

การเตรียมและศึกษาสมบัติของดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าว

PREPARATION AND PROPERTIES OF BIODIESEL FROM COCONUT OIL



นางสาวปิยะภรณ์ วลัยกนก

นางสาวสุภารัตน์ วัฒนาวิงจงสุข

เลขหน้ 2545
เลขทะเบียน 43919
วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2545

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545/4

PREPARATION AND PROPERTIES OF BIODIESEL FROM
COCONUT OIL



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF SCIENCE IN CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

การเตรียมและศึกษาสมบัติดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าว

นางสาวปิยะภรณ์ วลัยกนก

นางสาวสุภารัตน์ วัฒนาวิงจงสุข

เคมี

ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)


หัวหน้าภาควิชา

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



(รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

ประธานกรรมการ



(ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์)

กรรมการ



(ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมและสมบัติของดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันมะพร้าว	
นักศึกษา	นางสาวปิยะภรณ์ วลัยกนก	รหัสประจำตัว 41052052
	นางสาวสุภารัตน์ วัฒนาวังงสุข	รหัสประจำตัว 41052088
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ	ผศ.ดร. เพ็ญชัย ไชยสิทธิ์	
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
พ.ศ.	2544	

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) จากน้ำมันมะพร้าว โดยการนำน้ำมันมะพร้าวมาทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาผลของ ชนิดแอลกอฮอล์ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ อุณหภูมิ ชนิดเบส และปริมาณเบส และทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ผลิตได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตดีเซลชีวภาพ เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์อัลคิลเอสเทอร์มากที่สุด และมีค่าความร้อน ความหนาแน่น ความหนืด และสมบัติอื่นๆ เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานแทนน้ำมันดีเซล คือ น้ำมันมะพร้าวมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล หรือเอทานอล 99.9 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 โดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Project Title	Preparation and properties of biodiesel from coconut oil.	
Student	Miss. Piyaporn Walaikanok	Student ID. 41052052
	Miss. Sudarat Wattanawangjongsuk	Student ID. 41052088
Project advisor	Assistant Professor Dr.Pachernchai Chaiyasit	
Degree	Bachelor's Degree of Science	
Program	Industrial Chemistry	
Year	2001	

ABSTRACT

In this special project, the suitable condition for preparations of biodiesel from coconut oil have been studied. The essential part of this project is the transesterification of coconut oil with alcohol, in the present of base catalyst. The effect of type of alcohol , mole ratio of oil to alcohol ,temperature , type of base and amount of base on the properties and percent yield of biodiesel have been determined. It has been found that, the suitable condition is 1:6 mole ratio of oil to alcohol , 2 hours mixing time at 60 °C and 1% NaOH by weight of oil.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและข้อมูลที่เป็นประโยชน์จาก ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ คุณสุพจน์ ศิวาคมและนักวิทยาศาสตร์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าจอมคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ต่างๆ และอำนวยความสะดวกต่างๆในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ ดร.ตะวัน สุขน้อย ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์กุลวดี ทองภูเบศร์ ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี และคอยให้คำแนะนำต่างๆในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ คุณขวัญฤดี เขียวแสง และเจ้าหน้าที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ทุกคน ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ คุณสุรชัย วรธรรมทองดี ที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ น้อง และเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือตลอดมาในการทำโครงการพิเศษนี้

ปิยะภรณ์ วลัยกนก

ศุภารัตน์ วัฒนาวังงสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 มะพร้าว.....	3
2.2 น้ำมันมะพร้าว.....	4
2.2.1 วัตถุประสงค์.....	5
2.2.2 กรรมวิธีการผลิต.....	5
2.2.3 สมบัติของน้ำมันมะพร้าว.....	10
2.3 น้ำมันดีเซล.....	12
2.3.1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล.....	13
2.3.1.1 ค่าซีเทน (Cetane Number) หรือดัชนีซีเทน (Cetane Index)...	13
2.3.1.2 จุดวาบไฟ (Flash Point).....	14
2.3.1.3 การกลั่น (Distillation).....	14
2.3.1.4 ความหนืด (Viscosity).....	15
2.3.1.5 จุดไหลเท (Pour point).....	16
2.3.1.6 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur Content).....	16
2.4 ดีเซลชีวภาพ.....	16
2.4.1 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification).....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 กระบวนผลิตดีเซลชีวภาพ.....	19
2.4.3 ข้อดีของดีเซลชีวภาพเมื่อใช้แทนน้ำมันดีเซล.....	21
2.4.4 ประโยชน์ของอัลคิลเอสเทอร์และกลีเซอริน.....	22
2.5 กลีเซอริน.....	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ.....	23
2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย.....	26
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน.....	30
3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง.....	38
4.1 ผลของการศึกษาสมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ.....	38
4.2 ผลของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพ.....	39
4.2.1 อุณหภูมิ.....	39
4.2.2 ชนิดเบส.....	40
4.2.3 ปริมาณเบส.....	41
4.2.4 ชนิดแอลกอฮอล์.....	42
4.2.5 อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์.....	43
4.3 สมบัติของดีเซลชีวภาพ.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก.....	51
ภาคผนวก ก.การทดสอบสมบัติของน้ำมัน.....	51
ภาคผนวก ข.ข้อมูลการทดลอง.....	67



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	แสดงปริมาณเนื้อมะพร้าวที่นำเข้าและส่งออกต่างประเทศ.....	4
2.2	แสดงปริมาณการผลิตน้ำมันมะพร้าวในประเทศไทย.....	10
2.3	แสดงการนำเข้าและส่งออกของน้ำมันมะพร้าวในประเทศไทย.....	10
2.4	แสดงองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว.....	11
2.5	แสดงสมบัติของน้ำมันมะพร้าว.....	11
2.6	แสดงข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซล.....	12
2.7	แสดงสมบัติโดยทั่วไปของดีเซลชีวภาพตามมาตรฐานของประเทศต่างๆ.....	20
3.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	37
4.1	แสดงสมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ.....	38
4.2	แสดงผลของอุณหภูมิ.....	39
4.3	แสดงผลของชนิดเบส.....	40
4.4	แสดงผลของปริมาณเบส.....	41
4.5	แสดงผลของชนิดแอลกอฮอล์.....	42
4.6	แสดงผลของอัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์.....	43
4.7	แสดงสมบัติของดีเซลชีวภาพเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	45
5.1	แสดงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตดีเซลชีวภาพ.....	46
5.2	เปรียบเทียบสมบัติของดีเซลชีวภาพ น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันดีเซล.....	47
ก-1	แสดง Limiting Conditions and Testing Temperature.....	54
ข-1	แสดงผลการทดลองสมบัติค่าความร้อนของดีเซลชีวภาพที่สภาวะต่างๆ.....	72
ข-2	แสดงผลการทดลองสมบัติค่าความหนืดของดีเซลชีวภาพที่สภาวะต่างๆ.....	73
ข-3	แสดงผลการทดลองสมบัติค่าความหนาแน่นของดีเซลชีวภาพที่สภาวะต่างๆ.....	74
ข-4	แสดงผลน้ำหนักของอัลคิลเอสเทอร์ที่ได้จากดีเซลชีวภาพที่สภาวะต่างๆ.....	75

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การสกัดน้ำมันดิบโดยวิธีบีบอัด.....	7
2.2	การสกัดน้ำมันดิบโดยวิธีใช้ตัวทำละลาย.....	8
2.3	การกลั่นน้ำมันพีชให้บริสุทธิ์.....	9
2.4	แสดงปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์.....	17
2.5	แสดงกลไกปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้กรด และเบส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	18
2.6	แสดงกระบวนการผลิตดีเซลชีวภาพ.....	19
3.1	การตั้ง Batch.....	33
3.2	การแยกชั้นของดีเซลชีวภาพ.....	33
3.3	การล้าง.....	34
3.4	หลังล้างน้ำเสร็จทันที.....	34
3.5	หลังล้างเสร็จทิ้งไว้ 1 คืน.....	34
3.6	ดีเซลชีวภาพ.....	34
3.7	ดีเซลชีวภาพ.....	34
3.8	การกลั่น.....	35
4.1	แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์.....	40
4.3	แสดงผลของชนิดเบสที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์.....	41
4.4	แสดงผลของปริมาณเบสที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์.....	42
4.5	แสดงผลของชนิดแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์.....	43
4.6	แสดงผลของอัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิล เอสเทอร์.....	44
ก-1	แสดงส่วนประกอบของวิส โคมิเตอร์.....	56
ก-2	เครื่องบอมบ์คาลอรีมิเตอร์.....	61
ก-3	เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer.....	61
ก-4	เครื่อง Automatic Flash Point Pensky-Martens closed-cup.....	63
ก-5	เครื่อง Automatic Pour Point.....	64
ก-6	เครื่องกลั่นน้ำมัน Manual DIST (No.4)	65
ก-7	โนโมแกรมสำหรับหาค่าดัชนีซีเทน.....	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข-1	แสดงโครมาโทแกรมองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมได้.....	69
ข-2	โครมาโทแกรมมาตรฐานของคอสมัน DB-WAX.....	70
ข-3	โครมาโทแกรมของกรดไขมันมาตรฐาน.....	71



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากปัจจุบันมีความจำเป็นต้องใช้น้ำมันปิโตรเลียมเป็นจำนวนมากและมีความต้องการใช้ในปริมาณสูงมากขึ้นทุกปี โดยเฉพาะในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันดีเซลทั้งชนิดหมุนเร็ว และหมุนช้า เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว กล่าวคือ มีความต้องการน้ำมันดีเซลทั้ง 2 ชนิดรวมกัน ในปริมาณ 9,928 ล้านลิตร ในปี พ.ศ. 2533 เพิ่มขึ้นเป็น 14,973 ล้านลิตร ในปี พ.ศ. 2543 จากความต้องการใช้ในปริมาณสูงเช่นนี้ ทำให้ต้องนำเข้าน้ำมันดิบ ถึงวันละ 674,978 บาร์เรลต่อวัน เป็นมูลค่านำเข้าถึง 285,862 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2543 [1]

นับตั้งแต่ วิกฤตการณ์น้ำมันโลก พ.ศ. 2516 เป็นต้นมา กลุ่มประเทศอาหรับและกลุ่มประเทศโอเปคได้ใช้น้ำมันปิโตรเลียมเป็นอาวุธทางเศรษฐกิจ ได้ขึ้นราคาน้ำมันดิบปีละหลายครั้ง จนน้ำมันดิบมีราคาเพิ่มขึ้นจากเดิมหลายเท่าตัว จึงทำให้หลายประเทศประสบปัญหาด้านพลังงาน และก่อให้เกิดปัญหาทางเศรษฐกิจ ด้วยเหตุนี้ ทำให้ประเทศต่างๆพยายามที่จะคิดค้นหาพลังงานทดแทนมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียน อาทิ เช่น การใช้แอลกอฮอล์กับเครื่องยนต์เบนซิน การนำพลังงานแสงอาทิตย์ ลม กระแสน้ำ และก๊าซชีวภาพ มาใช้ประโยชน์ น้ำมันพืชเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่ได้รับการสนใจ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล [2]

ในต่างประเทศมีการนำน้ำมันพืชมาใช้ทดลองเดินเครื่องยนต์ดีเซล ตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่สอง และมีการวิจัยการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลอย่างต่อเนื่อง โดยใช้น้ำมันจากพืชน้ำมันที่มีในปริมาณการเพาะปลูกมากในแต่ละประเทศ เช่น ในยุโรปใช้น้ำมันเมล็ดเรพ (rapeseed oil) และน้ำมันทานตะวัน ในสหรัฐอเมริกาใช้น้ำมันถั่วเหลือง ในประเทศมาเลเซียใช้น้ำมันปาล์ม

สำหรับประเทศไทยได้เคยมีงานวิจัยในเรื่องดังกล่าว ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 [1] โดยทดลองใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล แต่พบปัญหาเกิดขึ้นมากมาย เนื่องจากสมบัติของน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลมีความแตกต่างกัน ซึ่ง จากสมบัติที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูง และ ระเหยตัวได้ต่ำ ทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก และไม่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบต่ำๆ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาการสันดาปไม่สมบูรณ์และไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชโดยตรงกับเครื่องแบบเดิมจึงไม่เหมาะสม ถ้าจะมีการนำมาใช้ต้องมีการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ก่อน ซึ่งเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ปัญหาดังกล่าวข้างต้น สามารถแก้ไขได้โดยนำน้ำมันพืชมาสังเคราะห์เป็นเมทิลหรือเอทิลเอสเทอร์

โดยสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่อยู่ในน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เรียกว่า “ดีเซลชีวภาพ” หรือ “Biodiesel” เชื้อเพลิงชนิดนี้ มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ดีเซลชีวภาพยังเป็นเชื้อเพลิงสะอาด มีกำมะถันอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับในน้ำมันดีเซล เมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเมืองใหญ่ และพื้นที่ที่มีปัญหาค้นสิ่งแวดล้อม จะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการเตรียมและสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าว โดยผ่านการกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าว โดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification)
2. เพื่อศึกษาสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ผลิตได้จากปิโตรเลียม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าว โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ อุณหภูมิในการปฏิกิริยา ชนิด และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดของแอลกอฮอล์ และอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์
2. ศึกษาสมบัติดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ตัวอย่างเช่น ความหนืด จุดวาบไฟ ความหนาแน่น ค่าซีเทน ค่าความร้อน เป็นต้น

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพ
2. ทราบสมบัติของดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ
3. ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้
4. ลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมเนื่องการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะพร้าว

มะพร้าว (Coconut = โคโคนัท) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งจากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติ [3] ได้เคยสำรวจพบว่า ประชากรไทย 1 คน จะบริโภคเนื้อมะพร้าวประมาณปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผล/คน/ปี ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีพลเมืองประมาณ 55 ล้านคน จะใช้ผลมะพร้าวประมาณ 990 ล้านผล หรือประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตทั้งหมด หรือ 489 ล้านผล ใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออกต่อไป ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่ม อุตสาหกรรมมะพร้าวใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ

1. ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภค เช่น อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้งอุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น อุตสาหกรรมมะพร้าวขูดแห้ง อุตสาหกรรมน้ำตาลมะพร้าว
2. ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมและอุปโภค เช่น อุตสาหกรรมเส้นใยมะพร้าว อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ อุตสาหกรรมเผาถ่านจากกะลามะพร้าว อุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

มะพร้าวสามารถขึ้นได้ในทุกจังหวัดทั่วประเทศ แต่ขึ้นได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อยคือ (pH ระหว่าง 6 - 7) ลักษณะดินร่วน หรือร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดี มีฝนตกกระจายสม่ำเสมอแทบทุกเดือน อากาศอบอุ่น หรือค่อนข้างร้อน และมีแสงแดดมาก

ภาคที่มีการปลูกมะพร้าวมากและปลูกเป็นอาชีพ คือ ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก

ภาคใต้ : จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร นครศรีธรรมราช ฯลฯ

ภาคตะวันออก : จังหวัดชลบุรี ระยอง ฯลฯ

ภาคตะวันตก : จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สมุทรสงคราม ฯลฯ

พื้นที่เพาะปลูก 2,163,439 ไร่ และ พื้นที่ให้ผลผลิต 1,917,287 ไร่ (2541) [4]

พันธุ์ที่ส่งเสริมในการเพาะปลูก

- พันธุ์สวีลูกผสม 1
- พันธุ์ชุมพรลูกผสม 60 - 1
- พันธุ์ชุมพรลูกผสม 2

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณเนื้อมะพร้าวที่นำเข้าจากต่างประเทศ และที่ส่งออกต่างประเทศ
(เมตริกตัน) [1]

ปี	สินค้าส่งออก		สินค้านำเข้า
	มะพร้าวแห้ง	ผลมะพร้าว	มะพร้าวแห้ง
2537	7,197	15	75
2538	8,342	83	62
2539	8,040	52	104
2540	11,673	1,052	86
2541	21,177	299	51

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

2.2 น้ำมันมะพร้าว [5]

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในด้านการบริโภค และเป็นวัตถุดิบเพื่อการอุตสาหกรรม ประเทศไทยนิยมปลูกมะพร้าวกันมากทางภาคใต้ โดยเนื้อมะพร้าวแห้ง (copra) ของต้นมะพร้าว เราสามารถนำมาทำเป็นน้ำมันมะพร้าวได้ ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าวเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีความสำคัญและก่อให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจในสาขาเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม เพราะการผลิตน้ำมันมะพร้าวต้องอาศัยผลผลิตจากภาคเกษตรเป็นวัตถุดิบ น้ำมันมะพร้าวนอกจากจะใช้ในการบริโภคแล้วยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบทางด้านอุตสาหกรรมได้ด้วย โดยสามารถทำเป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น สี สบู่ ยารักษาโรค ผลิตภัณฑ์นมและเนยเทียม น้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น

น้ำมันมะพร้าวสามารถแบ่งประเภทตามคุณภาพและการแปรรูปได้ 2 ชนิด คือ

1. น้ำมันดิบ (Crude oil) ซึ่งได้จากการหีบหรืออัดขึ้นต้น น้ำมันชนิดนี้ยังมีสี กลิ่น รส เศษผง และกาก จึงไม่เหมาะที่จะนำไปบริโภค เมื่อทิ้งไว้นานมักมีกลิ่น และถ้าอุณหภูมิต่ำจะเกาะตัวเป็นไข
2. น้ำมันบริสุทธิ์ (Purified or Vegetable oil) ซึ่งได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยผ่านกระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการอื่นที่มีได้ใช้สารเคมีเข้าช่วย น้ำมันชนิดนี้จะปราศจากสี กลิ่น และเศษผงเจือปน

2.2.1 วัตถุดิบ

โรงงานผลิตน้ำมันมะพร้าวเกือบทั้งหมด จะใช้เนื้อมะพร้าวแห้งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตน้ำมันมะพร้าว มีบางโรงงานที่ใช้กากมะพร้าวที่เหลือจากการประกอบอาหารแล้วมาสกัดเอาน้ำมันมะพร้าว แต่การที่นำเอากากมะพร้าวมาสกัดน้ำมันนั้น จะให้สัดส่วนน้ำมันน้อย คือได้ประมาณร้อยละ 15 – 20 เท่านั้น เทียบกับการสกัดน้ำมันจากเนื้อมะพร้าวแห้งแล้วจะให้สัดส่วนของน้ำมันถึงประมาณร้อยละ 55 – 58 สำหรับแหล่งที่มาของวัตถุดิบนั้น ส่วนใหญ่จะมาจากทางภาคใต้อันเป็นแหล่งที่มีการทำสวนมะพร้าวมาก

2.2.2 กรรมวิธีการผลิต

การผลิตน้ำมันมะพร้าว สามารถแยกออกได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังนี้คือ

1. การเตรียมวัตถุดิบ เนื้อมะพร้าวแห้งหรือกากมะพร้าวที่เหลือจากการประกอบอาหาร ก่อนที่จะนำเข้าสู่เครื่องสกัดน้ำมันนั้น จะต้องตรวจดูความชื้นเสียก่อนว่ามีมากน้อยเพียงใด ถ้ามีความชื้นเกินกว่าร้อยละ 6 จะต้องนำมาผึ่งลมหรืออบให้แห้งเสียก่อน ความชื้นโดยทั่วไปที่เหมาะสมในการบีบหรืออัดจะต้องไม่เกินร้อยละ 5 เพราะถ้าหากมีความชื้นสูงกว่านี้แล้ว จะทำให้ได้อัตราส่วนของน้ำมันน้อยลง จากนั้นจะนำเข้าสู่เครื่องบด (Hammer mill) ซึ่งจะบดเนื้อมะพร้าวให้เป็นชิ้นเล็กๆ (ในกรณีของเนื้อมะพร้าวแห้ง) ส่วนกากมะพร้าวที่เหลือจากการประกอบอาหารนั้นไม่ต้องผ่านเครื่องบดเพราะเป็นชิ้นเล็กๆอยู่แล้ว แล้วจึงนำไปเข้าเครื่องบีบหรืออัดเพื่อสกัดน้ำมันต่อไป

2. การสกัดน้ำมันดิบ (Crude oil) การสกัดน้ำมันมะพร้าวอาจทำได้ 3 วิธี

❖ การสกัดโดยใช้เครื่องบีบหรืออัด (Expeller)

นำเนื้อมะพร้าวที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบในขั้นแรกเข้าเครื่องบีบแบบสกรู (Screw press) ซึ่งมีอย่างน้อย 4 เครื่องติดต่อกันไป เพื่อบีบเอาน้ำมันออกมา ส่วนกากมะพร้าวซึ่งยังมีน้ำมันเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 15 – 20 เข้าเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) ตามลำดับ จะได้กากมะพร้าวออกมาเป็นก้อนกลมๆ ซึ่งสามารถนำไปจำหน่ายให้แก่โรงงานทำอาหารสัตว์ หรือโรงงานทำปุ๋ยได้อีกทอดหนึ่ง

การสกัดน้ำมันโดยการบีบหรืออัดนี้เป็นวิธีการผลิตแบบเก่าที่ใช้เครื่องจักรบีบอัด เอาน้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าวหรือกากมะพร้าวโดยตรง เป็นวิธีที่นิยมใช้กันในแถบเอเชีย เพราะสะดวกและเครื่องมือมีราคาถูก สำหรับประเทศไทยนั้น นิยมใช้เครื่องบีบแบบสกรูเพรสเพียงอย่างเดียวกันเป็นส่วนมาก

❖ การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

วิธีนี้นับเป็นวิธีสกัดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการสกัดด้วยเครื่องบีบอัดมาก เพราะใช้เฮกเซน ซึ่งเป็นเคมีภัณฑ์ปิโตรเลียมเข้าช่วยในการสกัดน้ำมัน จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ของการตกค้างของน้ำมัน

ในภาคมีน้อยมาก โรงงานสกัดน้ำมันมะพร้าวขนาดใหญ่มักนิยมใช้วิธีนี้เพราะได้ผลผลิตมากกว่า และเครื่องจักรยังสามารถใช้กับพืชน้ำมันได้หลายชนิด แม้ว่าจะต้องลงทุนซื้อเครื่องจักรในราคาแพง และต้องเสียด่างผู้ปฏิบัติงานที่มีความชำนาญ ให้เหมาะสมกับเทคนิคขั้นสูงในการผลิต ก็ยังนับว่าคุ้มค่าเพราะให้ผลตอบแทนสูง กรรมวิธีการผลิตโดยวิธีนี้อาจทำได้หลายวิธี คือ

➤ แบบแช่ (Immersion) เป็นการสกัดโดยนำเนื้อมะพร้าวที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบแล้วลงแช่ในตัวทำละลาย (เฮกเซน) เมื่อน้ำมันถูกสกัดออกมาจะผสมอยู่กับตัวทำละลาย เมื่อแช่ไว้จนครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว จึงใช้ความร้อนเข้าช่วยเพื่อให้ตัวทำละลายระเหยตัวเหลือแต่น้ำมันดิบไว้

➤ แบบซึมผ่าน (Percolation) วิธีนี้ใช้พ่นตัวทำละลายจนท่วมเนื้อมะพร้าวแล้วปล่อยให้ตามกำหนดเวลาให้ซึมเข้าไปในเนื้อมะพร้าว เพื่อสกัดน้ำมันดิบออกมา

➤ แบบผสมระหว่างการซึมแช่และการซึมผ่าน (Percolation Immersion) คือ การพ่นแล้วทิ้งเนื้อมะพร้าวที่อยู่ในตัวทำละลายตามกำหนดเวลา แล้วแยกน้ำมันดิบออก โดยวิธีระเหยความร้อน

❖ การสกัดโดยใช้เครื่องบีบและตัวทำละลาย

เป็นการสกัดน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องบีบ แล้วนำกากที่เหลือมาสกัดด้วยตัวทำละลาย เพื่อเก็บน้ำมันที่เหลืออยู่ในกากอีกครั้งหนึ่ง

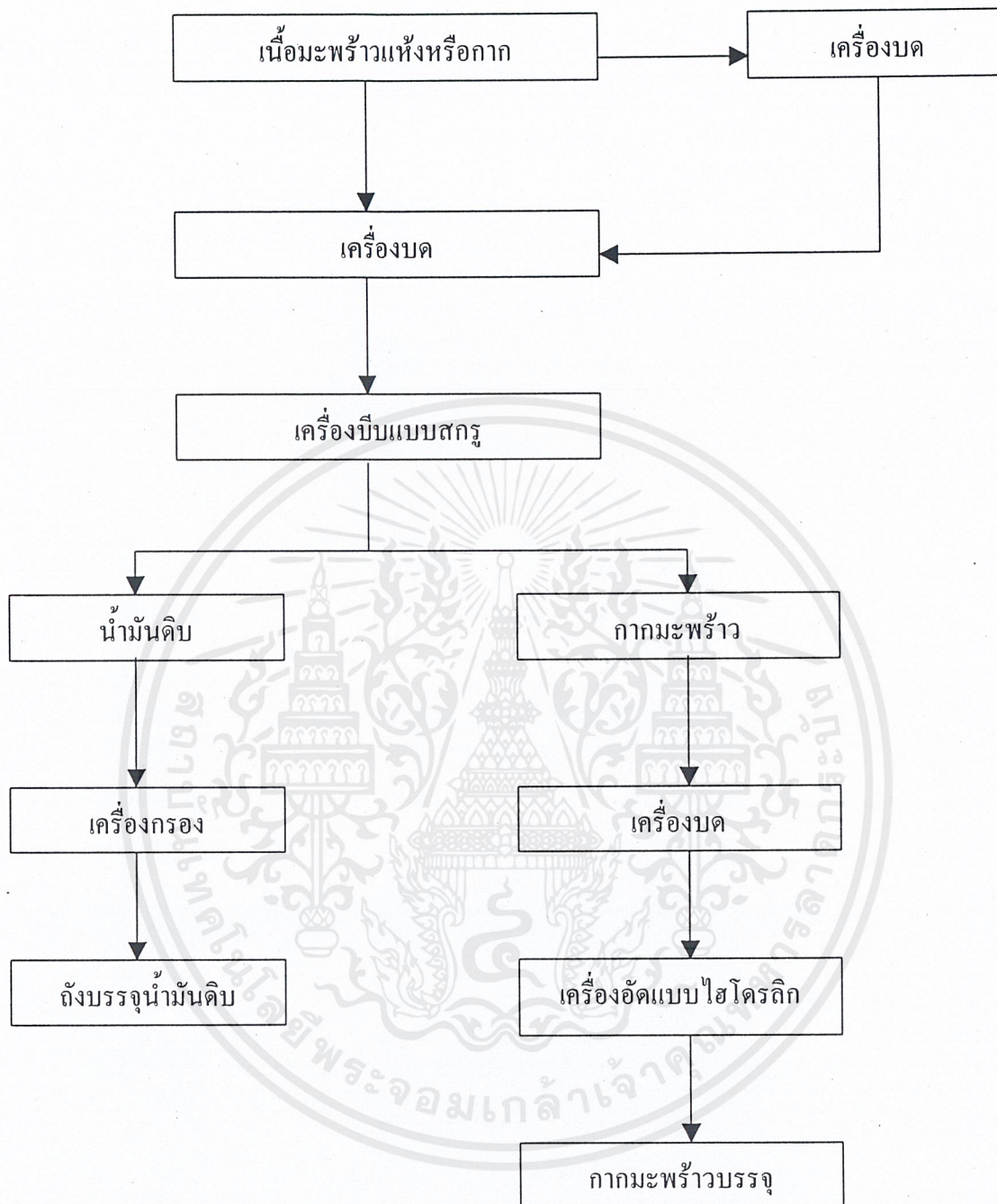
อย่างไรก็ตาม การสกัดน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เครื่องบีบอัด หรือใช้ตัวทำละลายก็ตาม ในขั้นนี้จะได้น้ำมันดิบ (Crude oil) ออกมา ซึ่งยังมีกลิ่น สี รส เศษผง กาก ตลอดจนมีสารบางชนิดเจือปนอยู่ ดังนั้น จึงจะต้องผ่านขั้นตอนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์อีกครั้ง

3. การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (Refining) คือ การกลั่นน้ำมันดิบโดยใช้วิธีทางเคมี เพื่อปรับสภาพของน้ำมันไม่ให้มีสี กลิ่น รส และกำจัดสารบางชนิดที่เจือปนอยู่ เพื่อให้เหมาะในการใช้บริโภค หรือนำไปใช้เป็นวัตถุดิบขั้นกลางในการผลิตสินค้าอื่นต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

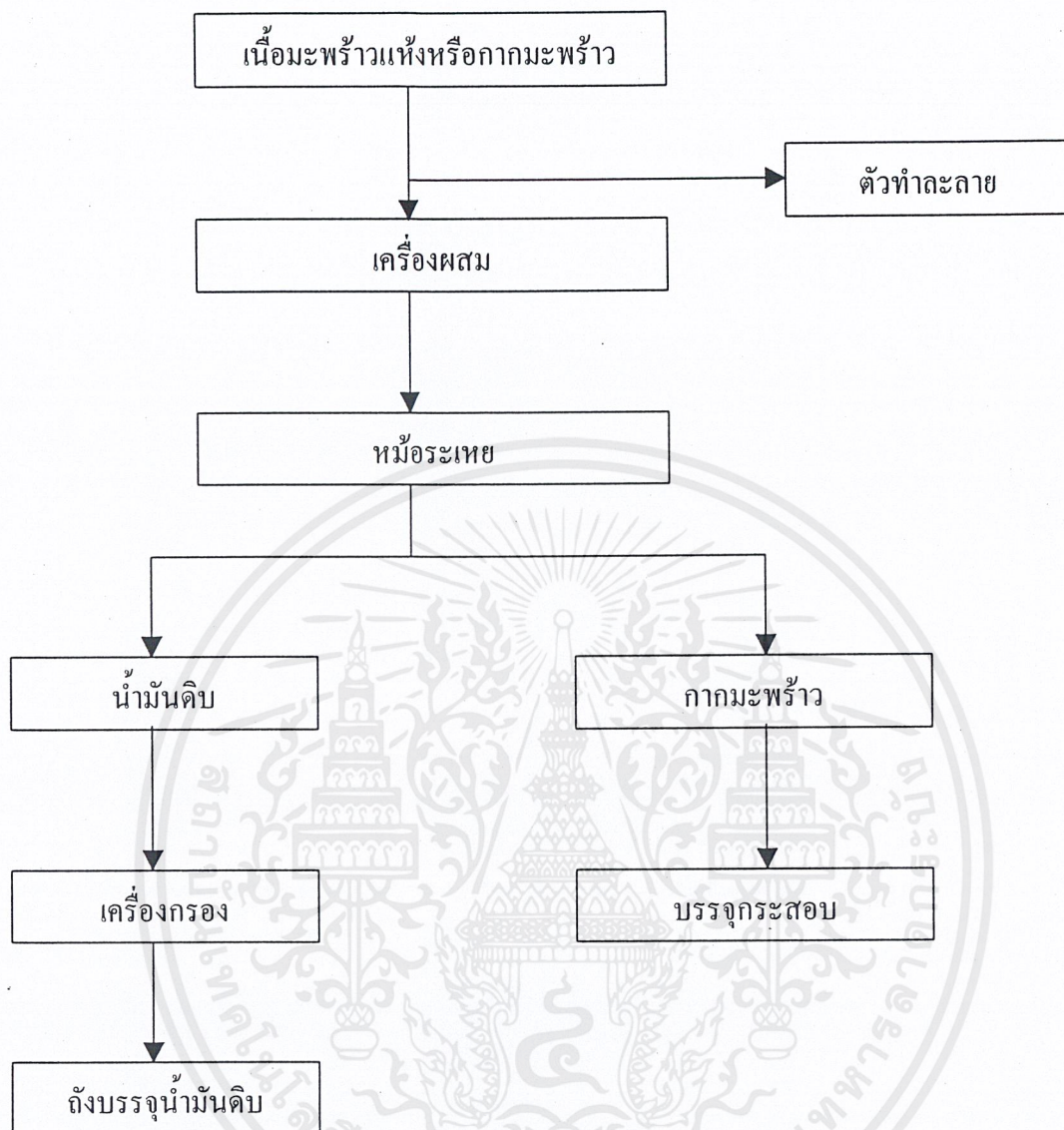
- การกำจัดกรดไขมันอิสระ (Refining) ด้วยโซดาไฟ (Cousmic soda) ซึ่งจะแยกน้ำมันที่ปราศจากกรดไขมันอิสระออกมา ส่วนหนึ่งจะได้สบู่ (Soap) ส่วนที่เป็นสบู่จะมีสิ่งสกปรกหรือสารบางอย่างเจือปนอยู่ในน้ำมันดิบมาก่อนปะปนออกมาด้วย ฉะนั้น น้ำมันที่ได้จะสะอาดและไม่มีกรด

- การฟอกสี (Bleaching) โดยใช้ผงฟอกสี (Fuller's Earth) และผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นตัวฟอกแล้วจึงนำไปกรองโดยเครื่องกรอง (Filter press) ให้หมดสี

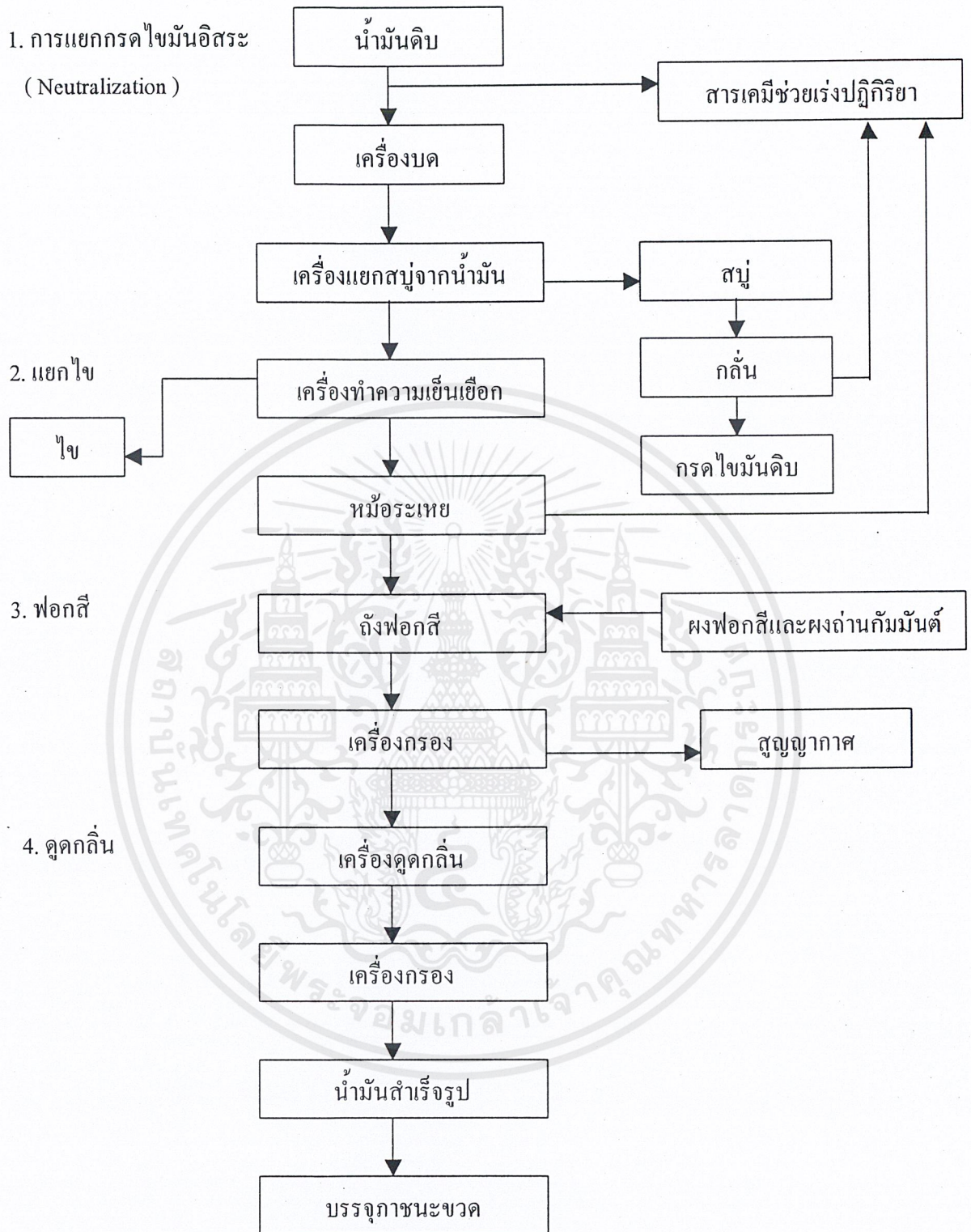
- การกำจัดกลิ่น (Deodorization) โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam Distillation) ภายใต้อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิระหว่าง 140 - 230 องศาเซลเซียสใช้เวลาระหว่าง 5 - 12 ชั่วโมง จะได้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ออกมา



รูปที่ 2.1 การสกัดน้ำมันดิบโดยวิธีบีบอัด



รูปที่ 2.2 การสกัดน้ำมันดิบโดยวิธีใช้ตัวทำละลาย



รูปที่ 2.3 การกลั่นน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณการผลิตน้ำมันมะพร้าวในประเทศไทย (พันตัน) [1]

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำมันมะพร้าว
2538/2539	1,413
2539/2540	1,419
2540/2541	1,386
2541/2542	1,372
2542/2543	/

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

ตารางที่ 2.3 แสดงการนำเข้าและส่งออกของน้ำมันมะพร้าวในประเทศไทย (เมตริกตัน) [1]

ปี	สินค้านำเข้า	สินค้าส่งออก
2537	1	317
2538	28	2,463
2539	32	50
2540	45	15,767
2541	63	9,367

หมายเหตุ : รวมน้ำมันทุกชนิดทั้งชนิดดิบ สกัด ผ่านกรรมวิธีเติมไฮโดรเจน

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

2.2.3 สมบัติของน้ำมันมะพร้าว [6]

น้ำมันมะพร้าว มีสีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนจนถึงสีขาว อยู่ในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่า 26 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 23 องศาเซลเซียสลงมาถึงน้อย น้ำมันมะพร้าวจะแข็งตัว ทั้งนี้เนื่องจากมีกรดไขมันโมเลกุลสั้นอยู่มากถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว การมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นจำนวนน้อย ทำให้น้ำมันมะพร้าวมีความคงทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี

ตารางที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว

กรดไขมันอิสระ	ปริมาณ %
<u>กรดไขมันอิ่มตัว</u>	
Caproic acid ($C_6H_{12}O_2$)	0 – 1
Caprylic acid ($C_8H_{16}O_2$)	5 – 10
Capric acid ($C_{10}H_{20}O_2$)	5 – 10
Lauric acid ($C_{12}H_{24}O_2$)	45 – 53
Myristic acid ($C_{14}H_{28}O_2$)	15 – 21
Palmitic acid ($C_{16}H_{32}O_2$)	7 – 11
Stearic acid ($C_{18}H_{36}O_2$)	2 – 4
<u>กรดไขมันไม่อิ่มตัว</u>	
Oleic acid ($C_{18}H_{34}O_2$)	6 – 8
Linoleic acid ($C_{18}H_{32}O_2$)	1 – 3

ตารางที่ 2.5 แสดงสมบัติของน้ำมันมะพร้าว

ค่ามาตรฐาน	
Iodine value	7 – 10
Saponification value	250 – 262
Melting point, °C	20 – 28
Free Fatty acid (as Lauric)	< 0.1
Specific gravity at 99 ° / 15.5 °C	0.869 – 0.874
at 25 ° / 15.5 °C	0.919 – 0.937
Viscosity at 40 °C , mPa.s	26

2.3 น้ำมันดีเซล [7]

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 น้ำมันจี้โล้ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางหรือรอบต่ำ กระทรวงพาณิชย์กำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลไว้ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซล [1]

ข้อกำหนด	น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (พ.ศ. 2541)	น้ำมันดีเซลหมุนช้า (พ.ศ. 2523)
1. ความถ่วงจำเพาะที่ 15.6 องศาเซลเซียส	0.81-0.87	ไม่สูงกว่า 0.92
2. ค่าซีเทน (Cetane number)	ไม่ต่ำกว่า 47	ไม่ต่ำกว่า 45
3. ค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส, เซนติสโตรก	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. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง ที่ 50 องศาเซลเซียส 3 ชม.	ไม่สูงกว่า # 1.0	-
10. กากคาร์บอน, %โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.05	-
11. การกลั่น, อุณหภูมิระเหย 90%, องศาเซลเซียส	ไม่สูงกว่า 357	-

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

ข้อกำหนด	น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (พ.ศ. 2541)	น้ำมันดีเซลหมุนช้า (พ.ศ. 2523)
12. คุณสมบัติการหล่อลื่น ทดสอบโดย HFRR, ไมโครเมตร	ไม่สูงกว่า 460	-
13. จุดไฟให้คว้น, มิลลิเมตร	-	-
14. สี	ไม่สูงกว่า 4 (ASTM)	4.5-7.5 (ASTM)

2.3.1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล

2.3.1.1 ค่าซีเทน (Cetane Number) หรือดัชนีซีเทน (Cetane Index)

ค่าซีเทนแสดงคุณภาพการจุดระเบิดของน้ำมัน (Ignition quality) อัตราการต้านการน็อค (Cetane rating) คือ ความสามารถในการต้านทานการน็อคของน้ำมันดีเซลโดยกำหนดให้

Cetane (Hexadecane) $C_{16}H_{34}$ มี Cetane Number = 100

Alpha-methy-naphthalene $C_{11}H_{10}$ มี Cetane Number = 0

ทั้งนี้เนื่องจากซีเทนมีความล่าช้าในการติดไฟ (Ignition delay) สั้นที่สุด (Short delay) จึงมีคุณสมบัติในการต้านทานการน็อคดีที่สุด แต่ Alpha-methy-naphthalene มี Ignition delay ยาวที่สุด (Long delay) จึงคุณสมบัติในการต้านการน็อคที่ไม่ดี

ดังนั้นถ้านำสารทั้งสองมาผสมกันโดยปริมาตร เช่น $C_{16}H_{34}$ 1 ลิตร + $C_{11}H_{10}$ 1 ลิตรจะได้ค่าซีเทนเท่ากับ 50 จึงถือเอาน้ำมันทั้งสองชนิดเป็นตัวอ้างอิง เพื่อใช้หาค่าซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงอื่นๆ

ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว คือตัวเลขที่บ่งชี้ถึง Ignition delay ของน้ำมันที่ได้จากการทดสอบในเครื่องยนต์ทดสอบมาตรฐาน (Cooperative Fuels Research) โดยการตั้งมาตรฐานให้ไฮโดรคาร์บอน Normal Cetane ($C_{16}H_{34}$) ซึ่งถูกติดไฟง่ายมีค่าซีเทนเป็น 100 เท่า และใช้ Alpha-methy-naphthalene ($C_{11}H_{10}$) ซึ่งถูกติดไฟยากมีค่าซีเทนเป็น 0 แต่หลังจากปี พ.ศ. 2505 เป็นต้นมา มีการใช้ Heptamethylnonane เป็นมาตรฐานแทน Alpha-methy-naphthalene โดยตั้งให้มีค่าซีเทนเป็น 15

ค่าซีเทนเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่คำนวณจากอัตราส่วนผสมเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณของ Normal Cetane กับ Heptamethylnonane ซึ่งมีคุณสมบัติการติดไฟเทียบเท่ากับน้ำมันตัว

อย่างโดยใช้เครื่องทดสอบมาตรฐาน การคำนวณนั้นใช้สมการข้างล่างนี้โดยแทนค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมดังนี้

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

หากค่า Ignition delay ต่ำ ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลจะสูงขึ้น ปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมในห้องเผาไหม้จะลดลงก่อนการลุกติดไฟ ดังนั้นน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงจะทำให้การควบคุมการเผาไหม้ทำได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น

ดัชนีซีเทน (Cetane Index)

การหาค่าซีเทนโดยการทดสอบด้วยเครื่องยนต์ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่าย จึงได้มีการพัฒนาวิธีการซึ่งใช้ประมาณค่าซีเทน จากคุณสมบัติน้ำมันดีเซลหมุนเร็วซึ่งใช้ในการควบคุมคุณภาพของน้ำมัน

เนื่องจากการหาค่าซีเทนต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลพิเศษ โดยเฉพาะในการเปรียบเทียบคุณภาพในการจุดระเบิดกับเชื้อเพลิงมาตรฐาน วิธีนี้ใช้ค่าใช้จ่ายสูง และสิ้นเปลืองเวลา ปัจจุบันจึงมีการประมาณเป็นดัชนีซีเทนซึ่งคำนวณได้จากการวัดค่าความถ่วง (API Gravity) และอุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (Mid Boiling Point)

น้ำมันดีเซลที่มีค่าดัชนีซีเทนที่พอเหมาะจะช่วยให้เครื่องยนต์ติดง่าย เครื่องเดินเรียบมีควันและเขม่าน้อย และประหยัดเชื้อเพลิงอีกด้วย

2.3.1.2. จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล หรือ อุณหภูมิซึ่งเป็นเชื้อเพลิงจะต้องถูกทำให้ความร้อนเพื่อที่จะก่อให้เกิดส่วนผสมของไอน้ำมัน และอากาศที่จุดติดไฟได้เหนือผิวหน้าของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อน้ำมันเป็นตัวต่อ ซึ่งวิธีการทดสอบมาตรฐานที่ใช้สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล คือ วิธีการ Pensky-Mearten Closed cup (ASTM D-93 -IP34) ในทางปฏิบัติ จุดวาบไฟมีความสำคัญในด้านอันตรายจากอัคคีภัย ในการขนส่งและการใช้งานเท่านั้น แต่ไม่มีความสำคัญโดยตรงต่อการสันดาปและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังใช้จุดวาบไฟสำหรับการตรวจสอบหากมีน้ำมัน ชนิดเบาเจือปนอยู่

2.3.1.3 การกลั่น (Distillation)

ความสามารถในการระเหย ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล นั้นวัดโดยการกลั่น (Distillation) ด้วยวิธีการของ ASTM-86 หรือ IP 123 ซึ่งวิธีทดสอบ คือ ทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอและจดบันทึกอุณหภูมิของไอเชื้อเพลิงสำหรับแต่ละเปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันที่กลายเป็นไอไปตลอดช่วงการกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติข้อนี้มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะในเครื่องยนต์รอบปานกลางและรอบสูง สำหรับความสามารถในการระบายที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับ รอบ ขนาด และการออกแบบของเครื่องยนต์ การใช้เชื้อเพลิงที่ระเหยง่ายเกินไปจะทำให้กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจากอาจเกิด Vapour lock ในระบบเชื้อเพลิง หรือหยดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดไม่สามารถที่จะไปไกลได้เท่าที่ควร โดยทั่วไปแล้วช่วงของการกลั่นของน้ำมันควรต่ำสุด โดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางด้านจุดวาบไฟ การลุกติดไฟ ค่าความร้อน ตลอดจนความชื้นใด เสียไป

- อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 10 เปอร์เซ็นต์ (10% Distillation) เป็นจุดที่ จะทำให้เครื่องยนต์ติดยากหรือง่าย ถ้าสูงเกินไปจะทำให้เครื่องยนต์ติดยาก จึงต้องมีข้อกำหนดจุดสูงสุดไว้ ถ้าต่ำมากไปอาจทำให้เกิด Vapour lock ได้ง่ายเช่นกัน
- อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 50 เปอร์เซ็นต์ (50% Distillation) เป็นจุดที่จะทำให้การอุ่นเครื่องยนต์ทำได้เร็ว การกระจายไอน้ำมันไปยังกระบอกสูบต่างๆเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และปรับส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศได้ถูกต้องตลอดเวลา ทำให้เร่งเครื่องได้ดี เครื่องยนต์มีพลังงานสูง ข้อกำหนดสำหรับ จุด 50 เปอร์เซ็นต์นี้ต้องมีค่าต่ำสุดและสูงสุด เพื่อควบคุมให้กำลังพอดี
- อุณหภูมิที่มีน้ำมันกลั่นออกมา 90 เปอร์เซ็นต์ (90% Distillation) ได้กำหนดจุดสูงสุดไว้เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานให้ได้พลังงานสูงสุด และประหยัดเชื้อเพลิง
- จุดสุดท้าย (End point) และส่วนที่เหลือจากการกลั่น มีการกำหนดจุดสูงสุดไว้เพื่อกันมิให้น้ำมันที่ไม่เผาไหม้ละลายลงในน้ำมันเครื่องมากเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสีย และน้ำมันเสื่อมประสิทธิภาพ

การระบายตัวและช่วงจุดเดือดที่เหมาะสม จะช่วยให้เครื่องยนต์ติดง่ายไม่เกิดเขม่า เกิดควันจากท่อไอเสียน้อย เครื่องยนต์มีกำลังและประหยัดเชื้อเพลิง

2.3.1.4. ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด หรือความชื้นใด คือ แรงต้านทานภายในตัวของน้ำมันต่อการไหล น้ำมันที่ไหลได้ง่าย น้ำมันที่ไหลได้ช้า ความหนืดต้องเหมาะสม เพื่อให้ระบบการฉีดน้ำมัน (Injection System) ฉีดเป็นฝอยอย่างละเอียด ในขณะที่เดียวกันช่วยหล่อลื่นปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงด้วย ถ้าน้ำมันข้นเกินไปจะไม่กระจายเป็นฝอย แต่ถ้าน้ำมันใสเกินไปก็จะทำให้การหล่อลื่นไม่พอ

2.3.1.5. จุดไหลเท (Pour point)

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันสามารถไหลได้ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งการวัดใช้วิธีตาม ASTM D-97 ณ อุณหภูมิต่ำ องค์ประกอบของพวกที่เป็น พาราฟิน ของน้ำมันดีเซลอาจแยกออกเป็นไข ซึ่งจะอุดตันทางเดินของน้ำมันเชื้อเพลิงและหม้อกรองเชื้อเพลิง ทำให้เครื่องยนต์ทำงานผิดปกติ หรือดับในที่สุด ซึ่งอุณหภูมินี้จะเป็นเท่าไรขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบ และช่วงการกลั่นของน้ำมันนั้น

2.3.1.6. ปริมาณกำมะถัน (Sulfur Content)

ปริมาณกำมะถัน กำมะถันในเชื้อเพลิงเมื่อเผาไหม้จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และ ไตรออกไซด์ (SO_3) แล้วทำปฏิกิริยากับน้ำ หรือความชื้น กลายเป็นกรดกำมะถัน กัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังทำให้น้ำมันเครื่องเกิดตะกอน (Sludge) ทำหน้าที่หล่อลื่นได้ไม่ดี ทั้งเครื่องยนต์ก็สึกปรก ปริมาณกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบที่ใช้ในการกลั่น และกระบวนการกลั่นที่ใช้ ซึ่งกำมะถันสามารถอยู่ในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น Mercaptans , Sulphide , Disulphides หรือ Heterocyclic compounds เช่น Thiophens

2.4 ดีเซลชีวภาพ [8,9]

ดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) คือ mono alkyl ester of long chain fatty acids ที่ได้จากแหล่งไขมัน เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันที่ใช้แล้ว

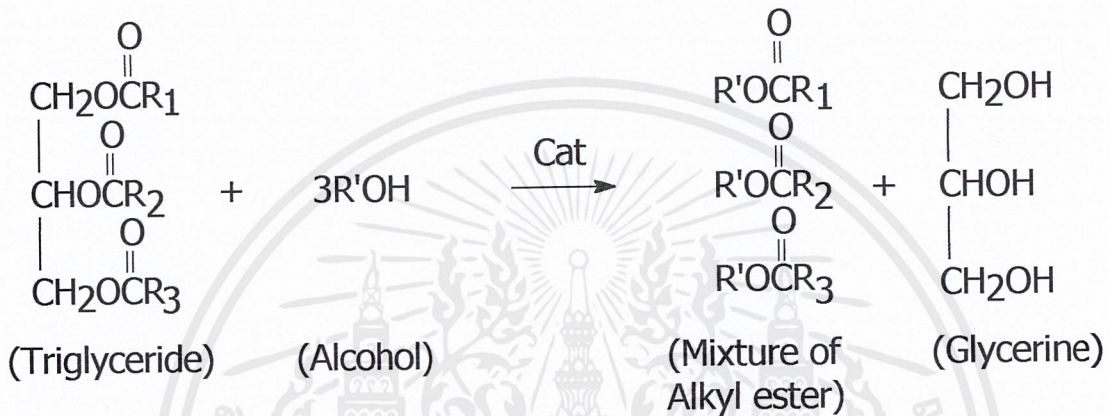
วิธีการผลิตไบโอดีเซลมีหลายวิธีคือ

1. เบนดิง (Blending) เป็นการนำน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนโดยมวลที่อัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้ความหนืดของน้ำมันพืชลดลง โดยสามารถผสมน้ำมันพืชตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปตามความเหมาะสม โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์
2. ไมโครอิมัลชัน (Microemulsions) เป็นการลดความหนืด ของน้ำมันพืช โดยการทำให้ของเหลวกระจายตัวในรูปอิมัลชัน ด้วยการผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้น เช่น เมทานอลหรือ เอทานอล โดยสามารถนำไปฉีดเป็นฝอยได้
3. ไพโรไลซิส หรือ เทอร์โมแครกกิง (Pyrolysis or Thermalcracking) โดยการให้ความร้อนแก่น้ำมันพืช ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน เพื่อให้ไขมันแตกเป็นโมเลกุลที่เล็กลง
4. ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน หรือ แอลกอฮอล์ไลซิส (Transesterification or Alcoholysis) เป็นการนำปฏิกิริยาของไขมัน (ไตรกลีเซอไรด์) กับแอลกอฮอล์ โดยมีตัว กรด หรือ เอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะทำให้ได้ เอสเทอร์ หรือกลีเซอรินออกมา

จากการศึกษาค้นคว้าวิจัยเบื้องต้น กระบวนการที่นิยมใช้ คือ ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

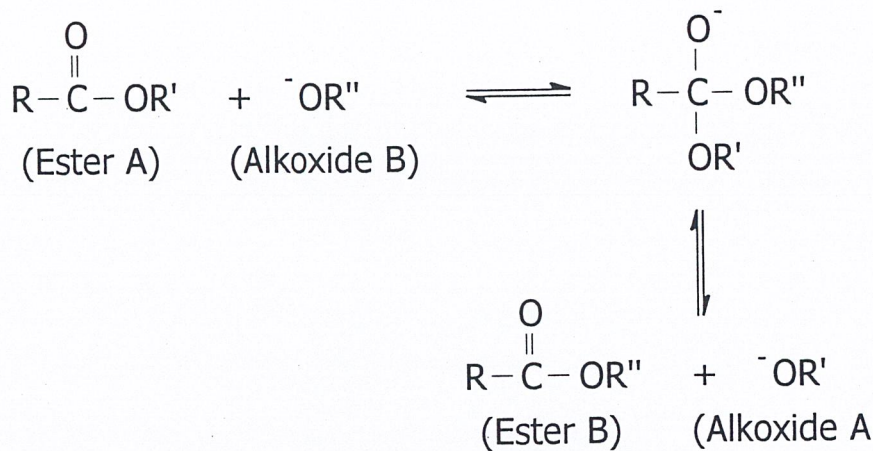
2.4.1 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) [10]

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมัน เป็นปฏิกิริยาสังเคราะห์ที่มีการเคลื่อนย้ายหมู่อัลคิลของสารประกอบเอสเทอร์ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่าง เอสเทอร์กับแอลกอฮอล์ โดยมีด่าง กรด หรือเอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.4 และ 2.5

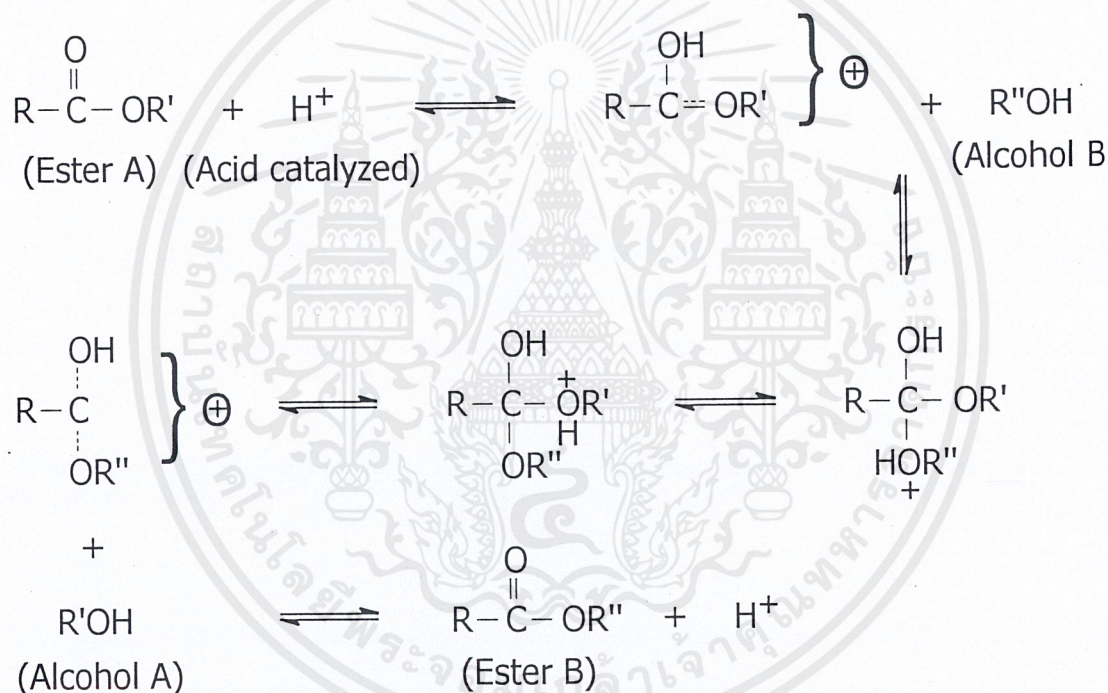


รูปที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

กรดไขมันจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ทำให้ได้อัลคิลเอสเทอร์ กับกลีเซอรินออกมา ซึ่งปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่จะอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการทดลอง โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ อัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ความชื้น ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา



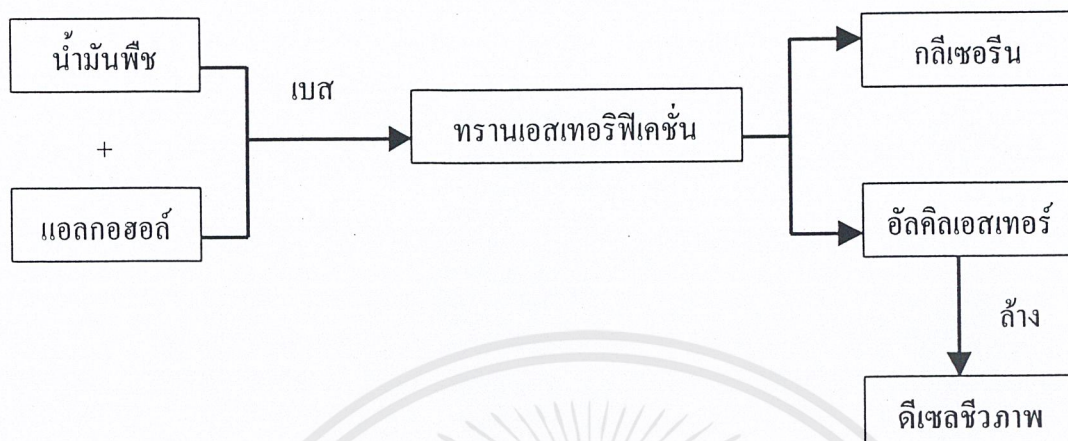
ก. ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ข. ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

รูปที่ 2.5 แสดงกลไกปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรด และเบส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [11]

2.4.2 กระบวนการผลิตดีเซลชีวภาพ



รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการผลิตดีเซลชีวภาพ

นำน้ำมันพืชหรือน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยนำเบสมาละลายในแอลกอฮอล์ก่อน แล้วจึงนำไปผสมกับน้ำมันพืชที่เตรียมไว้ โดยทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิคงที่ เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ทำการปั่นกวนจนกระทั่งปฏิกิริยาสิ้นสุด ตั้งทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้นระหว่างดีเซลชีวภาพ กับ กลีเซอริน ซึ่งดีเซลชีวภาพจะแยกอยู่ชั้นบน ส่วนกลีเซอรินจะแยกชั้นอยู่ด้านล่าง นำชั้นดีเซลชีวภาพที่ได้ไปล้างด้วยน้ำ เพื่อกำจัดแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากปฏิกิริยาออก ทำการล้างดีเซลชีวภาพด้วยน้ำไปจนกระทั่งดีเซลชีวภาพที่ได้มีฤทธิ์เป็นกลาง และตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งเกิดการแยกชั้น โดยดีเซลชีวภาพจะอยู่ชั้นบน ส่วนน้ำจะแยกอยู่ชั้นล่าง นำดีเซลชีวภาพไปทดสอบสมบัติต่างๆ

ตารางที่ 2.7 แสดงสมบัติโดยทั่วไปของดีเซลชีวภาพตามมาตรฐานของประเทศต่างๆ [12]

ดีเซลชีวภาพ	หน่วย	Austrian 1) Standard C1191 Nov 96	DIN 51606 Sept 1997	U.S. Quality Specification NBB/ASTM
Density at 15 ° C	g/cm ³	0.85 - 0.89	0.875 - 0.90	/
Viscosity at 40 ° C	mm ² /s (cST)	3.5 - 5.0	3.5 - 5.0	1.9 - 6.0
Flash point	° C (° F)	min. 100 (212)	min. 110 (230)	min. 100 (212)
CFPP	° C (° F) summer winter	max. 0 (32) max. -15 (5)	max. 0 (32) max. -20 (-4)	/
Total sulphur	% mass	max. 0.02	0.01	max. 0.05
Conradson (CCR) at 100%	% mass	max. 0.05	max. 0.05	max. 0.05
Cetane number	-	min. 49	min. 49	min. 40
Ash content	% mass	max. 0.02	max. 0.03	max. 0.02
Water content	mg/kg	free of deposited water	max. 300	/
Water & sediment	vol. %	/	/	max. 0.05
Total contamination	mg/kg	/	max. 20	/
Copper corrosion (3 hs, 50 ° C)	degree of Corrosion	/	1	No. 3b max.
Neutralisation value	Mg	max. 0.8	max. 0.5	max. 0.8
Methanol content	% mass	max. 0.20	max. 0.3	max. 0.2

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ดีเซลชีวภาพ	หน่วย	Austrian 1) Standard C1191 Nov 96	DIN 51606 Sept 1997	U.S. Quality Specification NBB/ASTM
Monoglycerides	% mass	/	max. 0.8	/
Diglycerides	% mass	/	max. 0.4	/
Triglycerides	% mass	/	max. 0.4	/
Free glycerine	% mass	max. 0.02	max. 0.02	max. 0.02
Total glycerine	% mass	max. 0.24	max. 0.25	max. 0.24
Iodine number		max. 120	max. 115	/
Phosphorus	mg/kg	max. 20	max. 10	/
Alkali content (Na+K)	mg/kg	/	max. 5	/

2.4.3 ข้อดีของดีเซลชีวภาพเมื่อใช้น้ำมันดีเซล

1. สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลแบบเดิม โดยไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ และสามารถเก็บได้ในที่เก็บน้ำมันดีเซลที่มีอยู่แล้ว
2. ลดปริมาณการปลดปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ลดปัญหาการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกได้
3. เป็นสารช่วยหล่อลื่นในเครื่องยนต์และช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องยนต์
4. มีปริมาณซัลเฟอร์อยู่น้อยมาก
5. สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ไม่เป็นพิษต่อดินและน้ำ
6. มีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล แสดงให้เห็นว่ามีความปลอดภัยในการขนส่ง
7. การจุดไฟติดได้เอง (auto - ignition) กำลังงาน (power output) และแรงขับเคลื่อน (engine torque) ของดีเซลชีวภาพกับน้ำมันดีเซลมีค่าเท่ากัน

2.4.4 ประโยชน์ของอัลคิลเอสเทอร์และกลีเซอริน [13,14]

อัลคิลเอสเทอร์นำไปใช้เป็นส่วนตั้งต้นในอุตสาหกรรมดังนี้

1. สารปรับสภาพพลาสติก
2. สารหล่อลื่น
3. สารเคมีที่ใช้ในการเกษตร
4. สารซักฟอก
5. อิมัลซิฟายเออร์
6. สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
7. เครื่องสำอางและยาที่มีลักษณะเป็นครีม ژی๊ฟิ่ง หรือ โลชั่น

เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันจะได้ไขมันแอลกอฮอล์ (Fatty alcohol) ดังนั้นจึงมักถูกใช้เป็นตัวกลางที่สำคัญในการเตรียมไขมันแอลกอฮอล์และใช้เป็นตัวกลางในการผลิต alkanolamides ที่ใช้เป็น metal working agent และมีความสำคัญในการผลิต sulfofatty acid methyl ester ด้วยการเกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชันโดยตรง ซึ่งถูกใช้เป็นตัวกระจายพื้นผิว

2.5 กลีเซอริน [14]

กลีเซอริน (กลีเซอริน , กลีเซอรอล) คือ ผลิตผลพลอยได้ของการผลิตดีเซลชีวภาพ มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีพิษ หนืด ค่อนข้างคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน ทำให้สามารถเก็บรักษาให้ไม่มีกลิ่น รส สีได้นาน กลีเซอรินที่จะนำไปจำหน่าย ต้องผ่านการทำให้เป็นกลาง โดยในการผลิตดีเซลชีวภาพโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลีเซอรินที่ได้สามารถทำให้เป็นกลางโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก หรือโซเดียมคลอไรด์ สำหรับสีของกลีเซอรินสามารถขจัดออกได้โดยการกรองผ่านถ่าน

กลีเซอรินเมื่อถูกทำให้เย็นจะเป็น supercooled แต่ไม่แข็งตัว เนื่องจากกลีเซอรินสามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์ จึงเป็นตัวทำลายที่ดีสำหรับองค์ประกอบในอุตสาหกรรมต่างๆ และเนื่องจากมีความหนืดจึงมักถูกใช้เป็นตัวทำหนืด (thickening agent) หรือ bodying agent กลีเซอรินที่ความเข้มข้น 55-75 เปอร์เซ็นต์จะมีรสหวาน สามารถใช้เป็นส่วนให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ กลีเซอรินเป็นส่วน hygroscopic ดูดซับความชื้นจากบรรยากาศได้ดี จึงนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความนุ่ม (Softness) ความหยุ่นตัว (Flexibility) และความเป็นครีม (creminess) ในทางการค้ามีการใช้กลีเซอรินเพื่อเป็นส่วนป้องกันการรักษาความชุ่มชื้น เป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติกชนิดที่ช่วย

เก็บรักษาความอ่อนนุ่ม และความหนืด กลีเซอรินถูกใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับช่องปาก เช่น ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก เนื่องจากคุณสมบัติ ในการเป็นสารดูดความชื้นและระเหยต่ำ จึงถูกใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ยาสีฟันแห้งแข็งในหลอด กลีเซอรินส่วนใหญ่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอางจะเป็นตัวทำละลายและเป็นสารดูดความชื้น โมโนกลีเซอไรด์ที่ได้จากกลีเซอรินถูกใช้เป็นสารอิมัลชัน และสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภทมาการีน น้ำสลัด และ ลูกกวาด ในผลิตภัณฑ์ยาสูบ บุหรี่ จะใช้กลีเซอรินเพื่อช่วยรักษาความชื้นให้กับใบยาสูบและใช้เป็นส่วนผสมในไส้กรอง ในอุตสาหกรรมยา ใช้กลีเซอรินเป็นสารให้ความหวานและเป็นตัวให้ความนุ่ม ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางใช้เป็นสารอิมัลชัน ในครีมและทำหน้าที่แทนไขในลิปสติก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้า งานวิจัยเกี่ยวกับดีเซลชีวภาพ โดยยกตัวอย่างงานวิจัยมีดังนี้

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

Nye and Southwell (พ.ศ.2526) [15] ได้ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยา methanolysis (Transesterification) ของน้ำมันเมล็ดเรพ (rapeseed oil) จากรายงานพบว่าสามารถที่จะเกิดกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ได้ที่อุณหภูมิห้อง และหาสภาวะที่เหมาะสม โดยเปลี่ยนแปลง ปัจจัยหลักๆที่ผลต่อปฏิกิริยา คือ เปลี่ยนชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ และอัตราการปั่นกวน พบว่า ความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1 เปอร์เซ็นต์สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องได้สมบูรณ์ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 60 นาที และสามารถหาอัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เท่ากับ 1 ต่อ 6 โดยโมล ซึ่ง เป็นอัตราส่วนที่เกิด conversion ที่ดีที่สุด

Nye and Southwell (พ.ศ.2526) [15] พยายามที่จะทำการผลิต น้ำมันเมล็ดเรพให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ โดยผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ใน batch-scale operation ซึ่งทำการผลิตดีเซลชีวภาพ โดยใช้ถังทรงกระบอกขนาด 25 ลิตร (6.6 แกลลอน) ทำด้วยสแตนเลสสตีล (Stainless steel) ในระบบเปิด โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 4 นิ้ว ใช้กำลัง 1/3 กำลังม้า โดยใช้น้ำมันเรพไฟในสารละลายผสมที่มี 1 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์โดยน้ำหนักของน้ำมัน ละลายใน 6 โมลาร์ของเมทานอลที่ไม่มีน้ำเจือปน สารละลายจะถูกคนที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้สารประกอบแยกเป็น 2 ชั้น (ชั้นแรกเต็มไปด้วยเอสเทอร์ และเมทานอลที่ไม่

เกิดปฏิกิริยา ส่วนอีกชั้นเติมไปด้วยกลีเซอริน และเมทานอลที่ไม่เกิดปฏิกิริยา) ในแยกชั้นเอสเทอร์ ออกและทำการล้างด้วยน้ำ 3 ครั้ง ด้วยปริมาตรของน้ำเป็นหนึ่งในสามส่วนของปริมาตรเอสเทอร์ เพื่อที่จะเอาเมทานอลและสารประกอบโซเดียมที่เหลือออก ทำการกรองเอสเทอร์ให้แห้ง

B.Fredman และคณะ (พ.ศ. 2527) [16] ทำการทดลองผลิตดีเซลชีวภาพผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อ Yield และ ความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ที่ได้จากเมล็ดสาธิต ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และเมล็ดดอกทานตะวัน โดยศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืช ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความบริสุทธิ์ของน้ำมันพืช โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมเมทอกไซด์) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่านี้ที่อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันอย่างน้อย 6 ต่อ 1 โดยทำกับน้ำมันที่มีความบริสุทธิ์สูงพบว่า conversion ของเมทิลเอสเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และบิวทิลเอสเทอร์จะสมบูรณ์เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และเมื่อทำปฏิกิริยาที่ 32 องศาเซลเซียส น้ำมันพืชถูกทำปฏิกิริยาไป 99 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าใช้เวลานานกว่าการใช้เบส แต่เมื่อใช้น้ำมันพืชดิบในการทำปฏิกิริยาพบว่าปริมาณของเอสเทอร์ที่ได้ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากมียางและวัสดุอื่นๆปะปนมากับน้ำมันพืชดิบ

Jo (พ.ศ.2527) , Madsen (พ.ศ.2528) , Melville (พ.ศ.2530) และ Mosgrove (พ.ศ.2530) [15] ที่มหาวิทยาลัยไอคาโฮ ได้ทำการศึกษาการผลิตดีเซลชีวภาพตาม Nye and Southwell (พ.ศ. 2526) โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ อัตราการปั่นกวน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เวลาของการเกิดปฏิกิริยา อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน และ degree of conversion ผลการทดลองของทั้ง 4 คน ยืนยันว่าผลการทดลองของ Nye and Southwell เป็นไปในทางเดียวกัน จึงได้มีการพัฒนาเพื่อผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเรพในห้องปฏิบัติให้เป็นการผลิตในเชิงการค้า ระบบจะประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ขนาด 208 ลิตร (55 แกลลอน) โดยใช้กำลัง 0.19 กิโลวัตต์ (¼ กำลังม้า) ปั่นกวนที่ 510 รอบต่อนาที ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง ใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ เท่ากับ 1 ต่อ 6 โดยโมล และใช้ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน (1.46 กิโลกรัม) ละลายในเมทานอล 34 ลิตร (9 แกลลอน) หลังจากนั้นทำการปั่นกวนไปเป็นเวลา 4 ชั่วโมง สารประกอบที่ได้จะแยกชั้น โดยใช้เวลา 8 - 10 ชั่วโมง ซึ่งสารประกอบจะแยกเป็นชั้นเอสเทอร์กับชั้นกลีเซอริน

Madsen (พ.ศ.2528) [15] รายงานว่า การ conversion ของปฏิกิริยาสามารถทำได้หลายวิธี : Gavglitz and Lehman (พ.ศ.2506) ใช้เทคนิค Thin layer chromatography สำหรับตรวจสอบการ conversion ของน้ำมันปลาเป็นเอสเทอร์ Freedman and Pryde (พ.ศ.2525) ใช้เทคนิค Iatroscan TLC analyzer กับ Flame ionization detector ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องมากขึ้น Nye and Southwell ใช้ Proton NMR กับ Internal standard เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ให้มากขึ้น Kusy (พ.ศ.2525) ใช้ค่าความหนืดและความหนาแน่นที่แตกต่างกันระหว่างน้ำมันกับเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์ มาหาการวัดค่า conversion เพราะความหนืดของเอสเทอร์มีค่าน้อยกว่าน้ำมัน ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟพล็อตระหว่างความหนืดกับเปอร์เซ็นต์เอสเทอร์ ซึ่งพบว่ากราฟจะมีความชันลดลง Madsen (พ.ศ.2528) และ Mosgrove (พ.ศ.2530) ใช้ HPLC วิเคราะห์หาอัตราเร็วของการ conversion โดยเริ่มแรกจะมีการหา retention time ของน้ำมันบริสุทธิ์ (13 นาที) และ retention time ของเอสเทอร์บริสุทธิ์ (14.3 นาที) ซึ่ง 2 ค่านี้เป็นเวลาที่แตกต่างกันเพียงพอที่จะแยกพื้นที่พีคได้ ทำให้สามารถหา conversion rate ได้

Caringal (พ.ศ.2532) [15] แสดงการหา การวิเคราะห์และอธิบายเกี่ยวกับกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน มีการใช้ material balance ในแต่ละขั้นตอน มาอธิบายถึงวัสดุที่เข้าและออกทั้งหมด ในแต่ละขั้นตอน และสามารถหาโพแทสเซียมที่ออกจากชั้นของเอสเทอร์ในน้ำล้างที่อยู่ในรูปของสบู่โพแทสเซียมได้อีกด้วย และยังศึกษากระบวนการแยกและทำให้กลีเซอรินบริสุทธิ์ ซึ่งกลีเซอรินเป็นผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยา

C. L. Peterson, R. Cruz, L. Perkins, R. Korus and :D.L. Auld (พ.ศ.2533) [15] สามารถทำการผลิตเมทิลเอสเทอร์ของวินเทอร์เรพ (MEWR) แบบ batch scale ที่ 200 แกลลอน โดยได้เปอร์เซ็นต์ conversion ประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์

Roger A. Korus และคณะ (พ.ศ.2536) [10] ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทิลเอสเทอร์ของวินเทอร์เรพ เพื่อใช้แทนน้ำมันดีเซล ได้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้ การใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องใช้ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน และใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ให้มากเกินพอ 50 เปอร์เซ็นต์ตามเลขคูณสมการเคมี การใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องใช้ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน และใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ให้มากเกินพอ 100 เปอร์เซ็นต์ตามเลขคูณสมการเคมี ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ถ้าสารที่ผสมกันเป็นชั้นเดียวกันความเร็วในการปั่นกวนก็ไม่มีผลต่อ conversion

Lloyd A. Nelson และคณะ (1996) [17] ทำการทดลองผลิตดีเซลชีวภาพจากไขสัตว์โดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน มีเอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จาก *Mucor miehei* และจาก *Candida antarctica* พบว่าเอนไซม์ไลเปสที่ได้จาก *Mucor miehei* จะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นอัลคิลเอสเทอร์ เมื่อใช้แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ ในขณะที่เอนไซม์ไลเปสที่ได้จาก *Candida antarctica* จะมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ของไตรกลีเซอไรด์เมื่อใช้ แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ ทำให้อัลคิลเอสเทอร์ที่ได้มีกิ่งก้านสาขา

Basu และคณะ (พ.ศ.2539) [18] การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ของน้ำมันหรือไขมันนั้นมีปัญหาเรื่องของปริมาณกรดไขมันอิสระและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ เช่น โพลีเปปไทด์ ฟอสโฟไลปิด ซึ่งจะไปรบกวนปฏิกิริยาในการแยกชั้น อีกทั้งปริมาณกรดไขมันอิสระจะทำให้เกิดสบู่เมื่อมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงได้มีการออกแบบการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นปฏิกิริยาพรีเอสเทอร์ฟิเคชัน (preesterification) โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนในขั้นที่ 2 เป็นทรานเอส

เทอร์ฟิเคชัน ของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในงานวิจัยที่ Basu และคณะ ได้ทำนี้จะช่วยลดความยุ่งยากในการทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน โดยทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันหรือไขมัน ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยมีแคลเซียมอะซิเตรต และเบเรียมอะซิเตรตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผสมในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 220 ± 1 องศาเซลเซียส ความดัน 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าช่วยลดปัญหาในการเกิดสบู่และลดขั้นตอนลงได้

RICHARD W. HEIDEN, PH.D. (พ.ศ. 2539) [19] ได้ทำการศึกษาวิธีการหาปริมาณรวมเมทิลเอสเทอร์ในดีเซลชีวภาพด้วยเครื่อง Gas Chromatography โดยใช้ flame ionization (GC/FID) เป็นตัววัดสัญญาณ และใช้เครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) ในการหาปริมาณรวมของเอทิลเอสเทอร์ในดีเซลชีวภาพ

B. Jones, K. Ready Z (พ.ศ. 2541) [20] ได้ทำการศึกษา นำดีเซลชีวภาพผสมกับน้ำมันปีโตรเลียม ดีเซลในเครื่องยนต์ Ford F-250 pick-up truck with a 6.9 liter pre-chamber diesel engine. พบว่า ดีเซลชีวภาพผสมมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำมันปีโตรเลียม

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย [1]

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ประเทศไทยมีงานวิจัยในเรื่องการใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ (*Jatropha curcas*) น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล งานวิจัยการใช้น้ำมันถั่วลิสงแทนน้ำมันดีเซล ทำการทดลองโดยมีแนวคิดที่ต้องการทดลองกับน้ำมันพืชชนิดที่สามารถบีบแยกน้ำมันออกจากเมล็ดพืชได้ง่ายโดยใช้แรงคน ซึ่งทำให้พึ่งพาตนเองได้ หากมีวิกฤตขาดแคลนน้ำมันขึ้น พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล และคณะ (พ.ศ. 2524 , พ.ศ. 2525) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) รายงานการวิจัยโดยใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ย่นมาร์ ขนาด 7 แรงม้า โดยไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใด ผลการทดลองพบว่า น้ำมันถั่วลิสงทั้งชนิดดิบและรีไฟน์ มีความหนืดสูง การติดเครื่องยนต์เป็นไปได้ยาก มีปัญหาในการเดินเครื่อง ที่รอบต่ำ ๆ เครื่องเดินสะดุด การสั่นคาบเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ และไม่ต่อเนื่อง ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระยะสั้น (Short Term Engine Performance Test) พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสงทั้งชนิดดิบและรีไฟน์เป็นเชื้อเพลิง ให้กำลังใกล้เคียงกับที่ใช้น้ำมันดีเซล หลังการทดสอบเดินเครื่องยนต์แล้ว ได้ตรวจสภาพชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสงมีเขม่าจับที่ลูกสูบ และวาล์วมากกว่าที่ใช้น้ำมันดีเซล และมีตะกอนขาวตกอยู่ในถังน้ำมันบรรจุเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลต่อลูกสูบและหัวฉีด หากหลุดติดไปกับน้ำมันเชื้อเพลิง

เพื่อแก้ปัญหาเรื่องความหนืดสูง วท. ได้ทดลองเดินเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วลิสงในน้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด โดยให้ความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ได้ใช้ส่วนผสมในอัตราส่วนถั่วลิสงชนิดคิบ 40 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันดีเซล และน้ำมันถั่วลิสงชนิดคิบ 50 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันก๊าด ผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะสั้น พบว่า ใช้งานได้ดี ติดเครื่องได้ง่าย เกิดการสันดาปได้อย่างต่อเนื่อง และไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดที่รอบต่ำ เหมือนการใช้น้ำมันถั่วลิสงล้วนๆ

นอกจากนั้นแล้ว วท. ได้ทดลองนำ Fatty Acid Methyl Ester จากน้ำมันปาล์ม หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม มาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลด้วย Fatty Acid Methyl Ester ที่นำมาใช้ทดลองนี้ได้ วิจัยผลิตขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มที่ได้ มีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ในการทดลองกับเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ให้กำลังเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซลทุกประการ อย่างไรก็ตามไม่มีรายงานการทดลอง และผลที่มีต่อเครื่องยนต์เมื่อใช้ในระยะเวลา

โสภณ สุกุลอำนวยพสา และ ยุทธชัย วิวัฏฏ์กุลธร เกษตรกรอำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (พ.ศ. 2526) ทำการศึกษาและทดสอบการใช้น้ำมันมะพร้าวเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้น้ำมันมะพร้าวผสมในน้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าดในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน กล่าวคือ น้ำมันมะพร้าว 100 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 98 : 2 น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าด ในอัตราส่วน 10 : 1, 20 : 1, 30 : 1, 40 : 1 โดยปริมาตร ผลการทดสอบสรุปได้ ดังนี้

1. ในสัดส่วนน้ำมันที่ทำการทดลองนั้น พบว่าน้ำมันที่ใช้ได้ดีที่สุดและเหมาะสม คือ น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าด ในอัตราส่วน 20 : 1 จึงได้นำน้ำมันนี้ไปทำการทดลองกับเครื่องยนต์
2. ถึงแม้ว่าสัดส่วน 20 : 1 จะเป็นน้ำมันที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการทดลองครั้งนี้ก็ตาม แต่มีปัญหาในการเดินเครื่องยนต์ กล่าวคือ น้ำมันไหลไม่สะดวก และเครื่องยนต์สะดุดเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิอากาศเย็น ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำมันมะพร้าวมีความหนืดสูงขึ้นมาก เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส และมีจุดแข็งตัวที่อุณหภูมิ 15 – 17 องศาเซลเซียส
3. การทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซล ต้องทำการดัดแปลง และเพิ่มเติมอุปกรณ์การให้ความร้อนกับน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง
4. ผลการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ สูบเดียว 10 แรงม้า โดยใช้น้ำมันมะพร้าว : น้ำมันก๊าดเท่ากับ 20 : 1 เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า
 - เมื่อทดลองที่เครื่องยนต์ที่ไม่ได้รับน้ำหนักรรทุก : เป็นระยะเวลานาน 350 ชั่วโมง มีการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าดใกล้เคียงกับใช้น้ำมันดีเซล
 - เมื่อทดลองกับการสูบน้ำ : สูบน้ำจากบ่อลึก 1 เมตร ท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้องอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ปั๊ม
- ติดตั้งทางเดินน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถสลับใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าด
- ใช้งาน 100 ชม. เครื่องยนต์เดินเรียบ
- เมื่อทดลองกับการขนส่ง : รถบรรทุกใช้เครื่องยนต์คูโบต้า 3 สูบ 24 แรงม้า ความจุกระบอกสูบ 1,115 ลบ.ซม. น้ำหนักรถ 1800 กก.ทดสอบกับ ระยะทาง 6,000 กม. ความเร็วสูงสุด 70 กม./ชม.
- ใช้น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าด สลับกับการใช้น้ำมันดีเซล
- ใ้สักรองน้ำมันเชื้อเพลิงใช้งานได้ 125 - 130 ชม. ใ้สักรองตันเร็วกว่าการใช้น้ำมันดีเซล
- หม้อต้มน้ำมันที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันก่อนการป้อนเข้าสู่ปั๊ม น้ำมันเชื้อเพลิงไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 60 - 70 องศาเซลเซียส ได้ เมื่ออุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงสูงเกินกว่า 80 องศาเซลเซียส เกิด Vapor lock และเครื่องยนต์ดับ

5. การตรวจสภาพชิ้นส่วนของเครื่องยนต์หลังจากการใช้น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าดเปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซล พบว่า

- ลูกสูบ ฝาสูบ และหัวฉีด มีเขม่าสีดำปนเทา มีปริมาณมากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล
- มีการสึกหรอของเสื้อสูบและแหวนใกล้เคียงกันกับเมื่อใช้ดีเซล

นอกจากนี้แล้ว โสภณ สกุดอำนวยพงศา ได้เคยทำการศึกษาใช้น้ำมันปาล์มแทนน้ำมันดีเซล โดยใช้แนวทางเดียวกับการใช้น้ำมันมะพร้าว กล่าวคือ ใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าดเพื่อให้ได้น้ำมันผสมที่มีความหนืดที่เหมาะสม สัดส่วนน้ำมันผสมที่ดีที่สุดคือ น้ำมันปาล์มผสมในน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน น้ำมันปาล์ม : น้ำมันดีเซล : น้ำมันก๊าด เท่ากับ 60 : 40 : 7 โดยปริมาตร และได้นำน้ำมันดังกล่าวนี้เดินเครื่องยนต์ ทั้งที่ไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุก (no load) , ใช้สูบน้ำ และใช้ในการเดินทางไกลด้วยรถเกษตรกร แต่ไม่มีรายละเอียด เพียงแต่รายงานว่ น้ำมันผสมในอัตราส่วนข้างต้นใช้ได้ดีเช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล

สิทธิศักดิ์ ครองเดช (พ.ศ. 2543) [21] ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพหลังการใช้ เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล โดยนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาทำปฏิกิริยาทรานสมเมทิลเรชั่น (Transmethylation) สภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยา คือ โซเดียมเมทอไซด์ (NaOCH_3) 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ในเมทานอล น้ำมันพืชที่ใช้แล้วละลายในโทลูอินอัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร อัตราส่วนการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในตัวทำละลายกับเมทานอล เป็น 3.5 : 1 โดยปริมาตร และอุณหภูมิสำหรับการทำปฏิกิริยา 80 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้น้ำมันพืชมีความหนืดลดลง และมีสถานะของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีการทดสอบอัตราการเผาไหม้ เมื่อใช้น้ำมันผสมเมทิลเอสเทอร์กับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า เมื่อใช้น้ำมันผสมเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลง

และเมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่า เมื่อนำน้ำมันผสมเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้กำลังและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ลดลงและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันสูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

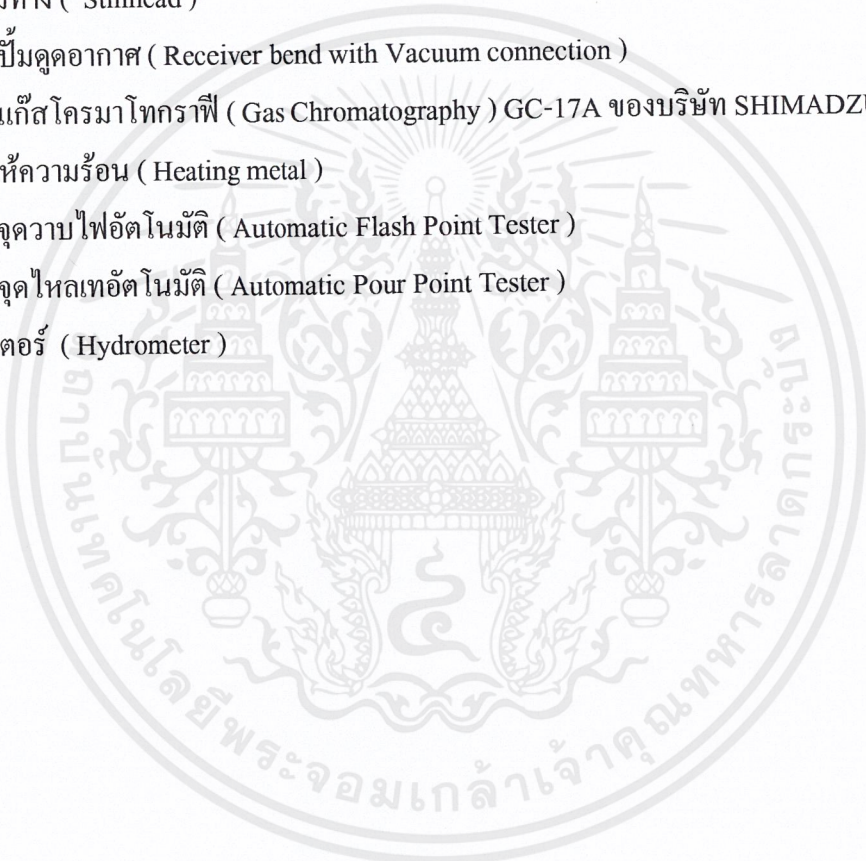
1. น้ำมันมะพร้าว ตรามะลิ บริษัทเหล่าขงสิงค์ จำกัด
2. เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (C_2H_5OH)
3. เอทานอล 99.9 เปอร์เซ็นต์ (C_2H_5OH)
4. เมทานอล (CH_3OH) เกรด commercial
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เกรด Analytical Reagent
6. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เกรด Analytical Reagent
7. ฟีนอล์ฟทาลิน (1 เปอร์เซ็นต์ในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์)
8. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เกรด Analytical Reagent
9. น้ำกลั่น

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. ใบพัดกวนพร้อมมอเตอร์ (Sted fast TM stirrer Model SL 2400)
2. เครื่องให้ความร้อนและเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Combination hot plate magnetic stirrer)
3. บิวเรต (Burette)
4. กรวยแยก (Separating funnel)
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
6. ปิเปตพร้อมลูกยางแดง (Pipette and bulb)
7. พิกโนมิเตอร์ (Pycnometer)
8. บอมบ์คาลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter)
9. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า (Analytical balance)
10. บีกเกอร์ (Beaker)
11. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
12. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
13. ขวดก้นกลม
14. ครกบดสาร (Mortar and pestle)
15. กระบอกตวง (Cylinder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
17. กรวยกรอง (Funnel)
18. กระดาษทดสอบความเป็นกรด-ด่าง (Universal indicator)
19. เครื่องวัดความหนืด (Glass capillary kinematic viscometer)
20. ขวดสามคอ (3-necked flask)
21. คอนเดนเซอร์ (Condenser)
21. ปั๊มดูดอากาศ (Vacuum pump)
22. เครื่องทำความเย็น (Cooler)
23. ข้อต่อสามทาง (Stillhead)
24. ข้อต่อกับปั๊มดูดอากาศ (Receiver bend with Vacuum connection)
25. เครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) GC-17A ของบริษัท SHIMADZU
26. เต้าหุุมให้ความร้อน (Heating metal)
27. เครื่องหาจุดวาบไฟอัตโนมัติ (Automatic Flash Point Tester)
28. เครื่องหาจุดไหลเทอัตโนมัติ (Automatic Pour Point Tester)
29. ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)



3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาสมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

- 1.1 ความหนาแน่น โดยใช้พิกโนมิเตอร์ ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส
- 1.2 ความถ่วง API (API gravity) ตาม ASTM D 1298-99
- 1.3 ค่าความถ่วงจำเพาะ
- 1.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ Universal indicator
- 1.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ
- 1.4 ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส
- 1.5 ค่าความร้อน (Heating value) โดยใช้บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter)
- 1.6 ปริมาณกำมะถันโดยใช้ X-ray Fluorescence Spectrometer ของ Jordus Valley Ex310 ตาม ASTM D4294-98
- 1.7 จุดวาบไฟ (Flash point) ตาม ASTM D 93-90
- 1.8 จุดไหลเท ตาม ASTM D97-96a
- 1.9 ค่าการกลั่น
- 1.10 คีซีเทน

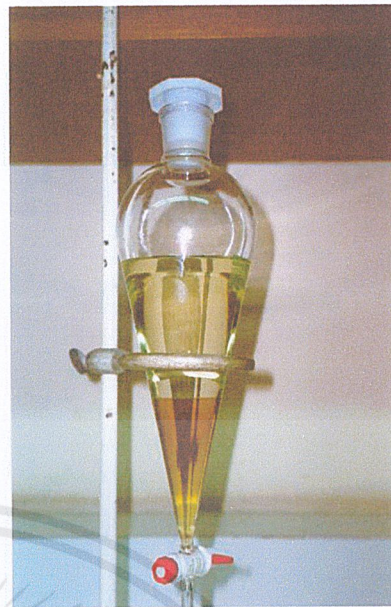
ตอนที่ 2 การเตรียมดีเซลชีวภาพ

2.1 ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

- 1) ชั่งน้ำหนักน้ำมัน 250 กรัมลงในขวดสามคอที่ต่อกับคอนเดนเซอร์ เทอร์โมมิเตอร์ และไบพัตควน ชั่งแอลกอฮอล์ โดยให้มีอัตราส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ เป็น 1:6 โดยโมล และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน
- 2) ละลายเบสในแอลกอฮอล์ที่เตรียมไว้ โดยค่อย ๆ ให้ความร้อน และทำการปั่นกวนด้วย magnetic stirrer จนกระทั่งเบสละลายหมด
- 3) ควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันที่ 60 องศาเซลเซียส แล้วเติมสารละลายในข้อ 2) ลงไป ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.1 การตั้ง Batch



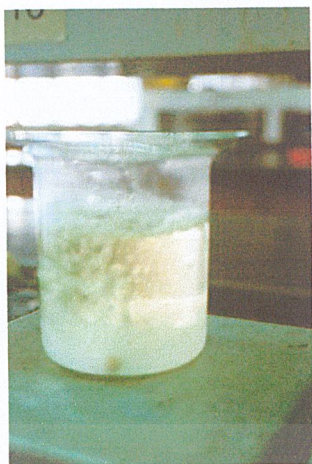
รูปที่ 3.2 การแยกชั้นของดีเซลชีวภาพ

2.2 การแยกชั้น

หลังจากปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้ว ตั้งทิ้งไว้ 24 - 48 ชั่วโมง จะเกิดการแยกชั้นเป็น 2 ชั้น โดยชั้นบนจะเป็นเอสเทอร์ ส่วนชั้นล่างจะเป็นกลีเซอริน

2.3 การล้าง

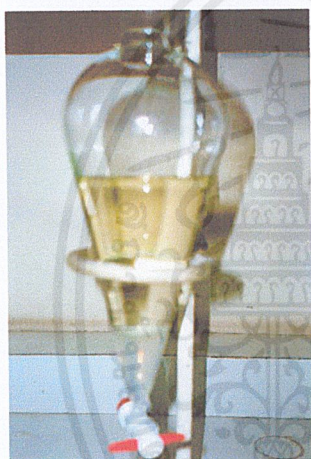
- 1) นำชั้นเอสเทอร์ที่ได้มาระเหยเอาแอลกอฮอล์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาออก
- 2) นำชั้นเอสเทอร์ที่ได้ไปผสมรวมกับน้ำในบีกเกอร์ โดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างชั้นเอสเทอร์กับน้ำเท่ากับ 3:1 จะได้ชั้นน้ำอยู่ล่าง และชั้นเอสเทอร์อยู่ชั้นบน หลังจากนั้นนำกระดาษฟิคาปิดปากบีกเกอร์ไว้
- 3) นำบีกเกอร์ไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อน จนกระทั่งน้ำที่อยู่ชั้นล่างเดือด ทำให้อุณหภูมิของน้ำแทรกผ่านขึ้นไปยังชั้นเอสเทอร์ล้างเอาเบสที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาออกมา จนกระทั่งความเป็นกรด-ด่างในชั้นเอสเทอร์เป็นกลาง
- 4) ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 24 - 48 ชั่วโมง เกิดการแยกชั้น โดยชั้นบนจะเป็นดีเซลชีวภาพที่ต้องการทำการแยกชั้นน้ำด้านล่างออก



รูปที่ 3.3 การล้าง



รูปที่ 3.4 หลังล้างน้ำเสร็จทันที



รูปที่ 3.5 หลังล้างเสร็จทิ้งไว้ 1 คืน



รูปที่ 3.6 ดีเซลชีวภาพ

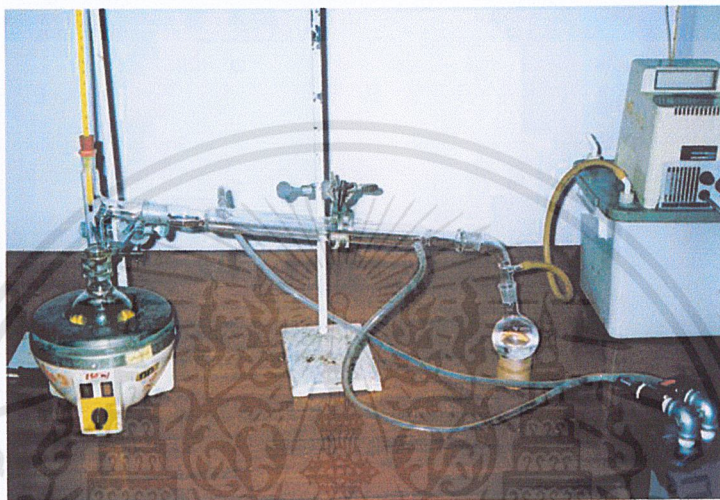


รูปที่ 3.7 ดีเซลชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การหาปริมาณอัลคิลเอสเทอร์ในดีเซลชีวภาพ

- 1) นำดีเซลชีวภาพที่ได้จากข้อ 2.3 มาแบ่งชั่งน้ำหนักใส่ขวดก้นกลม บันทึกน้ำหนักไว้
- 2) นำมาต่อเข้ากับชุดการกลั่นดังรูปที่ 3.8
- 3) ทำการกลั่น และเก็บสารที่กลั่นได้ในช่วงอุณหภูมิ 120-220 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 5-10 มิลลิเมตรปรอท



รูปที่ 3.8 การกลั่น

- 4) ชั่งน้ำหนักสารที่กลั่นได้ และส่วนที่เหลือจากการกลั่น
- 5) คำนวณเปอร์เซ็นต์อัลคิลเอสเทอร์

$$\% \text{ Alkyl ester} = \frac{\text{weight of alkyl ester}}{\text{weight of biodiesel}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพ

3.1 อุณหภูมิ

ทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนต้นที่ 2 โดยเปรียบเทียบระหว่างการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง 45 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส และ 75 องศาเซลเซียส

3.2 ชนิดของเบส

ทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนต้นที่ 2 โดยเปรียบเทียบระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมในข้อ 3.1

3.3 ปริมาณเบส

ทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนต้นที่ 2 โดยใช้อุณหภูมิและเบสที่เหมาะสมในข้อ 3.2 โดยเปรียบเทียบปริมาณเบสที่ 0.1 เปอร์เซ็นต์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ 1.0 เปอร์เซ็นต์ และ 1.1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำมัน

3.4 ชนิดของแอลกอฮอล์

ทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนต้นที่ 2 โดยใช้อุณหภูมิ ชนิดเบส และปริมาณเบสที่เหมาะสมในข้อ 3.3 โดยใช้เมทานอล เอทานอล 99.9 เปอร์เซ็นต์ และเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

3.5 อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์

ทำการทดลองตามขั้นตอนในตอนต้นที่ 2 โดยใช้อุณหภูมิ ชนิดเบส ปริมาณเบส และแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในข้อ 3.4 โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ที่ 1:3 1:4 1:5 1:6 และ 1:7

ตอนที่ 4 ศึกษาสมบัติของดีเซลชีวภาพ

นำดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้จากสภาวะที่เหมาะสมมาทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

- 4.1 ความหนาแน่น โดยใช้พิกโนมิเตอร์ ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส
- 4.2 ความถ่วง API (API gravity) ตาม ASTM D 1298-99
- 4.3 ค่าความถ่วงจำเพาะ
- 4.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ Universal indicator

- 4.5 ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส
- 4.6 ค่าความร้อน (Heating value) โดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter)
- 4.7 ปริมาณกำมะถันโดยใช้ X-ray Fluorescence Spectrometer ของ Jordus Valley Ex310 ตาม ASTM D4294-98
- 4.8 จุดวาบไฟ (Flash point) ตาม ASTM D 93-90
- 4.9 จุดไหลเท ตาม ASTM D97-96a
- 4.10 ค่าการกลั่น
- 4.11 คัดน้ำซีเทน



บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และสถานะที่เหมาะสมในการผลิตดีเซลชีวภาพ เพื่อให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล โดยได้ทำการศึกษาสมบัติต่างๆดังนี้

4.1 ผลของการศึกษาสมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติของน้ำมันมะพร้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

สมบัติของน้ำมันมะพร้าว	ค่าที่ได้
ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.9243
API Gravity 60/60 °F	21.5
ความถ่วงจำเพาะ	0.9248
ความเป็นกรด-ด่าง	6
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Lauric acid) (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	0.074
ความหนืดที่ 25 องศาเซลเซียส (เซนติสโตก)	52.504
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (เซนติสโตก)	28.70
ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)	38,080.41
ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	< 0.005
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	> 170
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	9.1
ค่าการกลั่น, อุณหภูมิระเหย	
- 10 เปอร์เซ็นต์การกลั่น (องศาเซลเซียส)	260
- 50 เปอร์เซ็นต์การกลั่น (องศาเซลเซียส)	299
- 90 เปอร์เซ็นต์การกลั่น (องศาเซลเซียส)	**
ดัชนีซีเทน	33.1373

** = ค่าที่ได้ผิดพลาดเนื่องจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพ

เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์อัลทิลเอสเทอร์ที่ได้ (% alkyl ester) มากที่สุด พร้อมทั้งสมบัติของดีเซลชีวภาพที่ดีที่สุด โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 อุณหภูมิ

น้ำมัน 250 กรัมทำปฏิกิริยากับเมทานอล ในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 น้ำหนักโดยโมล โดยใช้เบส 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ผลเป็นดังนี้

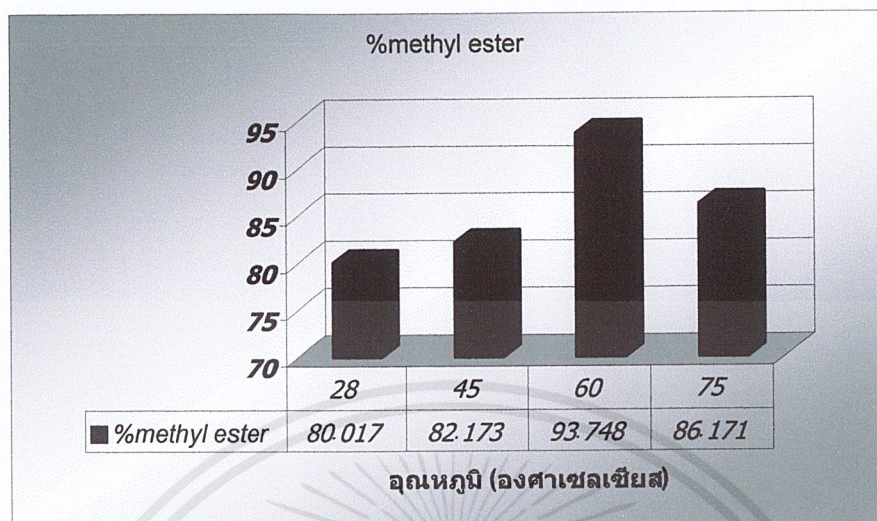
ตารางที่ 4.2 แสดงผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์* เมทิลเอสเทอร์	ความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.)	ความหนืด (เซนติสโตก)	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อ กิโลกรัม)
อุณหภูมิห้อง	80.01	0.8598	2.9980	41277.58
45	82.17	0.8581	2.9165	40056.01
60	93.74	0.8404	2.8025	41507.54
75	86.17	0.8574	2.9495	40587.03

เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์* หมายถึง อัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่กลั่นได้เทียบกับน้ำหนักดีเซลชีวภาพเริ่มต้น

$$\% \text{ Alkyl ester} = \frac{\text{weight of alkyl ester}}{\text{weight of biodiesel}} \times 100$$

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มากขึ้นและสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น ความหนืด และค่าความร้อน) ดีขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะไปช่วยเร่งปฏิกิริยา ทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อใช้อุณหภูมิสูงจนเกินไปจะพบว่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์นั้นลดลง เนื่องจากเมทานอลเกิดการระเหยออกไปก่อนที่จะเข้าทำปฏิกิริยา



รูปที่ 4.1 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์

4.2.2 ชนิดเบส

น้ำมัน 250 กรัมทำปฏิกิริยากับเมทานอล ในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 น้ำหนักโดยโมล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลเป็นดังนี้

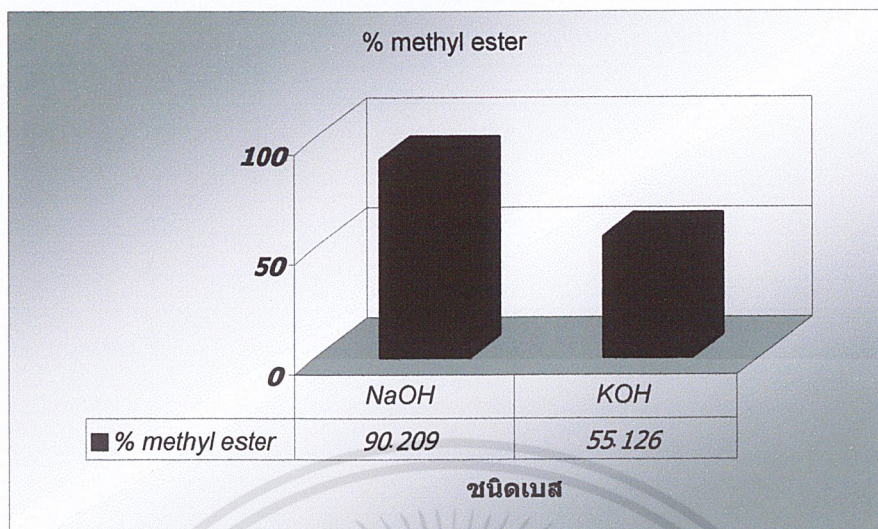
ตารางที่ 4.3 แสดงผลของชนิดเบส

ชนิดเบส	เปอร์เซ็นต์ เมทิลเอสเทอร์	ความหนาแน่น (กรัมต่อ ลบ.ซม.)	ความหนืด (เซนติสโตก)	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อ กิโลกรัม)
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	90.20	0.8723	4.6155	39690.08
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	55.12	0.8870	7.5915	39679.01

จากตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเบสที่เท่ากัน โซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่มากกว่าและมีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายในแอลกอฮอล์ได้ดีกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.2 แสดงผลของชนิดเบสที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์

4.2.3 ปริมาณเบส

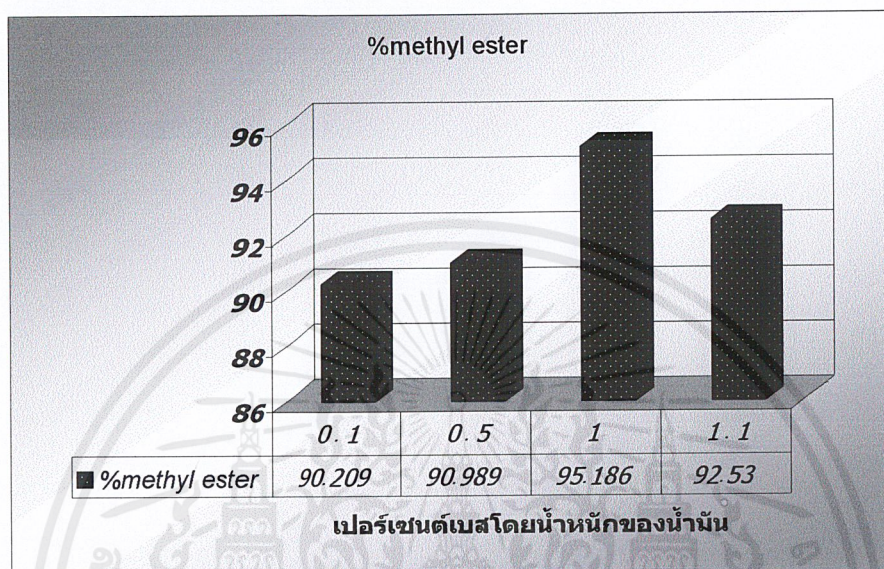
น้ำมัน 250 กรัมทำปฏิกิริยากับเมทานอล ในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 น้ำหนักโดยโมล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ปริมาณ 0.1 0.5 1 และ 1.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณเบส

ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์	ความหนาแน่น (กรัมต่อ ลบ.ซม.)	ความหนืด (เซนติสโตก)	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อ กิโลกรัม)
0.1	90.20	0.8723	4.6155	39690.08
0.5	90.98	0.8676	4.2270	39837.97
1	95.18	0.8555	2.8110	42580.30
1.1	92.53	0.8552	2.9810	41827.30

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อปริมาณเบสสูงขึ้น จะได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มากขึ้นและสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น ความหนืด และค่าความร้อน) ดีขึ้น เนื่องจากเบสทำปฏิกิริยาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะกลายเป็นเมทอกไซด์ไปช่วยเร่งปฏิกิริยา ทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อใช้เบสมากเกินไปจะพบว่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์นั้นลดลง เนื่องจากเบสที่เหลือ (เบสที่ไม่ได้กลายเป็นเมทอกไซด์) ไปทำปฏิกิริยาไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของน้ำมันแทน



รูปที่ 4.3 แสดงผลของปริมาณเบสที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์

4.2.4 ชนิดแอลกอฮอล์

น้ำมัน 250 กรัมทำปฏิกิริยากับเมทานอล เอทานอล 99 เปอร์เซ็นต์ และเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 โดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลเป็นดังนี้

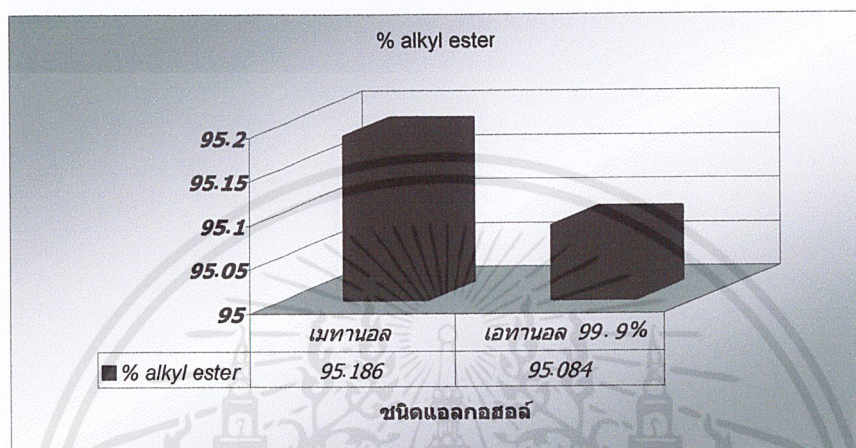
ตารางที่ 4.5 แสดงผลของชนิดแอลกอฮอล์

ชนิดแอลกอฮอล์	เปอร์เซ็นต์ อัลคิลเอสเทอร์	ความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.)	ความหนืด (เซนติสโตก)	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
เมทานอล	95.18	0.8555	2.811	42580.30
เอทานอล 99.9%	95.08	0.8512	3.088	42420.89
เอทานอล 95%**	/	/	/	/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

** เกิดเป็นเจลแข็ง ไม่เกิดการแยกชั้น ทำให้ไม่สามารถวัดสมบัติต่างๆได้

จากตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดเป็นเจลแข็ง และไม่เกิดการแยกชั้น เนื่องจากในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์มีน้ำเป็นองค์ประกอบถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาสaponification ขึ้นจนกลายเป็นสบู่ และเมื่อใช้เมทานอลและเอทานอล 99.9 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ได้ เปอร์เซ็นต์อัลคิลเอสเทอร์และมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.4 แสดงผลของชนิดแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์อัลคิลเอสเทอร์

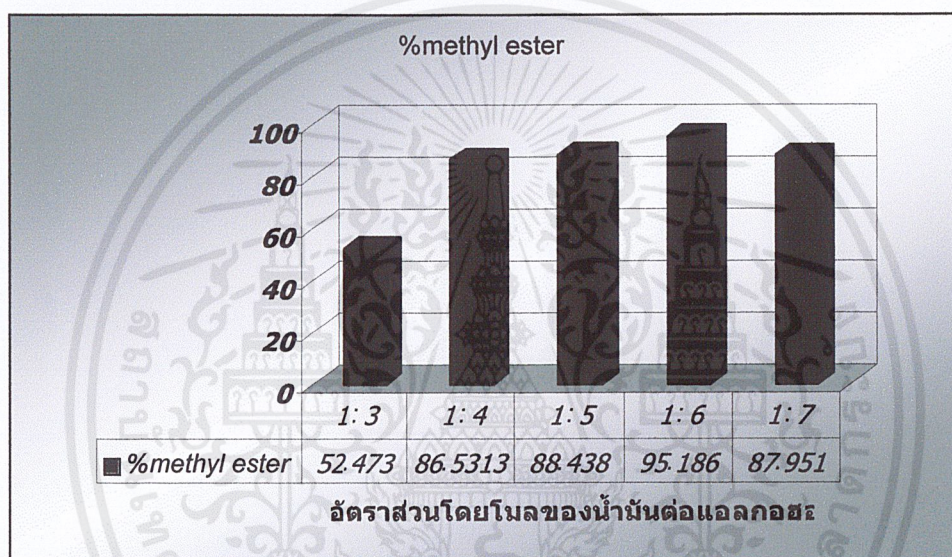
4.2.5 อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์

น้ำมัน 250 กรัมทำปฏิกิริยากับเมทานอล ในอัตราส่วน 1:3 1:4 1:5 1:6 และ 1:7 โดยโมลของ น้ำมันต่อแอลกอฮอล์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของอัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์	เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์	ความหนาแน่น (กรัมต่อ ลบ.ซม.)	ความหนืด (เซนติสโตก)	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อ กิโลกรัม)
1:3	52.47	0.8651	3.7740	40087.16
1:4	86.53	0.8590	3.2055	40098.66
1:5	88.43	0.8560	2.9440	40442.33
1:6	95.18	0.8555	2.8110	42580.30
1:7	87.59	0.8552	2.8940	40249.88

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์มากขึ้น จะได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มากขึ้นและสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น ความหนืด และค่าความร้อน) ดีขึ้น เนื่องจากแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากลายเป็นเมทอกไซด์ได้มากขึ้น ทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อใช้แอลกอฮอล์มากจนเกินไป เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์และสมบัติทางกายภาพลดลง เนื่องจากการใช้ปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นของเมทอกไซด์ที่ได้อลดลง เป็นผลให้โอกาสในการเข้าทำปฏิกิริยาของเมทอกไซด์กับไตรกลีเซอไรด์ลดลง เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จึงมีค่าน้อยลง



รูปที่ 4.5 แสดงผลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์

จากผลการทดลองทั้ง 5 ตอนพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตดีเซลชีวภาพ เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์อัลคิลเอสเทอร์มากที่สุด และมีสมบัติค่าความร้อน ความหนาแน่น และความหนืดเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานแทนน้ำมันดีเซล คือ น้ำมันมะพร้าวมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล หรือเอทานอล 99.9 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 โดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3 สมบัติของดีเซลชีวภาพ

ดีเซลชีวภาพที่ผลิตได้ ในที่นี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากเมทานอล (เมทิลเอสเทอร์) และดีเซลชีวภาพที่ผลิตได้จากเอทานอล 99.9 เปอร์เซ็นต์ (เอทิลเอสเทอร์) ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติของดีเซลชีวภาพเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

สมบัติ	เมทิลเอสเทอร์	เอทิลเอสเทอร์	ดีเซลหมุนเร็ว	ดีเซลหมุนช้า
API Gravity 60/60 °F	30.4	31.2	/	/
ความถ่วงจำเพาะ	0.8740	0.8697	0.81-0.87	< 0.92
ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส	0.8734	0.8692	/	/
ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)				
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	> 180	> 180	> 52	> 52
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	-6	-6	< 10	< 16
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (เซนติสโตก)	2.804	3.147	1.8 - 4.1	< 8
ค่าการกลั่น, อุณหภูมิการระเหย				
- 10 เปอร์เซ็นต์การกลั่น (องศาเซลเซียส)	246	245	/	/
- 50 เปอร์เซ็นต์การกลั่น (องศาเซลเซียส)	274	274	/	/
- 90 เปอร์เซ็นต์การกลั่น (องศาเซลเซียส)	318	307	< 357	/
ดัชนีซีเทน	41.3622	42.6106	> 47	> 45
ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	< 0.005	< 0.005	< 0.05	< 1.5

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียม และสมบัติของดีเซลชีวภาพที่ได้จากน้ำมันมะพร้าว โดยผ่านการกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ระหว่างสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่อยู่ในน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลอง สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพ คือ

ตารางที่ 5.1 แสดงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตดีเซลชีวภาพ

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยา	สภาวะที่เหมาะสม
อุณหภูมิ	60 องศาเซลเซียส
ชนิดของเบส	โซเดียมไฮดรอกไซด์
ปริมาณเบส	1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน
ชนิดของแอลกอฮอล์	เมทานอล และ เอทานอล 99.9 เปอร์เซ็นต์
อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์	1 : 6

ดีเซลชีวภาพที่ผลิตได้ จากเมทานอล (เมทิลเอสเทอร์) และดีเซลชีวภาพที่ผลิตได้จากเอทานอล 99.9 เปอร์เซ็นต์ (เอทิลเอสเทอร์) ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น เปลี่ยนแปลงไปจากน้ำมันมะพร้าว ซึ่งสามารถนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบดังนี้

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบสมบัติของดีเซลชีวภาพ น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันดีเซล

สมบัติ	เมทิลเอสเทอร์	เอทิลเอสเทอร์	มะพร้าว	ดีเซล หมุนเร็ว	ดีเซล หมุนช้า	B100*
API Gravity 60/60 °F	30.4	31.2	21.5	/	/	/
ความถ่วงจำเพาะ	0.8740	0.8697	0.9248	0.81-0.87	> 0.92	/
ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส (กรัมต่อลบ.ซม.)	0.8734	0.8692	0.9243	/	/	/
ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)	42580.3	42420.9	38080.4	46800**	/	/
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	> 180	> 180	> 170	> 52	> 52	> 100
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	- 6	-6	9.1	< 10	< 10	
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (เซนติสโตก)	2.804	3.147	28.7	1.8 – 4.1	< 8	1.9-6.0
ค่าการกลั่น, อุณหภูมิการระเหย						
- 10 เปอร์เซ็นต์การกลั่น (องศาเซลเซียส)	246	245	260	/	/	/
- 50 เปอร์เซ็นต์การกลั่น (องศาเซลเซียส)	274	274	299	/	/	/
- 90 เปอร์เซ็นต์การกลั่น (องศาเซลเซียส)	318	307	*	< 357	/	/
ดัชนีซีเทน	41.3622	42.6106	33.1373	> 47	> 45	> 40
ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.05	< 1.5	< 0.05

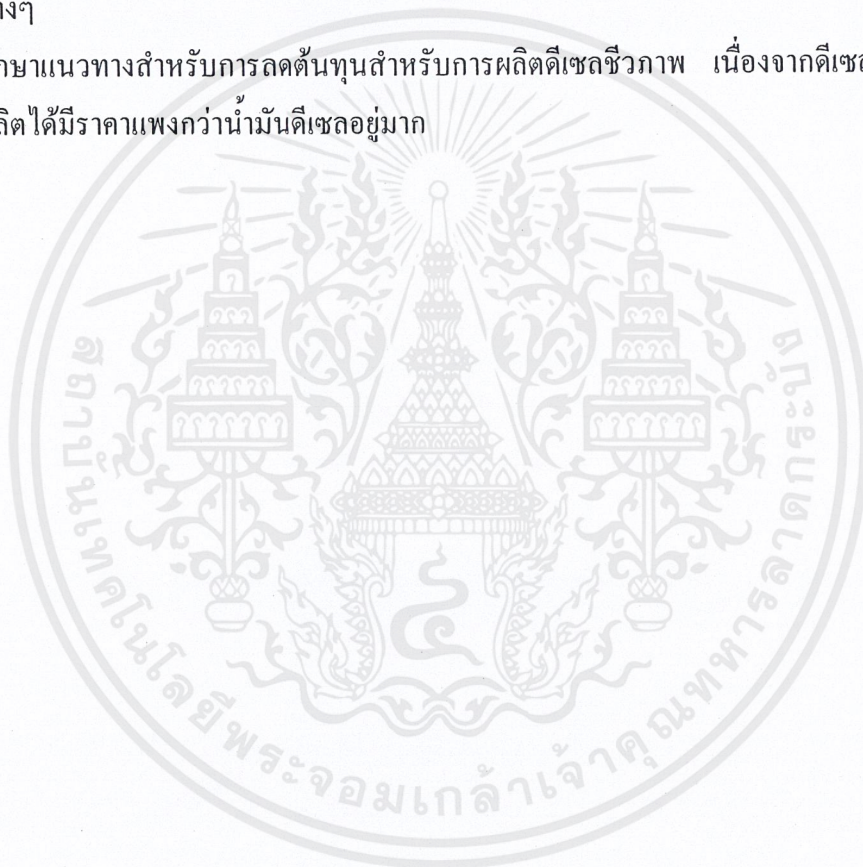
B100* = Biodiesel Fuel ตามมาตรฐาน ASTM PS 121-99

* = ค่าที่ได้ผิดพลาดเนื่องจากการทดลอง

** = ตามประกาศของกระทรวงพาณิชย์ (2541)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษา และออกแบบการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันอย่างต่อเนื่อง (Continuous process) เพื่อให้สามารถผลิตดีเซลชีวภาพเพียงพอกับความต้องการ
2. ควรมีการนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของดีเซลชีวภาพที่ผลิตได้ว่าสามารถนำไปใช้แทนน้ำมันดีเซลได้จริง
3. ควรมีการศึกษาผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ เช่น อัตราการสึกหรอ การอุดตันที่หัวฉีด อัตราการเผาไหม้ เป็นต้น
4. ศึกษาการนำดีเซลชีวภาพมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบในอัตราส่วนต่างๆ
5. ศึกษาแนวทางสำหรับการลดต้นทุนสำหรับการผลิตดีเซลชีวภาพ เนื่องจากดีเซลชีวภาพที่ผลิตได้มีราคาแพงกว่าน้ำมันดีเซลอยู่มาก



เอกสารอ้างอิง

1. พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล. 2544. “ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือก.” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 16(3) : 1 – 13.
2. ระพีพันธุ์ ภาสบุตร และ สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์. 2524. “การวิจัยค้นคว้าใช้เมล็ดสบู่ดำเป็นพลังงานทดแทนกับเครื่องยนต์ดีเซล.” เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องแผนพลังงานทดแทน. ESCAP : กทม.
3. กรมส่งเสริมการเกษตร. การปลูกมะพร้าว. www.doae.go.th/library/index.html.
4. กรมส่งเสริมการเกษตร. มะพร้าวผลแก่. www.doae.go.th.
5. นันทายาคำ. 2528. “อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว.” กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กทม. : 1 – 20.
6. Wolfgang Gerhartz ; senior editor Y. Stephen Yamamoto ; editors F. Thomas Campbell, Rudolf Pfefferkorn, James F. Rounsaville executive editor. **Fat and fatty oil.** Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. A10 : 175-255.
7. กิตติภพ สำราญ. “การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดีเซลด้วยเพอร์ฟรัทที่ได้จากขังข้าวโพด.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
8. กัญจนา บุญเกียรติ และสุกัญญา มากมี. 2544. “ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล.” วารสารวิทยาศาสตร์. 55(3) :148-152 .
9. A.W.Schwab , M.O. Bagby and B. Freedman. 1987. “Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils.” **Fuel** . 66 :1372 – 1378.
10. Roger A. Korus, Dwight S. Hoffman Narendra Bam , Charles L. Peterson, and David C. Drown. 1993. **Transesterification process to manufacture ethyl ester of rape oil.** Department of Chemical Engineering University of Idaho. MOSCOW. <http://www.biodiesel.org/reports/GEN-250.pdf>.
11. Robert T. Morrison and Robert N. Boyd. 1976. **Organic Chemistry.** 3rd. Prentic – Hall India : 682-683.
12. Biodiesel international (BDI) **Standards For Biodiesel.** www.biodiesel-intl.com
13. National Biodiesel Board. **Uses for Methyl Esters Glycerol.** www.biodiesel.org.

14. มลฤดี เซวรัตน์. “รีเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในรำข้าวและไฮโดรไลซิสน้ำมันรำข้าว” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2540 , 64-68
15. C. L. Peterson, R. Cruz, L. Perkins, R. Korus and :D.L. Auld. 1990. **Transesterification of Vegetable Oil for Use as a Diesel Fuel.** University of Idaho.
<http://www.biodiesel.org/reports/GEN-257.pdf>
16. B. Freedman et. al. 1984. “Variables effecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils.” **J.Am. Oil Chem Soc.** 61 (10) : 1638 – 1643.
17. Lloyd A Nelson et.al. 1996. “Lipase-catalyzed production of biodiesel” **J.Am. Oil Chem So.** 73(8) : 1191 – 1195.
18. Basu et.al. 1996. **process for production of esters for use as a diesel fuel substituted using a nonalkaline catalyze.** US.patent 5,525,126.
19. Richard W. Heiden, PH.D. 1996. **Analytical Methodologies for the Determination of Biodiesel Ester Purity - Determination of Total Methyl Esters.**
<http://www.biodiesel.org/reports/GEN-221.pdf>.
20. B. Jones, K. Ready. 1998. **Bioblended Fuel for Use in Light-Duty Compression Ignition Engines.** <http://www.biodiesel.org/reports/PRI-011.pdf>.
21. สิทธิศักดิ์ ครอบเดช “การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืชหลังการใช้เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2543 , 80-82
22. <http://www.chem.agilent.com/cag/cabu/pdf/c069.pdf>



ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบสมบัติของน้ำมัน

ความหนาแน่น

การหาค่าความหนาแน่น

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. พิกโนมิเตอร์ (Pycnometer)
2. เครื่องชั่ง

วิธีการทดลอง

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

การคำนวณ

ความหนาแน่น คำนวณตามสูตร

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

D = ความหนาแน่น ; กรัมต่อลบ.ซม.

m = น้ำหนัก ; กรัม

v = ปริมาตร ; ลบ.ซม.

ความถ่วง API

การหาค่า API gravity ตาม ASTM D /1298 — 99 , 2001

เครื่องมือและอุปกรณ์

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

วิธีการทดสอบ

1. สำหรับการทดสอบอ้างอิง (referee test) ใช้ไฮโดรมิเตอร์ สำหรับการทดสอบทั่วไป (field test) ใช้เทอร์โมไฮโดรมิเตอร์
2. ปรับอุณหภูมิของตัวอย่างตาม ตารางที่ 4 สำหรับการทดสอบทั่วไป ต้องทดสอบที่อุณหภูมิอื่น ๆ นอกเหนือจากตารางที่ 4 ด้วย โดยใช้ Hydrometer Cylinder ประมาณค่าที่อุณหภูมิเดียวกับอุณหภูมิที่ทำการทดสอบตัวอย่าง
3. ค่อยๆถ่ายตัวอย่างลงใน Hydrometer Cylinder ที่สะอาด สำหรับตัวอย่างที่มีค่าการระเหยสูง ควรให้มีการระเหยของส่วนประกอบที่มีจุดเดือดต่ำให้น้อยที่สุด และควรถ่ายตัวอย่างลงใน Hydrometer Cylinder ด้วยเครื่องดูดน้ำมัน ใช้ถูกยางเป็นตัวไล่ฟองอากาศออก หลังจากฟองอากาศมาอยู่บนพื้นผิวตัวอย่างแล้วให้ใช้กระดาษกรองและฟองอากาศ ก่อนที่จะใส่ในไฮโดรมิเตอร์ สำหรับการทดสอบทั่วไป ให้วาง cylinder ที่บรรจุตัวอย่างอยู่ในตำแหน่งแนวตั้ง ซึ่งปราศจากก๊าซออกซิเจน โดยในระหว่างนี้อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมไม่ควรจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 5 องศาฟาเรนไฮต์ (2 องศาเซลเซียส)
4. วางไฮโดรมิเตอร์ลงในตัวอย่างเบาๆตรงที่วาง แล้วกดลงไป 2 ช่อง ลงไปในของเหลว แล้วปล่อย เก็บไว้ในที่มืดชิดและแห้ง เพราะของเหลวอาจถูกปนเปื้อน และทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเครื่องมือและจะมีผลต่อค่าที่อ่านได้
5. เมื่อไฮโดรมิเตอร์นิ่ง มีการลอยอย่างอิสระ และตัวอย่างมีอุณหภูมิคงที่ (มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.2 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 0.1 องศาเซลเซียส) อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ที่ช่องสเกลที่ใกล้ที่สุด อ่านจุดที่สเกลตัดตรงที่พื้นผิวของของเหลว
6. ใช้อ่านกับของเหลวที่โปร่งใส เพื่อให้เห็นจุดบนสเกลไฮโดรมิเตอร์ตรงที่ตัวอย่างเพิ่มขึ้นจนเหนือพื้นที่ผิวหลัก (เป็นจุดที่ตาอยู่เหนือระนาบอยู่เหนือพื้นที่ผิวของของเหลวเล็กน้อย)
7. บันทึกอุณหภูมิก่อนและหลังการอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ โดยให้มีค่าใกล้เคียง 1 องศาฟาเรนไฮต์

การคำนวณ

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

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

ตารางที่ ก-1 แสดง Limiting Conditions and Testing Temperature

Sample Type	Gravity Limits	Initial Boiling Point Limits	Other Limits	Test Temperature
Highly volatile	Lighter than 70 ° API			Cool to 35° F (2 °C) or lower in original closed container.
Moderately volatile	Heavier than 70 ° API	Below 250°F (120 °C)		Cool to 65° F (18 °C) or lower in original closed container.
Moderately volatile and viscous	Heavier than 70 ° API	Below 250°F (120 °C)	Viscosity too high at 65°F (18°C)	Heat to minimum temperature for sufficient fluidity.
Nonvolatile	Heavier than 70 ° API	Below 250°F (120 °C)		Any temperature between 0 and 195 °F (-18 and 90° C) as convenient.
Mixture of nonpetroleum products or essentially pure hydrocarbons				60 ± 0.25 °F (15.56 ± 0.1° C)

ความเป็นกรด-ด่าง

หาค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ Universal indicator

วิธีการทดลอง

นำแท่งแก้วจุ่มลงในน้ำมัน จากนั้นทำการแตะลงบนกระดาษ universal indicator ทำการเปรียบเทียบสีที่ได้กับสีมาตรฐาน อ่านค่า pH ที่ได้

ปริมาณกรดไขมันอิสระ

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ ตาม วิธีของ AOAC .940.28 , 1995

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่
2. กระบอกตวง
3. บิวเรต
4. เครื่องชั่ง
5. แท่นความร้อน

สารเคมี

1. เตรียม 0.1 นอร์มัลโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. Standardize 0.1 นอร์มัลโซเดียมไฮดรอกไซด์ ด้วย 0.1 นอร์มัล KHP
3. สารละลายเอทานอลที่เป็นกลาง (Neutral ethanol) , เติม เอทานอล 95 เปอร์เซนต์ 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ที่สะอาด ขนาด 250 มิลลิลิตรที่แห้ง หยคน้ำมัน 2-3 หยด แล้วเติมฟีนอล์ฟทาลิน 2 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 60 - 65 องศาเซลเซียส
4. แล้วเติม 0.1 นอร์มัลโซเดียมไฮดรอกไซด์จนได้สารละลายสีชมพูอย่างถาวร (faint permanent pink)

วิธีการทดลอง

1. ตวง Neutral ethanol ข้อ 3 มา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ที่มีน้ำมันอยู่ 56.4 กรัม
 2. ไทเทรตด้วย 0.1 นอร์มัลโซเดียมไฮดรอกไซด์จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูอย่างถาวร บันทึกปริมาตรของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป
- คำนวณปริมาตรกรดไขมันอิสระดังนี้

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

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

ค่าความหนืด

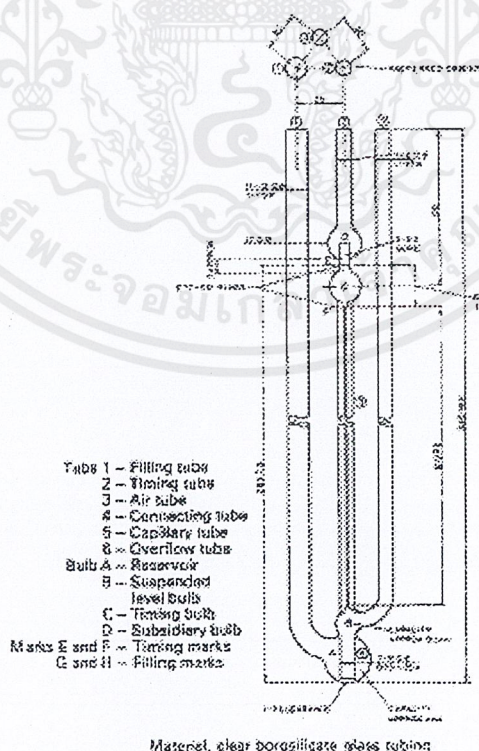
การหาค่าความหนืด ตาม ASTM D 445 - 85 and 446 — 89 , 2001

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. วิสโคมิเตอร์ (viscometer)
2. ลูกยาง
3. นาฬิกาจับเวลา
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ

วิธีการทดลอง

1. นำ วิสโคมิเตอร์ไปล้างด้วยอะซิโตนและอบให้แห้ง
2. นำน้ำมันที่ต้องการทดสอบ 15 มิลลิลิตร เทผ่าน filling tube ลงสู่กระเปาะ
3. นำวิสโคมิเตอร์ไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ตั้งอุณหภูมิให้คงที่
4. ปลอยน้ำมันตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่
5. ปิด venting tube ด้วยสายยาง โดยไม่ให้มีอากาศผ่าน
6. ใช้ลูกยางดูดน้ำมันให้เหนือส่วนที่จะทำการวัด
7. ปลอยลูกยาง เพื่อให้อากาศไหลผ่าน แล้วทำการจับเวลาที่น้ำมันไหลจากเส้นด้านบนจนถึงเส้นด้านล่าง
8. บันทึกเวลาที่วัดได้



รูปที่ ก-1 แสดงส่วนประกอบของวิสโคมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$V = K t$$

โดยที่ $V =$ Viscosity, mm^2 / s
 $K =$ Constant of the capillary
 $t =$ Flow time, s

ค่าความร้อนและปริมาณกำมะถัน

การทดสอบหาค่าความร้อน และปริมาณกำมะถันของเชื้อเพลิงเหลวด้วยบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

เครื่องมือและอุปกรณ์

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

สารเคมี

1. เชื้อเพลิงเหลวสำหรับทดสอบ
2. สารล้าง (Wash solution) เตรียมโดยเติมเมทิลออเรนจ์ (methyl orange) 1 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
3. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้น 0.0725 นอร์มัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH)
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1:1 โดยทำการผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นกับน้ำกลั่นในปริมาณที่เท่ากัน
6. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) เข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร
7. กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) บริสุทธิ์ สำหรับเทียบมาตรฐานเครื่อง

ตอนที่ 1 วิธีการหาค่าความร้อน

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ในถ้วยโลหะ โดยส่วนใหญ่มักใช้น้ำหนักของเชื้อเพลิงเหลวประมาณ 0.6 - 0.8 กรัม
2. นำถ้วยโลหะ ใส่ลงใน ring support จากนั้นผูกลวดให้ความร้อน (Firing wire) ที่มีความยาว 90 มิลลิเมตร จากอิเล็กโทรด (Electrode) หนึ่งไปยังอิเล็กโทรดหนึ่ง แล้วนำด้ายที่ยาวประมาณ 30 มิลลิเมตร ผูกกึ่งกลางของลวดให้ความร้อน โดยให้ปลายของด้าย สัมผัสกับตัวอย่างในถ้วย (ควรให้ความยาวของลวด คงที่ในแต่ละครั้งของการทดลอง)
3. เปิดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงในบอมบ์
4. วางถ้วยสารตัวอย่างที่อยู่ใน ring support ลงในบอมบ์ ปิดฝาบอมบ์ให้แน่น
5. อัดก๊าซออกซิเจนลงในบอมบ์โดยผ่านทางสายท่ออย่างช้าๆ ทำการอัดก๊าซให้ได้ความดันประมาณ 30 บาร์
6. เติมน้ำลงประมาณ 2 ลิตร ลงใน ถังของเครื่องคาลอริมิเตอร์ จากนั้นนำบอมบ์ที่เตรียมไว้ใส่ลงลงไป (ถ้ามีฟองอากาศรั่วออกมาจากบอมบ์ให้รีบแก้ไขโดยนำบอมบ์ขึ้นจากถังแล้วทำการปล่อยออกซิเจนออก แล้วทำการอัดออกซิเจนใหม่อีกครั้งหนึ่ง)
7. ต่อสายไฟโดยเสียบเข้ารูของ electrode socket ที่ด้านบนของบอมบ์ แล้วเลื่อนฝาปิดของเครื่องลงมา
8. เปิดเครื่องกดปุ่ม “ on/off ” แล้วกดปุ่ม “ TEST ” บนแผงควบคุม
9. น้ำใน water jacket กับในถังของเครื่องคาลอริมิเตอร์ ควรมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน โดยทำการปรับที่ “ Balance control ” โดยการหมุนตามเข็มนาฬิกาจะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำใน jacket ถ้าหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะลดอุณหภูมิของน้ำใน jacket
10. เมื่อมีสัญญาณไฟขึ้นที่ปุ่ม Ready แสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะทำงานแล้ว ให้ทำการวัดอุณหภูมิตอนเริ่มต้น (T_1) ให้กดปุ่ม “ THERMOMETER READER/VIBRATOR ” จากนั้นกดปุ่ม “ FIRE ” เพื่อทำการจุดระเบิด โดยกดปุ่มนาน 2 นาที (ทดสอบการจุดระเบิดว่าสำเร็จหรือไม่โดยการกดปุ่ม TEST จะต้องไม่มีสัญญาณไปติด)
11. อ่านค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 วินาที จนกว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุดและคงที่ (T_2) อุณหภูมิสุดท้ายควรไม่ต่างกันเกิน 0.02 องศาเซลเซียส

12. นำบอมบ์ออกจากถัง ทำการปล่อยก๊าซออกซิเจนที่เหลือออกให้หมด แล้วจึงเปิดฝา
13. นำสารล้างมาล้าง ถ้วยตัวอย่าง , ด้านในตัวของบอมบ์ จนกระทั่งหมดความเป็นกรด (สังเกตจากน้ำที่ล้างออกมาไม่เป็นสีชมพูแล้ว โดยเก็บน้ำที่ล้างไว้ในบีกเกอร์)
14. วัดความยาวหลอดและด้ายที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ บันทึกผล
15. นำน้ำที่อยู่ในบีกเกอร์ในข้อ 13 ไปเทรดกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต จนได้จุดยุติเป็นสีเหลือง บันทึกปริมาตรที่ใช้

ตอนที่ 2 การหาปริมาณซัลเฟอร์

1. นำสารละลายจาก ตอนที่ 1 มาปรับความเป็นกรด - ด่างด้วยสารละลาย NH_4OH ให้มีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ในช่วง 85.5 - 7.0
2. ต้มสารละลายที่ปรับ pH แล้วจนเดือด นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างด้วยน้ำร้อน 5 - 6 ครั้ง
3. นำสารละลายที่กรองได้หยดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1:1 จำนวน 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร พร้อมกับคนตลอดเวลา
4. นำสารละลายไปต้มให้เดือดประมาณนาน 15 นาที นำมาตั้งทิ้งไว้ไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง
5. นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนหมดคลอไรด์
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 ที่ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ บันทึกน้ำหนักของ porcelain crucible พร้อมตะกอนที่เหลือ

หมายเหตุ

การเทียบมาตรฐานเครื่องด้วย Benzoic acid standard

ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม ที่ทำการทดลองการเปลี่ยนแปลงของสารเคมี ที่ใช้รวมทั้งมีการทดลอง ไปจนถึงช่วงระยะเวลาหนึ่ง จำเป็นที่จะต้องมาตรฐานเครื่อง เพื่อให้ทราบว่าการทดลองนั้น มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นมากน้อยเพียงใด เพื่อจะได้ทำการแก้ไขให้ผลการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (หลักการทดลองเหมือนข้างต้น)

การคำนวณ

การคำนวณหาค่าปริมาณกำมะถัน

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

13.738 = น้ำหนักโมเลกุลของ S / BaSO₄

การคำนวณหาค่าความร้อนของตัวอย่าง

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

ΔT = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ($T_1 - T_2$); °C

W = Energy equivalent of calorimeter; (cal/°C) = 2500 (cal/°C)

e_1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด HNO₃; (cal) = 1.4 × ปริมาตร 0.0725 N Na₂CO₃

e_2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด H₂SO₄; (cal) = 22.6 × (% Sulfur)

e_3 = การแก้ค่าความร้อนของขดลวด; (cal)

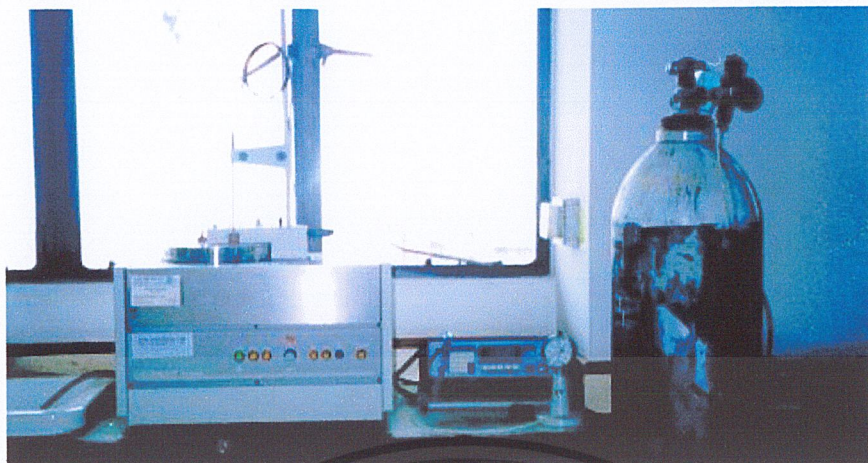
= (335 × 2.479 × 10⁻³) (ความยาวลวดที่ถูกเผาไหม้)

e_4 = การแก้ค่าความร้อนของด้าย; (cal)

= (4180 × 8.80 × 10⁻³) (ความยาวด้ายที่ถูกเผาไหม้)

ข้อมูลเพิ่มเติม

Heat release from firing cotton	=	4180 cal/g
Heat release from firing wire	=	335 cal/g
Heat of formation of sulfuric acid	=	22.6 cal/ 1% sulfur
Heat of formation of nitric acid	=	1.40 cal/ml. of nitric acid formed



รูปที่ ก-2 เครื่องบอมบ์คาลอรีมิเตอร์

การหาปริมาณกำมะถัน

การหาปริมาณกำมะถัน ตาม ASTM D 4294 — 98 , 2001

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer ของ Jordus Valley Ex310
2. Sample cell

วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบใส่ลงใน sample cell ให้มีปริมาตรประมาณ 3/4
2. เปิดโปรแกรมหาปริมาณกำมะถัน
3. กด enter รอจนกระทั่ง เครื่องแสดงค่าที่ได้



รูปที่ ก-3 เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer ของ Jordus Valley Ex310

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดวาบไฟ (Flash Point)

การหาจุดวาบไฟ โดยวิธี Pensky-Martens closed-cup ตาม ASTM D 93-90 , 2001

เครื่องมือและอุปกรณ์

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

วิธีการทดสอบ

1. อุปกรณ์ทุกอย่างต้องสะอาด และปราศจากน้ำในการทดสอบ
2. ทำการ calibrate เครื่อง โดยใช้ p-xylene เป็นสารมาตรฐาน ค่าที่ยอมรับได้จะประมาณ 27.2 ± 1.1 องศาเซลเซียส
3. ใส่ตัวอย่างลงในถ้วย จนมีปริมาตรเท่าที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นปิดฝาและนำไปไว้ในเตาไฟ ใส่เทอร์โมมิเตอร์ลงไป นำสารที่ต้องการจะทดสอบมาทดสอบที่อุณหภูมิ 15 ± 5 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่า 11 องศาเซลเซียส โดยต้องเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดวาบไฟ ปรับไฟให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ให้อัตราความร้อนประมาณ 6 องศาเซลเซียส ต่อนาที 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. บันที่กอุณหภูมิที่สังเกตเห็นจุดวาบไฟที่เกิดขึ้นภายในถ้วย (โดยปกติมักจะมีไฟสีน้ำเงินเกิดขึ้นในการทดสอบ ซึ่งเกิดจากสิ่งแวดล้อม แต่จะไม่ใช้จุดวาบไฟของสารตัวอย่าง)
7. บันที่กความดันขณะทำการทดสอบด้วยบารอมิเตอร์

การคำนวณ

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

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

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

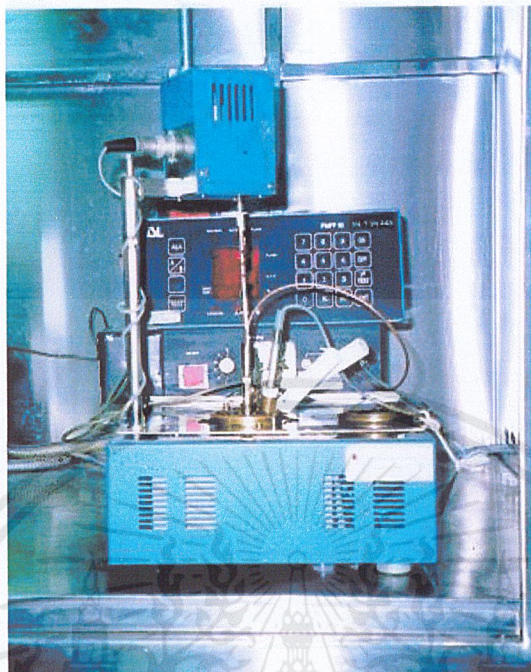
โดย C = จุดที่สังเกตเห็นจุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)

F = จุดที่สังเกตเห็นจุดวาบไฟ (องศาฟาเรนไฮน์)

P = ความดันของบารอมิเตอร์ที่บรรยากาศ (มิลลิเมตรปรอท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

p = ความดันของบารอมิเตอร์ที่บรรยากาศ (กิโลปาสกาล)



รูปที่ ก-4 เครื่อง Automatic Flash Point Pensky-Martens closed-cup

จุดไหลเท (Pour Point)

การหาจุดไหลเท (Pour point) ตาม ASTM D 97 —97a , 2001

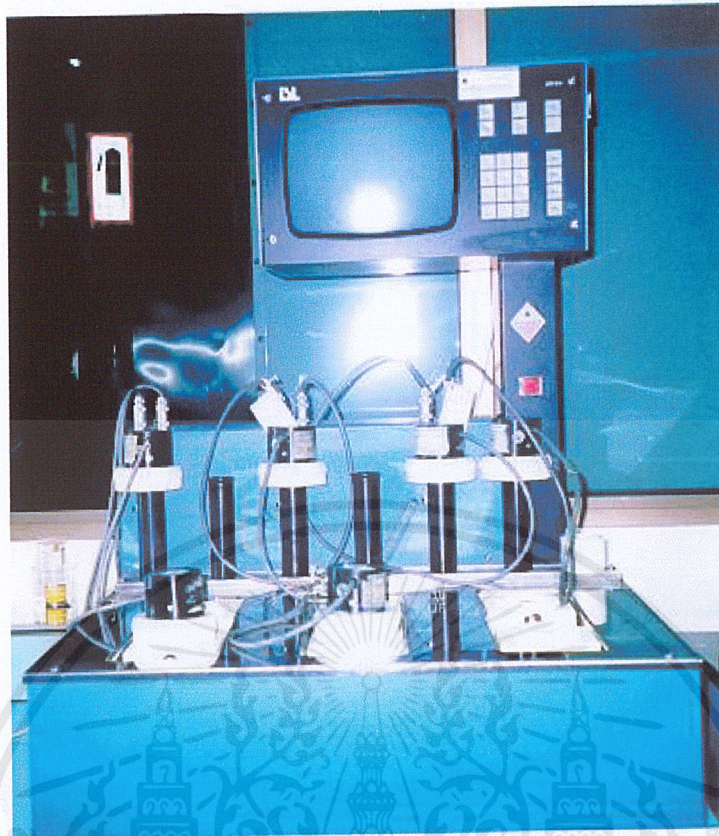
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Automatic Pour Point
2. Test Jar

วิธีการทดสอบ

1. เทตัวอย่างที่ต้องการทดสอบลงใน Test Jar จนมีปริมาตรถึงขีดที่กำหนดไว้
2. นำ Test Jar ไปใส่ลงใน Cooling bath เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ
3. ตั้งอุณหภูมิของเครื่องให้ใกล้เคียงกับจุดไหลเทของสารตัวอย่าง
4. ตั้งหมายเลขให้กับสารตัวอย่าง
5. กด enter
6. รอจนกระทั่งหน้าจอที่แสดงอุณหภูมิกระพริบ
7. ค่าที่ได้เป็นจุดไหลเทของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-5 เครื่อง Automatic Pour Point

การกลั่น (Distillation)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกลั่น Manual DIST (No.4)
2. ขวดกลั่น ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. กระจบอกลง ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. เทอร์โมมิเตอร์ 400 องศาเซลเซียส

วิธีการทดสอบ

1. เเทน้ำมันลงในกระจบอกลงให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. นำน้ำมันที่ได้เทลงในขวดกลั่น
3. นำไปตั้งในเครื่องกลั่น โดยให้ความร้อนที่เหมาะสม
4. บันทึกอุณหภูมิที่กลั่นสารได้หยดแยก 10 เพลอร์เซ็นต์ 50 เพลอร์เซ็นต์ และ 90 เพลอร์เซ็นต์ โดยให้อัตราเร็วในการกลั่นเท่ากับ 4 มิลลิลิตร ต่อ นาที ถ้าเร็วหรือช้าเกินไปควรปรับความร้อนของเครื่องให้ความร้อนที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-6 เครื่องกลั่นน้ำมัน Manual DIST (No.4)

การหาค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index)

การหาค่าดัชนีซีเทน มาตรฐาน ASTM D 976 – 91 , 2001

วิธีการทดสอบ

วิธีที่ 1. คำนวณจากสมการดัชนีซีเทน

สมการดัชนีซีเทน

$$\text{Cetane Index} = -420.34 + 0.016G^2 + 0.192G \log M + 65.01(\log M)^2 - 0.0001809M^2$$

หรือ

$$\text{Cetane Index} = 454.74 - 1641.416D + 774.74D^2 - 0.554B + 97.803(\log B)^2$$

เมื่อ G = ค่า API Gravity

M = อุณหภูมิการกลั่นที่สามารถกลั่นสารตัวอย่างได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (องศาฟาเรนไฮต์)

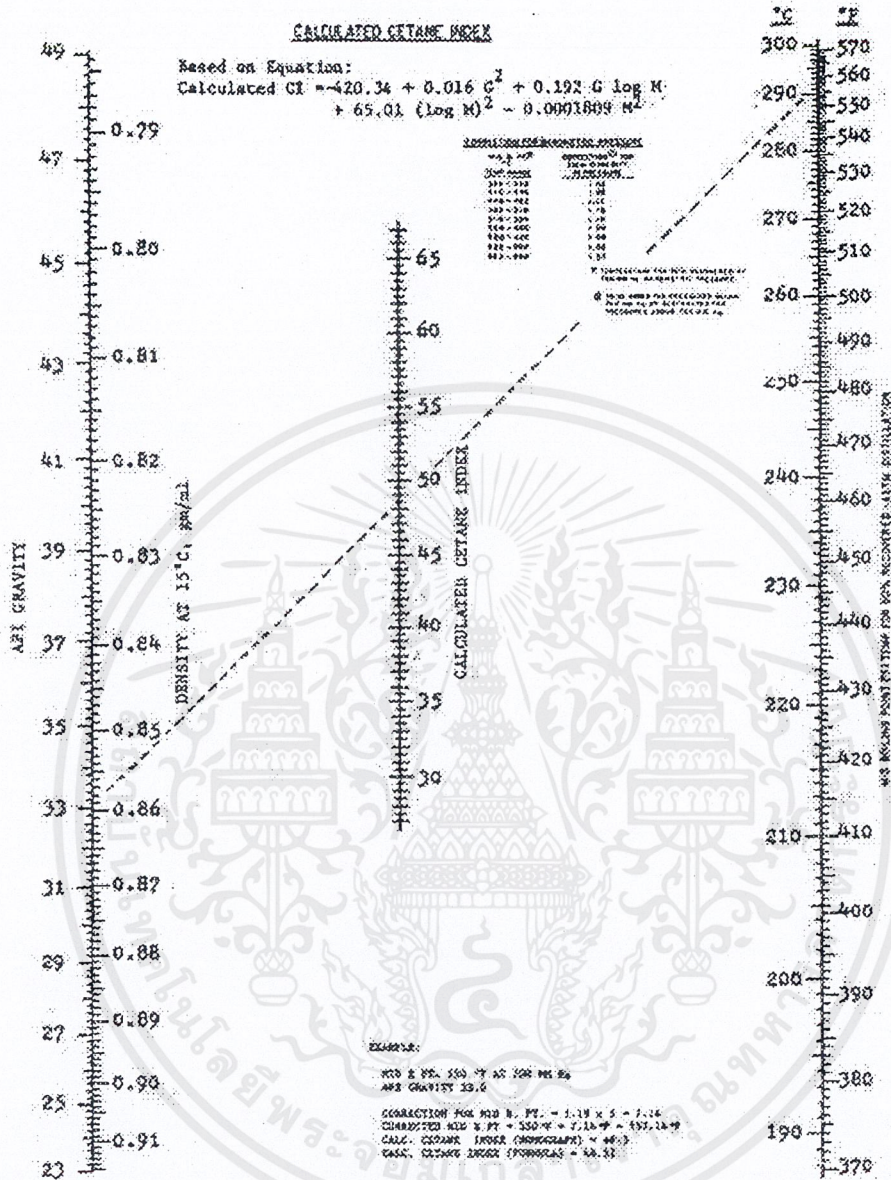
D = ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส (กรัมต่อมิลลิลิตร)

B = อุณหภูมิการกลั่นที่สามารถกลั่นสารตัวอย่างได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (องศาเซลเซียส)

วิธีที่ 2. คำนวณจากโนโมแกรม

1. หาค่า API Gravity หรือ ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียสของตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ
2. หาอุณหภูมิของการกลั่นที่สามารถกลั่นสารตัวอย่างได้ 50 เปอร์เซ็นต์
3. นำค่าที่ได้จากข้อ 1 และข้อ 2 มาลากเป็นเส้นตรง จุดที่เส้นตรงไปตัดกับเส้นตรงของค่าดัชนีซีเทน จุดที่ได้นั้นจะเป็นค่าซีเทนของสารตัวอย่างนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-7 โนโมแกรมสำหรับหาค่าดัชนีซีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการทดลอง

องค์ประกอบของดีเซลชีวภาพ

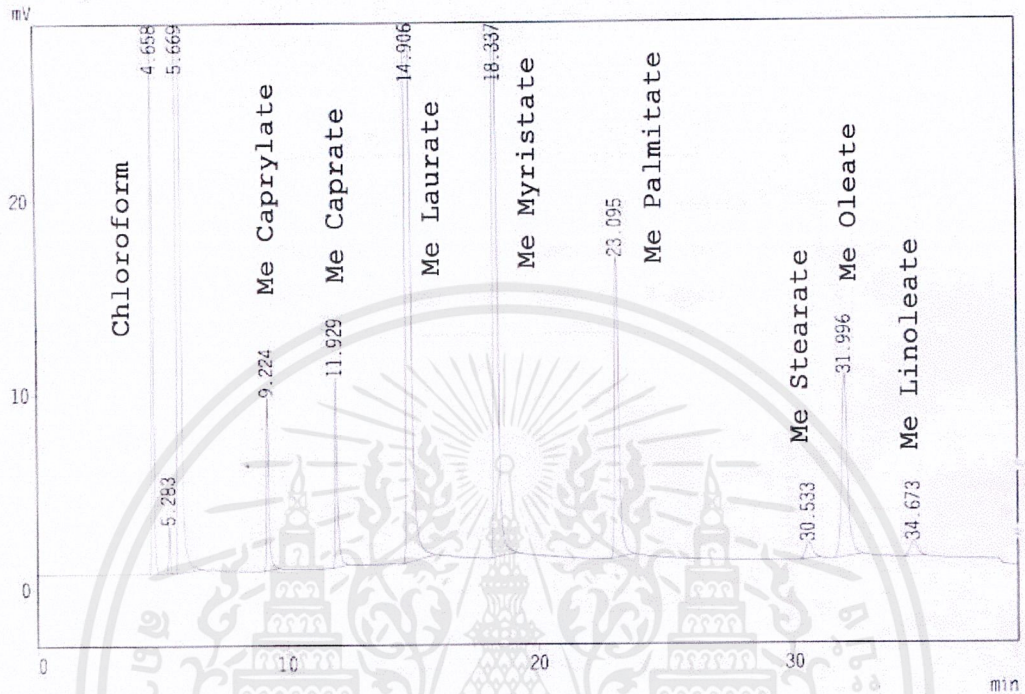
ศึกษาองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ (ดีเซลชีวภาพ) ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอล โดยใช้เครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) GC-17A ของบริษัท SHIMADZU คอลัมน์ที่ใช้คือ capillary column DB-WAX ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.53 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร โดยค่าสภาวะต่างๆที่ใช้ในการทดลองเป็นดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้นของคอลัมน์	120	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิสุดท้ายของคอลัมน์	230	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอินเจคเตอร์ (Injector)	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิตัวตรวจวัด ชนิด FID	300	องศาเซลเซียส
Program rate	10	องศาเซลเซียสต่อนาที
Initial time	2	นาที
Final hold time	25	นาที
อัตราการไหลของก๊าซฮีเลียม	39.4254	เซนติเมตรต่อวินาที
Split ratio	1:20	

เตรียมสารตัวอย่างโดยนำดีเซลชีวภาพที่ผลิตได้ มากั้นด้วยปั๊มดูดอากาศเพื่อให้ได้เมทิลเอสเทอร์ที่บริสุทธิ์ จากนั้นชั่งเมทิลเอสเทอร์ที่กั้นได้มา 0.5 กรัม ละลายในคลอโรฟอร์ม 1 มิลลิลิตร ฉีดสารตัวอย่าง 1 ไมโครลิตรเข้าสู่เครื่อง ผ่านตัวตรวจวัดแบบ Flame Ionization Detector (FID) สัญญาณจากเครื่องตรวจวัดจะเข้าสู่เครื่องประมวลผล และบันทึกผลที่ได้ออกมาเป็น โครมาโทแกรม

ผลการศึกษาองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ (ดีเซลชีวภาพ) ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอล โดยใช้เครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) GC-17A ของบริษัท SHIMADZU คอลัมน์ที่ใช้คือ capillary column DB-WAX ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.53 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร เป็นดังนี้

*** Chromatogram *** Filename:@CHRM1.C08



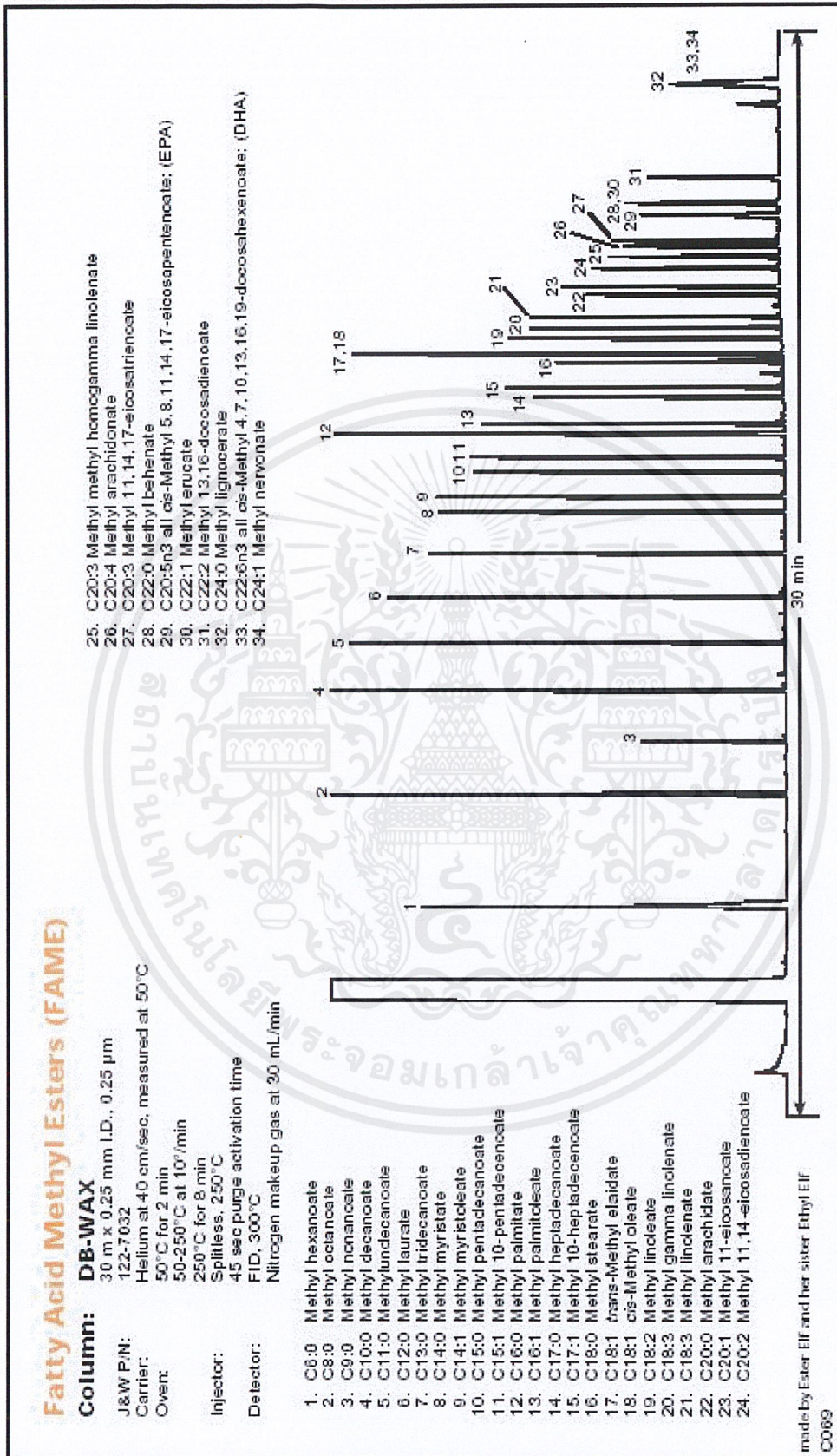
*** Peak Report ***

PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.658	180383	41767			3.4066	
2	5.283	11657	2464			0.2201	
3	5.669	2136942	362672			40.3574	
4	9.224	60457	8892			1.1418	
5	11.929	65044	9784			1.2284	
6	14.906	1932936	262826	S		36.5046	
7	18.337	532816	61819			10.0625	
8	23.095	181807	15432			3.4335	
9	30.533	15667	854			0.2959	
10	31.996	161242	9359			3.0452	
11	34.673	16097	803			0.3040	

5295049 776670 100.0000

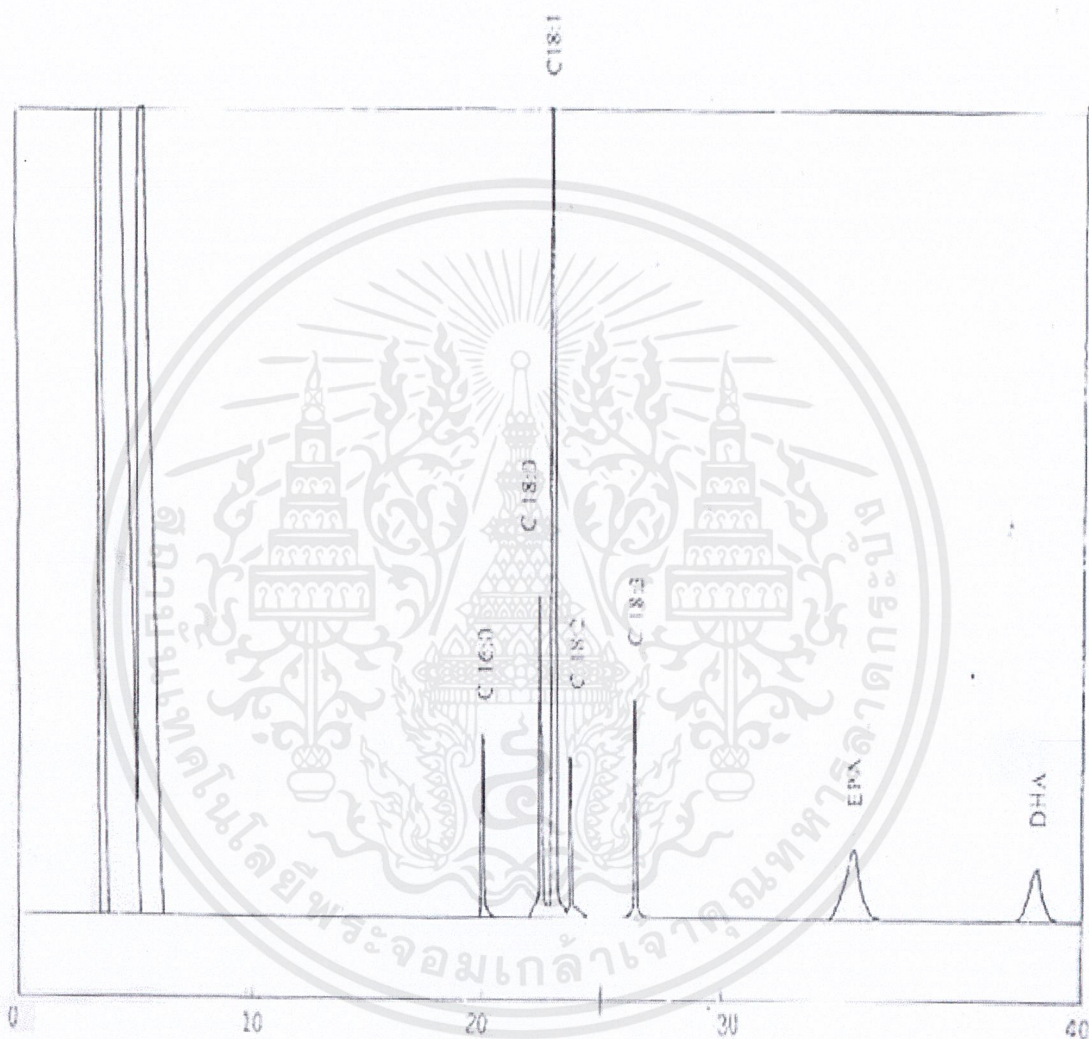
รูปที่ ข-1 แสดงโครมาโทแกรมองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-2 โครมาโทแกรมมาตรฐานของกรดไขมัน DB-WAX [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-3 โครมาโทแกรมของกรดไขมันมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 แสดงผลการทดลองสมบัติค่าความร้อนของดีเซลชีวภาพที่สภาวะต่างๆ

Batch	สภาวะ	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	MeOH (1:6),1%K,RT	41828.215	40726.940
2	MeOH (1:6),1%K,45 °C	40402.357	39709.635
3	MeOH (1:6),1%K,60 °C	41125.938	41889.140
4	MeOH (1:6),1%K,75 °C	40862.952	40311.117
5	MeOH (1:6),0.1%Na ,60 °C	38213.035	41167.120
6	MeOH (1:6),0.1%K ,60 °C	39851.560	39506.450
7	MeOH (1:6),0.5%Na ,60 °C	39946.950	39728.980
8	MeOH (1:6),1%Na ,60 °C	42675.300	42485.250
9	MeOH (1:6),1.1%Na ,60 °C	41461.192	42193.408
10	EtOH99.9% (1:6),1%Na ,60 °C	42520.890	42320.880
11	EtOH95% (1:6),1%Na ,60 °C	/	/
12	MeOH (1:3),1%Na ,60 °C	40391.863	40087.163
13	MeOH (1:4),1%Na ,60 °C	41001.454	39195.870
14	MeOH (1:5),1%Na ,60 °C	40971.533	39913.130
15	MeOH (1:7),1%Na ,60 °C	41522.106	38977.647

/ = เป็นเจลแข็งวัดไม่ได้

ตารางที่ ข-2 แสดงผลการทดลองสมบัติค่าความหนืดของดีเซลชีวภาพที่สภาวะต่างๆ

Batch	สภาวะ	ค่าความหนืดที่ 25 °C (เซนติสโตก)		ค่าความหนืดที่ 40 °C (เซนติสโตก)	
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่1	ครั้งที่2
1	MeOH (1:6),1%K,RT	4.046	4.192	2.994	3.002
2	MeOH (1:6),1%K,45 °C	3.876	4.142	2.895	3.004
3	MeOH (1:6),1%K,60 °C	3.791	3.842	2.811	2.794
4	MeOH (1:6),1%K,75 °C	3.833	3.942	2.874	2.959
5	MeOH (1:6),0.1%Na ,60 °C	5.439	5.508	5.439	3.792
6	MeOH (1:6),0.1%K ,60 °C	12.351	11.128	8.106	7.077
7	MeOH (1:6),0.5%Na ,60 °C	3.796	5.614	2.875	5.579
8	MeOH (1:6),1%Na ,60 °C	3.748	3.743	2.869	2.811
9	MeOH (1:6),1.1%Na ,60 °C	3.730	3.732	2.980	2.982
10	EtOH99.9% (1:6),1%Na ,60 °C	4.316	4.341	3.194	3.088
11	EtOH95% (1:6),1%Na ,60 °C	/	/	/	/
12	MeOH (1:3),1%Na ,60 °C	5.339	5.402	3.774	3.846
13	MeOH (1:4),1%Na ,60 °C	4.203	4.242	3.152	3.295
14	MeOH (1:5),1%Na ,60 °C	3.876	3.817	2.994	2.894
15	MeOH (1:7),1%Na ,60 °C	3.774	3.743	2.944	2.844

/ = เป็นเจลแข็งวัดไม่ได้

ตารางที่ ข-3 แสดงผลการทดลองสมบัติค่าความหนาแน่นของดีเซลชีวภาพที่สภาวะต่างๆ

Batch	สภาวะ	ความหนาแน่นที่ 25 °C (กรัมต่อลบ.ซม.)		ความหนาแน่นที่ 40 °C (กรัมต่อลบ.ซม.)	
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่1	ครั้งที่2
1	MeOH (1:6),1%K,RT	0.8702	0.8687	0.8603	0.8593
2	MeOH (1:6),1%K,45 °C	0.8668	0.8685	0.8568	0.858
3	MeOH (1:6),1%K,60 °C	0.8676	0.8341	0.8565	0.8243
4	MeOH (1:6),1%K,75 °C	0.8695	0.8666	0.8589	0.8573
5	MeOH (1:6),0.1%Na ,60 °C	0.8887	0.8781	0.8764	0.8682
6	MeOH (1:6),0.1%K ,60 °C	0.9001	0.8950	0.8889	0.8849
7	MeOH (1:6),0.5%Na ,60 °C	0.8659	0.8891	0.8559	0.8793
8	MeOH (1:6),1%Na ,60 °C	0.8644	0.8677	0.854	0.857
9	MeOH (1:6),1.1%Na ,60 °C	0.8645	0.8647	0.8551	0.8553
10	EtOH99.9% (1:6),1%Na ,60 °C	0.8613	0.8602	0.8516	0.8508
11	EtOH95% (1:6),1%Na ,60 °C	/	/	/	/
12	MeOH (1:3),1%Na ,60 °C	0.8755	0.8749	0.8652	0.865
13	MeOH (1:4),1%Na ,60 °C	0.8695	0.8685	0.8593	0.8587
14	MeOH (1:5),1%Na ,60 °C	0.8670	0.8650	0.8572	0.8547
15	MeOH (1:7),1%Na ,60 °C	0.8649	0.8657	0.8547	0.8557

/ = เป็นเจลแข็งวัดไม่ได้

ตารางที่ ข-4 แสดงผลน้ำหนักของอัลคิลเอสเทอร์ที่ได้จากดีเซลชีวภาพที่สภาวะต่างๆ

Batch	สภาวะ	น้ำหนักน้ำมัน ตอนเริ่มต้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์อัล คิลเอสเทอร์ที่ได้	น้ำหนักอัลคิลเอส เทอร์ที่ได้ (กรัม)
1	MeOH (1:6),1%K,RT	250	80.01	200.03
2	MeOH (1:6),1%K,45 °C	250	82.17	205.43
3	MeOH (1:6),1%K,60 °C	250	93.74	234.35
4	MeOH (1:6),1%K,75 °C	250	86.17	215.43
5	MeOH (1:6),0.1%Na ,60 °C	250	90.20	225.50
6	MeOH (1:6),0.1%K ,60 °C	250	55.12	137.80
7	MeOH (1:6),0.5%Na ,60 °C	250	90.98	227.45
8	MeOH (1:6),1%Na ,60 °C	250	95.18	237.95
9	MeOH (1:6),1.1%Na ,60 °C	250	92.53	231.33
10	EtOH99.9% (1:6),1%Na ,60 °C	250	95.08	237.70
11	EtOH95% (1:6),1%Na ,60 °C	250	/	/
12	MeOH (1:3),1%Na ,60 °C	250	52.47	131.18
13	MeOH (1:4),1%Na ,60 °C	250	86.53	216.33
14	MeOH (1:5),1%Na ,60 °C	250	88.43	221.08
15	MeOH (1:7),1%Na ,60 °C	250	87.59	218.98

/ = เป็นเจลแข็งตัวไม่ได้