

การเตรียมและศึกษาสมบัติของดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม

4



นางสาวเกล้านภา สุขสมจินต์
นางสาวนิรมล มาชะสุข
นางสาวบุญอุมา เซาว์นฤทธิ

เลขที่.....
เลขทะเบียน.....43891
วัน, เดือน, ปี 17 ต.ค. 2545

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation and Properties of Biodiesel from Palm Oil




A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
The Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

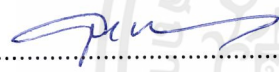
หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมและศึกษาสมบัติของดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม
นักศึกษา นางสาวเกล้านภา สุขสมจินต์
นางสาวนิรมล มาชะสุข
นางสาวบุญอุมา เขาวนฤทธิ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เผชญชัย ไชยสิทธิ์
ภาควิชา เคมี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....
(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี


คณะกรรมการโครงการพิเศษ


.....
(รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

ประธานกรรมการ


.....
(ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์)

กรรมการ


.....
(ผศ.ดร.เผชญชัย ไชยสิทธิ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมและศึกษาสมบัติของดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม
นักศึกษา	นางสาวเกล้านภา สุขสมจินต์ นางสาวนิรมล มาชะสุข นางสาวบุญอุมา เซวน์ฤทธิ์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เพ็ญชัย ไชยสิทธิ์
ภาควิชา	เคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการศึกษานหาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ชนิดและปริมาณของเบสและแอลกอฮอล์ ความเร็วรอบในการปั่นกววน และอุณหภูมิ พบว่าสภาวะที่ให้ ผลผลิต (yield) สูงสุด (91.32 เปอร์เซ็นต์) คือ ใช้น้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับเมทานอลในอัตราส่วน 1:6.4 โดยโมล โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้คือ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วในการปั่นกววน 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สมบัติของดีเซลชีวภาพที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม

Special Project Title	Preparation and Properties of Biodiesel from Palm Oil
Name	Miss.Klaonapa Suksomjin Miss.Niramol Makasook Miss.Boon-uma Jowanaridhi
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Pachernchai Chaiyasith
Department	Chemistry (Industrial Chemistry)
Academic Year	2001

ABSTRACT

The optimum condition for the basic catalyzed transesterification reactions used to produce biodiesel from palm oil has been studied. The process variables were the nature and quantities of base and alcohol, rate of agitation and temperature. It was found that the optimum condition which yields biodiesel with 91.32 percentage is given as follow : 0.5 wt% sodium hydroxide catalyst based on weight of palm oil, excess methanol which molar ratio 6.4:1, the reaction mix is kept at 60°C and agitated at 300 rpm for 1 hour. The properties of the synthesised biodiesel are similarly to those of petroleum diesel .

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ถูกล่วงไปได้ด้วยนี้ เนื่องจากได้รับคำแนะนำและข้อมูลที่มีประโยชน์ จาก ผศ.ดร.เมธิญชัย ไชยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ทางคณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ เป็นอย่างสูง ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบโครงการพิเศษ ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในโครงการพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในโครงการพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณฝ่ายควบคุมคุณภาพ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่กรุณาอำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบคุณภาพน้ำมันในโครงการพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสุพจน์ ศิวาคม และนักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์และสถานที่ในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณจักรพงศ์ ไชยบุรี และคุณสุรัชย์ วรรณมทองดี ที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในโครงการพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้ความอุปการะตลอดมา และขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือตลอดมาในการทำโครงการพิเศษนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีของโครงการพิเศษฉบับนี้ขออุทิศให้แด่ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณต่อคณะผู้วิจัยทุกท่าน

นางสาวเกล้านภา สุขสมจินต์

นางสาวนิรมล มาชะสุข

นางสาวบุญอุมา เขาวนฤทธิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ปาล์มน้ำมัน	3
2.1.1 แปรรูปปาล์มน้ำมัน	4
2.1.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	5
2.1.3 การกลั่นน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์	6
2.1.3.1 กระบวนทางเคมี	6
2.1.3.2 กระบวนทางกายภาพ	6
2.1.4 สัดส่วนการใช้ น้ำมันปาล์ม	8
2.1.5 โมเลกุลของน้ำมันปาล์ม	8
2.1.6 ธรรมชาติของกรดอินทรีย์ในน้ำมันปาล์ม	8
2.1.7 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม	9
2.1.8 ปฏิกริยาของน้ำมัน	10
2.2 ดีเซลชีวภาพ	11
2.2.1 ความเป็นมาของดีเซลชีวภาพ	11
2.2.2 วิธีการผลิตดีเซลชีวภาพ	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.3 ปฏิบัติการงานเอสเทอร์ฟิเคชัน	12
2.2.3.1 กลไกปฏิกิริยา	13
2.2.4 คุณสมบัติของดีเซลชีวภาพ	14
2.2.5 การใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน	14
2.2.6 อนาคตของดีเซลชีวภาพ	14
2.2.7 กระบวนการผลิตดีเซลชีวภาพ	15
2.2.8 ประโยชน์ของอัลคิลเอสเทอร์และกลีเซอริน	16
2.2.8.1 อัลคิลเอสเทอร์	16
2.2.8.2 กลีเซอริน	16
2.3 น้ำมันดีเซล	17
2.3.1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล	18
2.3.1.1 ค่าซีเทนหรือดัชนีซีเทน	18
2.3.1.2 จุดวาบไฟ	19
2.3.1.3 การกลั่น	19
2.3.1.4 ความหนืด	20
2.3.1.5 จุดไหลเท	20
2.3.1.6 ปริมาณกำมะถัน	21
2.3.1.7 ค่าความร้อน	21
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	25
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	25
3.2 สารเคมี	25
3.3 อุปกรณ์	25
3.4 วิธีการทดลอง	26
ตอนที่ 1 ศึกษาสมบัติของน้ำมันปาล์มที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	26
ตอนที่ 2 เตรียมดีเซลชีวภาพ	27
2.1 ปฏิบัติการงานเอสเทอร์ฟิเคชัน	27
2.2 การแยกชั้น	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและดึงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 การระเหยแอลกอฮอล์	28
2.4 การล้าง	29
2.5 วิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน	29
ตอนที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพ	30
3.1 ชนิดแอลกอฮอล์	30
3.2 ชนิดเบส	30
3.3 ปริมาณเบส	30
3.4 ปริมาณแอลกอฮอล์	30
3.5 ความเร็วในการปั่นกวน	31
3.6 อุณหภูมิ	31
ตอนที่ 4 ศึกษาสมบัติของดีเซลชีวภาพ	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	32
4.1 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันปาล์ม	32
4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม	32
4.2.1 ชนิดแอลกอฮอล์	32
4.2.2 ชนิดเบส	33
4.2.3 ปริมาณเบส	34
4.2.4 ปริมาณแอลกอฮอล์	35
4.2.5 ความเร็วในการปั่นกวน	36
4.2.6 อุณหภูมิ	37
4.3 สมบัติของดีเซลชีวภาพ	38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	40
5.1 สรุปผลการทดลอง	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	43
ภาคผนวก ก การทดสอบสมบัติน้ำมัน	43
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง	54
ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลผลิตและเนื้อที่ปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทยช่วงปี 2538-2543	4
ตารางที่ 2.2 กรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในน้ำมันปาล์ม	9
ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซล	18
ตารางที่ 4.1 สมบัติน้ำมันปาล์ม	32
ตารางที่ 4.2 ชนิดของแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อการเตรียมดีเซลชีวภาพ	33
ตารางที่ 4.3 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และผลผลิต (%Yield) เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	33
ตารางที่ 4.4 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และผลผลิต (%Yield) เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา	34
ตารางที่ 4.5 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และผลผลิต (%Yield) เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์	35
ตารางที่ 4.6 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และผลผลิต (%Yield) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วในการปั่นกวน	36
ตารางที่ 4.7 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และผลผลิต (%Yield) เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา	37
ตารางที่ 4.8 สมบัติของดีเซลชีวภาพที่ได้	38
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันปาล์ม ดีเซลชีวภาพ และดีเซลจากปิโตรเลียม	39
ตารางที่ ก.1 การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน	43
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพ	54
ตารางที่ ข.2 ความหนาแน่น	56
ตารางที่ ข.3 ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต	57
ตารางที่ ข.4 น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้หาปริมาณกรดไขมันอิสระ	57
ตารางที่ ข.5 ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตกรดไขมันอิสระ	58
ตารางที่ ข.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระ	58
ตารางที่ ข.7 ค่าความร้อน	59

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ต้นปาล์มและสวนปาล์มน้ำมัน	3
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์ม	5
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางเคมีและกายภาพ	7
รูปที่ 2.4 โมเลกุลของน้ำมันปาล์ม	8
รูปที่ 2.5 สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน	10
รูปที่ 2.6 สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน	10
รูปที่ 2.7 สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน	11
รูปที่ 2.8 สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน	12
รูปที่ 2.9 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	13
รูปที่ 2.10 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	13
รูปที่ 2.11 บีมน้ำมันดีเซลชีวภาพ B20	15
รูปที่ 3.1 การเตรียมดีเซลชีวภาพ	27
รูปที่ 3.2 การแยกชั้น	28
รูปที่ 3.3 การระเหยแอลกอฮอล์	28
รูปที่ 3.4 การแยกชั้นหลังการล้าง	29
รูปที่ 3.5 การกลั่นหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน	29
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Yield กับปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (%NaOH)	34
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Yield กับปริมาณเมทานอล (กรัม)	35
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Yield กับความเร็วในการปั่นกววน (รอบต่อนาที)	36
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Yield กับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	37
รูปที่ ก.1 โมโนแกรมในการประมาณค่าดัชนีชี้แทน	52
รูปที่ ข.1 โครมาโทแกรมของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอไรด์มาตรฐาน	60
รูปที่ ข.2 โครมาโทแกรมของสารที่กลั่นได้	61
รูปที่ ค.1 บอมบ์แคลอริมิเตอร์อัตโนมัติ	62
รูปที่ ค.2 เครื่องหาจุดวาบไฟอัตโนมัติ	62
รูปที่ ค.3 ไฮโดรมิเตอร์	63
รูปที่ ค.4 เครื่องหาจุดไหลเทอัตโนมัติ	63
รูปที่ ค.5 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์	63
รูปที่ ค.6 เครื่องวัดความหนืดอัตโนมัติ	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและช่องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ค.7 เครื่องกลั่น	64
รูปที่ ค.8 เปรียบเทียบลักษณะภายนอกของ ก)น้ำมันปาล์ม ข)ชั้นเอสเทอร์ ค)ชั้นกลีเซอริน ง)เมทิลเอสเทอร์ที่กลั่นได้ จ)สารที่เหลือจากการกลั่น	64



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา [1,2]

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบปัญหาด้านราคาน้ำมันที่สูงขึ้น ถึงเวลาแล้วที่ประเทศไทยควรส่งเสริมและผลักดันให้มีการใช้น้ำมันพืชแทนหรือน้ำมันชีวภาพในเครื่องยนต์ดีเซลอย่างจริงจังและต่อเนื่อง ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันดีเซลทั้งชนิดหมุนเร็วและหมุนช้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว การส่งเสริมและสนับสนุนใช้น้ำมันพืชซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สามารถผลิตได้เองในประเทศ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เป็นการรักษาเงินตราต่างประเทศ เป็นการส่งเสริมความมั่นคง และสามารถพึ่งพาตัวเองด้านพลังงานของประเทศอีกด้วย

การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลไม่ใช่ของใหม่ มีการใช้มาตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เนื่องจากน้ำมันจากปิโตรเลียมยังมีราคาถูกและหาได้ง่าย ทำให้ไม่มีผู้ใดให้ความสนใจใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซล หลังจากวิกฤตน้ำมันของโลกในปี พ.ศ. 2516 เป็นต้นมา ได้เริ่มมีความตื่นตัวและพยายามหาพลังงานทดแทนมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น น้ำมันพืชเป็นชนิดหนึ่งที่ได้รับความสะดวก

ในต่างประเทศยังคงมีการวิจัยการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลอย่างต่อเนื่อง โดยใช้น้ำมันจากพืชน้ำมันที่มีในปริมาณการเพาะปลูกมากในแต่ละประเทศ เช่น ในยุโรปใช้น้ำมันเมล็ดเรพ (rape seed oil) และน้ำมันทานตะวัน ในสหรัฐอเมริกาใช้น้ำมันถั่วเหลือง ในประเทศมาเลเซียใช้น้ำมันปาล์ม สำหรับประเทศไทยได้เคยมีงานวิจัยในเรื่องดังกล่าวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 โดยทดลองใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ โดยนำไปใช้กับเครื่องยนต์ประเภทต่างๆ ทั้งเครื่องยนต์ทางการเกษตร และเครื่องยนต์ดีเซล

การใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง พบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นมากมาย เนื่องจากสมบัติของน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลมีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลให้จุดติดยาก และไม่สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วต่ำ นอกจากนี้ยังก่อปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชโดยตรงกับเครื่องยนต์แบบเดิมจึงไม่เหมาะสม ถ้านำมาใช้ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ก่อน ซึ่งเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแก้ไขได้โดยใช้สารประกอบเอสเทอร์ที่ได้จากการนำน้ำมันพืชทำปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ เรียกว่าดีเซลชีวภาพ หรือ Biodiesel

น้ำมันปาล์มเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมีปริมาณการเพาะปลูกมาก ทั้งยังให้น้ำมันต่อหน่วยสูงที่สุดอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงเลือกน้ำมันปาล์มมาศึกษาการเตรียมและสมบัติของดีเซลชีวภาพ โดยผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม หากคุณภาพดีเซลชีวภาพที่ได้มีประสิทธิภาพ จะสามารถลดการสูญเสียเงินตราลงได้มาก ประกอบกับสามารถใช้ผลิตผลทางการเกษตรที่มีอยู่ในประเทศได้อย่างคุ้มค่า และยังช่วยพัฒนาเทคโนโลยีพึ่งพาตนเองได้อย่างสมบูรณ์

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน
- 2) เพื่อศึกษาสมบัติของดีเซลชีวภาพที่ได้เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษาการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม
- 2) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ ชนิดแอลกอฮอล์ ชนิดเบส ปริมาณเบส ปริมาณแอลกอฮอล์ ความเร็วรอบในการปั่นกววน และ อุณหภูมิ
- 3) เปรียบเทียบสมบัติของดีเซลชีวภาพกับดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม เช่น ค่าความร้อน ความหนืด จุดวาบไฟ ความตึงจำเพาะ ปริมาณซัลเฟอร์ เป็นต้น

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม
- 2) ทราบสมบัติของดีเซลชีวภาพในการที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์
- 3) ทราบความแตกต่างของสมบัติระหว่างดีเซลชีวภาพกับดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม
- 4) ในอนาคตหากมีการพัฒนาดีเซลชีวภาพจนสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซล จะเป็นการใช้ผลผลิตทางการเกษตรที่มีอยู่ภายในประเทศได้อย่างคุ้มค่า อีกทั้งยังลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ค้นคว้าหาข้อมูล
- 2) ศึกษาสมบัติของน้ำมันปาล์ม
- 3) ทำการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน
- 4) ทดสอบสมบัติของดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้
- 5) เปรียบเทียบสมบัติของดีเซลชีวภาพกับดีเซลจากปิโตรเลียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปาล์มน้ำมัน [3,4]

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูลปาล์ม เช่นเดียวกับ มะพร้าว จาก อินทผาลัม และ ตาลโตนด จากหลักฐานทางโบราณคดีและประวัติศาสตร์ได้ยืนยันว่า ปาล์มมีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในทวีปแอฟริกา และพบมากอยู่ทางฝั่งตะวันตก

ปาล์มน้ำมันได้ถูกนำเข้ามาปลูกในทวีปเอเชียเป็นครั้งแรกที่สวนพฤกษศาสตร์โบเกอร์ในประเทศอินโดนีเซียในราวปี พ.ศ. 2391 และต่อมาก็มีผู้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกที่เขตเดลีทางตอนเหนือของเกาะสุมาตรา ปรากฏว่าปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตสูง ผลโตและเปลือกหนา จึงได้มีการปลูกในเชิงการค้าในปี พ.ศ. 2454 และถัดมาอีกไม่กี่ปีก็มีการนำปาล์มน้ำมันเข้าไปปลูกในประเทศมาเลเซีย จนกระทั่งมาเลเซียได้กลายเป็นผู้ส่งออกน้ำมันปาล์มรายใหญ่ที่สุดของโลกในปี พ.ศ. 2508 เป็นต้นมา



รูปที่ 2.1 ต้นปาล์มและสวนปาล์มน้ำมัน

สำหรับในประเทศไทย ตามหลักฐานพบว่าได้มีผู้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกที่จังหวัดสงขลา ก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง และต่อมาในปี พ.ศ. 2511 ก็ได้มีการปลูกปาล์มน้ำมันในเชิงการค้าเป็นครั้งแรกที่จังหวัดกระบี่และสตูล โดยนำพันธุ์ปาล์มมาจากมาเลเซียทั้งหมด ต่อมาก็มีการปลูกสวนปาล์มกันอย่างแพร่หลายในอีกหลายจังหวัดได้แก่ ตรัง สุราษฎร์ธานี ชุมพร ภูเก็ต สงขลา และประจวบคีรีขันธ์ จนกระทั่งกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในปัจจุบัน เนื่องจากสภาพภูมิอากาศในภาคใต้ของไทยเหมาะสมต่อการปลูกปาล์ม ปัจจุบันการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลตอบแทนที่สม่ำเสมอและมีอายุการเก็บเกี่ยวผลที่นานประมาณ 25 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบกับน้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆได้อย่างมากมาย ทั้งเครื่องอุปโภคและบริโภค เช่น น้ำมันบริโภค สบู่ ครีมเทียม ส่วนผสมในผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น

นอกจากนี้ยังเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากราคาน้ำมันปาล์มค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่นที่ผลิตได้ในประเทศไทย จึงทำให้น้ำมันปาล์มครองส่วนแบ่งการตลาดน้ำมันพืชสูงสุดในตลาดภายในประเทศ นอกจากนี้พื้นที่ภาคใต้แล้ว ยังมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันไปยังภาคตะวันออก เนื่องจากมีลักษณะภูมิอากาศคล้ายคลึงกับภาคใต้

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชยืนต้นที่อยู่ในตระกูลปาล์ม (Family Palmae) แต่มีความแตกต่างจากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอย่างเห็นได้ชัดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq. ในการจำแนกพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมันสามารถจำแนกได้ดังนี้

Division: Spermatophyta
 Subdivision: Angiospermae
 Class: Monocotyledon
 Family: Palmae
 Subfamily: Cocoideae
 Genus: Elaeis

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตและเนื้อที่ปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทยช่วงปี 2538-2543

ปี	เนื้อที่ให้ผล(1,000 ไร่)	ผลผลิต(1,000ตัน)	ผลผลิตต่อไร่(กก.)
2538	958.885	2,255.292	2,352
2539	1,022.851	2,687.862	2,628
2540	1,096.615	2,681.294	2,445
2541	1,128.289	2,464.773	2,185
2542	1,245.863	3,512.370	2,819
2543	1,301.618	3,403.731	2,615
อัตราเพิ่ม(%)	6.42	8.32	1.79

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

2.1.1 แปรรูปปาล์มน้ำมัน [3]

ในส่วนของ การแปรรูปปาล์มน้ำมันนั้นเป็นกระบวนการอุตสาหกรรมต่อเนื่องซึ่งประกอบด้วยกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) การแปรรูปขั้นต้น ได้แก่ การสกัดหรือหีบเอาน้ำมันออกจากเปลือกผลปาล์มซึ่งเรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil-CPO)
- 2) การแปรรูปขั้นที่สอง เป็นการนำเอาน้ำมันปาล์มมาทำการกลั่นให้บริสุทธิ์ โดยแยกเอาสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกจากน้ำมันดิบเพื่อนำไปใช้ในการอุปโภคบริโภคต่อไป
- 3) การแปรรูปขั้นสุดท้าย เป็นการนำเอาส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการแปรรูปในขั้นที่สองไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ กัน

2.1.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการผลิตเริ่มจากนำทะลายปาล์มสดมาอบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 120-130 องศาเซลเซียส มีความดันประมาณ 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลาประมาณ 45 นาที การอบทะลายมีจุดมุ่งหมายที่จะหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซิสที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มและทำให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มและฉีกหลุดจากทะลายได้ง่าย ทะลายปาล์มที่อบแล้วจะถูกนำไปป้อนเข้าเครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะลายที่หมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 23 รอบต่อนาที ทะลายปาล์มเปล่าจะถูกลำเลียงไปเข้าเตาเผาทะลาย เพื่อทำเป็นปุ๋ยต่อไป ส่วนผลปาล์มก็จะถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์ม ซึ่งมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอก ข้างในมีใบพัดกววนผลปาล์มให้เส้นใยฉีกย่อยออกจากเมล็ด และเซลล์น้ำมันแตกตัวออกมาเพื่อง่ายต่อการหีบน้ำมัน เวลาที่ใช้กวนนานประมาณ 15-20 นาที จากนั้นก็จะถูกป้อนเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัดซึ่งส่วนมากเป็นเกลียวอัดคู่ซึ่งทำงานโดยอัตโนมัติ น้ำมันที่สกัดได้จะส่งไปเข้าถังกรองซึ่งจะแยกน้ำมันออกจากน้ำกับเศษเส้นใยและสิ่งสกปรกอื่น ๆ แล้วก็นำไปเข้าเครื่องเหียงเพื่อแยกน้ำมันให้ใสสะอาดขึ้น จากนั้นก็นำไปไล่ความชื้นให้ได้มาตรฐาน แล้วก็นำไปเก็บในถังน้ำมันขนาดใหญ่เพื่อเตรียมส่งจำหน่ายโรงงานกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์ต่อไป

ข้อดีของกระบวนการผลิตแบบนี้คือ เครื่องจักรมีประสิทธิภาพการหีบน้ำมันสูง และสามารถผลิตน้ำมันที่มีคุณภาพค่อนข้างได้มาตรฐาน และเนื่องจากกำลังผลิตสูงจึงผลิตน้ำมันได้เป็นปริมาณมากพอที่จะส่งให้โรงงานกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์ แต่ปัญหาของกระบวนการผลิตประเภทนี้คือจะมีน้ำเสียออกจากกระบวนการผลิตด้วยประมาณ 25 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การกลั่นน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์

ในการแปรรูปขั้นที่สองคือ การกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์นั้นเป็นการนำเอาน้ำมันปาล์มดิบมาจัดเอาสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกไป จนกระทั่งน้ำมันมีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานที่กำหนด สำหรับสารเจือปนในน้ำมันดิบจำแนกได้ 3 กลุ่มดังนี้

- 1) *กลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic)* ประกอบด้วยความชื้น สิ่งสกปรก กรดไขมันอิสระ กลีเซอไรด์และเอนไซม์ต่าง ๆ
- 2) *กลุ่มออกซิเดทีฟ (Oxidative)* ประกอบด้วย เศษโลหะ สารออกซิเดชันต่าง ๆ เม็ดสี โทโคเฟอรอล (Tocopherols) และ ฟอสฟาไทด์ (Phosphatides)
- 3) *สารที่เป็นตัวเร่งให้เกิดสารพิษ* ได้แก่ สารประกอบจำพวกไนโตรเจน กำมะถัน และฮาโลเจน ตลอดจน ฟอสฟาไทด์ และสารออกซิเดชันต่าง ๆ ด้วย

กระบวนการกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์มีอยู่ 2 แบบคือ กระบวนการทางเคมี (Chemical Refine) กับกระบวนการทางกายภาพ (Physical Refine) ซึ่งแต่ละกระบวนการมีขั้นตอนดังนี้

2.1.3.1 กระบวนการทางเคมี

เป็นกระบวนการที่กลั่นน้ำมันให้บริสุทธิ์โดยใช้สารเคมีเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจึงค่อนข้างสูง และยังมี การสูญเสียน้ำมันในระหว่างการผลิตมาก กระบวนการผลิตเริ่มด้วยการกำจัดสารเจือปนจำพวกฟอสโฟไลปิด หรือฟอสฟาไทด์ออกไปก่อนด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ต่อจากนั้นก็ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ เรียกว่ากระบวนการทำให้เป็นกลาง (Neutralization) โดยใช้สารละลายโซดาไฟ ซึ่งจะทำปฏิกิริยาได้เป็นโซสบู่ ซึ่งเป็นสารแขวนลอยและละลายในน้ำได้ เมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง ก็จะได้น้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.3% ออกมา จากนั้นน้ำมันจะถูกนำไปไล่ความชื้นออกแล้วนำไปฟอกสีด้วยดินฟอกสีที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เมื่อฟอกสีแล้วก็นำไปกรองเอาดินฟอกออกด้วยเครื่องกรอง ต่อจากนั้นก็ผ่านเข้ากระบวนการกำจัดกลิ่น (Deodorization) ซึ่งเป็นการพ่นไอน้ำเข้าไปภายใต้สุญญากาศเพื่อแยกเอากรดที่หลงเหลืออยู่พร้อมทั้งแอลดีไฮด์และคีโตน ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้น้ำมันเหม็นออกไป

2.1.3.2 กระบวนการทางกายภาพ

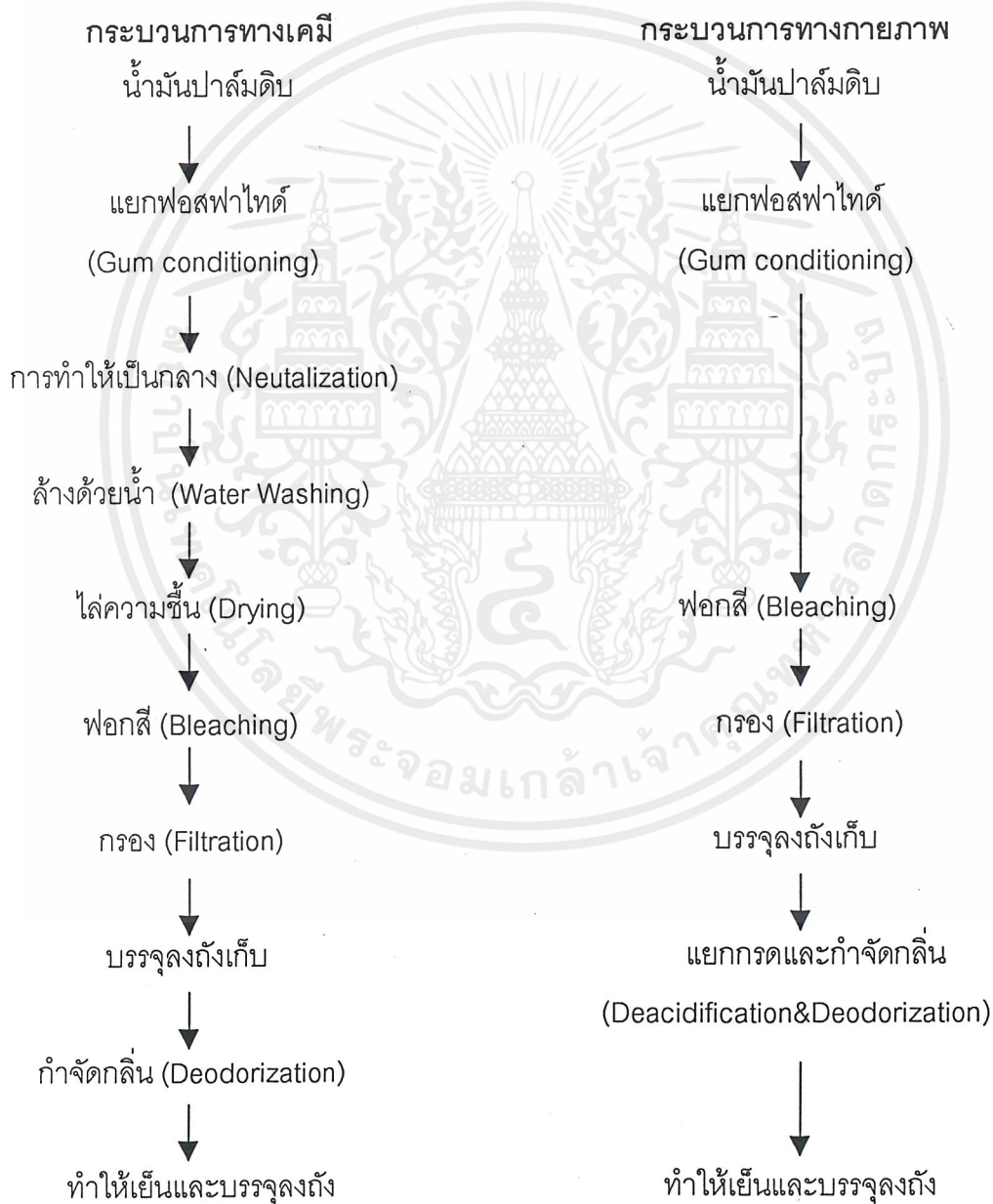
เป็นกระบวนการต่อเนื่องซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ คือ

- 1) การกำจัดสิ่งเจือปนจำพวกฟอสฟาไทด์และโปรตีนด้วยกรดฟอสฟอริกเช่นเดียวกัน สารเจือปนจะรวมตัวกันเป็นก้อน (Coagulation)

2) ทำการฟอกสีน้ำมันด้วยดินฟอก ประมาณ 1-2% จากนั้นก็ผ่านเข้าเครื่องกรองเพื่อแยกเอาดินฟอก ตลอดจนตะกอนของฟอสฟาไทด์และโปรตีนออกจากน้ำมัน

3) การกำจัดกรด พร้อมกับกำจัดกลิ่น เพื่อแยกเอากรดไขมันอิสระและสารออกซิเดชัน เม็ดสี แอลดีไฮด์ และคีโตนออกจากน้ำมัน โดยพ่นไอน้ำที่อุณหภูมิ 240-260 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะอากาศที่ 1-4 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง

กระบวนการทางกายภาพมีข้อดีหลายประการคือ ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจะต่ำกว่า เพราะใช้สารเคมีน้อย และน้ำมันไม่สูญเสียมาก กระบวนการแบบนี้สามารถแยกเอากรดไขมันอิสระที่ความบริสุทธิ์สูงถึง 95% ออกมาได้ ซึ่งจะนำไปแยกส่วนทำผลิตภัณฑ์ได้มากมายหลายชนิด ประการสุดท้าย จะไม่มีน้ำเสียที่เกิดจากการล้างไขมัน



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการกลั่นน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางเคมีและกายภาพ

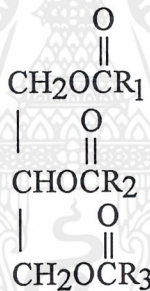
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 สัดส่วนของการใช้น้ำมันปาล์ม [4]

บริโภคน้ำมัน	67.97%
นมข้นหวานและนมจืด	4.81%
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	6.40%
เนยขาวและเนยเทียม	1.00%
ครีมเทียม	1.36%
ของว่างและขนมขบเคี้ยว	9.37%
สบู่อ่อน	10.13%
อุปกรณ์อื่น ๆ	8.29%

2.1.5 โมเลกุลของน้ำมันปาล์ม [3]

น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มก็เหมือนกับน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่ทานได้ (edible oil) ชนิดอื่น ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง มะกอก มันหมู มันวัว เป็นสารอินทรีย์จำพวกหนึ่ง เรียกว่า เอสเทอร์ (ester) มีสูตรทั่วไปดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โมเลกุลของน้ำมันปาล์ม

กรดอินทรีย์ที่ได้มาจากน้ำมันหรือไขมันจึงนิยมเรียกว่ากรดไขมัน (fatty acid) ส่วนกรดไขมันที่พบในน้ำมันพืชรวมทั้งในน้ำมันปาล์ม นิยมเรียกว่ากรดไขมันอิสระ (free fatty acid) กรดไขมันอิสระ เดิมก็เป็นเอสเทอร์แต่โมเลกุลได้แตกสลายลงโดยเอนไซม์หรือโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

2.1.6 ธรรมชาติของกรดอินทรีย์ในน้ำมันปาล์ม

หมู่ R ในสูตรโมเลกุลของน้ำมันแทนไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาว แต่ละโซ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมไม่เท่ากัน ทั่วไปมีจำนวนคาร์บอน 11-19 ตัว นอกจากนี้แล้วโซ่คาร์บอนอาจจะอิ่มตัว (saturated) หรือไม่อิ่มตัว (unsaturated) ก็ได้ โซ่คาร์บอนอิ่มตัวหมายถึงพันธะระหว่างคาร์บอน-

คาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยวหมด ส่วนโซ่คาร์บอนไม่อิ่มตัวคือมีพันธะระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนเป็นพันธะคู่ ซึ่งอาจมีเพียงพันธะเดียว หรือมากกว่านั้นก็ได้

กรดไขมันที่มีหมู่ R เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวเรียกว่า กรดไขมันอิ่มตัว ที่มีความไม่อิ่มตัวอยู่ด้วยเรียกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันที่ยังมีพันธะคู่มาก ยิ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากตามลำดับ

ถ้าเอสเทอร์ (น้ำมัน) มีกรดไขมันเป็นแบบอิ่มตัว เรียกว่าน้ำมันหรือไขมันอิ่มตัว ตรงกันข้ามถ้ามีกรดไขมันเป็นแบบไม่อิ่มตัว ก็เรียกว่าน้ำมันหรือไขมันไม่อิ่มตัว ความอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวของกรดอินทรีย์ในโมเลกุลของน้ำมัน (เอสเทอร์) มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำมันนั้น น้ำมันที่มีความไม่อิ่มตัวมากจะมีจุดหลอมเหลวต่ำ ยิ่งมีความไม่อิ่มตัวมากจะมีจุดหลอมเหลวต่ำลงมาก ในโมเลกุลของน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่มากจึงปรากฏเป็นของเหลว (น้ำมัน) ที่อุณหภูมิห้อง น้ำมันบางชนิด เช่น มันหมู มีหมู่ R ส่วนใหญ่อิ่มตัวจึงมีจุดหลอมเหลวสูง มันหมูจึงปรากฏเป็นของแข็ง (ไขมัน) ที่อุณหภูมิห้อง

2.1.7 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม

จากการนำน้ำมันปาล์มมาวิเคราะห์ โดยทำให้โมเลกุลของเอสเทอร์แตกสลายเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน แล้ววิเคราะห์กรดไขมันที่ได้ ผลของการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 กรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในน้ำมันปาล์ม

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	จำนวนพันธะคู่	สูตรโครงสร้าง	%
กรดไขมันอิ่มตัว				
ไมริสติก (Myristic)	14	-	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	2
ปาล์มมิติก (Palmitic)	16	-	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	43
สเตียริก (Stearic)	18	-	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	7
กรดไขมันไม่อิ่มตัว				
โอเลอิก (Oleic)	18	1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	39
ลิโนเลอิก (Linoleic)	18	2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	9

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณเกือบเท่า ๆ กัน และองค์ประกอบของกรดไขมันข้างต้นอาจผันแปรได้บ้างขึ้นกับพันธุ์ปาล์ม ดินฟ้าอากาศ และสถานที่เพาะปลูก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ในน้ำมันปาล์มยังมีสารอื่นอยู่บ้างเล็กน้อยที่โมเลกุลไม่ใช่เอสเทอร์ประกอบด้วย

ชื่อ	ปริมาณ(ppm)
แคโรทีนอยด์ (Carotenoids)	500-700
โทโคเฟอรอล (Tocopherols)	500-800
สเตอรอล (Sterols)	300
ฟอสฟาไทด์ (Phosphatides)	500-1000
แอลกอฮอล์ (Alcohol)	800

2.1.8 ปฏิกริยาของน้ำมัน [5]

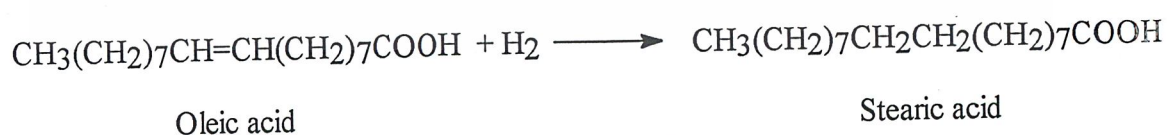
เนื่องจากน้ำมันปาล์ม (รวมทั้งน้ำมันที่ทานได้ชนิดอื่น ๆ) เป็นเอสเทอร์จึงสามารถเกิดปฏิกริยาทางเคมีของเอสเทอร์ทั่ว ๆ ไปที่สำคัญมีดังนี้

1) ปฏิกริยาซาปอนนิฟิเคชัน (Saponification) น้ำมันพืชและไขสัตว์สามารถทำปฏิกริยากับเบสแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ได้กลีเซอรอลและเกลือของกรดไขมัน ซึ่งก็คือสบู่นั่นเอง



รูปที่ 2.5 สมการเคมีแสดงปฏิกริยาซาปอนนิฟิเคชัน

2) ปฏิกริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) ไขมันหรือน้ำมันที่ไม่อิ่มตัวอาจทำให้อิ่มตัวได้โดยการเติมไฮโดรเจนให้กับพันธะคู่ในโมเลกุล ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและมีตัวเร่งด้วย ผลิตภัณฑ์หลังเติมไฮโดรเจนมีจุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้น เป็นการเปลี่ยนจากน้ำมันที่เป็นของเหลวไปเป็นของแข็ง

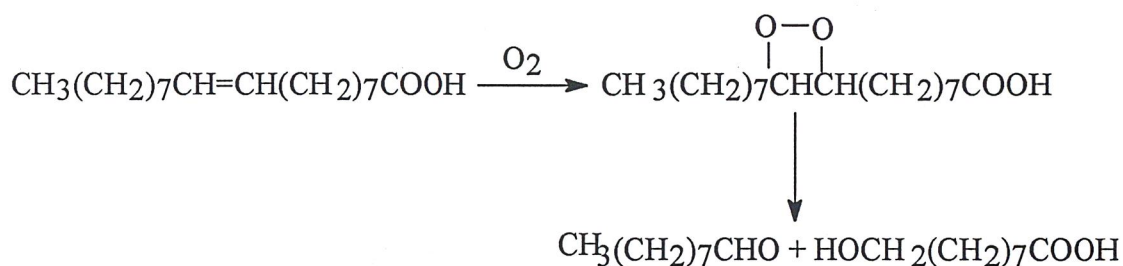


รูปที่ 2.6 ปฏิกริยาการเติมไฮโดรเจน

3) ปฏิกริยาการเติมออกซิเจน (Oxidation) น้ำมันหรือไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะถูกออกซิไดซ์ช้า ๆ โดยบรรยากาศออกซิเจนไปเป็นผลผลิตต่าง ๆ เช่น ไปเป็นกรดคีโตน หรือกรดไฮดรอกซีคีโตน การเหม็นหืน (rancidity) เชื่อกันว่าเกิดจากการออกซิเดชันโดยกระบวนการนี้ การเหม็นหืนยังเป็นผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการไฮโดรไลส์ไขมัน ซึ่งจะให้กรดไขมันอิสระออกมา ถ้าเป็นกรดไขมันขนาดเล็กจะระเหยได้ทำให้น้ำมันมีกลิ่นเหม็นด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.7 สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน

2.2 ดีเซลชีวภาพ [6]

ดีเซลชีวภาพ คือเชื้อเพลิงเหลวซึ่งผลิตได้จากกระบวนการที่เรียกว่า ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) ของน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และ/หรือน้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็ก ในเมทานอล (methanol) โดยมีโซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (catalyst) เปลี่ยนไขมันให้เป็น โมโนอัลคิลเอสเทอร์ (mono alkyl esters) และกลีเซอริน (glycerine) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่มีค่าทางอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง เอสเทอร์ชนิดนี้มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซล ใช้แทนดีเซลหรือเติมเป็นส่วนผสมในดีเซล ใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์แต่อย่างใด และให้พลังงานเช่นเดียวกับน้ำมันดีเซลปกติ

ดีเซลชีวภาพได้รับการจดทะเบียนเป็นเชื้อเพลิงบริสุทธิ์หรือสารเติมเชื้อเพลิงโดย EPA และจัดอยู่ในเชื้อเพลิงที่ถูกต้องตามกฎหมายการค้า

2.2.1 ความเป็นมาของดีเซลชีวภาพ

ดีเซลชีวภาพเป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 อาฟริกาใต้ได้ใช้เชื้อเพลิงชนิดนี้ขับเคลื่อนยานยนต์หนัก ภายหลังจากวิกฤตการณ์น้ำมันเมื่อปลายปี พ.ศ. 2522 หลายหน่วยงานในภาครัฐและสถาบันการศึกษาของกลุ่มประเทศผู้ใช้น้ำมัน ได้ทำการวิจัยและพัฒนาคุณภาพเชื้อเพลิงชนิดนี้ จนกระทั่งสามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

ด้วยเหตุผลทางสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจภายในประเทศ ทำให้มีการใช้ดีเซลชีวภาพไปทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2534 กลุ่มอียูเสนอลดภาษี 90% สำหรับการใช้น้ำมันชีวภาพ ซึ่งรวมทั้งดีเซลชีวภาพด้วย ปัจจุบันมีโรงงานผลิตดีเซลชีวภาพขนาดกำลังผลิตปีละ 5.7 ล้านลิตร (1.5 ล้านแกลลอน) ขึ้นแล้วหลายแห่งทั้งในยุโรปและอเมริกา

พรีคเตอร์แอนด์แกมเบล เป็นบริษัทผู้ผลิตของสหรัฐที่ผลิตดีเซลชีวภาพซึ่งส่วนใหญ่มาจากน้ำมันถั่วเหลือง และมีโปรแกรมสาริตการใช้ดีเซลชีวภาพหลากหลาย ในยานพาหนะมากกว่า 200 ชนิด เช่น รถโดยสาร รถบรรทุก เครื่องจักรกลในการก่อสร้างและบำรุงรักษา และเรือยนต์

2.2.2 วิธีการผลิตดีเซลชีวภาพ [7]

1) การผสม (blending) เป็นการนำน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนโดยมวลต่างๆ เพื่อให้ความหนืดของน้ำมันพืชลดลง โดยสามารถผสมน้ำมันพืช ได้ตั้งแต่ 10 % ขึ้นไปตามความเหมาะสม โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์

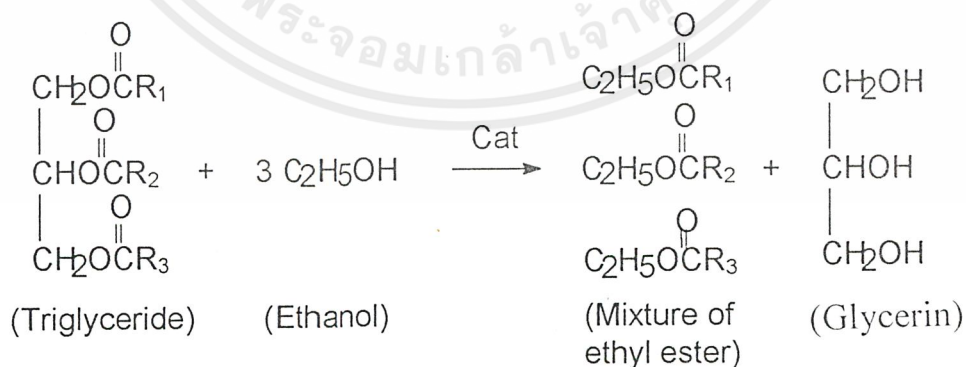
2) ไมโครอิมัลชัน (microemulsions) เป็นการลดความหนืดของน้ำมันพืช โดยการทำให้ของเหลวกระจายตัวในรูปอิมัลชันด้วยการผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้น เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล โดยสามารถนำไปฉีดเป็นฝอยได้

3) การแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) โดยการให้ความร้อนแก่น้ำมันพืช ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน เพื่อให้ไขมันแตกเป็นโมเลกุลที่เล็กลง

4) ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) เป็นการทำปฏิกิริยาของไขมัน (ไตรกลีเซอไรด์) กับแอลกอฮอล์ โดยมีด่าง กรด หรือเอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะทำให้ได้เอสเทอร์และกลีเซอริน จากการศึกษาค้นคว้าวิจัยเบื้องต้น กระบวนการที่นิยมใช้ คือ ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

2.2.3 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) [8]

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมัน เป็นปฏิกิริยาสังเคราะห์ที่มีการเคลื่อนย้ายหมู่อัลคิลของสารประกอบเอสเทอร์ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างเอสเทอร์กับแอลกอฮอล์ โดยมีด่าง กรด หรือเอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



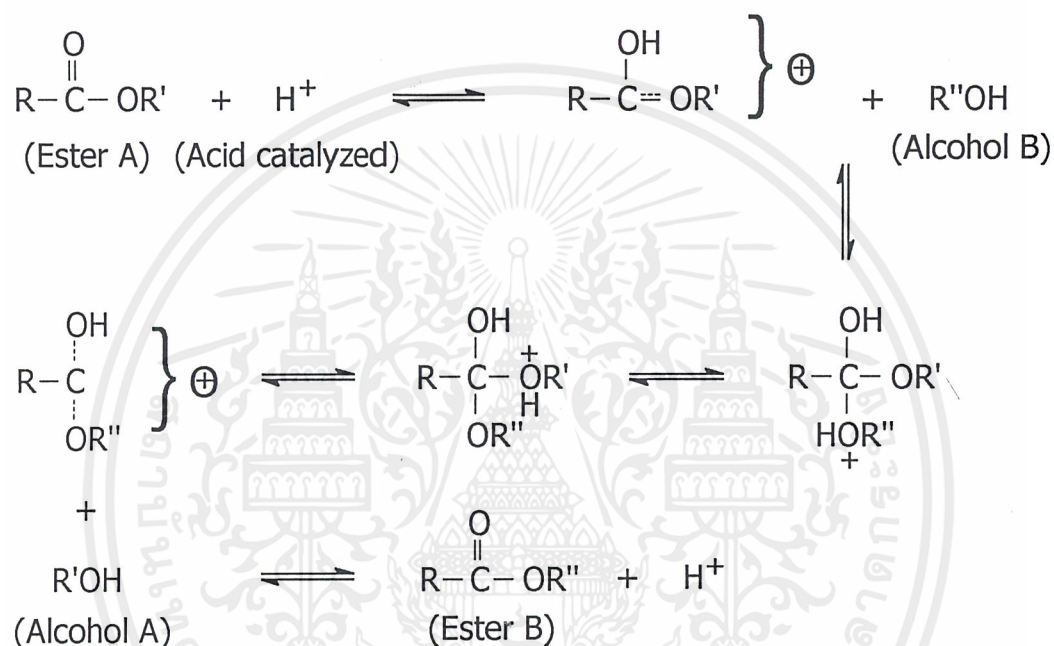
รูปที่ 2.8 สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันจะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้เอทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรินออกมา ซึ่งปริมาณของผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการทดลอง โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ อัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ความชื้น ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

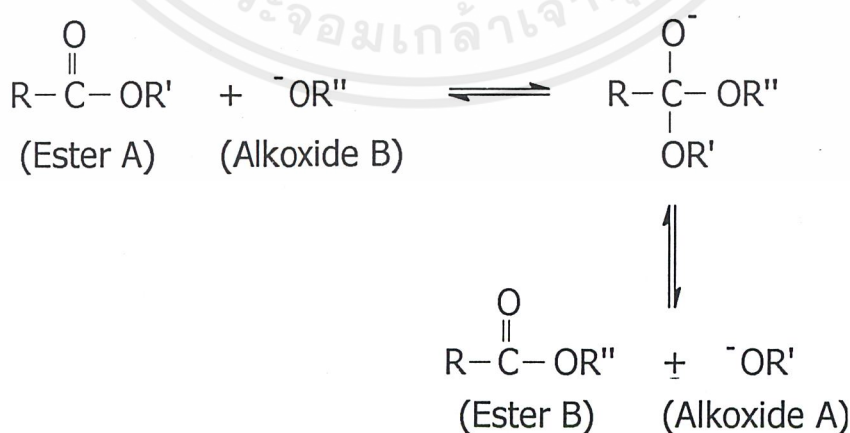
2.2.3.1 กลไกปฏิกิริยา [9]

1) กรณีที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (acid catalyzed)



รูปที่ 2.9 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2) กรณีที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (base catalyzed)



รูปที่ 2.10 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 คุณสมบัติของดีเซลชีวภาพ [6]

ดีเซลชีวภาพมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับดีเซลปกติมาก แต่ให้การเผาไหม้ที่สะอาดกว่า ไอเสียมีคุณภาพที่ดีกว่า ทั้งนี้เพราะออกซิเจนในดีเซลชีวภาพให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าดีเซลปกติ จึงมีคาร์บอนมอนนอกไซด์น้อยกว่า และเนื่องจากไม่มีกำมะถันในดีเซลชีวภาพ จึงไม่มีปัญหาสารซัลเฟต นอกจากนี้ยังมีเขม่าคาร์บอนน้อย จึงไม่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบไอเสียได้ง่าย ช่วยยืดอายุการทำงานของเครื่องยนต์เป็นอย่างดี

2.2.5 การใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน

จากข้อดีหลายประการในด้านความปลอดภัย เช่น มีจุดวาบไฟสูง ไม่ระเบิดง่าย มีความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ต่ำมาก และย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติ ดีเซลชีวภาพจึงเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกอีกชนิดหนึ่งสำหรับรถยนต์

ดีเซลชีวภาพสามารถใช้ได้ทันที ไม่ว่าจะ เป็นเครื่องยนต์ ระบบสันดาป หัวฉีด ที่ใช้กับดีเซลมาตรฐานโดยทั่วไป แต่เนื่องจากคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายของดีเซลชีวภาพ อาจจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนท่อส่งเชื้อเพลิงบางส่วน ส่วนกำลังม้าที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับดีเซลปกติแทบไม่มีอะไรที่แตกต่างกันเลย ผลการทดสอบบนทางหลวงของเมอร์เซเดส-เบนซ์ชี้ให้เห็นว่าต่อระยะทาง ดีเซลชีวภาพเทียบได้กับดีเซลปกติ และผลการทดสอบของสถาบันวิศวกรรมเกษตรของออสเตรเลียพบว่าการใช้ น้ำมันหล่อลื่นและอัตราการสึกหรอของเครื่องยนต์เทียบเท่ากับการทำงานของดีเซลปกติ

นอกจากจะใช้เป็นเชื้อเพลิงเดี่ยวแล้ว ดีเซลชีวภาพยังใช้เป็นตัวเติมในดีเซลปกติให้น้ำมันผสมระดับต่างๆ เพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้และปล่อยไอเสีย ทางด้านค่าความร้อนดีเซลชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำกว่าดีเซลหมายเลข 2 เพียงเล็กน้อย แต่สูงกว่าดีเซลหมายเลข 1 แม้มีปริมาณของดีเซลชีวภาพเพียงเล็กน้อยในดีเซลปกติก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพหล่อลื่นให้ฟรีเมียมดีเซลอย่างมาก

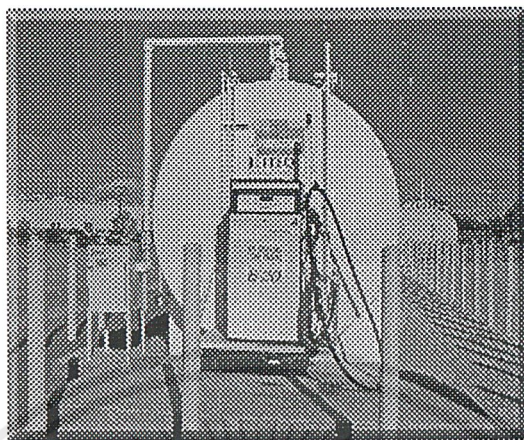
ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ดีเซลชีวภาพวางขายในท้องตลาดของประเทศสหรัฐอเมริกาบ้างแล้ว เช่น Soy Guard, Soy Shield, U.S. Soy หรือ U.S. Soy 50 เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเชื้อเพลิงที่เรียกว่า B20 ซึ่งเป็นส่วนผสมของดีเซลปกติ 80% และดีเซลชีวภาพ 20% ใช้ในโครงการสาธิตของหน่วยงานของรัฐหลายแห่ง

2.2.6 อนาคตของดีเซลชีวภาพ

สมาคมเชื้อเพลิงชีวภาพแห่งสหรัฐอเมริกาคาดว่า จากแรงจูงใจของรัฐบาล การใช้ดีเซลชีวภาพของสหรัฐในต้นศตวรรษนี้จะถึงระดับ 2 พันล้านแกลลอนต่อปี หรือประมาณ 8% ของการบริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีเซลบนทางหลวง ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ในขบวนรถโดยสาร และรถบรรทุกขนาดเล็ก ในรูปของ B20



รูปที่ 2.11 ป้อน้ำมันดีเซลชีวภาพ B20

แม้ว่าการใช้ดีเซลชีวภาพจะยังอยู่ในวงแคบ ในประเทศอุตสาหกรรมบางประเทศ เช่น สหรัฐ แคนาดา และ เยอรมันนี่ เป็นต้น แต่เหตุผลทางสิ่งแวดล้อม และการพึ่งพาตนเอง ทำให้การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ เช่นดีเซลชีวภาพ จะแพร่หลายไปทั่วโลกแน่นอนในอนาคต

เฉพาะในสหรัฐอเมริกา ประเทศเดียวกฎหมายว่าด้วยอากาศบริสุทธิ์ (CAAA) และ นโยบายพลังงาน (EPACT) จะทำให้มีการใช้ดีเซลชีวภาพ ทดแทนดีเซลปกติมากขึ้น เพราะรถยนต์ที่ใช้ในหน่วยงานของรัฐบาลสหรัฐ ถูกกำหนดให้ต้องใช้เชื้อเพลิงทางเลือกในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น จาก 10% ในปี พ.ศ. 2540 เป็น 75% นับแต่ปี พ.ศ. 2544 เป็นต้นไป

2.2.7 กระบวนการผลิตดีเซลชีวภาพ [8]

- 1) นำน้ำมันพืชหรือน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาซึ่งให้น้ำมันที่แน่นอน แล้วทำการอุ่นให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิที่พอเหมาะ
- 2) ชั่งแอลกอฮอล์ในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งโดยปกตินิยมใช้ที่อัตราส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เท่ากับ 1 ต่อ 6 โมล
- 3) ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา(เบส)ในอัตราส่วนที่เหมาะสมซึ่งโดยปกติ นิยมใช้ที่ 0.1-1 % โดยน้ำหนักของน้ำมัน แล้วนำมาละลายในแอลกอฮอล์ที่เตรียมไว้
- 4) ทำการปั่นกววนสารละลายแอลกอฮอล์ จนสารละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- 5) ทำการให้ความร้อนสารละลายแอลกอฮอล์ จนมีอุณหภูมิที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) นำสารละลายแอลกอฮอล์ที่ได้ผสมกับน้ำมันพืชที่เตรียมไว้ โดยทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิคงที่ (ปกติใช้ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์แต่ละชนิด) เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ทำการปั่นกวนจนกระทั่งปฏิกิริยาลิ้นสุด

7) ตั้งทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้นระหว่างดีเซลชีวภาพกับกลีเซอริน ซึ่งดีเซลชีวภาพจะแยกอยู่ชั้นบน ส่วนกลีเซอรินจะแยกชั้นอยู่ด้านล่าง

8) ทำการถ่ายแยกชั้นกลีเซอรินออกจากดีเซลชีวภาพ

9) นำดีเซลชีวภาพที่ได้ไปล้างด้วยน้ำ เพื่อกำจัดแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากปฏิกิริยาออก ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ถ้าแอลกอฮอล์กับตัวเร่งปฏิกิริยา ยังเหลืออยู่ จะได้ดีเซลชีวภาพที่มีฤทธิ์เป็นเบส

10) ทำการล้างดีเซลชีวภาพด้วยน้ำไปจนกระทั่งดีเซลชีวภาพที่ได้มีฤทธิ์เป็นกลาง และตั้งทิ้งไว้ทำให้เกิดการแยกชั้น

11) ทำการถ่ายแยกชั้นน้ำออกจากดีเซลชีวภาพ (โดยดีเซลชีวภาพจะอยู่ชั้นบน ส่วนน้ำจะแยกอยู่ชั้นล่าง)

2.2.8 ประโยชน์ของอัลคิลเอสเทอร์และกลีเซอริน [10,11]

2.2.8.1 อัลคิลเอสเทอร์ นำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมดังนี้

- 1) สารปรับสภาพพลาสติก
- 2) สารหล่อลื่น
- 3) สารเคมีที่ใช้ในการเกษตร
- 4) สารชักฟอก
- 5) อิมัลซิฟายเออร์
- 6) สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
- 7) เครื่องสำอาง
- 8) เวชภัณฑ์

ส่วนสารมัธยันต์อื่น ๆ ที่ได้จากเมทิลเอสเทอร์นำไปใช้ทำ สบู่ ยาสระผม ยาฆ่าเชื้อโรค และสารป้องกันการเกิดฟอง เป็นต้น

2.2.8.2 กลีเซอริน

กลีเซอริน (กลีเซอริน , กลีเซอรอล) คือ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ของการผลิตดีเซลชีวภาพ เป็นของเหลวหนืด ไม่มีพิษ สี กลิ่น และมีรสหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอรินที่จะนำไปจำหน่าย ต้องผ่านการทำให้เป็นกลาง โดยในการผลิตดีเซลชีวภาพ โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลีเซอรินที่ได้สามารถทำให้เป็นกลางโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก หรือโซเดียมคลอไรด์ สำหรับสีของกลีเซอรินสามารถขจัดออกได้โดยการกรองผ่าน ถ่าน การนำกลีเซอรินไปใช้ประโยชน์มีมากมาย ดังนี้

- 1) ใช้ในการถนอมอาหารและเครื่องสำอางประเภท เค้ก ลูกกวาด น้ำสลัด เนยเทียม เนื้อสัตว์ และอาหารสัตว์
- 2) ใช้เป็นส่วนผสมในยาและเภสัชภัณฑ์ รวมถึงแคปซูล ยาเหน็บทวารหรือช่องคลอด ยาที่ใช้ในการรักษาอาการติดเชื้อในหู ยาชา ยาแก้ไอ ยาอม น้ำยาบ้วนปาก ยาปฏิชีวนะ
- 3) ในเครื่องสำอางใช้เป็นยาสีฟัน ครีม โลชั่น ลิปสติก รองพื้น ยาดับกลิ่น
- 4) ใช้เพื่อลดการหดตัวของกระดาษในระหว่างการผลิต
- 5) ใช้ในการผลิตกระดาษห่ออาหาร
- 6) ใช้ทำหมึกพิมพ์
- 7) ทำสิ่งทอ เส้นใย รวมถึงการหล่อเส้นใยในการปั่นด้าย
- 8) เป็นสารหล่อลื่นสำหรับเครื่องจักรต่างๆ
- 9) ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

2.3 น้ำมันดีเซล [12]

น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel) เป็นผลิตภัณฑ์ ชนิดหนึ่งที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เรานิยมเรียกกันว่า น้ำมันโซล่า น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากน้ำมันอื่น เช่น เบนซิน น้ำมันก๊าด อากาศยานไอพ่น น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเป็นประเภทน้ำมันระเหยช้า (low Volatile) เนื่องจากมีจุดเดือดอยู่ระหว่าง 150 ถึง 385 องศาเซลเซียส น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว หรือ เรียกกันว่า โซล่า ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทั้งรถยนต์และเรือที่หมุนเกิน 1,000 รอบต่อนาที
2. น้ำมันดีเซลหมุนช้า หรือเรียกกันว่า น้ำมันซีโล ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลาง หรือรอบต่ำ กระทรวงพาณิชย์กำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลไว้ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซล [2]

ข้อกำหนด	น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (พ.ศ. 2541)	น้ำมันดีเซลหมุนช้า (พ.ศ. 2523)
1.ความถ่วงจำเพาะที่ 15.6 องศาเซลเซียส	0.81-0.87	ไม่สูงกว่า 0.92
2.ค่าซีเทน (cethane number)	ไม่ต่ำกว่า 47	ไม่ต่ำกว่า 45
3.ค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (cSt)	1.8-4.1	ไม่สูงกว่า 8
4.ค่าไหลเท (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 10	ไม่สูงกว่า 16
5.ปริมาณกำมะถัน (%โดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.05	ไม่สูงกว่า 1.5
6.น้ำ/ตะกอน (%โดยปริมาตร)	ไม่สูงกว่า 0.05	ไม่สูงกว่า 0.3
7.ปริมาณเถ้า (%โดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.01	ไม่สูงกว่า 0.02
8.จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ไม่ต่ำกว่า 52	ไม่ต่ำกว่า 52
9.การกัดกร่อนแผ่นทองแดงที่ 50°C 3 ชั่วโมง	ไม่สูงกว่า #1.0	-
10.กากคาร์บอน (%โดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.05	-
11. 90%การกลั่น (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 357	-
12.คุณสมบัติการหล่อลื่นทดสอบโดย HFRR (ไมโครเมตร)	ไม่สูงกว่า 460	-
13.สี	ไม่สูงกว่า 4 (ASTM)	4.5-7.5 (ASTM)

2.3.1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล [12]

2.3.1.1 ค่าซีเทน (Cetane Number) หรือดัชนีซีเทน (Cetane Index)

ค่าซีเทนแสดงถึงคุณภาพการจุดระเบิดของน้ำมัน (Ignition quality) เป็นตัวเลขที่บ่งชี้ถึงความล่าช้าในการติดไฟ (Ignition delay) ของน้ำมันที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์มาตรฐาน (Cooperative Fuels Research) โดยการตั้งมาตรฐานให้ไฮโดรคาร์บอน Normal Cetane ($C_{16}H_{34}$) ซึ่งลุกติดไฟง่ายมีค่าซีเทนเป็น 100 เท่า และใช้ Alpha-methyl-naphthalene ($C_{11}H_{10}$) ซึ่งลุกติดไฟยากมีค่าซีเทนเป็น 0 แต่หลังจากปี พ.ศ. 2505 เป็นต้นมามีการใช้ Heptamethylnonane เป็นมาตรฐานแทน Alpha-methyl-naphthalene โดยตั้งให้มีค่าซีเทน เป็น 15

$$\text{ค่าซีเทน} = \% \text{ n-cetane} + 0.15 (\% \text{ Heptamethylnonane})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากค่าความล่าช้าในการติดไฟ (Ignition delay) สั้น ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลจะสูงขึ้น ปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมในห้องเผาไหม้จะลดลงก่อนการลุกติดไฟ ดังนั้นน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงจะทำให้การควบคุมการเผาไหม้ทำได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น

เนื่องจากการหาค่าซีเทนต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลพิเศษ โดยเฉพาะในการเปรียบเทียบคุณภาพในการจุดระเบิดกับเชื้อเพลิงมาตรฐาน วิธีนี้ ใช้ค่าใช้จ่ายสูง และสิ้นเปลืองเวลา ปัจจุบันจึงมีการประมาณเป็นดัชนีซีเทนซึ่งคำนวณได้จากการวัดค่าความถ่วง (API Gravity) และอุณหภูมิการกลั่นที่ 50 % (Mid Boiling Point)

น้ำมันดีเซลที่มีค่าดัชนีซีเทนที่พอเหมาะจะช่วยให้เครื่องยนต์ติดง่าย เครื่องเดินเรียบมีควันและเขม่าน้อย และประหยัดเชื้อเพลิงอีกด้วย

2.3.1.2 จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล เป็นอุณหภูมิซึ่งเชื้อเพลิงถูกให้ความร้อนแล้วก่อให้เกิดส่วนผสมของไอน้ำมันและอากาศที่จุดติดไฟได้เหนือผิวหน้าของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อมีน้ำมันเป็นตัวล่อ ซึ่งวิธีการทดสอบมาตรฐานที่ใช้สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล คือ วิธีการ Pensky-Mearthen Closed cup (ASTM D-93 -IP34) ในทางปฏิบัติ จุดวาบไฟมีความสำคัญในด้านอันตรายจากอัคคีภัย ในการขนส่งและการใช้งานเท่านั้น แต่ไม่มีความสำคัญโดยตรงต่อการสันดาปและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังใช้จุดวาบไฟสำหรับการตรวจสอบหากมีน้ำมันชนิดเบาเจือปนอยู่

2.3.1.3 การกลั่น (Distillation)

ความสามารถในการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลนั้นวัดโดยการกลั่น (Distillation) ด้วยวิธีการของ ASTM-86 หรือ IP 123 ซึ่งวิธีทดสอบ คือ ทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอและจุดอุณหภูมิของไอเชื้อเพลิงสำหรับแต่ละเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันที่กลายเป็นไอไปตลอดช่วงการกลั่น

คุณสมบัติข้อนี้มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลโดยเฉพาะในเครื่องยนต์รอบปานกลางและรอบสูง สำหรับความสามารถในการระเหยที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับรอบ ขนาด และการออกแบบของเครื่องยนต์ การใช้เชื้อเพลิงที่ระเหยง่ายเกินไปจะทำให้กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจาก อาจเกิด Vapour lock ในระบบเชื้อเพลิงหรือหยดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดไม่สามารถที่จะไปไกลได้เท่าที่ควร โดยทั่วไปแล้วช่วงของการกลั่นของน้ำมันควรต่ำสุดโดยไม่ทำให้คุณสมบัติ ทางด้านจุดวาบไฟ การลุกติดไฟ ค่าความร้อน ตลอดจนความชื้นเสียไป

- อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 10 เปอร์เซ็นต์ (10% Distillation) เป็นจุดที่ จะทำให้ เครื่องยนต์ติดยากหรือง่าย ถ้าสูงเกินไปจะทำให้เครื่องยนต์ติดยาก จึงต้องมีข้อกำหนดจุด สูงสุดไว้ ถ้าต่ำมากไปอาจทำให้เกิด Vapour lock ได้ง่ายเช่นกัน
- อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 50 เปอร์เซ็นต์ (50% Distillation) เป็นจุดที่จะทำให้การ อุ่นเครื่องยนต์ทำได้เร็ว การกระจายไอน้ำมันไปยังกระบอกสูบต่างๆเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และปรับส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศได้ถูกต้องตลอดเวลาทำให้แรงเครื่องได้ดีเครื่องยนต์ มีพลังงานสูง ข้อกำหนดสำหรับ จุด 50 % นี้ต้องมีค่าต่ำสุดและสูงสุด เพื่อควบคุมให้กำลัง พอดี
- อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 90 เปอร์เซ็นต์ (90% Distillation) เป็นจุดสูงสุดที่กำหนด ไว้เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานให้ได้พลังงานสูงสุด และประหยัดเชื้อเพลิง
- จุดสุดท้าย (End point) และส่วนที่เหลือจากการกลั่น มีการกำหนดจุดสูงสุดไว้ เพื่อกันมิ ให้น้ำมันที่ไม่เผาไหม้ละลายลงในน้ำมันเครื่องมากเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสีย และน้ำ มันเสื่อมประสิทธิภาพ

การระเหยตัวและช่วงจุดเดือดที่เหมาะสม จะช่วยให้เครื่องยนต์ติดง่ายไม่เกิดเขม่า เกิด คันจากท่อไอเสียน้อย เครื่องยนต์มีกำลังและประหยัดเชื้อเพลิง

2.3.1.4 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด หรือความข้นใส คือ แรงต้านทานภายในตัวของน้ำมันต่อการไหล น้ำมันใสไหลได้ง่าย น้ำมันข้นไหลได้ช้า ความหนืดต้องเหมาะสม เพื่อให้ระบบการฉีดน้ำมัน (Injection System) ฉีดเป็นฝอยอย่างละเอียด ในขณะที่เดียวกันช่วยหล่อลื่นบีบเชื้อเพลิงแรงดันสูง ด้วย ถ้าน้ำมันข้นเกินไปจะไม่กระจายเป็นฝอย แต่ถ้าน้ำมันใสเกินไปก็ให้การหล่อลื่นไม่พอ

2.3.1.5 จุดไหลเท (Pour point)

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันสามารถไหลได้ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของ โลก ซึ่งการวัดใช้วิธีตาม ASTM D-97 ณ อุณหภูมิที่ องค์ประกอบของพวกที่เป็น พาราฟิน ของ น้ำมันดีเซลอาจแยกออกเป็นไขซึ่งจะอุดตันทางเดินของน้ำมันเชื้อเพลิงและหม้อกรองเชื้อเพลิง ทำ ให้เครื่องยนต์ทำงานผิดปกติ หรือดับในที่สุด ซึ่งอุณหภูมินี้จะเป็นเท่าใดขึ้นกับแหล่งน้ำมันดิบ และ ช่วงการกลั่นของน้ำมันนั้น

2.3.1.6 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur Content)

กำมะถันในเชื้อเพลิงเมื่อเผาไหม้จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และ ไทโรออกไซด์ (SO_3) แล้วทำปฏิกิริยากับน้ำ หรือ ความชื้น กลายเป็นกรดกำมะถัน กัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังทำให้น้ำมันเครื่องเกิดตะกอน (Sludge) หล่อลื่นได้ไม่ดี และทำให้เครื่องยนต์สกปรก ปริมาณกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบที่ใช้ในการกลั่น และกระบวนการกลั่นที่ใช้ ซึ่งกำมะถันสามารถอยู่ในรูปแบบต่างๆ ได้เช่น เมอร์แคปแทน (mercaptans) ซัลไฟด์ (sulphide) ไดซัลไฟด์ (disulphides) หรือสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic compounds) เช่น ไทโอเฟน (thiophens)

2.3.1.7 ค่าความร้อน (Heating value)

ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงคือปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิงเนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวก สารไฮโดรคาร์บอนเมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจน ผลของการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอยู่ในสถานะของไอน้ำ) ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนสูงสุด แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัว ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่ พ.ศ. 2524 เป็นต้นมา [2] ประเทศไทยได้มีงานวิจัยเรื่องการใช้ น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มเป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยได้ทดลองนำเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl ester) จากน้ำมันปาล์มหรือที่เรียกสั้น ๆ ว่าเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม มาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลด้วย เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่นำมาใช้ทดลองนี้ได้วิจัยผลิตขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบทำปฏิกิริยากับเมทานอล มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มที่ได้มีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ในการทดลองกับเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ให้กำลังเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซลทุกประการ อย่างไรก็ตามไม่มีรายงานการทดลองและผลที่มีต่อเครื่องยนต์เมื่อใช้ในระยะยาว

ในปี พ.ศ. 2527 B.Freedman และคณะ [13] ทำการทดลองผลิตดีเซลชีวภาพผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อผลผลิต (yield) และความบริสุทธิ์ (purity) ของเอสเทอร์ที่ได้จากเมล็ดสำลี ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และเมล็ดดอกทานตะวัน โดย

ศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืช ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความบริสุทธิ์ของน้ำมันพืช โดยเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมเมทอกไซด์) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่านี้ โดยที่อัตราส่วนโดยโมลของ แอลกอฮอล์ต่อน้ำมันอย่างน้อย 6 ต่อ 1 โดยทำกับน้ำมันที่มีความบริสุทธิ์สูงพบว่า การเปลี่ยน (conversion) ไปเป็น เมทิลเอสเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และบิวทิลเอสเทอร์จะสมบูรณ์เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และเมื่อทำปฏิกิริยาที่ 32 องศาเซลเซียส น้ำมันพืชถูกทำปฏิกิริยาไป 99% ในเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าใช้เวลานานกว่าการใช้เบส แต่เมื่อใช้น้ำมันพืชดิบในการทำปฏิกิริยาพบว่าปริมาณของเอสเทอร์ที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากมียาง และวัสดุอื่นๆปะปนมากับน้ำมันพืชดิบ

ในปี พ.ศ. 2534 Roger A. Korus และคณะ [8] ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทิลเอสเทอร์ของวินเทอร์เรพ เพื่อใช้แทนน้ำมันดีเซล ได้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้ การใช้ โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต้องใช้ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และใช้แอลกอฮอล์ บริสุทธิ์ให้มากเกินพอ 50 % ตามเลขดุลสมการเคมี การใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยาต้องใช้ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ให้มากเกินพอ 100% ตาม เลขดุลสมการเคมี ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ถ้าสารที่ผสมกันเป็นเฟสเดียวกันความเร็วในการ ปั่นกวนก็ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง (conversion)

ในปี พ.ศ. 2538 P.De Filippis และคณะ [14] ทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้น้ำมัน ถั่วเหลืองกับเมทานอล มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 65 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยน อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำชั้นเอสเทอร์ที่ได้มาหา ความหนาแน่นและความหนืดเทียบกับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่หาได้ด้วยเทคนิค แก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับ ความหนาแน่นและความหนืด ($\ln \eta$) ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นกราฟมาตรฐานเหมาะแก่การนำไปใช้เพื่อ ความสะดวกในการควบคุมปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ในอุตสาหกรรม -

ในปี พ.ศ. 2539 Lloyd A. Nelson และคณะ [15] ทำการทดลองผลิตดีเซลชีวภาพจากไขสัตว์ โดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน มีเอนไซม์ไลเปสที่ได้จาก *Mucor miehei* และจาก *Candida antarctica* เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าเอนไซม์ไลเปสที่ได้จาก *Mucor miehei* จะมี ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นอัลคิลเอสเทอร์เมื่อใช้แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (primary alcohol) ในขณะที่เอนไซม์ไลเปสที่ได้จาก *Candida antarctica* จะมีประสิทธิภาพใน การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์เมื่อใช้แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (secondary alcohol) ทำให้อัลคิลเอสเทอร์ที่ได้มีกิ่งก้านสาขา

ในปี พ.ศ. 2539 Basu และคณะ [16] การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ของน้ำมันหรือไขมันนั้นมีปัญหาเรื่องของปริมาณกรดไขมันอิสระและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ เช่น โพลีเอปไคด์ ฟอสโฟไลปิด ซึ่งจะไปรบกวนปฏิกิริยาในการแยกชั้น อีกทั้งปริมาณกรดไขมันอิสระจะทำให้เกิดสบู่เมื่อมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงได้มีการออกแบบการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นปฏิกิริยาพรีเอสเทอร์ฟิเคชัน (preesterification) โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนในขั้นที่ 2 เป็นปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันโดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในงานวิจัยที่ Basu และคณะได้ทำนี้จะช่วยลดความยุ่งยากในการทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน โดยทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ของน้ำมันหรือไขมัน ทำปฏิกิริยาทำแอลกอฮอล์โดยมีแคลเซียมอะซิเตต และแบเรียมอะซิเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผสมในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 220 ± 1 องศาเซลเซียส ความดัน 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าช่วยลดปัญหาในการเกิดสบู่และลดขั้นตอนลงได้

ในปี พ.ศ. 2543 สิทธิศักดิ์ [17] เตรียมเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วของร้านแมคโดนัลด์ พบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยา คือ ใช้โซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH_3) 1% โดยน้ำหนักในเมทานอล ในอัตราส่วนของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วละลายในโทลูอีน 1:1 ในอัตราส่วนการทำปฏิกิริยาของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับเมทานอลเป็น 3.5:1 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการศึกษาน้ำมันผสมระหว่างเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมันที่เตรียมได้กับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนต่าง ๆ และนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันที่ผสมเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน 20-50% โดยปริมาตร มีคุณสมบัติที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซล

ในปี พ.ศ. 2543 D.Damoko และ Munir Cheryan [18] ทำการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาในอ่างปฏิกรณ์ (batch reactor) จะสูงขึ้นจนกระทั่งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่านี้ จะไม่มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยา การเปลี่ยนไปของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ เกิดขึ้นใน 30 นาทีแรกของปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ คือ $0.018-0.191 \text{ (wt\% \cdot min)}^{-1}$ และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ค่าคงที่ปฏิกิริยาของโมโนกลีเซอไรด์มีค่ามากกว่าไตรกลีเซอไรด์ ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy) ของปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์เป็น 14.7 14.2 และ 6.4 กิโลแคลอรีต่อโมล ตามลำดับ

ในปี พ.ศ. 2544 S.Saka, D.Kusdiana [19] พัฒนาวิธีการผลิตดีเซลชีวภาพ โดยใช้เมทานอลที่สภาวะเหนือวิกฤติ (supercritical methanol) ที่ความดัน 45-65 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 350 และ 400 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพสูงกว่าการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

แบบเดิมและใช้เวลาสั้นกว่ามาก โดยไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาในด้านต้นทุนและความปลอดภัยต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาข้อมูล
- 2) ศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ
- 3) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม
 - ชนิดของแอลกอฮอล์
 - ชนิดเบส
 - ปริมาณของเบส
 - ปริมาณแอลกอฮอล์
 - ความเร็วรอบในการปั่นกวน
 - อุณหภูมิ
- 4) ศึกษาถึงสมบัติของดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม

3.2 สารเคมี

- 1) น้ำมันปาล์ม ตราแวว บริษัท พี.เอส.แปซิฟิก จำกัด
- 2) เอทานอล 95 % (C_2H_5OH)
- 3) เอทานอล 99.9% (C_2H_5OH)
- 4) เมทานอล (CH_3OH) เกรด commercial
- 5) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เกรด Analytical Reagent
- 6) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เกรด Analytical Reagent
- 7) ฟีนอล์ฟทาลีน (1 % ในเอทานอล 95 %)
- 8) โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (KHP) เกรด Analytical Reagent
- 9) น้ำกลั่น

3.3 อุปกรณ์

- 1) ใบพัดกวนพร้อมมอเตอร์ (Electric stirrer)
- 2) เครื่องให้ความร้อนและเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Combination hot plate magnetic stirrer)
- 3) บิวเรต (Burette)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) กรวยแยก (Separating funnel)
- 5) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 6) ปิเปตพร้อมลูกยางแดง (Pipette & bulb)
- 7) พิกโนมิเตอร์ (Pycnometer)
- 8) บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter)
- 9) เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า (Analytical balance)
- 10) ปีกเกอร์ (Beaker)
- 11) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- 12) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 13) ครกบดสาร (Mortar & pestle)
- 14) กระบอกตวง (Cylinder)
- 15) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 16) กรวยกรอง (Funnel)
- 17) กระดาษทดสอบความเป็นกรด-ด่าง (Universal indicator)
- 18) เครื่องวัดความหนืด (Glass capillary kinematic viscometer)
- 19) ขวดสามคอ (3-necked flask)
- 20) คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- 21) เครื่องหาจุดวาบไฟอัตโนมัติ (Automatic flash point tester)
- 22) เครื่องหาจุดไหลเทอัตโนมัติ (Automatic pour point tester)
- 23) ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)
- 24) เตาหลุมให้ความร้อน (Heating mantle)
- 25) เครื่องทำความเย็น (Cooler)

3.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาสมบัติของน้ำมันปาล์มที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

- 1) ความหนาแน่น โดยใช้พิกโนมิเตอร์ ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส
- 2) ปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOAC.940.28,1995)
- 3) ความถ่วง API (API gravity,ASTM D1298)
- 4) ความหนืด (ASTM D445)
- 5) ค่าความร้อน (Heating value) โดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) จุดวาบไฟ (Flash point) โดยใช้เครื่องหาจุดวาบไฟอัตโนมัติ (Automatic flash point tester, ISL Model PMFP 93, ASTM D 93)
- 7) จุดไหลเท (Pour point) โดยใช้เครื่องหาจุดไหลเทอัตโนมัติ (Automatic pour point tester, ISL Model CPP 97-6, ASTM D 97)
- 8) ปริมาณกำมะถัน (Sulfur content, ASTM D 4294)
- 9) ดัชนีซีเทน (Cetane index, ASTM D 976)

ตอนที่ 2 การเตรียมดีเซลชีวภาพ

2.1 ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

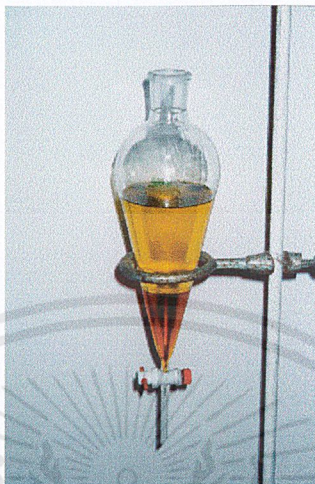
- 1) ชั่งน้ำหนักน้ำมัน 250 กรัมลงในขวดสามคอที่ต่อกับคอนเดนเซอร์ เทอร์โมมิเตอร์ และไบพัตคววน ชั่งแอลกอฮอล์ 50 กรัม และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในปริมาณ 0.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน
- 2) ละลายเบสในแอลกอฮอล์ที่เตรียมไว้ โดยค่อย ๆ ให้ความร้อน และทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) จนกระทั่งเบสละลายหมด
- 3) ควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันที่ 60 องศาเซลเซียส แล้วเติมสารละลายในข้อ 2) ลงไป ทำการปั่นกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเตรียมดีเซลชีวภาพ

2.2 การแยกชั้น

หลังจากปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว ตั้งทิ้งไว้ 24-48 ชั่วโมง จะเกิดการแยกชั้น เป็น 2 ชั้น โดยชั้นบนจะเป็นเอสเทอร์ ส่วนชั้นล่างจะเป็นกลีเซอริน ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การแยกชั้น

2.3 การระเหยแอลกอฮอล์

1) ชั่งน้ำหนักเอสเทอร์ (ชั้นบน) และกลีเซอริน (ชั้นล่าง)
 2) นำชั้นเอสเทอร์และชั้นกลีเซอรินมาระเหยเอาแอลกอฮอล์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาออก โดยต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การระเหยแอลกอฮอล์

3) ชั่งน้ำหนักเอสเทอร์และกลีเซอรินหลังจากระเหยแล้ว และแอลกอฮอล์ที่ระเหยออกมาได้

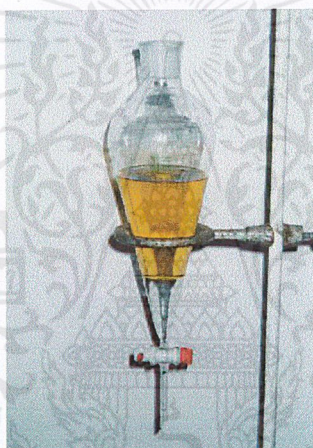
2.4 การล้าง

1) แบ่งเอสเทอร์ที่ได้ไว้ส่วนหนึ่งเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester ,FAME) แล้วนำส่วนที่เหลือทั้งหมดไปทำการล้าง

2) นำเอสเทอร์ส่วนที่จะทำการล้างมาใส่กรวยแยก

3) ฉีดน้ำจากกระบอกฉีดน้ำกลั่นลงไปในกรวยแยก โดยให้อุณหภูมิของน้ำกระจายให้ทั่วเอสเทอร์ รอจนเกิดการแยกชั้นของเอสเทอร์กับน้ำ จากนั้นจึงไขชั้นน้ำทิ้ง ทำเช่นนี้จนกระทั่งชั้นเอสเทอร์เป็นกลาง ซึ่งทดสอบความเป็นกรด-ด่างโดยใช้กระดาษทดสอบความเป็นกรด-ด่าง (universal indicator)

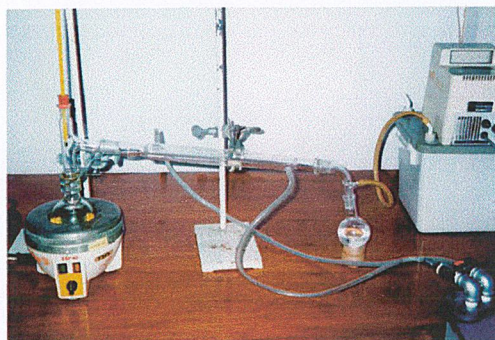
4) ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ จะเกิดการแยกชั้นของเอสเทอร์และน้ำอย่างสมบูรณ์ จากนั้นไขชั้นน้ำทิ้ง ก็จะได้ชั้นบนเป็นชั้นของเอสเทอร์หรือดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) ที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การแยกชั้นหลังการล้าง

2.5 วิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester ,FAME)

1) นำเอสเทอร์ส่วนที่แบ่งไว้จากข้อ 2.4 มาชั่งน้ำหนักใส่ขวดก้นกลม แล้วต่อเข้ากับอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การกลั่นหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ทำการกลั่นและเก็บสารที่กลั่นได้ในช่วงอุณหภูมิ 140 - 240 องศาเซลเซียส ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท
- 3) ชั่งน้ำหนักสารที่กลั่นได้และส่วนที่เหลือจากการกลั่น
- 4) นำสารที่กลั่นได้มาวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography) เพื่อตรวจสอบว่าสารที่กลั่นได้ในช่วง 140 -240 องศาเซลเซียส ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอทนี้ เป็นเอสเทอร์ที่ต้องการ
- 5) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และเปอร์เซ็นต์ ผลผลิต (%Yield)

ตอนที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพ

3.1 ชนิดของแอลกอฮอล์

ทำการศึกษานิตของแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมโดยทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนที่ 2 โดยเปรียบเทียบระหว่าง เอทานอล 95% เอทานอล 99% และเมทานอล

3.2 ชนิดของเบส

ทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนที่ 2 โดยเปรียบเทียบระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยใช้แอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในข้อ 3.1

3.3 ปริมาณเบส

ทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนที่ 2 โดยใช้เบสและแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในข้อ 3.2 โดยเปรียบเทียบปริมาณเบสที่ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 1.0% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

3.4 ปริมาณแอลกอฮอล์

ทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนที่ 2 โดยใช้แอลกอฮอล์ ชนิดเบส และปริมาณเบสที่เหมาะสมในข้อ 3.3 โดยใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ 25, 40, 50, 60 และ 75 กรัม

3.5 ความเร็วการปั่นกววน

ทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนต้นที่ 2 โดยใช้แอลกอฮอล์ ชนิดเบส ปริมาณเบส และปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในข้อ 3.4 ทำการปั่นกววนที่ความเร็ว 150, 300 และ 450 รอบ ต่อนาที

3.6 อุณหภูมิ

ทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนต้นที่ 2 โดยใช้แอลกอฮอล์ ชนิดเบส ปริมาณเบส ปริมาณแอลกอฮอล์ และความเร็วการปั่นกววนเหมาะสมในข้อ 3.5 โดยใช้อุณหภูมิห้อง, 60 และ 80 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 4 ศึกษาสมบัติของดีเซลชีวภาพ

นำดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้จากสภาวะที่เหมาะสมมาทดสอบตามตอนที่ 1 และทำการเปรียบเทียบสมบัติของดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มกับดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันปาล์ม

ผลการทดสอบสมบัติของน้ำมันปาล์มได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติของน้ำมันปาล์ม

สมบัติ	ผลการทดลอง
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.9091 (25°C) ,0.8988 (40°C)
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%wt)	0.1
ความถ่วง API (60°F)	23.0
ความหนืด (40°C, cSt)	39.98
ค่าความร้อน (cal/g)	9735
จุดวาบไฟ (°C)	>170
จุดไหลเท (°C)	6.0
ปริมาณกำมะถัน (%wt)	<0.05
ดัชนีซีเทน	37.1

4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม

4.2.1 ชนิดของแอลกอฮอล์

เตรียมดีเซลชีวภาพตามวิธีในหัวข้อ 3.4 ตอนที่ 2 โดยใช้น้ำมันปาล์ม 250 กรัม เบส (NaOH หรือ KOH) 0.1 % โดยน้ำหนักของน้ำมัน และซิงแอลกอฮอล์ 50 กรัม ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของชนิดแอลกอฮอล์

Batch	แอลกอฮอล์	เบส	ผลการทดลอง
1	เอทานอล 95%	NaOH	แข็ง ไม่แยกชั้น ฟองมาก
2	เอทานอล 95%	KOH	แข็ง ไม่แยกชั้น
3	เอทานอล 99%	NaOH	แข็ง ไม่แยกชั้น ฟองมาก
4	เอทานอล 99%	KOH	ของเหลวใส ไม่แยกชั้น
5	เมทานอล	NaOH	ของเหลว แยกชั้น ชั้นบนสีเหลือง ชั้นล่างสีน้ำตาล
6	เมทานอล	KOH	ของเหลว แยกชั้น ชั้นบนสีเหลือง ชั้นล่างสีน้ำตาล

จากตารางที่ 4.2 เลือกใช้เมทานอลเพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวและเกิดการแยกชั้นของชั้นเอสเทอร์และกลีเซอรินอย่างชัดเจนเนื่องจากว่าปริมาณของน้ำในแอลกอฮอล์มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา เพราะน้ำจะเข้าไปลดความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดเป็นอิมัลชันได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบเอทานอล 95% กับ เอทานอล 99% จะเห็นว่าเอทานอล 99% ที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นอิมัลชันน้อยกว่าเมื่อใช้เอทานอล 95% และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเมทานอลกับเอทานอล 99% พบว่าเมื่อใช้เมทานอลจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจากว่าเอทานอลมีความสามารถในการดูดซับน้ำในบรรยากาศได้มากกว่าเมทานอล เอทานอลจึงไม่ค่อยเหมาะสมในการทำปฏิกิริยานี้ ดังนั้นเมทานอลมีความเหมาะสมในการทำปฏิกิริยานี้มากกว่าเอทานอล 95% และเอทานอล 99%

4.2.2 ชนิดเบส

เตรียมดีเซลชีวภาพตามวิธีในหัวข้อ 3.4 ตอนที่ 2 โดยใช้น้ำมัน 250 กรัม เมทานอล 50 กรัม และซิงเบส 0.1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และผลผลิต (%Yield) เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

Batch	ชนิดเบส	%FAME	%Yield
1	NaOH	58.24	59.75
2	KOH	24.92	26.04

จากตารางที่ 4.3 เลือกใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (%Yield) สูง และโซเดียมไฮดรอกไซด์ยังสามารถละลายได้ดีในเมทานอลมากกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

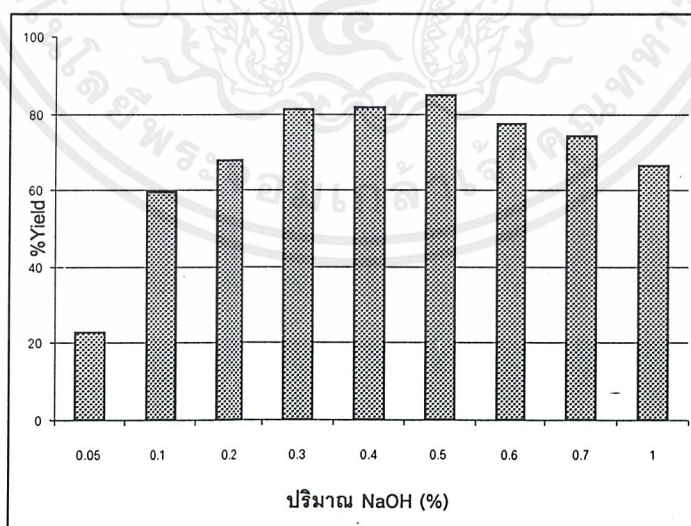
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ปริมาณเบส

เตรียมดีเซลชีวภาพตามวิธีในหัวข้อที่ 3.4 ตอนที่ 2 โดยใช้น้ำมัน 250 กรัม เมทานอล 50 กรัม และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และผลผลิต (%Yield) เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Batch	ปริมาณ NaOH (%)	%FAME	%Yield
1	0.05	22.71	23.08
2	0.1	58.24	59.71
3	0.2	66.29	68.08
4	0.3	79.71	81.15
5	0.4	80.90	81.75
6	0.5	84.94	84.95
7	0.6	78.12	77.35
8	0.7	76.41	74.22
9	1.0	85.73	66.71



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Yield กับปริมาณ NaOH (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

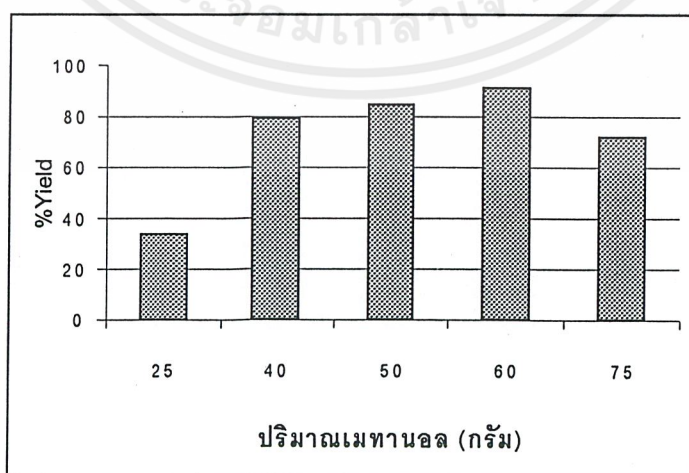
จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1 พบว่าที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5% ให้ผลผลิต (yield) สูงที่สุด เพราะโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานี้ในขั้นแรกจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มก่อน จากนั้นจึงเข้าไปทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ถ้าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์น้อยกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม ผลผลิต (yield) จะน้อย แต่เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มากเกินไป จะทำให้เกิดเกลือของกรดไขมันเกิดเป็นอิมัลชันขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้จะกลายเป็นของแข็ง ส่งผลให้ปริมาณของสารชั้นบน (ชั้นเอสเทอร์) ลดลง ทำให้ผลผลิต (yield) ที่ได้ต่ำลง

4.2.4 ปริมาณแอลกอฮอล์

เตรียมดีเซลชีวภาพตามวิธีในหัวข้อ 3.4 ตอนที่ 2 โดยใช้น้ำมัน 250 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และผลผลิต (%Yield) เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของเมทานอล

Batch	ปริมาณเมทานอล (กรัม)	%FAME	%Yield
1	25	46.25	33.98
2	40	84.92	79.23
3	50	84.95	84.95
4	60	91.89	91.31
5	75	70.98	72.19



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Yield กับปริมาณเมทานอล (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

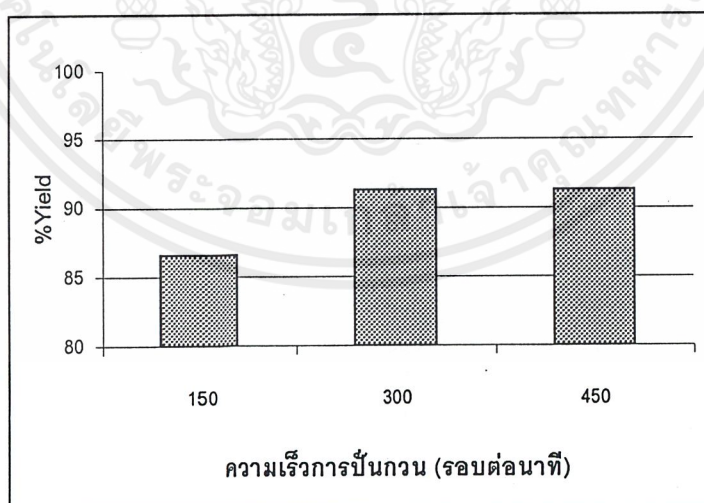
จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.2 พบว่าผลผลิต (yield) เพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณเมทานอลเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงปริมาณเมทานอล 60 กรัม จะให้ผลผลิต (yield) สูงที่สุด คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1 : 6.4 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเมทานอลที่เพิ่มมากขึ้นทำให้มีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยามากยิ่งขึ้น แต่พบว่าที่ปริมาณเมทานอล 75 กรัมให้ผลผลิต (yield) ลดต่ำลง เป็นผลมาจากความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงเมื่อปริมาณเมทานอลมากจนเกินไป

4.2.5 ความเร็วในการปั่นกววน

เตรียมดีเซลชีวภาพตามวิธีในหัวข้อที่ 3.4 ตอนที่ 2 โดยใช้น้ำมัน 250 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และเมทานอล 60 กรัม ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และผลผลิต (%Yield) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วในการปั่นกววน

Batch	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	%FAME	%Yield
1	150	89.96	86.55
2	300	91.89	91.31
3	450	90.78	91.31



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Yield กับความเร็วในการปั่นกววน (รอบ/นาที)

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อปั่นกววนเร็วขึ้นจะให้ผลผลิต (yield) ที่สูงขึ้น เนื่องจากการปั่นกววนอย่างรวดเร็วจะทำให้ของผสมระหว่างชั้นน้ำมันและชั้นแอลกอฮอล์เข้ากันเป็นเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

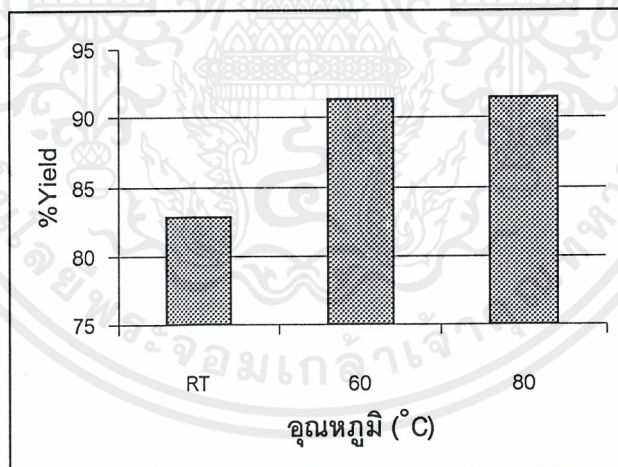
เดี่ยวและเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่ความเร็ว 300 และ 450 รอบต่อนาที พบว่าผลผลิต (yield) ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาทีในการทำปฏิกิริยา

4.2.6 อุณหภูมิ

เตรียมดีเซลชีวภาพตามวิธีในหัวข้อที่ 3.4 ตอนที่ 2 โดยใช้น้ำมัน 250 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5%โดยน้ำหนักของน้ำมัน เมทานอล 60 กรัม และทำการปั่นกวนที่ 300 รอบต่อนาที ได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (%FAME) และผลผลิต (%Yield) เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

Batch	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	%FAME	%Yield
1	อุณหภูมิห้อง	81.24	82.77
2	60	91.89	91.31
3	80	93.38	91.49



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Yield กับอุณหภูมิ (°C)

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.4 พบว่าสามารถเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มได้ที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อใช้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก็จะให้ผลผลิต (yield) เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของน้ำมันปาล์มลดลง ทำให้ชั้นของน้ำมันและชั้นของแอลกอฮอล์เข้ากันเป็นเนื้อเดียวได้มากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าผลผลิต (yield) ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงเลือกทำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก 4.2.1 ถึง 4.2.6 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม คือ ใช้ น้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับเมทานอลในอัตราส่วน 1:6.4 โดยโมล ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือ 0.5%โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วการปั่นกววน 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.3 สมบัติของดีเซลชีวภาพ

ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของดีเซลชีวภาพได้ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สมบัติของดีเซลชีวภาพที่ได้

Batch	เบส	ปริมาณเบส(%)	ปริมาณเมทานอล (กรัม)	ความเร็ว (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (g/cm ³)		ความหนืด (40C,cSt)	ค่าความร้อน (cal/g)	%FAME
						25 °C	40 °C			
1	NaOH	0.1	50	300	60	0.8847	0.8731	8.55	9851	58.24
2	KOH	0.1	50	300	60	0.8929	0.8836	13.19	9847	24.92
3	NaOH	0.05	50	300	60	0.8983	0.8884	18.19	9934	22.71
4	NaOH	0.2	50	300	60	0.8737	0.8638	5.57	9973	66.29
5	NaOH	0.3	50	300	60	0.8721	0.8602	5.05	9956	79.71
6	NaOH	0.4	50	300	60	0.8712	0.8607	4.82	9954	80.90
7	NaOH	0.5	50	300	60	0.8709	0.8587	4.72	10002	84.94
8	NaOH	0.6	50	300	60	0.8705	0.8585	4.63	9859	78.12
9	NaOH	0.7	50	300	60	0.8698	0.8591	4.52	9864	76.41
10	NaOH	1.0	50	300	60	0.8705	0.8583	4.56	9999	85.73
11	NaOH	0.5	25	300	60	0.8718	0.8616	6.83	9782	46.25
12	NaOH	0.5	40	300	60	0.8711	0.8604	5.10	9851	84.92
13	NaOH	0.5	60	300	60	0.8670	0.8573	4.54	9947	91.89
14	NaOH	0.5	75	300	60	0.8671	0.8574	4.47	9950	70.98
15	NaOH	0.5	60	150	60	0.8692	0.8581	4.55	9903	89.96
16	NaOH	0.5	60	450	60	0.8694	0.8583	4.59	9894	90.78
17	NaOH	0.5	60	300	RT	0.8712	0.8606	5.13	9851	81.24
18	NaOH	0.5	60	300	80	0.8683	0.8576	4.50	9831	93.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันปาล์ม ดีเซลชีวภาพ และดีเซลจากปิโตรเลียม

สมบัติ	น้ำมันปาล์ม	ดีเซลชีวภาพ	ดีเซลจากปิโตรเลียม	
			หมุนเร็ว	หมุนช้า
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)	0.1	0.08	-	-
ความถ่วง API (60°F)	23.0	30.1	-	-
ความถ่วงจำเพาะ (60°F/60°F)	0.9159	0.8756	0.81-0.87	< 0.92
ความหนืด (40°C, cSt)	40.0	4.5	1.8-4.1	< 8.0
ค่าความร้อน (cal/g)	9735	9947	11196	10704
จุดวาบไฟ (°C)	>170	>170	> 52	> 52
จุดไหลเท (°C)	6.0	12.0	< 10	< 16
ปริมาณกำมะถัน (%)	<0.05	<0.05	< 0.05	<1.5
ดัชนีซีเทน	37.1	48.6	> 47	> 45

จากตารางที่ 4.9 สมบัติของน้ำมันสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระของดีเซลชีวภาพมีค่าลดลงจากน้ำมันปาล์ม เนื่องจากกรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันไปบางส่วน
2. ความถ่วงจำเพาะ และความหนืดของดีเซลชีวภาพมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์ม และผลที่ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของดีเซลหมุนช้า
3. จุดวาบไฟ และดัชนีซีเทนของดีเซลชีวภาพมีค่าสูงกว่าดีเซลจากปิโตรเลียม เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีและขนาดโมเลกุลของดีเซลชีวภาพแตกต่างจากดีเซลจากปิโตรเลียม คือ ดีเซลชีวภาพประกอบด้วยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีจุดเดือดสูง ทำให้การกลายเป็นไอของดีเซลชีวภาพช้ากว่าดีเซลจากปิโตรเลียม
4. ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของดีเซลชีวภาพมีค่าต่ำกว่าดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม เนื่องจากน้ำมันพืชมีปริมาณไฮโดรเจนน้อยกว่าและมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ
5. ปริมาณซัลเฟอร์ในดีเซลชีวภาพมีค่าต่ำ เนื่องจากน้ำมันปาล์มไม่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ทำให้ลดปริมาณการปลดปล่อยสารพิษสู่สิ่งแวดล้อม
6. จุดไหลเทของดีเซลชีวภาพมีค่าสูงเนื่องจากว่าน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่เกือบครึ่งหนึ่งของทั้งหมด ทำให้มีปัญหาในเรื่องของการเป็นไขเมื่ออุณหภูมิต่ำลง แต่ยังมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของดีเซลหมุนช้า

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมดีเซลชีวภาพที่ได้จากน้ำมันปาล์ม โดยผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) ที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วทำการศึกษสมบัติของดีเซลชีวภาพที่ได้เปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์ม และดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม พบว่า

5.1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม คือ ใช้ น้ำมันปาล์ม ทำปฏิกิริยากับเมทานอลในอัตราส่วน 1:6.4 โดยโมล และมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการปั่นกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5.1.2 สมบัติของดีเซลชีวภาพที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของดีเซลหมุนช้า สามารถนำดีเซลชีวภาพไปใช้ได้ ในเครื่องยนต์ที่มีรอบต่ำหรือปานกลาง เช่น รถบรรทุก เรือประมง อุปกรณ์การเกษตร เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ดีเซลชีวภาพที่ได้มีปริมาณซัลเฟอร์อยู่น้อยมาก เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์จะไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม

5.2.2 ควรทำการศึกษาและปรับปรุงดีเซลชีวภาพเพื่อให้ใช้กับเครื่องยนต์รอบสูงได้

5.2.3 ควรนำดีเซลชีวภาพไปทดลองศึกษากับเครื่องยนต์

5.2.4 ควรทำการศึกษสมบัติอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ปริมาณน้ำ ปริมาณเมทานอลที่เหลืออยู่ ค่าการกักความร้อน และปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ เป็นต้น

5.2.5 ศึกษาการนำเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรินไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น เช่น เวชภัณฑ์ เครื่องสำอาง และสารหล่อลื่น เป็นต้น

5.2.6 กรณีที่เตรียมดีเซลชีวภาพปริมาณมาก ต้องคำนึงถึงเรื่องของความปลอดภัยในการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมทานอล ซึ่งสารเหล่านี้มีพิษต่อร่างกาย

เอกสารอ้างอิง

1. กัญญา บุญยเกียรติ และสุกัญญา มากมี."ไบโอดีเซล:พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล".วารสารวิทยาศาสตร์. 55(3) : 148-152, 2544.
2. พิสมัย เจนวนิชปัญกุล,"ไบโอดีเซล:พลังงานทางเลือก?".วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 16(3) : 1-11, 2544.
3. ชมรมเพื่อพัฒนามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.ปาล์มน้ำมันและอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม:คู่มือเกษตรกร. สงขลา : โครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มขนาดเล็กตามพระราชดำริ, 2529.
4. กลุ่มเกษตรกรสัญจร, ปาล์มน้ำมัน. นนทบุรี : สุานเกษตรกรรม, 2541.
5. สิริภัก สระตันตี. ปฏิบัติการชีวเคมีเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.
6. <http://www.dmr.go.th>.
7. A.W. Schwab,M.O. Bagby and B.Freedymen."Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils".Fuel. 66 : 1372-1378,1987.
8. Roger A. Korus, etal. Transesterification process to manufacture ethyl ester of rape oil, Department of Chemical Engineering University of Idaho, MOSCOW, 1993 (www.biodiesel.org).
9. Robert T.Morrison and Robert N.Boyd.Organic chemistry. Prentic-Hall, India, pp.682-683, 1976.
10. Uses for Methyl Esters, Glycerol ,National Biodiesel Board. <http://www.biodiesel.org>.
11. <http://www.journeytoforever.org>.
12. อ่าง โชตะมังสะ และสุจิตต์ สnoonคุณ. เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยสารพัดช่างพระนคร, 2538.
13. B.Freedman ,E.H. Pryde and T.L. Mounts. Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. J.Am.Oil Chem.Soc. 61(10) : 1638-1643,1984.
14. P.De Filippis, et.al. Transesterification Processes for Vegetable Oils: A simple Control Method of Methyl Ester Content. J.Am.Oil Chem.Soc. 72(11) : 1399-1404, 1995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. Lloyd A. Nelson, Thomas A. Foglia and William N. Marmer. Lipase-Catalyzed Production of Biodiesel . J.Am.Oil Chem.Soc. 73(8) : 1191-1195 ,1996.
16. Basu ,et.al. Process for Production of Esters for Use as a Diesel fuel Substitute Using a Non-alkaline Catalyst. US Patent 5,525,126. 1996.
17. สิทธิศักดิ์ ทรงเดช. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืชหลังการใช้เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณบุรี, 2543.
18. D.Darnoko and Munir Cheryan. Kinetics of Plam Oil Transesterification in a Batch Reactor. J.Am.Oil Chem.Soc. 77(12) : 1263-1267, 2000.
19. S.Saka, D.Kusdiana. Biodiesel Fuel from Rapeseed Oil as Prepared in Super Critical Methanol. Fuel. 80 : 225-231, 2001.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การทดสอบสมบัติของน้ำมัน

การคำนวณน้ำหนักโมเลกุล

1) น้ำหนักโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

$$\text{น้ำหนักโมเลกุล} = \frac{56 \times 1000}{\sum SN_x}$$

$$SN_x = SN \times \%X$$

SN = Saponification Number

%X = ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

ตารางที่ ก.1 การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

เมทิลเอสเทอร์	%X	SN	SN _x
Myristic	0.27	231.40	0.62
Palmitic	40.58	207.41	84.17
Stearic	1.14	187.92	2.14
Oleic	48.89	189.19	92.49
Linoleic	9.12	190.48	17.34
			$\sum SN_x = 196.79$

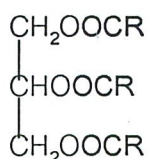
$$\therefore \text{น้ำหนักโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน} = \frac{56 \times 1000}{196.79} = 284.57$$

2) น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม

จากสูตรโครงสร้างของเมทิลเอสเทอร์ คือ CH₂OOCR

$$\text{น้ำหนักโมเลกุลของ OCR} = 284.57 - 12(\text{C}) - 16(\text{O}) - 3(\text{H}) = 253.57$$

จากสูตรโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ คือ



$$\therefore \text{น้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์} = (253.57 \times 3) + (12 \times 3) + (16 \times 3) + 5 = 849.71$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาณ Fatty Acid Methyl Ester (FAME)

ตามทฤษฎี



น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปาล์มเท่ากับ 849.71 กรัม/โมล

น้ำหนักโมเลกุลของ FAME เท่ากับ 284.57 กรัม/โมล

$$\text{น้ำมันปาล์มที่ใช้ } 250 \text{ กรัม} = \frac{250}{849.71} = 0.2942 \text{ โมล}$$

$$\text{FAME ตามทฤษฎี} = 0.2942 \times 3 = 0.8826 \text{ โมล} = 0.8826 \times 284.57 = 251.16 \text{ กรัม}$$

จากการทดลอง

นำสารชั้นบนมากลั่นแบบลดความดัน โดยเก็บสารที่มีจุดเดือดในช่วงอุณหภูมิ 140-240 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท จะได้ปริมาณ FAME ทั้งหมดในชั้นบน โดยที่

$$\% \text{FAME} = \frac{\text{น้ำหนักสารที่กลั่นได้}}{\text{น้ำหนักสารในชั้นบน}} \times 100$$

นำปริมาณ FAME ที่มีอยู่ในชั้นบนจริงเทียบกับปริมาณ FAME ที่ได้จากทฤษฎี

$$\% \text{Yield} = \frac{\text{FAME ในชั้นบนจริง}}{\text{FAME ตามทฤษฎี}} \times 100$$

ความหนาแน่น

อุปกรณ์

- 1) พิกโนมิเตอร์
- 2) เครื่องชั่ง

วิธีการทดลอง

- 1) นำพิกโนมิเตอร์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 2) ชั่งน้ำหนักพิกโนมิเตอร์ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักที่ได้
- 3) เทน้ำมันลงในพิกโนมิเตอร์จนเต็ม
- 4) นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่ได้
- 5) ทำซ้ำข้อ 3) แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณความหนาแน่น ตามสูตร

$$D = \frac{m}{v}$$

D	=	ความหนาแน่น ; g/cm ³
m	=	น้ำหนัก ; g
v	=	ปริมาตร ; cm ³

ปริมาณกรดไขมันอิสระ

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ตาม วิธีของ AOAC .940.28 , 1995

อุปกรณ์

- 1) ขวดรูปชมพู่
- 2) กระจกตวง
- 3) บิวเรต
- 4) เครื่องชั่ง
- 5) แท่นความร้อน

สารเคมีที่ใช้

- 1) เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล (0.1 N NaOH)
- 2) สารมาตรฐานปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 0.1 นอร์มอล (0.1 N KHP)
- 3) สารละลายเอทานอลที่เป็นกลาง (Neutral ethanol), เติมน้ำมัน 95% 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ที่สะอาด ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่แห้ง หยดน้ำมัน 2-3 หยด แล้วเติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตร อุ่นให้มีอุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส เติมน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอลจนได้สารละลายสีชมพูถาวร (faint permanent pink)

วิธีการทดลอง

- 1) ตวงเอทานอลที่เป็นกลาง (Neutral ethanol) ชั่ง 3 มา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ที่มีน้ำมันอยู่ 56.4 กรัม
- 2) ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูอย่างถาวร บันทึกปริมาตรของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระดังนี้

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ \%} = \frac{N \times V \times M \times 100}{1000 \times W}$$

- เมื่อ N = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Normality)
 V = ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)
 M = น้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมัน
 W = น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)

ค่าความร้อนและเปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์

การทดสอบหาค่าความร้อนและปริมาณซัลเฟอร์ของเชื้อเพลิงเหลวด้วยบอมบ์คาลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

อุปกรณ์

- 1) บอมบ์คาลอรีมิเตอร์อัตโนมัติ (Automatic Bomb Calorimeter)
- 2) ถังบรรจุก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์
- 3) สายท่อสำหรับบรรจุก๊าซออกซิเจนเข้าบอมบ์คาลอรีมิเตอร์
- 4) เครื่องชั่งละเอียด
- 5) นาฬิกาจับเวลา
- 6) เตาเผา (Muffle furnace)
- 7) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- 8) ครุชีเปิล (Porcelain crucible)
- 9) บีกเกอร์ (Beaker)
- 10) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask)
- 11) ปิเปต (Pipette)
- 12) เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
- 13) กระบอกตวง
- 14) กระจกกรองเบอร์ 1 และ เบอร์ 42
- 15) กระจกทดสอบความเป็นกรด-ด่าง
- 16) ขวดน้ำกลั่น
- 17) ลวดให้ความร้อน (Firing Wire)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี

- 1) เชื้อเพลิงเหลวสำหรับทดสอบ
- 2) สารล้าง (Wash solution) เตรียมโดยเติมเมทิลออเรนจ์ (methyl orange) 1 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
- 3) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.0725 นอร์มอล (0.0725 N Na_2CO_3)
- 4) สารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (NH_4OH)
- 5) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1:1 โดยทำการผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นกับ น้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากัน
- 6) สารละลายแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) เข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร
- 7) กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) บริสุทธิ์ สำหรับเทียบมาตรฐานเครื่อง

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าความร้อน (Heating value)

- 1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ในถ้วยโลหะ โดยส่วนใหญ่มักใช้น้ำหนักของเชื้อเพลิงเหลว ประมาณ 0.6-0.8 กรัม
- 2) นำถ้วยโลหะ ใส่ลงใน ring support จากนั้นผูกหลอดให้ความร้อน (Firing wire) ที่มีความยาว 90 มิลลิเมตร จากอิเล็กโทรด (Electrode) หนึ่งไปยังอิเล็กโทรด หนึ่ง แล้วนำด้ายที่ยาว ประมาณ 30 มิลลิเมตร ผูกกึ่งกลางของหลอดให้ความร้อน โดยให้ปลายของด้าย สัมผัสกับตัวอย่าง ในถ้วย (ควรให้ความยาวของหลอด คงที่ในแต่ละครั้งของการทดลอง)
- 3) เปิดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงในบอมบ์
- 4) วางถ้วยสารตัวอย่างที่อยู่ใน ring support ลงในบอมบ์ ปิดฝาบอมบ์ให้แน่น
- 5) อัดก๊าซออกซิเจนลงในบอมบ์โดยผ่านทางสายท่ออย่างช้า ๆ ทำการอัดก๊าซให้ได้ความดัน ประมาณ 30 บาร์
- 6) เติมน้ำลงประมาณ 2 ลิตร ลงใน ถังของเครื่องคาลอริมิเตอร์ จากนั้นนำบอมบ์ที่เตรียมไว้ใส่ลงไป (ถ้ามีฟองอากาศรั่วออกมาจากบอมบ์ให้รีบแก้ไขโดยนำบอมบ์ขึ้นจากถังแล้วทำการ ปลดออกซิเจนออก แล้วทำการอัดออกซิเจนใหม่อีกครั้งหนึ่ง)
- 7) ต่อด้ายไฟโดยเสียบเข้ารูของ electrode socket ที่ด้านบนของบอมบ์ แล้วเลื่อนฝาปิด ของเครื่องลงมา
- 8) เปิดเครื่องกดปุ่ม "on/off" แล้วกดปุ่ม "TEST" บนแผงควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) น้ำใน water jacket กับในถังของเครื่องคาลอริมิเตอร์ ควรมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน โดยทำการปรับที่ "Balance control" โดยการหมุนตามเข็มนาฬิกาจะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำใน jacket ถ้ามุหนทวนเข็มนาฬิกาจะลดอุณหภูมิของน้ำใน jacket

10) เมื่อมีสัญญาณไฟขึ้นที่ปุ่ม Ready แสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะทำงานแล้ว ให้ทำการวัด อุณหภูมิตอนเริ่มต้น (T_1) ให้กดปุ่ม "THERMOMETER READER/VIBRATOR" จากนั้นกดปุ่ม "FIRE" เพื่อทำการจุดระเบิด โดยกดปุ่มนาน 2 นาที (ทดสอบการจุดระเบิดว่าสำเร็จหรือไม่โดยการ กดปุ่ม TEST จะต้องไม่มีสัญญาณไฟติด)

11) อ่านค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 วินาที จนกว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุดและคงที่ (T_2) อุณหภูมิสุดท้ายควรไม่ต่างกันเกิน 0.02 องศาเซลเซียส

12) นำบอมบ์ออกจากถัง ทำการปล่อยก๊าซออกซิเจนที่เหลือออกให้หมด แล้วจึงเปิดฝา

13) นำสารล้างมาล้างถ้วยตัวอย่างด้านใน และตัวฝาของบอมบ์ จนกระทั่งหมดความเป็น กรด (สังเกตจากน้ำที่ล้างออกมาไม่เป็นสีชมพูแล้ว โดยเก็บน้ำที่ล้างไว้ในบีกเกอร์)

14) วัดความยาวหลอดและด้ายที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ บันทึกผล

15) นำน้ำที่อยู่ในบีกเกอร์ในข้อ 13 ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต จนได้จุดยุติ เป็นสีเหลือง บันทึกปริมาตรที่ใช้

ตอนที่ 2 การหาปริมาณซัลเฟอร์

1) นำสารละลายจาก ตอนที่ 1 มาปรับ pH ด้วยสารละลาย NH_4OH ให้มีค่า pH อยู่ใน ช่วง 5.5 - 7.0

2) ต้มสารละลายที่ปรับ pH แล้วจนเดือด นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างด้วย น้ำร้อน 5 - 6 ครั้ง

3) นำสารละลายที่กรองได้หยดด้วย HCl 1:1 จำนวน 1 มิลลิลิตร จากนั้น เติมสารละลาย แบเรียมคลอไรด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร พร้อมกับคนตลอดเวลา

4) นำสารละลายไปต้มให้เดือดประมาณ 15 นาที นำมาตั้งทิ้งไว้ไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง

5) นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จน หมดคลอไรด์

6) นำ porcelain crucible พร้อมฝาปิดทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล

7) นำตะกอนของ BaSO_4 ที่ได้ ใส่ใน porcelain crucible แล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

8) นำ porcelain crucible ที่ใช้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ บันทึกน้ำหนักของ porcelain crucible พร้อมตะกอนที่เหลือ

หมายเหตุ

การ Calibrate เครื่องด้วย Benzoic acid standard

ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม ที่ทำการทดลองการเปลี่ยนแปลงของสารเคมี ที่ใช้รวมทั้งมีการทดลอง ไปจนถึงช่วงระยะเวลาหนึ่ง จำเป็นที่จะต้องมีการ calibrate เครื่อง เพื่อให้ทราบว่าการทดลองนั้น มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นมาน้อยเพียงใด เพื่อจะได้ทำการแก้ไขให้ผลการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (หลักการทดลองเหมือนข้างต้น)

การคำนวณ

การคำนวณหาค่าปริมาณกำมะถัน

$$\% \text{ Sulfur in the analysis sample} = \frac{\text{weightBaSO}_4(13.738)}{\text{weightsample}}$$

$$13.738 = \text{น้ำหนักโมเลกุลของ S / BaSO}_4$$

การคำนวณหาค่าความร้อนของตัวอย่าง

$$\text{Gross heat of combustion (cal/g)} = \frac{[(\Delta T)(W) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4]}{g}$$

$$\Delta T = \text{อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น } (T_1 - T_2); \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$W = \text{Energy equivalent of calorimeter; (cal/}^\circ\text{C)} = 2500 \text{ (cal/}^\circ\text{C)}$$

$$e_1 = \text{การแก้ค่าความร้อนของการเกิด HNO}_3; (\text{cal}) = 1.4 \times \text{ปริมาตร } 0.0725 \text{ N Na}_2\text{CO}_3$$

$$e_2 = \text{การแก้ค่าความร้อนของการเกิด H}_2\text{SO}_4; (\text{cal}) = 22.6 \times (\% \text{ Sulfur})$$

$$e_3 = \text{การแก้ค่าความร้อนของขดลวด; (cal)}$$

$$= (335 \text{ cal/g} \times 2.479 \times 10^{-3} \text{ g/mm}) (\text{ความยาวลวดที่ถูกเผาไหม้, mm})$$

$$e_4 = \text{การแก้ค่าความร้อนของด้าย; (cal)}$$

$$= (4180 \text{ cal/g} \times 8.80 \times 10^{-3} \text{ g/mm}) (\text{ความยาวด้ายที่ถูกเผาไหม้, mm})$$

ข้อมูลเพิ่มเติม

$$\text{Heat release from firing cotton} = 4180 \text{ cal/g}$$

$$\text{Heat release from firing wire} = 335 \text{ cal/g}$$

$$\text{Heat of formation of sulfuric acid} = 22.6 \text{ cal/ } 1\% \text{ sulfur}$$

$$\text{Heat of formation of nitric acid} = 1.40 \text{ cal/ml of nitric acid formed}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถ่วง API (API gravity)

การหาค่า API gravity ตาม ASTM D 287-82

อุปกรณ์

- 1) ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)
- 2) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 3) ไฮโดรมิเตอร์ไซลินเดอร์ (Hydrometer Cylinder)

วิธีการทดสอบ

1) ค่อย ๆ ถ่ายตัวอย่างลงใน Hydrometer Cylinder ที่สะอาด สำหรับตัวอย่างที่มีค่าการระเหยสูง ควรให้มีการระเหยของส่วนประกอบที่มีจุดเดือดต่ำให้น้อยที่สุด และควรถ่ายตัวอย่างลงใน Hydrometer Cylinder ด้วยเครื่องดูดน้ำมัน ใช้ลูกยางเป็นตัวไล่ฟองอากาศหลังจากฟองอากาศมาอยู่บนพื้นผิวตัวอย่างแล้วให้ใช้กระดาษกรองแตะฟองอากาศ ก่อนที่จะใส่ใน Hydrometer สำหรับการทดสอบทั่ว ๆ ไป ให้วาง cylinder ที่บรรจุตัวอย่างอยู่ในตำแหน่งแนวตั้งซึ่งปราศจากก๊าซออกซิเจน โดยในระหว่างนี้ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 5 องศาฟาเรนไฮต์ (2 องศาเซลเซียส)

2) วาง Hydrometer ลงในตัวอย่างเบา ๆ ในของเหลว แล้วปล่อยให้มันจมในที่มีดขีดและแห้ง เพราะของเหลวอาจถูกปนเปื้อน และทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเครื่องมือและจะมีผลต่อค่าที่อ่านได้

3) เมื่อ Hydrometer นิ่ง มีการลอยอย่างอิสระ และตัวอย่างมีอุณหภูมิคงที่ (มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.2 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 0.1 องศาเซลเซียส) อ่านค่า Hydrometer ที่ช่องสเกลที่ใกล้ที่สุด อ่านจุดที่สเกลตัดตรงที่พื้นผิวของของเหลว

4) ใช้อ่านกับของเหลวที่โปร่งใส เพื่อให้เห็นจุดบนสเกล Hydrometer ตรงที่ตัวอย่างเพิ่มขึ้นจนเหนือพื้นผิวหลัก (เป็นจุดที่ตาอยู่เหนือระนาบอยู่เหนือพื้นผิวของของเหลวเล็กน้อย)

5) บันทึกอุณหภูมิก่อนและหลังการอ่านค่า Hydrometer โดยให้มีค่าใกล้เคียง 1 องศาฟาเรนไฮต์

การคำนวณ

ค่าความถ่วง API (API gravity) มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น (ค่าความถ่วงจำเพาะ) ที่ 60/60 องศาฟาเรนไฮต์ (15.56/15.56 องศาเซลเซียส)

$$\text{API gravity} = (141.5 / \text{ความถ่วงจำเพาะ } 60/60 \text{ } ^\circ\text{F}) - 131.5$$

จุดวาบไฟ (Flash Point)

เป็นการหาจุดวาบไฟ โดยวิธี Pensky-Martens closed-cup ตาม ASTM D 93-90

อุปกรณ์

- 1) เครื่องหาจุดวาบไฟแบบ Pensky-Martens closed-cup
- 2) ถังก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับติดหัวพ่นไฟเพื่อใช้ในการทดสอบ
- 3) เทอร์โมมิเตอร์ที่มีสเกลอยู่ในช่วง -6 ถึง 400 องศาเซลเซียส

วิธีการทดสอบ

- 1) อุปกรณ์ทุกอย่างต้องสะอาด และปราศจากน้ำในการทดสอบ
- 2) ทำการเทียบมาตรฐานเครื่อง โดยใช้ p-xylene เป็นสารมาตรฐาน ค่าที่ยอมรับได้จะประมาณ 27.2 ± 1.1 องศาเซลเซียส
- 3) ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยจนมีปริมาตรเท่าที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นปิดฝาและนำไปไว้ในเตาไฟ ใส่เทอร์โมมิเตอร์ลงไป นำสารที่ต้องการจะทดสอบมาทดสอบที่อุณหภูมิ 15 ± 5 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่า 11 องศาเซลเซียส โดยต้องเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดวาบไฟ ปรับไฟให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ให้อัตราความร้อนประมาณ 6 องศาเซลเซียสต่อนาที และมีความเร็วในการปั่นกววน 90 – 120 รอบต่อนาที
- 4) ถ้าตัวอย่างมีจุดวาบไฟ 110 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ให้ทำการทดสอบไฟที่อุณหภูมิ 17 – 28 องศาเซลเซียส อ่านอุณหภูมิที่ได้คูณ 1 องศาเซลเซียส (ไม่ควรทำการปั่นกววนขณะทำการปรับอุณหภูมิของไฟ)
- 5) ถ้าตัวอย่างมีจุดวาบไฟสูงกว่า 110 องศาเซลเซียส ให้เริ่มทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 17 – 28 องศาเซลเซียส แล้วนำค่าอุณหภูมิที่ได้คูณ 2 องศาเซลเซียส
- 6) บันทึกอุณหภูมิที่สังเกตเห็นจุดวาบไฟที่เกิดขึ้นภายในถ้วย (โดยปกติมักจะมีไฟสีน้ำเงินเกิดขึ้นในการทดสอบ ซึ่งเกิดจากสิ่งแวดล้อม แต่จะไม่ใช่จุดวาบไฟของสารตัวอย่าง)
- 7) บันทึกความดันขณะทำการทดสอบด้วยบารอมิเตอร์

การคำนวณ

$$\text{Corrected flash point} = C + 0.25 (101.3 - p)$$

$$\text{Corrected flash point} = F + 0.06 (760 - P)$$

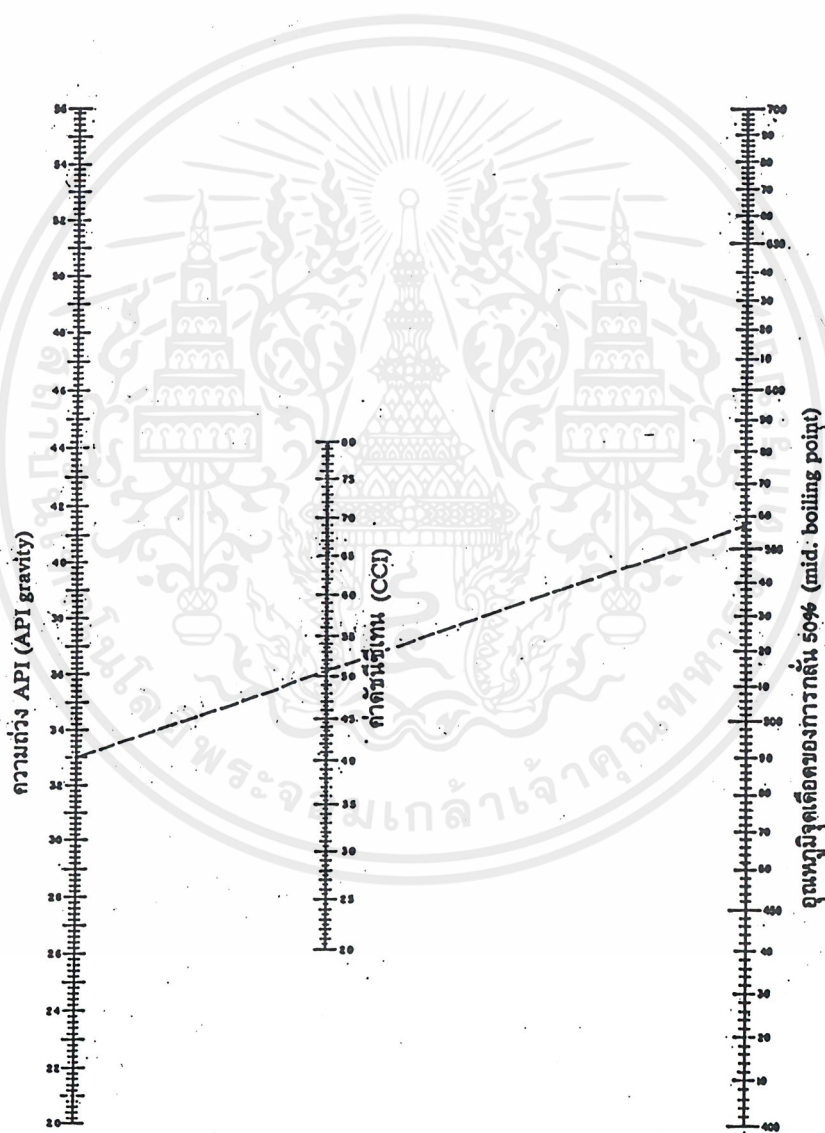
$$\text{Corrected flash point} = C + 0.033 (760 - P)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดย C = จุดที่สังเกตเห็นจุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)
 F = จุดที่สังเกตเห็นจุดวาบไฟ (องศาฟาเรนไฮต์)
 P = ความดันของบารอมิเตอร์ที่บรรยากาศ (มิลลิเมตรปรอท)
 p = ความดันของบารอมิเตอร์ที่บรรยากาศ (กิโลปาสคาล)

ดัชนีซีเทน (Cetane Index)

หาค่าดัชนีซีเทนตามวิธีของ ASTM D 976-80 โดยหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำมันแปลงเป็นค่า API กับ 50% ของอุณหภูมิการกลั่น โดยนำไปเทียบหาค่าดัชนีซีเทนในโมโนแกรม



รูปที่ ก.1 โมโนแกรมในการประมาณค่าดัชนีซีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืด (Viscosity)

หาค่าความหนืดตามวิธีของ ASTM D 445-86 โดยใช้หลักการคือ วัดเวลา (วินาที) ของของไหลที่ไหลผ่าน capillary ของ kinematic viscometer ภายใต้แรงโน้มถ่วง ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ โดยที่ค่า kinematic viscosity จะได้จากการวัด flow time และ ค่าคงที่ของการ calibration เครื่อง viscometer

$$V = Ct$$

โดย V = kinematic viscosity, cSt (mm^2/s)

C = calibration constant of the viscometer

t = flow time (s)

จุดไหลเท (Pour point)

ตามวิธี ASTM D97

อุปกรณ์

- 1) เครื่องวัดจุดไหลเทอัตโนมัติ (Automatic pour point)
- 2) หลอดแก้วทดสอบ (Test jar)

วิธีการทดสอบ

- 1) เทตัวอย่างลงในหลอดแก้วทดสอบ (Test jar) จนมีปริมาตรถึงขีดที่กำหนด
- 2) นำหลอดแก้วทดสอบ (Test jar) ไปใส่ไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Cooling bath) เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ
- 3) ตั้งอุณหภูมิของเครื่องให้ใกล้เคียงกับจุดไหลเทของสารตัวอย่าง
- 4) ตั้งหมายเลขให้กับสารตัวอย่างแล้วทำการสั่งเดินเครื่อง
- 5) เครื่องจะทำการลดอุณหภูมิลงเรื่อย ๆ พร้อมกับการเอียงหลอดแก้วทดสอบเพื่อดูการไหลของสารตัวอย่าง
- 6) รอจนกระทั่งสารตัวอย่างในหลอดแก้วทดสอบไม่สามารถไหลได้อีก หน้าจอที่แสดงอุณหภูมิจะกระพริบ อุณหภูมิที่แสดงบนหน้าจอจะเป็นค่าจุดไหลเท

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 หาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม

Batch	น้ำมัน (กรัม)	เมทานอล (กรัม)	เบส (ชนิด/%)	ความเร็ว (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ชั้นบน (กรัม)	ชั้นล่าง (กรัม)	%FAME	%Yield
1/1	250.13	50	K/0.1	300	60	262.50	8.36	33.80	35.31
1/2	250.01	50	K/0.1	300	60	262.77	6.56	16.04	16.78
2/1	250.12	50	N/0.05	300	60	255.14	9.89	26.35	26.75
2/2	251.20	50	N/0.05	300	60	256.73	6.50	19.07	19.40
3/1	250.12	50	N/0.1	300	60	257.71	18.46	56.02	57.45
3/2	250.86	50	N/0.1	300	60	258.30	16.41	60.47	61.97
4/1	250.79	50	N/0.2	300	60	258.01	27.26	67.69	69.31
4/2	250.54	50	N/0.2	300	60	259.28	28.24	64.89	66.84
5/1	250.88	50	N/0.3	300	60	257.37	28.31	77.28	78.91
5/2	250.25	50	N/0.3	300	60	255.25	31.19	82.14	83.39
6/1	250.33	50	N/0.4	300	60	254.95	31.80	79.66	79.66
6/2	250.14	50	N/0.4	300	60	253.21	32.45	82.13	82.75
7/1	251.87	50	N/0.5	300	60	253.99	36.65	84.63	84.94
7/2	250.09	50	N/0.5	300	60	250.40	32.76	85.27	84.97
8/1	250.19	50	N/0.6	300	60	249.32	45.23	78.34	77.70
8/2	250.26	50	N/0.6	300	60	248.51	48.19	77.91	77.00
9/1	251.51	50	N/0.7	300	60	246.55	51.45	68.83	67.16
9/2	250.48	50	N/0.7	300	60	243.55	58.78	83.99	81.28
10/1	250.25	50	N/1.0	300	60	196.21	73.71	89.66	69.97
10/2	250.50	50	N/1.0	300	60	195.21	82.47	81.80	63.45
11/1	250.10	25	N/0.5	300	60	183.40	80.29	50.93	37.17
11/2	250.22	25	N/0.5	300	60	186.24	73.58	41.57	30.80
12/1	250.18	40	N/0.5	300	60	238.37	39.02	84.30	79.94
12/2	250.30	40	N/0.5	300	60	230.81	46.90	85.54	78.51
13/1	250.93	60	N/0.5	300	60	249.84	34.75	91.56	90.74
13/2	250.60	60	N/0.5	300	60	250.88	4.035	92.22	91.89
14/1	250.72	75	N/0.5	300	60	255.16	33.89	65.10	65.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Batch	น้ำมัน (กรัม)	เมทานอล (กรัม)	เบส (ชนิด/%)	ความเร็ว (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ชั้นบน (กรัม)	ชั้นล่าง (กรัม)	%FAME	%Yield
14/2	250.60	75	N/0.5	300	60	256.92	33.70	76.86	78.43
15/1	250.05	60	N/0.5	150	60	245.26	33.78	86.19	84.14
15/2	250.14	60	N/0.5	150	60	243.75	27.85	91.72	88.96
16/1	250.39	60	N/0.5	450	60	251.94	30.45	91.77	91.91
16/2	250.37	60	N/0.5	450	60	254.16	29.10	89.79	90.72
17/1	250.74	60	N/0.5	300	RT	257.29	29.72	81.64	83.38
17/2	250.24	60	N/0.5	300	RT	255.50	29.98	80.84	82.15
18/1	250.87	60	N/0.5	300	80	247.56	38.62	94.81	93.12
18/2	250.45	60	N/0.5	300	80	245.94	38.73	91.91	89.86

หมายเหตุ : N = NaOH , K = KOH , RT = อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ความหนาแน่น

Batch	เบต (ชนิด/%)	เมทานอล (กรัม)	ความเร็ว(รอบ/นาที)	อุณหภูมิ(°C)	ความหนาแน่น (g/cm ³)					
					25°C			40°C		
					Batch/1	Batch/2	เฉลี่ย	Batch/1	Batch/2	เฉลี่ย
1	K/0.1	50	300	60	0.8910	0.8948	0.8929	0.8823	0.8849	0.8836
2	N/0.05	50	300	60	0.8968	0.8998	0.8983	0.8867	0.8900	0.8884
3	N/0.1	50	300	60	0.8849	0.8845	0.8847	0.8724	0.8738	0.8731
4	N/0.2	50	300	60	0.8751	0.8723	0.8737	0.8652	0.8623	0.8638
5	N/0.3	50	300	60	0.8722	0.8720	0.8721	0.8608	0.8596	0.8602
6	N/0.4	50	300	60	0.8713	0.8711	0.8712	0.8605	0.8609	0.8607
7	N/0.5	50	300	60	0.8714	0.8702	0.8708	0.8590	0.8586	0.8588
8	N/0.6	50	300	60	0.8710	0.8700	0.8705	0.8587	0.8583	0.8585
9	N/0.7	50	300	60	0.8697	0.8699	0.8698	0.8585	0.8596	0.8591
10	N/1.0	50	300	60	0.8709	0.8702	0.8705	0.8582	0.8584	0.8583
11	N/0.5	25	300	60	0.8720	0.8716	0.8718	0.8614	0.8617	0.8616
12	N/0.5	40	300	60	0.8707	0.8716	0.8711	0.8603	0.8604	0.8604
13	N/0.5	60	300	60	0.8659	0.8680	0.8670	0.8571	0.8575	0.8573
14	N/0.5	75	300	60	0.8662	0.8680	0.8671	0.8573	0.8574	0.8574
15	N/0.5	60	150	60	0.8690	0.8694	0.8692	0.8582	0.8579	0.8581
16	N/0.5	60	450	60	0.8694	0.8693	0.8694	0.8584	0.8581	0.8583
17	N/0.5	60	300	RT	0.8711	0.8713	0.8712	0.8607	0.8605	0.8606
18	N/0.5	60	300	80	0.8682	0.8683	0.8683	0.8574	0.8578	0.8576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณกรดไขมันอิสระ

- หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH โดยการไทเทรตกับ KHP

น้ำหนัก NaOH = 0.4134 กรัม ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

น้ำหนัก KHP = 2.0422 กรัม ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร (น้ำหนักโมเลกุล = 204.22)

ไทเทรตสารละลาย KHP 10 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย NaOH

ตารางที่ ข.3 ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต KHP

ครั้งที่	ปริมาตร NaOH (มิลลิลิตร)
1	11.80
2	11.90
เฉลี่ย	11.85

การคำนวณ หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH

$$\text{mol NaOH} = \text{mol KHP}$$

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$M_1 (11.85) = (0.1)(10)$$

$$M_1 = 0.0844$$

∴ ความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH เท่ากับ 0.0844 N

- หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

ตารางที่ ข.4 น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

น้ำมัน	น้ำหนัก (กรัม)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ปาล์ม	56.41	56.44
ดีเซลชีวภาพ/1	56.42	56.41
ดีเซลชีวภาพ/2	56.43	56.45

เมื่อทำการไทเทรตด้วยสารละลาย 0.0844 N NaOH

ตารางที่ ข.5 ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตกรดไขมันอิสระ

น้ำมัน	ปริมาตร NaOH (มิลลิลิตร)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ปาล์ม	2.7	2.8
ดีเซลชีวภาพ/1	2.0	1.9
ดีเซลชีวภาพ/2	2.0	2.0

คำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ดังสมการ

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ} = \frac{N \times V \times M \times 100}{1000 \times W}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้น NaOH (N)

V = ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

M = น้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันอิสระ

W = น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)

ตารางที่ ข.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

น้ำมัน	%Palmitic			%Oleic		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ปาล์ม	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.115
ดีเซลชีวภาพ/1	0.08	0.07	0.075	0.08	0.08	0.08
ดีเซลชีวภาพ/2	0.07	0.08	0.075	0.08	0.08	0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ค่าความร้อน

Batch	เบต (ชนิด/%)	เมทานอล (กรัม)	ความเร็ว(รอบ/นาที)	อุณหภูมิ(°C)	ค่าความร้อน (cal/g)		
					Batch/1	Batch/2	เฉลี่ย
1	K/0.1	50	300	60	9843.57	9849.94	9851.39
2	N/0.05	50	300	60	9977.46	9890.13	9846.76
3	N/0.1	50	300	60	9799.50	9903.29	9933.80
4	N/0.2	50	300	60	9991.63	9954.51	9973.07
5	N/0.3	50	300	60	9799.21	10113.31	9956.26
6	N/0.4	50	300	60	9848.09	10060.84	9954.46
7	N/0.5	50	300	60	9891.04	10112.09	10001.56
8	N/0.6	50	300	60	9886.26	9832.20	9859.23
9	N/0.7	50	300	60	9845.10	9882.24	9863.67
10	N/1.0	50	300	60	10042.45	9955.79	9999.12
11	N/0.5	25	300	60	9704.77	9859.11	9781.94
12	N/0.5	40	300	60	9868.67	9833.68	9851.18
13	N/0.5	60	300	60	10009.31	9884.92	9947.12
14	N/0.5	75	300	60	10046.70	9852.40	9949.55
15	N/0.5	60	150	60	9831.40	9974.97	9903.18
16	N/0.5	60	450	60	9902.72	9884.54	9893.63
17	N/0.5	60	300	RT	9901.85	9799.34	9850.60
18	N/0.5	60	300	80	9829.58	9832.83	9831.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี

ฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ครั้งละ 1 ไมโครลิตร โดยใช้เครื่อง TREMETRICS™ 9001 Gas Chromatography คอลัมน์ที่ใช้คือ capillary column SE-30 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ยาว 4 เมตร ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สพา โดยมีอุณหภูมิดังต่อไปนี้

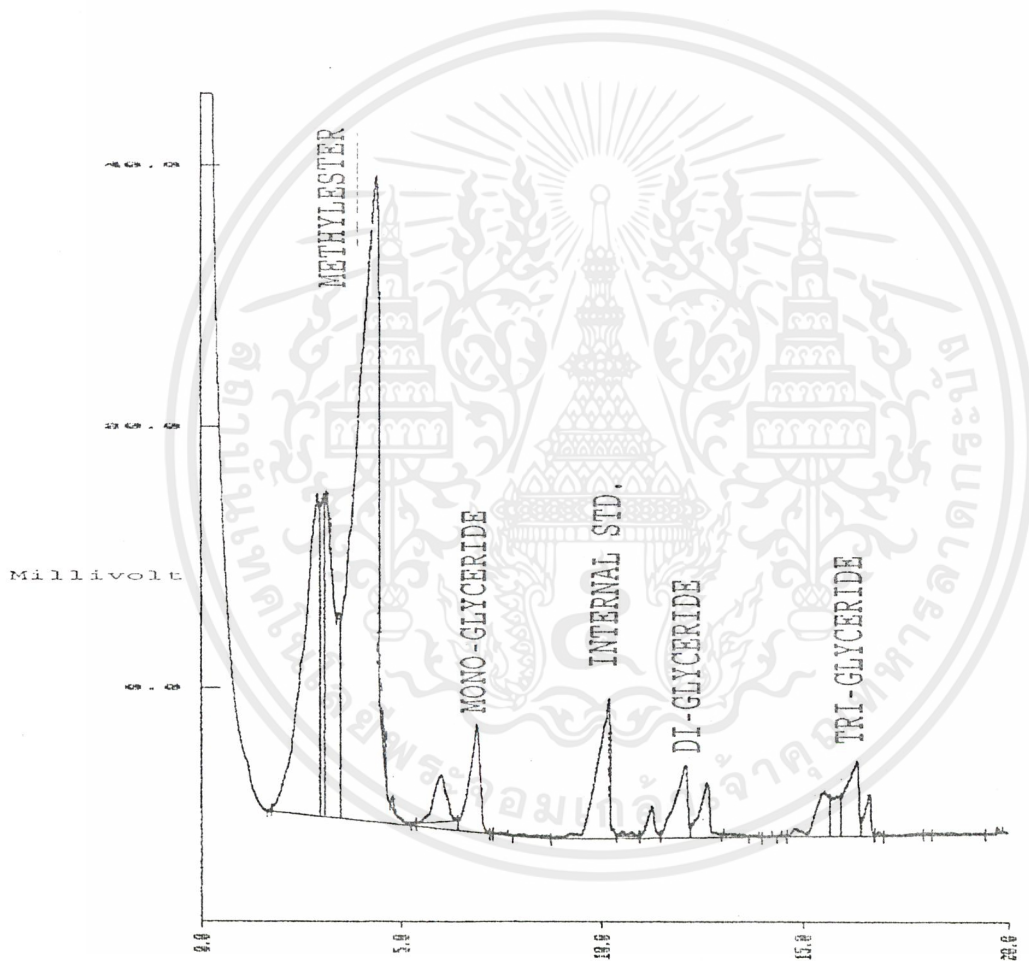
อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที

อุณหภูมิสุดท้าย 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที

อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสต่อนาที

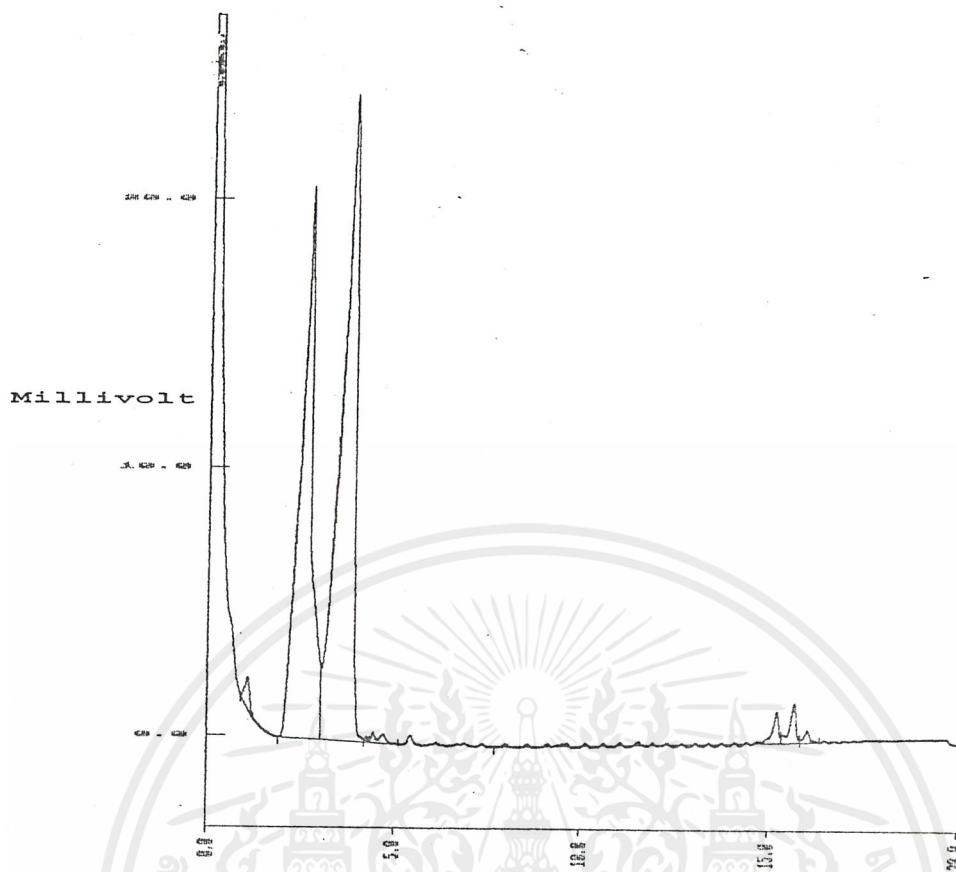
อุณหภูมิช่องฉีดสาร (Injector) 350 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเครื่องตรวจจับ (FID detector) 350 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.1 โครมาโทแกรมของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอไรด์มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

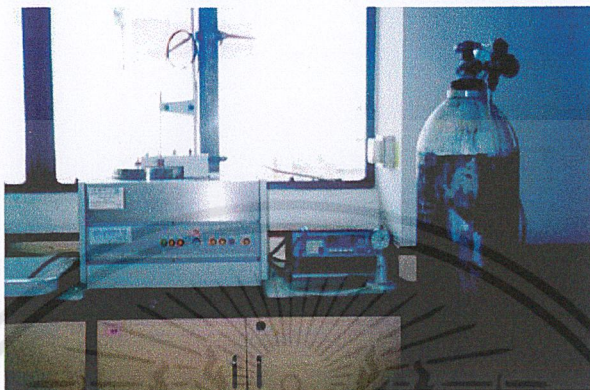


รูปที่ ข.2 โครมาโทแกรมของสารที่กลั่นได้ในช่วง 140-240 องศาเซลเซียส
ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท

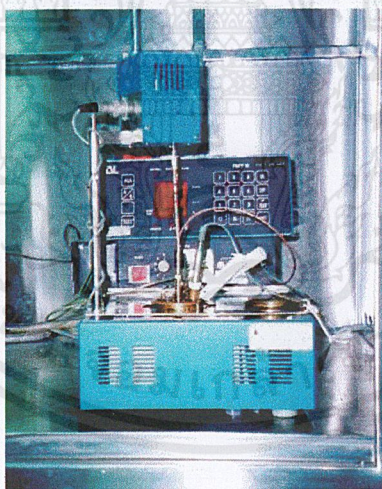
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

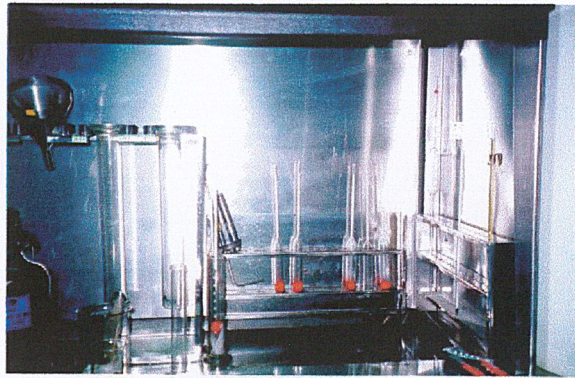


รูปที่ ค.1 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์อัตโนมัติ (Automatic Bomb Calorimeter)

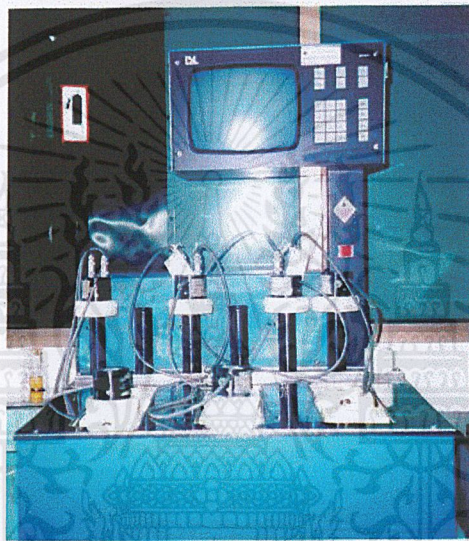


รูปที่ ค.2 เครื่องหาจุดวาบไฟอัตโนมัติ (Automatic Flash Point Tester,
ISL Model PMFP 93)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)



รูปที่ ค.4 เครื่องหาจุดไหลเทอัตโนมัติ (Automatic Pour Point Tester, ISL Model CPP 97-6)



รูปที่ ค.5 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์เปกโตรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, Jordus Valley Ex310)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.6 เครื่องหาความหนืดอัตโนมัติ (Automatic Viscosity Tester)



รูปที่ ค.7 เครื่องกลั่น (Manual Distillation, LAUDA)



รูปที่ ค.8 เปรียบเทียบลักษณะภายนอกของ ก)น้ำมันปาล์ม ข)ชั้นเอสเทอร์
ค)ชั้นกลีเซอริน ง)เอสเทอร์ที่กลั่นได้ จ)สารที่เหลือจากการกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้