

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างมูลค่าเพิ่มของกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

: การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์



T107878



นางสาวชลธิชา

พลายชุม

นางสาวดวงกมล

พฤทธิธโนปจัย

รฟ.
82247
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 107878
วัน,เดือน,ปี..... - 8 ส.ย. 2553

b. 12213๗๖1
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Value-added Utilization of Crude Glycerol from Biodiesel
: Purification of Glycerol**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
the Degree of Bachelor of Science**

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การสร้างมูลค่าเพิ่มของกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
: การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์

นักศึกษา นางสาวชลธิชา พลายุชม
นางสาวดวงกมล พฤทธิชัยโนปจัย

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

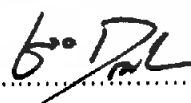
ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ อาจารย์สุจินต์ ตันติพิสิฏกุล	
กรรมการ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	



(ผศ.ดร.ชลด จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การสร้างมูลค่าเพิ่มของกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล : การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์
นักศึกษา	นางสาวชลธิชา พลายุชม นางสาวดวงกมล พฤทธิ์ โนปัจย
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.เชษฐชัย ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความน่าจะเป็นในการสร้างมูลค่าเพิ่มของกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลคือ การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ โดยการนำกลีเซอรอลดิบจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วย 5 ขั้นตอน คือ การกลั่นแยกเมทานอล การกำจัดด่างโดยใช้กรดฟอสฟอริก เข้มข้น 1.0 โมลาร์ การสกัดด้วยเฮกเซน การกลั่นกลีเซอรอลภายใต้สูญญากาศที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 2 มิลลิเมตรปรอท การกำจัดสีและกลิ่นด้วยคาร์บอนกัมมันต์ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณเมทานอลที่ได้จากการกลั่นเท่ากับ 6.75% สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์คือ การกำจัดด่างที่พีเอช 5 และใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์เป็น 1:4 โดยทำการเขย่าตลอดเวลานาน 1 วัน ซึ่งจะได้กลีเซอรอลบริสุทธิ์คิดเป็น 26.11% ของกลีเซอรอลดิบ และมีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ในระดับชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม กล่าวคือ มีปริมาณกลีเซอรอลโดยเฉลี่ย 98.99% ความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 1.2620 ความเป็นกรดหรือความเป็นด่างเท่ากับ 0.0184 มิลลิอิกวิเวเลนซ์ต่อ 100 กรัม ปริมาณเถ้าซัลเฟตเท่ากับ 0.01% ไม่มีสีและไม่มีการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยา สำหรับผลพลอยได้ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งจากขั้นตอนการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์คือ สารประกอบโพแทสเซียมฟอสเฟต ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมและฟอสเฟตไอออนคิดเป็น 6.48 และ 10.63 % ตามลำดับ สารประกอบโพแทสเซียมฟอสเฟตที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ทำเป็นปุ๋ยเคมีสูตรกลางได้ จากงานวิจัยนี้นอกจากจะสามารถทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์แล้วยังได้ผลิตภัณฑ์ร่วมชนิดอื่นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งนอกจากจะเป็นการกำจัดของเสียแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้อีกด้วย

คำสำคัญ : กลีเซอรอลบริสุทธิ์ กลีเซอรอลดิบ ไบโอดีเซล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title Value-added Utilization of Crude Glycerol from Biodiesel
: Purification of Glycerol

Student Name Miss Cholticha Playchoom
Miss Tuangkamon Pluettanopatchai

Department Chemistry

Academic Year 2008

Advisor Name Asst. Prof. Krongkaw Tippayasak
Asst. Prof. Dr. Pachernchai Chaiyasith

ABSTRACT


Value-added utilization of crude glycerol from biodiesel was the aim of this study. Crude glycerol was purified by five following steps. Firstly, the methanol was separated by simple distillation. Secondly, acidify was done by adding 1.0 M Phosphoric acid and followed by the third step, liquid-liquid extraction. Hexane was using as an extractant. The forth step, vacuum distillation was performed at 130 °C and 2 mmHg pressure. Finally, color and odor were removed by activated carbon adsorption. It was found from the study that the methanol content was 6.75%, the optimum condition for acidify was pH 5 and the weight ratio of glycerol to activated carbon in the adsorption step was 1:4 and orbital shaking for 1 day. The qualities of purified glycerol was determined by the standard method TIS 335-2547 for industrial grade glycerol. It was found that the purified glycerol passed the standard criteria with a purify of 98.99%, sulfate ash 0.01%, density 1.2620, acidity 0.0184 meq/100 g, colorless and odorless. The percentage of potassium and phosphate ion, a co-product which can be use as a medium analysis fertilizer were 6.48 and 10.63 %, respectively. From this special project, the purification method of crude glycerol was developed and the fertilizer co-product was obtained. This was not only the waste minimization of biodiesel by-product but also the value-added utilization of crude glycerol.

Keyword : purified glycerol, crude glycerol, biodiesel

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่อง การสร้างมูลค่าเพิ่มของกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล : การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ (Value-added Utilization of Crude Glycerol from Biodiesel : Purification of Glycerol) นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือของบุคคล และหน่วยงานหลายฝ่าย คณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณบุคคล และหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ดังนี้

คณาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำวิชาความรู้และให้ความช่วยเหลือตลอดมา รวมไปถึง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความ



**Value-added Utilization of Crude Glycerol from Biodiesel
: Purification of Glycerol**

Cholticha

Playchoom

Tuangkamon

Pluettanopatchai

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำย่อและสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ไบโอดีเซล	
2.1.1 ความเป็นมาของไบโอดีเซล	4
2.1.2 สมบัติที่แตกต่างกันของน้ำมันดีเซลกับน้ำมันพืช	6
2.1.3 ประเภทของไบโอดีเซล	7
2.1.4 โรงงานต้นแบบไบโอดีเซลของประเทศไทยในปัจจุบัน	8
2.2 ก๊าซเซอรอล	
2.2.1 สมบัติของก๊าซเซอรอลบริสุทธิ์	10
2.2.2 การผลิตก๊าซเซอรอล	12
2.2.3 ประโยชน์ของก๊าซเซอรอลบริสุทธิ์	15
2.2.4 แนวทางการทำก๊าซเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 การสกัด (Extraction)	20
2.4 คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon)	24
2.5 ปุ๋ยเคมี	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	31
3.2 สารเคมี	31
3.3 แหล่งที่มาของกลีเซอรอลดิบ	32
3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ	32
3.5 การบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์	
- ขั้นที่ 1 การกลั่นเพื่อแยกแอลกอฮอล์	32
- ขั้นที่ 2 การกำจัดค่างในกลีเซอรอลด้วยกรดฟอสฟอริก	32
- ขั้นที่ 3 การสกัดกลีเซอรอลด้วยตัวทำละลายอินทรีย์	33
- ขั้นที่ 4 การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์	33
- ขั้นที่ 5 การใช้คาร์บอนกัมมันต์กำจัดสีและกลิ่นออกจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์	33
3.6 การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ด้วยการกลั่นแบบลดความดัน	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ	35
4.2 การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์	
- ขั้นที่ 1 กลั่นเพื่อแยกแอลกอฮอล์	36
- ขั้นที่ 2 การกำจัดค่างในกลีเซอรอลด้วยกรดฟอสฟอริก	37
- ขั้นที่ 3 การสกัดกลีเซอรอลด้วยตัวทำละลายอินทรีย์	39
- ขั้นที่ 4 การกลั่นกลีเซอรอลด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดัน	40
- ขั้นที่ 5 การใช้คาร์บอนกัมมันต์กำจัดสีและกลิ่นออกจากกลีเซอรอล	41
4.3 วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ระดับชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลที่ผ่านการบำบัดเทียบกับ กลีเซอรอลมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ระดับ ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	51
ภาคผนวก ข	73
ภาคผนวก ค	85
ภาคผนวก ง	91
ภาคผนวก จ	92
ภาคผนวก ฉ	94
ภาคผนวก ช	100
ประวัติผู้เขียน	102



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของน้ำมันพืชเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล	6
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอกับจุดเดือดของกลีเซอรอล	10
2.3 สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล	11
2.4 ข้อมูลการนำกลีเซอรอลไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ทั่วโลก	16
2.5 การนำกลีเซอรอลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ	17
2.6 สมบัติของตัวทำละลายบางชนิดที่ใช้ในการสกัดสารละลาย	23
2.7 ลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์แบบผง และคาร์บอนกัมมันต์แบบเม็ด	25
3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์หักกลีเซอรอลบริสุทธิ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ในระดับชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม	34
4.1 สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ	35
4.2 ลักษณะทางกายภาพของกลีเซอรอลภาพดิบที่พีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 1.0 โมลาร์	38
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีและกลิ่นของคาร์บอนกัมมันต์ในอัตราส่วนและเวลาที่แตกต่างกัน	41
4.4 เปรียบเทียบสมบัติของกลีเซอรอลที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และกลีเซอรอลมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม	42
4.5 การเปรียบเทียบช่วงความยาวคลื่นที่สำคัญระหว่างกลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ผ่านการบำบัดกับกลีเซอรอลมาตรฐาน มอก.337-2545 ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม	45
ก.1 ผลการทดลองการกลั่นเมทานอลและปรับค่าพีเอชเป็น 5 ด้วยกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 1.0 โมลาร์	51
ก.2 ผลการทดลองการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ด้วย 5 ขั้นตอน ในสภาวะที่เหมาะสม	52
ก.3 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตกับโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต	54

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.4 การไทเทรตหาปริมาณกลีเซอรอลร้อยละโดยน้ำหนัก โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1246 M	55
ก.5 การหาปริมาณเถ้าของกลีเซอรอล โดยใช้วิธีเกรวิเมตรี	56
ก.6 การหาความชื้นหรือน้ำในกลีเซอรอลดิบ โดยวิธีการระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส	57
ก.7 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลที่ไม่ผ่านการกำจัดสีด้วยคาร์บอนกัมมันต์	58
ก.8 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วนระหว่าง กลีเซอรอลต่อถ่านกัมมันต์ เป็น 1:2 เวลา 1 วัน	59
ก.9 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วนระหว่าง กลีเซอรอลต่อถ่านกัมมันต์ เป็น 1:4 เวลา 1 วัน	60
ก.10 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วนระหว่าง กลีเซอรอลต่อถ่านกัมมันต์ 1:6 เวลา 1 วัน	61
ก.11 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วนระหว่าง กลีเซอรอลต่อถ่านกัมมันต์ เป็น 1:2 เวลา 2 วัน	62
ก.12 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วนระหว่าง กลีเซอรอลต่อถ่านกัมมันต์ เป็น 1:4 เวลา 2 วัน	63
ก.13 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วนระหว่าง กลีเซอรอลต่อถ่านกัมมันต์ เป็น 1:6 เวลา 2 วัน	64
ก.14 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ขั้นที่ 5 เมื่อใช้อัตราส่วน โดยน้ำหนัก ระหว่างกลีเซอรอลต่อถ่านกัมมันต์ เป็น 1:4 เวลา 1 วัน เทียบกับกลีเซอรอลดิบ	65
ก.15 การหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ขั้นที่ 5 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	66
ก.16 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการไทเทรต โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต	67
ก.17 การหาความเป็นด่างหรือความเป็นกรดของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ขั้นที่ 5	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.18 การหาปริมาณเถ้าซัลเฟตของกลีเซอรอล โดยใช้วิธีเกรวิเมตรี	68
ก.19 การหาความเข้มข้นของไอออนโพแทสเซียมและฟอสเฟต ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ	70
ก.20 การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมทานอลมาตรฐานด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ	71
ก.21 การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมทานอลในกลีเซอรอลดิบ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ	72
ข.1 โคออร์ดิเนต ที่ต้องการวัดในการวัดสีด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	78
ข.2 ตัวสีจากความยาวคลื่นที่เด่น	80
ค.1 ช่วงความยาวคลื่นและลักษณะสเปกตรัมที่สำคัญของกลีเซอรอล	85
ค.2 ลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี	87
ง.1 สมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon)	91
จ.1 ตัวอย่างรายชื่อบริษัทผลิตไบโอดีเซล	92
ช.1 การคิดต้นทุนการนำบดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์	100
ช.2 การเปรียบเทียบราคาของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล	101

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของกลีเซอรอล	9
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการกระจายกับเปอร์เซ็นต์การสกัด	21
2.3 เครื่องมือการสกัดอย่างต่อเนื่อง	24
2.4 ลักษณะหลอดแก้ว Craig 1 หลอด และแสดงทิศทางการเขย่าของหลอดในการสกัด	24
2.5 สเปกตรัมจากเครื่อง Fourier Transform Infrared	27
2.6 โครมาโตแกรมจากเครื่อง High Performance Liquid Chromatography ของกลีเซอรอลบริสุทธิ์	28
2.7 สเปกตรัมจากเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ของกลีเซอรอลดิบ	29
2.8 สเปกตรัมจากเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ของกลีเซอรอลบริสุทธิ์	29
4.1 การกลั่นเมทานอลด้วยชุดเครื่องกลั่นแบบธรรมดา	37
4.2 การกลั่นกลีเซอรอลด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดัน	40
4.3 สิ่งที่เหลือจากการกลั่นกลีเซอรอลด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดัน	40
4.4 การเปรียบเทียบลักษณะของสีกลีเซอรอลที่ผ่านการบำบัด	43
4.5 ตัวอย่างสเปกตรัมของกลีเซอรอลจากเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด-สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)	44
ข.1 ไดอะแกรมโครมาติซิตี (Chromaticity Diagram)	80
ก.1 ตัวอย่างสเปกตรัมของกลีเซอรอล	86

คำย่อและสัญลักษณ์

°C	องศาเซลเซียส
cP	เซนติพอยส์
CPO	น้ำมันปาล์มดิบ
dyn/cm	ดาเยนต์ต่อเซนติเมตร
g/cm ³	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
GC	Gas Chromatography
IR	Infrared Spectrophotometer
J/mol	จูลต่อโมล
K	องศาเคลวิน
KHP	โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
KOH	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
Kow	สัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารระหว่างนอร์มอลออกทานอลและน้ำ
L	ลิตร
M	โมลาร์
mg	มิลลิกรัม
mL	มิลลิลิตร
mN/m	มิลลินิวตันต่อเมตร
mPas	มิลลิปาสคาล
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์
N.D.	เครื่องไม่สามารถวัดได้
pH	ระดับความเป็นกรดด่าง
RBD PO	น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์
w/w	น้ำหนักต่อน้ำหนัก
ppm	พีพีเอ็ม
W	วัตต์
%	เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ข้อมูลปริมาณน้ำมันดิบปิโตรเลียมสำรองของโลกรวบรวมโดย บริษัท บีพี (British Petroleum Company) ในปี พ.ศ.2545 มีการประเมินว่าปริมาณน้ำมันดิบปิโตรเลียมสำรองของโลกมีประมาณ 2.1 ล้านล้านบาร์เรล และจะมีน้ำมันดิบปิโตรเลียมใช้ต่อไปอีกไม่เกิน 45 ปี (Deffeyes, 2002) จากการประเมินดังกล่าวประกอบกับสาเหตุด้านอื่นๆ ทำให้ราคาน้ำมันดิบปิโตรเลียมพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จาก 10 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล เป็น 32 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล โดยในช่วงปี พ.ศ.2543 ถึงปี พ.ศ.2550 ราคาเพิ่มสูงขึ้นเป็น 50-60 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล และในปี พ.ศ.2551 ราคาน้ำมันดิบปิโตรเลียมได้เพิ่มสูงขึ้นเป็น 100-110 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรลแล้ว และยังได้มีการประเมินสถานการณ์แนวโน้มของราคาน้ำมันดิบปิโตรเลียมว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมกรบริโภคน้ำมันดิบปิโตรเลียมของประชากรทั่วโลก หลายประเทศจึงมีความจำเป็นที่จะต้องจัดหาแหล่งพลังงานใหม่ขึ้น เพื่อทดแทนพลังงานจากน้ำมันดิบปิโตรเลียม พลังงานทางเลือกหนึ่งที่หลายประเทศเลือกใช้คือน้ำมันดีเซลชีวภาพหรือไบโอดีเซล (Biodiesel) ซึ่งรูดอล์ฟ ดีเซล เป็นผู้ริเริ่มคิดค้นเป็นคนแรก โดยใช้ไบโอดีเซลเดิมในเครื่องยนต์ดีเซล ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว หรือจากไขมันสัตว์ จะมีองค์ประกอบของกำมะถันปริมาณน้อยในระดับพีพีเอ็ม (ppm) จึงไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม และมีสมบัติเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล (Tickell, 1997) อีกทั้งการนำไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศมาใช้จะช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบปิโตรเลียมจากต่างประเทศได้ ซึ่งเหมาะกับประเทศกำลังพัฒนาที่ไม่เพียงแต่จะแก้ปัญหาด้านการขาดแคลนพลังงานแล้ว ยังช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและช่วยแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจของประเทศได้

จากสถานการณ์ราคาน้ำมันดิบปิโตรเลียมที่มีแนวโน้มสูงขึ้น และอาจหมดไปในอนาคต ประเทศไทยจึงเห็นความสำคัญของพลังงานทดแทน และได้นำไบโอดีเซลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนอย่างหนึ่ง ซึ่งรัฐบาลได้สนับสนุนให้ทั้งภาครัฐและเอกชนผลิตไบโอดีเซล ในปี พ.ศ.2549 ประเทศไทยมีอัตราการผลิตไบโอดีเซลประมาณ 0.3 ล้านลิตรต่อวัน ทางกระทรวงพลังงานจึงร่วมมือกับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาและส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันภายในปี พ.ศ. 2555 ขึ้น โดยมีเป้าหมายเพื่อส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซลในระดับชุมชนและเชิงพาณิชย์ให้ได้ 8.5 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งจะทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซลถึง 10 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเพิ่มพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันไม่น้อยกว่า 5 ล้านไร่ และส่งเสริมการปลูกพืชชนิดอื่นๆ ได้แก่ สับจ่า พร้อมกับสนับสนุนให้ทุนการวิจัยและการพัฒนาพันธุ์สับจ่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะให้ผลผลิตสูงประมาณ 800-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งกระทรวงพลังงานคาดว่าหากทุกหน่วยงานร่วมดำเนินการตามแผนส่งเสริมไบโอดีเซลที่กระทรวงพลังงานได้เสนอต่อคณะรัฐมนตรีแล้ว จะช่วยให้ประเทศไทยลดการนำเข้าน้ำมันดิบปิโตรเลียมจากต่างประเทศได้เกือบปีละ 70,000 ล้านบาท และยังเป็นการสร้างความมั่นคงด้านการจัดหาพลังงานและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรภายในประเทศอีกด้วย

ในการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ของน้ำมันหรือไขมันจากสัตว์ ซึ่งรวมถึงน้ำมันที่ผ่านการใช้งานหรือน้ำมันเหลือทิ้งในครัวเรือน จะเกิดผลิตภัณฑ์ร่วมชนิดหนึ่ง คือ กลีเซอรอลซึ่งเกิดขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ (Othmer, 1997) โดยกลีเซอรอลที่ได้จะมีปริมาณสิ่งเจือปนอยู่มาก เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ ไขมัน กรดไขมันอิสระ น้ำ สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล (Matter organic non glycerol, MONG) และสารอื่นๆ ที่มาจากน้ำมัน (Tickell, 2000) จากการส่งเสริมการผลิตไบโอดีเซลดังที่กล่าวมาข้างต้น นอกจากจะทำให้ปริมาณไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นแล้ว ยังส่งผลให้ปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งกลีเซอรอลดังกล่าวเป็นของเสียที่ต้องการกำจัดทิ้ง เมื่อปริมาณเพิ่มมากขึ้นก็จะเป็นปัญหาหลักต่อสังคมได้ โดยเฉพาะในเมืองและพื้นที่ที่มีคนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น หากกำจัดกลีเซอรอลโดยการเผาจะทำให้กลีเซอรอลเปลี่ยนเป็นอะโครลีน (Acrolein) จากปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration reaction) ซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถระเหยได้ดีและเป็นอันตรายต่อร่างกายหากสัมผัสและสูดดม (Hazimah et. al., 2003) แต่อย่างไรก็ดี กลีเซอรอลที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ถ้าได้รับการบำบัดให้มีความบริสุทธิ์เพียงพอ โดยกลีเซอรอลบริสุทธิ์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายๆ ด้าน เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมสบู่ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อใช้เป็นสารกันบูดหรือใช้เป็นสารเพิ่มความหวาน ใช้ในการแพทย์ เป็นต้น หากนำกลีเซอรอลที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ มาทำให้บริสุทธิ์ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ โดยปัจจุบันราคาโดยเฉลี่ยของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ในประเทศสหรัฐอเมริกา เท่ากับ 0.34 ดอลลาร์ต่อ 1 ปอนด์ หรือคิดเป็นเงินไทยเท่ากับ 25.43 บาทต่อ 1 กิโลกรัม เมื่อ 1 ดอลลาร์สหรัฐเท่ากับ 33.95 บาท วันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ.2550 (ICIS pricing, 2007)

ในปัจจุบันการศึกษากการทำกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์นั้นมีค่อนข้างน้อย งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อนำของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยศึกษาวิธีการทำกลีเซอรอลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ และศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการบำบัดกลีเซอรอลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่กลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยวิธีการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทำให้บริสุทธิ์

1.1 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับแอลกอฮอล์
- 1.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการทำกลีเซอรอลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ โดยศึกษาตัวแปรได้แก่ ค่าพีเอช เวลา และอัตราส่วนของคาร์บอนกัมมันต์
- 1.3.3 วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม)
- 1.3.4 ศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ ได้แก่ เมทานอลกับ สารประกอบโพแทสเซียมกับฟอสเฟต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้สภาวะที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์
- 1.4.2 สามารถนำกลีเซอรอลที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มาใช้ประโยชน์ และเป็น การเพิ่มมูลค่าให้กับกลีเซอรอล
- 1.4.3 สามารถแยกเมทานอลและสารประกอบโพแทสเซียมกับฟอสเฟต เป็นผลพลอยได้ จากการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์และนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ เพื่อลดต้นทุน การผลิตไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตมาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยผ่านกระบวนการทางเคมีกับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โมเลกุลของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์จะเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอรอล

การเรียกชื่อจะขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา หรือเอทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น ซึ่งไบโอดีเซลจะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซล (วารสาร โลกพลังงาน, 2538)

2.1.1 ความเป็นมาของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นที่รู้จักมานานแล้วในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 อาฟริกาได้ใช้น้ำมันพืช ขับเคลื่อนเครื่องยนต์ แต่ในช่วงนั้นน้ำมันดิบปิโตรเลียมยังหาง่ายและราคาถูกจึงไม่ได้รับความสนใจ จนในปี ค.ศ.1970 เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันขึ้น ทำให้หน่วยงานในภาครัฐรวมทั้งสถาบันต่างๆ ของกลุ่มประเทศผู้ใช้น้ำมัน ได้ทำการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงชนิดนี้จนกระทั่งสามารถใช้ในทางพาณิชย์ได้

ปัจจุบัน ไบโอดีเซลมีการใช้ในต่างประเทศซึ่งเป็นประเทศที่พัฒนาแล้ว ได้แก่ ประเทศในสหภาพยุโรปที่มีอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซลมีจำนวน 11 ประเทศ ประเทศที่ผลิตไบโอดีเซลได้มากที่สุดเป็นอันดับ 1 คือ ประเทศเยอรมนีซึ่งมีกำลังการผลิตประมาณ 1 ล้านตันต่อปี โดยจะใช้ไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ เดิมรถยนต์แทนน้ำมันดีเซล และใช้ในเตาผิงเพื่อความอบอุ่นในบ้านพักอาศัย ประเทศที่มีกำลังการผลิตไบโอดีเซลรองลงมา ได้แก่ ประเทศฝรั่งเศส อิตาลีและสหรัฐอเมริกา เป็นต้น (วารสาร โลกพลังงาน, 2538)

การใช้ไบโอดีเซลในประเทศเยอรมนี

ประเทศเยอรมนีเป็นประเทศหนึ่งที่ประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศ เนื่องจากจำนวนประชากรเพิ่มสูงขึ้น มีการใช้พลังงานจำนวนมากในภาคการขนส่ง โดยเฉพาะรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ เช่น รถบรรทุก และรถโดยสารประจำทาง มลพิษไอเสียที่ถูกปล่อยออกจากยานยนต์มีปริมาณสูงมาก ทั้งในรูปแบบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก และมลพิษอื่นๆ ที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยของ

ประชาชน การแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศจึงเป็นเรื่องเร่งด่วนที่จะต้องดำเนินการ รัฐบาลเยอรมนีจึงมีนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมในการลดก๊าซเรือนกระจกและลดฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล โดยสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนประเภทพลังงานหมุนเวียนที่ก่อให้เกิดมลพิษน้อยกว่าเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ไบโอดีเซลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล เพราะสามารถผลิตได้จากพืชน้ำมันที่มีปริมาณมากภายในประเทศ ได้แก่ เมล็ดเรพ (rape seed) เมล็ดทานตะวัน และถั่วเหลือง ผ่านกระบวนการทางเคมีด้วยแอลกอฮอล์ได้เป็น Fatty Acid Methyl Ester (FAME) หรือไบโอดีเซลนั่นเอง

ในปี ค.ศ.1997 ประเทศเยอรมนีได้กำหนดมาตรฐานไบโอดีเซล คือ DIN 51606 เพื่อให้ผู้ผลิตรถยนต์ยอมรับและผู้ใช้เกิดความมั่นใจมากขึ้น ต่อมาเมื่อผู้ร้องเรียนว่าใช้ไบโอดีเซลแล้วมีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ เนื่องจากสถานีบริการบางแห่งจำหน่ายไบโอดีเซลคุณภาพต่ำ ทำให้ผู้ใช้ไบโอดีเซลขาดความเชื่อถือ ในปี ค.ศ.1999 ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายไบโอดีเซลจึงได้ก่อตั้งกลุ่มปฏิบัติการควบคุมคุณภาพไบโอดีเซลขึ้น (Arbeitsgemeinschaft Qualitäts Management Biodiesel, AGQM) เพื่อตรวจติดตามผู้ผลิตและผู้จำหน่ายไบโอดีเซลให้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ โดยมีสัญลักษณ์ (special seal) ปิดตามสถานีบริการน้ำมัน เพื่อแสดงให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจในคุณภาพไบโอดีเซล และสำหรับการค้าในกลุ่มประชาคมยุโรปมีมาตรฐานไบโอดีเซลคือ DIN EN 14214 ขึ้นในปี ค.ศ.2002

ไบโอดีเซลในประเทศไทย

ประเทศไทยเริ่มมีการวิจัยไบโอดีเซลประมาณปี พ.ศ.2524 โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ศึกษาการใช้ไขมันถั่วเหลืองในเครื่องยนต์ดีเซล ผลการวิจัยพบว่าไขมันถั่วเหลืองมีความหนืดสูง ทำให้เครื่องยนต์ติดยากและสะดุด การสันดาปไม่สมบูรณ์มีตะกรันสีขาวในถังน้ำมันปริมาณมาก ต่อมาเมื่อทดลองใช้เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าเชื้อเพลิงที่ได้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ในปี พ.ศ.2543 เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันแพงขึ้น ทำให้ประเทศไทยเริ่มต้นตัวและทำการวิจัยเรื่องพลังงานทดแทน โดยไบโอดีเซลได้รับความสนใจอีกครั้ง ในปี พ.ศ. 2544 ชาวบ้านอำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ร่วมมือกันพัฒนาและผลิตไบโอดีเซลสูตรพื้นบ้านขึ้น โดยใช้ไขมันมะพร้าวทำไบโอดีเซล ซึ่งสามารถเปิดสถานีจำหน่ายไบโอดีเซลได้เป็นแห่งแรกในประเทศไทย และจำหน่ายให้แก่เกษตรกรเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล ปัญหาส่วนใหญ่ของไบโอดีเซลสูตรพื้นบ้านคือ เรื่องไส้กรองอุดตันเนื่องจากน้ำมันมีความหนืดสูง และที่สำคัญไบโอดีเซลสูตรพื้นบ้านไม่ได้มาตรฐานคุณภาพตามข้อกำหนดน้ำมันดีเซลของกระทรวงพาณิชย์ ทำให้บริษัทที่ผลิตรถยนต์และผู้ใช้ส่วนใหญ่ไม่ค่อยยอมรับ เนื่องจากเกรงว่าน้ำมันชนิดนี้จะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ ต่อมาบริษัทปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จำกัด(มหาชน) หรือ ปตท. ได้รับมอบหมายให้เป็นหน่วยรับซื้อน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เพื่อนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล จำหน่ายที่สถานีบริการน้ำมัน ปตท. ถนนรามคำแหง โดยเริ่มจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ.2544 ในชื่อ ดีเซลปาล์ม (บริสุทธิ์) น้ำมันชนิดนี้มีสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วของกระทรวงพาณิชย์ และจากการสำรวจพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่พอใจเพราะไม่มีความแตกต่างจากน้ำมันดีเซลปกติ ในเรื่องของการติดเครื่อง อัตราเร่ง ไอเสีย ไม่มีกลิ่น และควันดำลดลง

สำหรับแนวโน้มการใช้ไบโอดีเซลในประเทศไทยเหมาะที่จะใช้เป็นพลังงานทดแทนเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลเป็นจำนวนมาก เช่น มะพร้าว ปาล์ม เมล็ดทานตะวัน เป็นต้น หากนำผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้มาแปรรูปเป็นไบโอดีเซลเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายของภาครัฐในเรื่องของการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ อีกทั้งยังช่วยให้พืชผลทางการเกษตรมีราคาสม่ำเสมอและเป็นที่ต้องการของตลาด นอกจากนี้ไบโอดีเซลจะช่วยให้สิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้บริโภคดีขึ้น เพราะการนำน้ำมันที่ผ่านการใช้ในการประกอบอาหารกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่จะลดการทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม และลดการนำน้ำมันเก่ากลับไปใช้ทอดหรือปรุงอาหารซ้ำอีก ซึ่งก็เป็นการลดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคอีกด้วย

2.1.2 สมบัติที่แตกต่างกันของน้ำมันดีเซลกับน้ำมันพืช

น้ำมันดีเซลจะมีสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันพืช การที่จะนำน้ำมันพืชมาเติมเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันดีเซลจึงมีข้อจำกัด โดยแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของน้ำมันพืชเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (วารสาร โลกพลังงาน, 2538)

ชนิดของน้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะที่ 21 °C (กรัม/มิลลิเมตร)	ความหนืดที่ 21 °C (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
มะพร้าว	0.915	51.9	37,540
ถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
เมล็ดสบู่ดำ	0.915	36.9	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.80	46,800

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าน้ำมันพืชมีสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะและความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งจะเกิดผลเสียเมื่อนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ เช่น เกิดการอุดตันของเครื่องยนต์ เป็นต้น ส่วนค่าความร้อนมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผลให้เครื่องยนต์ทำงานไม่เต็มที่ เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดมลพิษได้ น้ำมันพืชจึงไม่สามารถนำไปเติมเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรง ดังนั้นจะต้องมีการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันพืชก่อนที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผลผลิตทางการเกษตรที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบโดยตรง เช่น น้ำมันจากเมล็ดเรพ น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น และน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว เช่น น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้วจากการทอดอาหาร เป็นต้น

2.1.3 ประเภทของไบโอดีเซลสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

ก. ไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์โดยตรง

ไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์โดยตรง หรือ Straight Vegetable Oil การใช้น้ำมันพืช เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น และน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรง ไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นใด แต่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมเข้ากับเครื่องยนต์ดีเซล วิธีการผลิตไบโอดีเซลประเภทนี้ทำได้โดยนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาผ่านการกรองหรือทำให้บริสุทธิ์ จะได้ไบโอดีเซลที่ใช้งานได้ทันที

ข. ไบโอดีเซลแบบผสม

ไบโอดีเซลแบบผสมเป็นไบโอดีเซลที่มีการผสมระหว่างน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด น้ำมันที่ได้จากวิธีการดังกล่าวเหมาะกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานหนัก และใช้งานในภูมิภาคเขตร้อน

ปัจจุบันมีการนำวิธีดังกล่าวไปใช้งานต่างๆ แต่เนื่องจากราคาของน้ำมันก๊าดค่อนข้างสูง และหากใช้น้ำมันก๊าดปริมาณน้อยเกินไปในการผสม จะทำให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ เนื่องจากปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันผสม ดังนั้นการเลือกอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าดกับน้ำมันพืชจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ที่ใช้งาน

วิธีการผลิตไบโอดีเซลแบบลูกผสม ทำได้โดยการนำน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์มาผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่น

- โคโคดีเซล (coco-diesel) ผลิตที่อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 20:1 โดยปริมาตร นั่นคือใช้น้ำมันมะพร้าว 20 ส่วนผสมกับน้ำมันก๊าด 1 ส่วน

- ปาล์มดีเซล (palm-diesel) ผลิตที่อำเภอคอนสัก จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าด ในอัตราส่วน 60:40:7 โดยปริมาตร กล่าวคือ การใช้น้ำมันปาล์ม 60 ส่วนผสมกับน้ำมันดีเซล 40 ส่วนและน้ำมันก๊าด 7 ส่วน

ก. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์เป็นความหมายของไบโอดีเซลที่แท้จริง ซึ่งเป็นที่ยอมรับในสากลและมีการใช้อย่างทั่วไป ไบโอดีเซลชนิดนี้มีกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากมากกว่าไบโอดีเซล 2 ชนิดแรก โดยต้องผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของกระบวนการผลิตในหัวข้อถัดไป

2.1.4 โรงงานต้นแบบไบโอดีเซลของประเทศไทยในปัจจุบัน

- บริษัท ราชาไบโอดีเซล จำกัด

เป็นบริษัทเอกชนที่ต้องการเป็นผู้บุกเบิกในการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วเป็นวัตถุดิบและมีกำลังการผลิตประมาณ 20,000 ลิตรต่อวัน ตั้งอยู่ที่อำเภอคอนสัก จังหวัดสุราษฎร์ธานี (บริเวณท่าเรือข้ามเกาะสมุย)

- กรมอุทกหารเรือร่วมด้วยโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

เป็นโครงการของทหารเรือที่วิจัยเกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติร่วมกับไบโอดีเซล โดยใช้น้ำมันปาล์มเถื่อนที่ทางกรมศุลกากรยึดได้เป็นวัตถุดิบ ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีกำลังการผลิตประมาณ 2,000 ลิตรต่อวัน ตั้งอยู่ที่ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงศิริราช เขตบางกอกน้อย จังหวัดกรุงเทพมหานคร

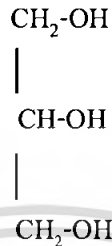
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ภายใต้กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซล โดยมีเครื่องต้นแบบที่ได้มาตรฐานตามสากลที่กำลังการผลิตประมาณ 150 ลิตรต่อวัน ตั้งอยู่ที่ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

นอกจากนี้ยังมีบริษัทต่างๆ ที่ทำการจดทะเบียนเพื่อผลิตไบโอดีเซลดังที่เสนอรายละเอียดไว้ในภาคผนวก จ

2.2 กlycerol

glycerol (Glycerol) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า glycerine (Glycerine) หมายถึง สารจำพวก polyhydric alcohol สูตรโมเลกุลเป็น $C_3H_8O_3$ และมีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-propanetriol (Othmer, 1997 and Barbara, 1994)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ glycerol

glycerol สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ glycerolบริสุทธิ์และ glycerolดิบ

ก. glycerolบริสุทธิ์

glycerolบริสุทธิ์ หมายถึง glycerol ที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์จนมีลักษณะเหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม glycerol บริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมยา อาหาร บุหรี่ วัตถุระเบิด เป็นต้น ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้และผู้บริโภค และเป็นการส่งเสริมการผลิต glycerol บริสุทธิ์ให้มีคุณภาพดี กระทรวงอุตสาหกรรมจึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม glycerol บริสุทธิ์ขึ้นเป็น มอก.337-2523 ในปัจจุบันกระทรวงอุตสาหกรรมได้ทำการแก้ไขและปรับปรุงเป็น มอก.337-2545 ซึ่งจะแบ่ง glycerol บริสุทธิ์ออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ชั้นคุณภาพเคมี (chemical grade) ชั้นคุณภาพไดนาไมต์ (dynamite grade) ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม (technical grade) และชั้นคุณภาพยา (pharmaceutical grade) (กิตติยา อธิภาชน์, 2545) การกำหนดลักษณะต่างๆ แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก

สำหรับในโครงการนี้ glycerol บริสุทธิ์ หมายถึง glycerol บริสุทธิ์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์และเป็นเกรดวิเคราะห์

ข. glycerolดิบ

glycerolดิบ หมายถึง glycerol ที่ไม่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งจะมีการปนเปื้อนของสารต่างๆ อยู่มาก โดยปริมาณและชนิดของสารปนเปื้อนจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและกระบวนการผลิต

2.2.1 สมบัติของกลีเซอรอลบริสุทธิ์

ก. สมบัติทางกายภาพ

กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ สามารถละลายน้ำได้ และมีโครงสร้างของโมเลกุลที่คล้ายกับ โมเลกุลของน้ำตาล จึงทำให้กลีเซอรอลมีรสหวาน กลีเซอรอลมีจุดเดือดประมาณ 290 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ (101.3 kPa) และจุดเดือดจะลดลงตามความดันที่ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และมีสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ที่สำคัญ (Barbara, 1994) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอกับจุดเดือดของกลีเซอรอล (Barbara, 1994)

จุดเดือด (°C)	ความดันไอ (kPa)
290	101.3
266	53.3
222	13.3
204	6.67
175	2.00
152	0.67
130	0.18
100	0.03
20	< 0.0001

กลีเซอรอลสามารถละลายได้ดีในเมทานอล เอทานอล และไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล และเพนทานอล รวมทั้งฟีนอล ไกลคอล โพรเพนไดออลเอมีน และสารประกอบที่เป็นเฮทเทอโรไซเคิลที่ประกอบด้วยอะตอมของไนโตรเจนในวงแหวน เช่น ไพรีดีน ควิโนลีน เป็นต้น แต่ไม่สามารถละลายได้ในไฮโดรคาร์บอนเกือบทั้งหมด แอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาวของน้ำมันพืช และสัตว์ และตัวทำละลายจำพวกเฮโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม เป็นต้น ดังนั้น กลีเซอรอลจึงสามารถใช้เป็นตัวทำละลายที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมหลายชนิดได้ เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล (Barbara, 1994)

สมบัติทางกายภาพ	ค่าประมาณ
น้ำหนักโมเลกุล	92.09
จุดหลอมเหลว, °C	18.17
จุดเดือด, °C	
- ที่ความดัน 13.33 kPa	222.4
- ที่ความดัน 101.3 kPa	290.0
ความหนาแน่น (20 °C), g/cm ³	1.261
ความถ่วงจำเพาะ, 25/25 °C	
- ในสุญญากาศ	1.2617
- 100 % กลีเซอรอลในอากาศ	1.2620
- 95 % กลีเซอรอลในอากาศ	1.2491
ความดันไอ, Pa	
- ที่อุณหภูมิ 100 °C	26
- ที่อุณหภูมิ 200 °C	6100
ความตึงผิว ที่อุณหภูมิ 20 °C, mN/m (dyn/cm)	63.4
ความหนืด ที่อุณหภูมิ 20 °C, mPas (cP)	1499
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, J/mol	
- ที่อุณหภูมิ 55 °C	88.12
- ที่อุณหภูมิ 195 °C	76.02
ค่าการนำความร้อน , W (mK)	0.28
จุดวาบไฟ, °C	
- แบบ Cleveland Open Cup	177
- แบบ Pensky – Martens Close Cup	199
สัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารระหว่างนอร์มอลออกทานอลและน้ำ, log Kow	-1.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. สมบัติทางเคมี

กลีเซอรอลสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ทั่วไป โดยที่หมู่ไฮดรอกซี (alkoxy group) ด้านนอกจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหมู่ไฮดรอกซีตรงกลาง ภายใต้สภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง กลีเซอรอลสามารถทนความร้อนได้ 275 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดเป็นอะโครลีน ในทางตรงกันข้ามในสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อยพบว่าที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสจะมีกลิ่นของอะโครลีน (อยู่ในช่วง 0.2–0.4 ppm) โดยที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส อะโครลีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นปฏิกิริยาของกลีเซอรอลจึงควรทำในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง และที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้กลีเซอรอลจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย โดยอะตอมคาร์บอนด้านนอกจะถูกออกซิไดซ์เป็นหมู่คาร์บอกซิล และอะตอมคาร์บอนตรงกลางจะเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล

2.2.2 การผลิตกลีเซอรอล

การผลิตกลีเซอรอลอาจแบ่งได้เป็นกลีเซอรอลจากธรรมชาติและกลีเซอรอลจากการสังเคราะห์ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอื่นๆ อีก เช่น การหมักน้ำตาล ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น

กลีเซอรอลจากธรรมชาติสามารถผลิตได้จากหลายกรรมวิธี เช่น การผลิตกลีเซอรอลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การทำสบู่จากน้ำมัน การแตกตัวที่ความดันสูง เป็นต้น (Othmer, 1997 และ Barbara, 1994)

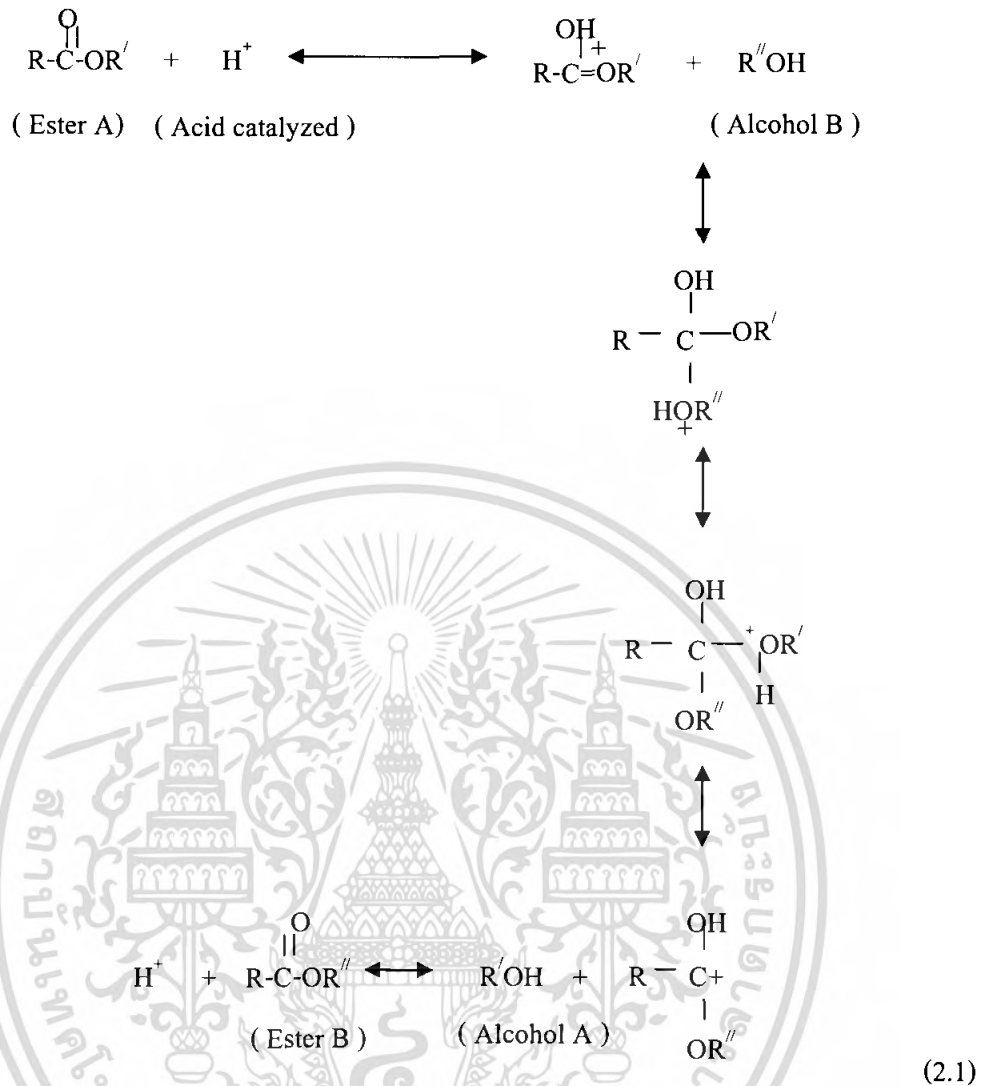
ก. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ กระบวนการทางเคมีที่เกิดจากหมู่แอลกอฮอล์ของเอสเทอร์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้เอสเทอร์ในรูปอื่นตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา หรือกล่าวได้ว่าเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนหมู่แอลกอฮอล์ระหว่างเอสเทอร์กับแอลกอฮอล์นั่นเอง (ศิริวรรณ, 2547)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในกรณีที่มีกรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงได้ดังนี้

1. กรณีที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid Catalyzed)

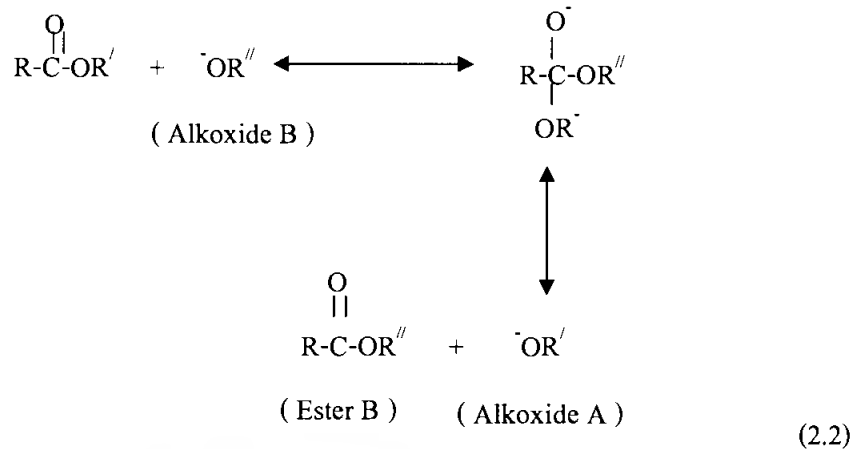
ในกรณีที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กรดจะทำหน้าที่เป็นหมู่ให้โปรตอนกับเอสเทอร์ ซึ่งสามารถแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.1



กรดที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) กรดซัลโฟนิค (Sulfonic acid) เป็นต้น กระบวนการเกิดปฏิกิริยาจะช้ากว่า การใช้เบสเป็นตัวเร่ง เหมาะสำหรับกลีเซอไรด์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงมาก

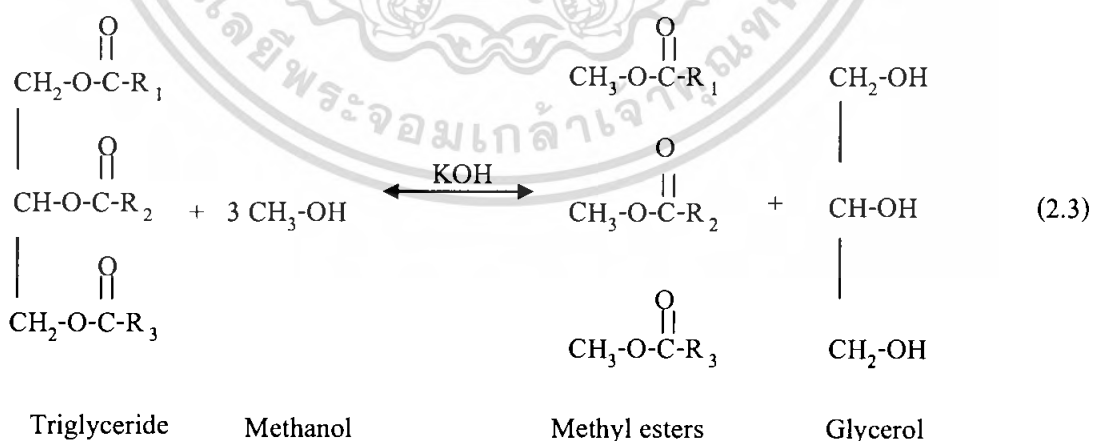
2. กรณีที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Base Catalyzed)

ในกรณีที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการที่ 2.2



เบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) เป็นต้น ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าการใช้กรดหลายเท่าตัว

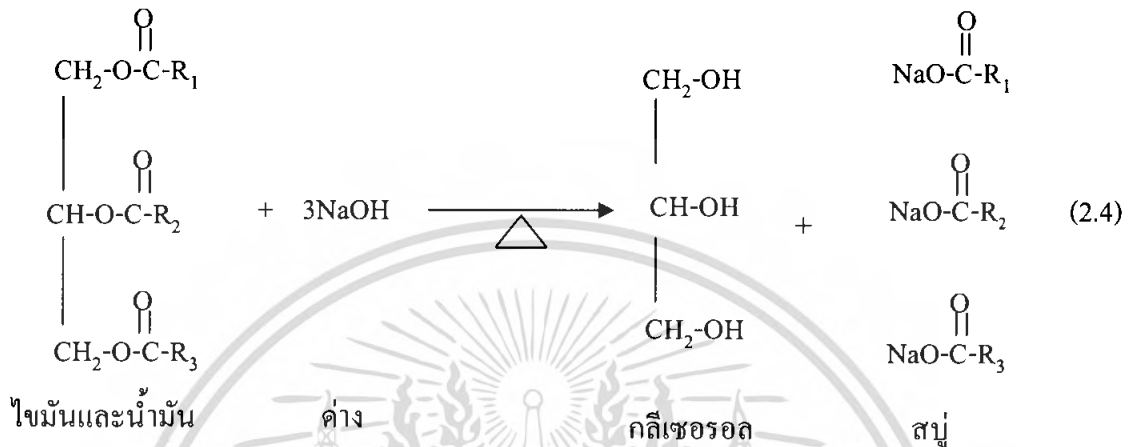
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน นิยมใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยนิยมใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์กับกลีเซอรอล โดยแอลกอฮอล์ที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ เมทานอลและเอทานอล ซึ่งจะได้เอสเทอร์เป็นเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ ตามลำดับ สมการที่ 2.3 แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้น้ำมันหรือไขมันทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ปฏิกริยาการผลิตสบู่ (Saponification)

ปฏิกริยาการผลิตสบู่ (Saponification) เป็นการแตกตัวของไขมันและน้ำมัน โดยทำปฏิกริยากับด่างจะได้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการทำสบู่ตนเอง แสดงปฏิกริยาดังสมการที่ 2.4



ค. การแตกตัวด้วยความดันสูง (High Pressure Splitting)

การแตกตัวด้วยความดันสูง (High Pressure Splitting) เป็นการแตกตัวภายใต้ความดัน โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง น้ำมันและไขมันจะถูกป้อนเข้าสู่คอลัมน์ ซึ่งจะเกิดแตกตัวแบบไหลสวนทางกันที่ความดัน 5–6 เมกะปาสคาล และอุณหภูมิ 250–260 องศาเซลเซียส จะได้สารละลายกลีเซอรอลในน้ำ 15% ซึ่งเรียกว่า สวีทวอเตอร์ (Sweet water)

2.2.3 ประโยชน์ของกลีเซอรอลบริสุทธิ์

กลีเซอรอลสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

1. ด้านอาหาร เนื่องสมบัติของกลีเซอรอลบริสุทธิ์นั้น ไม่มีพิษและมีรสหวาน จึงสามารถนำมารับประทานได้ เช่น เป็นส่วนประกอบของน้ำเชื่อม (Syrup) น้ำตาลไอซิ่ง (Icing) ขนมหอศกริม เป็นต้น
2. ด้านยาและเครื่องสำอาง กลีเซอรอลสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมของยาและเครื่องสำอางหลายชนิด เนื่องจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์สามารถให้ความชุ่มชื้นกับผิวหนังได้ เช่น สารละลายกลีเซอรอลฟีนอล (Glycerol-Phenol) ซึ่งใช้ในการล้างหู ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางครีมและโลชั่น เป็นต้น
3. อุตสาหกรรมผลิตบุหรี ใช้กลีเซอรอลเป็นส่วนผสมในบุหรี เพื่อเพิ่มความชื้นให้กับบุหรี ทำให้บุหรีติดไฟช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้เป็นสารหล่อลื่น เนื่องจากมีความหนืดสูงและแข็งตัวได้ช้า หากอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำๆ เช่น ใช้หล่อลื่นลูกสูบ ใช้เป็นสารหล่อลื่นแทนน้ำมันในงานที่จะต้องสัมผัสกับอาหาร ยา หรือเครื่องสำอาง เป็นต้น

5. อุตสาหกรรมพลาสติก ใช้กลีเซอรอลลบริสุทธิเป็นพลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) สำหรับโพลิเมอร์บางชนิด เช่น โพลียูรีเทน (Polyurethane) เป็นต้น (Othmer, 1997 Barbara, 1994 และพิมพ์, 2536)

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลการนำกลีเซอรอลไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ทั่วโลก ในปี ค.ศ. 1996

(Hui, 1996)

นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
เครื่องสำอางหรืออาหารเสริม (Cosmetics/pharmaceuticals)	26
เอสเทอร์ (Esters)	17
เรซิน (Resins)	12
สารให้ความหวาน (Polyols)	12
อาหารหรือเครื่องดื่ม (Food/beverages)	10
เซลลูโลส (Cellulose)	5
กระบวนการไนเตรชัน (Nitration)	4
ยาสูบ (Tobacco product)	4
อุตสาหกรรมเคมีอื่นๆ	10

นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการนำกลีเซอรอลไปใช้ประโยชน์ โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 การนำกลีเซอรอลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ (Pachauri et. al., 2006)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้	กระบวนการ	ผู้ศึกษาวิจัย
1,3 โพรเพนไดออล (1,3 propanediol)	การหมักด้วยจุลินทรีย์ ทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous) และแบบครั้ง (Batch) ใช้กลุ่มจุลินทรีย์จำพวก <i>Clostridium Butyricum</i> และ <i>Klebsiella Pneumoniae</i> โดยควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์และกลีเซอรอลที่ใช้เป็นอาหาร ซึ่งจะศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าพีเอช เวลา และความเร็วในการเขย่า เพื่อหาสภาวะที่จะเกิดปริมาณ 1,3 โพรเพนไดออล ได้สูงสุด	Zeng (1997) Menzel et. al. (1997) Himmi et. al. (1999) Wang et. al. (2001) Papanokolaou and Aggelies (2003) Xiu et. al. (2004)
	การใช้เทคนิคไฮดรอกซีเลชัน (Hydroxylation Technique) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1. อะซิเต้ไลเซชัน (Acetalization) 2. โทซิลเลชัน (Tosylation) 3. ดีโทซิลเลชัน (Detosylation)	Wang et. al. (2003)
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) และแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ของกลีเซอรอล	Valliyappan (2001)
	กระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ และความดันปกติ	Wood (2002)
	ใช้กลีเซอรอลในสถานะแก๊ส โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกลุ่มโลหะ 8-10 ชนิด	Hirai et. al. (2005)
	การหมักแบบต่อเนื่องด้วยเชื้อจุลินทรีย์ <i>Enterobacter Aerogenes</i> HU-101	Ito et. al. (2005)
1,2 โพรเพนไดออล (1,2 propanediol)	กระบวนการไฮโดรจิโนไลซิส (Hydrogenolysis) ในถังหมักเชื่อมด้วยไฮโดรเจน ที่สภาวะความดันต่ำ	Dasari et. al. (2005)
	กระบวนการไฮโดรจิโนไลซิส ใช้ निकเกิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในถังหมักเชื่อมด้วยไฮโดรเจน	Perosa and Tundo (2005)

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้	กระบวนการ	ผู้ศึกษาวิจัย
ไดไฮดรอกซีอะซิโตน (Dihydroxyacetone)	ปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโลหะแพลทินัม (Platinum)	Garcia et. al. (1994)
	ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลีเซอรอล ใช้แพลทินัม และบิสมัท (Bismuth) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	Kimura (2001)
	การหมักด้วยจุลินทรีย์ <i>Gluconobacter</i> ทดลองแบบครั้งและกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous)	Bauer et. al. (2005)
โพลีเอสเทอร์ (Polyesters)	ปฏิกิริยา ระหว่างกลีเซอรอลกับกรดอะดิพิค (adipic acid) โดยใช้ดีบุก (Tin) เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยา	Pramanick et. al. (1988) Stumbe and Bruchmann (2004)
	การควบแน่นของกรดออกซาลิก (citric acid) กับ กลีเซอรอล	Alksnis et. al. (1976)
	ปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับกรดอะดิฟาลิกได คาร์บอกซิลิก (aliphatic dicarboxylic acid)	Nagata et. al. (1996)
โพลีกลีเซอรอล (Polyglycerols)	ปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน (etherification) ของ กลีเซอรอล	Clacens et. al. (2002)

2.2.4 แนวทางการทำกลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

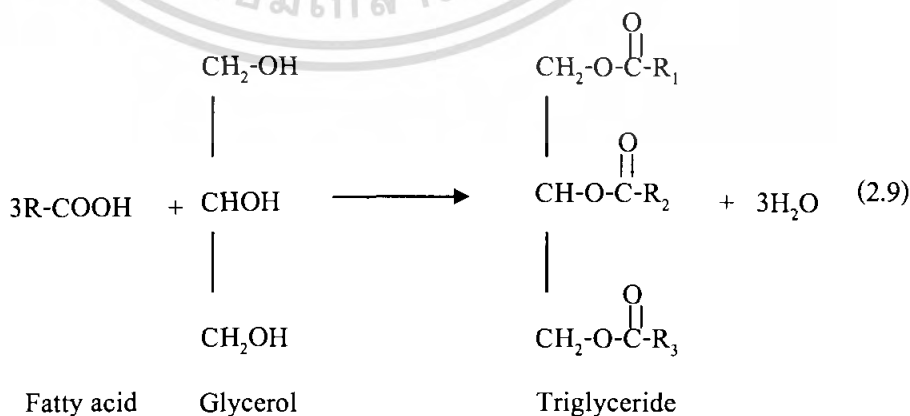
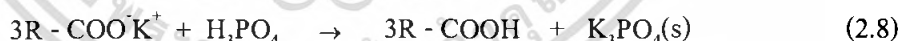
เนื่องจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ รวมไปถึงน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ผ่านการใช้งาน หรือเหลือทิ้งในครัวเรือน ความบริสุทธิ์หรือความสะอาดของกลีเซอรอลดิบจึงขึ้นอยู่กับความสะอาดของวัตถุดิบที่ใช้ ถ้าเป็นน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ใช้แล้วจะทำให้กลีเซอรอลที่ได้จะมีสีน้ำตาลเข้ม นอกจากนี้กลีเซอรอลดิบจะมีสารปนเปื้อนอื่นๆ เช่น แอลกอฮอล์ กรดหรือเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สบู่ รวมทั้งสารปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น ซึ่งแนวทางของกระบวนการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแยกเมทานอลกลับคืนจากกลีเซอรอลดิบ เป็นการแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้วิธีการกลั่น ซึ่งเมทานอลมีจุดเดือดประมาณ 64.5 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ แต่กลีเซอรอลมีจุดเดือด

ประมาณ 290 องศาเซลเซียส ซึ่งเมทานอลที่ได้สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันได้

ขั้นตอนที่ 2 การใช้กรดเพื่อกำจัดค่าคง การใช้กรดกำจัดค่าคงจะต้องควบคุมความเป็นค่าคงของกลีเซอรอลให้อยู่ในสถานะที่เหมาะสม เนื่องจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (Polymerization reaction) จะเกิดได้ดีในสถานะที่เป็นค่าคง สำหรับในการทดลองนี้จะใช้กรดฟอสฟอริกกำจัดโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับเมทานอล เมื่อกรดฟอสฟอริกทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะได้เกลือโพแทสเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยให้กับพืชได้ แสดงปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.5 2.6 และ 2.7 ซึ่งการเกิดผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหลืออยู่ในกลีเซอรอลดิบ

นอกจากนั้นกรดจะทำปฏิกิริยากับสบู่ที่เจือปนอยู่ในกลีเซอรอลได้เป็นกรดไขมันดังสมการที่ 2.8 สามารถแยกออกไปได้ กรดไขมันที่เจือปนอยู่จะทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลเป็นกลีเซอไรด์ (glyceride) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นไตรเอสเทอร์ เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ดังสมการที่ 2.9 กลีเซอไรด์มีอยู่ 3 ชนิด คือ โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) เกิดจากกรดไขมันเพียงหนึ่งโมเลกุลทำปฏิกิริยากับหมู่ -OH ของกลีเซอรอล ถ้ากรดไขมันสองโมเลกุลทำปฏิกิริยาจะได้ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) และถ้ากรดไขมันสามโมเลกุลทำปฏิกิริยาจะได้ไตรกลีเซอไรด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 การสกัดกลีเซอรอลด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในกลีเซอรอลที่ละลายได้ดีในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ สำหรับการทดลองนี้จะใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งเฮกเซนจัดเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว จึงสามารถละลายสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วในกลีเซอรอลได้ แต่จะไม่ละลายกลีเซอรอลซึ่งเป็น โมเลกุลมีขั้ว นอกจากนี้เฮกเซนยังทำให้แห้งได้ง่าย จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดมากกว่าตัวทำละลายชนิดอื่นๆ เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งตัวทำละลายชนิดนี้นอกจากจะมีราคาค่อนข้างแพงแล้วยังเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งได้ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4 การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ด้วยการกลั่นภายใต้สุญญากาศ จากขั้นตอนข้างต้นจะได้กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ การใช้วิธีการกลั่นภายใต้สุญญากาศจะเป็นการแยกกลีเซอรอลให้มีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น โดยในทางปฏิบัติไม่สามารถใช้วิธีการกลั่นธรรมดาได้ เนื่องจากกลีเซอรอลมีจุดเดือดอุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งถือว่าเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง และอาจเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้นั้นคือ ปฏิกิริยาโพลีเมไรเซชันที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส เกิดเป็นโพลีกลีเซอรอล (Polyglycerol) การกลั่นกลีเซอรอลจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการกลั่นภายใต้สุญญากาศ

ขั้นตอนที่ 5 กำจัดสีและกลิ่นออกจากกลีเซอรอล กลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ได้จากการกลั่นจะมีสีและกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมันซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นจะทำการการบำบัดสีและกลิ่นให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยการทดลองจะใช้คาร์บอนกัมมันต์กำจัดสีและกลิ่น เนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับสีและกลิ่นได้ดี ซึ่งมีราคาถูกและหาได้ง่าย

2.3 การสกัด (Extraction)

การสกัดเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารให้บริสุทธิ์วิธีหนึ่ง โดยการเลือกตัวสกัดที่เหมาะสม ถ้าใช้ของเหลวสกัดสารที่สนใจออกจากของแข็งจะเรียกว่า Liquid-solid extraction และถ้าใช้ของเหลวสกัดสารที่สนใจออกจากของเหลวจะเรียกว่า Liquid-liquid extraction ซึ่งมักเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวอย่างของเหลวที่เป็นน้ำ โดยตัวทำละลายจะละลายสารที่สนใจ (หรือตัวถูกละลาย) ออกจากชั้นน้ำให้เข้ามาอยู่ในชั้นของตัวทำละลาย วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็วและประหยัด นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ใช้เพิ่มความเข้มข้นของสารที่ต้องการแยกวิธีหนึ่ง (สุวรรณ, 2539)

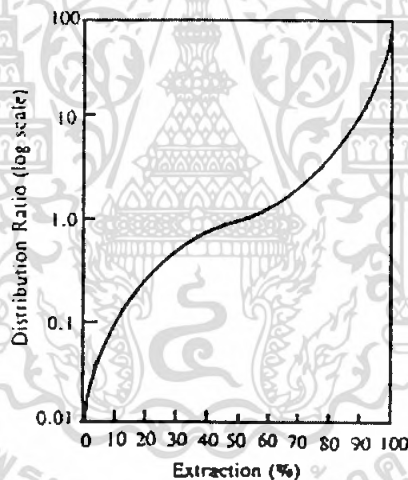
ให้การกระจายตัวของตัวถูกละลาย A ระหว่างเฟส 2 เฟส เป็นไปตามสมการดังนี้

$$A_a \leftrightarrow A_b \quad (2.10)$$

$$D = \frac{(C_A)_a}{(C_A)_b} \quad (2.11)$$

- เมื่อ $(C_A)_a$ คือ ความเข้มข้นของสาร A ทุกรูปแบบในตัวทำละลาย a
 $(C_A)_b$ คือ ความเข้มข้นของสาร B ทุกรูปแบบในตัวทำละลาย b
 D คือ อัตราส่วนการกระจาย (Distribution ratio) หรือสัมประสิทธิ์การสกัด (Extraction coefficient)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการกระจายกับเปอร์เซ็นต์การสกัด แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการกระจายกับเปอร์เซ็นต์การสกัด (ประเสริฐ, 2539)

สารละลายที่มีค่าอัตราส่วนการกระจายสูงจะกระจายในตัวทำละลายได้เร็ว โดยเมื่ออัตราส่วนการกระจายสูงขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดก็จะสูงขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าอัตราส่วนการกระจายมีค่าเท่ากับ 1% การสกัดเท่ากับ 50 นั่นคือตัวทำละลายจะสามารถสกัดสารที่ต้องการแยกออกมาจากสารละลายได้ครึ่งหนึ่งของปริมาณสารที่ต้องการสกัดทั้งหมด และที่อัตราส่วนการกระจายมีค่าเท่ากับ 100% การสกัดเท่ากับ 100 ด้วย แสดงว่าตัวทำละลายสามารถสกัดสารที่ต้องการแยกออกมาจากสารละลายได้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้การสกัดตัวถูกละลายปริมาณ X_0 ที่อยู่ในชั้นน้ำที่มีปริมาตร V มิลลิลิตร ด้วยตัวทำละลายครั้งละ V มิลลิลิตร หลังจากสกัดไปได้ n ครั้ง จะเหลือตัวถูกละลายอยู่ในชั้นน้ำปริมาณ X_n ดังนี้

$$X_n = X_0 \left(\frac{DV}{DV + V} \right)^n \quad (2.12)$$

การสกัดที่ดีและมีประสิทธิภาพสูงควรใช้ปริมาตรตัวทำละลายครั้งละน้อยๆ และทำการสกัดหลายๆ ครั้ง ซึ่งจะได้ผลการสกัดที่ดีกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้งหมดเพียงครั้งเดียว ตัวถูกละลายที่ถูกสกัดนั้นมีหลายชนิด ได้แก่ ตัวถูกละลายสารอนินทรีย์ที่เป็นคีเลตที่เป็นกลาง (Neutral metal chelate) และสารเชิงซ้อนของไอออน (Ion association complex) ที่สามารถถูกสกัดเข้าไปอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ได้ และถ้าเป็นตัวทำละลายอินทรีย์จะต้องเลือกตัวทำละลายที่ไม่สามารถละลายได้กับตัวทำละลายเดิม

ก. เทคนิคในการเลือกตัวทำละลายในการสกัด

การสกัดจำเป็นต้องเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการแยก มีหลักที่ควรพิจารณาในการเลือกตัวทำละลาย ดังนี้

1. สารที่มีสมบัติคล้ายคลึงกันย่อมละลายในตัวทำละลายที่คล้ายคลึงกัน
2. ตัวทำละลายอินทรีย์จะละลายตัวละลายอินทรีย์
3. น้ำใช้เป็นตัวทำละลายสารประกอบอนินทรีย์รวมทั้งเกลือของกรดและเบสอินทรีย์
4. กรดอินทรีย์ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ และสามารถสกัดโดยใช้สารละลายเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตก็ได้

ตารางที่ 2.6 สมบัติของตัวทำละลายบางชนิดที่ใช้ในการสกัดสารละลาย (ประเสริฐ, 2539)

ตัวทำละลาย	สมบัติ
เฮกเซน	เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารที่มีโมเลกุลไม่มีขั้ว ทำให้แห้งได้ง่าย ซึ่งเฮกเซนมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส
ไดเอทิลอีเทอร์	เป็นตัวทำละลายที่ดี ดูดความชื้นได้ 1.5 % สามารถเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ได้ง่าย
เมทิลีนคลอไรด์	เกิดเป็นอิมัลชัน แต่ทำให้แห้งได้ง่าย
ปิโตรเลียมอีเทอร์	เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารที่มีโมเลกุลไม่มีขั้ว ทำให้แห้งได้ง่าย
เบนซีน	เกิดอิมัลชัน
เอทิลีนแอสีเตต	เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารที่โมเลกุลมีขั้ว ดูดความชื้นได้ดี
2-บิวทานอล	เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารที่โมเลกุลมีขั้ว ทำให้แห้งได้ง่าย
เตตระคลอโรมีเทน	เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารที่โมเลกุลไม่มีขั้ว ทำให้แห้งได้ง่าย
คลอโรฟอร์ม	เกิดอิมัลชัน ทำให้แห้งได้ง่าย
ไดไอโซโพรพิลอีเทอร์	เกิดเป็นพวกเปอร์ออกไซด์ได้ง่าย

ข. เทคนิคการสกัด

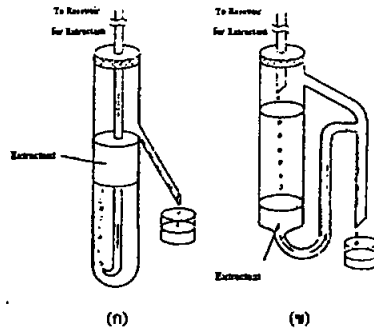
เทคนิคการสกัดสามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่

1. การสกัดแบบครั้ง (Batch extraction) วิธีการสกัดแบบนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ทำได้โดยเติมตัวทำละลายอินทรีย์ลงในสารละลายที่ต้องการสกัดในกรวยแยก เขย่ากรวยแยกและตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้น ถ้าตัวทำละลายอินทรีย์อยู่ชั้นล่างก็สามารถไขสารละลายของชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากกรวยแยกได้ หากการสกัดไม่สามารถแยกเอาสารที่ต้องการแยกออกได้หมดก็สามารถทำการสกัดซ้ำได้ วิธีการนี้เหมาะสำหรับการสกัดสารที่มีอัตราส่วนการกระจายสูง ทำให้การสกัดเพียงครั้งหรือสองครั้งก็สามารถแยกสารที่ต้องการแยกได้เกือบหมด

2. การสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous extraction) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในสกัดมี 2 แบบ ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้กับตัวทำละลายอินทรีย์ที่เบากว่าน้ำ และเครื่องมือที่ใช้กับตัวทำละลายอินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำ

วิธีการสกัดคือ การผ่านตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวสกัดลงในสารละลายที่ต้องการสกัดอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะใช้ตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวสกัดในปริมาณน้อย ถ้าต้องการนำตัวทำละลายที่ใช้สกัดกลับมาใช้ใหม่ จะต้องมีหน่วยสำหรับทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ทำการสกัดอย่างต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

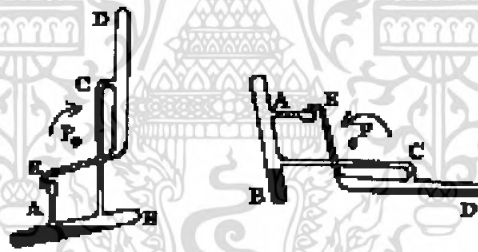


รูปที่ 2.3 เครื่องมือการสกัดอย่างต่อเนื่อง (ประเสริฐ, 2539)

(ก) ใช้สำหรับตัวสกัดที่เบากว่าน้ำ

(ข) ใช้สำหรับตัวสกัดที่หนักกว่าน้ำ

3. การสกัดแบบไหลสวนทางกัน (Counter current extraction) การสกัดด้วยวิธีนี้จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Craig ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดแก้ว ดังรูปที่ 2.4 วิธีการนี้จะสามารถแยกสารสองชนิดที่มีค่าอัตราส่วนการกระจายใกล้เคียงกันออกจากกัน ได้อย่างสมบูรณ์ เพราะสารละลายที่มีค่าอัตราส่วนการกระจายสูงกว่าจะกระจายไปในหลอด Craig อันดับต่างๆ ได้เร็วกว่า



รูปที่ 2.4 ลักษณะหลอดแก้ว Craig 1 หลอด และแสดงทิศทางการเข้ของหลอดในการสกัด

(ธวัชชัย, 2541)

2.4 คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon)

คาร์บอนกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ความสามารถในการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์จะพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าไอโอดีนนับเบอร์ (Iodine Number) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับ และผ่านการกรองเป็น 0.02 โมลาร์

คาร์บอนกัมมันต์แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1. คาร์บอนกัมมันต์แบบผง (Powdered activated carbon : PAC)
2. คาร์บอนกัมมันต์แบบเม็ด (Granular activated carbon : GAC)

การตรวจวิเคราะห์ลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์แบบผง และคาร์บอนกัมมันต์แบบเม็ด แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์แบบผง และคาร์บอนกัมมันต์แบบเม็ด
(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

รายการที่	ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด คาร์บอนกัมมันต์ผง	เกณฑ์ที่กำหนด คาร์บอนกัมมันต์เม็ด
1	ค่าไอโอดีน มิลลิกรัมต่อกรัม ไม่น้อยกว่า	600	600
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	-	8
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม่น้อยกว่า	75	0.36
4	ความแข็ง ร้อยละ ไม่เกิน	-	70

2.5 ปุ๋ยเคมี (มุกดา, 2543)

ปุ๋ยเคมี หมายถึง ปุ๋ยที่มีแหล่งที่มาจากรวมสารประกอบอนินทรีย์ต่างๆ หรือเป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการทางเคมี ที่ให้ธาตุอาหารพืชในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที

ปุ๋ยเคมีสามารถจำแนกออกได้หลายประเภทในแต่ละหลักที่ใช้ในการพิจารณา เช่น

2.5.1 การจำแนกปุ๋ยตามความต้องการของธาตุอาหารพืช แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.5.1.1 ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลัก (Primary-element fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่ให้ธาตุปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นปุ๋ยที่มีธาตุปุ๋ยทั้ง 3 ธาตุเป็นองค์ประกอบในรูปของปุ๋ยเดี่ยวที่มีธาตุเดียว หรือปุ๋ยเชิงประกอบที่มีธาตุปุ๋ยนี้ตั้งแต่ 2 ธาตุ หรือเป็นปุ๋ยผสมที่มีธาตุปุ๋ยครบ 3 ธาตุ ซึ่งปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลักเหล่านี้จะเป็นแม่ปุ๋ยที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยผสม

2.5.1.2 ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารรอง (Secondary-element fertilizer) ได้แก่ ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารรอง ซึ่งเป็นธาตุที่พืชต้องการน้อยกว่าธาตุอาหารหลัก แต่มีความจำเป็นเช่นเดียวกับธาตุอาหารหลัก เช่น ปุ๋ยให้ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.3 ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารเสริม (Minor-element fertilizer) ได้แก่ปุ๋ยที่ธาตุอาหารเสริมแก่พืช ซึ่งตามปกติพืชต้องการธาตุอาหารเสริมในปริมาณน้อยมาก แต่ธาตุเหล่านี้มีความสำคัญในการเจริญเติบโตเช่นเดียวกันกับธาตุอื่นๆ การใช้ปุ๋ยชนิดนี้จะใช้เมื่อพืชแสดงอาการขาดธาตุ

2.5.2 การแบ่งตามส่วนประกอบของธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมี ได้แก่

2.5.2.1 ปุ๋ยเชิงเดี่ยว เป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักธาตุเดียว เช่น ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัส ได้แก่ ปุ๋ยหินฟอสเฟต ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต และปุ๋ยที่ให้ธาตุโพแทสเซียม ได้แก่ ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ และปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต

2.5.2.2 ปุ๋ยเชิงผสม เป็นการผสมปุ๋ยเคมีชนิดหรือประเภทต่างๆ เพื่อให้ได้ธาตุอาหารหลักตามต้องการ โดยปุ๋ยเคมีนั้นจะต้องมีธาตุอาหารหลัก 2 ธาตุขึ้นไป การผสมจะเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่ก็ได้

2.5.2.3 ปุ๋ยเชิงประกอบ เป็นปุ๋ยเคมีที่สร้างขึ้นโดยกรรมวิธีทางเคมี มีธาตุอาหารหลักอย่างน้อย 2 ธาตุขึ้นไป เช่น ปุ๋ยโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นต้น

ปุ๋ยเคมีที่มีขายตามท้องตลาดในประเทศมีหลายชนิด ทั้งปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม และปุ๋ยเชิงประกอบ มีทั้งเป็นผลึก เกร็ด เม็ด และผง โดยปุ๋ยที่ผลิตและจำหน่ายจะต้องได้รับการขึ้นทะเบียนถูกต้องกับกรมวิชาการเกษตร ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518

2.5.3 การจำแนกตามปริมาณของธาตุอาหารหลัก มี 4 ประเภท คือ

2.5.3.1 ปุ๋ยสูตรต่ำ (Low analysis fertilizers)

ปุ๋ยสูตรต่ำ คือ ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักแต่ละอย่างหรือทั้งหมดรวมกันแล้วไม่เกินร้อยละ 15 ปุ๋ยสูตรนี้มีน้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นปุ๋ยอินทรีย์

2.5.3.2 ปุ๋ยสูตรกลาง (Medium analysis fertilizers)

ปุ๋ยสูตรกลาง คือ ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักแต่ละอย่างหรือทั้งหมดรวมกันแล้ว มีค่าระหว่างร้อยละ 15 - 25 เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (20% N) หรือปุ๋ยผสมสูตร 5-5-5 เป็นต้น

2.5.3.3 ปุ๋ยสูตรสูง (High analysis fertilizers)

ปุ๋ยสูตรสูง คือ ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักแต่ละอย่างหรือทั้งหมดรวมกันแล้ว มีค่าระหว่างร้อยละ 26 - 30 เช่น ปุ๋ยผสมสูตร 10-10-10 เป็นต้น

2.5.3.4 ปุ๋ยสูตรเข้มข้น (Concentrated analysis fertilizers)

ปุ๋ยสูตรเข้มข้น คือ ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักแต่ละอย่างหรือทั้งหมดรวมกันมีค่าเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ ปุ๋ยที่ใช้ทั่วไปเป็นสูตรเข้มข้นแทบทั้งสิ้น ปุ๋ยเดี่ยว เช่น ยูเรีย (45% N) โพแทสเซียมคลอไรด์ (60% K₂O) ปุ๋ยผสม เช่น ปุ๋ยนาสูตร 16-20-0 หรือ 16-16-8 ปุ๋ยที่นิยมแพร่หลายในท้องตลาดได้แก่ 15-15-15

สำหรับ โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH₂PO₄) ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K₂HPO₄) และโพแทสเซียมฟอสเฟต (K₃PO₄) เป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ (Water -

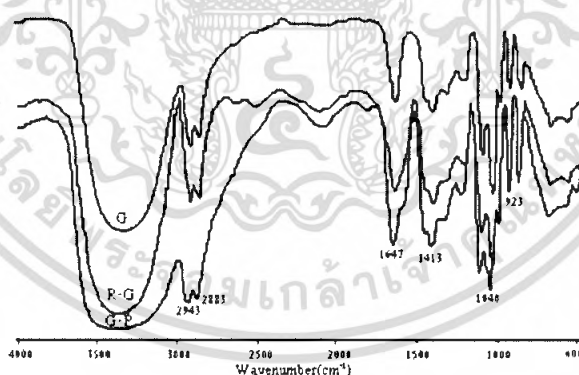
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

soluble phosphate) จัดอยู่ในปุ๋ยเชิงประกอบของฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตกับโพแทสเซียม ซึ่งสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลักได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hazimah et. al. (2001)

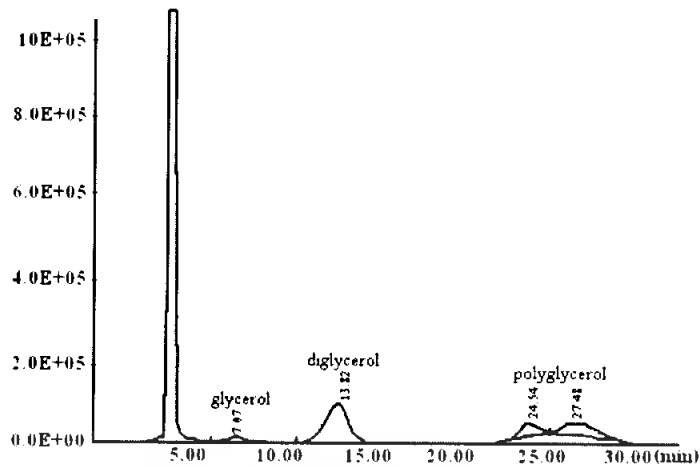
Hazimah และคณะได้นำกลีเซอรอลดิบจากอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอล (Oleochemical Industry) ในประเทศมาเลเซียมาทำการศึกษาเพื่อแยกกลีเซอรอลบริสุทธิ์ โดยทำการสกัดด้วยกรดและด่างเพื่อแยกองค์ประกอบ 3 ชนิดออกจากกัน ซึ่งได้แก่ กรดไขมัน (Fatty acid) เกลืออนินทรีย์ (Inorganic salts) และกลีเซอรอล นำกลีเซอรอลที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์ พบว่ากลีเซอรอลมีสีน้ำตาลเข้ม มีปริมาณกลีเซอรอล 60–80% ปริมาณความชื้น 1.5–6.5% ปริมาณเถ้า 1.5–2.5% และปริมาณสบู่ 3–5% จากนั้นนำกลีเซอรอลไปกลั่นแบบลดความดันจะได้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ นำกลีเซอรอลบริสุทธิ์ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FTIR) และเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เพื่อหาความบริสุทธิ์และองค์ประกอบของกลีเซอรอลพบว่า มีปริมาณกลีเซอรอล 99.1–99.8% ความชื้นหรือปริมาณน้ำ 0.11–0.80% ปริมาณเถ้า 0.054% ปริมาณสบู่ 0.56% และมีปริมาณคลอไรด์ 1 ppm กราฟจากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 สเปกตรัมจากเครื่อง Fourier Transform Infrared โดย G คือกลีเซอรอลบริสุทธิ์

R-G คือกลีเซอรอลดิบ และ G-P คือกลีเซอรอลดิบจากอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอล

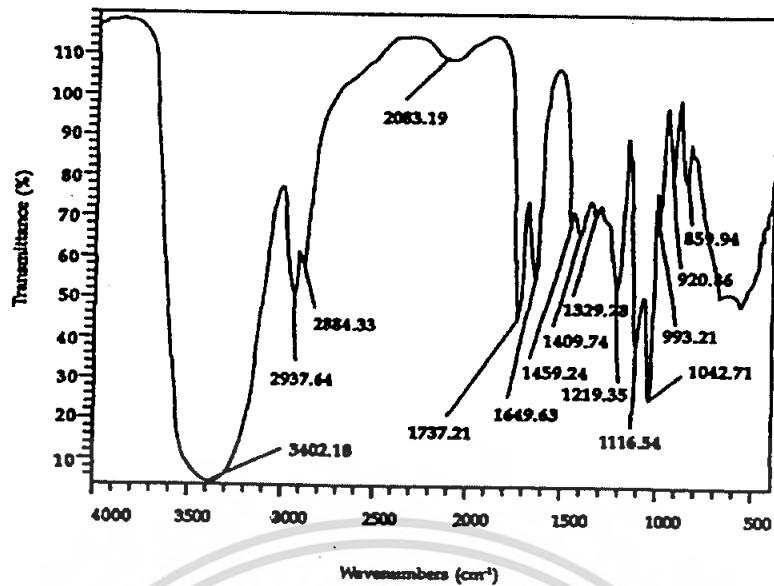
(Hazimah et. al., 2001)



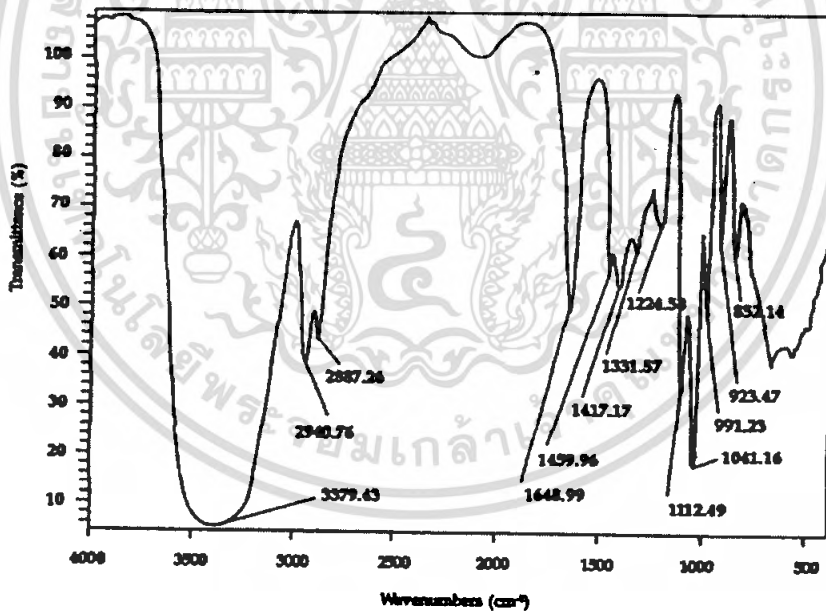
รูปที่ 2.6 โครมาโตแกรมจากเครื่อง High Performance Liquid Chromatography ของ กลีเซอรอลบริสุทธิ์ (Hazimah et. al., 2001)

Ooi et. al. (2001)

Ooi และคณะนำกลีเซอรอลดิบซึ่งเป็นกลีเซอรอลที่ได้มาจากการศึกษาของ Yong และคณะ (2000) มาทำให้บริสุทธิ์ขึ้น โดยการปรับพีเอชให้เป็นกรดด้วยกรดกำมะถัน กรอง และแยกกรดไขมันออก ทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และนำไปประเหยจะได้เกลือแยกเป็นของแข็งออกมา จากนั้นนำกลีเซอรอลที่ได้ไปสกัดด้วยตัวทำละลายและกรองอีกครั้ง เพื่อแยกเอาเกลือที่ไม่ละลายในตัวทำละลายออก นำไปประเหยตัวทำละลายออก นำกลีเซอรอลไปวิเคราะห์พบว่า มีปริมาณกลีเซอรอล 51.4% ปริมาณเถ้า 13.8% ปริมาณน้ำ 8.9% สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล 25.9% และวิเคราะห์สเปกตรัมจากเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยแสดงดังรูปที่ 2.7 พบว่ากลีเซอรอลมีพีคที่ 1737.21 cm^{-1} แสดงว่ากลีเซอรอลมีหมู่คาร์บอนิล (C=O) อยู่ ซึ่งอาจมาจากกลีเซอไรด์ต่างๆ ที่ยังคงค้างอยู่ในกลีเซอรอล หลังจากนั้น Young และคณะ (2001) ได้นำกลีเซอรอลนี้มาทำให้บริสุทธิ์ โดยนำไปกลั่นแบบลดความดันที่อุณหภูมิ 120–126 องศาเซลเซียส ความดันช่วง 0.4–0.04 มิลลิบาร์ เนื่องจากกลีเซอรอลมีจุดเดือดสูง คือประมาณ 290 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆ ได้ เป็นผลให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (%Yield) ของกลีเซอรอลลดลง จากนั้นนำกลีเซอรอลบริสุทธิ์ไปวิเคราะห์ พบว่ากลีเซอรอลมีความบริสุทธิ์สูงถึง 96.6% ปริมาณเถ้า 0.03% ปริมาณน้ำ 1% สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล 2.4% ค่าพีเอช 3.5 และนำกลีเซอรอลบริสุทธิ์ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จะได้สเปกตรัมแสดงดังรูปที่ 2.8 ที่ช่วงความยาวคลื่น $1500\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ เกิดจากการ overlap ของ C-H in-planes และหมู่ O-H bending ในโมเลกุลของกลีเซอรอล



รูปที่ 2.7 สเปกตรัมจากเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ของกถิเชอรอลคิบ
(Ooi et. al., 2001)



รูปที่ 2.8 สเปกตรัมจากเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ของกถิเชอรอลบริสุทธี
(Youg et. al., 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อดุกษ์ เชียงว่อง และวีระชัย โคตรคำหาร (2544)

ก่อดุกษ์และวีระชัย ได้ทำการศึกษากระบวนการเบื้องต้นในการทำกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ การทดลองประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การระเหยเมทานอลและน้ำโดยใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส การกำจัดต่างด้วยสารละลายกรด การสกัดสิ่งเจือปนด้วยตัวทำละลาย การสกัดสิ่งเจือปนด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ การใช้ดินกัมมันต์และคาร์บอนกัมมันต์ในการบำบัดสี กรดที่ใช้ในการกำจัดต่างคือ กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.8 โมลาร์ กรดอะซิติกความเข้มข้น 17.3 โมลาร์ และกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.7 โมลาร์ พบว่าการใช้กรดซัลฟิวริกและกรดอะซิติกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกกรดไขมันออกได้ดี สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ตัวทำละลายที่ใช้ทดสอบคือ เฮกเซน ในการบำบัดสีใช้ดินกัมมันต์ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของดินกัมมันต์ต่อสารละลายกลีเซอรอล 1:3 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 250 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการกวนนาน 60 นาที และคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ต่อสารละลายกลีเซอรอลเป็น 1:3 ที่อุณหภูมิห้อง และใช้เวลาในการบำบัดนาน 40 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอล พบว่ากลีเซอรอลที่ได้มีค่า 75.9% โดยน้ำหนัก

เพียงพิศ วงศ์มณีนิล และคณะ (2544)

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทำการทดลองที่สภาวะของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากเกินพอร้อยละ 0.25 ถึง 0.75 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 ถึง 120 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันทอดใช้แล้วต่อเมทานอล 1:3 ถึง 1:12 รวมถึงการศึกษาการใช้ตัวทำละลายร่วมในการสังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อเตตระไฮโดรฟูแรน (ตัวทำละลายร่วม) เป็น 1:1.6 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการสองปฏิกิริยา และศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ จากผลการทดลองพบว่าร้อยละของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากเกินพอ และอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันทอดใช้แล้วต่อเมทานอล มีผลต่อการเกิดร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 78.90 และ 77.02 ตามลำดับ ส่วนเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันพบว่า มีผลต่อการเกิดร้อยละเมทิลเอสเทอร์ค่อนข้างน้อยในช่วงของการทดลองนี้ สำหรับการใส่ตัวทำละลายร่วมและการใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันร่วมในการสังเคราะห์ มีผลทำให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้พบว่าอยู่ในส่วนกำหนดของมาตรฐานไบโอดีเซล โดยค่าความหนืด จุดวาบไฟ และดัชนีซีเทนของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันทอดใช้แล้วนั้นมีค่า 6.32 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที 167 องศาเซลเซียส และ 44 ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.1 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) ใช้ Flame Ionization Detector รุ่น SRI 8610C บริษัท Ligand Scientific
- 3.1.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) รุ่น Spectrum GX บริษัท Perkin Elmer
- 3.1.3 เครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (Ion Chromatography) รุ่น DX 600 บริษัท Methrom
- 3.1.4 ชุดเครื่องกลั่นแบบลดความดัน (Evaporator) รุ่น N-2N (N-2NW) บริษัท Tokyo Rikakika
- 3.1.5 เครื่องยูวี สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV spectrophotometer) รุ่น 6405 บริษัท Jenway
- 3.1.6 เครื่องให้ความร้อน รุ่น TR-60 บริษัท Denver
- 3.1.7 พีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น 250
- 3.1.8 เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง ยี่ห้อ Sanyo รุ่น CENTAUR 2 บริษัท SANYO
- 3.1.9 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Precisa 205A
- 3.1.10 ชุดเครื่องกรองสูญญากาศ
- 3.1.11 เตาเผา รุ่น 6000 บริษัท Thermolyne
- 3.1.12 กระดาษวัดพีเอช บริษัท Merck
- 3.1.13 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 3.1.14 เดซิเตเตอร์
- 3.1.15 เครื่องแก้วสำหรับการทดลอง

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 กรดฟอสฟอริก 85% W/W (H_3PO_4) A.R. Grade (บริษัท Carlo Erba, USA)
- 3.2.2 เฮกเซน 95% W/W ($CH_3(CH_2)_4CH_3$) A.R. Grade (บริษัท Fisher Scientific, USA)
- 3.2.3 คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) A.R. Grade (บริษัท Italma)
- 3.2.4 สารเคมีอื่นๆ (ระดับเกรดปฏิบัติการ หรือตามความเหมาะสม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แหล่งที่มาของกลีเซอรอลดิบ

กลีเซอรอลดิบที่ใช้ในการทดลองได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ฟิคันด์ ฟิตติ้ง สเตนเลส จำกัด (FECUND FITTING STAINLESS CO., LTD) โดยทางบริษัทได้ผลิตชุดเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบครึ่ง เมื่อเดินระบบจะมีกำลังการผลิตไบโอดีเซล 10,000 ลิตรต่อวัน โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่ใช้แล้วด้วยเมทานอล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาประมาณ 30-60 นาที จากกระบวนการผลิตจะได้กลีเซอรอลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล

3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ

3.4.1 นำตัวอย่างกรองสิ่งเจือปนต่างๆ ออก และนำไปเก็บในขวดพลาสติกไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3.4.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบได้แก่ ปริมาณกลีเซอรอล สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล ความชื้นหรือน้ำ เถ้าซัลเฟต คลอไรด์ สี และค่าพีเอช ดังรายละเอียดใน ภาคผนวก ข

3.5 การบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์

- ขั้นที่ 1 การกลั่นเพื่อแยกแอลกอฮอล์

3.5.1 ชั่งกลีเซอรอลดิบประมาณ 300 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร

3.5.2 กลั่นเมทานอลออกจากกลีเซอรอลดิบด้วยการกลั่นแบบธรรมดา ควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-30 นาที หรือจนกว่าไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น

3.5.3 วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นเมทานอลที่ได้จากการกลั่นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

- ขั้นที่ 2 การกำจัดด่างในกลีเซอรอลด้วยกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 1.0 โมลาร์

3.5.4 เติมกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ลงในกลีเซอรอลจากข้อ 3.5.2 และใช้แท่งแก้วคนพร้อมๆ กัน โดยทำการแปรค่าพีเอชเป็น 5 6 และ 7

3.5.5 ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที จากนั้นทำการกรองตะกอนของสารประกอบโพแทสเซียม-ฟอสเฟตออกจากกลีเซอรอลด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ

3.5.6 นำตะกอนของสารประกอบโพแทสเซียมฟอสเฟตที่ได้ไปอบให้แห้ง

3.5.7 บันทึกน้ำหนักตะกอนของสารประกอบโพแทสเซียมฟอสเฟต ทำการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมไอออนและฟอสเฟตไอออนด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี

3.5.8 นำตะกอนของสารประกอบโพแทสเซียมฟอสเฟตไปละลายน้ำที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของตะกอนต่อน้ำเป็น 1:10 ทำการวัดค่าพีเอชและจดบันทึก

- **ขั้นที่ 3 การสกัดกลีเซอรอลด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย**

3.5.9 นำกลีเซอรอลจากข้อ 3.5.5 มาสกัดด้วยเฮกเซนในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เขย่าเป็นเวลา 2-3 นาที จากนั้นทิ้งให้แยกชั้น และแยกชั้นกลีเซอรอลที่อยู่ด้านล่างออกและนำไปสกัดซ้ำอีกครั้ง

3.5.10 ระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากชั้นกลีเซอรอล ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และบันทึกน้ำหนักกลีเซอรอลที่เหลือจากการระเหย

3.5.11 วิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ โดยน้ำหนัก โดยการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1250 M ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข

- **การประกันคุณภาพในการทดลอง**

ทำการทดลองตามข้อ 3.5.1-3.5.11 อย่างน้อย 3 ซ้ำชุดการทดลอง

- **ขั้นที่ 4 การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ด้วยการกลั่นแบบลดความดัน**

3.5.12 นำกลีเซอรอลที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนรวมกันในแต่ละชุดการทดลอง เพื่อความสะดวกในการกลั่นแบบลดความดัน

3.5.13 นำกลีเซอรอลมากลั่นด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดัน ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 2 มิลลิเมตรปรอท

- **ขั้นที่ 5 การใช้คาร์บอนกัมมันต์กำจัดสีและกลิ่นออกจากกลีเซอรอลบริสุทธิ์**

3.5.14 นำคาร์บอนกัมมันต์แช่ในน้ำกลั่น 1-2 ชั่วโมง เพื่อล้างสิ่งสกปรกออกจากคาร์บอนกัมมันต์ และนำไประเหยให้แห้ง

3.5.15 นำกลีเซอรอลจากข้อ 3.5.13 แช่ในคาร์บอนกัมมันต์ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ เป็น 1:2 1:4 และ 1:6 เขย่าที่อัตราความเร็ว 180 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 และ 2 วัน

3.5.16 กรองกลีเซอรอลออกจากคาร์บอนกัมมันต์ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ

3.5.17 ระเหยน้ำออกจากกลีเซอรอลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

3.5.18 นำกลีเซอรอลที่ได้ไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

3.5.19 นำกลีเซอรอลไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด-สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.6 วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ในระดับชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม

นำกลีเซอรอลที่ได้จากข้อ 3.7 วิเคราะห์พารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.1 เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของ
กลีเซอรอลบริสุทธิ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลีเซอรอลบริสุทธิ์ มอก.337-
2545 ในระดับชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์กลีเซอรอลบริสุทธิ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ในระดับชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
1. สี	วิธีสเปกโตรโฟโตเมตริก
2. กลิ่น	ทดสอบกลิ่น
3. กลีเซอรอลร้อยละ โดยน้ำหนัก	ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1250 M
4. ความหนาแน่นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	ใช้เกย์-ลูซแซค พิกโนมิเตอร์ (Gay-Lussac Pyknometer)
5. ความเป็นกรดหรือความเป็นด่าง	ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M หรือกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 M
6. ฝ้าซัลเฟต	วิธีแกรวิเมทรี
7. ปริมาณคลอไรด์	ไทเทรตด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต เข้มข้น 0.01 M

หมายเหตุ การหาค่าของสีจากโลวิบอนด์สเกล ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
มอก.337-2545 ซึ่งไม่สามารถทดสอบได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือ จึงใช้
วิธีเทียบเท่าคือ วิธีสเปกโตรโฟโตเมตริก

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ

จากการนำกลีเซอรอลดิบที่ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ฟิคันด์ ฟิตติ้ง สเตนเลส จำกัด (FECUND FITTING STAINLESS CO., LTD) โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันที่ใช้แล้วด้วยเมทานอล ซึ่งใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพเบื้องต้นตามการทดลองข้อ 3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ

พารามิเตอร์	ปริมาณเฉลี่ย ($\bar{X} \pm SD, n = 3$)
ปริมาณกลีเซอรอล (%)	65.15 \pm 0.55
สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล (%)	16.64 \pm 0.00
ความชื้นหรือน้ำ (%)	15.67 \pm 0.64
เถ้าซัลเฟต (%)	4.51 \pm 0.50
เถ้า (%)	7.15 \pm 0.83
ฟิเอช	ประมาณ 11
คลอไรด์	N.D.
สี	สีน้ำตาลเข้ม

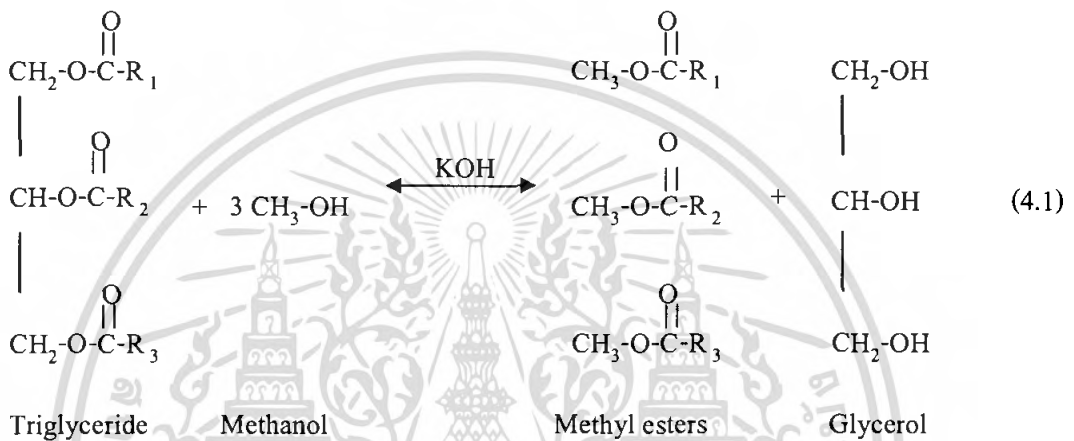
หมายเหตุ การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นหรือน้ำไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีคาร์ลฟิชเชอร์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านเครื่องมือ จึงใช้วิธีเทียบเท่าเพื่อประมาณการ โดยการระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

N.D. หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบ พบว่า กลีเซอรอลดิบมีสีน้ำตาลเข้ม ปริมาณกลีเซอรอลโดยเฉลี่ยเป็น 65.12% ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดถึงลักษณะของกลีเซอรอลชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม (ตารางที่ ค.2) พบว่า กลีเซอรอลดิบนั้นไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ เนื่องจากยังมีสารเจือปนอยู่ปริมาณมาก ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอลมีปริมาณโดยเฉลี่ย 16.64% ปริมาณน้ำโดยเฉลี่ย 15.67% ปริมาณเถ้าซัลเฟตโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ย 4.51% และปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ย 7.15% ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอลสูง เนื่องจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะใช้สารตั้งต้นและสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาล้วนแต่เป็นสารอินทรีย์ ดังสมการที่ 4.1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ไขมันที่ใช้แล้วเป็นสารตั้งต้นก็จะมีสารอินทรีย์ต่างๆ เจือปนอยู่สูง จึงทำให้สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นหลงเหลืออยู่ในกลีเซอรอลดิบได้มาก เช่น สบู่ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต กลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้กลีเซอรอลดิบยังมีสถานะเป็นค่าง โดยมีค่าพีเอชประมาณ 11 เนื่องจากกลีเซอรอลดิบยังคงมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หลงเหลือจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน



4.2 การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดิบพบว่า กลีเซอรอลดิบมีสารเจือปนอื่น ๆ อยู่ นอกเหนือจากกลีเซอรอล จึงจำเป็นต้องแยกสารเจือปนออกจากกลีเซอรอล ตามขั้นตอนดังนี้

- ขั้นที่ 1 กลั่นเพื่อแยกแอลกอฮอล์

กระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมัน จะใช้เมทานอลในการทำปฏิกิริยา ทำให้กลีเซอรอลที่ได้มีเมทานอลเจือปนอยู่ ในการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ จึงจำเป็นต้องแยกเมทานอลออกในขั้นตอนแรก ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อกลีเซอรอล เนื่องจากจุดเดือดที่ความดันบรรยากาศของเมทานอลจะมีค่า 65 องศาเซลเซียส แต่กลีเซอรอลมีจุดเดือด 290 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนเมทานอลจะกลั่นออกมาก่อน สำหรับเมทานอลที่ได้จากการกลั่นยังสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้อีกด้วย

จากการทดลองข้อ 3.5.1-3.5.3 เมื่อนำกลีเซอรอลดิบน้ำหนักประมาณ 300 กรัม นำเมทานอลไปกลั่นด้วยการกลั่นแบบธรรมดา ดังรูปที่ 4.1 ที่ควบคุมให้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ นาน 30 นาที หรือจนกระทั่งไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น พบว่า กลีเซอรอลดิบที่ผ่านการแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทานอลมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 284.92 กรัม สำหรับเมทานอลที่ได้จากการกลั่นจะมีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ย โดยน้ำหนัก 6.75% ของกลีเซอรอลดิบ และเมื่อนำไปหาปริมาณความเข้มข้นของเมทานอลบริสุทธิ์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ เท่ากับ 91.65% โดยสภาวะของ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟที่ใช้มีดังนี้

สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟที่ใช้ในการวิเคราะห์เมทานอล

- ชนิดของคอลัมน์ Varian VF-5ms
- Phase composition Equivalent to 5% phenyl-, 95% dimethylsiloxane
- อุณหภูมิของคอลัมน์ที่เหมาะสม เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของ Injector ที่เหมาะสม เท่ากับ 150 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของ Detector ที่เหมาะสม เท่ากับ 150 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิเหมาะสมที่เมทานอลออก เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส
- ปริมาณเมทานอลที่ใช้ เท่ากับ 1 ไมโครลิตร



รูปที่ 4.1 การกลั่นเมทานอลด้วยชุดเครื่องกลั่นแบบธรรมดา

- ขั้นที่ 2 การกำจัดต่างในกลีเซอรอลด้วยกรดฟอสฟอริก

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมัน จะใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้กลีเซอรอลที่เป็นผลพลอยได้มีสภาวะเป็นด่าง ดังนั้นการกำจัดต่างในกลีเซอรอลดิบจะใช้วิธีการเติมกรดซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการปฏิบัติ การเติมกรดจะสามารถเปลี่ยนสบู่ที่ปนอยู่ในกลีเซอรอลดิบกลายเป็นกรดไขมันซึ่งง่ายต่อการกำจัดออกในขั้นต่อไป

บริษัท ฟิคันด์ ฟิตติ้ง สเตนเลส จำกัด ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาใน

กระบวนการผลิตไบโอดีเซล การทดลองนี้จึงใช้กรดฟอสฟอริกเพื่อกำจัดโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ออก สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

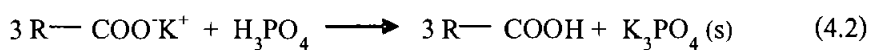
ครอกไซด์ โดยใช้สารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 1.0 โมลาร์ เนื่องจากง่ายต่อการปรับค่าพีเอช หลังจากปรับค่าพีเอชแล้วก็จะตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการแยกกรดไขมันและตะกอนของสารประกอบ โพลีแซคคาไรด์ออกจากกลีเซอรอลให้ได้มากที่สุดด้วยวิธีการกรองแบบสุญญากาศ เนื่องจากกลีเซอรอลมีความหนืดจึงยากต่อการแยก หากใช้วิธีการกรองแบบธรรมดา

การใช้กรดเพื่อกำจัดค่าออกจากกลีเซอรอลคิบั ปัจจัยสำคัญคือ ค่าพีเอช ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อการกำจัดค่าในกลีเซอรอลคิบัด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์ โดยทำการแปรค่าพีเอชเป็น 5 6 และ 7 ตามการทดลองข้อ 3.5.4-3.5.8 ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของกลีเซอรอลภาพคิบัที่พีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์

ค่าพีเอช	ลักษณะทางกายภาพ
5	แยกเป็น 3 ชั้น ชั้นบนเป็นของเหลวชั้น หนืด มีสีน้ำตาลเข้ม ชั้นกลางเป็นของเหลวใส มีสีน้ำตาลแดง ชั้นล่างเป็นตะกอนสีขาว
6	แยกเป็น 2 ชั้น ชั้นบนเป็นของเหลวชั้น หนืด มีสีน้ำตาลเข้ม ชั้นล่างเป็นของเหลวสีขาวขุ่น
7	เป็นของเหลวชั้น หนืด มีสีน้ำตาลเข้ม

จากการศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อการกำจัดค่าในกลีเซอรอลคิบัด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์ โดยสังเกตจากลักษณะทางกายภาพ พบว่า ที่ค่าพีเอช 5 จะมีความเหมาะสมที่สุดในการกำจัดค่าในกลีเซอรอลคิบั เนื่องจากกลีเซอรอลคิบัจะมีการแยกชั้นออกเป็น 3 ชั้นอย่างชัดเจน โดยชั้นบนเป็นชั้นของกรดไขมันซึ่งเกิดจากสบู่ที่เจือปนอยู่ในกลีเซอรอลคิบัทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก ดังแสดงในสมการที่ 4.2 ชั้นกลางเป็นชั้นของกลีเซอรอล การแยกชั้นของกรดไขมันกับกลีเซอรอลเกิดจากความหนาแน่นที่แตกต่างกัน กล่าวคือ กลีเซอรอลมีความหนาแน่น 1.261 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส ในขณะที่กรดไขมันจะมีความหนาแน่นน้อยกว่า จึงทำให้กลีเซอรอลอยู่ชั้นล่างส่วนกรดไขมันนั้นจะอยู่ด้านบน สำหรับชั้นด้านล่างสุดเป็นตะกอนของสารประกอบ โพลีแซคคาไรด์ เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง โพลีแซคคาไรด์ อกไซด์กับกรดฟอสฟอริก เนื่องจากกรดฟอสฟอริกจะทำปฏิกิริยากับ โพลีแซคคาไรด์ อกไซด์อยู่ในรูปของเกลือ โพลีแซคคาไรด์ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว สำหรับที่พีเอช 6 กับ 7 นั้นพบว่า ไม่มีการแยกชั้นของกลีเซอรอลกับกรดไขมันอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากกรดที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไม่เพียงพอ ส่งผลให้สบู่ที่เจือปนอยู่ในกลีเซอรอลคิบักลายเป็นกรดไขมันได้ไม่สมบูรณ์



การแยกชั้นกรดไขมันออกจากชั้นกลีเซอรอล จะต้องแยกชั้นกรดไขมันออกให้ได้มากที่สุด เนื่องจากกรดไขมันที่หลงเหลืออยู่สามารถทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลได้กลีเซอไรด์เกิดขึ้น เมื่อนำของผสม (ชั้นกลาง) ที่ได้จากการปรับค่าพีเอชเป็น 5 มาวิเคราะห์ต่อ พบว่า ได้น้ำหนักกลีเซอรอลโดยเฉลี่ย 207.84 กรัม เกิดเกลือของสารประกอบ โปแทสเซียมฟอสเฟตซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว มีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 40.94 กรัม ปริมาณความเข้มข้นของโปแทสเซียมไอออนและฟอสเฟตไอออนคิดเป็น 6.48 และ 10.63 % ตามลำดับ เมื่อนำไปละลายน้ำจะได้สารละลายใสและค่าพีเอชเท่ากับ 4.51 สำหรับตะกอนของสารประกอบ โปแทสเซียมฟอสเฟตที่ได้สามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยให้กับพืชต่อไปได้ โดยมีธาตุอาหารหลักทั้งหมดรวมกันแล้วมีค่า 17.11% ซึ่งจัดเป็นปุ๋ยสูตรกลาง เนื่องจากปุ๋ยสูตรกลางเป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักแต่ละอย่างหรือทั้งหมดรวมกันแล้วมีค่าระหว่างร้อยละ 15 - 25

- ชั้นที่ 3 การสกัดกลีเซอรอลด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

การสกัดกลีเซอรอลด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในกลีเซอรอลที่สามารถละลายได้ดีในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ ประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายชนิดนอกเหนือจากกลีเซอรอล เช่น กลีเซอไรด์ชนิดต่างๆ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน กรดไขมัน เมคสี เป็นต้น

การทดลองจะใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ เฮกเซน เนื่องจากเฮกเซนจัดเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว จึงสามารถละลายสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วในกลีเซอรอลได้ เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ เมทิลเอสเทอร์ กรดไขมันที่ยังคงหลงเหลือ เป็นต้น แต่จะไม่ละลายกลีเซอรอลซึ่งเป็น โมเลกุลที่มีขั้ว นอกจากนี้เฮกเซนยังทำให้แห้งได้ง่าย จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดมากกว่าตัวทำละลายชนิดอื่นๆ เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งตัวทำละลายชนิดนี้นอกจากจะมีราคาค่อนข้างแพงแล้ว และยังเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งได้ เป็นต้น

จากการทดลองข้อ 3.5.9-3.5.11 พบว่า การสกัดครั้งที่ 1 จะได้ชั้นเฮกเซนซึ่งอยู่ด้านบนมีสีเหลืองอ่อน ชั้นกลางจะเป็นชั้นอิมัลชัน และชั้นล่างคือชั้นกลีเซอรอล เมื่อทำการสกัดซ้ำอีกครั้งก็จะไม่พบสิ่งปนเปื้อนอยู่ในชั้นเฮกเซน สามารถสังเกตได้จากชั้นเฮกเซนที่มีลักษณะใส ไม่มีสี และเมื่อนำกลีเซอรอลที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซน ไปประเหยเฮกเซน น้ำ และแยกเกลือที่ตกค้างอยู่ออก พบว่า ได้น้ำหนักกลีเซอรอลโดยเฉลี่ย เท่ากับ 125.99 กรัม และมีปริมาณกลีเซอรอลร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 85.21

- ขั้นที่ 4 การกลั่นกลีเซอรอลด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดัน

การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ด้วยการกลั่นภายใต้สุญญากาศ เนื่องจากขั้นตอนข้างต้นจะได้กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ การใช้วิธีการกลั่นภายใต้สุญญากาศจะเป็นการแยกกลีเซอรอลให้มีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น ในทางปฏิบัติแล้วกลีเซอรอลไม่สามารถใช้วิธีการกลั่นที่ความดันบรรยากาศได้ เนื่องจากกลีเซอรอลมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งค่อนข้างสูงมากซึ่งยากต่อการปฏิบัติ นอกจากนี้อาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้ คือ ปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส การกลั่นแบบลดความดันจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการกลั่นกลีเซอรอล

จากการทดลองข้อ 3.5.12-3.5.13 พบว่า เมื่อนำกลีเซอรอลน้ำหนักโดยเฉลี่ย 881.94 กรัม ไปกลั่นแบบลดความดันด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดัน ดังรูปที่ 4.2 โดยใช้อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 2 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งจะทำให้กลีเซอรอลกลายเป็นไอและไหลเข้าสู่ส่วนควบแน่นออกมาได้ ซึ่งใช้เวลาในการกลั่น 2 ชั่วโมง จะได้น้ำหนักกลีเซอรอลโดยเฉลี่ย 631.90 กรัม ลักษณะของกลีเซอรอลที่ได้จากการกลั่นนั้นมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน หนืด และมีกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมัน ส่วนสิ่งที่เหลือจากการกลั่นจะมีลักษณะแข็งและมีสีดำ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 การกลั่นกลีเซอรอลด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดัน



รูปที่ 4.3 สิ่งที่เหลือจากการกลั่นกลีเซอรอลด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชั้นที่ 5 การใช้คาร์บอนกัมมันต์กำจัดสีและกลิ่นออกจากกลีเซอรอล

จากลักษณะของกลีเซอรอลที่ได้จากการกลั่นนั้นมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน หนืด และมีกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมัน จึงต้องนำกลีเซอรอลจากขั้นตอนที่ 4 นำไปผ่านกระบวนการกำจัดสีและกลิ่นด้วยคาร์บอนกัมมันต์ การใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการกำจัดสีและกลิ่นออกจากกลีเซอรอล เนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์มีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งการนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดสีและกลิ่นออกจากกลีเซอรอลสามารถทำได้ง่าย

จากการทดลองข้อ 3.5.14-3.5.19 โดยศึกษาหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีและกลิ่นออกจากกลีเซอรอลที่ 1:2 1:4 1:6 เวลา 1 และ 2 วัน พบว่า การใช้คาร์บอนกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:2 ไม่สามารถกำจัดสีและกลิ่นออกจากกลีเซอรอลได้ เนื่องจากกลีเซอรอลยังคงมีสีเหลืองอ่อนและกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมัน และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีและกลิ่นของอัตราส่วน 1:4 กับอัตราส่วน 1:6 ในเวลา 1 และ 2 วัน พบว่าคาร์บอนกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและกลิ่นที่ใกล้เคียงกัน แต่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์เป็น 1:4 ที่เวลา 1 วัน จะมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ในการกำจัดสีและกลิ่นมีปริมาณน้อย ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าการใช้อัตราส่วน 1:6 และเป็นการลดเวลาในการบำบัดให้น้อยลง ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบการกำจัดสีและกลิ่นของคาร์บอนกัมมันต์ที่อัตราส่วนและเวลาต่างๆ กันดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าคาร์บอนกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและกลิ่นได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีและกลิ่นของคาร์บอนกัมมันต์ในอัตราส่วนและเวลาที่แตกต่างกัน

พารามิเตอร์	ก่อนฟอก	อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์					
		1:2		1:4		1:6	
		1 วัน	2 วัน	1 วัน	2 วัน	1 วัน	2 วัน
1. สังเกตด้วยตาเปล่า	เหลืองอ่อน	เหลืองอ่อน	เหลืองอ่อน	ไม่มีสี	ไม่มีสี	ไม่มีสี	ไม่มีสี
2. ความยาวคลื่นเด่น (nm)	575 - 580	575 - 580	575 - 580	-	-	-	-
3. สี	เหลือง	เหลือง	เหลือง	ไม่มีสี	ไม่มีสี	ไม่มีสี	ไม่มีสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ก่อนฟอก	อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์					
		1:2		1:4		1:6	
		1 วัน	2 วัน	1 วัน	2 วัน	1 วัน	2 วัน
4. ความสว่าง (%)	25.98	25.17	28.70	91.28	89.97	65.59	77.17
5. % ของสี	40	20	15	~ 0	~ 0	~ 0	~ 0
6. ทดสอบกลิ่น ด้วยการดม	เหม็นหืน	เหม็นหืน	เหม็นหืน	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น

4.3 วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มอก.337-2545 ระดับชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม

จากการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ผ่านขั้นตอนการบำบัดทั้ง 5 ขั้นตอน พบว่าจะได้ปริมาณกลีเซอรอลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก 26.11% ของกลีเซอรอลดิบ และเมื่อนำไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ในระดับชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี จะได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4 จากการวิเคราะห์ พบว่า กลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณกลีเซอรอลร้อยละโดยน้ำหนัก 98.99% ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ในระดับชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม และสามารถเปรียบเทียบลักษณะสีของกลีเซอรอลที่ผ่านการบำบัดในแต่ละขั้นตอนได้ดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบสมบัติของกลีเซอรอลที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และกลีเซอรอลมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม

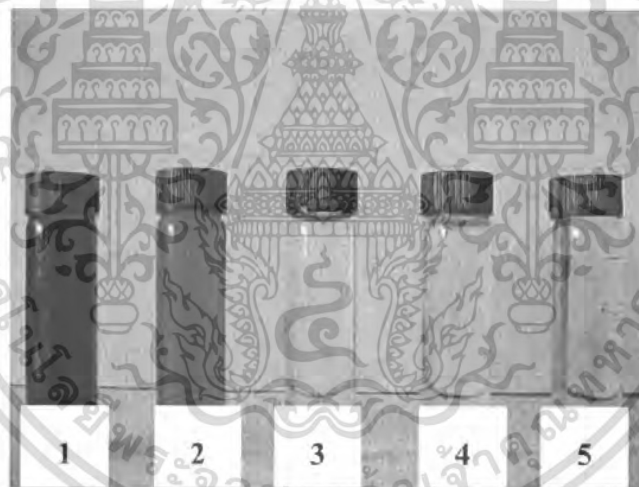
ลักษณะ	กลีเซอรอลที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ($\bar{X} \pm SD, n = 3$)	กลีเซอรอล ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม
1. สี	ไม่มีสี	5.0Y + 1.2R
2. กลิ่น	ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม	ต้องไม่มีกลิ่นแปลกปลอม
3. กลีเซอรอล ร้อยละโดยน้ำหนัก	98.99 ± 0.85	ไม่น้อยกว่า 99
4. ความหนาแน่นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	1.2620 ± 0.00	1.261-1.264

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ลักษณะ	กลีเซอรอลที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ($\bar{X} \pm SD, n = 3$)	กลีเซอรอล ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม
5. ความเป็นกรดหรือความเป็นด่าง (meq/100 g)	0.0184 \pm 0.00	ไม่เกิน 0.32
6. เถ้าซัลเฟต (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	0.01 \pm 0.00	ไม่เกิน 0.01
7. คลอไรด์ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	N.D.	ไม่เกิน 0.01

หมายเหตุ การหาค่าของสีจากโวลิวอนด์สเกล ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มอก.337-2545 ซึ่งไม่สามารถทดสอบได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือ จึงใช้วิธีเทียบเท่าคือ วิธีสเปคโตรโฟโตเมตริก (Y กับ R หมายถึง ค่าของหน่วยสีแดงและสีเหลือง ตามลำดับ)



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบลักษณะของสีกลีเซอรอลที่ผ่านการบำบัด ดังนี้

หมายเลข 1 กลีเซอรอลดิบ

หมายเลข 2 กลีเซอรอลผ่านการบำบัดขั้นตอนที่ 2

หมายเลข 3 กลีเซอรอลผ่านการบำบัดขั้นตอนที่ 3

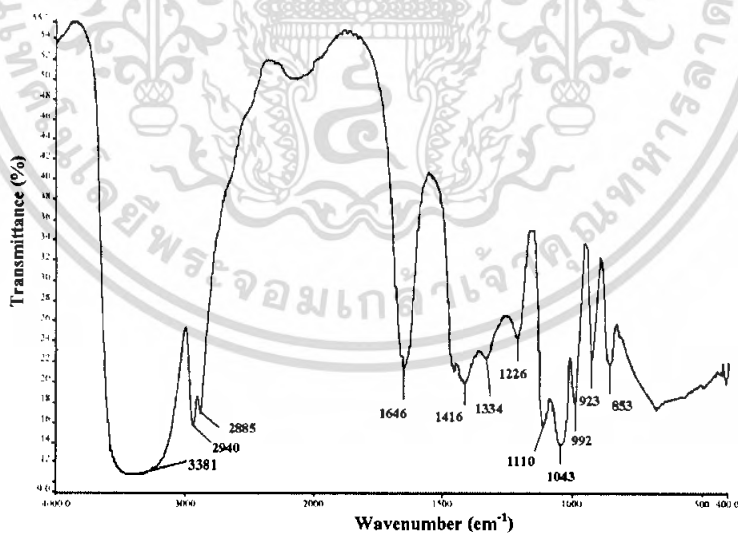
หมายเลข 4 กลีเซอรอลผ่านการบำบัดขั้นตอนที่ 4

หมายเลข 5 กลีเซอรอลผ่านการบำบัดขั้นตอนที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลที่ผ่านการบำบัดเทียบกับ กลีเซอรอลมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ระดับชั้นคุณภาพ อุตสาหกรรม

ผลการวิเคราะห์สมบัติลักษณะของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ผ่านการบำบัดทั้ง 5 ขั้นตอนด้วยเทคนิค Infrared Spectroscopy (IR) จากเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) โดยแสดงลักษณะสเปกตรัมของกลีเซอรอลดังรูปที่ 4.5 พบว่า สเปกตรัมของกลีเซอรอลที่ผ่านการบำบัดทั้ง 5 ขั้นตอนสอดคล้องกันกับกลีเซอรอลมาตรฐาน มอก.337-2545 ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม (รูปที่ ก.1) กล่าวคือ สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ความยาวคลื่น 3381 cm^{-1} และ 1646 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน C-H stretching ที่ความยาวคลื่น 2940 cm^{-1} กับ 2885 cm^{-1} และในช่วงความยาวคลื่น $1420\text{--}1220\text{ cm}^{-1}$ เกิดจากการ overlap ของ C-H ในแนวระนาบ (in-planes) และหมู่ O-H bending ในโมเลกุลของกลีเซอรอล ซึ่งแสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบช่วงความยาวคลื่นที่สำคัญระหว่างกลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ผ่านการบำบัดกับกลีเซอรอลมาตรฐาน มอก.335-2545 ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 4.5 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ด้วย 5 ขั้นตอน ในสภาวะที่เหมาะสม สามารถบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์และมีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรมได้



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างสเปกตรัมของกลีเซอรอลที่ผ่านการบำบัดให้บริสุทธิ์ จากเครื่องฟูเรียร์ทรานส์-
ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบช่วงความยาวคลื่นที่สำคัญระหว่างก๊ลิเซอร์อลบรีสุทรีที่ผ่านการบำบัด
กับก๊ลิเซอร์อลมาตรฐาน มอก.337-2545 ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม

ช่วงความยาวคลื่น (cm ⁻¹)	
ก๊ลิเซอร์อลมาตรฐาน มอก.337-2545	ก๊ลิเซอร์อลที่ผ่าน การบำบัดให้บริสุทธิ์
3600-3100	3381
2900 (ค่าประมาณ)	2940
1650 (ค่าประมาณ)	1646
1500-1200 (แถบกว้าง)	1420-1220
1410 1330 และ 1220 (ค่าประมาณ)	1416 1334 และ 1226
1100 1040 1000 900 และ 850 (ค่าประมาณ)	1110 1043 923 และ 853

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์-ริฟิเคชัน กลีเซอรอลสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมสบู่ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อใช้เป็นสารกันบูดหรือใช้เป็นสารเพิ่มความหวาน ใช้ในการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่า แต่การจะนำกลีเซอรอลไปใช้ได้นั้นกลีเซอรอลจะต้องมีความบริสุทธิ์และมีสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆ ในแต่ละขั้นคุณภาพที่จะนำไปใช้ หากไม่มีการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ กลีเซอรอลจะกลายเป็นของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมได้ ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเพิ่มมูลค่าให้กับกลีเซอรอล โดยการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์และวิเคราะห์สมบัติของกลีเซอรอลที่ผ่านการบำบัดเทียบกับกลีเซอรอลมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ในระดับขั้นคุณภาพอุตสาหกรรม โดยเริ่มจากการนำกลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้วทำปฏิกิริยากับเมทานอล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพเบื้องต้น จากผลการวิเคราะห์พบว่า กลีเซอรอลดิบมีสิ่งเจือปนอยู่มาก โดยกลีเซอรอลดิบมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม มีปริมาณกลีเซอรอล 65.15% สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล 16.64% ปริมาณน้ำ 15.67% ปริมาณเถ้าซัลเฟต 4.51% ปริมาณเถ้า 7.15% และค่าพีเอชประมาณ 11 สำหรับกระบวนการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ซึ่งจะแยกเอาสิ่งเจือปนแต่ละชนิดออกทีละขั้นตอน โดยทำการศึกษาปัจจัยที่สำคัญที่คาดว่าจะมีผลต่อการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ ได้แก่ การศึกษาค่าพีเอชในขั้นตอนที่ 2 เพื่อกำจัดโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แปรค่าพีเอชเป็น 5 และ 7 จากผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอช 5 มีความเหมาะสมที่สุดในการกำจัดด่างและกรดไขมัน เนื่องจากมีการแยกเป็น 3 ชั้นอย่างเห็นได้ชัด ชั้นบนเป็นชั้นของกรดไขมัน ชั้นกลางเป็นกลีเซอรอล และชั้นล่างเป็นชั้นของสารประกอบโพแทสเซียมฟอสเฟต สำหรับค่าพีเอช 6 และ 7 พบว่าการแยกของกลีเซอรอลดิบไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะที่พีเอช 7 กลีเซอรอลดิบยังคงเป็นเนื้อเดียวกันและมีความหนืดมาก เนื่องจากกรดที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไม่เพียงพอ ส่งผลให้สบู่ที่เจือปนอยู่ในกลีเซอรอลดิบกลายเป็นกรดไขมันได้ไม่สมบูรณ์

นอกจากจะทำการศึกษาค่าพีเอชแล้ว ยังได้ศึกษาปัจจัยของอัตราส่วน โดยนำหน้าระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์และเวลาที่จะมีผลต่อการกำจัดสีและกลิ่น เนื่องจากกลีเซอรอลที่ผ่านการกลั่นแบบลดความดันแล้ว จะมีสีเหลืองอ่อนและยังคงมีกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมันอยู่ ซึ่งจะทำการแปรค่าอัตราส่วน โดยนำหน้าระหว่างคาร์บอนกัมมันต์กับกลีเซอรอลเป็น 1:2 1:4 และ 1:6 เป็นเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 และ 2 วัน จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดสีและกลิ่นออกจากกลีเซอรอลคือ 1:4 ที่เวลา 1 วัน ซึ่งกลีเซอรอลที่ผ่านการบำบัดจะไม่มีสีและกลิ่น

จากการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ด้วย 5 ขั้นตอนในสถานะที่เหมาะสมจะได้ปริมาณกลีเซอรอลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก 26.11% ของกลีเซอรอลดิบ สำหรับเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของเมทานอลที่ได้จากการกลั่น โดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.75% ปริมาณความเข้มข้นของเมทานอลเท่ากับ 91.65% สารประกอบ โพลีแซคคาไรด์ที่ได้ออกมาจากการตกตะกอนมีปริมาณ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 40.94 กรัม วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของ โพลีแซคคาไรด์ ไอออนและฟอสเฟต ไอออนคิดเป็น 6.48 และ 10.63 % ตามลำดับ โดยมีธาตุอาหารหลักทั้งหมดรวมกันแล้วมีค่า 17.11% ซึ่งจัดเป็นปุ๋ยสูตรกลาง และค่าพีเอชของสารละลาย โพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 4.51 เมื่อวิเคราะห์กลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ผ่านการบำบัดเทียบกับกลีเซอรอลมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.337-2545 ในระดับชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม พบว่า กลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่ผ่านการบำบัดเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด กล่าวคือ ลักษณะของกลีเซอรอลไม่มีสีและไม่มีกลิ่นแปลกปลอม โดยมีปริมาณกลีเซอรอล 98.99% ความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.2620 ความเป็นกรดหรือความเป็นด่างเท่ากับ 0.0184 meq/100 g ปริมาณเถ้าซัลเฟตเท่ากับ 0.01%

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในกระบวนการแยกเมทานอล อาจจะใช้เครื่องระเหยในระบบต่อเนื่อง เพื่อความรวดเร็วในการกลั่นเมทานอลและเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกเมทานอลได้ดียิ่งขึ้น

5.2.2 การจัดเก็บกลีเซอรอลดิบและบริสุทธิ์ ควรจัดเก็บให้มิดชิดและใช้ฝาปิดให้สนิท เนื่องจากกลีเซอรอลสามารถดูดความชื้นได้ง่าย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ โดยเฉพาะการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำ และสำหรับกลีเซอรอลดิบจะทำให้เมทานอลที่เจือปนอยู่ระเหยออกมาได้ง่าย ทำให้เมทานอลที่ได้จากการกลั่นมีปริมาณน้อย ซึ่งอาจจะไม่คุ้มทุนต่อการกลั่นเมทานอลออกจากกลีเซอรอลดิบ

5.2.3 การปรับพีเอชด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ควรจดบันทึกปริมาณของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ เพื่อสะดวกต่อการเตรียมสารเคมีและการคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของกลีเซอรอลและตะกอนของสารประกอบ โพลีแซคคาไรด์ต่อไป และการปรับพีเอชควรใช้กระดาษพีเอชแทนการใช้พีเอชมิเตอร์ เนื่องจากความหนืดของกลีเซอรอลอาจจะมีผลต่อการวัดค่าพีเอชกล่าวคือ ความหนืดจะทำให้โปรตอนวิ่งเข้าหาหัววัดได้ไม่สะดวก ทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้

5.2.4 ในการทดลองหลังขั้นตอนการปรับพีเอชและทำการแยกตะกอนของสารประกอบ โพลีแซคคาไรด์แล้ว จะพบว่ายังมีตะกอนของสารประกอบ โพลีแซคคาไรด์หลงเหลืออยู่ จึงทำให้ปริมาณตะกอน โพลีแซคคาไรด์ที่ได้น้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นควรจะหาวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จะทำให้ตะกอนโพแทสเซียมตกตะกอนให้ได้มากที่สุดและใช้เวลาน้อย เพื่อความคุ้มค่าสำหรับการลงทุนในบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์

5.2.5 ควรศึกษาหาวิธีการแยกชั้นกรดไขมันออกจากชั้นกลีเซอรอล ในขั้นตอนการกำจัดต่างด้วยกรดเพิ่มเติม เพื่อกำจัดกรดไขมันออกจากกลีเซอรอลให้ได้มากที่สุด เช่น การนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะทำให้ชั้นของกรดไขมันแข็งตัวแยกชั้นกับกลีเซอรอลได้อย่างชัดเจน เนื่องจากกลีเซอรอลมีจุดเยือกแข็งที่อุณหภูมิ 18.17 องศาเซลเซียส และทำให้การแยกในเชิงกายภาพทำได้ง่ายขึ้น

5.2.6 ในขั้นตอนการกลั่นกลีเซอรอลด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดัน พบว่า น้ำจะระเหยและควบแน่นลงในขวดก้นกลมก่อนกลีเซอรอล ทำให้กลีเซอรอลที่ได้จากการกลั่นมีน้ำปนเปื้อนอยู่ กลีเซอรอลจึงมีปริมาณน้ำสูงขึ้น และจะต้องเสียเวลาที่จะต้องกลับมาจะเหยน้ำออกไป ดังนั้นควรจะเลือกอุปกรณ์เครื่องกลั่นที่สามารถแยกน้ำได้หรือสามารถถอดขวดรองรับส่วนที่กลั่นออกได้ เพื่อความสะดวกในการบำบัดขั้นต่อไป

5.2.7 เฮกเซนซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายในขั้นตอนการสกัด สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการนำไปกลั่นที่อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส เนื่องจากเฮกเซนมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนและลดของเสียอันเกิดจากกระบวนการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ได้

5.2.8 จากการคิดต้นทุนการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ (ภาคผนวก ข) โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 48 ชั่วโมงต่อ 1 ชุดการทดลอง เมื่อไม่คิดค่าแรงต้นทุนจะเท่ากับ 10.32 บาทต่อกลีเซอรอลบริสุทธิ์ 1 กรัม แสดงให้เห็นว่าต้นทุนที่ใช้้นค่อนข้างแพง แต่จากกระบวนการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์นอกจากจะได้กลีเซอรอลบริสุทธิ์แล้ว ยังได้เมทานอลและสารประกอบของโพแทสเซียมฟอสเฟตเป็นผลพลอยได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลและลดการทิ้งของเสียสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กัญญา บุญยเกียรติ และสุกัญญา มากมี. 2544. “ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล.” วารสารวิทยาศาสตร์, พฤษภาคม-มิถุนายน. หน้า 148-152.
- ก่อฤกษ์ เชื้อวงว่อง และวีระชัย โครตคำหาร. 2544. “การศึกษาเบื้องต้นการทำกลีเซอรอลจากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เกศรา นุตาลัย และคณะ. 2532. การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากดินพुरुในห้องปฏิบัติการ. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กันยายน-ตุลาคม.
- กรมธุรกิจพลังงานกระทรวงพลังงาน. วารสารโลกพลังงาน. [Online]. เข้าถึงได้จาก <http://www.region6.m-energy.go.th/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=35>. 2538.
- รัชชัย ศรีวิบูลย์. 2541. เคมีวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : สำนักงานมหาวิทยาลัยรามคำแหง. หน้า 435-490.
- ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2539. เทคนิคทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 4 : สำนักพิมพ์ประกายพริ้ง. กรุงเทพฯ.
- พิมพ์ร สีสภาพพิสิฐ. 2536. อิมัลชันทางเครื่องสำอาง. เชียงใหม่ : โครงการตำรา งานส่งเสริมการวิจัยและตำรา กองบริการการศึกษา สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 135-137.
- ศิริวรรณ บุรีคำ. “ไบโอดีเซล : ทางเลือกใหม่ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิง.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.clgc.rdi.ku.ac.th/newsletter/new15_2/biodiesel.html. 2004.
- สุวรรณ ไชยสิทธิ์. 2539. ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2538. คาร์บอนกัมมันต์ : มอก.900. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2545. กลีเซอรอลบริสุทธิ์ : มอก.337. กรุงเทพฯ.
- อรุณี กงศักดิ์ไพศาล และคณะ. 2524. เคมีเกษตร. โครงการตำราคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ICIS pricing, Glycerine Europe. [Online]. เข้าถึงได้จาก
 : http://www.icispricing.com/il_shared/Samples/SubPage99.asp. 2550.
- Barbara, E. et. al. 1994. **Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemical**. 5th Ed. Germany: VCH. vol. A12, pp. 477-489.
- Deffeyes, K.S. **Beyond Oil** : The View from Hubbert's Peak. [Online]. เข้าถึงได้จาก
 : http://www.oilcrisis.com/laherrere/Deffeyes_comments.pdf. 2002.
- Hazimah, A.H. et. al. 2003. "Recovery of Glycerol and Diglycerol from Glycerol Pitch." *Journal of Oil Palm Research*, vol. 15, no. 1, June. pp. 1-5.
- Joshua Tickell. 2000. **From the Fryer to the Fuel Tank; The Complete Guide to Using Vegetable Oil as an Alternative Fuel**. 3rd Ed. Australia : Fast Books. pp. 69.
- Othmer Kirk. 1997. **Encyclopedia of Chemical Technology**. New York : John Wiley & Sons. vol. 12, pp. 681-694.
- Ooi, T.L. et. al. 2001. "Crude Glycerine Recovery from Glycerol residue Waste from a Palm Kernel Oil Methyl Ester Plant." *Journal of Oil Palm Research*. vol. 13, no. 2, December. pp. 16-22.
- Pachauri, N. et. al "Value-added Utilization of Crude Glycerol from Biodiesel Production: A Survey of Current Research Activities." [Online].
 เข้าถึงได้จาก : <http://www.webpages.uidaho.edu/~bhc/pdfs/asabe066223.pdf>. 2006.
- Hui Y.H. 1996. **Baile's Industrial Oil and Fat Products**. 5th Ed. New York : John Wiley & Sons. vol. 4, pp. 275-308.
- Young, K.C. et. al. 2001. "Refining of Crude Glycerine Recovered from Glycerol Residue by Simple Vacuum Distillation." *Journal of Oil Palm Research*. vol.13, no. 2, December. pp. 39-44.

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ก.1 ผลการทดลองจากการบำบัดกลีเซอรอลบริสุทธิ์ด้วย 5 ขั้นตอนในสภาวะที่เหมาะสม

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองการกลั่นเมทานอลและปรับค่าพีเอชเป็น 5 ด้วยกรดฟอสฟอริก

เข้มข้น 1.0 โมลาร์

- โพแทสเซียมฟอสเฟต มีมวลโมเลกุล	เท่ากับ	212	g/mol
- มีโพแทสเซียม	เท่ากับ	117	g/mol
- มีฟอสเฟต	เท่ากับ	95	g/mol
- มีเปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมฟอสเฟต	เท่ากับ	86.03	%

ชุด ที่	หมาย เลข	น้ำหนัก กลีเซอรอล ดิบ (g)	น้ำหนัก เมทานอล (g)	% โดย น้ำหนัก ของเมทานอล	น้ำหนัก K_3PO_4 (g)	% K^+	% PO_4^{3-}	ค่าพีเอช ของ K_3PO_4
1	1	300.17	20.11	6.70	42.17	6.67	10.95	4.48
	2	300.02	19.32	6.44	41.15	6.51	10.69	4.50
	3	300.15	19.74	6.58	39.31	6.22	10.20	4.47
	4	300.02	21.42	7.14	40.02	6.33	10.39	4.51
	5	300.01	22.27	7.42	43.15	6.83	11.21	4.50
	6	300.15	23.75	7.91	43.62	6.90	11.32	4.52
	7	300.01	19.67	6.56	39.70	6.28	10.31	4.49
2	8	300.05	20.04	6.68	41.83	6.62	10.86	4.50
	9	300.03	19.97	6.66	38.42	6.08	9.98	4.51
	10	300.09	21.58	7.19	40.51	6.41	10.52	4.55
	11	300.01	18.36	6.12	39.71	6.28	10.31	4.50
	12	300.16	19.82	6.60	45.08	7.13	11.70	4.54
	13	300.21	19.01	6.33	44.11	6.98	11.45	4.51
	14	300.14	22.04	7.34	40.10	6.34	10.41	4.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

ชุดที่	หมายเลข	น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ (g)	น้ำหนักเมทานอล (g)	% โดยน้ำหนักของเมทานอล	น้ำหนัก K_3PO_4 (g)	% K^+	% PO_4^{3-}	ค่าพีเอชของ K_3PO_4
3	15	300.01	20.08	6.69	39.33	6.22	10.21	4.50
	16	300.17	21.84	7.28	40.25	6.37	10.45	4.51
	17	300.05	19.02	6.34	40.78	6.45	10.59	4.48
	18	300.04	20.93	6.98	41.03	6.49	10.65	4.53
	19	300.17	18.74	6.24	39.81	6.30	10.33	4.50
	20	300.01	19.16	6.39	40.06	6.34	10.40	4.49
	21	300.14	18.29	6.09	39.53	6.25	10.26	4.52
เฉลี่ย		300.09	20.25	6.75	40.94	6.48	10.63	4.51
S.D.		0.07	1.44	0.48	1.77	0.28	0.46	0.02

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ด้วย 5 ขั้นตอน ในสภาวะที่เหมาะสม

ชุดที่	หมายเลข	น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ (g)	น้ำหนักกลีเซอรอล (g)						น้ำหนักที่เหลือจากการกลั่น (g)	% โดยน้ำหนักกลีเซอรอลชั้นที่ 5 (g)
			ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	รวมน้ำหนักชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5		
1	1	300.17	284.12	205.72	120.17	879.73	649.32	562.07	79.94	26.76
	2	300.02	285.01	201.19	132.26					
	3	300.15	279.84	196.10	127.45					
	4	300.02	284.16	220.74	120.19					
	5	300.01	283.45	203.19	130.12					
	6	300.15	284.73	210.76	120.08					
	7	300.01	283.47	213.83	129.46					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

ชุด ที่	หมาย เลข	น้ำหนัก กลีเซอ- รอลดิบ (g)	น้ำหนักกลีเซอรอล (g)						น้ำหนัก ที่เหลือ จากการ กลั่น(g)	% โดย น้ำหนัก กลีเซอรอล ชั้นที่ 5 (g)
			ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	รวม น้ำหนัก ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5		
2	8	300.05	287.41	205.84	128.92	882.42	628.91	544.36	80.27	25.91
	9	300.03	285.49	204.09	122.52					
	10	300.09	278.94	199.32	124.89					
	11	300.01	283.24	206.81	120.08					
	12	300.16	281.09	206.10	129.74					
	13	300.21	287.54	195.28	125.81					
	14	300.14	286.07	216.78	130.46					
3	15	300.01	286.71	198.45	124.86	883.66	617.48	539.04	77.40	25.66
	16	300.17	286.12	201.08	126.37					
	17	300.05	284.37	236.68	125.03					
	18	300.04	286.91	217.82	128.41					
	19	300.17	287.34	209.43	126.04					
	20	300.01	289.87	199.29	123.08					
	21	300.14	287.40	216.07	129.87					
เฉลี่ย		300.09	284.92	207.84	125.99	881.94	631.90	548.49	79.52	26.11
S.D.		0.07	2.69	9.90	3.84	2.01	16.13	12.06	1.57	0.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลร้อยละโดยน้ำหนัก

หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย โดยการไทเทรตกับโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1250 M

- ชั่ง โซเดียมไฮดรอกไซด์ = 4.9965 g ละลายในน้ำกลั่น 1000 mL
(น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 39.997 g/mol)
- ชั่ง โพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต = 2.5529 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 mL
(น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 204.22 g/mol)
- สารละลายโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต มีความเข้มข้น เท่ากับ 0.1250 M
- ไทเทรตสารละลายโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต ปริมาตร 10 mL ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- อินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด
- จุดยุติสารละลายสีเปลี่ยนเป็นสีชมพู

ตารางที่ ก.3 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตกับโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต

ครั้งที่	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (mL)		
	ก่อนไทเทรต	หลังไทเทรต	ปริมาตรที่ใช้ ณ จุดยุติ
1	6.40	16.40	10.00
2	16.40	26.40	10.00
3	26.40	36.50	10.10
		เฉลี่ย	10.03

การคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (M)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$C_1(10.03 \text{ mL}) = (0.125 \text{ M})(10 \text{ mL})$$

$$C_1 = 0.1246 \text{ M}$$

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 0.1246 M

ตารางที่ ก.4 การไทเทรตหาปริมาณกลีเซอรอลร้อยละโดยน้ำหนัก โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์
เข้มข้น 0.1246 M

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก กลีเซอรอล (g)	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1246 M (mL)			ปริมาณกลี- เซอรอล ร้อยละโดย น้ำหนัก	เฉลี่ย	S.D.
			ก่อน ไทเทรต	หลัง ไทเทรต	ปริมาตรที่ ใช้ ณ จุดยุติ			
แบลงค์	1	-	0.00	4.20	4.20	-	-	-
	2	-	5.60	9.70	4.10	-	-	-
	3	-	10.00	14.10	4.10	-	-	-
กลีเซอรอล ดิบ	1	0.7686	0.00	47.45	47.45	64.66	65.15	0.55
	2	0.7703	0.00	47.80	47.80	65.04		
	3	0.7900	0.00	49.40	49.40	65.74		
กลีเซอรอล ชั้นที่ 3	1	0.5897	0.00	47.95	47.95	85.25	85.21	0.08
	2	0.5870	0.00	47.75	47.75	85.25		
	3	0.5886	0.00	47.80	47.80	85.12		
กลีเซอรอล ชั้นที่ 5	1	0.5056	0.00	47.70	47.70	98.87	98.99	0.19
	2	0.5066	0.00	47.80	47.80	98.90		
	3	0.5073	0.00	48.00	48.00	99.21		

ตัวอย่างการคำนวณ

หาปริมาณกลีเซอรอลของกลีเซอรอลดิบ ครั้งที่ 1

$$\text{ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{(47.45 - 4.13) \times 0.1246 \times 9.209}{0.7686}$$

$$= 64.66$$

ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละโดยน้ำหนัก ของกลีเซอรอลดิบ ครั้งที่ 1 เท่ากับ 64.66

ก.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าด้วยวิธีแกรวิเมตรี

ตารางที่ ก.5 การหาปริมาณเถ้าของกลีเซอรอล โดยใช้วิธีแกรวิเมตรี

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ถ้วยเปล่า (g)	น้ำหนักถ้วย กับสารตัวอย่าง (g)	น้ำหนัก ถ้วยกับเถ้า (g)	ปริมาณเถ้า ร้อยละโดย น้ำหนัก	เฉลี่ย	S.D.
กลีเซอรอลดิบ	1	32.1128	34.1378	32.2489	6.72	7.15	0.83
	2	30.9058	32.9217	31.0393	6.62		
	3	31.6397	33.6868	31.8056	8.10		
กลีเซอรอล บริสุทธิ์(ชั้นที่ 5)	1	46.1160	48.1415	46.1168	0.04	0.04	0.00
	2	52.5294	54.6137	52.5302	0.04		
	3	42.2341	44.2734	42.2349	0.04		

ตัวอย่างการคำนวณ

หาปริมาณเถ้าของกลีเซอรอลดิบครั้งที่ 1

ปริมาณเถ้า ร้อยละโดยน้ำหนัก

$$\begin{aligned}
 &= \left[\frac{\text{น้ำหนักถ้วยกับเถ้า} - \text{น้ำหนักถ้วยเปล่า}}{\text{น้ำหนักถ้วยกับสารตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักถ้วยเปล่า}} \right] \times 100 \\
 &= \left[\frac{32.2489 - 32.1128}{34.1378 - 32.1128} \right] \times 100 \\
 &= 6.72
 \end{aligned}$$

ปริมาณเถ้า ร้อยละโดยน้ำหนัก ของกลีเซอรอลดิบครั้งที่ 1 เท่ากับ 6.72

ก.4 การวิเคราะห์หาความชื้นหรือน้ำในกลีเซอรอลดิบ

ตารางที่ ก.6 การหาความชื้นหรือน้ำในกลีเซอรอลดิบ โดยวิธีการระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	น้ำหนัก ถ้วยเปล่า (g)	น้ำหนักสาร ก่อนระเหย (g)	น้ำหนักถ้วยกับ สารหลังระเหย (g)	น้ำหนักสาร หลังระเหย (g)	ปริมาณ ความชื้น ร้อยละโดยน้ำหนัก
1	24.4459	6.0117	29.8029	5.3570	10.89
2	31.9611	6.0175	37.2706	5.3095	11.77
3	32.1176	6.0051	37.4901	5.3725	10.53
เฉลี่ย					11.06
S.D.					0.64

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณความชื้น ครั้งที่ 1

$$\text{ปริมาณความชื้น ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \left[\frac{6.0117 - 5.3570}{6.0117} \right] \times 100$$

$$= 10.89$$

ปริมาณความชื้นร้อยละโดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1 เท่ากับ 10.89

ก.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล (MONG)

การคำนวณ

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล ของกลีเซอรอลดิบ

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล ร้อยละโดยน้ำหนัก

$$= 100 - (65.15 + 7.15 + 11.06)$$

$$= 16.64$$

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล ร้อยละโดยน้ำหนัก ของกลีเซอรอลดิบเท่ากับ 16.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.6 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนโดยนำหน้าระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ และ
เวลาที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีออกจากกลีเซอรอล

ตารางที่ ก.7 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลที่ไม่ผ่านการกำจัดสีด้วยคาร์บอนกัมมันต์

Ordinate No.	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
	% T			% T			% T		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
2	7.7	10.8	6.3	6.4	9.7	5.1	7.9	8.5	6.1
5	11.1	14.2	7.3	10.5	15.7	7.8	12.6	11.3	9.5
8	17.5	20.1	7.9	21.0	19.4	8.1	19.0	19.8	10.4
11	20.7	21.7	8.8	24.5	24.8	9.4	20.4	20.1	11.5
14	28.1	26.4	9.4	24.1	25.4	10.0	21.0	22.8	15.3
17	29.9	28.0	10.2	32.4	29.1	11.4	24.6	25.9	15.9
20	31.8	30.5	11.0	30.1	30.0	12.7	30.5	31.4	19.1
23	33.4	31.7	12.0	31.5	31.9	16.9	31.8	36.5	20.0
26	35.9	36.0	13.6	35.8	36.5	20.4	35.6	37.6	20.1
29	39.8	40.2	16.5	40.0	40.4	26.1	40.0	42.9	20.0
รวม	255.90	259.60	103.00	256.30	262.90	127.90	243.40	256.80	147.90
tris trimulus values	25.09	25.96	12.17	25.13	26.29	15.11	23.87	25.68	17.47
สัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.40			0.38			0.36	
	y	0.41			0.40			0.38	
เฉลี่ยสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.38							
	y	0.40							
เฉลี่ยค่า Y (%ความสว่าง)		25.98							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วน
ระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ เป็น 1:2 เวลา 1 วัน

Ordinate No.	ขวดที่ 1			ขวดที่ 2			ขวดที่ 3		
	% T			% T			% T		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
2	8.0	8.1	6.5	6.5	12.1	5.5	5.8	9.4	5.6
5	9.7	10.3	7.4	12.3	13.7	6.1	7.0	11.8	6.1
8	17.4	18.6	9.1	16.4	20.4	7.2	12.4	15.6	10.3
11	18.5	21.0	10.2	25.3	27.3	10.6	13.9	20.7	11.6
14	23.2	22.7	11.7	26.7	30.1	12.1	20.1	21.4	14.1
17	26.8	25.9	12.4	30.1	32.4	13.4	24.3	22.1	18.3
20	28.3	30.4	14.9	31.2	34.7	15.2	31.4	29.3	20.4
23	34.0	35.1	18.0	32.5	34.1	20.3	30.3	32.7	21.9
26	35.7	36.2	20.1	34.7	35.4	21.5	35.7	35.9	26.1
29	36.9	40.5	21.2	40.1	41.7	22.9	38.1	41.8	28.4
รวม	238.50	248.80	131.50	255.80	281.90	134.80	219.00	240.70	162.80
tris trimulus values	23.39	24.88	15.54	25.08	28.19	15.93	21.48	24.07	19.23
สัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.37		0.36			0.33		
	y	0.39		0.41			0.37		
เฉลี่ยสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.35							
	y	0.39							
เฉลี่ยค่า Y (%ความสว่าง)	25.17								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วน
ระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ เป็น 1:4 เวลา 1 วัน

Ordinate No.	ขวดที่ 1			ขวดที่ 2			ขวดที่ 3		
	% T			% T			% T		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
2	86.5	89.2	84.5	80.9	86.8	73.8	84.3	88.8	83.0
5	88.8	90.7	85.8	85.2	87.6	77.5	97.7	90.0	83.1
8	91.1	90.9	86	88.6	88.9	83.1	90.3	90.6	86.6
11	91.2	90.7	87.1	89.5	90.1	83.4	91.5	91.0	85.9
14	92.2	91.1	87.7	90.1	91.2	84.1	91.8	90.7	86.8
17	92.2	91.8	80.1	90.1	92.5	89.4	92.1	91.3	87.3
20	92.3	91.3	81.4	92.5	93.1	90.1	91.9	91.9	89.4
23	91.8	92.1	87.0	93.4	93.5	91.7	92.0	92.0	90.0
26	92.4	93.5	88.2	93.8	93.7	91.8	92.1	92.3	91.1
29	93.2	93.8	89.6	94.1	94.6	91.2	92.8	92.8	91.4
ผลรวมของ % T	911.70	915.10	857.40	898.20	912.00	856.10	916.50	911.40	874.60
tris trimulus values	89.40	91.51	101.29	88.08	91.20	101.14	89.87	91.14	103.33
สัมประสิทธิ์ ไตร โคมาทิก	x	0.32		0.31			0.32		
	y	0.32		0.33			0.32		
เฉลี่ยสัมประสิทธิ์ ไตร โคมาทิก	x	0.32							
	y	0.32							
เฉลี่ยค่า Y (%ความสว่าง)	91.28								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วน
ระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ เป็น 1:6 เวลา 1 วัน

Ordinate No.	ขวดที่ 1			ขวดที่ 2			ขวดที่ 3		
	% T			% T			% T		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
2	63.2	63.3	60.2	60.1	61.5	55.1	58.1	60.5	57.0
5	64.4	65.0	63.6	61.2	61.9	57.3	60.7	62.7	59.4
8	64.5	63.9	64.0	63.7	64.0	60.1	61.8	64.8	60.7
11	65.0	64.0	63.6	64.7	64.9	60.9	61.2	64.7	60.3
14	64.3	65.1	63.7	64.9	65.8	61.2	64.3	65.2	60.0
17	64.8	64.8	64.4	65.1	66.4	63.2	65.1	66.3	61.2
20	66.2	65.7	64.7	65.4	66.9	63.0	66.0	66.9	63.4
23	68.3	65.9	65.0	66.1	67.1	64.7	61.8	67.8	63.6
26	69.0	68.7	65.1	67.3	69.4	65.8	64.8	67.4	64.0
29	68.3	69.1	66.4	67.8	70.1	66.0	65.4	68.0	64.2
ผลรวมของ % T	658.00	655.50	640.70	646.30	658.00	617.30	629.20	654.30	613.80
tris trimulus values	64.52	65.55	75.69	63.38	65.80	72.93	61.70	65.43	72.51
ค่าสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.31		0.31			0.31		
	y	0.32		0.33			0.33		
เฉลี่ยสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.31							
	y	0.33							
เฉลี่ยค่า Y (%ความสว่าง)	65.59								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วน
ระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ เป็น 1:2 เวลา 2 วัน

Ordinate No.	ขวดที่ 1			ขวดที่ 2			ขวดที่ 3		
	% T			% T			% T		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
2	11.2	13.5	10.3	10.2	15.8	11.0	12.4	15.8	10.1
5	13.4	15.4	11.2	11.4	19.4	11.2	16.9	20.7	15.6
8	15.6	16.7	12.8	15.8	20.4	13.5	18.4	21.9	18.6
11	20.4	22.8	16.4	19.2	21.3	15.7	20.7	25	20.1
14	24.1	25.6	18.7	24.7	24.6	19.4	24.3	29.4	21.9
17	26.3	27.9	21.4	26.8	29.8	20.7	26.1	34.2	21.1
20	31.8	32.7	28.3	27.2	30.4	21.3	27.0	37.1	24.6
23	36.5	35.6	28.4	30.1	32.7	26.4	35.6	38.0	30.1
26	39.7	41.8	30.7	34.0	37.9	28.7	39.7	45.0	31.2
29	40.7	43.7	34.9	39.7	42.1	30.4	43.0	43.7	34.7
ผลรวมของ % T	259.70	275.70	213.10	239.10	274.40	198.30	264.10	310.80	228.00
tris trimulus values	25.47	27.57	25.18	23.45	27.44	23.43	25.90	31.08	26.94
ค่าสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.33		0.32			0.31		
	y	0.35		0.37			0.37		
เฉลี่ยสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.32							
	y	0.36							
เฉลี่ยค่า Y (%ความสว่าง)	28.70								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วน
ระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ เป็น 1:4 เวลา 2 วัน

Ordinate No.	ขวดที่ 1			ขวดที่ 2			ขวดที่ 3		
	% T			% T			% T		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
2	87.2	87.0	85.1	86.7	87.2	70.2	82.9	87.2	70.5
5	86.5	87.2	85.3	87.0	87.9	75.9	83.5	81.3	71.0
8	88.1	88.4	86.4	87.6	88.0	82.3	84.1	86.2	75.8
11	89.1	89.5	87.3	89.2	89.9	84.6	85.1	86.6	79.2
14	90.4	91.6	89.9	90.1	91.8	87.2	85.3	89.2	80.4
17	91.5	92.0	90.0	91.3	91.5	88.4	85.5	89.5	81.3
20	91.4	92.9	91.8	91.4	92.0	89.1	89.4	90.1	82.8
23	92.5	93.1	91.9	91.9	92.3	90.7	90.9	91.1	82.6
26	92.4	93.4	91.5	92.5	92.0	90.8	90.6	91.6	88.3
29	92.7	93.6	92.1	92.6	93.5	90.3	90.8	91.4	89.2
ผลรวมของ % T	901.80	908.70	891.30	900.30	906.10	849.50	868.10	884.20	801.10
tris trimulus values	88.43	90.87	105.30	88.28	90.61	100.36	85.13	88.42	94.64
ค่าสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.31		0.32			0.32		
	y	0.32		0.32			0.33		
เฉลี่ยสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.32							
	y	0.32							
เฉลี่ยค่า Y (%ความสว่าง)	89.97								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลผ่านการกำจัดสีด้วยอัตราส่วน
ระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ เป็น 1:6 เวลา 2 วัน

Ordinate No.	ขวดที่ 1			ขวดที่ 2			ขวดที่ 3		
	% T			% T			% T		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
2	70.2	74.2	60.6	71.3	72.5	70.0	70.1	71.3	60.1
5	71.4	74.7	64.5	72.6	73.6	70.6	71.2	72.5	62.3
8	72.6	74.1	95.7	73.4	73.8	70.8	71.5	72.6	64.8
11	75.6	75.9	68.7	70.4	74.0	72.7	75.6	74.3	65.7
14	74.7	76.1	69.2	75.6	75.2	73.3	76.1	75.8	68.9
17	75.9	77.9	70.3	78.9	75.6	73.5	77.2	78.4	70.1
20	76.1	78.2	71.5	80.1	79.1	74.8	79.5	79.8	70.4
23	80.3	80.4	75.4	81.3	80.7	75.9	80.0	80.9	72.6
26	80.4	80.1	78.3	82.1	83.0	78.1	80.1	81.3	72.8
29	81.2	82.9	79.1	83.0	83.4	78.4	80.4	82.7	78.1
ผลรวมของ % T	758.40	774.50	733.30	768.70	770.90	738.10	761.70	769.60	685.80
tris trimulus values	74.37	77.45	86.63	75.38	77.09	87.20	74.69	76.96	81.02
ค่าสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.31		0.31			0.32		
	y	0.32		0.32			0.33		
เฉลี่ยสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.31							
	y	0.32							
เฉลี่ยค่า Y (%ความสว่าง)	77.17								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.7 การวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ชั้นที่ 5 เมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนัก
ระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ เป็น 1:4 เวลา 1 วัน เป็นสถานะที่เหมาะสม

ตารางที่ ก.14 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ชั้นที่ 5 เมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนัก
ระหว่างกลีเซอรอลต่อคาร์บอนกัมมันต์ เป็น 1:4 เวลา 1 วัน เทียบกับกลีเซอรอลดิบ

Ordinate No.	กลีเซอรอลดิบ			กลีเซอรอลชั้นที่ 5		
	% T			% T		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2	7.9	11.2	7.0	91.5	92.7	90.5
5	10.8	13.1	7.5	91.0	94.2	91.3
8	18.4	19.4	8.4	94.0	93.7	91.7
11	21.3	21.9	10.1	95.1	94.2	91.9
14	23.6	25.5	11.8	95.4	96.1	92.1
17	29.6	29.9	15.7	95.4	94.5	92.5
20	31.7	30.0	16.2	96.5	95.1	92.7
23	32.6	32.5	15.9	97.1	95.4	93.4
26	35.0	35.6	16.3	97.4	97.1	93.8
29	38.4	40.8	17.0	97.5	98.2	94.1
ผลรวมของ % T	249.30	259.90	125.90	950.90	951.20	924.00
tris trimulus values	24.45	25.99	14.87	93.25	95.12	109.16
ค่าสัมประสิทธิ์ ไตรโคมาติก	x	0.37		0.31		
	y	0.40		0.32		
ค่า Y (%ความสว่าง)	25.99			95.12		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.8 การวิเคราะห์หาความหนาแน่นสัมพัทธ์

ตารางที่ ก.15 การหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ชั้นที่ 5
ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์รวมกับ		ค่าแก้ไขของ แรงลอยตัว $A = p_a \times m_1$	ความหนาแน่น สัมพัทธ์
	น้ำกลั่น (g)	กลีเซอรอลบริสุทธิ์ ชั้นที่ 5 (g)		
1	44.83	56.66	0.0538	1.2613
2	44.80	56.68	0.0538	1.2626
3	44.82	56.69	0.0538	1.2622
			เฉลี่ย	1.2620
			S.D.	0.00

การคำนวณหาความหนาแน่นสัมพัทธ์

กำหนดให้ p_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ ประมาณ 0.0012 กรัมต่อมิลลิเมตร

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่าแก้ไขของแรงลอยตัว (buoyancy correction , A)

$$\begin{aligned}
 A &= p_a \times m_1 \\
 &= (0.0012)(44.83) \\
 &= 0.0538
 \end{aligned}$$

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (D) ครั้งที่ 1

$$\begin{aligned}
 D &= \left[\frac{m_2 + A}{m_1 + A} \right] \times p_e \\
 D &= \left[\frac{56.66 + 0.0538}{44.83 + 0.0538} \right] \times 0.9982 \\
 &= 1.2613
 \end{aligned}$$

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (D) ครั้งที่ 1 เท่ากับ 1.2613

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.9 การวิเคราะห์หาความเป็นต่างหรือกรดของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ขั้นที่ 5

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M

หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย โดยการไทเทรตกับโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M

- ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 3.9300 g ละลายในน้ำกลั่น 1000 mL
(น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 39.997 g/mol)
- ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เท่ากับ 2.0209 g ละลายในน้ำกลั่น 100 mL
(น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 204.22 g/mol)
- โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต มีความเข้มข้น เท่ากับ 0.0990 M
- ไทเทรตสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ปริมาตร 10 mL ด้วย
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- อินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาเลอิน 2-3 หยด
- จุดยุติสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู

ตารางที่ ก.16 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการ ไทเทรต
โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

ครั้งที่	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (mL)		
	ก่อนไทเทรต	หลังไทเทรต	ปริมาตรที่ใช้ ณ จุดยุติ
1	0.00	9.75	9.75
2	9.75	19.55	9.80
3	19.55	29.30	9.75
		เฉลี่ย	9.77

การคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (M)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$C_1 (9.77 \text{ mL}) = (0.0990 \text{ M})(10 \text{ mL})$$

$$C_1 = 0.1013 \text{ M}$$

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 0.1013 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.17 การหาความเป็นด่างหรือความเป็นกรดของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ขั้นที่ 5 ด้วย
การไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1013 M

ครั้งที่	น้ำหนักของ กลีเซอรอล ขั้นที่ 5 (g)	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1013 M (mL)		ปริมาตรที่ ใช้ ณ จุดยุติ (mL)	ความเป็นด่างหรือ ความเป็นกรด (meq/100 g)
		ก่อนไทเทรต	หลังไทเทรต		
1	100.38	0.00	1.80	1.80	0.0182
2	100.29	1.80	3.65	1.85	0.0187
3	100.11	4.00	5.80	1.80	0.0182
เฉลี่ย					0.0184
S.D.					0.00

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ความเป็นด่างหรือความเป็นกรด ครั้งที่ 1} &= \frac{1.80 \times 0.1013 \times 10}{100.38} \\ &= 0.0182 \text{ meq} / 100 \text{ g} \end{aligned}$$

ความเป็นด่างหรือความเป็นกรดของครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.0182 meq / 100 g

ก.10 การวิเคราะห์หาปริมาณแฉะด้วยวิธีแกรวิเมตรี

ตารางที่ ก.18 การหาปริมาณแฉะของกลีเซอรอล โดยใช้วิธีแกรวิเมตรี

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ถ้วยเปล่า(g)	น้ำหนักถ้วย กับสารตัวอย่าง(g)	น้ำหนักถ้วย กับแฉะ (g)	ปริมาณแฉะ ร้อยละโดยน้ำหนัก	เฉลี่ย	S.D.
กลีเซอรอล ดิบ	1	32.1229	34.1515	32.2164	4.61	4.51	0.50
	2	30.7186	32.7391	30.7986	3.96		
	3	31.6489	33.6687	31.7489	4.95		
กลีเซอรอล บริสุทธิ์ (ขั้นที่ 5)	1	44.5612	46.6952	44.5614	0.01	0.01	0.00
	2	46.4834	48.5430	46.4836	0.01		
	3	42.6172	44.7093	42.6174	0.01		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

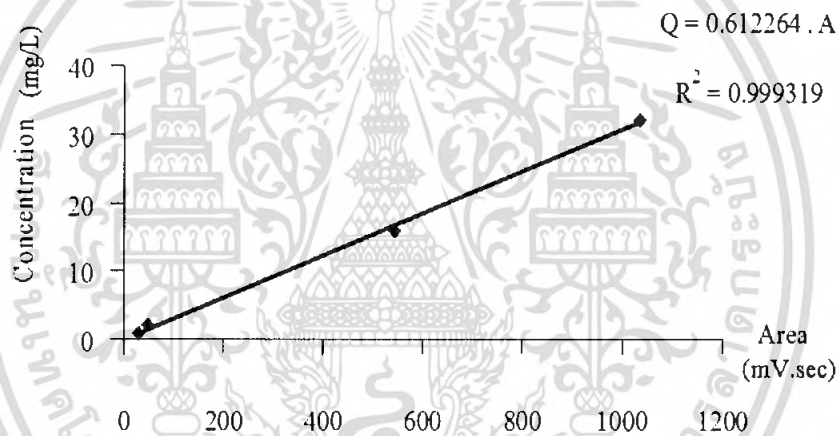
ปริมาณธาตุฟอสเฟตของกลีเซอรอลดิบ ครั้งที่ 1

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณธาตุฟอสเฟต ร้อยละ โดยน้ำหนัก} &= \frac{(32.2164 - 32.1229) \times 100}{34.1515 - 32.1229} \\ &= 4.61 \end{aligned}$$

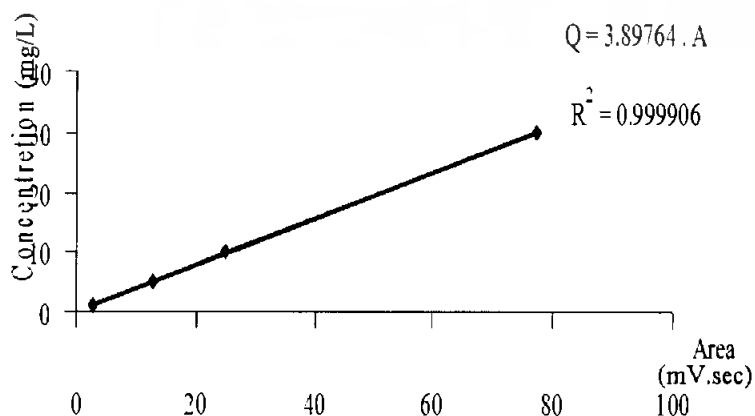
ปริมาณธาตุฟอสเฟตของกลีเซอรอลดิบ ครั้งที่ 1 เท่ากับ 4.61

ก.11 การหาความเข้มข้นของไอออนโพแทสเซียมและฟอสเฟต ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ

กราฟมาตรฐานของฟอสเฟต (PO_4^{3-})



กราฟมาตรฐานของโพแทสเซียม (K^+)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.19 การหาความเข้มข้นของไอออนโพแทสเซียมและฟอสเฟต
ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ

ชุดที่	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้นของไอออน (mg/L)		ความเข้มข้นของ ไอออนทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์ K ₃ PO ₄
			K ⁺	PO ₄ ³⁻		
1	1	0.0257	259.0120	179.8750	438.8870	85.39
	2	0.0247	265.6180	166.6440	432.2620	87.50
	3	0.0249	264.9810	175.8140	440.7950	88.51
2	1	0.0260	273.8220	172.3170	446.1390	85.80
	2	0.0231	241.9660	155.4400	397.4060	86.02
	3	0.0250	268.7740	168.5350	437.3090	87.46
3	1	0.0240	259.3540	165.2670	424.6210	88.46
	2	0.0258	243.8290	167.4300	411.2590	79.70
	3	0.0257	261.7170	177.4000	439.1170	85.43
เฉลี่ย						86.03
S.D.						2.67

ตัวอย่างการคำนวณ

หาความเข้มข้นของเปอร์เซ็นต์ K₃PO₄ ชุดที่ 1 ครั้งที่ 1

การหาความเข้มข้นของไอออนทั้งหมด

$$\begin{aligned} \text{K}_3\text{PO}_4 &= 259.012 + 179.875 \\ &= 438.887 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

สารละลาย 1000 ml มี K₃PO₄ ละลาย 438.887 mg

$$\text{สารละลาย 50 ml มี K}_3\text{PO}_4 \text{ ละลาย } \frac{438.887 \times 50}{1000} = 21.9444 \text{ mg/L}$$

จากการชั่งสารหนัก 0.0257 g จะมี K₃PO₄ 21.9444 x 10⁻³ g

$$\text{จากการชั่งสารหนัก 100 g จะมี K}_3\text{PO}_4 \frac{21.9444 \times 10^{-3} \times 100}{0.0257} = 85.39\%$$

ความเข้มข้นของเปอร์เซ็นต์ K₃PO₄ ชุดที่ 1 ครั้งที่ 1 เท่ากับ 85.39%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

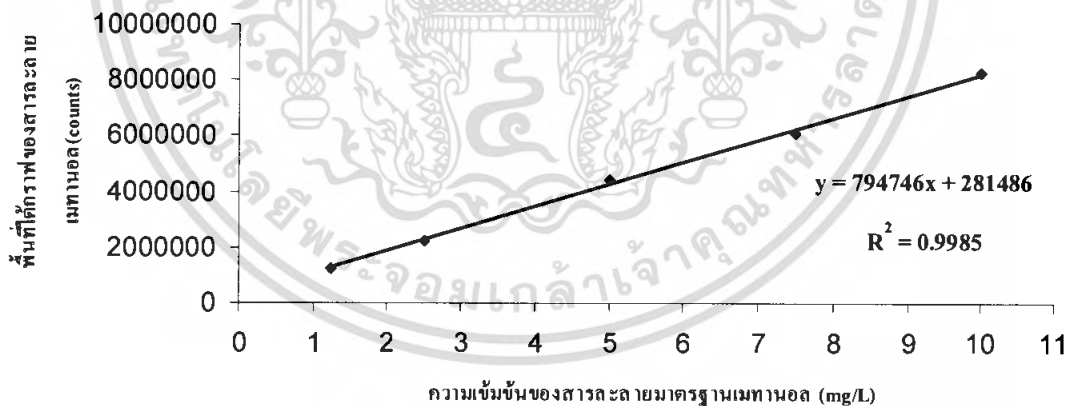
ก.13 การหาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมทานอลในกลีเซอรอลดิบด้วย เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

ตารางที่ ก.20 การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมทานอลมาตรฐานด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

ความเข้มข้นของเมทานอล มาตรฐาน (mg/L)	พื้นที่ใต้กราฟของ สารละลายเมทานอล (counts)
10.0	8244515
7.5	6117345
5.0	4431957
2.5	2252876
1.3	1222831

กราฟมาตรฐานของเมทานอล

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน
เมทานอลกับพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายเมทานอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.21 การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมทานอลในกลีเซอรอลดิบ
ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

สาร ตัวอย่าง	พื้นที่ใต้กราฟของ สารละลายเมทานอล (counts)	ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน เมทานอล (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ของ เมทานอล ที่เจือจาง 5 เท่า	เปอร์เซ็นต์ ของเมทานอล
1	3826452	4.4605	17.9768	89.8842
2	4240552	4.9815	20.0768	100.3839
3	3912618	4.5689	18.4138	92.0689
4	4086686	4.7879	19.2965	96.4825
5	4032729	4.7201	19.0229	95.1144
6	3970978	4.6424	18.7097	93.5487
7	4046475	4.7373	19.0926	95.4629
8	4090535	4.7928	19.3160	96.5801
9	3993420	4.6706	18.8235	94.1177
10	4265220	5.0126	20.2019	101.0093
11	3961464	4.6304	18.6615	93.3075
12	4131191	4.8439	19.5222	97.6110
13	3839864	4.4774	18.0448	90.2242
14	3926394	4.5863	18.4836	92.4182
15	3370624	3.8870	15.6653	78.3264
16	4028225	4.7144	19.0000	95.0002
17	3734937	4.3454	17.5128	87.5638
18	3710112	4.3141	17.3869	86.9343
19	3463802	4.0042	16.1378	80.6890
20	3685863	4.2836	17.2639	86.3195
21	3498672	4.0481	16.3146	81.5732
			เฉลี่ย	91.65
			S.D.	6.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์กาลีเซอรอล

ข.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกาลีเซอรอลร้อยละโดยน้ำหนัก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดเครื่องแก้วสำหรับการไทเทรต
2. เครื่องคนแบบใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer)
3. พีเอชมิเตอร์

สารเคมี

1. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
2. สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต

ละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต 60 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.05 M จำนวน 120 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ถ้าสารละลายขุ่นให้กรองด้วยซินเตอร์กลาสครุชเชิลที่มีขนาดช่อง 15 ถึง 40 ไมโครเมตร ถ่ายใส่ขวดสีน้ำตาลพร้อมจุกแก้วปิดสนิท แล้วเก็บไว้ในที่มืด

3. สารละลายเอทิลีนไกลคอล

ผสมสารละลายเอทิลีนไกลคอล 1 ส่วนกับน้ำกลั่น 1 ส่วน

4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 M
5. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 M
6. โบรโมไทมอลบลูอินดิเคเตอร์

ละลายโบรโมไทมอลบลูที่แห้ง 0.1 กรัม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 M

7. ฟีนอล์ฟทาลีน

8. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1250 M

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1250 M

1. นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ ประมาณ 10 กรัม ซึ่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร และเขย่าให้เข้ากัน

2. นำโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตประมาณ 1 กรัม ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และเติมฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตร

3. นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ข้อ 1) ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนพทาเลต จนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนพทาเลตที่ใช้
4. คำนวณน้ำหนักโดยประมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ต้องใช้เพื่อเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1250 M ให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการ
5. ชั่งน้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 4 ให้มีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรตามที่ต้องการ ปิดจุกและผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1250 M

1. นำโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตประมาณ 1 กรัม ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และเติมฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตร
2. นำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในข้อ 5 จนได้สารละลายสีชมพู
3. บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต
4. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างใส่บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำหนักระหว่าง (41 ± 9) P กรัม เมื่อ P คือ ค่าร้อยละของปริมาณกลีเซอรอลที่คาดว่าจะมีในตัวอย่าง แต่ถ้าไม่ทราบปริมาณกลีเซอรอล ให้คำนวณค่า P เท่ากับ 100 ก่อน แล้วหลังจากได้ผลการวิเคราะห์ จึงเลือกขนาดที่เหมาะสมต่อไป
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร หยดโบรโมไทมอลบลูอินดิเคเตอร์ 5-7 หยด แล้วทำให้เป็นกรดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.1 M (พีเอชไม่น้อยกว่า 3)
3. ทำสารละลายให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.05 M อย่างระมัดระวังจนได้สารละลายสีฟ้าที่ไม่มีสีเขียวปนอยู่เลย ถ้าสีของสารละลายไปรบกวนการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ หรือในตัวอย่างสารที่มีบัพเฟอร์มาก ให้วัดด้วยพีเอชมิเตอร์ แล้วปรับความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 8.1 ± 0.1
4. ทำแบลนด์โดยใช้น้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร แทนตัวอย่างแล้วปฏิบัติเช่นเดียวกันกับข้อ 2 และข้อ 3
5. ปิเปตสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอดेट ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายตัวอย่างในข้อ 1 และแบลนด์ในข้อ 4 แก้วบีกเกอร์เบาๆ แล้วปิดด้วยกระดาษฟิลา นำไปตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง (ไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที เติมสารละลายเอทิลีนไกลคอล 10 มิลลิลิตร แก้วบีกเกอร์เบาๆ แล้งตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที

6. เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 300 มิลลิลิตร และนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้เครื่องวัดพีเอชหาจุดยุติ โดยค่าพีเอชสำหรับเบลงค์ 6.5 ± 0.1 และ 8.1 ± 0.1 สำหรับสารตัวอย่าง แล้วบันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{9.209 \times N(T_1 - T_2)}{W}$$

เมื่อ	N	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1250 M
	T_1	คือ	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไทเทรต กับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
	T_2	คือ	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไทเทรต กับเบลงค์ (มิลลิลิตร)
	W	คือ	น้ำหนักของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ (กรัม)

ข.2 การวิเคราะห์หาปริมาณได้ด้วยวิธีแกรวิเมตรี (Gravimetric)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้อง
2. เตาเผา ควบคุมอุณหภูมิที่ 750 ± 10 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยกระเบื้องใส่ในเตาเผา ควบคุมอุณหภูมิ 750 ± 10 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 นาที
2. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และนำไปชั่งน้ำหนัก
3. เติมสารตัวอย่างลงในถ้วยกระเบื้อง ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน 2 กรัม
4. นำสารตัวอย่างไปเผา ที่อุณหภูมิ 750 ± 10 องศาเซลเซียส ประมาณ 10 นาที
5. นำตัวอย่างออกจากเตาและนำไปใส่ในเคซิเคเตอร์
6. ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องรวมกับตัวอย่าง

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณแร่ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \times 100$$

เมื่อ	m_1	คือ	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเปล่า (กรัม)
	m_2	คือ	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องรวมกับแร่ (กรัม)
	m_3	คือ	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องรวมกับสารตัวอย่าง (กรัม)

ข.3 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นหรือน้ำ ร้อยละโดยน้ำหนัก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้อง
2. ตู้อบสารเคมี ควบคุมอุณหภูมิที่ 105 ± 10 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์

1. นำซามระเหยใส่ในตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิ 105 ± 10 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 นาที
2. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และนำไปชั่งน้ำหนัก
3. เติมสารตัวอย่างลงในซามระเหย และนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน 2 กรัม หรือ 5 กรัม
4. นำสารตัวอย่างไปอบ ที่อุณหภูมิ 105 ± 10 องศาเซลเซียส ประมาณ 10 นาที
5. นำตัวอย่างออกจากเตาและนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์
6. ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องรวมกับตัวอย่าง

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้นหรือน้ำ ร้อยละ โดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักสารก่อนระเหย} - \text{น้ำหนักสารหลังระเหย}}{\text{น้ำหนักก่อนระเหย}} \times 100$$

ข.4 การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล

วิธีคำนวณ

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล (MONG) ร้อยละโดยน้ำหนัก

$$= 100 - (G + A + W)$$

เมื่อ	G	คือ	ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละโดยน้ำหนัก (จากข้อ ข.1)
	A	คือ	ปริมาณเอ็กร้อยละโดยน้ำหนัก (จากข้อ ข.2)
	W	คือ	ปริมาณความชื้นหรือน้ำร้อยละโดยน้ำหนัก (จากข้อ ข.3)

ข.5 การวิเคราะห์หาค่าสี

การหาค่าสีด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตริก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร ช่วงแสง 1 เซนติเมตร หรือน้อยกว่านั้น
2. อุปกรณ์สำหรับกรองแบบลดความดัน
3. ฟิลเตอร์พลาสติก ขนาด 250 มิลลิตร
4. ครุชเบิ้ล รูปทรงแปดเหลี่ยมสำหรับกรองขนาด 40 ไมโครเมตร

วิธีวิเคราะห์

2. การหาลักษณะทางกายภาพ ด้านการยอมให้แสงผ่าน
 - 2.1 ทำความสะอาดเซลล์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (cuvette) ด้วยน้ำยาทำความสะอาดและล้างด้วยน้ำกลั่น ทำความสะอาดผิวภายนอกของเซลล์ด้วยกระดาษสำหรับเช็ดเลนส์
 - 2.2 เปิดเครื่องให้ทำงาน (warm up) อย่างน้อย 10 นาที ใช้กลีเซอรอลบริสุทธิ์เกรดวิเคราะห์เป็นแบลนด์ เพื่อตั้งให้ค่าทรานส์มิตแดนซ์เป็น 100%
 - 2.3 นำตัวอย่างกลีเซอรอลมาวัดค่าทรานส์มิตแดนซ์ (%T) แต่ละความยาวคลื่นดังตารางที่ ข.1 ถ้าต้องการความถูกต้องปานกลางวัดเฉพาะความยาวคลื่นที่มีเครื่องหมายดอกจัน (10 โคออร์ดิเนต) แต่ถ้าต้องการความถูกต้องสูงมากต้องวัดทั้ง 30 โคออร์ดิเนต

ตารางที่ ข.1 โคออร์ดิเนต ที่ต้องการวัดในการวัดสีด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

Ordinate No.	Wavelength (nm)		
	X	Y	Z
1	424.4	465.9	414.1
2*	435.5*	489.5*	422.2*
3	443.9	500.4	426.3
4	452.1	508.7	429.4
5*	461.2	515.2*	432.0*
6	474.0	520.6	434.3
7	531.2	525.4	436.5
8*	544.3*	529.8*	438.6*
9	552.4	533.9	440.6
10	558.7	537.7	442.5
11*	564.1*	541.4*	444.4*
12	568.9	544.9	446.3
13	573.2	548.4	448.2
14*	577.4*	551.8*	450.1*
15	581.3	555.1	452.1
16	585.0	558.5	454.0
17*	588.7*	561.9*	455.9*
18	592.4	565.3	457.9
19	596.0	568.9	459.9
20*	599.6*	572.5*	462.0*
21	603.3	576.4	464.1
22	307.0	480.4	466.3
23*	610.9*	584.8*	468.7*
24	615.0	589.6	471.4
25	619.4	594.8	474.3
26*	624.2*	600.8*	477.7*
27	529.8	607.7	481.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1(ต่อ)

Ordinate No.	Wavelength (nm)		
	X	Y	Z
28	636.6	616.1	487.2
29*	645.9*	627.3*	495.2*
30	663.0	647.4	511.2
แฟกเตอร์ที่นำไปคูณเมื่อใช้ 30 โคออร์ดิเนต			
	0.032 69	0.033 33	0.039 38
แฟกเตอร์ที่นำไปคูณเมื่อใช้ 10 โคออร์ดิเนต			
	0.098 06	0.100 00	0.118 14

* ในการบันทึกผลให้แทรกแต่ละคอลัมน์ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ของแสงที่ผ่านได้ (% transmittance value) ของแต่ละความยาวคลื่น

วิธีคำนวณ

1. การหา tri-stimulus values

หาผลรวม %T ของแต่ละช่วง (X,Y,Z) จากนั้นคูณด้วยแฟกเตอร์ที่เหมาะสมด้านท้ายตาราง เมื่อใช้ 10 หรือ 30 โคออร์ดิเนต) ค่า Y ที่ได้จะเป็น เปอร์เซ็นต์ความสว่าง

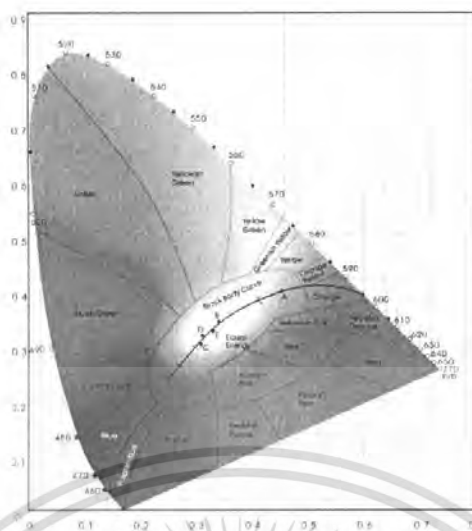
2. หาสัมประสิทธิ์ไตรโครมาติก (x, y)

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

- ผลอดค่า x, y ลงในไดอะแกรมโครมาติซิตี (Chromaticity Diagram) ในรูปที่ ข.1 หาความยาวคลื่นเด่น (ในหน่วยนาโนเมตร) และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ได้โดยตรงจากไดอะแกรม และหาตัวสีจากค่าความยาวคลื่นเด่น จากตารางที่ ข.2

ค่า y



ค่า x

รูปที่ ข.1 ไดอะแกรม โครมาติซิตี (Chromaticity Diagram)

ตารางที่ ข.2 ตัวสีจากความยาวคลื่นที่เด่น

ช่วงความยาวคลื่น (nm)	สี
400-465	ม่วง
465-482	คราม
482-497	น้ำเงินแกมเขียว
467-530	เขียว
530-575	เขียวอ่อน (เขียวแกมเหลือง)
575-580	เหลือง
580-587	เหลืองส้ม
587-598	ส้ม
598-620	ส้มแดง
620-700	แดง
400-350 c	น้ำเงินม่วง
530c-700	แดงม่วง

c จาก ไดอะแกรม โครมาติซิตี ที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์น้อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.6 วิธีการทดสอบกลิ่น

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
2. บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. กระจกนาฬิกา

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างหนัก 10 กรัมใส่บีกเกอร์ และปิดด้วยกระจกนาฬิกา
2. นำบีกเกอร์วางในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 10 นาที
3. นำบีกเกอร์ออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ เปิดกระจกนาฬิกา และดมกลิ่น

ข.7 การวิเคราะห์หาความหนาแน่นสัมพัทธ์

หาความหนาแน่นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. พิกโนมิเตอร์ (Pyknometer) ขนาด 25 มิลลิลิตร
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ

สารเคมี

1. อะซิโตน
2. น้ำกลั่น

วิธีวิเคราะห์

1. นำขวดพิกโนมิเตอร์มาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นและอะซิโตน นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 นาที
2. นำขวดพิกโนมิเตอร์ไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เติมน้ำกลั่นด้วยปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตรจนเต็ม ปิดฝาให้น้ำกลั่นล้นออกมา ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เช็ดขวดให้แห้งด้วยอะซิโตน และนำไปชั่งน้ำหนัก
3. ทำการทดลอง ข้อ 1- 3 อีก 2 ซ้ำทำการทดลอง
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 1-3 แต่ใช้สารตัวอย่างแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$D = \frac{m_2 + A}{m_1 + A} \times p_e$$

เมื่อ	D	คือ	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของสารตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
	m_1	คือ	น้ำหนักขวดฟิสิกโนมิเตอร์ร่วมกับน้ำหนักน้ำกลั่น (กรัม)
	m_2	คือ	น้ำหนักขวดฟิสิกโนมิเตอร์เปล่าร่วมกับน้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)
	p_e	คือ	ความหนาแน่นของน้ำ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (0.9982 กรัมต่อมิลลิลิตร)
	A	คือ	ค่าแก้ไขของแรงลอยตัว (buoyancy correction) เมื่อ $A = p_a \times m_1$

กำหนดให้ p_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ ประมาณ 0.0012 กรัมต่อมิลลิลิตร

ข.8 การวิเคราะห์หาความเป็นต่างหรือความเป็นกรด

เครื่องมือและอุปกรณ์

ชุดเครื่องแก้วสำหรับการไทเทรต

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 M
3. ฟีนอล์ฟทาลิน

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างหนัก 100 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร และหยดฟีนอล์ฟทาลิน 2-3 หยด
3. นำไปไทเทรตกับสารละลาย

- ถ้าสารละลายมีสีชมพู ให้นำไปไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 M

จุดยุติสังเกตได้จากสีของสารละลายสีชมพูเปลี่ยนเป็นใสไม่มีสี

- ถ้าสารละลายใสไม่มีสี ให้นำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M

จุดยุติสังเกตได้จากสีของสารละลายใสไม่มีสี เปลี่ยนเป็นสีชมพู

4. บันทึกปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{ความเป็นค่าหรือความเป็นกรด (meq/100g)} = \frac{V \times f \times 10}{S}$$

เมื่อ	V	คือ	ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 M หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
	f	คือ	ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (M)
	S	คือ	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ข.9 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุฟอสฟอรัสด้วยวิธีแกรวิเมตรี

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้อง
2. เตาเผา ควบคุมอุณหภูมิที่ 800-850 องศาเซลเซียส

สารเคมี

กรดซัลฟูริก เข้มข้น 65%

วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยกระเบื้องใส่ในเตาเผา ควบคุมอุณหภูมิ 800-850 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 นาที
2. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และนำไปชั่งน้ำหนัก
3. ชั่งสารตัวอย่างหนัก 2-5 กรัม และนำไปชั่งน้ำหนัก
4. นำสารตัวอย่างไปเผา ที่อุณหภูมิ 750 ± 10 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที
5. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
6. หยดกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2-3 หยด
7. นำสารตัวอย่างไปเผา ที่อุณหภูมิ 800-850 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
8. นำตัวอย่างออกจากเตาและนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์
9. ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องรวมกับตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

หาปริมาณแฉ่ำร้อยละโดยน้ำหนัก

$$\text{ปริมาณแฉ่ำเฟลโตร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \times 100$$

เมื่อ	m_1	คือ	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเปล่า (กรัม)
	m_2	คือ	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องร่วมกับแฉ่ำเฟลต (กรัม)
	m_3	คือ	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องร่วมกับสารตัวอย่าง (กรัม)

ข.10 การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ร้อยละโดยน้ำหนัก

เครื่องมือและอุปกรณ์

ชุดเครื่องแก้วสำหรับการไทเทรต

สารเคมี

- ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate) เข้มข้น 0.1 M
- สารละลายโพแทสเซียมโครเมต 5% (m/m)

วิธีวิเคราะห์

- ชั่งตัวอย่างหนัก 50 กรัมใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร และหยดสารละลายโพแทสเซียมโครเมตจำนวน 5 หยด
- นำไปไทเทรตกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างเกิดตะกอนสีแดงอิฐ

การคำนวณ

$$\text{หาปริมาณคลอไรด์ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{0.058 \times V}{m}$$

เมื่อ	V	คือ	ปริมาตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
	M	คือ	น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกลีเซอรอลบริสุทธิ์

มอก.337-2545

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ มอก.337-2545

1. กลีเซอรอลบริสุทธิ์ แบ่งออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ คือ

- 1.1 ชั้นคุณภาพเคมี (chemical grade)
- 1.2 ชั้นคุณภาพไดนาไมต์ (dynamite grade)
- 1.3 ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม (technical grade)
- 1.4 ชั้นคุณภาพยา (pharmaceutical grade)

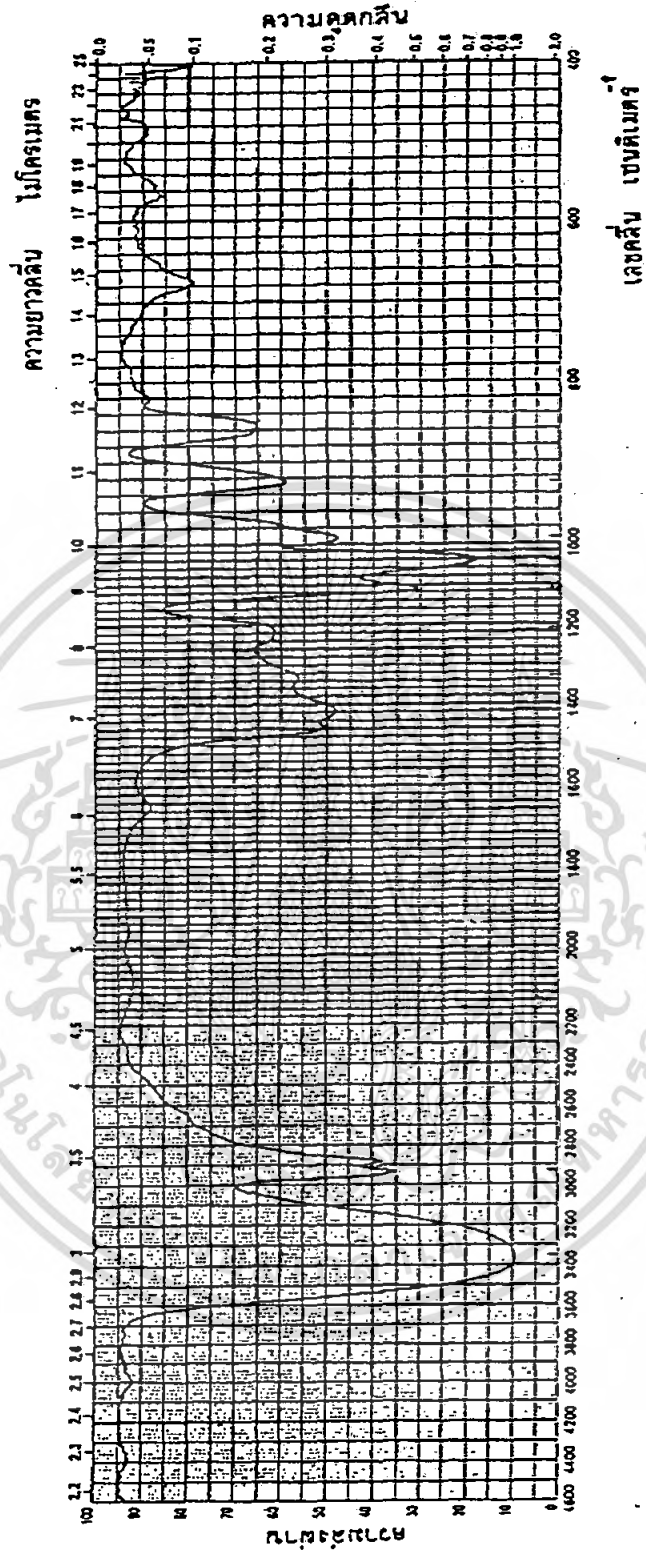
2. การทดสอบลักษณะบ่งเอกลักษณะ

การทดสอบลักษณะบ่งเอกลักษณะจะใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทดสอบ โดยการหยดตัวอย่างลงบนแผ่นเซลล์ ทำตัวอย่างให้เป็นฟิล์มบางๆ แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แล้วตรวจสอบลักษณะสเปกตรัมที่ได้ตามตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ช่วงความยาวคลื่นและลักษณะสเปกตรัมที่สำคัญของกลีเซอรอล

ช่วงความยาวคลื่น (เซนติเมตร)	ลักษณะสเปกตรัม
3600 - 3100	แถบกว้างที่มีความเข้มสูง
2900 (ค่าประมาณ)	พีกกว้างที่แยกเป็นคู่
1650 (ค่าประมาณ)	ปรากฏพีก
1500 - 1200	ปรากฏแถบกว้างในย่านนี้
1410 1330 และ 1220 (ค่าประมาณ)	ปรากฏพีก
1100 1040 1000 900 และ 850 (ค่าประมาณ)	พีกที่มีความเข้มสูง

หมายเหตุ กลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่มีปริมาณน้อย อาจปรากฏพีกไม่ชัดเจนที่ความยาวคลื่น 1650 เซนติเมตร



รูปที่ ค.1 ตัวอย่างสเปกตรัมของกลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

รายการ ที่	ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบ ตาม
		ชั้นคุณภาพ เคมี	ชั้น คุณภาพ ไดนาไมด์	ชั้นคุณภาพ อุตสาหกรรม	ชั้นคุณภาพ ยา	
1	ค่าของสีจากโลวิบอนด์ สเกลในเซลล์ขนาด 133 มิลลิเมตร ไม่เกิน	-	(5.0Y + 1.2R)	(5.0Y + 1.2R)	(5.0Y + 1.2R)	BS 2621-5
2	กลิ่น	ไม่มีกลิ่น แปลก ปลอม	ไม่มีกลิ่น แปลก ปลอม	ไม่มีกลิ่น แปลก ปลอม	ไม่มีกลิ่น แปลก ปลอม	BS 5711 :Part 19
3	กลีเซอรอล ร้อยละ โดย น้ำหนัก ไม่น้อยกว่า	99.0	99.0	99.0	95.0	BS 5711 :Part 3
4	ความหนาแน่น สัมพัทธ์ - ที่อุณหภูมิ 20/20 องศาเซลเซียส - ที่อุณหภูมิ 25/25 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า	1.261- 1.264 -	1.261- 1.264 -	1.261- 1.264 -	1.249	ISO 2099
5	ความเป็นด่างหรือ ความเป็นกรด มิลลิอิ- ควิวเลนต์ต่อ 100 กรัม ไม่เกิน	0.064	0.32	0.32	-	BS 5711 :Part 5
6	เข้าซัลเฟต ร้อย ละ โดย น้ำหนัก ไม่เกิน	0.010	0.010	0.010	0.010	ISO 1616
7	สารหนู มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ไม่เกิน	2.0	-	-	1.5	มอก.1281
8	ตะกั่ว มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ไม่เกิน	1.0	-	-	-	BS 2621-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

รายการ ที่	ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบ ตาม
		ชั้นคุณภาพ เคมี	ชั้น คุณภาพ ไพคโนไมด์	ชั้นคุณภาพ อุตสาหกรรม	ชั้นคุณภาพ ยา	
9	โลหะหนักทั้งหมด (เทียบเป็นตะกั่ว) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	5.0	-	-	5.0	BS 5711 :Part 15
10	คลอไรด์ ร้อยละโดย น้ำหนัก ไม่เกิน	-	0.010	0.010	0.010	BS 5711 :Part 12
11	ขีดจำกัดปริมาณ คลอไรด์	สารละลาย ที่ได้ต้อง ไม่ขุ่น	-	-	-	BS 5711 :Part 13
12	ขีดจำกัดปริมาณ คลอไรด์อินทรีย์	สารละลาย ที่ได้ต้องไม่ ขุ่นกว่า สารละลาย ควบคุม	-	-	-	BS 5711 :Part 14
13	สารประกอบคลอรีน (คำนวณเป็นคลอไรด์) ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	-	-	-	0.003	USP
14	ซัลเฟต ร้อยละโดย น้ำหนัก ไม่เกิน	-	-	-	0.002	USP
15	น้ำตาล	ต้องไม่พบ	-	-	-	BS 5711 :Part 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

รายการ ที่	ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบ ตาม
		ชั้นคุณภาพ เคมี	ชั้น คุณภาพ ไคนาไมต์	ชั้นคุณภาพ อุตสาหกรรม	ชั้นคุณภาพ ยา	
16	ขีดจำกัดปริมาณ สารรีดิวซ์	สารละลาย ต้องไม่เข้ม กว่าสีของ สารละลาย มาตรฐาน	สารละลาย ยต้องไม่ เข้มกว่าสี ของสาร ละลาย มาตรฐาน	-	-	BS 5711 :Part 20
17	สะพอนิฟิเคชัน มิลลิอิควิวเลนต์ต่อ 100 กรัม ไม่เกิน	0.64	0.64	-	-	BS 5711 :Part 21
18	กรดไขมันและ เอสเทอร์	-	-	-	ทำปฏิกิริยา พอดี้กับ สารละลาย โซเดียมไฮ- ดรอกไซด์ 0.5 M ไม่เกิน 1 cm ³	USP

หมายเหตุ R หมายถึง หน่วยสีแดง

Y หมายถึง หน่วยสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

กลีเซอรอลต้องเป็นของเหลวขุ่น และปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้ การทดสอบให้
ทำโดยการตรวจพินิจ

3.2 ลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

เป็นไปตามตารางที่ ค.2

4. การบรรจุ

4.1 ให้บรรจุกลีเซอรอลบริสุทธิ์ในภาชนะที่เหมาะสม สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

4.2 หากมิได้ตกลงกันเป็นอย่างอื่น น้ำหนักสุทธิของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ในแต่ละภาชนะบรรจุ
ต้องไม่น้อยกว่า 250 กิโลกรัม

5. เครื่องหมายและฉลาก

5.1 บนภาชนะบรรจุกลีเซอรอลบริสุทธิ์ทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือ เครื่องหมาย
แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่ายและชัดเจน

1. คำว่า “กลีเซอรอลบริสุทธิ์”
2. ชั้นคุณภาพ
3. น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม
4. เดือน ปีที่ทำ และ/หรือรหัสรุ่นที่ทำ
5. ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

5.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับ
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์
อุตสาหกรรมแล้ว

ภาคผนวก ง

สมบัติของคาร์บอนกัมมันต์

ตารางที่ ง.1 สมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Italma

สมบัติของคาร์บอนกัมมันต์	ปริมาณโดยเฉลี่ย
Alcohol soluble matter	$\leq 0.5\%$
Ashes	$\leq 1.5\%$
Chlorine	$\leq 0.005\%$
Complete carbonization	passtest
Decolorizing capacity	passtest
Heavy metals (Pb)	$\leq 0.002\%$
Hydrochloric soluble matter	$\leq 1\%$
Loss at 120 °C	$\leq 10\%$
Sulphate	$\leq 0.01\%$
Sulphide	$\leq 0.002\%$
Water soluble matter	$\leq 0.5\%$
pH of at 2% suspension 25 °C	6.5 ± 1.5
Iron	$\leq 0.025\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
รายชื่อบริษัทผลิตไบโอดีเซล

ตารางที่ จ.1 ตัวอย่างรายชื่อบริษัทผลิตไบโอดีเซล

ลำดับที่	บริษัท	กำลังการผลิต (ลิตร/วัน)	วัตถุดิบ ที่ใช้	ชนิดของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา	สถานที่ตั้ง
1	บมจ. บางจากปิโตรเลียม	50,000	น้ำมันพืชใช้ แล้ว, CPO, RBD PO	NaOH	210 หมู่ 1 ซอยสุขุมวิท 64 ถนนสุขุมวิท แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10260
2	บจ. ไบโอดีเอ็นเนอร์ยีพลัส	100,000	Stearin, RBD PO	*	344 หมู่2 ถนนอุดมสรยุทธ ตำบลคลองลึก อำเภอบาง ปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา 13160
3	บจ. ชันเทคปาล์มออยล์	200,000	CPO, Stearin	*	507 หมู่ 9 ถนนกบินทร์บุรี- นครราชสีมา ตำบลหนองก่ อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี 25110
4	บจ. น้ำมันพืชปทุม	300,000	CPO	*	29/3 หมู่ 6 ถนนปทุมธานี- ลาดหลุมแก้ว ตำบลคูบาง หลวง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี 12140
5	บจ. กรุงเทพพลังงาน ทดแทน	200,000	CPO	NaOH	39 หมู่ 5 ถนนบางนา-ตราด ตำบลท่าข้าม อำเภอบาง - ปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ลำดับ ที่	บริษัท	กำลัง การผลิต (ลิตร/วัน)	วัตถุดิบ ที่ใช้	ชนิดของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา	สถานที่ตั้ง
6	บจ. กรีน พาวเวอร์ คอร์ ปอเรชั่น	200,000	Stearin	*	217 หมู่ 15 ตำบลท่าข้าม อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร 86140
7	บจ. เอไอ เอ็นเนอร์จี	250,000	CPO, Stearin	*	55/2 หมู่ 5 ถนนเศรษฐกิจ ตำบลคลองมะเดื่อ อำเภอ กระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร 74110
8	บจ. วีระสุวรรณ	200,000	Stearin, RBD PO	*	53/2 หมู่ 5 ถนนเศรษฐกิจ ตำบลนาดี อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร
9	บจ. พลังงานสุขสมบูรณ์	50,000	-	*	53/2 หมู่ 5 ถนนเศรษฐกิจ ตำบลนาดี อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร

หมายเหตุ * หมายถึง ไม่เปิดเผยข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การใช้เครื่องมือการวิเคราะห์

ฉ.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography, GC) รุ่น Varian VF-5ms

1.1 วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเมทานอล

สภาวะเครื่อง

1. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีที่มีดีเทคเตอร์เป็น FID
2. Phase composition Equivalent to 5% phenyl-, 95% dimethylsiloxane
3. ถังบรรจุแก๊ส N₂ พร้อมเครื่องวัดความดัน
4. ถังบรรจุแก๊ส H₂ พร้อมเครื่องวัดความดัน
5. ถังบรรจุแก๊ส He พร้อมเครื่องวัดความดัน
6. ถังบรรจุแก๊ส Air พร้อมเครื่องวัดความดัน
7. เครื่องบันทึกผล
8. อุณหภูมิของคอลัมน์ที่เหมาะสม เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส
9. อุณหภูมิของ Injection port 150 องศาเซลเซียส
10. อุณหภูมิของ Detector 150 องศาเซลเซียส
11. อุณหภูมิเหมาะสมที่เมทานอลออก เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส
12. ปริมาณเมทานอลที่ใช้ เท่ากับ 1 ไมโครลิตร

1.2 วิเคราะห์หาปริมาณสารตัวอย่าง

วิเคราะห์ปริมาณสารตัวอย่างโดยใช้วิธีนอร์มอลไลเซชัน (Normalization Method) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าร้อยละของสารแต่ละชนิด โดยรวมพื้นที่พีคของทุกพีคเข้าด้วยกันแล้วกำหนดให้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นแต่ละพีคที่จะเป็นเศษส่วนของพื้นที่พีคทั้งหมดสามารถคำนวณหาร้อยละได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของที่ } n = \left(\frac{\text{พื้นที่ใต้พีคของ } n}{\text{พื้นที่พีคทั้งหมด}} \right) \times 100$$

ขั้นตอนการเปิด-ปิดเครื่อง GC-FID

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์
2. เปิดแก๊สทั้ง 4 ถัง (He, H₂, N₂ และ Air)
3. เปิดวาล์ว makeup gas, air และ H₂ (ด้านในกระจกสีดำด้านหน้าเครื่อง) โดยหมุนปุ่มทั้ง 3 ปุ่มทวนเข็มนาฬิกาจนสุด ดังรูป



4. เปิดสวิทช์สีดำที่เครื่อง GC ดังรูป

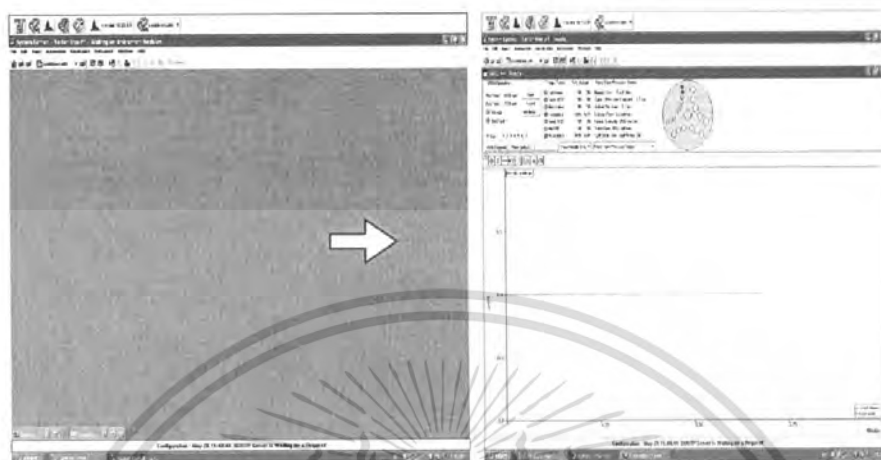


5. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และคลิกปุ่ม System Control Automation ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เปิดสวิทช์เครื่อง GC ที่หน้าจอเครื่อง GC จะมีข้อความว่า “Initializing” และหน้าจอคอมพิวเตอร์จะปรากฏเป็นสีเทา ไม่ต้องกดปุ่มใดๆ รอจนหน้าจอคอมพิวเตอร์ปรากฏเป็นสีเหลือง แสดงว่า connect กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้แล้วและพร้อมใช้งานต่อไป



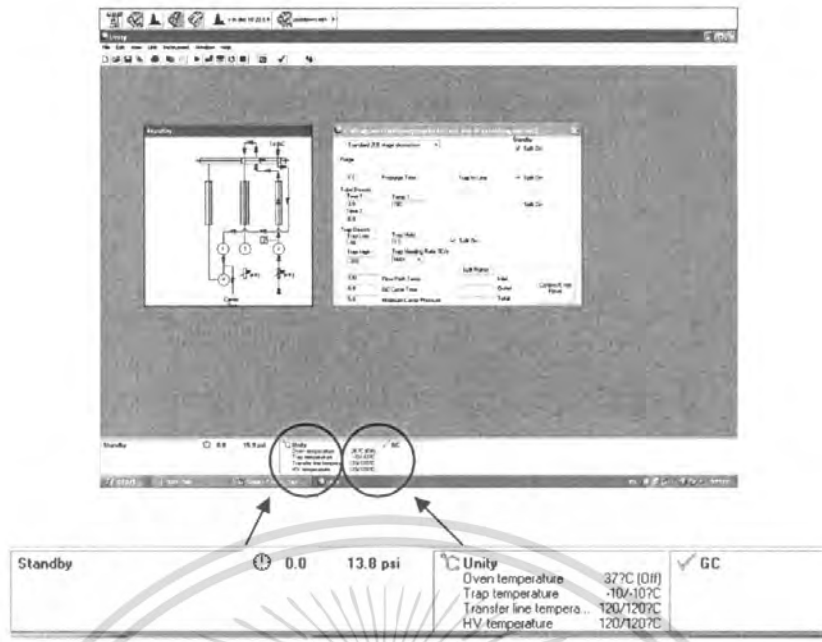
7. เปิดวาล์วแก๊สสำหรับเครื่อง TDU ดังรูป



8. คลิกไอคอน Unity ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อ connect เครื่อง TDU ดังรูป โดยไฟที่ตัวเครื่องจะเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเหลือง (แสดงว่าเครื่องได้ connect เรียบร้อยแล้ว) และพร้อมใช้งาน โดยที่หน้าจอคอมพิวเตอร์จะปรากฏโปรแกรมต่างๆ ของเครื่อง TDU ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญเตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องจะพร้อมที่จะทำงานเมื่อขึ้น ไฟสีเขียวทั้ง Unity และ GC

กรณีที่มี Method ที่ใช้วิเคราะห์ห้อยอยู่แล้วอยู่แล้ว ให้เลือกคำสั่ง ดังรูป

1. File

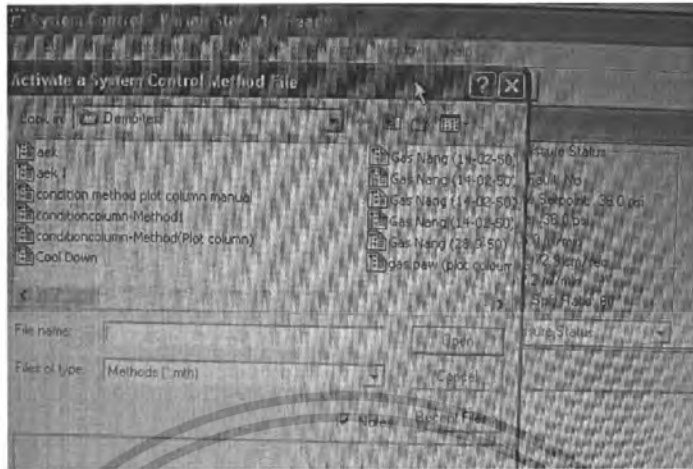


2. Activate Method

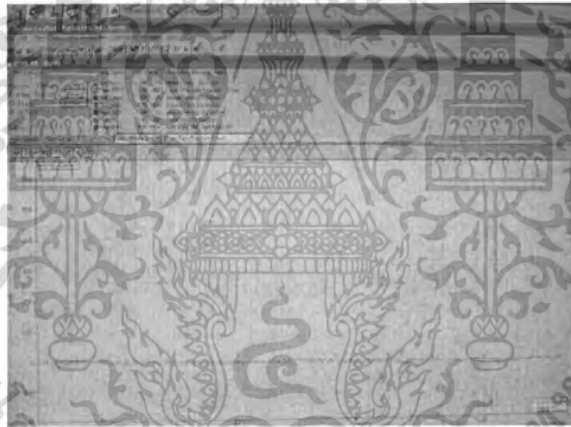


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือก Method ที่สร้างไว้



4. Open



5. เครื่องพร้อมฉีดตัวอย่างเมื่อ ขึ้นไปสี่เขียวทั้งหมด และตรงไฟสี่เขียว (ซ้ายมือ ข้างบน) ขึ้นคำว่า Ready

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

วิเคราะห์ตัวอย่างกรณีของเหลว ทำได้โดยการหยดตัวอย่างบนเซลล์โพแทสเซียมโบรไมด์ (Potassium Bromide cell) แล้วใช้เซลล์โพแทสเซียมโบรไมด์อีกอันมาประกบ และนำไปยึดติดกับตัวยึด (cell holder)

2.2 วิธีวิเคราะห์

2.2.1 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปวางที่หน้าต่างเซลล์ของเครื่อง IR ทำการบันทึกสเปกตรัมจนถึงเลขคลื่นประมาณ 1604 cm^{-1} ให้กดปุ่มหยุดแล้วนำตัวอย่างออกจากหน้าต่างเซลล์ของเครื่อง

2.2.2 นำแผ่นฟิล์มโพลีสไตรีน (polystyrene film) มาวางไว้ที่หน้าต่างเซลล์บันทึกที่ 1601.8 cm^{-1} แล้วกดปุ่มหยุดและนำแผ่นฟิล์มออก

2.2.3 นำสารตัวอย่างมาบันทึกต่อให้เสร็จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ต้นทุนที่ใช้

ข.1 การคิดต้นทุน

ใช้ระยะเวลาในการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ ประมาณ 48 ชั่วโมงต่อ 1 ชุดการทดลอง
(1 ชุดการทดลองเท่ากับกลีเซอรอลดิบประมาณ 2100 กรัม)

ตารางที่ ข.1 การคิดต้นทุนการบำบัดกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์

วัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้	ราคา (บาท)
1. กรดฟอสฟอริก (AR)	80 mL	30.76
2. เฮกเซน (AR)	800 mL	208.00
3. คาร์บอนกัมมันต์	20 g	30.8.00
4. ค่าแรง	48 ชั่วโมง	1164.00
	รวม	1433.56

สำหรับเฮกเซนและคาร์บอนกัมมันต์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ คือ

- เฮกเซน นำไปกลั่นที่อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส เนื่องจากเฮกเซนมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ
- คาร์บอนกัมมันต์ นำไปล้างน้ำเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน แล้วทำให้แห้งด้วยการนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

การคำนวณ

1. คิดต้นทุน กรณีคิดรวมค่าแรง

ราคาค่าต้นทุนในกระบวนการแยกสารเจือปนออกจากกลีเซอรอลในสถานะที่เหมาะสม

$$= 30.76 + 208.00 + 30.80 + 1164.00$$

$$= 1433.56 \text{ บาท / กลีเซอรอลบริสุทธิ์ } 26.11 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น ราคาค่าต้นทุน เท่ากับ 54.90 บาท / กลีเซอรอลบริสุทธิ์ 1 กรัม

ราคาค่าต้นทุน ในกระบวนการแยกสารเจือปนออกจากกลีเซอรอลในสถานะที่เหมาะสม เท่ากับ 54.90 บาทต่อกลีเซอรอลบริสุทธิ์ 1 กรัม โดยไม่รวมค่าไฟฟ้าและค่าอุปกรณ์เครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กีดต้นทุน กรณีไม่คิดรวมค่าแรง

ราคาค้นทุนในกระบวนการแยกสารเจือปนออกจากกลีเซอรอลในสภาวะที่เหมาะสม

$$= 30.76 + 208 + 30.8$$

$$= 269.56 / 26.11 \text{ บาท}$$

$$= 10.32 \text{ บาท}$$

ดังนั้น ราคาค้นทุน เท่ากับ 10.32 บาท / กลีเซอรอลบริสุทธิ์ 1 กรัม เมื่อไม่คิดค่าแรง

ข.2 การเปรียบเทียบระหว่างการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในการผลิตไบโอดีเซล

ตารางที่ ข.2 การเปรียบเทียบราคาของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

สารเคมี	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	
	เกรดวิเคราะห์	เกรดการค้า
โซเดียมไฮดรอกไซด์	220.00	18.50
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	380.00	40.00

หมายเหตุ

- ราคาสารเคมีและอุปกรณ์ ณ ห้อง 510 ชั้น 5 ตึกจุฬาราม 1 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2551

- ค่าแรงขั้นต่ำเท่ากับ 194 บาท/วัน จากค่าแรงขั้นต่ำกำหนดโดยกระทรวงแรงงาน เมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน : นางสาวชลธิชา พลายชุม
 วันเดือนปีเกิด : 15 มีนาคม 2528
 สถานที่เกิด : สุราษฎร์ธานี
 ที่อยู่ติดต่อได้สะดวก : 47/5 หมู่ 1 ต.บางเคียน อ.พุนพิน จังหวัด สุราษฎร์ธานี 84130
 โทรศัพท์ : 0-8330-09360
 การศึกษา :

ระดับการศึกษา	สถานศึกษา/จังหวัด	เดือน/ปีที่สำเร็จการศึกษา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี	มีนาคม/2543
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี	มีนาคม/2546

ชื่อผู้เขียน : นางสาวดวงกมล พงษ์ธิช โนปจัย
 วันเดือนปีเกิด : 20 พฤษภาคม 2528
 สถานที่เกิด : นครสวรรค์
 ที่อยู่ติดต่อได้สะดวก : 30/14 ถ.สวรรคตวิถี ต.ปากน้ำโพ อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000
 โทรศัพท์ : 0-8507-60381
 การศึกษา :

ระดับการศึกษา	สถานศึกษา/จังหวัด	เดือน/ปีที่สำเร็จการศึกษา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสตรีนครสวรรค์ นครสวรรค์	มีนาคม/2543
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนสตรีนครสวรรค์ นครสวรรค์	มีนาคม/2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้