรือ



### รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ [8]

และปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) แสดงดังรูปที่ 2.4



### รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส [8]

#### การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะใช้กรดบรอนสเตด (Bronsted acid) ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid,  $\text{HCl}$ ) ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทนี้ให้ผลผลิตมาก แต่เกิดปฏิกิริยาได้ช้า การทำปฏิกิริยาใช้อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 3 ชั่วโมง จึงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่ใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ได้แก่ โซเดียมอัลคอกไซด์ (Sodium alkoxide) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)

โซเดียมอัลคอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และให้ผลผลิตที่สูงในเวลากการทำปฏิกิริยาที่สั้น ส่วนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาคือดีกว่า แต่สามารถเพิ่มความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นร้อยละ 1-2 [5]

### ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน [6]

1. กรดไขมันอิสระในน้ำมัน โดยจะต้องมีปริมาณไม่เกินร้อยละ 3 ในน้ำมันที่เป็นวัตถุดิบ ถ้ามีปริมาณสูงกว่าจะทำให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับด่างเกิดเป็นสบู่
2. ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ควรอยู่ระหว่างร้อยละ 0.4 – 2 โดยน้ำหนักของน้ำมันที่นำมาผลิตไบโอดีเซล
3. อัตราส่วน โดยโมลของแอลกอฮอล์และน้ำมัน จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันพบว่า อัตราส่วนอยู่ที่ 3:1 แต่ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ จึงมักใช้อัตราส่วน 6 :1 ถึง 9:1 เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าได้ผลผลิตมากที่สุด
4. ระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา อัตราการเปลี่ยนน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา
5. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันสูงขึ้นตามอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปมักใช้อุณหภูมิประมาณ 60 – 80 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใกล้กับจุดเดือดของเมทานอล

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มี 3 ประเภทใหญ่ [8] คือ

1. ไบโอดีเซลที่ใช้ไขมันพืชหรือไขมันสัตว์โดยตรง (Straight vegetable oil)

ไบโอดีเซลประเภทนี้นำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสมสารเคมีใดๆ แต่ต้องมีการอุ่นน้ำมันในทุกจุดที่มีน้ำมันผ่าน ข้อดีของไบโอดีเซลประเภทนี้คือราคาถูก แต่ข้อเสียคือ น้ำมันพืชมีความหนืดสูง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ ความหนืดจะสูงมากจนเกิดเป็นไข เมื่อนำไปใช้ทำให้หัวฉีดน้ำมันฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยาก เป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ไขมันพืชยังมีสมบัติการระเหยกลายเป็นไอได้ยาก ทำให้เกิดการจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเบิดขาก เครื่องยนต์ดีเซล และมีการพบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวน และวาล์ว ไบโอดีเซลประเภทนี้จึงไม่นิยมใช้

## 2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสม (Veggie / Kero mix)

เป็นการผสมน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด อัตราส่วนผสมมีตั้งแต่ น้ำมันก๊าดร้อยละ 10 น้ำมันพืชร้อยละ 90 จนถึงน้ำมันก๊าดร้อยละ 40 น้ำมันพืชร้อยละ 60 อัตราส่วนที่เหมาะสมคือน้ำมันก๊าดร้อยละ 20 น้ำมันพืชร้อยละ 80 น้ำมันประเภทนี้มีความหนืดต่ำกว่าน้ำมันพืช แต่ยังมีปัญหาในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ และการอุดตันของเครื่องยนต์ น้ำมันประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำหรือเครื่องจักรกลทางการเกษตร

## 3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดหรือด่าง เป็นเชื้อเพลิงที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด สามารถเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด ทั้งโดยตรงและผสมในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ เช่น B5 คือการผสมไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5:95

ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชหลายชนิด เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันดอกทานตะวัน เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 ส่วนสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลแสดงดังตารางที่ 2.3

### ข้อดีของไบโอดีเซล

1. ไบโอดีเซลมีความปลอดภัยในการใช้งานมากกว่าน้ำมันดีเซล เพราะไบโอดีเซลบริสุทธิ์มีจุดวาบไฟประมาณ 149 องศาเซลเซียส แต่น้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟที่ 52 องศาเซลเซียส
2. ไบโอดีเซลมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์
3. การเผาไหม้ของไบโอดีเซลจะให้มลพิษน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ไม่มีควันดำและไม่เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์
4. การใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลจะเผาไหม้ได้สะอาดกว่า และสมบูรณ์กว่า และเมื่อนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลแล้วจะทำให้ค่าซีเทนสูงขึ้นด้วย
5. ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ไม่มีพิษและสามารถสลายได้เองตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค
7. การใช้ไบโอดีเซลสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 300,000 ล้านบาท
8. ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมากกว่า 2 เท่าและในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้ภายในประเทศ ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้
9. การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศถือเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ

#### ข้อเสียของไบโอดีเซล

1. ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่เป็นยาง อาจถูกทำลายได้โดยไบโอดีเซล
2. ในอุณหภูมิต่ำไบโอดีเซลจะเกิดเป็นไขได้

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชหลายชนิด เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันดอกทานตะวัน เป็นต้น ซึ่งไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** สมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [9]

Properties	Vegetable oil methyl ester					Diesel	20% biodiesel blend
	Palm oil	Peanut	Soy bean	Sunflower	Tallow		
1. Flash point, °C	164	176	178	183	96	76	128
2. Kinematic viscosity, mm <sup>2</sup> /s 37.8 °C	5.7	4.9	4.5	4.6	-	3.06	3.2
3. Copper strip corrosion	-	-	1a	-	1a	-	-
4. Cetane number							
5. Cloud point, °C	62	54	45	49	-	50	51
6. Carbon residue, %wt.	13	5	1	1	12	-	-
7. Lower heating value, MJ/l	-	-	1.74	-	1.83	-	-
8. Pour point, °C	33.5	33.6	33.5	33.5	-	43.8	43.2
9. Density, gm/ml	-	-	-7	-	9	-16	-16
	0.880	0.883	0.885	0.860	-	0.855	0.859

สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลเมื่อเปรียบเทียบกับดีเซล แสดงดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.3** สมบัติของ ไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [6]

Fuel Property	Diesel	Biodiesel
Fuel Standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower Heating Value , Btu/gal	~ 129,050	~ 118,170
Kinematic Viscosity , @ 40°C	1.3 – 4.1	4.0 – 6.0
Specific Gravity kg/l @ 60°F	0.85	0.88
Density , lb/gal @ 15°C	7.079	7.328
Water and Sediment , vol %	0.05 max	0.05 max
Carbon , wt %	87	77
Hydrogen , wt %	13	12
Oxygen , by dif. Wt %	0	11
Sulfur , wt %	0.05 max	0.0 to 0.0024
Boiling Point , °C	180 to 340	315 to 350
Flash Point , °C	60 to 80	100 to 170
Cloud Point , °C	-15 to 5	-3 to 12
Pour Point , °C	-35 to -15	-15 to 10
Cetane Number	40 – 55	48 – 65
Lubricity SLBOCLE , grams	2000 – 5000	> 7,000
Lubricity HFRR , microns	300 - 600	< 300

## 2.3 การทดสอบสมบัติตามวิธีมาตรฐาน ASTM [5]

### 1. ความหนาแน่น (Density), ASTM D 4052

- ความหนาแน่นคือน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิจำเพาะ
- วิธีนี้ครอบคลุมถึงการทดสอบความหนาแน่นของปิโตรเลียมกลั่นและน้ำมันหนืดที่อยู่ในสถานะของเหลว อุณหภูมิที่ทำการทดสอบอยู่ระหว่าง 15 และ 35 องศาเซลเซียส การประยุกต์ใช้จำกัดที่ความดันไอของของเหลวต้องต่ำกว่า 600 มิลลิเมตรปรอท และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดต้องต่ำกว่า 15,000 เซนติสโตรก ณ อุณหภูมิที่ทดสอบ รายงานผลในหน่วย กรัมต่อมิลลิลิตร หรือกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2. ความหนืด (Kinematic viscosity), ASTM D 445

- ความหนืด คือค่าคงที่การไหลของของไหลภายใต้แรงโน้มถ่วง
- วิธีนี้จำเพาะกับการทดสอบหาความหนืดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหลว การทดสอบทำได้โดยจับเวลาที่ของไหลไหลในหลอดแก้วคาปิลารีของวิสโคมิเตอร์ ช่วงความหนืดที่ทดสอบคือ 0.2 – 300,000 เซนติสโตรก

3. ดัชนีความหนืด (Viscosity index), ASTM D 2270

- ดัชนีความหนืดเป็นค่าที่บอกลักษณะความเปลี่ยนแปลงของความหนืดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมกับอุณหภูมิ
- วิธีนี้จำเพาะกับการคำนวณดัชนีความหนืดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น น้ำมันหล่อลื่น และสัมพันธ์กับค่าความหนืดที่ 40 และ 100 องศาเซลเซียส
- ดัชนีความหนืดจะวัดความเปลี่ยนแปลงของความหนืดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่อุณหภูมิระหว่าง 40 และ 100 องศาเซลเซียส ค่าดัชนีความหนืดที่สูงจะแสดงว่าความหนืดลดลงน้อยเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลง

4. จุดไหลเท (Pour point), ASTM D 97

- จุดไหลเทคือ อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่วัสดุสามารถเคลื่อนที่ได้ภายใต้สภาวะที่กำหนด
- วิธีนี้ใช้ทดสอบการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิจำเพาะ
- จุดไหลเทของปิโตรเลียมเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่จะนำปิโตรเลียมนั้นมาประยุกต์ใช้

5. จุดวาบไฟ (Flash point), ASTM D 93

- จุดวาบไฟคือ อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ที่ทำให้ไอของวัสดุติดไฟภายใต้สภาวะที่ทดสอบ
- วิธีนี้อธิบายการหาจุดวาบไฟของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีจุดวาบไฟในช่วง 79 – 400 องศาเซลเซียส
- วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้วัดการติดไฟของวัสดุที่ติดไฟได้แทบทุกชนิด

6. การกัดกร่อนทองแดง (Copper strip corrosion), ASTM D 130

- วิธีนี้ครอบคลุมการหาการถูกกัดกร่อนของน้ำมันเครื่องบิน น้ำมันรถยนต์ น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำมันดิบจะมีสารประกอบซัลเฟอร์อยู่ ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกระหว่างทำการกลั่น แต่ยังมีบางส่วนหลงเหลืออยู่ ซึ่งสามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนกับโลหะได้ การทดสอบนี้จะประเมินค่าองศาการกัดกร่อนของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม
7. เลขกรด (Acid number), ASTM D 664
    - เลขกรดคือ ปริมาณของค่าแสดงในหน่วยมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของตัวอย่าง ซึ่งได้มาจากการไทเทรตตัวอย่างจนถึงจุดสมมูล
    - วิธีนี้เป็นการหากรดที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม
  8. ความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion), ASTM D 240
    - ความร้อนของการเผาไหม้คือ ค่าพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาเมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้ในปริมาตรคงที่
    - วิธีนี้ครอบคลุมการทดสอบไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสถานะของเหลว
    - ค่าความร้อนของการเผาไหม้เป็นค่าที่มีความจำเป็นต่อการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ทางความร้อนเมื่อทำการผลิตวัสดุ

## 2.4 ดีโซฮอล (Diesohol)

ดีโซฮอล (Diesohol) [20] เป็นการผสมระหว่างน้ำมันดีเซล (Diesel oil) กับเอทานอล (Ethanol) ด้วยสัดส่วนของ น้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 88 โดยปริมาตร เอทานอลร้อยละ 7-10 โดยปริมาตร และตัวประสานร้อยละ 1-2 โดยปริมาตร นอกจากนี้ สาเหตุที่ต้องทำการเติมตัวประสาน เนื่องจากดีโซฮอลมีปัญหาจากการที่เอทานอลไม่สามารถละลายเข้ากับน้ำมันดีเซลได้ นอกจากนี้ ปัญหาเรื่องเสถียรภาพของสถานะที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว การที่มีเอทานอลอยู่ในเชื้อเพลิง ยังมีผลในการลดค่าซีเทน (Cetane number) จุดวาบไฟ และค่าความหนืดอีกด้วย

เชื้อเพลิงดีโซฮอล [21] ยังมีสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล คือ ช่วยในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงสะอาดยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการลดปริมาณก๊าซที่ก่อให้เกิดมลพิษ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO<sub>2</sub>) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมดจากท่อไอเสียของรถยนต์

เอทานอล (Ethyl alcohol) [22] คือแอลกอฮอล์ที่แปรรูปมาจากพืช อาทิเช่น พืชจำพวกแป้ง (มันสำปะหลัง-ข้าวโพด-ข้าว-มันเทศ-มันฝรั่ง), น้ำตาล (กากอ้อย) โดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) และกลั่นออกมาเป็นเอทานอล เอทานอลที่กลั่นได้มีน้ำอยู่ร้อยละ 5 โดยปริมาตร (Hydrated ethanol 95%) และสามารถกลั่นเอทานอลจนบริสุทธิ์ได้ถึงร้อยละ 99.5 ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ 3 รูปแบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง เป็นการนำเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ทดแทนน้ำมันเบนซินและดีเซล

แบบที่ 2 ใช้ในรูปแบบน้ำมันเชื้อเพลิงผสม โดยนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเรียกว่า “แก๊สโซฮอล์” (Gasohol) เช่น การนำเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 มาผสมในน้ำมันเบนซินด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10 ในลักษณะของสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงค่าออกเทนของน้ำมันเบนซิน ซึ่งสามารถนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์โดยทั่วไป ไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด หรือผสมกับน้ำมันดีเซลเรียกว่า “ดีโซฮอล์” (Diesohol) เช่น นำเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 15

แบบที่ 3 ใช้เป็นสารเติมแต่งหรือสารเคมีเพิ่มออกเทนให้แก่เครื่องยนต์ เป็นการทดแทนสาร MTBE (Methyl tertiary butyl ether) หรือ ETBE (Ethyl tertiary butyl ether) ที่ผลิตได้จากปิโตรเลียม ซึ่งสาร MTBE เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเบนซินที่หลายประเทศประกาศห้ามใช้เนื่องจากก่อให้เกิดมลภาวะในอากาศที่สูงกว่าสารเติมแต่งอื่นๆ [23]

## 2.5 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) คือสารประกอบที่ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) หรือส่วนที่มีขั้ว และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic group) หรือส่วนที่ไม่มีขั้ว ส่วนที่ไม่มีขั้วนี้มักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นในตัวทำละลาย โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหากัน ด้วยแรงจับกันของสารลดแรงตึงผิวเกิดเป็น โครงสร้างที่เรียกว่า “ไมเซลล์” ขึ้น ลักษณะการเกิดไมเซลล์แสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งความเข้มข้น ณ จุดที่ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมารวมตัวกันนี้ เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด เรียกความเข้มข้น ณ จุดนี้ว่า critical micelle concentration (CMC) การเกิดไมเซลล์จะมีผลต่อค่าแรงตึงผิวของสารละลาย เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายเพิ่มขึ้น ค่าแรงตึงผิวของสารละลายจะมีค่าลดลงจนถึงจุด CMC คือค่าแรงตึงผิวของสารละลายจะไม่ลดลงอีก ถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลาย



## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2. สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic surfactant) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ส่วนมีขั้วที่มีประจุลบ ได้แก่ อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Alkylbenzenesulphonate) อัลเคนซัลโฟเนต (Alkanesulphonate) เช่น โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulphate)
3. สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Non – ionic surfactant) เมื่อละลายน้ำแล้วจะไม่มีประจุ ได้แก่ อัลคิลฟีนอลพอลิเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ (Alkylphenol polyethylene glycol ether) อัลคิลแอลกอฮอล์พอลิเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ (Alkyl alcohol polyethylene glycol ether) เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG)
4. สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุลบและประจุบวก (Zwitterionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้มีโครงสร้างที่มีทั้งขั้วบวกและลบในโมเลกุลอย่างน้อยอย่างละ 1 กลุ่ม ได้แก่ อัลคิลบีเทน (Alkyl betaines) อัลคิลซัลโฟบีเทน (Alkylsulphobetaines)

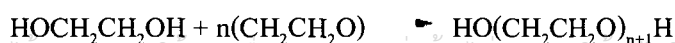
### ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบสมบัติของสารลดแรงตึงผิว [12]

ประเภท / คุณสมบัติ	การเกิดฟอง	ความสามารถในการซักล้าง	ความสามารถในการทำให้อ่อนนุ่ม
ประจุลบ	ดีที่สุด	ค่อนข้างดี	ไม่แน่นอน
ไม่มีประจุ	ดี	ดี	ดี
ประจุบวก	ไม่ดี	ปานกลาง	ไม่ดี
ประจุบวกและลบ	ค่อนข้างดี	ดี	ดีที่สุด

สารลดแรงตึงผิวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด , เครื่องสำอาง และยา ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย การข้อมผ้า การเคลือบสีไม้หรือโลหะ เป็นต้น

#### 2.5.1 พอลิเอทิลีนไกลคอล [13]

พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethyleneglycol ,PEG) เป็นพอลิเมอร์ที่ได้มาจากเอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) หรือเอทิลีนออกไซด์ (Ethylene oxide) มอนอเมอร์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 200 – 6000 กรัมต่อโมล ความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์จะขึ้นกับอัตราส่วนของสารตั้งต้น ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนไกลคอลแสดงดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเป็น 107864 ไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเอทิลีนไกลคอลมีลักษณะเป็นของเหลวใสและหนืดจนกระทั่งเป็นของแข็งคล้ายแว็กซ์ ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล พอลิเอทิลีนไกลคอลที่มีมวลโมเลกุลต่างกันจะมีสมบัติทางกายภาพต่างกัน จึงนำไปประยุกต์ใช้งานที่ต่างกัน พอลิเอทิลีนไกลคอลสามารถละลายในน้ำ เมทานอล เบนซีน ไคคลอโรฟอร์ม และ ไม่ละลายในไดเอทิลอีเทอร์และเฮกเซน พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่ำจึงนำไปใช้ในยา เครื่องสำอาง และสามารถนำไปเป็นสารลดแรงตึงผิวได้ โดยที่ตัวพอลิเอทิลีนไกลคอลเองไม่สามารถเป็นสารลดแรงตึงผิวได้ต้องนำไปทำปฏิกิริยากับสารประเภทอื่น จึงจะสามารถนำไปเป็นสารลดแรงตึงผิวได้ เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอเลต (Polyethylene glycol monooleate) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ (Non-ionic surfactant)

### 2.5.2 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต [14]

โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulphate) หรือโซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium lauryl sulphate) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic surfactant) เตรียมจากปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน (Sulphonation) ของโดเดคานอล (Dodecanol) หรือลอริลแอลกอฮอล์ (Lauryl alcohol) กับโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) ปฏิกิริยาการสังเคราะห์โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต แสดงดังสมการ



โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตมีน้ำหนักโมเลกุล 288.38 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 1.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว 206 องศาเซลเซียส

โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนหลายชนิด เช่น ยาสีฟัน ยาสระผมและสารซักล้างต่างๆ

## 2.6 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์ม (Palm oil) คือ น้ำมันที่ได้จากผลปาล์ม น้ำมันปาล์มดิบมีลักษณะเป็นสีส้มแดง เพราะมีส่วนผสมของแคโรทีน น้ำมันปาล์มมีสถานะกึ่งของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีความอึดตัวประมาณร้อยละ 50 [15]

โดยทั่วไป น้ำมันปาล์มดิบมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ [16] คือ

1. Glycerides ประมาณ 95%

2. Fatty acids ประมาณ 3-5%

3. Minor & Trace component ประมาณ 1% ซึ่งประกอบไปด้วย phytonutrient ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และสารอื่น ๆ เช่น carotene, tocopherols, tocotrienols, sterols, triterpene alcohols,

phospholipids, glycolipids, terpenic hydrocarbons, waxes และ สารปนเปื้อนอื่นๆ ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมัน สามารถแบ่งน้ำมันปาล์มตามวัตถุประสงค์ที่ใช้สกัดเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ซึ่งมีองค์ประกอบกรดไขมันที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว:กรดไขมันไม่อิ่มตัว ในสัดส่วน 50:50 และ 82:18 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2.5

**ตารางที่ 2.5** องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม [16]

กรดไขมัน	น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil)	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil)
กรดไขมันอิ่มตัว	50%	82%
C 6:0 (caproic acid)	-	0.1-0.5
C 8:0 (carylic acid)	-	3.4-5.9
C10:0 (capric acid)	-	3.3-4.4
C12:0 (lauric acid)	0.1-0.4	46.3-51.1
C14:0 (myristic acid)	1.0-1.4	14.3-16.8
C16:0 (palmitic acid)	40.9-47.5	6.5-8.9
C18:0 (stearic acid)	3.8-4.8	1.6-2.6
C20:0 (arachidic acid)	0-0.8	-
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	50%	18%
C16:1 (palmitoleic acid)	0-0.6	-
C18:1 (oleic acid)	36.4-41.2	13.2-16.4
C18:2 (linoleic acid)	9.2-11.6	2.2-3.4
C18:3 (linolenic acid)	0-0.5	-
Others	-	tr - 0.9

น้ำมันปาล์มที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และน้ำมันปาล์มที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปมีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน สมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มแสดงดังตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม [9]

Characteristic	Palm oil for food	Palm oil for industry
Relative density @ 40/25 °C	0.900 – 0.907	0.900 – 0.907
Refractive index @ $n_D$ 40 °C	1.45 – 1.46	1.45 – 1.46
Iodine value, Wijs	45 - 60	45 – 60
Saponification value (mg KOH/g oil)	190 - 209	190 – 209
Acid value (max mg KOH/g oil)	0.6	10
Water and volatile matter @ 105 °C (max %wt)	0.2	0.5
Beta-carotene content (max mg/kg oil)	Report	Report

น้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบของกรดไขมันลักษณะทางเคมีและกายภาพและคุณสมบัติอื่นๆ ดังนี้

1. มีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน
2. มีปริมาณไขมันแข็งตามธรรมชาติ
3. มีความคงตัวในการเกิดผลึกเบต้าไพรม์
4. ราคาถูก หาได้ง่าย และมีการผลิตเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี
5. มีคุณค่าทางโภชนาการ

ปาล์ม โอเลอิน (Palm Olein) เป็นของเหลวที่ได้มาหลังจากการตกผลึกของน้ำมันปาล์ม ลักษณะทางกายภาพของปาล์ม โอเลอินแตกต่างจากน้ำมันปาล์มคือ ที่อุณหภูมิปกติมีสถานะเป็นของเหลว และมีกลีเซอรอลอยู่เล็กน้อย ปาล์ม โอเลอินนำไปใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอดอาหาร เช่นเดียวกับน้ำมันปาล์ม แต่ปาล์ม โอเลอินมีความนิยมน้ำมันมากกว่าน้ำมันปาล์ม เพราะเวลาทอดอาหารแล้วสีของอาหารจะเป็นสีเหลืองทอง

ปาล์ม โอเลอินสามารถนำไปทำน้ำมันไบโอดีเซลได้ ซึ่งการนำปาล์ม โอเลอินไปทำน้ำมันไบโอดีเซลนั้นมีข้อดีคือ ปาล์ม โอเลอินหาได้ง่าย ราคาถูกกว่าน้ำมันพืชประเภทอื่น เช่น น้ำมันถั่วเหลือง สามารถปลูกเองได้ในครัวเรือน และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ [15]

## 2.7 ความขุ่น

ความขุ่น (Turbidity) คือ ความไม่ชัดเจนหรือความเลือนลางของของเหลวหรืออากาศ ซึ่งเกิดจากอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในของเหลวหรืออากาศ [24]

ความขุ่นวัดจากการกระเจิงแสงผ่านวัสดุที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยหรือสารละลายซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ การวัดความขุ่นในห้องปฏิบัติการจะใช้เครื่องวัดความขุ่นที่เรียกว่า Nephelometer ซึ่งเป็นเครื่องวัดความเข้มของแสงที่กระเจิงที่ 90 องศา จากลำแสงที่ส่องผ่านสารตัวอย่าง การกระเจิงแสงที่ออกมาจะสัมพันธ์กับจำนวนของอนุภาคและสมบัติของอนุภาคที่แขวนลอยในสารนั้น เช่น รูปร่าง สี ความสามารถในการสะท้อนของอนุภาคนั้น

หน่วยของความขุ่นที่ใช้โดยทั่วไปคือ NTU ย่อมาจาก Nephelometric turbidity units สารที่ใช้เทียบมาตรฐานของเครื่องวัดความขุ่นคือ ฟอว์มาซีน (Formazin) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะขุ่นคล้ายนม

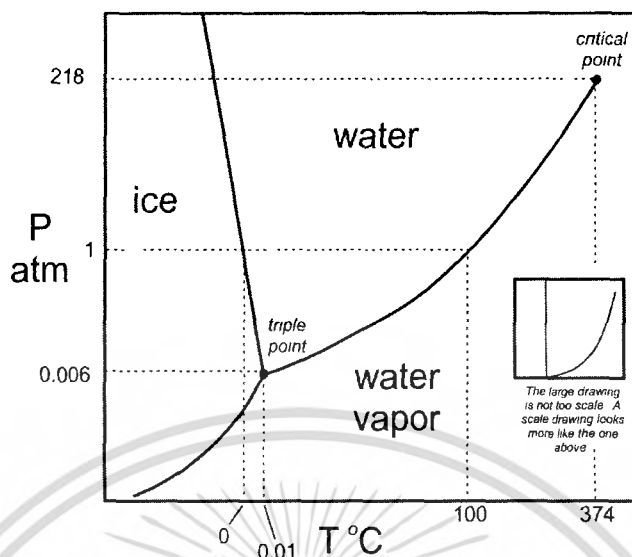
เดิมการวัดความขุ่นจะใช้เครื่องวัดความขุ่นที่เรียกว่า Jackson candle turbidimeter ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้การมองด้วยตา วัดโดยเทสารตัวอย่างลงในหลอดวัดมาตรฐานและความขุ่นของสารตัวอย่างจะถูกวัดเมื่อเปลวไฟจากเทียนไขที่อยู่ใต้หลอดที่บรรจุสารตัวอย่างหายไป แต่วิธีนี้มีความเป็นมาตรฐานต่ำจึงไม่นิยมใช้ หน่วยของความขุ่นที่อ่านได้จากเครื่อง Jackson candle turbidimeter คือ JTU ย่อมาจาก Jackson turbidity units [25]

โดยทั่วไปการวัดความขุ่นจะใช้ทดสอบคุณภาพของน้ำ ซึ่งในน้ำจะมีอนุภาคแขวนลอยอยู่หลายชนิด เช่น ดิน แพลงตอนและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอื่นๆ ถ้าน้ำมีความขุ่นมากๆ จะไม่สามารถบริโภคน้ำนั้นได้ เนื่องจากในน้ำนั้นอาจมีสิ่งเจือปน เช่น ไวรัส แบคทีเรีย ติดอยู่กับสารแขวนลอยนั้น ซึ่งถ้าบริโภคน้ำนั้นจะมีอันตรายต่อระบบกระเพาะอาหารและลำไส้ได้ [24]

## 2.8 แผนภูมิวัฏภาค

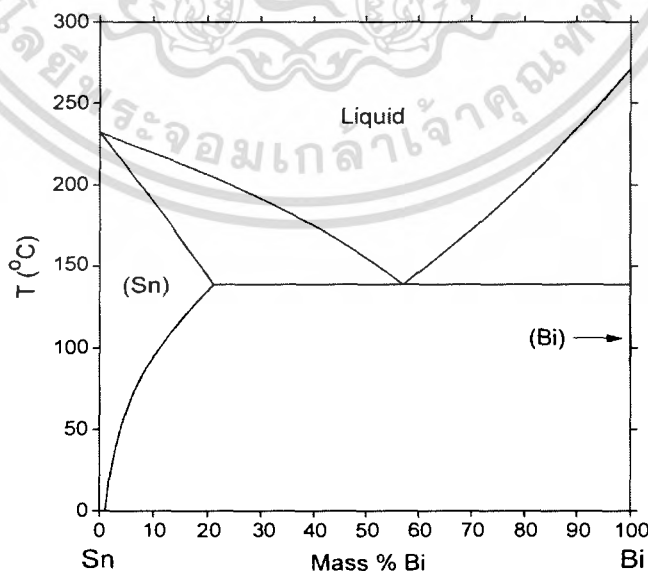
แผนภูมิวัฏภาค (Phase diagram) คือแผนภาพที่ใช้บ่งบอกว่า ณ สภาวะ (Condition) แบบหนึ่งๆ นั้น วัสดุจะอยู่ในสภาพใด [26]

- แผนภูมิวัฏภาคในระบบหนึ่งส่วนประกอบ (One component phase diagram) เป็นแผนภูมิที่ใช้ศึกษาสถานะ (State) ของวัสดุชนิดเดียว โดยแผนภูมิอาจเป็นสองหรือสามมิติก็ได้ ถ้าเป็นสองมิติมักจะเป็นแผนภูมিরะหว่างความดันและอุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น แผนภูมิวัฏภาคของน้ำดังรูปที่ 2.5



**รูปที่ 2.6** แผนภูมิวิภูภาคของน้ำ

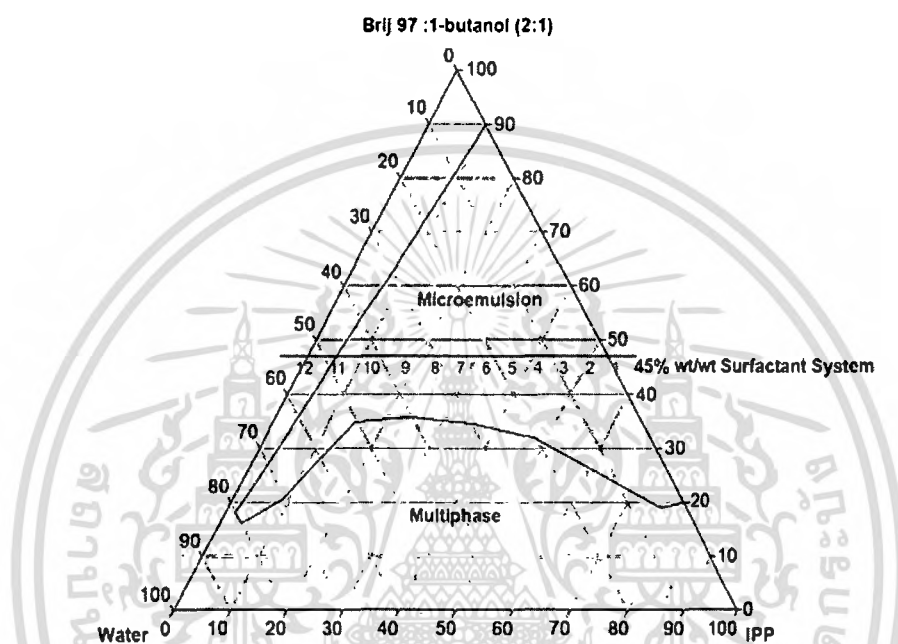
- แผนภูมิวิภูภาคทวิภาค (Binary phase diagram) เป็นแผนภูมิที่ใช้ศึกษาสถานะของสารสองชนิด ที่อาจเกิดการหลอมเข้าด้วยกันเป็นสารละลายของแข็ง (Solid solution) หรือทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบชนิดใหม่ แผนภูมิส่วนใหญ่จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและสัดส่วนเป็นร้อยละ โดยโมล หรือร้อยละโดยน้ำหนัก (wt.%) หรือร้อยละโดยอะตอม (at.%) โดยถือว่ากราฟที่ได้เกิดขึ้นที่ความดันคงที่ (1 atm) ตัวอย่างเช่น แผนภูมิวิภูภาคของระบบ Sn-Bi ดังรูปที่ 2.6



**รูปที่ 2.7** แผนภูมิวิภูภาคของระบบ Sn-Bi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แผนภูมิวัฏภาคไตรภาค (Ternary phase diagram) เป็นแผนภูมิที่ใช้ศึกษาสถานะของสารสามชนิด ซึ่งอาจเป็นกราฟสามมิติระหว่างอุณหภูมิและสารทั้งสามชนิด หรืออาจเป็นภาพตัดขวางที่แสดงเฟสต่างๆ ที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง ตัวอย่างเช่น แผนภูมิวัฏภาคของระบบ Water-IPP-Brij 97:1-butanol (2:1) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.8 แผนภูมิวัฏภาคของระบบ Water-IPP-Brij 97:1-butanol (2:1)

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปณัฐพงศ์ บุญนวล, อนุพันธ์ มณีศิริ, นัฐพงษ์ ธนพันธุ์ภูวเดช และแคทลียา ปัทมพรหม[17] ได้ทำการวิจัยเรื่องการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปลาคาร์ปสเตียรินสีขาว โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันแบบขั้นต่อนเดียวทำปฏิกิริยากับเมทานอลและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันปลาคาร์ปที่ใช้ทำปฏิกิริยามากกว่าหรือเท่ากับ 7.0 ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับร้อยละ 0.50 โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอล, โซเดียมไฮดรอกไซด์, อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา จะได้น้ำมันดีเซลชีวภาพที่มีคุณภาพดีขึ้น เมื่อทำการทดลองขยายการผลิตในถังขนาดใหญ่ก็ยังคงพบว่าน้ำมันที่ผลิตได้เป็นไปตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อารีรัตน์ โชติวิเชียร อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย และสมัย ใจอินทร์ [18] ได้ทำการวิจัยเรื่องการใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล-เอทานอล และดีเซล-บิวทานอล โดยการนำไบโอดีเซลสองชนิดคือ เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มผ่านกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสเป็นสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของดีโซฮอล์ ซึ่งมีปัญหาในการผสมเอทานอลลงในน้ำมันดีเซลแล้วไม่สามารถเข้ากันได้ดีและจะแยกชั้นเมื่อทิ้งไว้นาน และเอทานอลยังส่งผลให้ค่าซีเทนของเชื้อเพลิงผสมต่ำลง เมื่อใช้ไบโอดีเซลทั้งสองชนิดเป็นสารเติมแต่ง ผลที่ได้พบว่าการใช้เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเอทิลเอสเทอร์จึงเหมาะสมมากกว่าเมทิลเอสเทอร์ สำหรับนำมาใช้เป็น สารเติมแต่งในดีโซฮอล์ เพราะวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทิลเอสเทอร์ (น้ำมันพืชและเอทานอล) นั้น ได้มาจากผลผลิตทางการเกษตร นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้นำบิวทานอลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่น่าสนใจมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายให้เข้ากันได้และปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงผสม ผลจากการวิจัยพบว่า การใช้บิวทานอลผสมในดีเซลสามารถแก้ปัญหาการแยกชั้นได้ เพราะบิวทานอลสามารถละลายในน้ำมันดีเซลได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการละลายของเอทานอลในน้ำมันดีเซล และเชื้อเพลิงผสมบิวทานอลยังมีสมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซล ยิ่งไปกว่านั้น เชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล บิวทานอล และไบโอดีเซล ยังช่วยเพิ่มจุดวาบไฟ ซึ่งทำให้การใช้ดีโซฮอล์มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่า เชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซลร้อยละ 85 บิวทานอลร้อยละ 5 และเอทิลเอสเทอร์ร้อยละ 10 ให้ผลดีที่สุด

พร้อม ขวัญเจริญ อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย และสมัย ใจอินทร์ [19] ได้ทำการวิจัยเรื่องความสามารถในการละลาย สมบัติทางเชื้อเพลิง ของของผสมระหว่างดีเซล-ไบโอดีเซล-เอทานอล โดยศึกษาเกี่ยวกับแผนภูมิวิภาคของของผสมดังกล่าวที่มีเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ต่างกัน และอุณหภูมิการผสมที่ต่างกัน ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าสมบัติทางเชื้อเพลิงของของผสมใกล้เคียงกับสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ค่าซีเทนที่สูงของไบโอดีเซลมีส่วนช่วยเพิ่มค่าซีเทนที่ลดลงจากผลของเอทานอลได้ โดยของผสมดีเซลร้อยละ 80 ไบโอดีเซลร้อยละ 15 และเอทานอลร้อยละ 5 ให้ค่าซีเทนสูงที่สุด ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของของผสมมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน แต่ค่าความร้อนของของผสมที่มีเอทานอลต่ำกว่าร้อยละ 10 มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน โดยเฉพาะอัตราส่วนการผสมดีเซลร้อยละ 90 ไบโอดีเซลร้อยละ 5 และเอทานอลร้อยละ 5 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานมากที่สุด ความสามารถในการละลายของของผสมจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการผสมต่ำลง แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการผสมมากกว่า 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียส จากงานวิจัยนี้พบว่าอัตราส่วนของผสมดีเซลร้อยละ 80 ไบโอดีเซลร้อยละ 15 และเอทานอลร้อยละ 5 เป็นอัตราส่วนที่ให้ผลดีที่สุด

พรหมเมศร์ ขวัญเจริญ [27] ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่งในดีโซฮอล์ในประเทศไทย พบว่าไบโอดีเซลจากปาล์มสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งในดีโซฮอล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการผลิตดีโซฮอล์ควรใช้อทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ขึ้นไป ความสามารถในการละลายเป็นเนื้อเดียวกันของดีเซลและเอทานอลลดลงเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ค่าความหนาแน่นและจุดไหลเทของดีโซฮอล์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซล ค่าซีเทนที่สูงของไบโอดีเซลสามารถชดเชยค่าซีเทนที่ลดลงจากการเติมเอทานอลในการผลิตดีโซฮอล์ ดีโซฮอล์ที่มีเอทานอลอยู่น้อยกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ไม่แตกต่างจากดีเซลมากนัก ดีโซฮอล์ที่มีเอทานอลผสมอยู่จึงมีความไวไฟสูงและมีจุดวาบไฟที่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปดีโซฮอล์ที่มีเอทานอลอยู่ร้อยละ 5 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดีเซล และในการทดลองนี้ดีโซฮอล์ที่อัตราส่วน ดีเซลร้อยละ 90 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร มีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ใกล้เคียงกับดีเซลมากที่สุด และดีโซฮอล์ที่อัตราส่วน ดีเซลร้อยละ 80 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 15 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร มีค่าดัชนีซีเทนสูงที่สุด ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้ของดีโซฮอล์มีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับดีเซลที่ภาวะสูงสุดของเครื่องยนต์ แต่มีปริมาณไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มมากขึ้น จากการทดลองนี้ดีโซฮอล์ที่อัตราส่วน ดีเซลร้อยละ 80 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 15 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีสมบัติทางเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและสามารถลดปริมาณมลภาวะจากการเผาไหม้ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากดีโซฮอล์ยังมีปัญหาในเรื่องของจุดวาบไฟที่ต่ำกว่าดีเซลโดยทั่วไป ดังนั้นการใช้ การเก็บรักษา และการขนส่งดีโซฮอล์จึงควรทำด้วยความระมัดระวัง โดยควรใช้มาตรฐานในการจัดการเช่นเดียวกับน้ำมันเบนซิน

จารุวัฒน์ ทองมูล [5] ได้ทำการวิจัยเรื่องการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลและผลิตภัณฑ์หล่อลื่นจากน้ำมันสบู่ดำ น้ำมันสบู่ดำซึ่งมีโครงสร้างเป็นไตรกลีเซอไรด์นั้น จะถูกเปลี่ยนให้มีโครงสร้างเป็นเอสเทอร์เดี่ยว โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ 6 ชนิด คือ เมทานอล เอทานอล 1-บิวทานอล 1-เฮกซานอล 1-ออกทานอล และ 1-เดคานอล ตามลำดับ โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นและโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันสบู่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นไม่ว่าจะใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และพบว่าเมื่อใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นกับโซเดียมเมทอกไซด์ในปริมาณที่เท่ากัน ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสนั้นมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพที่ดีกว่าได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 18.63 และได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ เอสทิลเอสเทอร์ บิวทิลเอสเทอร์ เฮกซิลเอสเทอร์ ออกทิลเอสเทอร์ และ เดคซิลเอสเทอร์ เท่ากับร้อยละ 100 ร้อยละ 98.67 ร้อยละ 97.33 ร้อยละ 96.67 ร้อยละ และร้อยละ 93.33 ตามลำดับจากการนำน้ำมันสบู่ดำ และสารประกอบประเภทเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ ไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ได้แก่ ความตึงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท จุดวาบไฟ ความเสถียรทางความร้อน และค่าความร้อน โดยเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ กับน้ำมันดีเซลและน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากปิโตรเลียม พบว่าเอสเทอร์ที่น่าจะมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลมากที่สุดคือ เอทิลเอสเทอร์ ส่วนในแง่ของการใช้เป็นสารหล่อลื่น พบว่าไม่มีเอสเทอร์ชนิดใดสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้โดยตรง แต่อาจจะนำมาใช้ผสมกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานในปริมาณที่ไม่เกินร้อยละ 10 โดยปริมาตรเพื่อเพิ่มดัชนีความหนืดให้กับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้ ซึ่งก็พบว่าเอสเทอร์ชนิดที่เหมาะสมที่สุด คือ เฮกซิลเอสเทอร์ และจากการทดสอบสมบัติของน้ำมันสบู่ดำในการนำมาใช้เป็นสารหล่อลื่น และสารหล่อลื่น พบว่าน้ำมันสบู่ดำไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง แต่สามารถใช้ผสมกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเกรด SN150 จากปิโตรเลียมได้ในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร เพื่อเพิ่มดัชนีความหนืด ในขณะที่สมบัติอื่นๆ ยังใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก่อนผสม

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีและวัสดุในงานวิจัย

1. น้ำมันปาล์มตราหยก
2. เมทานอล ( AR grade) จาก Fisher Scientific
3. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( AR grade) จาก s.d.fine - chem
4. กรดไฮโดรคลอริก 2 M (analytical grade) จาก J.T. Baker NEUTRASORB
5. พาราฟิน (general purpose grade) จาก Fisher Scientific
6. น้ำมันดีเซล จากบริษัทไทยออยล์
7. เอทานอล 99.8 % (absolute grade) จาก Carlo Erba
8. พอลิเอทิลีนไกลคอล 400 จาก Sigma - aldrich
9. พอลิเอทิลีนไกลคอล โมโน โอลิเอต 460 จาก Sigma - aldrich
10. พอลิเอทิลีน ไกลคอล ได โอลิเอต 914 จาก Sigma - aldrich
11. โซเดียมเมทอกไซด์ (analytical grade) s.d.fine - chem
12. สารละลายอิมัลชันของ โซเดียมคลอไรด์ (analytical grade) s.d.fine - chem

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Fourier-Transform NMR spectrometer (Advanced 300 Ultra Shield (300 MHz), Spectrospin) ของ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. Rotary Vacuum Evaporator (Rotary vacuum evaporator N – 1N series, EYELA)
3. Turbidimeter (JENWAY 6035)
4. Gas Chromatography (Agilent 6850 GC with FID, split/spiltless inlet, HP-INNOWax column (30 m × 320 μm × 0.25 μm film of polyethylene glycol) ของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
5. Density Meter (Anton Paar, DMA 5000) ของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
6. Pour and Cloud points Tester (ISL, CPP 5Gs) ของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
7. Flash point Tester (ISL, FP93 5G2) ของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Viscometer (CANNON, CAV 2000) ของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
9. Bomb Calorimeter (PARR 1281) ของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
10. Thermostat และ Hot plate stirrer
11. ขวดสามคอ ขนาด 250 และ 500 ml.
12. เทอร์โมมิเตอร์ 100 และ 200 °C
13. บีเปต ขนาด 1 และ 5 ml.
14. แท่งแม่เหล็ก
15. จุกยางดำและจุกยางแดง
16. คอนเดนเซอร์
17. กรวยแยก ขนาด 500 ml.
18. บีกเกอร์ ขนาด 50 และ 150 ml.
19. อ่างน้ำมัน
20. แท่งแก้ว
21. Vial 6 damp
22. กระจกนาฬิกา
23. กระจกยลิตัมส์

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่ง

- 1) ชั่งน้ำมันปาล์ม 85.40 กรัม (0.1 โมล) ใส่ขวดสามคอขนาด 500 ml. พร้อมใส่แท่งแม่เหล็ก และเทอร์โมมิเตอร์ แล้วต่อกอนเดนเซอร์เข้ากับขวดสามคอ อุ่นน้ำมันปาล์มให้ร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส โดยใช้อ่างน้ำมัน
- 2) ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.854 กรัม (1%wt) ในบีกเกอร์ขนาด 50 ml.
- 3) ชั่งเมทานอล 19.20 กรัม (0.6 โมล) ในบีกเกอร์ขนาด 50 ml. ละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลจนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด
- 4) เทสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กับเมทานอลลงในน้ำมันปาล์มที่อุ่นในข้อ 2)
- 5) เริ่มปั่นกวนและให้ความร้อนต่อจนถึงอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ทำการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

- 6) จากนั้นเทน้ำมันที่ได้ลงในกรวยแยกขนาด 500 ml. ทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้นระหว่างกลีเซอรอล (ชั้นล่าง) และเมทิลเอสเทอร์ (ชั้นบน) ไขเอาส่วนล่างออกไป ล้างส่วนบนด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เพื่อกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอลที่เหลือ
- 7) นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปกำจัดน้ำออก โดยใช้เครื่อง Rotary Vacuum Evaporator
- 8) เก็บเมทิลเอสเทอร์ใส่ขวดแก้ว เพื่อนำไปตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่อง NMR และวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography และทำการทดลองต่อไป สภาวะที่ใช้ Gas Chromatography คือ

Inlet temperature:	250 °C
Split ratio:	80:1
Injection volume:	1 µL
Column flow (He):	1.5 ml/min, constant flow mode
FID temperature:	300 °C
H <sub>2</sub> flow:	40 ml/min
Air flow:	400 ml/min
Make up (N <sub>2</sub> ):	40 ml/min
Oven program:	210 °C hold a min to 230 °C at 20 °C/min, hold 10 min
Column:	30 m × 320 µm × 0.25 µm HP-INNOWax (Part no.19091 N-113)
Calibration standard:	Solution of methyl heptadecanate in heptane (5 mg/ml)

### 3.3.2 การสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวจากน้ำมันปาล์ม

- 1) ชั่งน้ำมันปาล์ม 20.00 กรัม (0.1 โมล) ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 ml. อุ่นน้ำมันปาล์มให้ร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส โดยใช้แท่นให้ความร้อน
- 2) ชั่งพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 56.21 กรัม (0.6 โมล) ใส่ขวดสามคอขนาด 250 ml. พร้อมใส่แท่งแม่เหล็ก และเทอร์โมมิเตอร์ แล้วต่อคอนเดนเซอร์เข้ากับขวดสามคอ ให้ความร้อนกับพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 จนถึงอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส โดยใช้อ่างทราย
- 3) ค่อยๆ หยคน้ำมันในข้อ 2) ใส่ลงในสารละลายข้อ 3)
- 4) ชั่งโซเดียมเมทอกไซด์ 0.15 กรัม (0.75%wt) ในกระดาษฟอยล์ เทใส่สารละลายข้อ 4) ทันที เริ่มปั่นกวนและให้ความร้อนต่อจนถึงอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส
- 5) ทำการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) จากนั้นเทของเหลวที่ได้ลงในกรวยแยก ทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้น แล้วแยกกลีเซอรอลซึ่งอยู่ชั้นล่างออก และล้างของเหลวชั้นบนด้วยสารละลายอิมิตัวของโซเดียมคลอไรด์
- 7) นำของเหลวที่ได้ไประเหยน้ำออกโดยใช้เครื่อง Rotary Vacuum Evaporator และกรองแยกผลึกโซเดียมคลอไรด์ออก
- 8) เก็บสารลดแรงตึงผิวใส่ขวดแก้ว เพื่อนำไปตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่อง NMR และทำการทดลองต่อไป

### 3.3.3 การเตรียมเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล

- 1) ผสม ไบโอดีเซลกับเอทานอลในสัดส่วนแสดงดังตารางที่ 3.1 ดีเซลกับเอทานอล แสดงดังตารางที่ 3.2 และดีเซลกับไบโอดีเซลแสดงดังตารางที่ 3.3 ในขวดแก้วแล้วเขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาที เก็บไว้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงผสมเมื่อเวลาผ่านไป

**ตารางที่ 3.1** สัดส่วนการผสม ไบโอดีเซลกับเอทานอล

ตัวอย่างที่	ปริมาณไบโอดีเซล (ml.)	ปริมาณเอทานอล (ml.)
1	10.0	0
2	9.0	1.0
3	8.0	2.0
4	7.0	3.0
5	6.0	4.0
6	5.0	5.0
7	4.0	6.0
8	3.0	7.0
9	2.0	8.0
10	1.0	9.0
11	0.5	9.5
12	0	10.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.2** สัดส่วนการผสมดีเซลกับเอทานอล

ตัวอย่างที่	ปริมาณดีเซล (ml.)	ปริมาณเอทานอล (ml.)
1	10.0 -	0
2	9.0	1.0
3	8.0	2.0
4	7.0	3.0
5	6.0	4.0
6	5.0	5.0
7	4.0	6.0
8	3.0	7.0
9	2.0	8.0
10	1.0	9.0
11	0.5	9.5
12	0	10.0

**ตารางที่ 3.3** สัดส่วนการผสมดีเซลกับไบโอดีเซล

ตัวอย่างที่	ปริมาณดีเซล (ml.)	ปริมาณไบโอดีเซล (ml.)
1	10.0	0
2	9.0	1.0
3	8.0	2.0
4	7.0	3.0
5	6.0	4.0
6	5.0	5.0
7	4.0	6.0
8	3.0	7.0
9	2.0	8.0
10	1.0	9.0
11	0	10.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ผสมเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้เอทานอลร้อยละ 10 แล้วเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของดีเซลต่อ ไบโอดีเซล แสดงดังตารางที่ 3.4 ในขวดแก้วแล้วเขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาที เก็บไว้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงผสมเมื่อเวลาผ่านไป เพื่อทำแผนภูมิวิภูภาค

**ตารางที่ 3.4** สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล

ตัวอย่างที่	ปริมาณดีเซล (ml.)	ปริมาณไบโอดีเซล (ml.)	ปริมาณเอทานอล (ml.)
1	2.0	16.0	2.0
2	4.0	14.0	2.0
3	6.0	12.0	2.0
4	8.0	10.0	2.0
5	9.0	9.0	2.0
6	10.0	8.0	2.0
7	12.0	6.0	2.0
8	14.0	4.0	2.0
9	16.0	2.0	2.0

- 3) ผสมเชื้อเพลิงผสมเหมือนข้อ 2) แต่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่เลือกใช้คือ พอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอลิเอต ตั้งแต่ร้อยละ 1 จนถึง ร้อยละ 6 โดยปริมาตรของเชื้อเพลิงผสม แสดงดังตารางที่ 3.5 – 3.10 แล้วเขย่าอย่างแรงในขวดแก้วเป็นเวลา 1 นาที เก็บไว้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงผสมเมื่อเวลาผ่านไป เพื่อทำแผนภูมิวิภูภาค
- 4) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3) โดยเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวจากพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอลิเอต เป็นพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอลิเอต และสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม

**ตารางที่ 3.5** สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอตร้อยละ 1

ตัวอย่างที่	ปริมาณดีเซล (ml.)	ปริมาณไบโอดีเซล (ml.)	ปริมาณเอทานอล (ml.)	ปริมาณ พอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอต (ml.)
1	2.0	16.0	2.0	0.2
2	4.0	14.0	2.0	0.2
3	6.0	12.0	2.0	0.2
4	8.0	10.0	2.0	0.2
5	9.0	9.0	2.0	0.2
6	10.0	8.0	2.0	0.2
7	12.0	6.0	2.0	0.2
8	14.0	4.0	2.0	0.2
9	16.0	2.0	2.0	0.2

**ตารางที่ 3.6** สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอตร้อยละ 2

ตัวอย่างที่	ปริมาณดีเซล (ml.)	ปริมาณไบโอดีเซล (ml.)	ปริมาณเอทานอล (ml.)	ปริมาณ พอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอต (ml.)
1	2.0	16.0	2.0	0.4
2	4.0	14.0	2.0	0.4
3	6.0	12.0	2.0	0.4
4	8.0	10.0	2.0	0.4
5	9.0	9.0	2.0	0.4
6	10.0	8.0	2.0	0.4
7	12.0	6.0	2.0	0.4
8	14.0	4.0	2.0	0.4
9	16.0	2.0	2.0	0.4

**ตารางที่ 3.7** สัดส่วนการผสมคีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอทรีอิลละ 3

ตัวอย่างที่	ปริมาณคีเซล (ml.)	ปริมาณไบโอดีเซล (ml.)	ปริมาณเอทานอล (ml.)	ปริมาณ พอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอทรีอิล (ml.)
1	2.0	16.0	2.0	0.6
2	4.0	14.0	2.0	0.6
3	6.0	12.0	2.0	0.6
4	8.0	10.0	2.0	0.6
5	9.0	9.0	2.0	0.6
6	10.0	8.0	2.0	0.6
7	12.0	6.0	2.0	0.6
8	14.0	4.0	2.0	0.6
9	16.0	2.0	2.0	0.6

**ตารางที่ 3.8** สัดส่วนการผสมคีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอทรีอิลละ 4

ตัวอย่างที่	ปริมาณคีเซล (ml.)	ปริมาณไบโอดีเซล (ml.)	ปริมาณเอทานอล (ml.)	ปริมาณ พอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอทรีอิล (ml.)
1	2.0	16.0	2.0	0.8
2	4.0	14.0	2.0	0.8
3	6.0	12.0	2.0	0.8
4	8.0	10.0	2.0	0.8
5	9.0	9.0	2.0	0.8
6	10.0	8.0	2.0	0.8
7	12.0	6.0	2.0	0.8
8	14.0	4.0	2.0	0.8
9	16.0	2.0	2.0	0.8

**ตารางที่ 3.9** สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอตร้อยละ 5

ตัวอย่างที่	ปริมาณดีเซล (ml.)	ปริมาณไบโอดีเซล (ml.)	ปริมาณเอทานอล (ml.)	ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอต (ml.)
1	2.0	16.0	2.0	1.0
2	4.0	14.0	2.0	1.0
3	6.0	12.0	2.0	1.0
4	8.0	10.0	2.0	1.0
5	9.0	9.0	2.0	1.0
6	10.0	8.0	2.0	1.0
7	12.0	6.0	2.0	1.0
8	14.0	4.0	2.0	1.0
9	16.0	2.0	2.0	1.0

**ตารางที่ 3.10** สัดส่วนการผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอตร้อยละ 6

ตัวอย่างที่	ปริมาณดีเซล (ml.)	ปริมาณไบโอดีเซล (ml.)	ปริมาณเอทานอล (ml.)	ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอต (ml.)
1	2.0	16.0	2.0	1.2
2	4.0	14.0	2.0	1.2
3	6.0	12.0	2.0	1.2
4	8.0	10.0	2.0	1.2
5	9.0	9.0	2.0	1.2
6	10.0	8.0	2.0	1.2
7	12.0	6.0	2.0	1.2
8	14.0	4.0	2.0	1.2
9	16.0	2.0	2.0	1.2

### 3.3.4 การวัดความขุ่นของเชื้อเพลิงผสม

เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิวิภูภาค เชื้อเพลิงผสมที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วไม่สามารถดูด้วยตาเปล่าว่าเกิดการแยกชั้น จะนำมาวัดความขุ่นด้วยเครื่อง Turbidimeter เพื่อดูว่าเชื้อเพลิงผสมสัดส่วนใดผสมเป็นเนื้อเดียวกันดีที่สุด โดยใช้เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงผสมที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโนโอลิเอต และพอลิเอทิลีน ไกลคอล ไดโอลิเอต จากนั้นนำเชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มและเชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโนโอลิเอต รวมไปถึงไบโอดีเซลบริสุทธิ์และเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลกับเอทานอล 10% ไปทดสอบสมบัติพื้นฐานของเชื้อเพลิงบางประการตามมาตรฐาน ASTM เพื่อเปรียบเทียบกับสมบัติของน้ำมันดีเซลโดยทั่วไป

### 3.3.5 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์ม เมทิลเอสเทอร์ สารลดแรงตึงผิว และเชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล

#### 3.3.5.1 ตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันปาล์มและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้เครื่อง Fourier-Transform NMR spectrometer

#### 3.3.5.2 ตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้เครื่อง Fourier-Transform NMR spectrometer พร้อมทั้งวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography

#### 3.3.5.3 ทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงผสม

นำเชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มและเชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโนโอลิเอต รวมไปถึงไบโอดีเซลบริสุทธิ์และเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลกับเอทานอล ร้อยละ 10 ไปทดสอบสมบัติพื้นฐานของเชื้อเพลิงบางประการตามมาตรฐาน ASTM ดังนี้

- 1) ความหนาแน่น ที่ 15 °C (ASTM D 4052)
- 2) ดัชนีความหนืด ที่ 40 °C (ASTM D 445)
- 3) จุดไหลเท (ASTM D 5950)
- 4) จุดวาบไฟ (ASTM D 93)
- 5) ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (ASTM D 240)

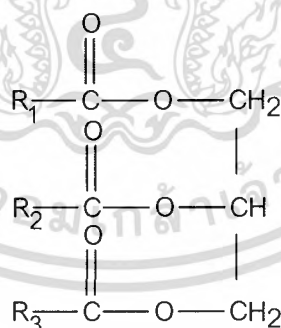
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมระหว่าง ดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล โดยทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม แล้วนำมาผสมกับ ดีเซลและเอทานอล โดยศึกษาความเสถียรและการผสมกันระหว่างสารทั้ง 3 ชนิด นอกจากนี้ยังทำการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวจากน้ำมันปาล์ม เพื่อใช้ในการเพิ่มเสถียรภาพระหว่างเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล เทียบกับพอลิเอทิลีนไกลคอล ศึกษาผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมในการเติมลงในเชื้อเพลิงผสม และยังทำการศึกษาเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลกับเอทานอลด้วย เนื่องจากผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี ทำการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงผสม ซึ่งได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด จุดไหลเท จุดวาบไฟ และค่าความร้อนของการเผาไหม้

#### 4.1 ลักษณะของน้ำมันปาล์ม

องค์ประกอบหลักของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม คือ กรดไมริสติก กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิก ซึ่งมีโครงสร้างทั่วไปดังรูปที่ 4.1



เมื่อ  $\text{R}_1$   $\text{R}_2$  และ  $\text{R}_3$  คือ  $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{12}$  กรดไมริสติก

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{14}$  กรดปาล์มมิติก

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{16}$  กรดสเตียริก

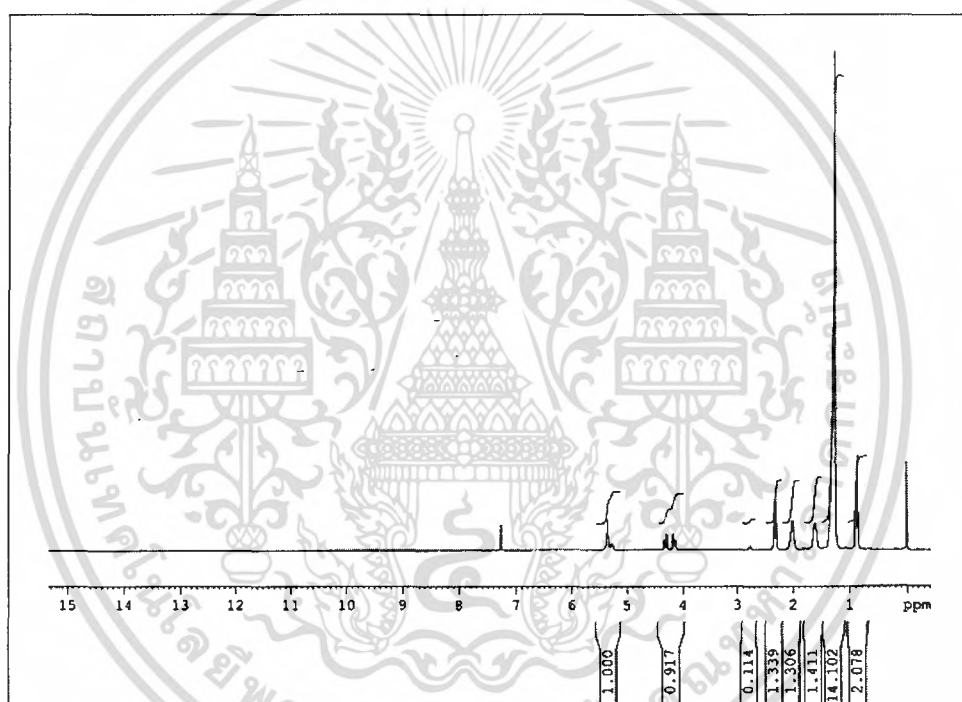
$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7$  กรดโอเลอิก

หรือ  $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_4 - \text{CH} = \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7$  กรดลิโนเลอิก

#### รูปที่ 4.1 โครงสร้างทั่วไปของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

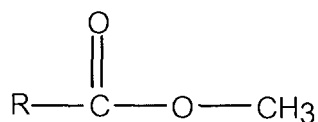
$^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของน้ำมันปาล์ม (รูปที่ 4.2) แสดงตำแหน่งของ  $\text{CH}_3\text{-C-}$  และ  $\text{-C-CH}_2\text{-C-}$  ที่  $\delta$  0.85 – 0.88 และ 1.25 – 1.30 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C-}$  อยู่ที่  $\delta$  1.61 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-C=C}$  อยู่ที่  $\delta$  2.01 – 2.05 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-COO-C-}$  อยู่ที่  $\delta$  2.28 – 2.33 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-C=C-CH}_2\text{-C=C-}$  อยู่ที่  $\delta$  2.74 – 2.76 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-OOC-R}$  และ  $>\text{CH-OOC-R}$  อยู่ที่  $\delta$  4.11 – 4.17 และ 4.27 – 4.32 ppm และตำแหน่งของ  $\text{-CH=CH}$  อยู่ที่  $\delta$  5.26 – 5.35 ppm



รูปที่ 4.2  $^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของ น้ำมันปาล์มใน  $\text{CDCl}_3$

#### 4.2 เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันปาล์ม

การสังเคราะห์ เมทิลเอสเทอร์ จะสังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ใช้คือ 6 : 1 โดยโมล ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม จะได้เมทิลเอสเทอร์ ที่มีโครงสร้างดังรูป 4.3



เมื่อ  $R_1, R_2$  และ  $R_3$  คือ  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}$  กรดไมริสติก

$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}$  กรดปาล์มติก

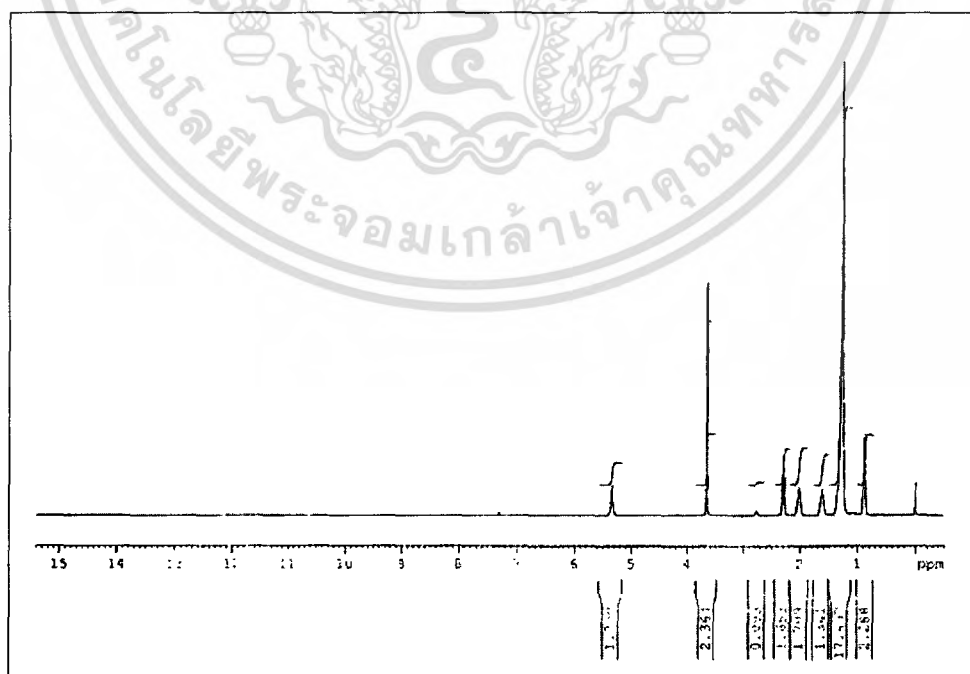
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}$  กรดสเตียริก

$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7$  กรดโอเลอิก

หรือ  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7$  กรดลิโนเลอิก

### รูปที่ 4.3 โครงสร้างของเมทิลเอสเทอร์ [5]

$^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของ เมทิลเอสเทอร์ (รูปที่ 4.4) แสดงตำแหน่งของ  $\text{CH}_3\text{-C-}$  และ  $\text{-C-CH}_2\text{-C-}$  ที่  $\delta$  0.85 – 0.88 และ 1.25 – 1.30 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C-}$  อยู่ที่  $\delta$  1.59 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-C=C}$  อยู่ที่  $\delta$  1.99 – 2.02 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-COO-C-}$  อยู่ที่  $\delta$  2.25 – 2.32 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-C=C-CH}_2\text{-C=C-}$  อยู่ที่  $\delta$  2.74 – 2.78 ppm ตำแหน่งของ  $\text{CH}_3\text{-OOC-R}$  อยู่ที่  $\delta$  3.66 ppm และตำแหน่งของ  $\text{-CH=CH}$  อยู่ที่  $\delta$  5.28 – 5.35 ppm



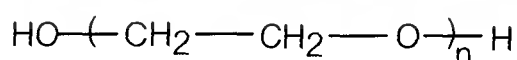
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
รูปที่ 4.4  $^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของ เมทิลเอสเทอร์ใน  $\text{CDCl}_3$  ขั้วประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ ไม่พบพีคของหมู่  $-\text{CH}_2-\text{OOC}-\text{R}$  และ  $>\text{CH}-\text{OOC}-\text{R}$  ของ ไตรกลีเซอไรด์ที่  $\delta$  4.11 – 4.17 ppm และ 4.27 – 4.32 ppm แต่พบของหมู่  $\text{CH}_3-\text{OOC}-\text{R}$  ของ เมทิลเอสเทอร์ที่  $\delta$  3.66 ppm แสดงว่าเปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ในไบโอดีเซลค่อนข้างสูง

#### 4.3 การสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวจากน้ำมันปาล์ม

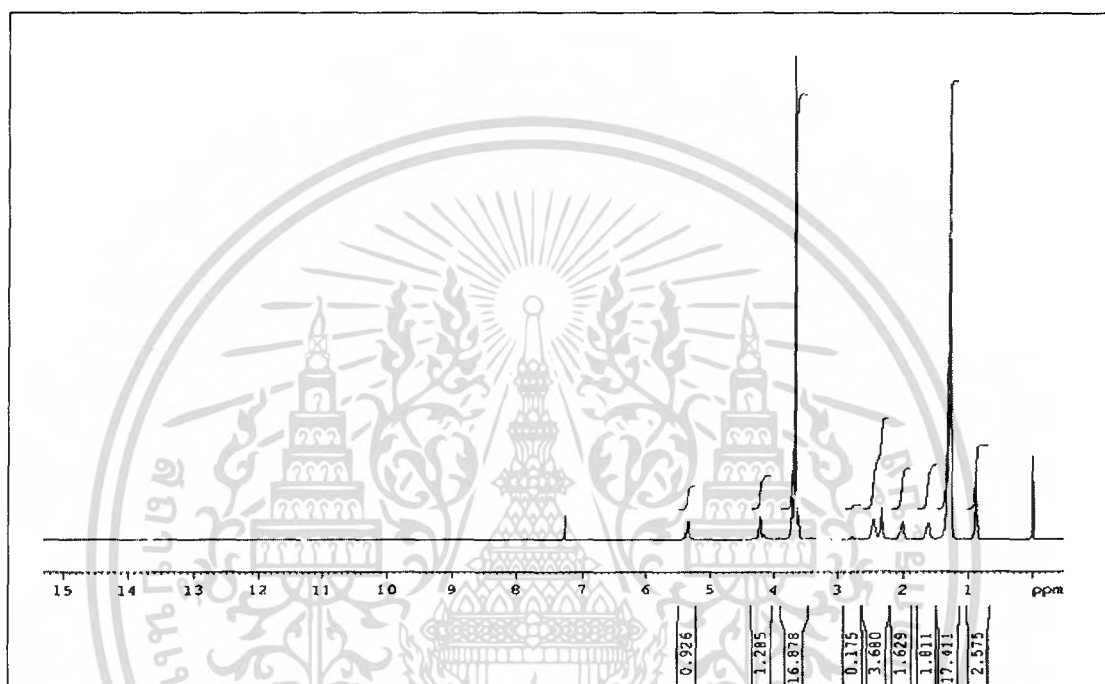
สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ เนื่องจากถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบหรือประจุบวก เมื่อเผาไหม้แล้วจะมีโลหะหลงเหลืออยู่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุเกรดทางการค้าที่ใช้คือ พอลิเอทิลีนไกลคอล โมโน โอลิเอตและพอลิเอทิลีน ไกลคอล ได โอลิเอตสังเคราะห์จากพอลิเอทิลีนไกลคอลกับกรด โอเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดหนึ่งในน้ำมันปาล์ม กรดโอเลอิกที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์ ในกระบวนการที่ทำให้กรดโอเลอิกบริสุทธิ์นั้นมีความยุ่งยากและเป็นการเพิ่มต้นทุนให้สูงขึ้น จึงทำการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวจากพอลิเอทิลีนไกลคอลและน้ำมันปาล์ม โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันปาล์มเป็นกรดไขมันบริสุทธิ์ นอกจากนี้ในน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันหลายชนิด เมื่อนำไปสังเคราะห์ร่วมกับพอลิเอทิลีนไกลคอล จะได้สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีขั้วที่มีความยาวของสายโซ่หลากหลาย

จากการทดสอบการละลายของพอลิเอทิลีนไกลคอลในดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอลพบว่าพอลิเอทิลีนไกลคอลสามารถละลายได้ในเอทานอลแต่ไม่สามารถละลายได้ในดีเซลและไบโอดีเซล เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอลมีโมเลกุลของออกซิเจนมาก เมื่อสายโซ่เคลื่อนที่ขดกันจึงแสดงความมีขั้ว ดังนั้นพอลิเอทิลีนไกลคอลจึงไม่แสดงความเป็นตัวทำละลายร่วมกับเชื้อเพลิงผสมดีเซล - เอทานอลและไม่เป็นสารลดแรงตึงผิวในระบบนี้ โครงสร้างของพอลิเอทิลีนไกลคอลดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนไกลคอล

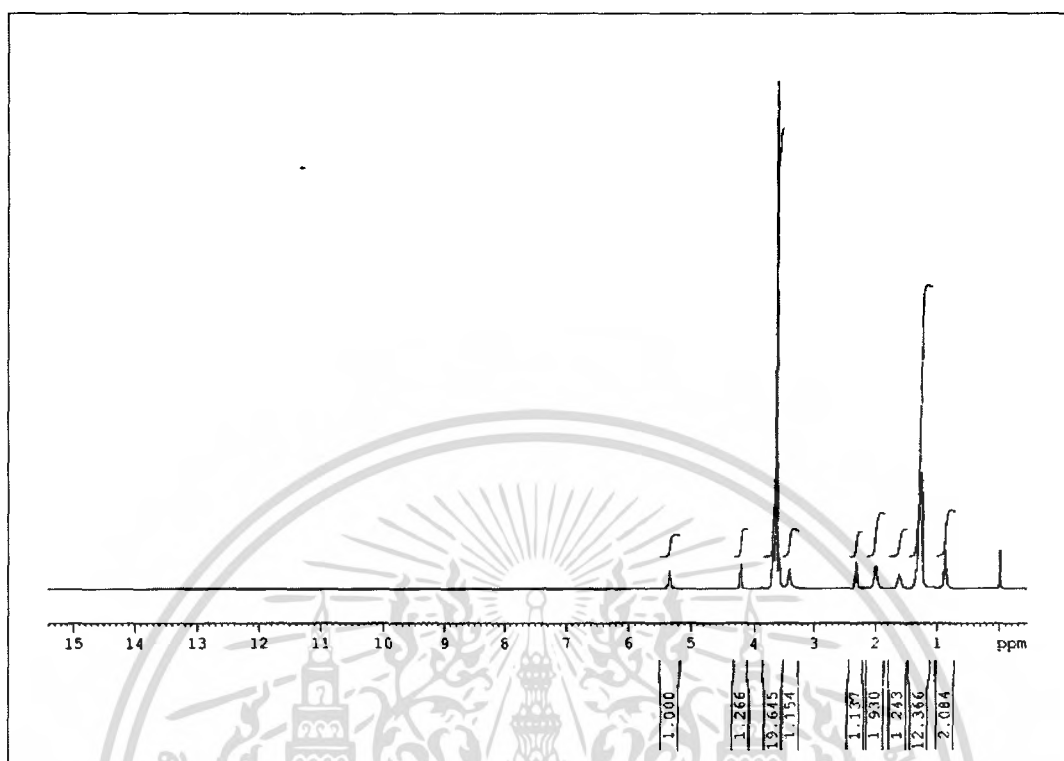
การสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวจากพอลิเอทีลีนไกลคอลกับน้ำมันปาล์ม ใช้อัตราส่วนโดยโมลของพอลิเอทีลีนไกลคอล 400 ต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 6 : 1 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือโซเดียมเมทอกไซด์ร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม แล้วนำไปตรวจสอบเอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค NMR Spectroscopy



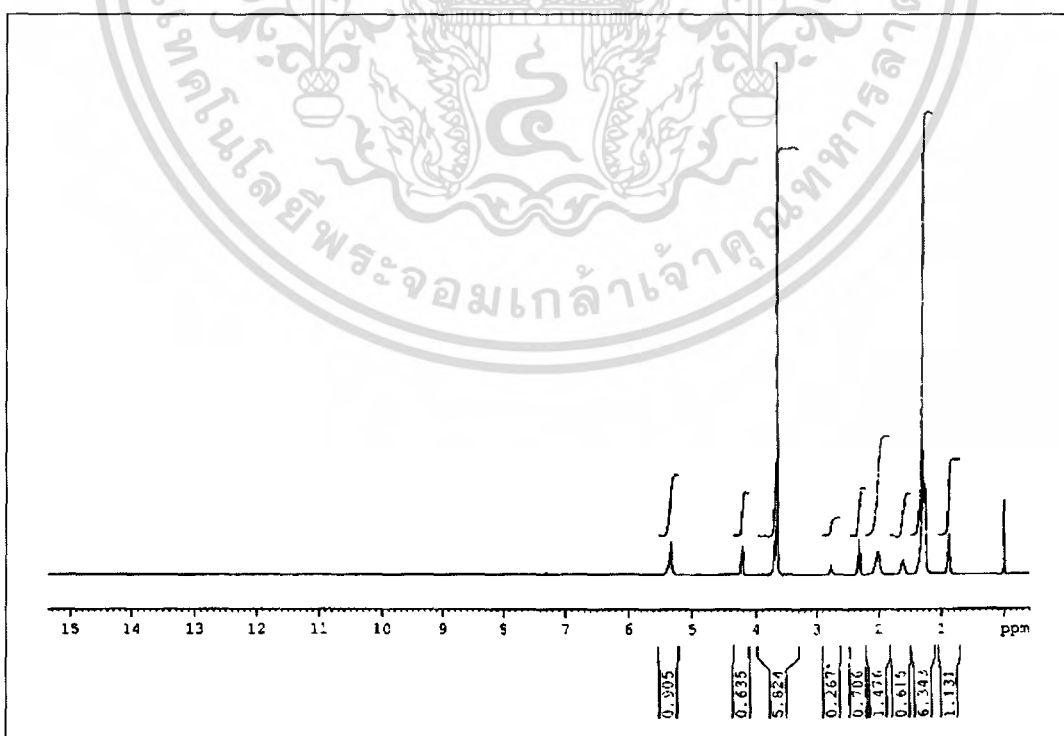
**รูปที่ 4.6**  $^1\text{H}$  - NMR Spectrum ของ สารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มใน  $\text{CDCl}_3$

$^1\text{H}$  - NMR Spectrum ของสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม (รูปที่ 4.6) แสดงตำแหน่งของ  $\text{CH}_3\text{-C-}$  และ  $\text{-C-CH}_2\text{-C-}$  ที่  $\delta$  0.85 – 0.88 และ 1.25 – 1.30 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C-}$  อยู่ที่  $\delta$  1.61 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-C=C}$  อยู่ที่  $\delta$  1.99 – 2.01 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-COO-C-}$  อยู่ที่  $\delta$  2.29 – 2.44 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-C=C-CH}_2\text{-C=C-}$  อยู่ที่  $\delta$  2.75 – 2.77 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-}$  อยู่ที่  $\delta$  3.60 – 3.72 ppm ตำแหน่งของ  $\text{R-COO-CH}_2\text{-}$  อยู่ที่  $\delta$  4.15 – 4.23 ppm และตำแหน่งของ  $\text{-CH=CH}$  อยู่ที่  $\delta$  5.30 – 5.36 ppm

สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุเกรดทางการค้าที่ใช้คือ พอลิเอทีลีนไกลคอลโมโนโอลิเอตและพอลิเอทีลีนไกลคอลไดโอลิเอต ซึ่งมีลักษณะของ  $^1\text{H}$  - NMR Spectrum ดังรูป 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7  $^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของ พอลิเอทีลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอตใน  $\text{CDCl}_3$

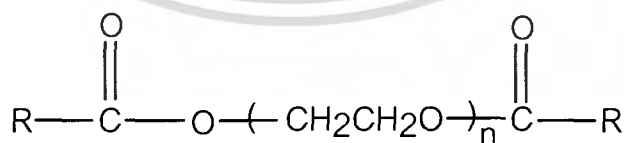


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
รูปที่ 4.8  $^1\text{H}$ -NMR Spectrum ของ พอลิเอทีลีน ไกลคอล ไดโอลิเอตใน  $\text{CDCl}_3$  ชั้นด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$^1\text{H}$  - NMR Spectrum ของพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอเลต (รูปที่ 4.7) แสดงตำแหน่งของ  $\text{CH}_3\text{-C-}$  และ  $\text{-C-CH}_2\text{-C-}$  ที่  $\delta$  0.80 – 0.88 และ 1.20 – 1.40 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C-}$  อยู่ที่  $\delta$  1.62 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-C=C}$  อยู่ที่  $\delta$  1.90 – 2.05 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-COO-C-}$  อยู่ที่  $\delta$  2.25 – 2.38 ppm ตำแหน่งของ  $\text{O-CH}_2\text{-OH}$  ที่  $\delta$  3.35 – 3.47 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$  อยู่ที่  $\delta$  3.55 – 3.73 ppm ตำแหน่งของ  $\text{R-COO-CH}_2\text{-}$  อยู่ที่  $\delta$  4.15 – 4.23 ppm และตำแหน่งของ  $\text{-CH=CH}$  อยู่ที่  $\delta$  5.25 – 5.36 ppm

$^1\text{H}$  - NMR Spectrum ของพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอเลต (รูปที่ 4.8) แสดงตำแหน่งของ  $\text{CH}_3\text{-C-}$  และ  $\text{-C-CH}_2\text{-C-}$  ที่  $\delta$  0.83 – 0.91 และ 1.20 – 1.40 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-C-COO-}$  อยู่ที่  $\delta$  1.65 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-C=C}$  อยู่ที่  $\delta$  1.95 – 2.10 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-COO-}$  อยู่ที่  $\delta$  2.25 – 2.35 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-C=C-CH}_2\text{-C=C-}$  ที่  $\delta$  2.70 – 2.77 ppm ตำแหน่งของ  $\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-}$  อยู่ที่  $\delta$  3.58 – 3.75 ppm ตำแหน่งของ  $\text{R-COO-CH}_2\text{-}$  อยู่ที่  $\delta$  4.19 – 4.24 ppm และตำแหน่งของ  $\text{-CH=CH}$  อยู่ที่  $\delta$  5.31 – 5.42 ppm

จาก  $^1\text{H}$  - NMR สเปกตรัมของสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม ไม่พบพีคของหมู่  $\text{-O-CH}_2\text{-OH}$  ปรากฏที่ 3.35 – 3.47 ppm ซึ่งจะปรากฏให้เห็นเฉพาะในสเปกตรัมของพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอเลต แต่มีลักษณะเหมือนกับสเปกตรัมของพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอเลต คือมีเพียงพีคของ  $\text{R-COO-CH}_2\text{-}$  ที่  $\delta$  4.15 – 4.23 ppm เท่านั้น แสดงว่าสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทไดเอสเทอร์ ดังรูป 4.9



**รูปที่ 4.9** โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม

#### 4.4 ความสามารถในการผสมเข้ากันระหว่างไบโอดีเซลและเอทานอล

การทดสอบความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมระหว่างไบโอดีเซลและเอทานอล ทำได้โดยเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของไบโอดีเซลกับเอทานอลในเชื้อเพลิงผสมเป็น 0:100 10:90 20:80 30:70 40:60 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 95:5 และ 100:0 ตามลำดับ เพื่อศึกษาเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสม พบว่าสามารถผสมเข้ากันได้ดีในทุกสัดส่วน เนื่องจากโครงสร้างไบโอดีเซลมีส่วนที่มีขั้วอยู่ จึงสามารถผสมเข้ากันได้กับเอทานอล ดังรูปที่ 4.10

(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 เชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลและเอทานอล (ก) ทันทีหลังการเขย่าผสม (ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ความสามารถในการผสมเข้ากันระหว่างดีเซลและเอทานอล

การทดสอบความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซลและเอทานอลทำได้โดยเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของดีเซลกับเอทานอลในเชื้อเพลิงผสมเป็น 0:100 10:90 20:80 30:70 40:60 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 95:5 และ 100:0 ตามลำดับ เพื่อศึกษาเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสม พบว่าไม่สามารถผสมเข้ากันได้ทุกสัดส่วน เนื่องจากโครงสร้างดีเซลไม่มีส่วนที่มีขั้วอยู่ จึงไม่สามารถผสมเข้ากันได้กับเอทานอล ดังรูปที่ 4.11

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.11 เชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซลและเอทานอล (ก) ทันทีหลังการเขย่าผสม (ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

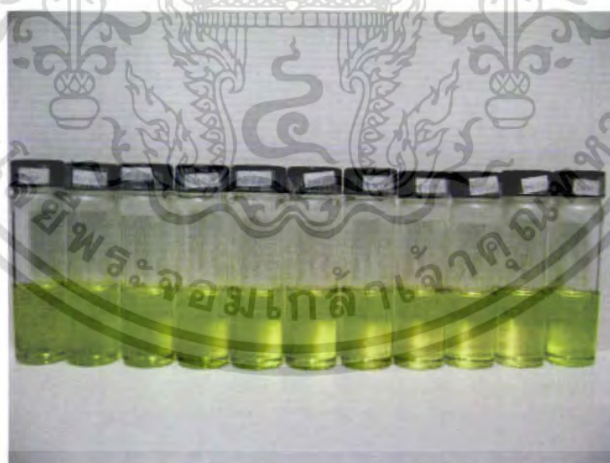
#### 4.6 ความสามารถในการผสมเข้ากันระหว่างดีเซลและไบโอดีเซล

การทดสอบความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซลและไบโอดีเซลทำได้โดยเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของดีเซลกับไบโอดีเซลในเชื้อเพลิงผสมเป็น 0:100 10:90 20:80 30:70 40:60 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 95:5 และ 100:0 ตามลำดับ เพื่อศึกษาเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสม พบว่าสามารถผสมเข้ากันได้ทุกสัดส่วน แสดงดังรูปที่ 4.12 เนื่องจากโครงสร้างของไบโอดีเซลมีทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้วอยู่ เมื่อผสมกับดีเซลจึงสามารถเข้ากันได้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.12 เชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล (ก) ทันทีก่อนการเขย่าผสม (ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 ความสามารถในการผสมเข้ากันระหว่างดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล

การทดสอบความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ทำได้โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของดีเซลและไบโอดีเซลในเชื้อเพลิงผสมเป็น 10: 80 20:70 30:60 40:50 45:45 50:40 60:30 70:20 และ 80:10 ตามลำดับ โดยใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 ผสมในเชื้อเพลิงผสมในปริมาณคงที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตร เพื่อศึกษาเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสม ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.13 และ 4.14

(ก)



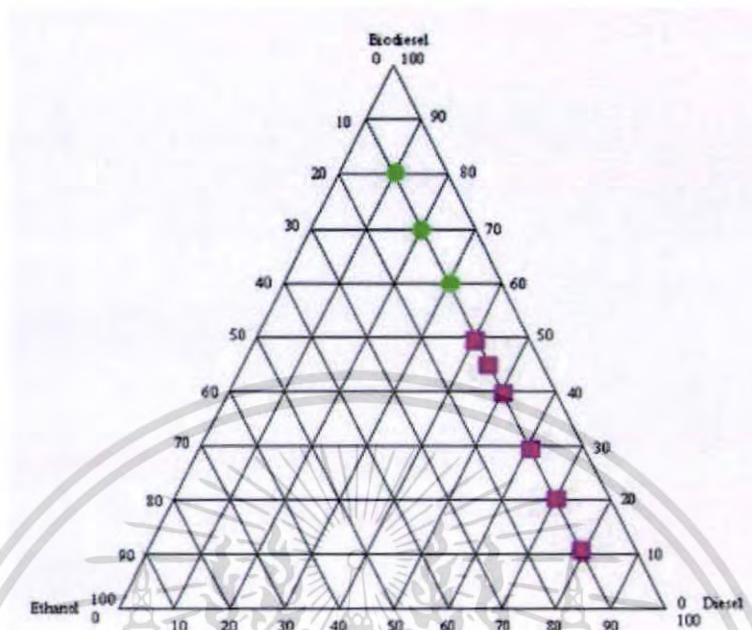
(ข)



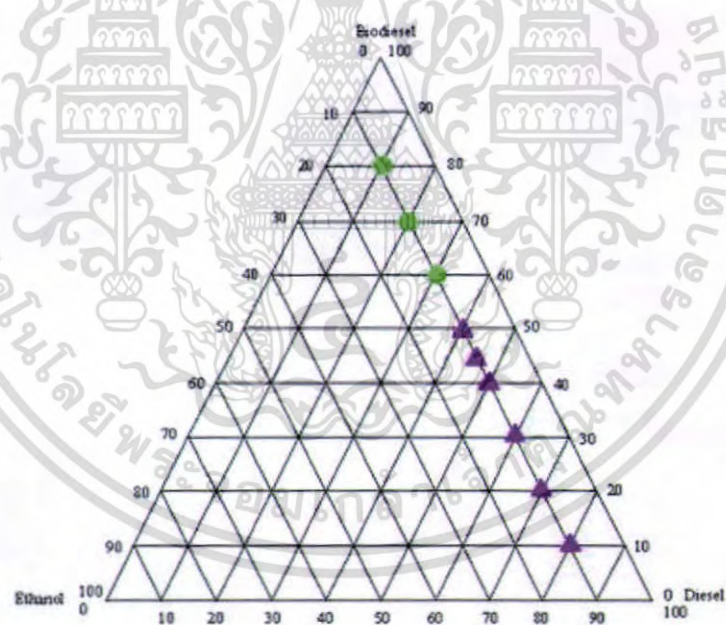
รูปที่ 4.13 เชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล (ก) ทันทีหลังการเข้าผสม  
(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.14 ความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล  
ที่อุณหภูมิห้อง (ก) ทันทีหลังการเขย่าผสม (ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

- เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค      ■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค  
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 (ก) ความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล โดยใช้เอทานอลคงที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตร เมื่อสังเกตทันทีหลังการเขย่าผสมพบว่าที่อัตราส่วนดีเซลร้อยละ 10 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 80 โดยปริมาตร จนถึงอัตราส่วน ดีเซลร้อยละ 30 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 60 โดยปริมาตร เชื้อเพลิงผสมมีความสามารถในการเข้ากันได้ดี ผสมกันเป็นเนื้อเดียวเมื่อมองด้วยตาเปล่า ที่อัตราส่วนดีเซลร้อยละ 40 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 50 โดยปริมาตร จนถึงอัตราส่วนดีเซลร้อยละ 80 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 10 โดยปริมาตร เชื้อเพลิงผสมมีลักษณะขุ่น

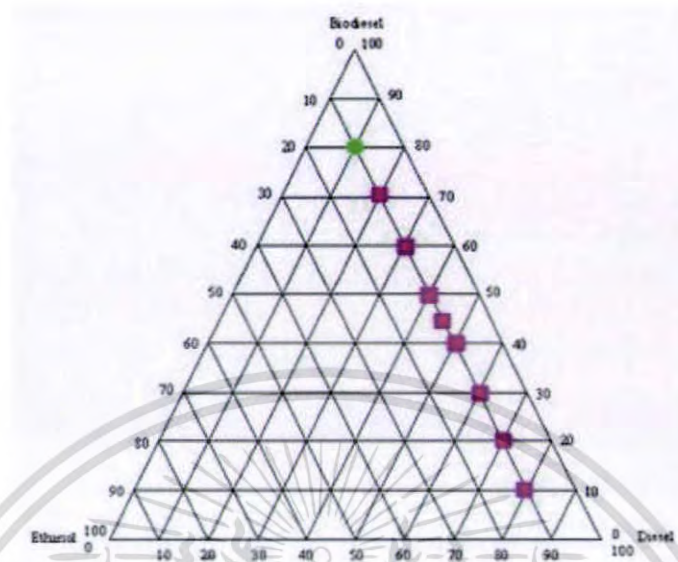
จากรูปที่ 4.14 (ข) ความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้เอทานอลคงที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตร หลังจากตั้งทิ้งไว้ 7 วัน พบว่าที่อัตราส่วนดีเซลร้อยละ 10 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 80 โดยปริมาตร จนถึงอัตราส่วนดีเซลร้อยละ 30 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 60 โดยปริมาตร เชื้อเพลิงผสมมีความสามารถในการเข้ากันได้ดี ผสมกันเป็นเนื้อเดียวเมื่อมองด้วยตาเปล่า ที่อัตราส่วนดีเซลร้อยละ 40 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 50 โดยปริมาตร จนถึงอัตราส่วนดีเซลร้อยละ 80 โดยปริมาตร ไบโอดีเซลร้อยละ 10 โดยปริมาตร เชื้อเพลิงผสมเกิดการแยกชั้น

ในการผสมเชื้อเพลิงผสมสององค์ประกอบระหว่างดีเซลกับเอทานอล ไม่สามารถผสมเข้ากันได้เลยในทุกสัดส่วน แต่เมื่อผสมเชื้อเพลิงผสมสามองค์ประกอบระหว่างดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอลที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตร เชื้อเพลิงสามารถเข้ากันได้ โดยใช้ปริมาณดีเซลได้ถึงร้อยละ 30 โดยปริมาตร เนื่องจากมีไบโอดีเซลทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วม

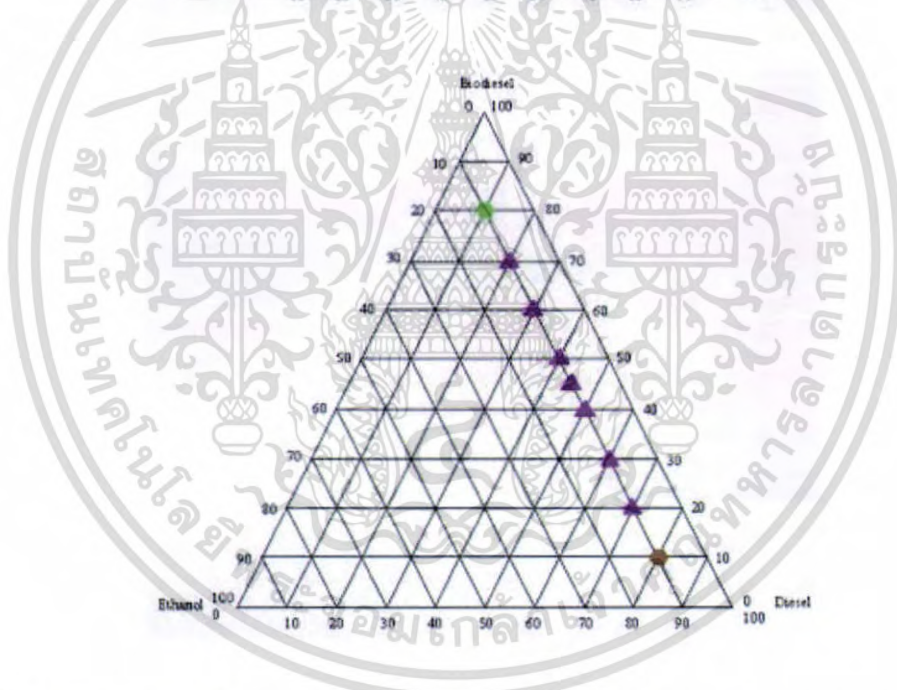
#### 4.8 ผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล

จากการศึกษาการเติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์ได้ลงในเชื้อเพลิงผสมที่สัดส่วนต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 1 – 6 โดยปริมาตรของเชื้อเพลิงผสม ที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล เปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นมาตรฐานคือ พอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอดีเอต และพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอดีเอต โดยใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.8% และผสมในเชื้อเพลิงผสมในปริมาณคงที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตร สาเหตุที่ใช้ปริมาณเอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร เนื่องจากเอทานอลเป็นสารที่มีจุลควาไฟฟ้าและดัชนีชี้เทนต่ำ หากเติมในปริมาณมากจะส่งผลต่อสมบัติทางเชื้อเพลิงคือจุลควาไฟฟ้าและดัชนีชี้เทนของเชื้อเพลิงผสมจะลดต่ำลงมาก เป็นผลเสียในด้านการนำไปใช้งาน ผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอลแสดงดังรูปที่ 4.15 ถึง 4.32

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.15 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม  
พอลิเอทิลีน ไกลคอล 1 โอลิเอต 1% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีก่อนการเขย่าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 วัฏภาค

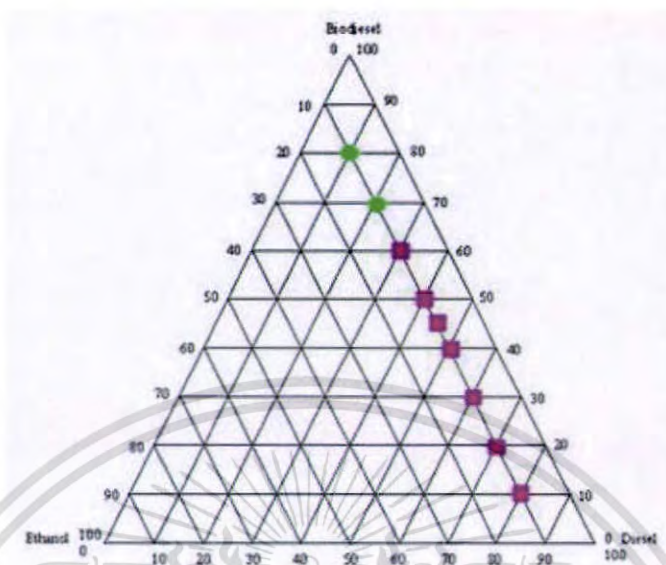
■ แทนของเหลวขุ่น 1 วัฏภาค

▲ แทนของเหลวใส 2 วัฏภาค

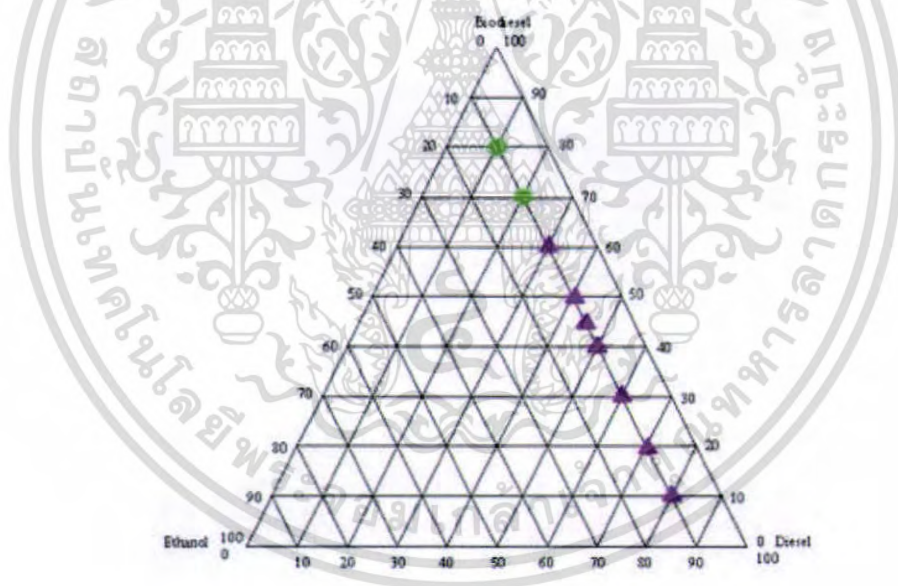
● แทนของเหลวที่เป็นเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.16 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม

พอลิเอทิลีน ไกลคอล 2% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีหลังการแช่ผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

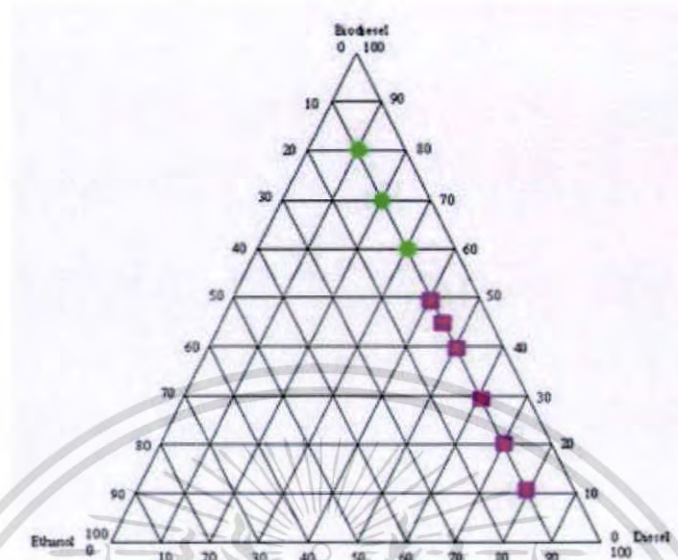
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

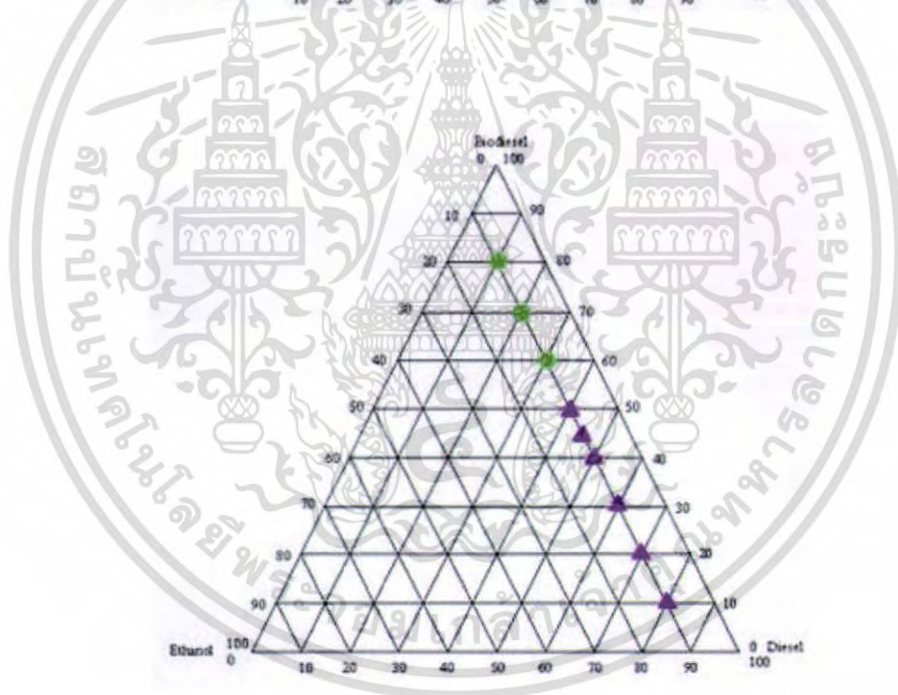
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.17 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม  
พอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอดีเอต 3% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีกหลังการเขย่าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

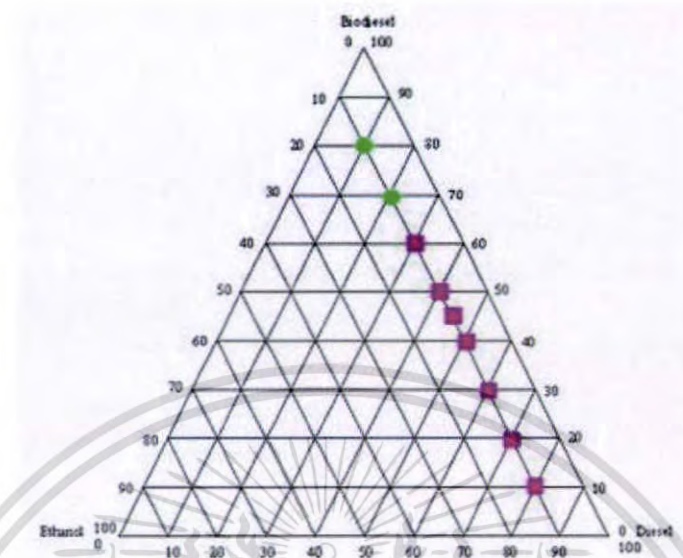
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

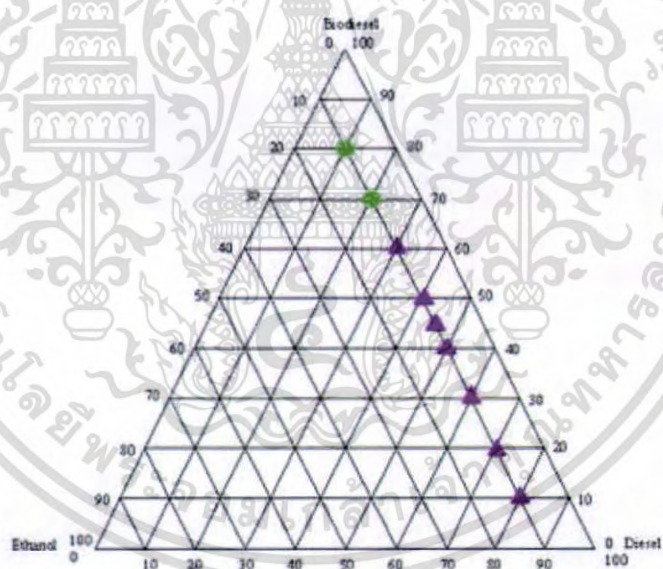
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.18 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม

พอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอดีเอต 4% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีก่อนการเข้าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

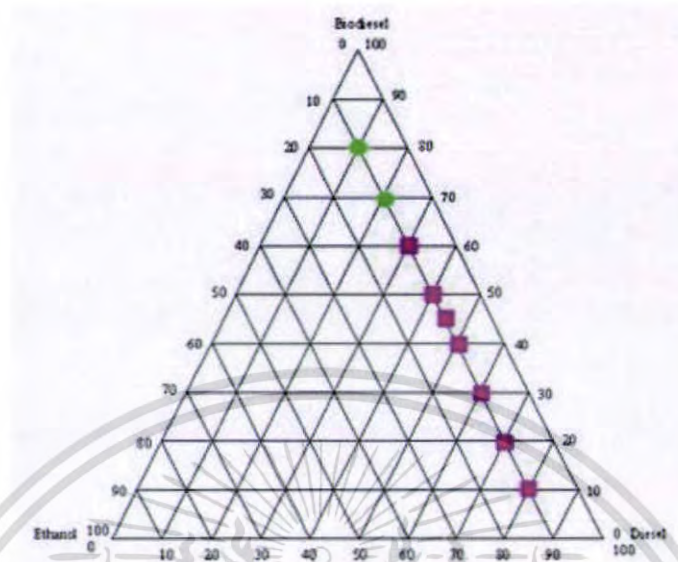
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

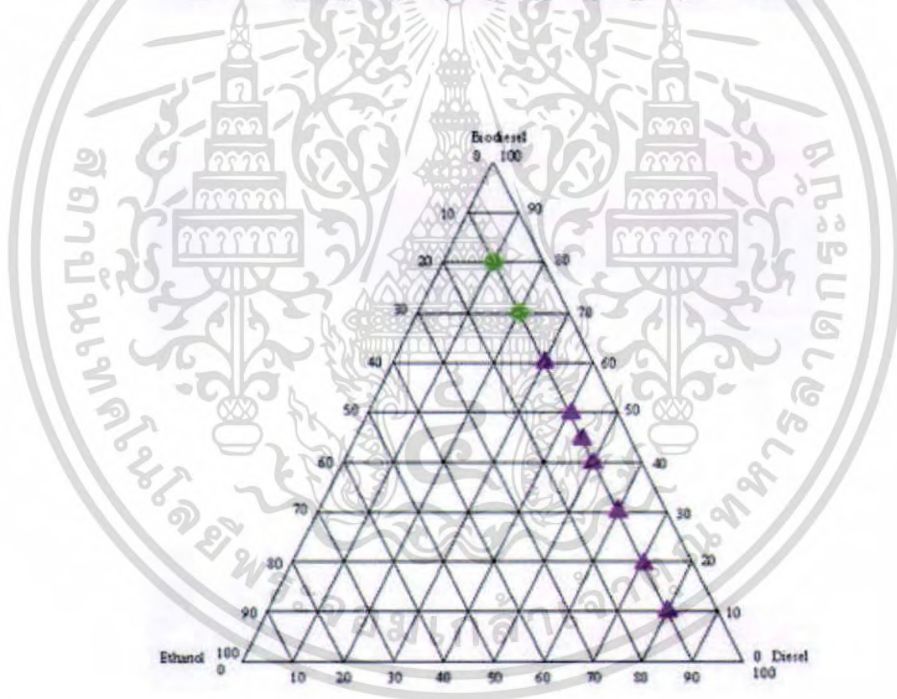
■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.19 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม พอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอดีเอต 5% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีหลังการเขย่าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

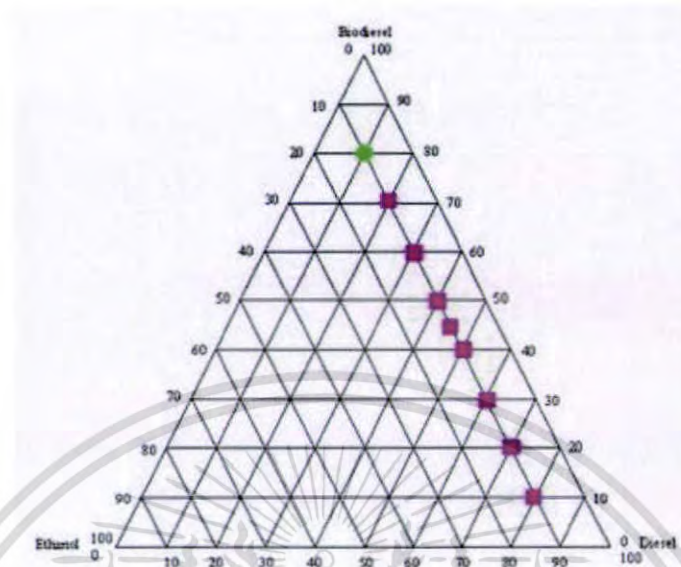
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

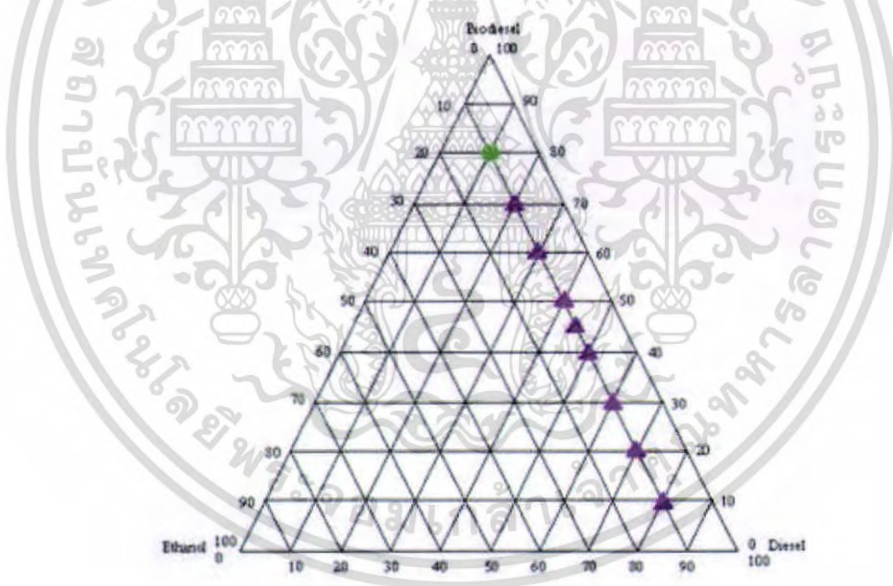
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.20 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม  
พอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอดีเอต 6% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีหลังการเขย่าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

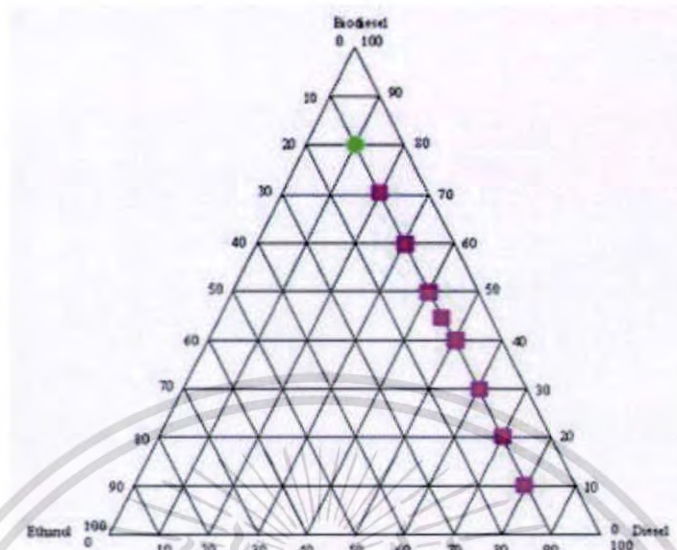
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

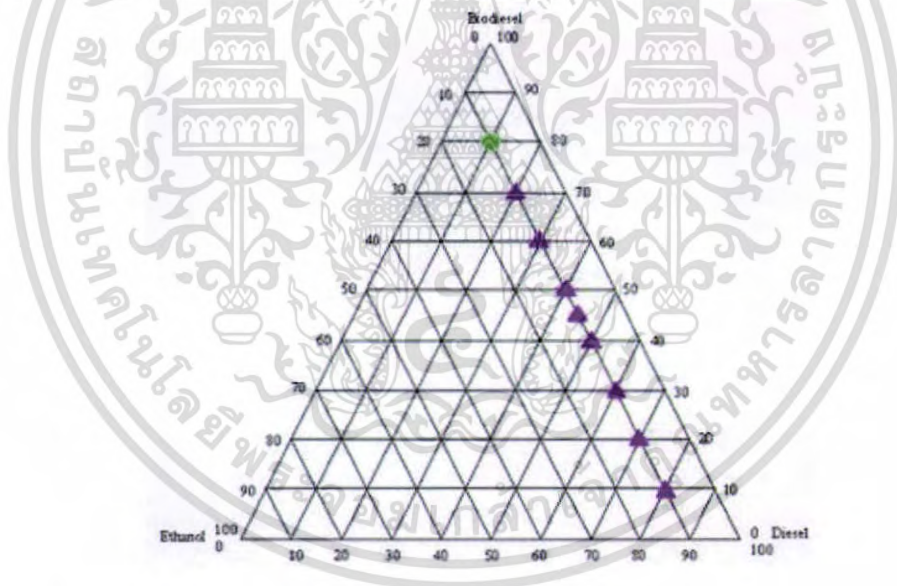
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(จ)



รูปที่ 4.21 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม  
พอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอเลียด 1% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีหลังการเขย่าผสม

(จ) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

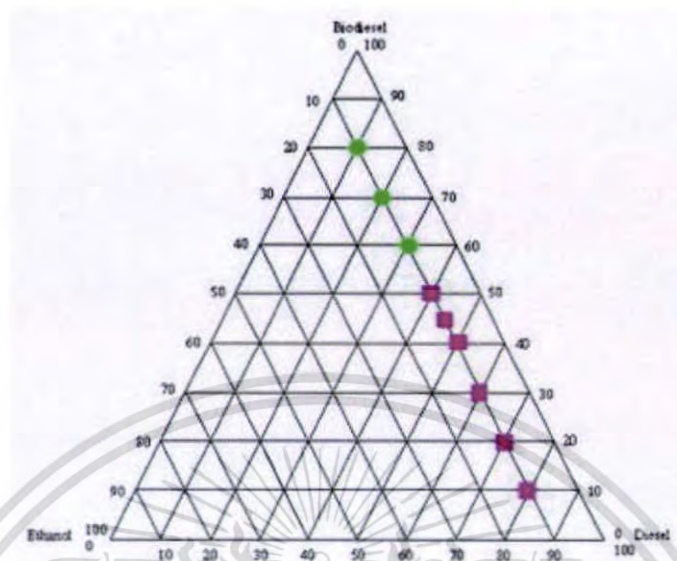
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

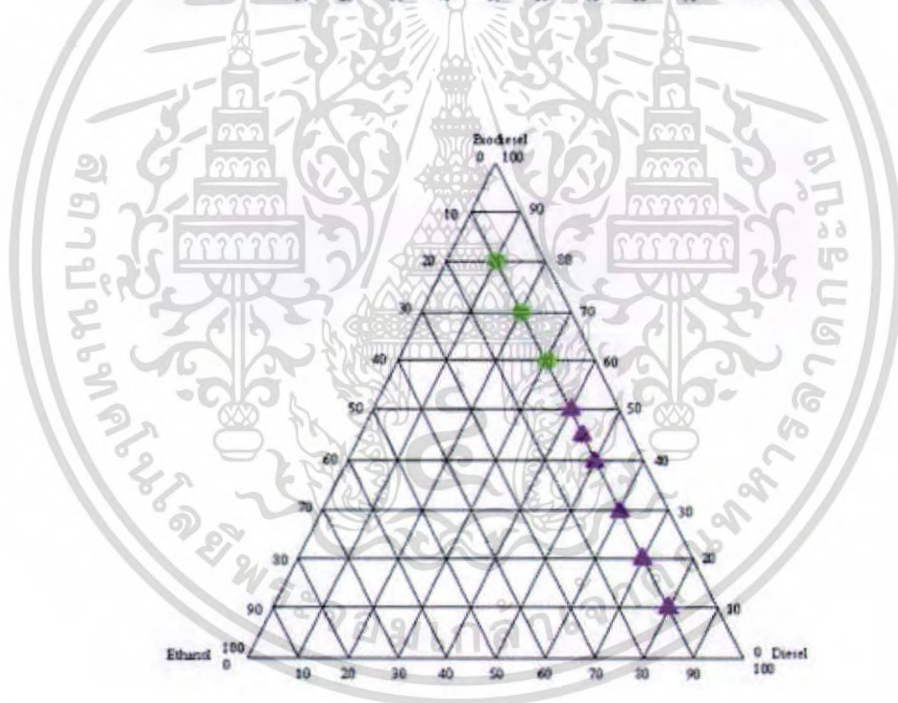
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(จ)



รูปที่ 4.22 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม

พอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอเลียด 2% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีก่อนการเขย่าผสม

(จ) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

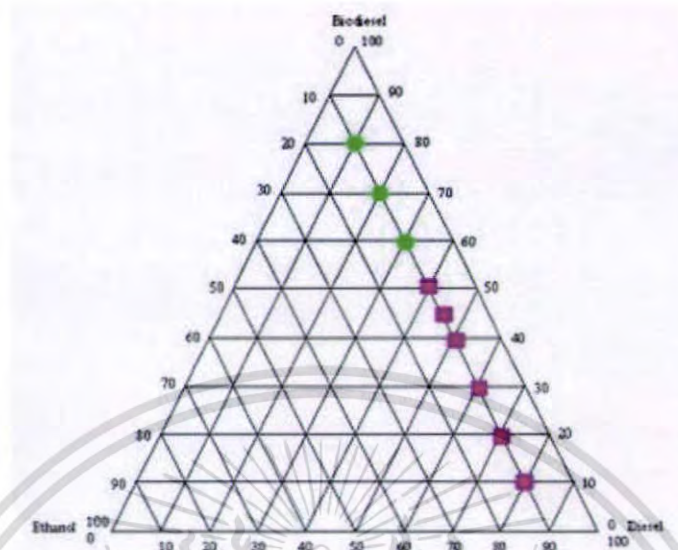
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

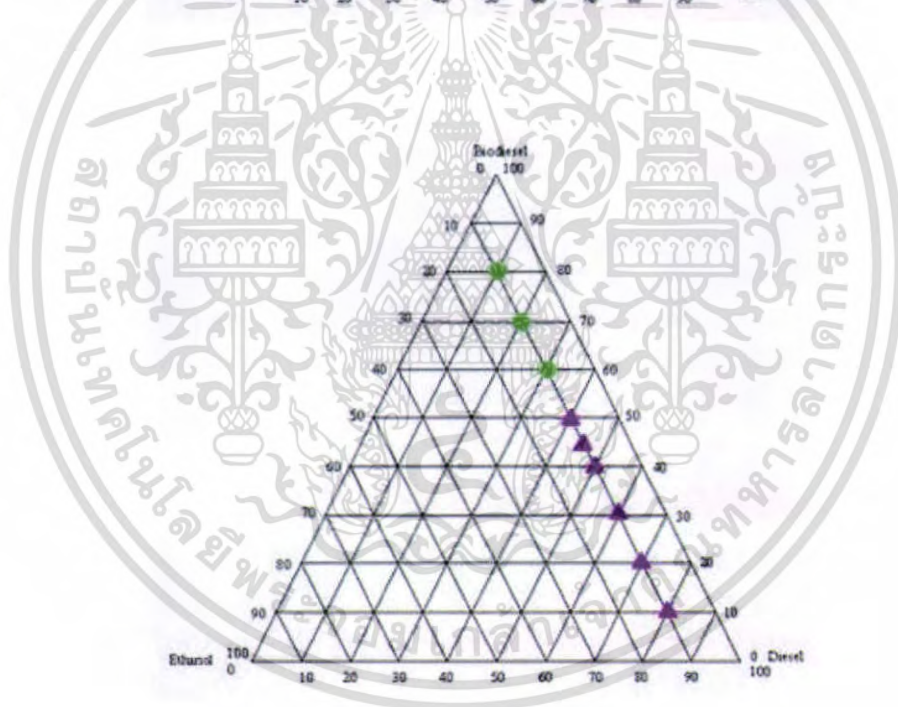
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.23 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม

พอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโน โอลิเอต 3% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีหลังการเขย่าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

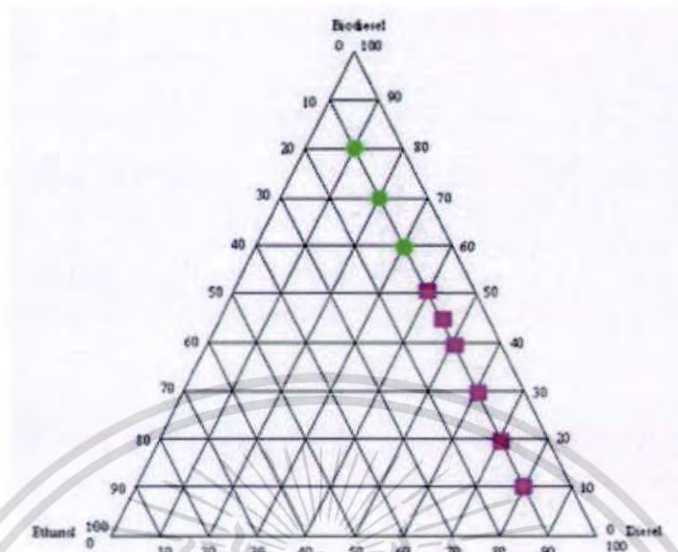
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

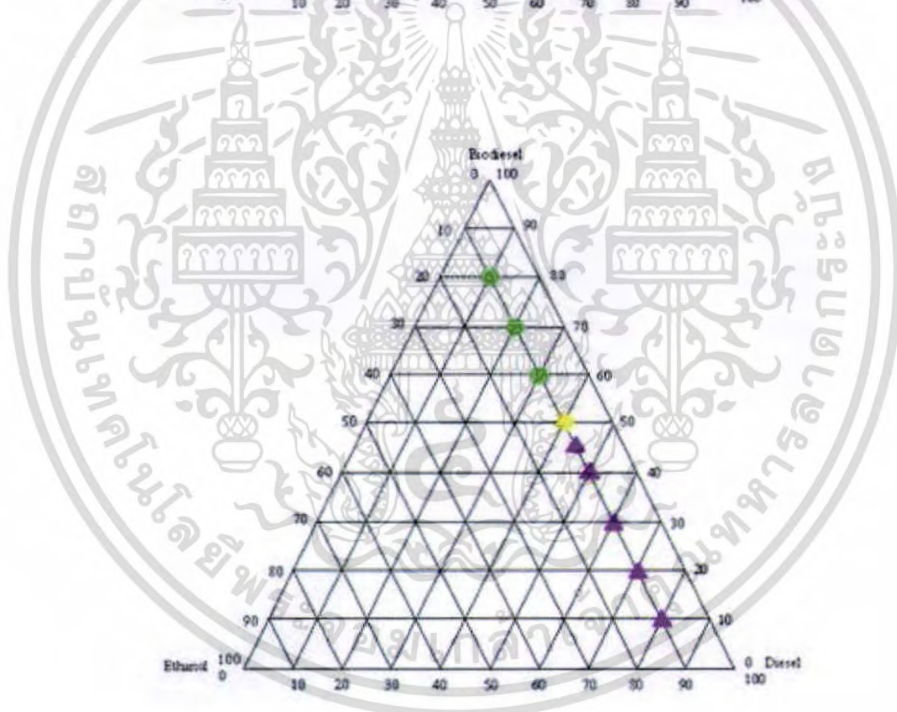
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.24 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม

พอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอเลียด 4% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีหลังการเขย่าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

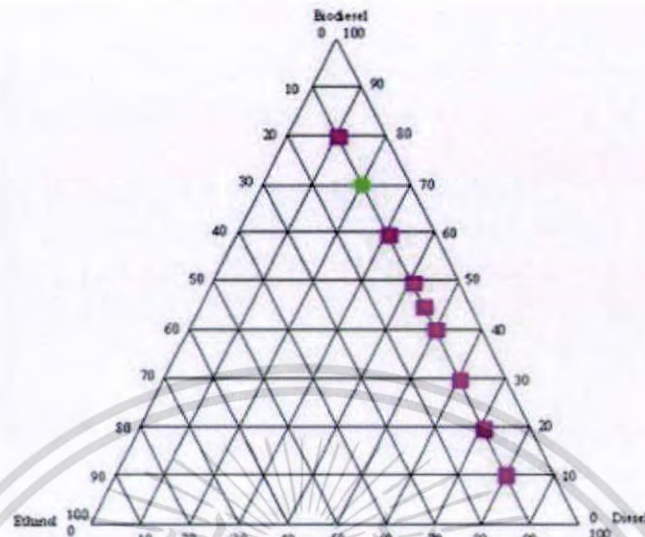
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

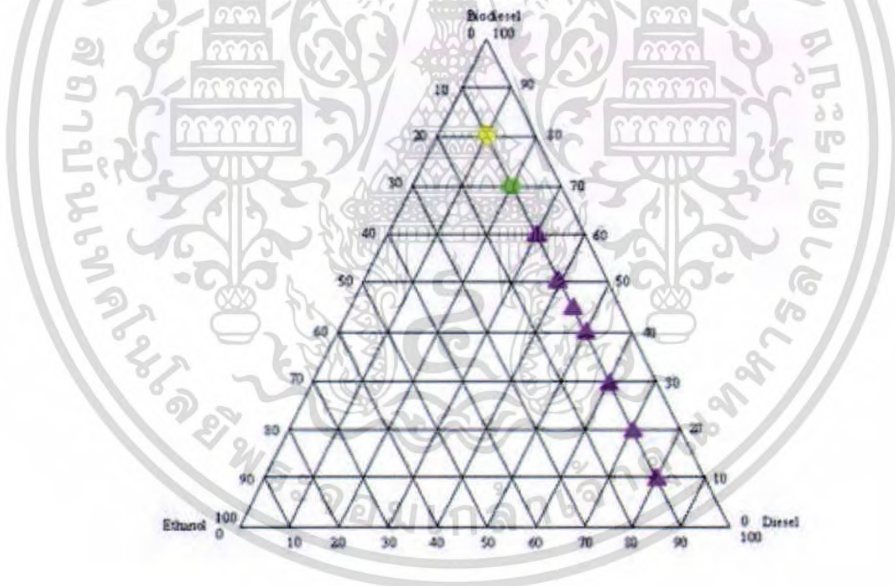
◆ แทนของเหลวขุ่น 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.25 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม

พอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอเลต 5% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทันหลังการเขย่าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

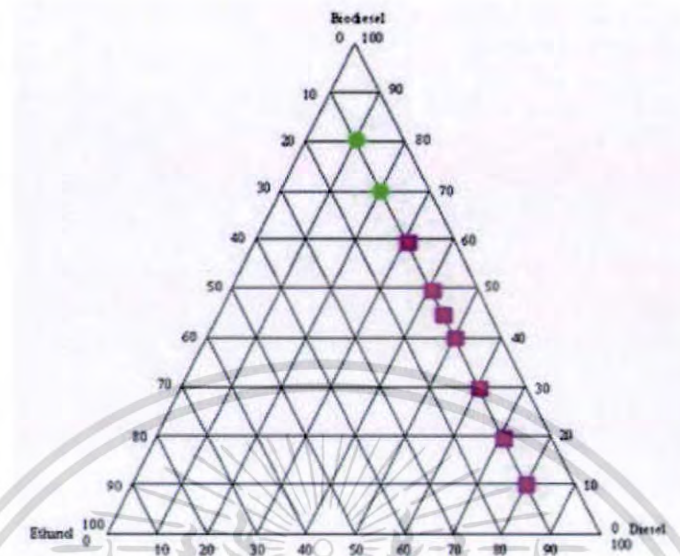
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

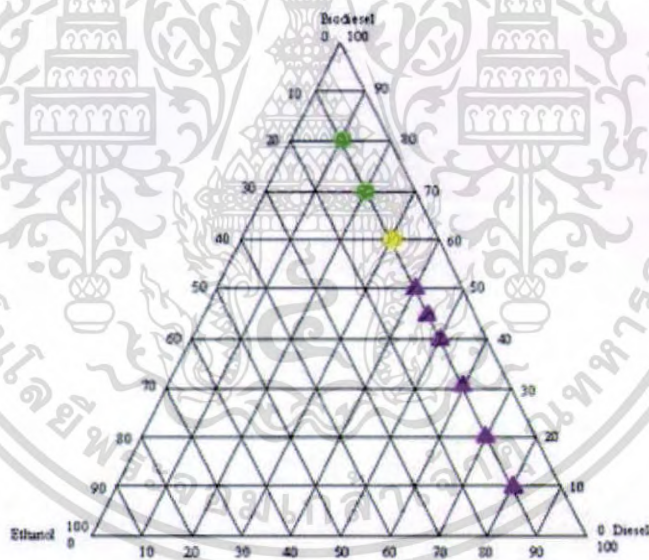
◆ แทนของเหลวขุ่น 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.26 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม  
พอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอเลต 6% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีก่อนการเขย่าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

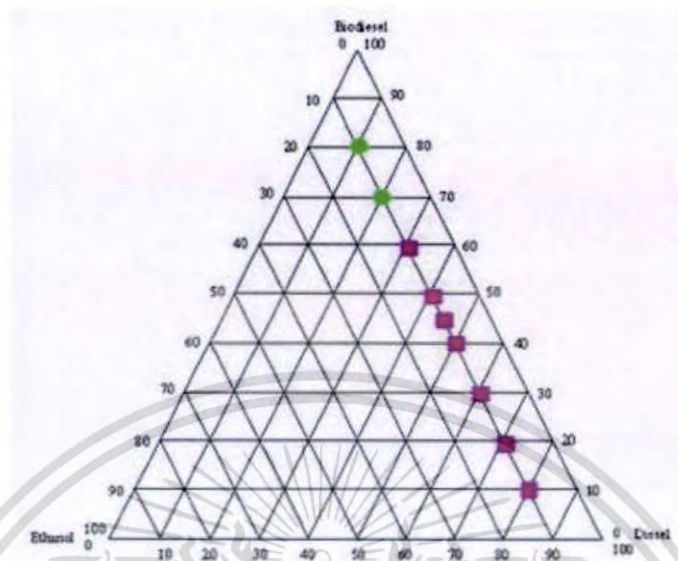
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

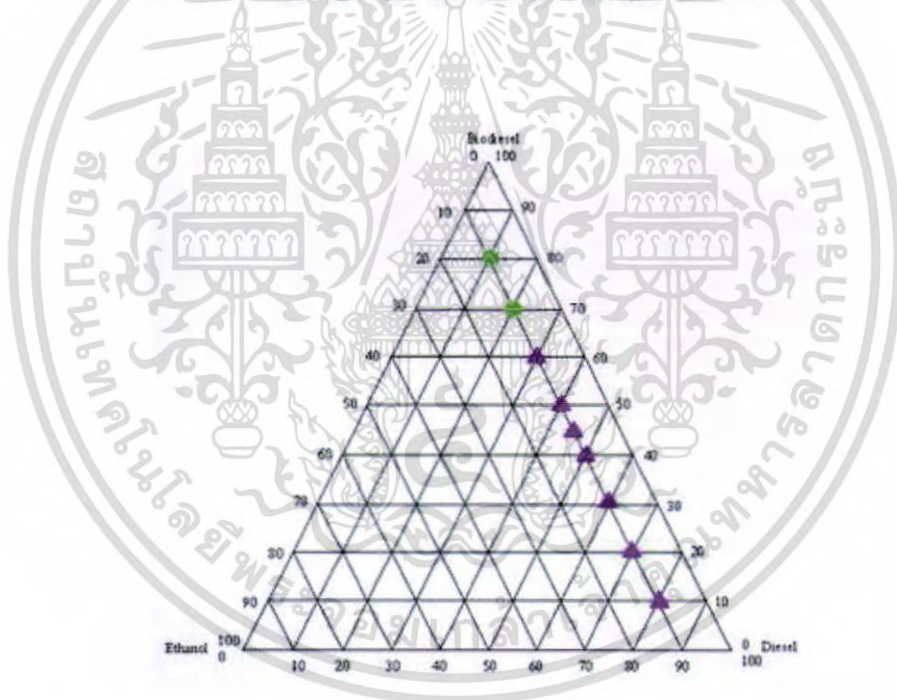
◆ แทนของเหลวขุ่น 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.27 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม

สารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 1% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีหลังการเขย่าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

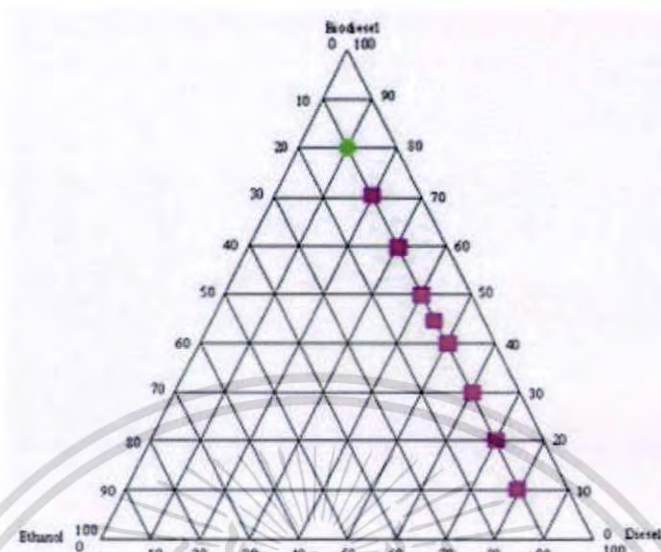
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

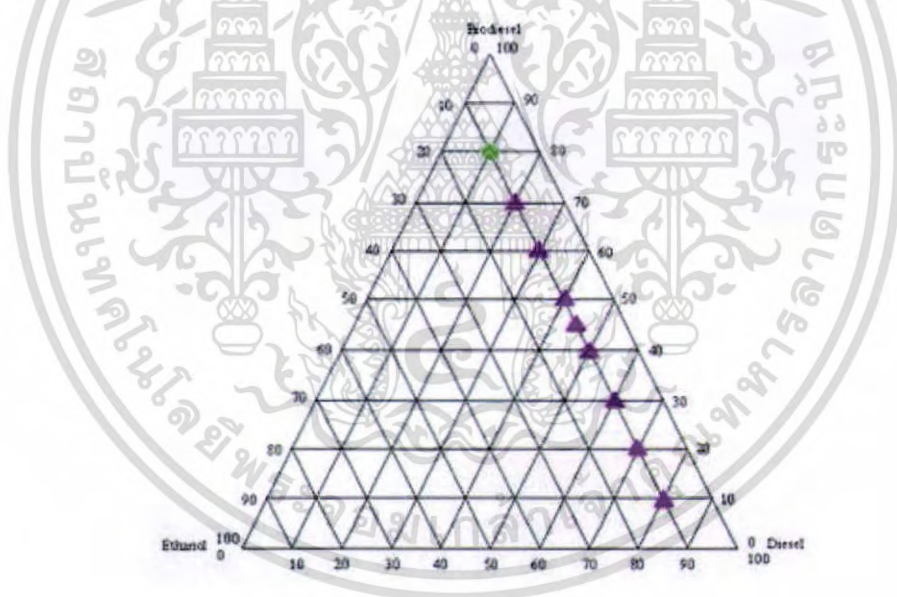
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(จ)



รูปที่ 4.28 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล

ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 2% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีกหลังการเข้าผสม

(จ) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

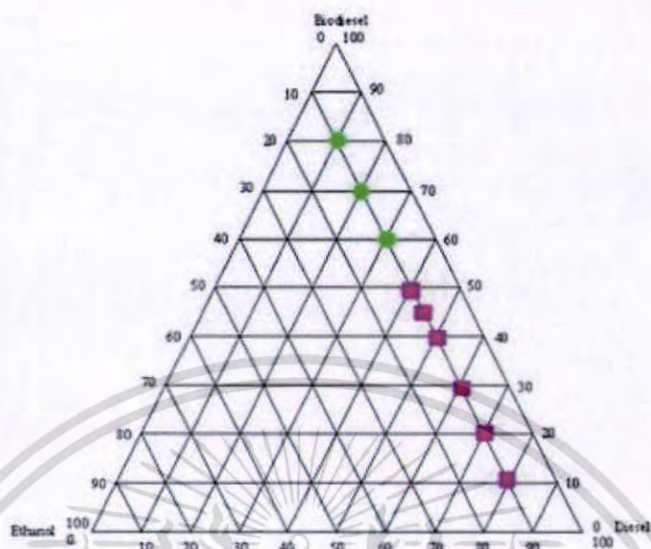
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

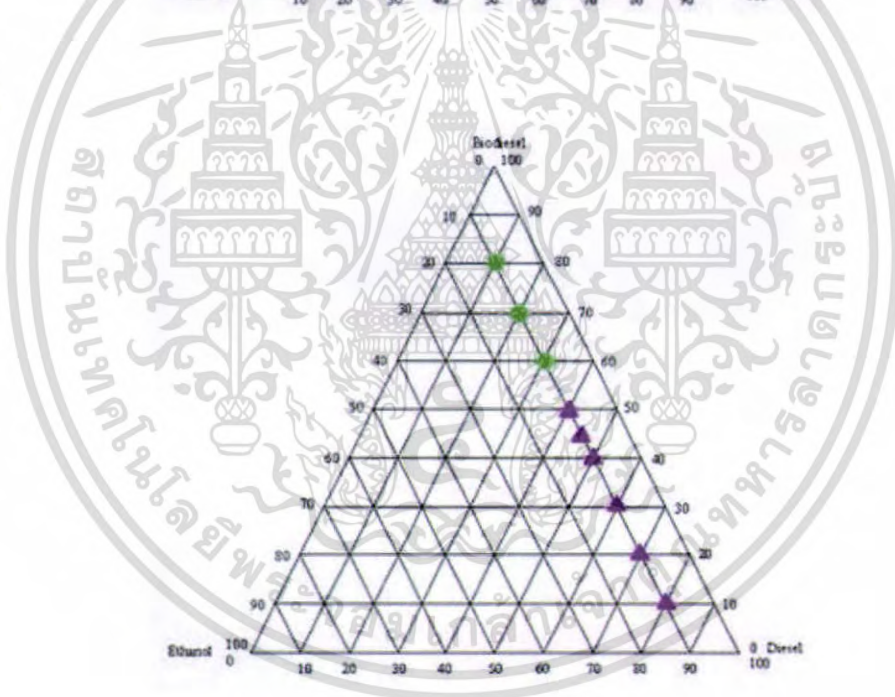
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.29 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล

ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 3% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทีหลังการเข้าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

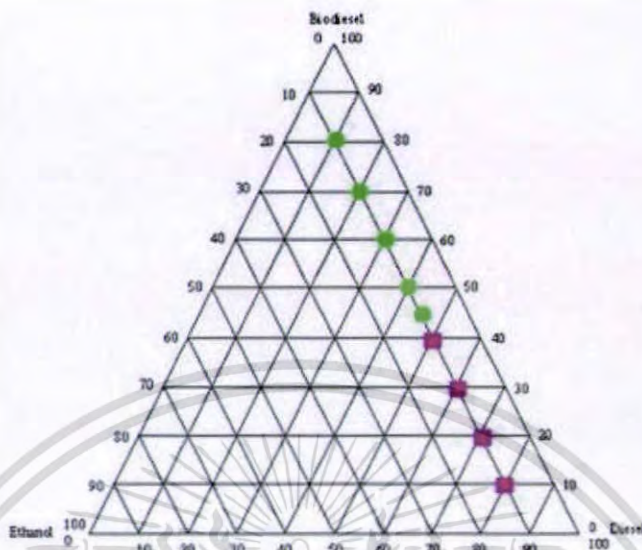
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

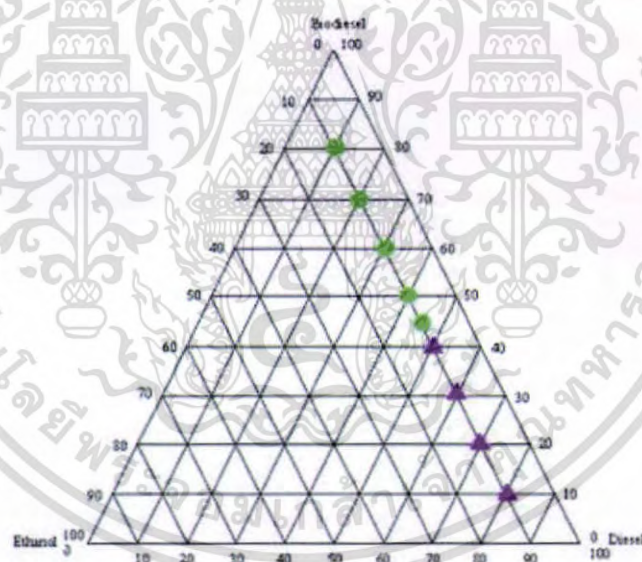
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.30 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล  
 ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 4% ที่อุณหภูมิห้อง  
 (ก) ทันทันหลังการเขย่าผสม (ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

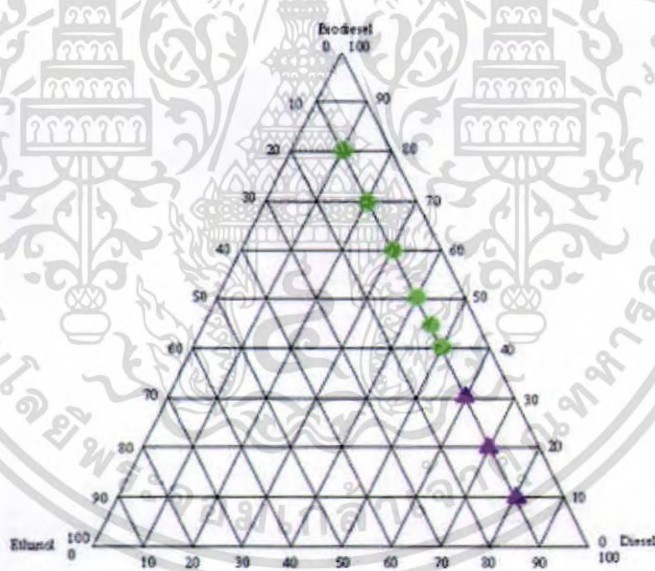
- เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 วัฏภาค      ■ แทนของเหลวขุ่น 1 วัฏภาค
- ▲ แทนของเหลวใส 2 วัฏภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.31 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล

ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 5% ที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ทันทันหลังการเข้าผสม

(ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

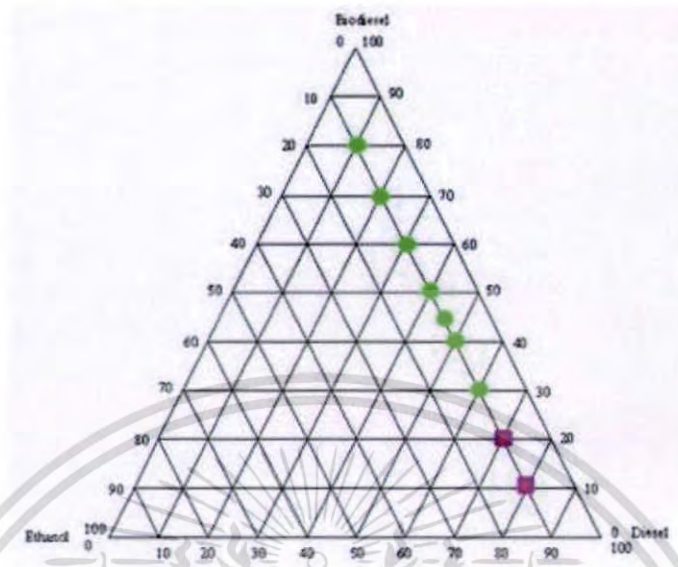
เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค

■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

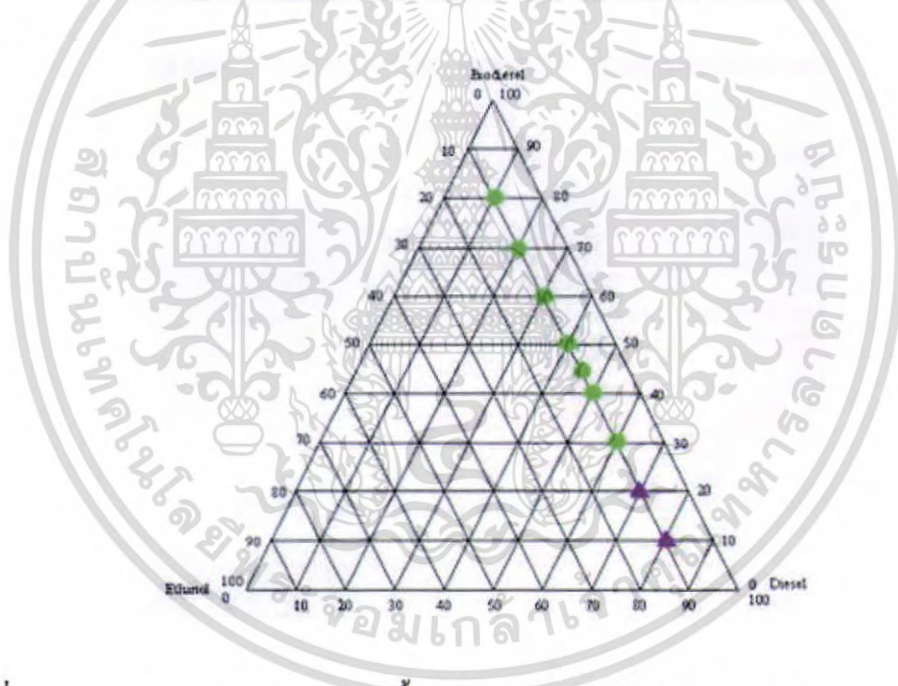
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.32 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล  
ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 6% ที่อุณหภูมิห้อง  
(ก) ทันทีกหลังการเขย่าผสม (ข) ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

- เมื่อ ● แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค  
▲ แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค  
■ แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภูมิวิภูภาค (รูปที่ 4.14 – 4.32) สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.1 – 4.3

ตารางที่ 4.1 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอดีเอต ที่อุณหภูมิห้อง

อัตราส่วน		ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอดีเอต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)													
ดีเซล : ไบโอดีเซล	เอทานอล	0		1		2		3		4		5		6	
		ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน
10 : 80	10	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
20 : 70	10	√	√	*	×	√	√	√	√	√	√	√	√	*	×
30 : 60	10	√	√	*	×	*	×	√	√	*	×	*	×	*	×
40 : 50	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×
45 : 45	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×
50 : 40	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×
60 : 30	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×
70 : 20	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×
80 : 10	10	*	×	◇	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×

เมื่อ √ แทนของเหลวใส 1 วิภูภาค

× แทนของเหลวใส 2 วิภูภาค

\* แทนของเหลวขุ่น 1 วิภูภาค

◇ แทนของเหลวที่เป็นเจล

ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอดีเอต ที่อุณหภูมิห้อง

อัตราส่วน		ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอดีเอต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)														
ดีเซล : ไบโอดีเซล	เอทานอล	0		1		2		3		4		5		6		
		ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	
10 : 80	10	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	*	Δ	√	√
20 : 70	10	√	√	*	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
30 : 60	10	√	√	*	×	√	√	√	√	√	√	√	*	×	*	Δ
40 : 50	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	Δ	*	×	*	×	×
45 : 45	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	×
50 : 40	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	×
60 : 30	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	×
70 : 20	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	×
80 : 10	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	×

เมื่อ √ แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค  
 × แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

\* แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค  
 Δ แทนของเหลวขุ่น 2 ภูมิภาค

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการผสมของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิห้อง

อัตราส่วน		ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)													
ดีเซล : ไบโอดีเซล	เอทานอล	0		1		2		3		4		5		6	
		ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน	ทันที	7 วัน
10 : 80	10	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
20 : 70	10	√	√	√	√	*	×	√	√	√	√	√	√	√	√
30 : 60	10	√	√	*	×	*	×	√	√	√	√	√	√	√	√
40 : 50	10	*	×	*	×	*	×	*	×	√	√	√	√	√	√
45 : 45	10	*	×	*	×	*	×	*	×	√	√	√	√	√	√
50 : 40	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	√	√	√	√
60 : 30	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	√	√
70 : 20	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×
80 : 10	10	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×	*	×

- เมื่อ √ แทนของเหลวใส 1 ภูมิภาค  
 \* แทนของเหลวขุ่น 1 ภูมิภาค  
 × แทนของเหลวใส 2 ภูมิภาค

จากตารางที่ 4.1 – 4.3 พบว่าเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโนโอดีเอตและพอลิเอทิลีน ไกลคอล ไดโอดีเอต ไม่ช่วยให้เชื้อเพลิงผสมเข้ากันได้ดีมาก ขึ้น เพราะพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโนโอดีเอตและพอลิเอทิลีน ไกลคอล ไดโอดีเอต มีโครงสร้างส่วนของพอลิเอทิลีน ไกลคอลที่ยาว จึงอาจจะทำให้สารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดไม่เกิดเป็นไมเซลล์ โดยเฉพาะพอลิเอทิลีน ไกลคอล ไดโอดีเอตที่มีสายโซ่ยาวมากกว่าพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโนโอดีเอต เมื่อเติมลงในเชื้อเพลิงผสมแล้วจึงให้ผลไม่ต่างจากการที่ไม่เติมสารลดแรงตึงผิว ส่วนสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มถึงแม้ว่าสายโซ่ในส่วนของพอลิเอทิลีน ไกลคอลจะยาวเช่นเดียวกัน และก็จะอาจจะไม่เกิดเป็นไมเซลล์ จึงไม่อาจใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ดีได้ในระบบนี้ แต่มีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพการใช้งานที่สูงกว่าพอลิเอทิลีน ไกลคอล โมโนโอดีเอตและพอลิเอทิลีน ไกลคอล ไดโอดีเอต ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในน้ำมันปาล์มมีสายโซ่โมเลกุลที่หลากหลายรวมทั้งตำแหน่งของพันธะคู่ที่แตกต่างกัน ทำให้มีความมีขั้วแตกต่างกันด้วย เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มลงในเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล จะไปทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วมเมื่อเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วมเช่นเดียวกัน ส่วนที่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิวสามารถจับกับเอทานอลได้มากกว่าไบโอดีเซล เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีขั้วมากกว่าและส่วนที่ไม่มีขั้วมีความสั้นยาวของสายโซ่ไม่เท่ากันจึงสามารถจับกับดีเซลได้ดี

ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มมีผลต่อความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสม คือ เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นจะทำให้เชื้อเพลิงผสมเข้ากันได้ดีขึ้น เพราะเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวก็มีมากขึ้น จึงสามารถไปจับกับโมเลกุลที่มีขั้วและโมเลกุลที่ไม่มีขั้วของเชื้อเพลิงผสมได้ดีขึ้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นก็สามารถเพิ่มปริมาณดีเซลได้มากขึ้นด้วย โดยที่เชื้อเพลิงผสมยังสามารถผสมเข้ากันได้

ถึงแม้ว่าการเติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มจะช่วยให้เชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลเข้ากันได้ดี แต่ก็มีข้อจำกัดที่ว่า เมื่อทิ้งไว้นานเกิน 7 วัน เชื้อเพลิงผสมจะเกิดการแยกชั้น เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวนี้นี้สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มกับพอลิเอทิลีน ไกลคอล ซึ่งพอลิเอทิลีน ไกลคอลที่ใช้มีสายโซ่โมเลกุลยาว สารลดแรงตึงผิวจึงไม่เกิดเป็นไมเซลล์ และถึงแม้จะสามารถช่วยในลักษณะของการเป็นตัวทำละลายร่วม แต่การเติมในปริมาณน้อย ทำให้ไม่สามารถรักษาเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมได้

จากนั้นจึงเลือกเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวแล้ว ในอัตราส่วนที่สังเกตด้วยตาเปล่าแล้วพบว่าผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี มาวัดค่าความขุ่นหลังการเขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาทีเปรียบเทียบกับดีเซลและไบโอดีเซลบริสุทธิ์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 ถึง 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** แสดงค่าความขุ่น (NTU) ของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโน โอลิเอต ที่อุณหภูมิห้อง

ขวด ที่	อัตราส่วน			ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโน โอลิเอต (% v)						
	ดีเซล	ไบโอดีเซล	เอทานอล	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
1	10	80	10	4.29	4.85	4.88	4.75	4.79	-	4.76
2	20	70	10	4.07	-	5.02	4.76	4.82	5.00	4.98
3	30	60	10	-	-	5.60	5.32	5.21	-	-
4	40	50	10	-	-	-	-	-	-	-
5	45	45	10	-	-	-	-	-	-	-
6	50	40	10	-	-	-	-	-	-	-
7	60	30	10	-	-	-	-	-	-	-
8	70	20	10	-	-	-	-	-	-	-
9	80	10	10	-	-	-	-	-	-	-

**ตารางที่ 4.5** แสดงค่าความขุ่น (NTU) ของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอลิเอต ที่อุณหภูมิห้อง

ขวด ที่	อัตราส่วน			ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอลิเอต (% v)						
	ดีเซล	ไบโอดีเซล	เอทานอล	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
1	10	80	10	4.29	4.91	4.85	4.80	4.79	4.77	4.76
2	20	70	10	4.07	-	4.98	4.93	4.91	4.89	-
3	30	60	10	-	-	-	5.67	-	-	-
4	40	50	10	-	-	-	-	-	-	-
5	45	45	10	-	-	-	-	-	-	-
6	50	40	10	-	-	-	-	-	-	-
7	60	30	10	-	-	-	-	-	-	-
8	70	20	10	-	-	-	-	-	-	-
9	80	10	10	-	-	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.6** แสดงค่าความขุ่น (NTU) ของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล  
ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิต่ำ

ขวด ที่	อัตราส่วน			ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม (% v)						
	ดีเซล	ไบโอดีเซล	เอทานอล	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
1	10	80	10	4.29	5.85	7.57	6.21	7.40	6.66	7.49
2	20	70	10	4.07	5.24	-	6.00	6.06	6.25	6.79
3	30	60	10	-	-	-	5.22	7.59	7.05	7.17
4	40	50	10	-	-	-	-	6.12	6.09	6.01
5	45	45	10	-	-	-	-	5.23	5.52	6.88
6	50	40	10	-	-	-	-	-	4.83	5.85
7	60	30	10	-	-	-	-	-	-	4.44
8	70	20	10	-	-	-	-	-	-	-
9	80	10	10	-	-	-	-	-	-	-

ค่าความขุ่นของดีเซล = 4.77 NTU

ค่าความขุ่นของไบโอดีเซล = 4.71 NTU

ในการวัดค่าความขุ่นต้องนำค่าความขุ่นของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่ไม่เติมสารลดแรงตึงผิว และเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมสารลดแรงตึงผิวทั้งสามชนิด มาเปรียบเทียบกับค่าความขุ่นของน้ำมันดีเซล จากตารางพบว่าค่าความขุ่นของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่ไม่เติมสารลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วนดีเซล:ไบโอดีเซล เท่ากับ 10:80 มีค่าเท่ากับ 4.29 และที่อัตราส่วนดีเซล:ไบโอดีเซล เท่ากับ 20:70 มีค่าเท่ากับ 4.07 ค่าความขุ่นของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอลิเอต วัดได้ค่าความขุ่นใกล้เคียงกับดีเซลมากที่สุดคือ ที่อัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 20:70 ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลโมโนโอลิเอตที่ใช้คือร้อยละ 3 โดยปริมาตร ส่วนค่าความขุ่นของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอลิเอต วัดได้ค่าความขุ่นใกล้เคียงกับดีเซลมากที่สุด คือ ที่อัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 10 : 80 ปริมาณพอลิเอทิลีน ไกลคอล ไดโอลิเอตที่ใช้คือร้อยละ 5 โดยปริมาตร และค่าความขุ่นของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม วัดได้ค่าความขุ่นใกล้เคียงกับดีเซลมากที่สุด คือ ที่อัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 50 : 40 ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากน้ำมันปาล์มที่ใช้คือร้อยละ 5 โดยปริมาตร ดังนั้นเมื่อเทียบกับดีเซล เชื้อเพลิงผสมทั้งสามองค์ประกอบจึงเป็นองค์ประกอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด

#### 4.9 การทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง

จากค่าความขุ่นของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอลที่เติมสารลดแรงตึงผิวทั้งสามชนิด ที่ใกล้เคียงกับค่าความขุ่นของดีเซลนั้นไม่ใช่อัตราส่วนเดียวกัน หากจะนำไปทดสอบสมบัติจึงต้องพิจารณาค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความขุ่นของดีเซลและต้องเป็นเชื้อเพลิงผสมที่ใช้อัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากัน รวมถึงปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไปต้องเท่ากันด้วย ในการเลือกเชื้อเพลิงผสมที่อัตราส่วนดังกล่าวนี้ พิจารณาจากความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่ไม่เติมสารลดแรงตึงผิว พบว่าที่สัดส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 30:60 เป็นสัดส่วนสุดท้ายที่เชื้อเพลิงผสมสามารถเข้ากันได้ และไม่แยกชั้นหลังจากวันที่ 7 แต่จะแยกเป็น 2 วัฏภาคในวันที่ 10 (ข้อมูลเพิ่มเติมรายงานไว้ในตารางที่ ก-2 ในภาคผนวก ก) นอกจากนั้นในการผสมเชื้อเพลิงผสมนี้ทำที่อุณหภูมิห้อง หากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอาจส่งผลให้เชื้อเพลิงผสมเกิดการแยกชั้นได้ จึงเติมสารลดแรงตึงผิวเพื่อให้เชื้อเพลิงผสมสามารถเข้ากันได้ดีแม้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้คือร้อยละ 3 โดยปริมาตร โดยพิจารณาจากต้นทุนหากเติมมากเกินไปจะทำให้สิ้นเปลือง แต่ถ้าเติมน้อยเกินไปก็จะทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถเข้ากันได้ แล้วจึงนำเชื้อเพลิงผสมที่เติมสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 30:60 และปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้คือร้อยละ 3 โดยปริมาตร ไปทำการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง โดยสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด จุดไหลเท จุดวาบไฟ และค่าความร้อนของการเผาไหม้ ผลแสดงในตารางที่

4.7

ตารางที่ 4.7 การทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง

ชนิดที่	อัตราส่วน			สมบัติทางเชื้อเพลิง					
	ดีเซล	ไบโอดีเซล	เอทานอล	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	ความหนืด (mm <sup>2</sup> /s)	ค่าดัชนีซีเทน	จุดไหลเท (°C)	จุดวาบไฟ (°C)	ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (MJ/Kg.)
1 <sup>1</sup>	30	60	10	0.8563	3.62	N/A	4	26.5	40.24
2 <sup>2</sup>	30	60	10	0.8569	3.61	N/A	1	26.7	40.19
3	-	90	10	0.8685	3.74	N/A	4	28.1	39.66
4	-	100	-	0.8772	4.82	N/A	10	170.2	39.24
4	ดีเซล <sup>3</sup>			0.81 – 0.87	1.8 – 4.1	ไม่ต่ำกว่า 47	ไม่สูงกว่า 10	ไม่ต่ำกว่า 52	-
5	ไบโอดีเซล <sup>4</sup>			0.86 – 0.90	3.5 – 5.0	-	-	ไม่ต่ำกว่า 120	-
6	เอทานอล <sup>5</sup>			0.7890	1.08	5 - 8	- 117.3	13.5	24.84

1 เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม 3 %

N/A ไม่ได้ทำการทดสอบ

2 เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอเลต 3 %

3 ข้อกำหนดของดีเซลจากกรมธุรกิจพลังงาน

4 ข้อกำหนดของไบโอดีเซลจากกรมธุรกิจพลังงาน

5 ข้อมูลจาก Material Safety Data Sheet

เมื่อพิจารณาแต่ละสมบัติที่ทำการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบไปด้วยความหนาแน่น ความหนืด จุดไหลเท จุดวาบไฟ และค่าความร้อนของการเผาไหม้ โดยเชื้อเพลิงผสมทั้งสามชนิด มีค่าของความหนาแน่น ความหนืด จุดไหลเท และค่าความร้อนของการเผาไหม้ อยู่ภายใต้ข้อกำหนดของดีเซล ยกเว้นจุดวาบไฟที่มีค่าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของดีเซลคือมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากในเชื้อเพลิงผสมมีเอทานอลเป็นส่วนประกอบ ซึ่งเอทานอลเป็นสารที่ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง ทำให้จุดวาบไฟของเอทานอลมีค่าต่ำไปด้วย เมื่อเติมเอทานอลลงในเชื้อเพลิงผสมจึงส่งผลให้จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงผสมต่ำลง จะมีผลทางด้านความปลอดภัยการใช้งาน

เมื่อพิจารณาสมบัติทางเชื้อเพลิงจากตารางแล้วพบว่าเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซลไบโอดีเซล และเอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม มีสมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับดีเซล จึงมีความเป็นไปได้หากนำเชื้อเพลิงผสมดีเซลไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มไปใช้งานทดแทนดีเซล แต่จำเป็นต้องพัฒนาสารลดแรงตึงผิวที่สร้างเสถียรภาพให้กับเชื้อเพลิงผสมที่ดียิ่งขึ้นต่อไป อีกทั้งยังต้องระมัดระวังในเรื่องของความปลอดภัยอีกด้วย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิงผสมดีเซลไบโอดีเซล และเอทานอล โดยใช้เอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร และใช้ดีเซลกับไบโอดีเซลในอัตราส่วนแตกต่างกัน และศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อเสถียรภาพของเชื้อเพลิง รวมทั้งสมบัติของเชื้อเพลิงผสม พบว่าเมื่อทำการผสมไบโอดีเซลกับเอทานอลเข้าด้วยกันในสัดส่วน 90:10 สามารถเข้ากันได้ดี แต่เมื่อผสมดีเซลเข้ากับไบโอดีเซลและเอทานอล โดยใช้เอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 40:50 45:45 50:40 60:30 70:20 และ 10:80 พบว่าเกิดการแยกชั้นเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน จากผลการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวจากน้ำมันปาล์มและพอลิเอทิลีนไกลคอล เพื่อเติมลงในเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและ เอทานอล เพื่อให้เชื้อเพลิงผสมเข้ากันได้ดีมากขึ้นนั้น พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มและพอลิเอทิลีนไกลคอล 400 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง คือ สารลดแรงตึงผิวประเภทโคเอสเทอร์ พิสูจน์เอกลักษณ์โดย NMR Spectroscopy เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงในเชื้อเพลิงผสม พบว่าเชื้อเพลิงผสมที่มีอัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 40:50 45:45 50:40 สามารถเข้ากันได้โดยไม่แยกชั้นหลังจากผ่านไปเป็นเวลา 7 วัน เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม ถึงแม้ว่าจะมีโมเลกุลที่ใหญ่และมีโครงสร้างส่วนของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ยาวเกินไป จะไม่สามารถใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ดีในระบบนี้ได้ แต่จากการที่มีส่วนของกรดไขมันหลายชนิด ทำให้มีความยาวสายโซ่โมเลกุลที่หลากหลาย เมื่อเติมลงในเชื้อเพลิงผสมที่มีดีเซลซึ่งมีความยาวสายโซ่โมเลกุลหลากหลายเช่นกัน จึงทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วม ทำให้เชื้อเพลิงผสมเข้ากันได้กับดีเซลได้ และในส่วนที่มีซั๊กก็สามารถเข้ากันได้กับเอทานอลได้ดี นอกจากนี้ยังเติมสารลดแรงตึงผิวทางการค้าคือ พอลิเอทิลีนไกลคอล โมโน โอลิเอต และ พอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอลิเอตลงไปในเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล เพื่อเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันปาล์ม พบว่าไม่มีส่วนช่วยให้เชื้อเพลิงผสมเข้ากันได้มากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโน โอลิเอตและพอลิเอทิลีนไกลคอลไดโอลิเอตมีความยาวของสายโซ่โมเลกุลคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล เชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอต วัดได้ค่าความขุ่นใกล้เคียงกับดีเซลมากที่สุดคือ ที่อัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 20:70 ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอตที่ใช้คือร้อยละ 3 โดยปริมาตร ส่วนค่าความขุ่นของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ไดโอดีเอต วัดได้ค่าความขุ่นใกล้เคียงกับดีเซลมากที่สุด คือ ที่อัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 10 : 80 ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล ไดโอดีเอตที่ใช้คือร้อยละ 5 โดยปริมาตร และค่าความขุ่นของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม วัดได้ค่าความขุ่นใกล้เคียงกับดีเซลมากที่สุด คือ ที่อัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 50 : 40 ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มที่ใช้คือร้อยละ 5 โดยปริมาตร

เมื่อพิจารณาจากความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่ไม่เติมสารลดแรงตึงผิว พบว่าที่สัดส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 30:60 เป็นสัดส่วนสุดท้ายที่เชื้อเพลิงผสมสามารถเข้ากันได้ และไม่แยกชั้นหลังจากวันที่ 7 จึงเลือกเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอล ที่อัตราส่วนดีเซลต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 30 : 60 ที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มร้อยละ 3 โดยปริมาตร และเชื้อเพลิงผสมในอัตราส่วนเดียวกันที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล โมโนโอดีเอตร้อยละ 3 โดยปริมาตร ไปทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลและเอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร จากผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลเปรียบเทียบกับสมบัติทางเชื้อเพลิงของดีเซล อันได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด จุดไหลเท จุดวาบไฟ และค่าความร้อนของการเผาไหม้ พบว่าเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่เติมสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม มีสมบัติทางเชื้อเพลิงหลายด้านซึ่งได้แก่ ความหนาแน่น จุดไหลเท และค่าความร้อนของการเผาไหม้ ที่ใกล้เคียงกับสมบัติทางเชื้อเพลิงของดีเซลมาก ส่วนจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล มีเอทานอลเป็นองค์ประกอบ จะส่งผลให้จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงผสมต่ำลง เนื่องจากเอทานอลเป็นสารที่มีจุดวาบไฟต่ำ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. พอลิเอทิลีนไกลคอลที่นำมาสังเคราะห์เป็นสารลดแรงตึงผิวมีสายโซ่ที่ยาวเกินไป ทำให้ได้สารลดแรงตึงผิวที่มีลักษณะของสายโซ่ที่ยาวเกินไปด้วย เมื่อเติมลงในเชื้อเพลิงผสมแล้วอาจไม่เกิดเป็นไมเซลล์ ควรใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลที่มีสายโซ่สั้นกว่านี้
2. ทำการศึกษาแผนภูมิวัฏภาคของเชื้อเพลิงผสมที่อุณหภูมิอื่นๆ นอกเหนือจากอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการศึกษาแผนภูมิวิภาคของเชื้อเพลิงผสมที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทานอลจากร้อยละ 10 โดยปริมาตร เป็นร้อยละ 5 15 และ 20 เป็นต้น แล้วสังเกตความสามารถในการผสมเข้ากันของเชื้อเพลิงผสมว่าต้องใช้สัดส่วนของดีเซลตอไบโอดีเซลอย่างไรเพื่อให้มีเสถียรภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วิษณุ บุญมาร์ตัน, แนวโน้มราคาน้ำมันกับอนาคตพลังงานทางเลือก , หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ ฉบับวันที่ 22 สิงหาคม 2549 , กรุงเทพฯ, 2549, หน้า 3
- [2] อัมพล เสนาณรงค์, ชำนาญ บุญญาพุทธิพงษ์, บทความจากหัวเรื่อง พลังงานทดแทนชนิดอื่นๆ , [http://www.energyfantasia.com/ef3/energy\\_pedia/show.php?show=185](http://www.energyfantasia.com/ef3/energy_pedia/show.php?show=185)
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygenate>
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel>
- [5] Jaruwat T., "The synthesis of biodiesel and lubricants from purging nut oil", Master Thesis. Petrochemicals and hydrocarbon chemistry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2004
- [6] อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย, ไบโอดีเซล, <http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php?aid=409>
- [7] Kanok-on R., Chinda C., "Performance of an Engine Using Biodiesel from Refined Palm Oil Stearin and Biodiesel from Crude Coconut Oil", The joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SSE)" Bangkok, 2004, p.353-358
- [8] <http://www.barascientific.com/bscnews/forum/Biodiesel/biodiesel.php>
- [9] วิชชุดา ตระกูลราษฎร์ "เรื่องการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทภายใต้อุณหภูมิและความดันวิกฤต" สาขาวิชาปิโตรเคมีและเคมีของไฮโดรคาร์บอน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2550
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/Surfactant>
- [11] [http://family.most.go.th/index.php?option=com\\_content&task=view&id=17&Itemid=2](http://family.most.go.th/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=2)
- [12] <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=3>
- [13] [http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene\\_glycol](http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_glycol)
- [14] [http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium\\_dodecyl\\_sulfate](http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_dodecyl_sulfate)
- [15] <http://www.americanpalmoil.com/foodproducts.html>
- [16] <http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/processOilpalm.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] ปณัฐพงศ์ บุญนวล, อนุพันธ์ มณีศิริ, นัฐพงษ์ ธนพันธุ์ภูวเดช, แคทลียา ปัทมพรหม, การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปาล์มสเตียรินสีขาว, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2549
- [18] อารีรัตน์ โชติวิเชียร, อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย, สมัย ใจอินทร์, “การใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซล-เอทานอล และดีเซล-บิวทานอล”, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ, 2550
- [19] Prommes K., Apanee L., Samai J., “Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine”, Bangkok ,2006
- [20] [http://www.dmf.go.th/default\\_prev.asp](http://www.dmf.go.th/default_prev.asp)
- [21] <http://www.eri.chula.ac.th/enett/proceeding/PDF%20papers/enett2550-095revised.pdf>
- [22] <http://www.sugarzone.in.th/article/article11.htm>
- [23] <http://www.teenet.chula.ac.th/sustainable/detail8-2.asp?ID=779>
- [24] <http://en.wikipedia.org/wiki/Turbidity>
- [25] <http://www.hfscientific.com/Turbidity%20Units.pdf>
- [26] <http://physics.science.cmu.ac.th/courses/210204/lecture01.pdf>
- [27] พรหมเมศร์ ขวัญเจริญ, “การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่งในดีโซฮอล์ในประเทศไทย”, วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2548



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

การคำนวณหาน้ำหนักที่ใช้ของน้ำมันปาล์ม เมทานอล และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ ก-1 กรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมันปาล์ม

Fatty acid	Refined palm oil (% from GC)	Molecular weight of triglyceride (g/mol)
Myristic acid	1.07	722
Palmitic acid	35.32	806
Stearic acid	5.30	890
Oleic acid	46.30	884
Linoleic acid	12.01	878
Total	100	-

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันปาล์ม} &= (0.0107 \times 722) + (0.3532 \times 806) + \\ & (0.0530 \times 890) + (0.4630 \times 884) + \\ & (0.1201 \times 878) \\ &= 854.01 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

เมทานอล ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 32

$$\text{ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลของเมทานอล} = 32 \text{ g/mol}$$

ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1:6

$$\text{ปริมาณของน้ำมันปาล์มที่ใช้} = 854.01 \times 1$$

$$= 854.01 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณของเมทานอลที่ใช้} = 32 \times 6$$

$$= 192 \text{ g.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ร้อยละ 1 โดยมวลของน้ำมันปาล์ม

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณของ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้} &= 854.01 \times 0.01 \\ &= 8.54 \text{ g.} \end{aligned}$$

### การคำนวณหาน้ำหนักที่ใช้ของน้ำมันปาล์ม พอลิเอทิลีนไกลคอล และโซเดียมเมทอกไซด์ ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิว

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันปาล์ม = 854.01 g/mol

พอลิเอทิลีน ไกลคอล มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 400

ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเอทิลีนไกลคอล = 400 g/mol

ในการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิว ใช้อัตราส่วนโดย โมลของน้ำมันปาล์มต่อพอลิเอทิลีน-ไกลคอล เท่ากับ 1: 6

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณของน้ำมันปาล์มที่ใช้} &= 854.01 \times 1 \\ &= 854.01 \text{ g.} \\ \text{ปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ใช้} &= 400 \times 6 \\ &= 2400 \text{ g.} \end{aligned}$$

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ โซเดียมเมทอกไซด์ โดยใช้ร้อยละ 0.75 โดยมวล ของน้ำมันปาล์ม

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณของ โซเดียมเมทอกไซด์ที่ใช้} &= 854.01 \times 0.0075 \\ &= 6.405 \text{ g.} \end{aligned}$$

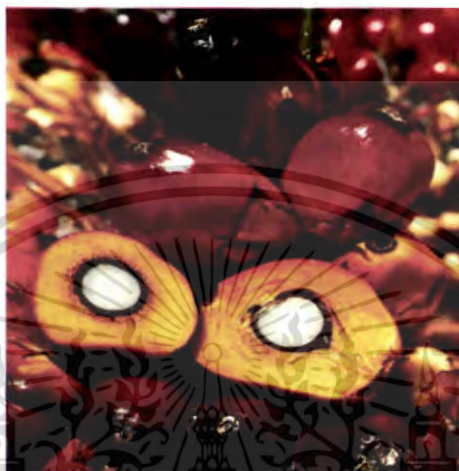
**ตารางที่ ก-2** แสดงจำนวนวันที่สังเกตเห็นเชื้อเพลิงผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล ที่เติม สารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มกับพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 มี ลักษณะเป็นของเหลวใส 1 วัฏภาค

สัดส่วน			จำนวนวันที่สังเกตเห็นเป็นของเหลวใส 1 วัฏภาค						
			ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม (% v)						
ดีเซล	ไบโอดีเซล	เอทานอล	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
10	80	10	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
20	70	10	> 20	> 20	5	> 20	> 20	> 20	> 20
30	60	10	9	5	5	> 20	> 20	> 20	> 20
40	50	10	4	4	4	5	> 20	> 20	> 20
45	45	10	3	3	4	4	> 20	> 20	> 20
50	40	10	2	2	3	3	3	> 20	> 20
60	30	10	2	2	3	3	3	4	> 20
70	20	10	0	0	0	0	0	0	0
80	10	10	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ปาล์มน้ำมัน



รูปที่ ข-1 ผลปาล์มสุก

<b>ชื่อสามัญ</b>	ปาล์มน้ำมัน (Oil palm) น้ำมันปาล์ม (crude palm oil) เรียกย่อว่า CPO
<b>ชื่อวิทยาศาสตร์</b>	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq
<b>ถิ่นกำเนิด</b>	แอฟริกา แพร่กระจายพันธุ์ปลูกอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ที่เส้นรุ้ง 10 องศาเหนือ-ใต้
<b>แหล่งผลิตใหญ่ของโลก</b>	มาเลเซีย อินโดนีเซีย พื้นที่ปลูกประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของโลก
<b>แหล่งปลูกปัจจุบัน</b>	มาเลเซีย อินโดนีเซีย ไนจีเรีย ไทย โคลัมเบีย อินเดีย ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น พม่า กัมพูชา
<b>พันธุ์การค้า</b>	ลูกผสมเทเนอรา (ดูรา x พีลีเฟอรา)
<b>แหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี</li> <li>- นำเข้าจากต่างประเทศ ได้แก่ ประเทศ คอสตาริกา ปาปัวนิวกินี ไออวรีโคสต์ แชร่เบนิิน ยกเวิน มาเลเซียและอินโดนีเซีย เนื่องจากมีนโยบายห้ามส่งออกพันธุ์ปาล์มน้ำมันตั้งแต่ปี 2526</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลิตโดยบริษัทเอกชนของประเทศไทย ขณะนี้มี 3 บริษัท ได้แก่ บริษัทยูนิวานิช จังหวัดกระบี่, บริษัทเปารงค์ จังหวัดนครศรีธรรมราช และ บริษัทอุติ จังหวัดกาญจนบุรี

### ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชผสมข้าม มีทั้งช่อดอกเพศผู้และช่อดอกเพศเมียแยกช่อดอกอยู่ในต้นเดียวกัน การผสมเปิดจะได้ต้นปาล์มรุ่นลูกที่แตกต่างจากต้นแม่เดิม จึงไม่แนะนำให้เก็บเมล็ดจากได้ต้นไปขยายพันธุ์ ถ้าปลูกปาล์มน้ำมันจากเมล็ดที่ห่อในไต้ดิน หรือนำมาจากแหล่งผลิตพันธุ์ที่ไม่น่าเชื่อถือจะทำให้ผลผลิตทะลายลดลง 15-50% และเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มดิบลดลง 35-55%



(ก)

(ข)

รูปที่ ข-2 (ก) ดอกตัวผู้ (ข) ดอกตัวเมีย

### ลักษณะผล

**ดูรา (Dura)** กะลาหนา 2-8 มิลลิเมตร ไม่มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกบาง 35-60% เปอร์เซ็นต์น้ำมันดิบต่ำ มีอินควมเป็นลักษณะเด่น

**พิสิเฟอรา (Pisifera)** ลักษณะผลไม่มีกะลา มีข้อเสียคือ ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน ทำให้ผลฝ่อลีบ ทะลายเล็ก เนื่องจากผลไม่พัฒนา ผลผลิตต่ำมากหรือไม่มีผลผลิต ทรงต้นมักจะใหญ่ไม่ใช้ปลูกเป็นการค้า อินควมเป็นลักษณะด้อย

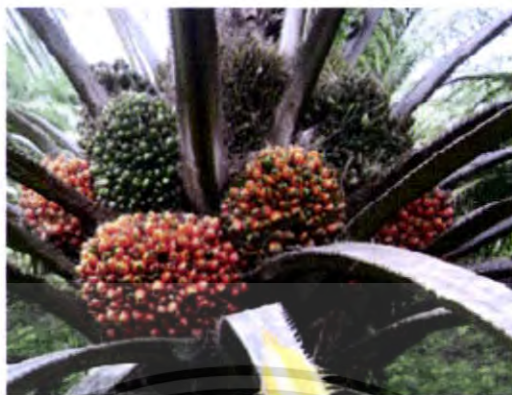
**เทนอรา (Tenera)** ลักษณะผลมีกะลาบาง 0.5-4 มิลลิเมตร มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกหนา 60-90% ลักษณะเทนอราเป็นพันธุ์ทาง (heterozygous) เกิดจากการผสมข้ามระหว่างลักษณะดูรากับพิสิเฟอรา

### สีผล

ปาล์มน้ำมันจำแนกสีผล มี 2 แบบ

1. สีผลดิบเป็นสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีส้ม (virescens) ดังรูปที่ ข-3
2. สีผลดิบเป็นสีดำ เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีแดง (nigrescens) ดังรูปที่ ข-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-3 ผลปาล์มดิบเป็นสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีส้ม



รูปที่ ข-4 ผลปาล์มดิบเป็นสีดำ เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีแดง

### น้ำมันปาล์ม

ได้จาก 2 ส่วน คือ ส่วนเปลือกนอกประมาณ 16-25% ของน้ำหนักทะลายและส่วนเนื้อในประมาณ 3-5 % ของน้ำหนักทะลาย

### กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

ประกอบด้วย 2 กระบวนการหลัก คือ

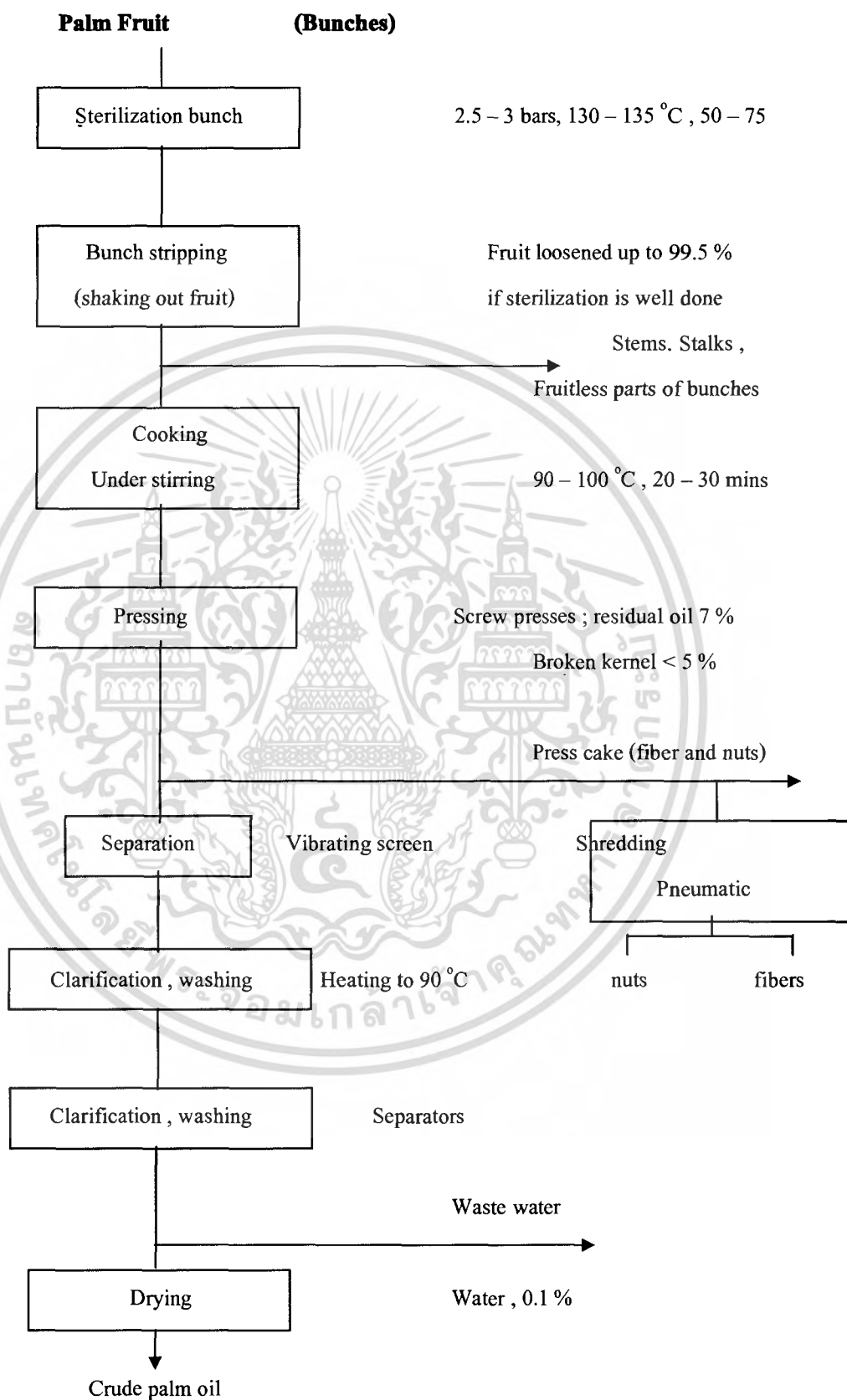
1. กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม (Mill Processing) หลังการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์ม น้ำมัน จะมีการขนส่งผลผลิตเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีกระบวนการสกัดน้ำมัน 2 แบบ คือ แบบมาตรฐาน (หีบน้ำมันแยก) และแบบหีบน้ำมันผสม โดยโรงงานแบบมาตรฐานเป็นโรงงานที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังการผลิตสูง ประมาณ 30-80 ตัน/ชั่วโมง และน้ำมันที่ได้จัดเป็นน้ำมันเกรดเอ เนื่องจากมีการแยกชนิดของน้ำมันปาล์ม สำหรับโรงงานแบบหีบน้ำมันผสมเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตค่อนข้างต่ำ และน้ำมันที่สกัดได้เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการสกัดน้ำมันแบบที่นิยมใช้โดยทั่วไปมาตรฐาน (รูปที่ ข-5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ ข-5** แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

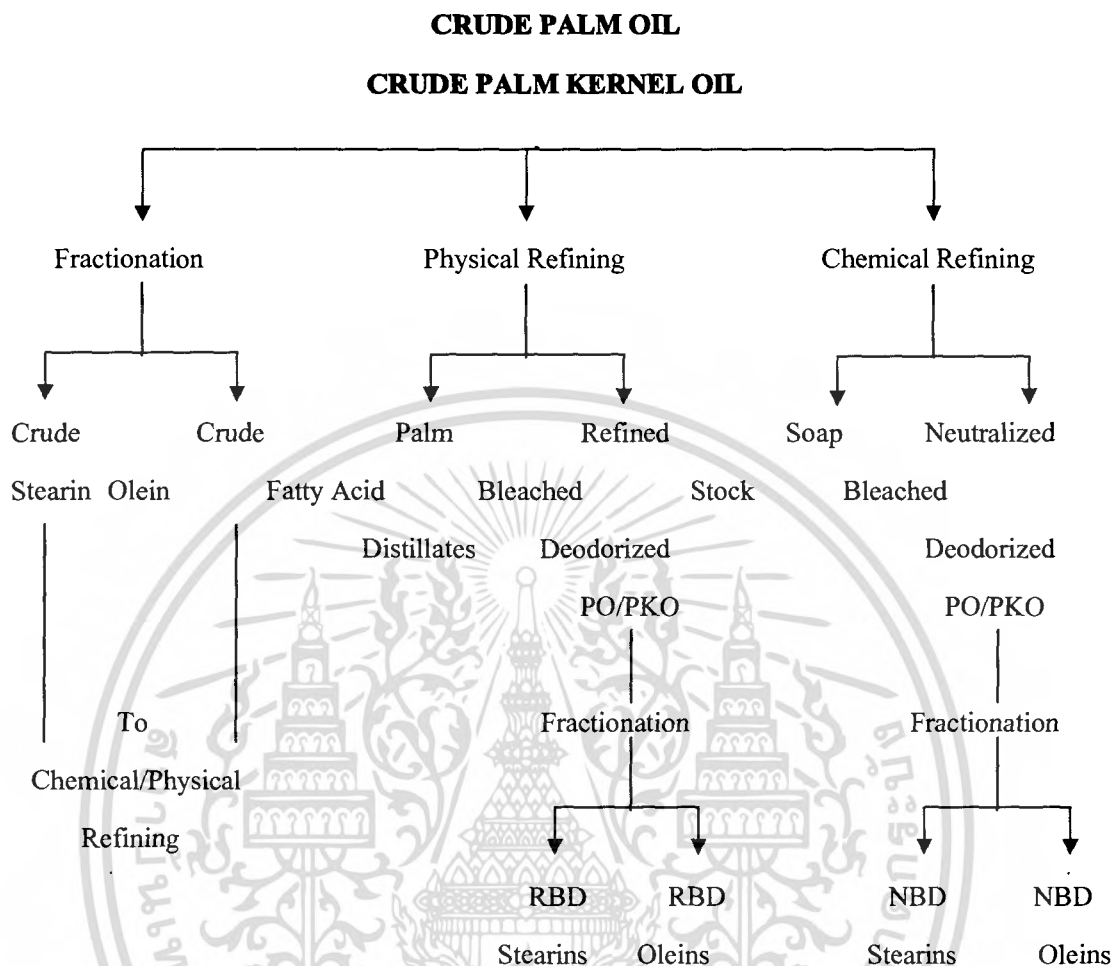
โรงงานสกัดน้ำมันแบบมาตรฐาน กระบวนการผลิตจะมี 4 ขั้นตอน คือ

1. การอบทะลายด้วยไอน้ำ (sterilization) อบที่อุณหภูมิ 130-135 °C ความดัน 2.5-3 bars นาน 50-75 นาที การอบทะลายจะช่วยหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซิส ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์ม และช่วยให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มหลุดจากขั้วผลได้ง่าย

2. การแยกผล (stripping) เป็นการส่งทะลายเข้าเครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะลาย สำหรับทะลายเปล่าจะถูกแยกออกไป จากนั้นนำผลปาล์มไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์ม เพื่อให้ส่วนเปลือกแยกออกจากเมล็ด

3. การสกัดน้ำมัน (oil extraction) นำส่วนเปลือกอบที่อุณหภูมิ 90-100 °C นาน 20-30 นาที จากนั้นผ่านเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัดคู่ จะได้น้ำมันปาล์มดิบ ที่มีองค์ประกอบคือ น้ำมันประมาณ 66% น้ำ 24% และของแข็ง 10%

4. การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (clarification) นำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัดส่งเข้าถังกรองเพื่อแยกน้ำและของแข็งออก จากนั้นนำเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อทำความสะอาดอีกครั้งและไล่น้ำออกเพื่อให้แห้ง ส่งเข้าถังเก็บน้ำมันสำหรับรอการกลั่นหรือจำหน่ายต่อไป น้ำมันปาล์มดิบที่ได้แยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนบนมีลักษณะเป็นของเหลวสีส้มแดง (crude palm oil olein) ประมาณ 30-50% ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไขสีเหลืองส้ม (crude palm oil stearin) ประมาณ 50-70% สำหรับกากผลปาล์มจะถูกนำมาแยกเส้นใยออกจากเมล็ด นำเมล็ดที่ได้มาอบแห้งและทำความสะอาด จากนั้นนำเข้าเครื่องกะเทาะเพื่อแยกกะลาออก และนำเมล็ดในมาอบแห้งให้มีความชื้นไม่เกิน 7% จากนั้นบรรจุกระสอบเพื่อรอจำหน่ายหรือหีบน้ำมันต่อไป น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ได้จากกระบวนการการสกัด สามารถส่งเข้าสู่โรงงานเพื่อทำให้บริสุทธิ์ หรือจะนำไปแยกส่วน (Fractionation) ก่อนก็ได้ ซึ่งจะได้น้ำมันปาล์มที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป (รูปที่ ข-6)



**รูปที่ ข-6** การแยกส่วนและการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

### กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม (Refine Processing)

การกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม เป็นกระบวนการทำให้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม เป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ พร้อมสำหรับการบริโภค ซึ่งกระบวนการกลั่น สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีการ คือ

**2.1 วิธีทางกายภาพ (Physical or Steam refining)** เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ โดยผ่านไอน้ำเข้าไปในน้ำมันร้อน แล้วกลั่นแยกกรดไขมันอิสระและสารที่ให้กลิ่นให้ระเหยออกไป จึงเป็นการกำจัดกลิ่นและทำให้น้ำมันเป็นกลางไปพร้อมกัน การกลั่นน้ำมันปาล์มโดยวิธีทางกายภาพ ทำได้โดยเตรียมน้ำมันปาล์มดิบหรือน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ไม่มีฟอสโฟลิปิด โดยกำจัดออกด้วยน้ำ แล้วทำปฏิกิริยาดัวยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 80–85% ประมาณ 0.05 –0.2% ของน้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันที่อุณหภูมิ 90–100 °C นาน 15–30 นาที จากนั้นเติมผงฟอกสี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(bleaching earth) ประมาณ 0.8–2.0% ของน้ำมันปาล์มดิบ และฟอกสีภายใต้สภาพสูญญากาศที่อุณหภูมิ 95–100 °C นาน 30–45 นาที จากนั้นนำน้ำมันปาล์มผ่านเข้าเครื่องกรอง จะได้น้ำมันที่ไม่มีฟอสโฟลิปิด และทำการกลั่นโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิน้ำมัน 240–270 °C นาน 1-2 ชั่วโมง ภายใต้สภาพสูญญากาศ จะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil, RBD PO) หรือน้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Bleached and Deodorized Palm Kernel Oil, RBD PKO)

**2.2 วิธีทางเคมี (Chemical refining)** เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยใช้สารเคมี ที่นิยมคือ ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมคาร์บอเนต ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันให้เกิดเป็นสบู่ จากนั้นแยกสบู่ออกโดยวิธีการหมุนเหวี่ยง สำหรับความเข้มข้นของด่างที่ใช้มากน้อยแปรผันตามปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม การกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยสารละลายด่าง เริ่มด้วยการให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิ 80–90 °C แล้วเติมกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 80–85% ในปริมาณ 0.05–0.2% จากนั้นเติมสารละลายด่างซึ่งจะทำให้เกิดสบู่แยกสบู่ออกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง และล้างโซสบู่ด้วยน้ำ จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อไล่น้ำให้ระเหยออก จากนั้นนำน้ำมันมาฟอกสี และกำจัดกลิ่นด้วยไอน้ำ จะได้น้ำมันปาล์มที่เรียกว่า Neutralized Bleached and Deodorized Palm Oil น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว แยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไขและส่วนบนเป็นน้ำมัน มีสีเหลืองอ่อนถึงเข้ม เนื่องจากน้ำมันที่ได้มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการที่ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด จึงได้มีการศึกษาการตัดแปรคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการต่างๆ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายมากขึ้น ผลผลิตพลอยได้ที่สำคัญ จากการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม คือ palm fatty acid distillated (PFAD) ซึ่งนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการทำสบู่ อาหารสัตว์ ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสกัดกรดไขมันชนิดต่างๆ หรือการสกัดวิตามินอีในอุตสาหกรรมอริโอเคมีคอล

## ภาคผนวก ค

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสมบัติทางเชื้อเพลิง

ความหนาแน่น



รูปที่ ค-1 Density Meter (Anton Paar, DMA 5000)

วัดโดยใช้มาตรฐาน ASTM D 4052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความหนืด



รูปที่ ก-2 Viscometer (CANNON, CAV 2000)

วัดโดยใช้มาตรฐาน ASTM D 445

## จุดไหลตก

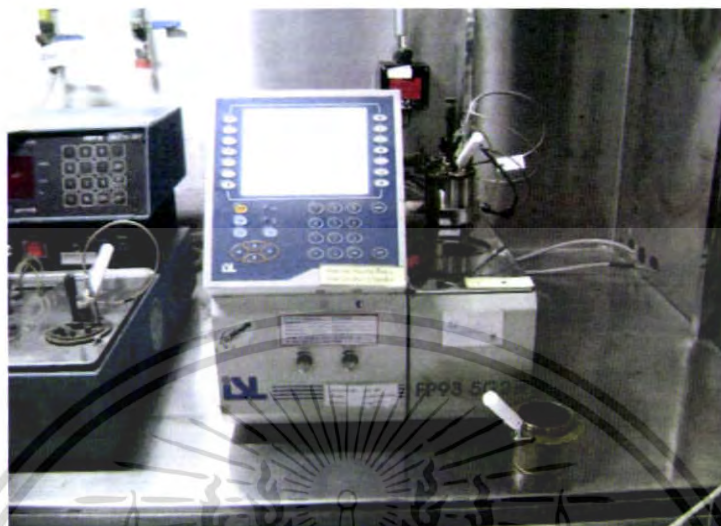


รูปที่ ก-3 Pour and Cloud points Tester (ISL, CPP 5Gs)

วัดโดยใช้มาตรฐาน ASTM D 5950

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## จุดวาบไฟ



รูปที่ ก-4 Flash point Tester (ISL, FP93 5G2)

วัดโดยใช้มาตรฐาน ASTM D 93

## ความร้อนของการเผาไหม้



รูปที่ ก-5 Bomb Calorimeter (PARR 1281)

วัดโดยใช้มาตรฐาน ASTM D 240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้