



การผลิตไบโอดีเซลจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของ
กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืช

**Biodiesel Production using Organic Matters Contained in the Glycerol Phase
from Vegetable Oil Transesterification**

ณัฐพงศ์ เอกวรรณัง

Nattapong Akewannang

๑

เลขที่	TP 973	๓๖๓	๒๕๕๑	ค	1
Bill	308797				
	๒๑ ก.ค. ๒๕๕๑				

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Chemical Engineering


Prince of Songkla University

2551

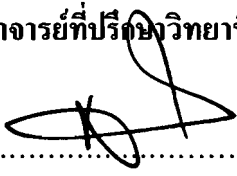
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตไบโอดีเซลจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการ
ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืช
ผู้เขียน นายณัฐพงศ์ เอกวรรณัง
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

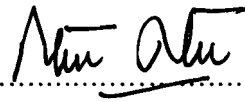
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

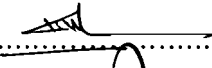

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

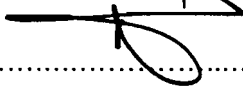
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม



.....
(ดร.สุธรรม สุขมณี)

คณะกรรมการสอบ



.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัญญา ศรีสุวรรณ)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)


.....กรรมการ
(ดร.สุธรรม สุขมณี)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤษฎิรา รัตนวิไล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การผลิตไบโอดีเซลจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของ กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืช
ผู้เขียน	นายณัฐพงศ์ เอกวรรณัง
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

ศึกษาหากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเตอ์จากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในปาล์มสเตียร์นและน้ำมันพืชทอดใช้แล้วแยกสารอินทรีย์จากเฟสของกลีเซอรอลด้วยกรดไฮโดรคลอริก สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเตอ์ด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification) ได้กระทำในขวด screw capped โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในสารละลายเมทานอล ปัจจัยสำคัญที่ศึกษา คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารตั้งต้นต่อเมทานอลในช่วง 1:0.3 ถึง 1:2 อุณหภูมิ 70–90°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 1-3 ชั่วโมง และกำหนดปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ แล้วเลือกสภาวะที่เหมาะสมไปผลิตในอุปกรณ์ขนาด 40 ลิตร จากผลการวิเคราะห์ด้วย thin layer chromatograph แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์จากกลีเซอรอลปาล์มสเตียร์นมีกรดไขมันสูงถึง 97% ไบโอดีเซลที่ผลิตในสภาวะที่เหมาะสม คือ สัดส่วนของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลเป็น 1:1.5 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ได้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเตอ์เฉลี่ย 99.81% และมีกรดไขมันอิสระเล็กน้อย มีผลได้เฉลี่ย 94.12% สารอินทรีย์จากกลีเซอรอลของน้ำมันทอดใช้แล้วมีกรดไขมันเพียง 29% ไบโอดีเซลที่ผลิตในสภาวะที่เหมาะสม คือ สัดส่วนของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลเป็น 1:0.5 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ได้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเตอ์เฉลี่ย 100% มีผลได้เฉลี่ย 93.38% โดยมีคุณสมบัติเชิงกายภาพที่สอดคล้องกับมาตรฐานเมทิลเอสเตอ์ของประเทศไทย และมาตรฐาน ASTM D 6751 ของประเทศสหรัฐอเมริกา.

Thesis Title **Biodiesel Production using Organic Matters Contained in the Glycerol Phase from Vegetable Oil Transesterification**

Author Miss **Nattapong Akewannang**

Major Program **Chemical Engineering**

Academic Year **2007**

Abstract

The objective of this research was to study the suitable conditions for producing methyl ester from organic matter in crude glycerol. The organic matter raw material could be separated out from crude glycerol after converting soap to fatty acid by adding hydrochloric acid solution to the crude glycerol produced from the transesterification of palm stearin and of used cooking oil. Esterification of the organic matter was carried out in a screw-capped bottle with sulfuric acid catalyst diluted in methanol. A few parameters were studied, namely mass ratio of reactant to methanol (1:0.3 to 1:2), reaction temperature (70–90°C) and reaction time (1–3 hours) when amount of the catalyst was fixed at 1% by weight. The optimum reaction condition was later applied to operate a 40 liter batch reactor. The results from Thin Layer Chromatography (TLC) technique showed that the organic matter from crude glycerol derived from the palm stearin process had a free fatty acid content of 97%. The optimal conditions to esterify this organic matter were a mass ratio of organic matter to methanol of 1:1.5, reaction temperature of 80°C and reaction time of 1.5 hours. Average purity of methyl ester produced was 99.81% with some trace of free fatty acids and with the reaction yield of 94.12%. In addition, the organic matter from crude glycerol derived from the used cooking oil process had the lower free fatty acid content (29%) and the rest of composition was biodiesel. To esterify the organic matter from crude glycerol derived from the used cooking oil process, the optimal esterification conditions were found to be a mass ratio of reactant to methanol of 1:0.5, reaction temperature of 70°C; however, the optimum reaction time was the same at 1.5 hours. Under these conditions, 100% purity of methyl ester (TLC technique) was produced with the reaction yield of 93.38%. Properties of the biodiesel produced were qualified according to Thai standard and ASTM D6751 for methyl ester.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งให้กำลังใจและวิธีการแก้ปัญหาในการ
ทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.สุธรรม สุขุมณี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร.สุกฤทธิรา รัตนวิไล กรรมการผู้แทนคณะวิศวกรรมศาสตร์ และรองศาสตราจารย์
ดร. กัลยา ศรีสุวรรณ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไข
วิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย ที่จัดสรรเงินทุนในการวิจัย
รวมทั้งศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณโครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มขนาดเล็กอันเนื่องมาจาก
พระราชดำริ สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบและสถานที่ใน
การทำวิจัยรวมทั้งขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่โครงการฯ ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทำวิจัยมา
ณ โอกาส นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์
ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
ตลอดจนทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำ
วิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ณัฐพงศ์ เอกวรรณัง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	
บทนำต้นเรื่อง	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	
วัตถุประสงค์สำหรับผลิตไบโอดีเซล	4
ไบโอดีเซล	14
กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ระดับโรงงานนำร่อง	20
มาตรฐานคุณภาพและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล	23
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
วัสดุ	28
อุปกรณ์	31
วิธีการ	34
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	
การเตรียมวัตถุดิบ	39
การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์	41
การศึกษาผลการทดลองการแยกคั้นเมทานอลกลับในชุดหาสภาวะที่เหมาะสม	50
การผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในชุดปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 40 ลิตร	52
การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์	54
การศึกษาการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์	54
ตัวอย่างการทำคุณมวลสารของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์	55
การศึกษาดันทุนทางเศรษฐศาสตร์พื้นฐานในการผลิต	57

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุป	60
บรรณานุกรม	62
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์หัวตุ๋นดิบและเมทิลเอสเทอร์	66
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ	76
ภาคผนวก ค คุณสมบัติของ Fatty Acid และ Fatty acid Methyl ester	77
ภาคผนวก ง ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ของกรดไขมัน	78
ภาคผนวก จ ตัวอย่างผล TLC แสดงองค์ประกอบใน เมทิลเอสเทอร์ ที่ผลิตได้จากกระบวนการด้วยปฏิกิริยาแบบกะ ขนาด 40 ลิตร	80
ประวัติผู้เขียน	84

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1	ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย (หน่วย: พันตัน)	4
ตารางที่ 2	คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันปาล์ม	6
ตารางที่ 3	สูตร โครงสร้างของกรดไขมัน	7
ตารางที่ 4	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช ร้อยละ โดยน้ำหนักของกรดไขมัน	8
ตารางที่ 5	คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช	9
ตารางที่ 6	ปริมาณและคุณสมบัติของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม โอเลอิน	10
ตารางที่ 7	บทบาทของกรดไขมันจากพืชในอุตสาหกรรม	11
ตารางที่ 8	รายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพไบโอดีเซลตามมาตรฐาน DIN E 51606	24
ตารางที่ 9	รายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D6751	25
ตารางที่ 10	ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548	26
ตารางที่ 11	ผลการวิเคราะห์ TLC องค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันทอดใช้แล้ว	30
ตารางที่ 12	แสดงผลการวิเคราะห์ TLC องค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันทอดใช้แล้ว	31
ตารางที่ 13	วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์	37
ตารางที่ 14	ผลวิเคราะห์กรดไขมันอิสระสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันปาล์มสดเปรียบเทียบกับจากการไทเทรตและผลวิเคราะห์จาก TLC	39
ตารางที่ 15	ผลวิเคราะห์กรดไขมันอิสระสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วเปรียบเทียบกับจากการไทเทรตและผลวิเคราะห์จาก TLC	40
ตารางที่ 16	ผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์น้ำในวัตถุดิบโดยใช้วิธี Karl Fischer Titration	41
ตารางที่ 17	ผลการแยกคีนเมทานอลและผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์น้ำในผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธี Karl Fischer Titration จากวัตถุดิบ (สารอินทรีย์ 100 กรัม) ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้แล้วจากชุดหาสภาวะที่เหมาะสม	50

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 18	ผลการทดลองผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสภาวะที่เหมาะสมในชุดปฏิกรณ์แบบกะเมื่อใช้วัตถุดิบคือสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของน้ำมันปาล์มสเตียริน	52
ตารางที่ 19	ผลการทดลองผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสภาวะที่เหมาะสมในชุดปฏิกรณ์แบบกะขนาด 40 ลิตร เมื่อใช้วัตถุดิบคือสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว	53
ตารางที่ 20	ผลวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้เทียบกับมาตรฐาน ASTM D 6751 และมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน	55
ตารางที่ 21	ประมาณการต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันปาล์มสเตียริน	58
ตารางที่ 22	ประมาณการต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว	59
ตารางที่ 23	ค่าคงที่การคำนวณความหนืด	74
ตารางที่ 24	แสดงคุณสมบัติของ Fatty Acid และ Fatty acid Methyl ester	77

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
ภาพประกอบที่ 1	เคมีของปฏิกิริยาไฮโครไลซิส	13
ภาพประกอบที่ 2	เคมีของปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	15
ภาพประกอบที่ 3	เคมีปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	16
ภาพประกอบที่ 4	กระบวนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	21
ภาพประกอบที่ 5	กลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมัน ปาล์มสเตียริน	28
ภาพประกอบที่ 6	กลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืช ทอดใช้แล้ว	28
ภาพประกอบที่ 7	ลักษณะทางกายภาพของสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของ- กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันทอดใช้แล้ว	29
ภาพประกอบที่ 8	ผลการวิเคราะห์ TLC (Thin Layer Chromatograph) ของสารอินทรีย์ที่ แยกจาก เฟสกลีเซอรอลของน้ำมันทอดใช้แล้ว	29
ภาพประกอบที่ 9	ลักษณะทางกายภาพของสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของ กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันปาล์มสเตียริน	30
ภาพประกอบที่ 10	ผลการวิเคราะห์ TLC (Thin Layer Chromatograph) ของสารอินทรีย์ที่ แยกจากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันปาล์มสเตียริน	31
ภาพประกอบที่ 11	ชุดทำการทดลองปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	32
ภาพประกอบที่ 12	ชุดทำการทดลองแยกคีนเมทานอล	32
ภาพประกอบที่ 13	ชุดเตรียมสารอินทรีย์จากกลีเซอรอลดิบ	33
ภาพประกอบที่ 14	ชุดต้นแบบในการผลิตเมทิลเอสเตอร์แบบกะขนาด 40 ลิตร	33
ภาพประกอบที่ 15	แสดงกระบวนการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟส กลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืช	38
ภาพประกอบที่ 16	แสดงผลของสัดส่วน โดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลและ อุณหภูมิกับร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเตอร์ในผลิตภัณฑ์	42
ภาพประกอบที่ 17	ลักษณะของอิมัลชันที่เกิดในขั้นตอนการล้างด้วยน้ำ	43
ภาพประกอบที่ 18	แสดงผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยากับร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเตอร์	44

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
ภาพประกอบที่ 19	แสดงผลของสัคส่วน โดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอล และอุณหภูมิกับร้อยละผล ได้ของเมทิลเอสเตอร์ในผลิตภัณฑ์	45
ภาพประกอบที่ 20	แสดงผลของสัคส่วน โดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลและ อุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ในผลิตภัณฑ์	45
ภาพประกอบที่ 21	แสดงผลของอุณหภูมิกับร้อยละผล ได้ของเมทิลเอสเตอร์	46
ภาพประกอบที่ 22	แสดงผลของอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์	47
ภาพประกอบที่ 23	แสดงผลของร้อยละผล ได้ของเมทิลเอสเตอร์กับสัคส่วน โดยน้ำหนัก ของสารอินทรีย์ต่อเมทานอล	48
ภาพประกอบที่ 24	แสดงผลของเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์กับร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทานอลเทียบกับสารอินทรีย์	48
ภาพประกอบที่ 25	แสดงผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยากับร้อยละผล ได้ของเมทิลเอสเตอร์	49
ภาพประกอบที่ 26	แสดงผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ เมทิลเอสเตอร์ในผลิตภัณฑ์	49
ภาพประกอบที่ 27	ลักษณะทางกายภาพของเมทานอลที่แยกคืน ได้หลังจากการทำปฏิกิริยา	51
ภาพประกอบที่ 28	ตัวอย่างเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเตอร์จาก สารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริ ฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วกับน้ำมันปาล์มสเตียริน	54
ภาพประกอบที่ 29	ตัวอย่างการทำคุณมวลสารของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเตอร์จาก สารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริ ฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วจากชุดปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 40 ลิตร	56
ภาพประกอบที่ 30	อุปกรณ์วิเคราะห์จุดขุ่น	71
ภาพประกอบที่ 31	อุปกรณ์วิเคราะห์จุดไหลเท	73
ภาพประกอบที่ 32	เครื่องวัดความหนืด	74
ภาพประกอบที่ 33	ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (1)	80
ภาพประกอบที่ 34	ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (2)	81

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
ภาพประกอบที่ 35	ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (3)	81
ภาพประกอบที่ 35	ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (4)	82
ภาพประกอบที่ 37	ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (5)	83
ภาพประกอบที่ 38	ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (6)	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ไบโอดีเซลในคำจำกัดความสากลคือ ทรัพยากรหมุนเวียนธรรมชาติ (Renewable resource, natural) เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ ไขมัน (น้ำมัน) ริไซเคิลจากการปรุงอาหาร ที่นำมาแปรรูปทางเคมี โดยการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ซึ่งนิยมใช้ เมทิลแอลกอฮอล์ หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ ได้เป็นเมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้ที่สะอาด (ชาคริต และคณะ, 2544)

ปัญหาสำคัญในการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบัน คือ ไม่สามารถแข่งขันด้านราคากับน้ำมันดีเซลได้ ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่มาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ไขมันปาล์ม-สเตอรินบริสุทธิ์ (refined palm stearin) น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันรพีไฟน์ มีปัญหาในด้านราคาที่ไม่คงที่ สาเหตุจากการผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศไทยเป็นการผลิตเพื่อการบริโภค เช่น น้ำมันปรุงอาหาร น้ำมันทอดในอุตสาหกรรม และมาการีน เป็นต้น ทำให้ราคาของน้ำมันปาล์มดิบขึ้นลงตามความต้องการน้ำมันปาล์มในท้องตลาดโดยมีราคาต่ำสุด - สูงสุดในช่วง 13 - 22 บาท ไม่สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์อย่างต่อเนื่องและบางครั้งราคาต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเทอร์มีราคาสูงกว่าราคาน้ำมันดีเซลมาก และถึงแม้ว่าจะมีการทดลองนำน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วซึ่งมีราคาถูกมาผลิตเมทิลเอสเทอร์ แต่จะมีปัญหาในการเก็บรวบรวมให้ได้ในปริมาณที่มากพอสำหรับการผลิต จึงจำเป็นต้องหาแหล่งวัตถุดิบที่มีปริมาณมากพอในการผลิต อีกทั้งวัตถุดิบชนิดนั้นต้องสามารถลดต้นทุนในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ลงได้เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางด้านราคากับน้ำมันดีเซล

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางด้านราคากับน้ำมันดีเซลที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยให้ความสนใจไปที่กลีเซอรอลดิบ (Crude Glycerol) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิตไบโอดีเซลจำนวน 6 โรง ที่ทำการผลิตไบโอดีเซลได้กว่า 400,000 ลิตรต่อวัน ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่ผู้ประกอบการกำลังประสบก็คือ การจัดการกลีเซอรอลดิบที่มีอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทั้งนี้หากยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์และการจัดการที่ดีแล้วอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมในอนาคต

ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้วัตถุดิบเป็นสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลดิบ ซึ่งมีราคาต่ำ และมีส่วนประกอบหลักคือกรดไขมันอิสระ โดยการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันซึ่งใช้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งเมื่อแปรรูปเป็นไบโอดีเซลจะทำให้มีราคาสามารถแข่งขันได้กับดีเซลจากน้ำมันปิโตรเลียมและสามารถพัฒนาไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อผลิตไบโอดีเซลจากสารอินทรีย์ที่แยกได้จากเฟสกลีเซอรอลดิบของกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันพืช
2. เพื่อศึกษาตัวแปรของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแยกสารอินทรีย์จากเฟสกลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันพืช
2. ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกได้จากเฟสกลีเซอรอลดิบ ซึ่งจะมีสารปนเปื้อนที่เฉพาะเจาะจงที่กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันพืชอยู่ด้วย ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา
 1. สัดส่วนของสารอินทรีย์ต่อเมทิลแอลกอฮอล์
 2. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา
 3. ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน
3. ศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ
 - ร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเตอร์
 - ความหนืด
 - ความหนาแน่น
 - จุดวาบไฟ
 - จุดขุ่น
 - จุดไหลเท

(ตามมาตรฐานเรื่องการกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ ของกรมปิโตรเลียม พ.ศ. 2548 ของประกาศกรมธุรกิจพลังงานและมาตรฐาน ASTM D 6751)

4. ศึกษาต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์พื้นฐานของกระบวนการผลิต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตไบโอดีเซลจากสารอินทรีย์ที่แยกได้จากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืช
2. นำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรม
3. เป็นประโยชน์ทางการค้า เกษตรกรรม พลังงาน และอุตสาหกรรมเกี่ยวเนื่อง ตลอดจนหน่วยงานของรัฐบาลได้กำหนดนโยบายพลังงานทดแทน

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

1. วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตไบโอดีเซล

การพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ต้องคำนึงถึงปริมาณ และองค์ประกอบของน้ำมันพืชชนิดนั้นและความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้นด้วย น้ำมันพืชและไขมันสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล น้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบสามารถสกัดจากพืชน้ำมันได้ทุกชนิด การพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้ต้องคำนึงถึงปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชชนิดนั้น และความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้นๆ ด้วย

ประเทศไทยทำการเพาะปลูกพืชน้ำมัน 6 ชนิด คือ ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน ถั่วลิสง มะพร้าว ละหุ่งและงา ในจำนวนพืช 6 ชนิดนี้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีรายงานปริมาณผลผลิตในแต่ละปีสูงที่สุด สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้รายงานผลผลิตพืชน้ำมันทั้ง 6 ชนิด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย (หน่วย: พันตัน)

ปี พ.ศ.	ปาล์มน้ำมัน	มะพร้าว	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	ละหุ่ง	งา
2538/39	2,255	1,413	386	147	6	34
2539/40	2,688	1,419	359	147	6	34
2540/41	2,681	1,386	338	126	6	35
2541/42	2,465	1,372	321	135	7	36
2542/43	3,512	1,381	319	138	7	37
2543/44	3,256	1,400*	324*	135*	9*	39*

* ตัวเลขคาดการณ์

นอกเหนือจากพืชน้ำมัน 6 ชนิดที่เกษตรกรทำการเพาะปลูกแล้วยังมีแหล่งน้ำมันอื่น ๆ เช่น สบู่ดำ น้ำมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว แหล่งน้ำมันเหล่านี้สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ทั้งสิ้น

1.1 ปาล์ม น้ำมัน

ปาล์มมีต้นกำเนิดอยู่ทางตะวันตกและตอนกลางของทวีปอเมริกา ต่อมาได้แพร่เข้าไปในทวีปอเมริกาใต้โดยสันนิษฐานว่าเกิดขึ้นในยุคล่าอาณานิคม ปาล์มจัดอยู่ในตระกูล *Palme* หรือ *Palmaceae* เป็นตระกูลย่อยเดียวกันกับมะพร้าว คือ *Eliacs* ปาล์มแบ่งออกเป็น 3 สายพันธุ์ คือ *Eliacs guineensis*, *Eliacs olcifera* และ *Eliacs odora* สำหรับสองสายพันธุ์หลังไม่นิยมปลูกเนื่องจากเติบโตช้าและให้ผลเล็ก พันธุ์ที่นิยมปลูกเชิงเศรษฐกิจในปัจจุบัน คือ *Eliacs guineensis*

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศไทยมี 3 วิธี (ผาสุข กุลละวณิชย์ และคณะ, 2531) กระบวนการผลิตแบบใช้น้ำเป็นวิธีมาตรฐาน กระบวนการผลิตแบบย่างผลปาล์มหรือหีบน้ำมันผสม และกระบวนการผลิตแบบทอดผลปาล์ม ได้น้ำมันปาล์มแบ่ง 2 ชนิดใหญ่ ๆ ถ้าได้จากเนื้อของผลปาล์ม (mesocarp) เรียกว่า น้ำมันปาล์ม (palm oil) ถ้าได้จากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (palm kernel) เรียกว่า น้ำมันเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) เมื่อนำน้ำมันปาล์มไปแยกส่วนและทำให้บริสุทธิ์จะได้ส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่า น้ำมันปาล์ม โอลีน (palm olcin) ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้กันทั่วไป และส่วนที่เป็นไข เรียกว่า ปาล์มสเตอริน (palm stearin)

น้ำมันปาล์มมีส่วนประกอบของกรดไขมันและการจัดเรียงตัวของกรดไขมันในตำแหน่งที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของน้ำมันปาล์ม พื้นที่บริเวณเพาะปลูก และภูมิอากาศ ทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดปาล์มมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ต่างกัน น้ำมันปาล์มมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณที่ใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 48.05 และ 51.95 ตามลำดับ (ไพจิตร จันทรวงศ์, 2530) ในขณะที่น้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีร้อยละของกรดไขมันอิ่มตัวสูงร้อยละ 78.82 (ตารางที่ 2) จึงมีผลให้มีการนำไปใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันปาล์ม

	Palm oil	Palm kernel oil
Iodine Value	43-59	14-20
Acid Value	15	20
Saponification Value	195-210	240-257
Unsaponification matter (%)	1	1
Colour (Lovibone)*	Y : 2.5R	10Y : 1R25
Total saturated fatty acid (%)	48.05	78.82
Total unsaturated fatty acid (%)	51.95	21.18

* : cell, 5 in.

ที่มา : คัดแปลงมาจาก ไพจิตร จันทรวงษ์ (2530)

1.1.1 ความสำคัญทางเศรษฐกิจของปาล์มน้ำมัน

ประเทศไทยมีการผลิตน้ำมันปาล์มสูงเป็นอันดับ 4 ของโลก รองจากมาเลเซีย อินโดนีเซีย และไนจีเรีย ในปี 2003 ประเทศไทยสามารถผลิตน้ำมันปาล์มได้ 600,000 ตัน และคาดว่าในปี 2004 สามารถผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 655,000 ตัน เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เมื่อเทียบกับน้ำมันที่ใช้เพื่อการบริโภคอื่นๆ ดังนั้นมากกว่า 80% ของผลผลิต จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น น้ำมันทอด น้ำมันปรุงอาหาร มاکารีน ไอศกรีม ครีมเทียม เนยเทียม ขนมปัง ฯลฯ

เนื่องจากแหล่งพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันดิบที่ได้จากฟอสซิลเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติของโลกที่มีปริมาณจำกัด จึงมีความพยายามค้นหาแหล่งพลังงานอื่นที่สามารถสร้างหรือเพาะปลูกขึ้นมาทดแทน ในกรณีนี้ น้ำมันปาล์มนับว่ามีศักยภาพสูงยิ่งที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันสามารถนำน้ำมันปาล์มมาผลิตเมทิลเอสเทอร์ในระดับอุตสาหกรรม

นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มยังสามารถนำไปเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์อื่นอีกหลายชนิด เช่น กลีเซอรอล ไบโอดีเซล ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสบู่ Fatty acid และ Fatty alcohol ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผงซักฟอก Fatty acid amides ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสารลดแรงตึงผิวสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ การผลิตเยื่อกระดาษและไม้อัด Fatty amines ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต

โพลีเมอร์ น้ำมันหล่อลื่น กลิเซอรอล ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง สำหรับเศษเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ เช่น ทะลาย ใย และกะลา สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบในระดับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ ดำเนินการโดยนำผลปาล์มทั้งทะลายเข้าสู่หม้ออบความร้อนที่อุณหภูมิ 130 °C ความดัน 45 psi เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นจึงบีบน้ำมันออกมา

1.1.2 ส่วนประกอบของน้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil : CPO)

น้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์มากกว่าร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก กรดไขมันร้อยละ 3-5 โดยน้ำหนัก และกลีเซอไรด์ชนิดอื่น กรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบส่วนใหญ่ คือ กรด Palmitic และ กรด Oleic โดยตารางที่ 3 แสดงสูตร โครงสร้าง ชื่อทางวิทยาศาสตร์ของกรดไขมันทั่วไป ตารางที่ 4 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช ซึ่งแสดงผลเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน และตารางที่ 5 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช ได้แก่ ค่าความหนืด ความหนาแน่น ค่าจุดขุ่น ค่าจุดไหลเท ค่าจุดควาปไฟ และค่าความของน้ำมันพืชทั่วไป

ตารางที่ 3 สูตรโครงสร้างของกรดไขมัน

Fatty acid	Systematic name	Structure ^a	Formula
Lauric	Dodecanoic	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Myristic	Tetradecanoic	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Palmitic	Hexadecanoic	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Stearic	Octadecanoic	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Arachidic	Eicosanoic	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$
Behenic	Docosanoic	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$
Lignoceric	Tetracosanoic	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$
Oleic	cis-9-Octadecanoic	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Linoleic	cis-9,cis-12-Octadecadienoic	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolenic	cis-9,cis-12,cis-15-Octadecatrienoic	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$
Erucic	cis-13-docosenoic	22:1	$C_{22}H_{42}O_2$

^a x:y x แทนด้วยจำนวนคาร์บอนในกรดไขมัน

y แทนด้วยจำนวนพันธะคู่ในกรดไขมัน

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน

ชนิดกรดไขมัน น้ำมันพืช	14:0	16:0	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3
	ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน									
น้ำมันปาล์ม	0.2	45	4.5	0	0	0	40.2	0	10.1	0
น้ำมันข้าวโพด	0	12	2	0	0	0	45	0	41	0
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	0	28	1	0	0	0	13	0	58	0
น้ำมันลินซีด	0	5	2	0	0	0	20	0	18	55
น้ำมันถั่วลิสง	0	11	2	1	2	1	48	0	32	1
น้ำมันเมล็ดเรพ	0	3	1	0	0	0	64	0	22	8
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	0	6	3	0	0	0	17	0	74	0
น้ำมันงา	0	9	2	0	0	0	53	0	39	0
น้ำมันถั่วเหลือง	0	12	3	0	0	0	23	0	55	6

ที่มา Barnwal และ Sharma (2004)

จากตารางที่ 4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช พบว่า องค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์ม คือ Palmitic acid ร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก และ Oleic acid ร้อยละ 40.2 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบหลักของน้ำมันข้าวโพด คือ Oleic acid ร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก และ Linoleic acid ร้อยละ 41 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบหลักของน้ำมันเมล็ดฝ้าย คือ Linoleic acid ร้อยละ 58 โดยน้ำหนัก Palmitic acid ร้อยละ 28 โดยน้ำหนัก และ Oleic acid ร้อยละ 13 โดยองค์ประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกันทำให้น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงแตกต่างกัน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช

น้ำมันพืช	kinematic Viscosity at 38 °C (mm ² /s)	Cetane no. (°C)	Heating value (MJ/kg)	Cloud point (°C)	Pour point (°C)	Flash point (°C)	Density (kg/l)
น้ำมันปาล์ม	39.6	42.0	-	31.0	-	267	0.9180
น้ำมันข้าวโพด	34.9	37.6	39.5	-1.1	-40.0	277	0.9095
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	33.5	41.8	39.5	1.7	-15.0	234	0.9148
น้ำมันลินซีด	27.2	34.6	39.3	1.7	-15.0	241	0.9236
น้ำมันถั่วลิสง	39.6	41.8	39.8	12.8	-6.7	271	0.9026
น้ำมันเมล็ดแอฟ	37.0	37.6	39.7	-3.9	-31.7	246	0.9115
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	33.9	37.1	39.6	7.2	-15.0	274	0.9161
น้ำมันงา	35.5	40.2	39.3	-3.9	-9.4	260	0.9144
น้ำมันถั่วเหลือง	32.6	37.9	39.6	-3.9	-12.2	254	0.9138

ที่มา Bamwal และ Sharma (2004)

จากตารางที่ 5 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันพืช โดยน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงแตกต่างกันไป เป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของกรดไขมันของน้ำมันพืชแต่ละชนิด

1.2 กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอน 4-24 อะตอม ปลายข้างหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิลปลายอีกข้างมีลักษณะเป็นสายโซ่ยาวของนอนโพลาร์ไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอนทำให้กรดไขมันไม่ละลายน้ำ ในธรรมชาติกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่และเป็นโซ่ยาวที่อิ่มตัว (ไม่มีพันธะคู่) หรือไม่อิ่มตัวคือมีพันธะคู่หรือมีพันธะสาม (Triple bond) 1 คู่หรือมากกว่า กรดไขมันแต่ละชนิดมีความยาวของโซ่ จำนวนและตำแหน่งของพันธะไม่อิ่มตัวแตกต่างกัน กรดไขมันที่พบในพืชและสัตว์จะไม่พบในรูปอิสระแต่จะอยู่รวมกันเป็นลิพิดด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งถูกย่อยสลายได้ด้วยการใช้เอนไซม์และสารเคมี

กรดไขมันที่พบในพืชและสัตว์ชั้นสูงจะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ อยู่ระหว่าง 14 – 22 อะตอม โดยเฉพาะ C16 และ C18 พบมากที่สุด และถ้าหากมีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ก็จะเป็นแบบนอนคอนจูเกต (Nonconjugated double bond) ($-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$) โดยมีคอนฟิเจอร์ชันแบบซิส กรดไขมันที่มีสายโซ่ยาวๆ (C16-C18) ละลายน้ำไม่ได้ แต่เกลือของมันสามารถสร้างไมเซลล์ในน้ำได้และไมเซลล์สามารถคงอยู่ได้ด้วยอันตรกิริยาแบบไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic inter-action) (ฮาภัสตรา ชมิคท์, 2537)

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำมันปลา คือ กรดปาล์มิติก มีอยู่ประมาณร้อยละ 37.9 ถึง 47.7 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมาก (Polyunsaturated fatty acid) ซึ่งได้แก่ กรดไลโนลิก มีร้อยละ 10.4 ถึง 13.4 และกรดแอลฟาไลโนลินิกมีร้อยละ 0.1 ถึง 0.6 (ตารางที่ 6) นอกจากส่วนที่เป็นกรดไขมันแล้ว น้ำมันปลายังมีส่วนที่ไม่สามารถเกิดสบู่ได้ ซึ่งได้แก่ คาโรทีนอยด์ (Carotenoid) และโทโคเฟอรอล (Tocopherol) สูง ซึ่งเมื่อผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้ว ปริมาณของคาโรทีนอยด์จะลดลง (MacLellan, 1983)

ตารางที่ 6 ปริมาณและคุณสมบัติของกรดไขมันในน้ำมันปลาโอเลอิน

กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)
ลอริก (Lauric)	44.2	0.1-1.1
ไมริสติก (Myristic)	52.0	0.9-1.4
ปาล์มิติก (Palmitic)	63.1	37.9-47.7
สเตียริก (Stearic)	69.6	4.0-4.8
โอเลอิก (Oleic)	13.4	40.7-43.9
ไลโนลิก (Linoleic)	-17.0	10.4-13.4
ไลโนเลนิก (Linolenic)	-17.0	0.1-0.6

ที่มา : MacLellan (1983)

1.2.1 การใช้ประโยชน์จากกรดไขมัน

กรดไขมันใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับการผลิตแพคตีแอลกอฮอล์ แพคตีเอสเทอร์ และสารประกอบแพคตีในโครเจน ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบโดยตรงหรือนำไปดัดแปลงหมู่โครงสร้างเพื่อผลิตสารอนุพันธ์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มากมาย ประเทศในกลุ่มอาเซียนสามารถผลิต

basic oleochemical ได้ถึงร้อยละ 35 ของโลก โดยวัตถุดิบหลักจะผลิตจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว วิธีการที่ง่ายที่สุดในการผลิตกรดไขมันคือ การใช้อุณหภูมิและความดันสูงในการแยกไขมันและน้ำมัน (fat splitting) สารผสมของกรดไขมันสามารถแยกให้บริสุทธิ์โดยการกลั่น กรดไขมันที่แยกได้สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ยาง เทียนไข และเครื่องสำอางได้โดยตรง (Hui, 1996)

ในอุตสาหกรรมการผลิตยาง กรดไขมันจะถูกเติมลงในระหว่างขั้นตอนการผลิตเพื่อทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความนุ่ม สารหล่อลื่น และทำหน้าที่ช่วยลดระยะเวลาในการให้ความร้อน โดยความยาวของสายกรดไขมันไม่มีผลต่อการทำหน้าที่ดังกล่าว แต่กรดไขมันที่มีความอิมตัวสูงอาจมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตได้ การผลิตเทียนไขได้มีการนำกรดไขมันจากน้ำมันปาล์มมาใช้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในด้านความหดรัด ทำให้ต่อการดึงออกจากเบ้า ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของกรดไขมันที่ใช้คือ C16 ต่อ C18 ในอัตราส่วน 7 : 2 ดังนั้นจึงมีการนำน้ำมันปาล์มสเตียรีนมาใช้ เนื่องจากมีปริมาณกรดปาล์มมิติกสูง นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดไขมันในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง ชนิดของกรดไขมันที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ กรดไมริสติก กรดปาล์มมิติก และกรดสเตียริก วัตถุประสงค์ของการนำมาใช้เพื่อช่วยเพิ่มการเป็นฟอง เพิ่มความเป็นเงา และทำหน้าที่เป็นคอนดิชันเนอร์ (Hui, 1996)

นอกจากนี้มีการนำกรดไขมันที่ได้จากมะพร้าวมาใช้ในอุตสาหกรรมสบู่และน้ำยาซักฟอกมากยิ่งขึ้น กรดริซิโนเลอิกที่พบในน้ำมันละหุ่งเป็นกรดไขมันที่ใช้ในอุตสาหกรรมสีย้อมและจาระบีมานานแล้ว (ปวีณา พงษ์คนตรี, 2547) และยังมีพืชอีกหลายชนิดที่ให้กรดไขมันและน้ำมันที่ให้กรดไขมันและน้ำมันที่มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 บทบาทของกรดไขมันจากพืชในอุตสาหกรรม

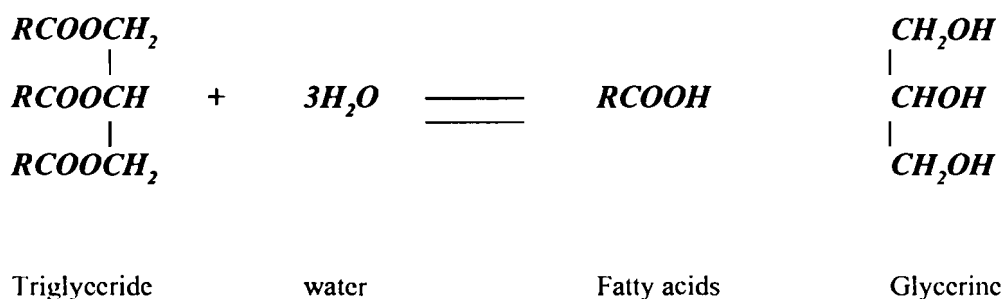
Industry	Fatty Acid	Plant
Food	palmitic acid	palm (<i>Elaeis guineensis</i>)
	stearic acid	cocoa (<i>Theobroma cacao</i>)
	oleic acid	Olive (<i>Olea europaea L.</i>) canola (<i>Brassica napus</i>)
	linoleic acid	Sunflower (<i>Helianthus annuus</i>) corn (<i>Zea may</i>)
	linolenic acid	linden (<i>Linum usitatissimum</i>) Soy been (<i>Glycine max</i>)

Functional food	γ - linoleic acid	evening primrose (<i>Oenothera biennis</i>) Borage (<i>Borago officinalis</i> L.)
Cosmetic	stearic acid	cocoa (<i>Theobroma cacao</i>)
Fuel oil, Detergent, Soap	octanoic acid	<i>Cuphea hookerina</i>
	capric acid	<i>Cuphea paucipetala</i> california bay (<i>Umbellulariacaliforniaca</i>)
	lauric acid and myristic acid	nutmeg (<i>Myristica fragans</i>) and coconut (<i>Cocos nucifera</i>)
Plastic, Nylon, Resin	petroselinic acid	<i>Coriandrum sativum</i> L. Carrot (<i>Daucus carota</i> L.)
	calendic acid	<i>Calendula officinalis</i>
Color, Varnish, linoleum	linolenic acid	sunflower (<i>Helianthus annuus</i>) corn (<i>Zea may</i>)
	α - linilenic acid	linden (<i>Linum usitatissimum</i>)
Epoxy resin	vernolic acid	<i>Vernonia anthelmintica</i>
Engine oil, Nylon	calendic acid	<i>Calendula officinalis</i>
Color, Lubricant	ricinoleic acid	castor(<i>Ricinus communis</i>)
Enamel, Varnish	α - cleostearic acid	tung (<i>Aleurites fordii</i>)
Color, Ink, Enamel	α - licanic acid	octicica (<i>Ligecania rigida</i>)
Engine oil	eicosenoic acid	Meadowfoam (<i>Limnanthes douglasii</i>)
Engine oil, Nylon	erucic acid	mustard (<i>Brassica juncea</i>)
		rep seed (<i>Brassica napus</i>)
Engine oil	nervonic acid	honesty (<i>Lunaria annua</i>)

ที่มา : Murphy (1994) และ Hills (2001) อ้างโดย ปวีณา พงษ์คนตรี (2547)

1.2.2 เคมีการแตกตัวของไขมัน (Chemistry of Fat Splitting)

น้ำมันมะพร้าวก็เหมือนกับไขมันหรือน้ำมันชนิดอื่นๆที่สามารถถูกไฮโดรไลสด้วยน้ำ (hydrolysis) หรือทำให้แตกตัวกลายเป็นกรดไขมันอิสระ และกลีเซอริน โดยปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้



ภาพประกอบที่ 1 เคมีของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ในกรณีที่เป็นน้ำมันมะพร้าว ซึ่งมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน C8 จนถึง C18 และอาจมี C6 ในปริมาณน้อย การไฮโดรไลส์ไขมันเป็นปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous reaction) ที่ดำเนินการเป็นขั้น ๆ โดย กรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยา ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ กลายเป็น ไคกลีเซอไรด์ และเปลี่ยนต่อไปเป็น โมโนกลีเซอไรด์ หากการแตกตัวไม่บริบูรณ์นั้นจะมี โมโนกลีเซอไรด์ และไคกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์เหลืออยู่ ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาในขั้นแรกจะ เกิดขึ้นอย่าง ช้า ๆ และเวลาในการทำปฏิกิริยาจะถูกกำหนดโดยสภาพการละลายของน้ำที่ละลายได้ น้อยในชั้นของน้ำมัน และในขั้นที่สองปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจาก น้ำสามารถละลาย ในชั้นของกรดไขมันได้มากขึ้น และในขั้นสุดท้ายจะเป็นขั้นที่อัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าลดลง เสมือนว่า กรดไขมันถูกปล่อยให้เป็นอิสระ และกลีเซอรินที่เกิดเป็นผลผลิตพลอยได้นั้นอยู่ใน สภาวะสมดุลกัน ปฏิกิริยาแตกตัวของไขมันนั้นเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ณ จุดสมดุลนั้นอัตราการ เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันที่เกิดขึ้น ๆ (reesterification) กันนั้น มีค่า เท่ากัน ในที่นี้ต้องมีการแยกกลีเซอรินซึ่งเป็นผลผลิตหนึ่งออกมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ปฏิกิริยา เกิดขึ้นได้อย่างบริบูรณ์ นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิ และความดัน ก็จะเป็นการช่วยเร่งให้ปฏิกิริยา เกิดเร็วขึ้น เพราะจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำให้ละลายในชั้นของไขมัน ได้มากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดพลังงานกระตุ้นอีกด้วย โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะส่งผล กระทบที่สำคัญ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิจาก 150 °C เป็น 220 °C จะทำให้สภาพการละลายของน้ำเพิ่มมาก ขึ้นสองถึงสามเท่า ในที่นี้จะใช้กรด เช่น กรดซัลฟิวริก หรือ โลหะออกไซด์ เช่น สังกะสี หรือ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยโลหะออกไซด์จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี ซึ่ง อาจทำหน้าที่คล้ายกับตัวอิมัลชัน

2. ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ คือ น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ซึ่งแปรรูปเป็น อัลคิล เอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งได้จากกระบวนการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ระหว่างสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นๆ

เมทิลเอสเทอร์โดยทั่วไป มีองค์ประกอบที่มีลักษณะโมเลกุลใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลปิโตรเลียมซึ่งสามารถผลิต และพัฒนาได้จากไขมันหรือน้ำมันที่ได้จากพืชและสัตว์ โดยส่วนใหญ่แล้วจะมุ่งไปที่เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์โดยใช้ไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์กับเมทานอลมากที่สุด

2.1 วิธีการนำน้ำมันพืชมาใช้แทนน้ำมันดีเซล

2.1.1 การใช้ไขมันพืชเสมือนเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลโดยตรง

การใช้ไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์เป็นแหล่งทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลโดยตรงมักจะใช้น้ำมันพืชเท่านั้น เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สัมพันธ์กับการเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ดีและเหมาะสมกว่าไขมันสัตว์ มีประสิทธิภาพการใช้งานทดแทนสูงกว่า นอกจากนี้แล้วไขมันสัตว์มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าและมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล เพราะจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการเตรียมไขมันสัตว์สำหรับการใช้งานโดยตรง

2.1.2 การเจือจางหรือการผสมตามส่วน

การเจือจางหรือการผสมตามส่วนของน้ำมันพืชสามารถนำมาละลายเข้ากันได้ อย่างวิปริตในวัตถุเหลวบางชนิดเท่านั้น เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นๆ ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเจือจางของน้ำมันเมสิดทานตะวันโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยปริมาตร และผ่านการทดสอบโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้สำเร็จ แต่สารผสมนี้ไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลประเภท Direct Injection ในช่วงระยะเวลายาว เพราะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการเกิดโค้กที่ปลายกระบอกของระบบหัวฉีดอย่างรุนแรง

2.1.3 วิธีไมโครอิมัลชัน (Micro emulsion)

ไมโครอิมัลชันเป็นกระบวนการที่ทำให้ของเหลวมีสารแขวนลอยกระจายอยู่ เช่น การผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ ซึ่งจะมีสภาพเป็นอิมัลชันและเมื่อนำไปใช้สามารถฉีดให้เป็นฝอยได้

2.1.4 วิธีการแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking)

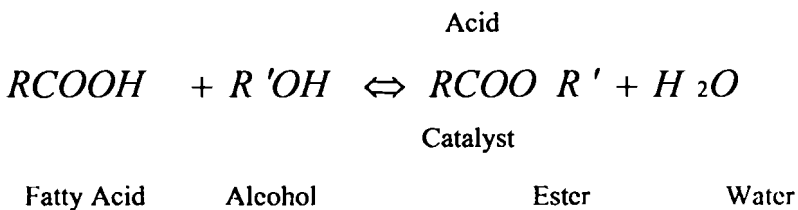
วิธีการแตกตัวด้วยความร้อนเป็นการให้ความร้อนกับน้ำมันพืชในสภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อให้ไขมันแตกตัวเป็น โมเลกุลที่เล็กลง ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมหรือใกล้เคียงสำหรับนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและโครงสร้างเนื่องจากความร้อนของไตรกลีเซอไรด์จะให้สารประกอบเคมีอินทรีย์หลายประเภท เช่น อัลเคน อัลคีน อัลคาไดอิน แอโรเมติก และกรดคาร์บอกซิลิก เป็นต้น

2.1.5 วิธีการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ (Transesterification)

กระบวนการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์บางครั้งนิยม เรียกว่า แอลกอฮอล์ไลซิส หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีระหว่างไตรกลีเซอไรด์ไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์เพื่อก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอริน กระบวนการนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อปรับปรุงคุณภาพทางเชื้อเพลิงที่พัฒนาจากไตรกลีเซอไรด์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะลดค่าความหนืดของเชื้อเพลิงลงในกระบวนการเคลื่อนย้ายเอสเทอร์ส่วนใหญ่จะใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นในการทำปฏิกิริยา โดยเฉพาะเมทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีข้อได้เปรียบในเชิงพาณิชย์สูง เช่น มีราคาถูก และมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสม คือ เป็นแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้นที่สุด และเป็นของเหลวมีขั้วสูงซึ่งช่วยเพิ่มอัตราในการทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้มากที่สุด

2.2 เคมีของปฏิกิริยา esterification และปฏิกิริยา transesterification

2.2.1 Esterification เป็นปฏิกิริยาของกรดกับแอลกอฮอล์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาให้กลายเป็นเอสเทอร์ มีสมการทั่วไปดังนี้

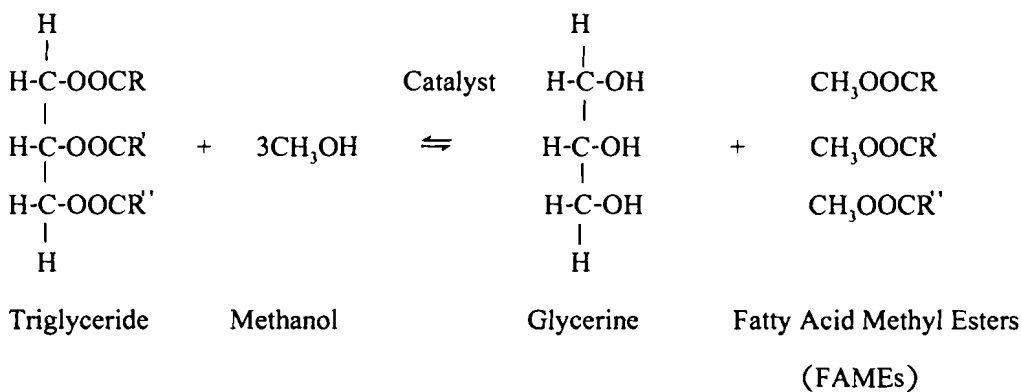


ภาพประกอบที่ 2 เคมีของปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

โดยทั่วไปจะใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา esterification เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้นต้องมีการดึงน้ำออกเพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินไปทางด้านขวามือเพื่อเพิ่มผลได้ (yield) ของเอสเทอร์

2.2.2 Transesterification เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์ เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์

แอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอล กระบวนการนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพื่อการปรับปรุงคุณภาพทางเชื้อเพลิงที่พัฒนาจากไตรกลีเซอไรด์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะการลดความหนืดของเชื้อเพลิงลงในกระบวนการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ ส่วนใหญ่จะใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นในการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะเมทานอล ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีข้อได้เปรียบในเชิงพาณิชย์สูง ตัวอย่างเช่น มีราคาคถูก มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสมเป็นแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนที่สั้นที่สุด และมีความเป็นขี้สูง สามารถช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้มากที่สุด ในทอมทั่วไปถ้าใช้เมทานอลจะเรียกว่า methanolysis ที่นิยมใช้เมทานอลเนื่องจากมีราคาคถูก แต่แอลกอฮอล์ชนิดอื่นก็สามารถใช้ได้เช่นกัน



ภาพประกอบที่ 3 เคมีปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ที่มา : Srivastava A. and Prasad R. (1999)

โดยทางทฤษฎีแล้ว สมดุลมวลสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ที่สมบูรณ์นั้น ต้องประกอบด้วยอัตราส่วนโมลของสารตั้งต้นระหว่างแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์เป็น 3 โมล ต่อ 1 โมล แต่ในทางปฏิบัติพบว่าปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์สามารถผันกลับได้ ดังนั้นถ้าต้องการผลิตภัณฑ์แอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือน้ำมันดีเซลชีวภาพมากขึ้น ต้องเพิ่มจำนวนโมลแอลกอฮอล์มากขึ้นด้วย เพื่อขับเคลื่อนให้ภาวะสมดุลเลื่อนเข้าใกล้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมากที่สุด หรือดึงผลผลิตตัวใดตัวหนึ่งออกจากปฏิกิริยาทั้งหมด ปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์สามารถเพิ่มอัตราเร็วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาหลายชนิด เช่น เบส กรด หรือ เอนไซม์ ก็ได้ (Ma and Hanna, 1999)

ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาข้างต้นจะเป็นปฏิกิริยารวม ซึ่งจะประกอบไปด้วยการผันกลับต่อเนื่อง คือ จากไตรกลีเซอไรด์เป็นไดกลีเซอไรด์ และเป็นโมโนกลีเซอไรด์ กับ 1 โมลของเมทิลเอสเทอร์ที่แตกตัวไป และจากสมดุลข้างต้น ต้องการ 3 โมล เมทานอล ต่อ 1 โมล ไตรกลีเซอไรด์ จึง

ใช้เมทานอลมากเกินไป 100% ซึ่งจะให้อัตราการเปลี่ยน (conversion rate) สูง และจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด alkaline โดยทั่วไปนิยมใช้ โซเดียมเมทิลเลต แต่ก็สามารถใช้ KOH หรือ NaOH ได้ ส่วนอัตราการเปลี่ยนขึ้นกับอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อให้เวลาที่เพียงพอปฏิกิริยาก็จะดำเนินไปสมบูรณ์ได้ ณ อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดของเมทานอล และความไม่บริสุทธิ์ในน้ำมันส่งผลอัตราการเปลี่ยนด้วย โดยภายใต้เงื่อนไขเดียวกันถ้าใช้น้ำมันพืชที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการกลั่นจะได้ 67-84% conversion แต่ถ้าใช้น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการกลั่นจะได้ 94-97% conversion และกรดไขมันอิสระในน้ำมันจะรบกวนการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิ และความดันสูงๆ ปัญหานี้จะหมดไป (Hui, 1996)

วิธีที่ใช้ค่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานี้เหมาะสำหรับสารตั้งต้นที่มี กรดไขมัน (Free fatty acid) ไม่สูง เพราะปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือ ถ้าสารตั้งต้นมี กรดไขมัน (Free fatty acid) สูง จะทำปฏิกิริยากับ โซดาไฟ เกิดสบู่ ทำให้เกิดปัญหาในเรื่อง อิมัลชัน ซึ่งอาจจะไม่เกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์ก็ได้

เนื่องจากสารตั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำมันที่มี กรดไขมันสูง (High Free fatty acid, HFFA oil) ดังนั้นวิธีการเดิมที่มีการใช้ โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะทำให้กรดที่มีค่าสูงทำปฏิกิริยากับ โซดาไฟเกิดเป็นสบู่ (soap) มากเกินไป

มีวิธีการสำหรับ HFFA oil ที่จะใช้ทำเป็นวัตถุดิบ ที่น่าสนใจอยู่ 3 วิธี คือ

1. การลดกรด (Oil Deacidification) ทำได้โดยนำ HFFA oil มาทำปฏิกิริยากับ โซดาไฟ เพื่อให้ โซดาไฟไปทำปฏิกิริยากับกรด เกิดเป็นสบู่และจะเป็นการลดปริมาณกรดใน HFFA oil ให้ต่ำลง จากนั้นนำ HFFA oil ที่ได้ลดกรดแล้วนำมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยใช้ โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยใช้สัดส่วนของ oil : methanol เท่ากับ 6 : 1 และทำตามขั้นตอนของวิธีเดิมก็จะได้เมทิลเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ แต่วิธีนี้ไม่ได้ถูกเลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีปัญหาในเรื่องของสบู่ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการลดกรด ซึ่งจะมีความยุ่งยากในการแยกสบู่ออกจากน้ำมัน

2. ใช้กลีเซอรอลทำปฏิกิริยากับ HFFA oil โดยใช้โซดาไฟ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งกรดใน HFFA oil ทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลเกิดเป็น โมโนกลีเซอไรด์ กรดก็จะลดลง จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ลดกรดแล้วมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยใช้โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำตามขั้นตอนของวิธีเดิม แต่วิธีนี้ก็ไม่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เช่นกัน เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารที่มีราคาแพงจึงไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์เมื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมจริงๆ นอกจาก โมโนกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาแรก อาจจะไปรบกวนการทำปฏิกิริยา transesterification ได้

3. วิธีใช้กรด H_2SO_4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทน โซดาไฟ เป็นวิธีที่ถูกเลือกมาใช้ในโครงการนี้ โดยนำ HFFA oil ทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยใช้กรด H_2SO_4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เมทิลเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์หลัก โดยทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในอุณหภูมิคงที่ที่ $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ และใช้สัดส่วนของเมทานอล ต่อ น้ำมัน ที่เหมาะสม และใช้กรดที่เหมาะสมด้วย เนื่องจากวิธีนี้เป็นแนวทางในการใช้ สารอินทรีย์ที่แยกได้จากกลีเซอรอลเป็นสารตั้งต้นได้ตามเป้าหมายของงานวิจัย

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

2.3.1 ความชื้น (Moisture) และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)

วัตถุดิบเริ่มต้นใช้ไตรกลีเซอไรด์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งมีค่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% หากปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 1% จำเป็นต้องกำจัดกรดไขมันอิสระออก โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาให้เป็นกลาง แต่ถ้าไม่กำจัดกรดไขมันอิสระออกจะทำให้เกิดสบู่ขึ้นซึ่งมีผลดังนี้

- มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา
- เพิ่มค่าความหนืดและเกิดเจล
- การแยกกลีเซอรินยากมากขึ้น

Ma และ Hanna (1999) ศึกษาปัจจัยของกรดไขมันอิสระและน้ำจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันด้วย Beef tallow พบว่า ปริมาณน้ำใน Beef tallow ต่ำกว่า 0.06% w/w และปริมาณกรดไขมันอิสระควรต่ำกว่า 0.5% w/w เพื่อให้การเกิดปฏิกิริยาดีที่สุด

2.3.2 สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอล (molar ratio)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะเป็นไปตามปริมาณสัมพันธ์โดยใช้แอลกอฮอล์ 3 โมล ทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล เพื่อให้เกิดผลได้ คือ เอสเตอร์กรดไขมัน 3 โมล และกลีเซอริน 1 โมล สัดส่วนเชิงโมลขึ้นกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เช่น ในกรณีถ้าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันถั่วเหลืองและบิวทานอล เท่ากับ 1:30 แต่ในกรณีใช้ค่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันถั่วเหลืองและบิวทานอล เท่ากับ 1:6 ผลได้ของ เอสเตอร์ไม่แตกต่างกัน (S. Vilas Ghadge และคณะ (2005))

S. Vilas Ghadge และคณะ (2005) พบว่า สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอล เท่ากับ 1:6 เกิดการเปลี่ยนเป็นเอสเตอร์ดีที่สุด แต่ปริมาณกรดไขมันในน้ำมันที่มากขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:15 และใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ประกอบด้วย

ก. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมเมทอกไซด์ โพแทสเซียมเอไมด์ และโพแทสเซียมไฮโดรด์

ข. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด เช่น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก และกรดไฮโดรคลอริก

ค. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเอ็นไซม์ เช่น เอ็นไซม์ไลเปส

ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่างในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน จะเกิดเร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด แต่น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำที่สูงตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดจะเหมาะสมกว่า (Ma และ Hanna, 1999)

2.3.4 เวลาการทำปฏิกิริยา (Reaction time)

อัตราการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นกับเวลาทำปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยาทรานส์ เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย เมล็ดดอกทานตะวัน และเมล็ดถั่วเหลืองโดยใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอล เท่ากับ 1:6 โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 1% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 °C พบว่า น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ได้ % Yield เท่ากับ 80 หลังจาก 1 นาที แต่หลังจาก 1 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันทั้ง 4 ชนิด เหมือนกัน ซึ่งมีค่า % Yield เท่ากับ 93 – 98 Galen J และคณะ (2003)

Galen J และคณะ (2003) ศึกษาปัจจัยเวลาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน จาก Beef tallow ด้วยเมทานอล พบว่า ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช้ามากในช่วงนาทีแรกเพื่อที่จะเกิดการผสมและละลายของเมทานอลเข้าไปใน Beef tallow แต่หลังจากนาทีแรกผ่านไปถึง 5 นาที ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วมากและจะเสร็จบริบูรณ์ภายใน 15 นาที ในช่วงการเริ่มต้นการเกิดปฏิกิริยาจะมีโคกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์อยู่สูงแล้วจะค่อยลดลงเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น จนสิ้นสุดกระบวนการจะมีปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์อยู่เป็นปริมาณที่สูงกว่าโคกลีเซอไรด์

2.3.5 อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา (Reaction temperature)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดน้ำมันที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เช่น เมทาโนไลซิสของน้ำมันละหุ่ง กับ Methyl ricinoleate อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาเหมาะสมที่ 20 – 35 °C สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันละหุ่งต่อเมทานอล เท่ากับ 1:6 – 1:12 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.005 – 0.35 % โดยน้ำหนักน้ำมัน (Ma และ Hanna, 1999)

Ma และ Hanna (1999) ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมัน ถั่วเหลืองบริสุทธิ์กับเมทานอล ในสัดส่วนเชิงโมลน้ำมันถั่วเหลืองต่อเมทานอล เท่ากับ 1:6 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 1% ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ คือ 32, 45 และ 60 °C ได้ % Yield เท่ากับ 64, 87 และ 94 ตามลำดับ

2.4 ข้อดีของไบโอดีเซล (วิภาวดี ประพัฒน์ไพโรจน์, 2546)

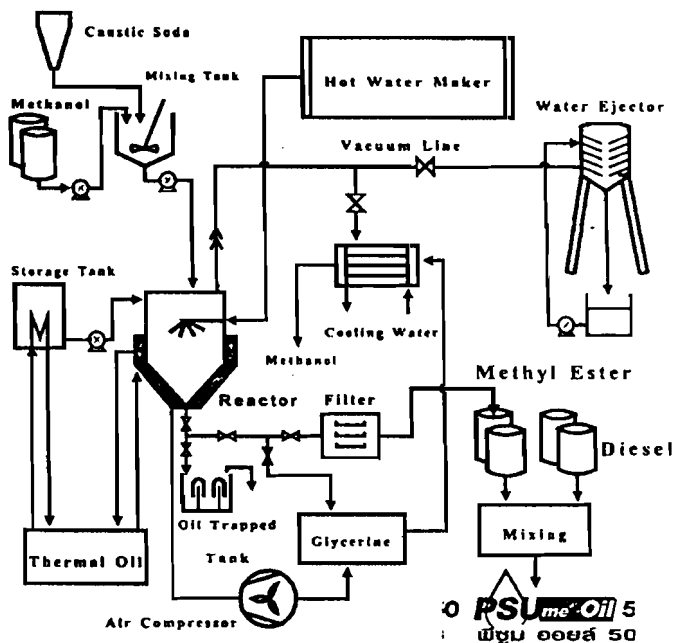
1. มีความปลอดภัยในการจัดเก็บ เพราะไม่เป็นพิษและสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้
2. ผลิตได้จากวัตถุดิบที่ได้จากเกษตร หรือน้ำมันที่ใช้แล้วจากกระบวนการอุตสาหกรรม
3. ช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศและสิ่งแวดล้อม เพราะแก๊สเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ซึ่งใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพ จะมีองค์ประกอบของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เหม่า หรือ องค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในปริมาณที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียม

2.5 ข้อเสียของไบโอดีเซล (วิภาวดี ประพัฒน์ไพโรจน์, 2546)

1. มีราคาแพงเนื่องจากต้นทุนสูง
 2. มีการสร้างแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) เพิ่มขึ้น
 3. อาจต้องทำการดัดแปลงส่วนประกอบเครื่องยนต์ที่เป็นยาง (rubber) ซึ่งอาจถูกทำลายโดยไบโอดีเซล
3. กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ระดับโรงงานนำร่อง

3.1 กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ชาคริต ทองอุไร และคณะ (2544) ทำการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากผลิตผลปาล์ม น้ำมัน ได้แก่ น้ำมันทอดใช้แล้ว น้ำมันปาล์มดิบเกรดบี (หีบสกัดแบบรวมน้ำมันเปลือกและน้ำมันเมล็ดใน) ที่ผ่านกระบวนการแยกยางเหนียวและลดกรด น้ำมันปาล์มรีไฟน์ ไชปาล์มสเตยริน ทั้งชนิดปกติ (Iodine value 38) และชนิด Super hard (Iodine value 26) กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์แสดงดังภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 4 กระบวนการผลิตเมทิลเอสเตอิลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน
ที่มา : ชاکริต ทองอุไร และคณะ (2544)

ขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

3.1.1 การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะถูกเตรียมให้เหมาะสมก่อนเข้าทำปฏิกิริยา โดยหากเป็นน้ำมันปาล์มดิบจำเป็นต้องผ่านกระบวนการแยกขางเหนียว และลดกรดให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ส่วนวัตถุดิบจากน้ำมันที่ใช้ทอดแล้วจะถูกนำมาขจัดไครดินออกโดยการทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกและล้างด้วยน้ำ วัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% แล้ว จะถูกนำไปขจัดน้ำออกโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C ประมาณ 20 นาที โดยมีการกวนเพื่อให้การระเหยของน้ำเป็นไปได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น สำหรับไขปาล์มสเดียรินชนิด Superhard ซึ่งผลิตที่โครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก ได้ถูกขจัดน้ำออกที่อุณหภูมิ 80 °C ภายใต้อากาศสูญญากาศ 600 – 700 มิลลิเมตรปรอท

3.1.2 การเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เมทานอล เข้าทำปฏิกิริยากับไฮเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมทานอลและไฮเดียมไฮดรอกไซด์ถูกเลือกใช้เพราะมีราคาถูก โดยเมทานอลต้องไม่มีน้ำเจือปนเกินกว่า 1% การเตรียม

สารละลายกระทำโดยการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 – 5 ส่วน ละลายในเมทานอล 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมเป็นไปตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในวัตถุดิบ หากกรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงก็ต้องใช้โซดาไฟในสัดส่วนที่สูง

3.1.3 การทำปฏิกิริยา

น้ำมันที่ถูกขจัดน้ำแล้วถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิประมาณ 80 °C จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ลงไปอย่างช้าๆ (เติมให้หมดภายใน 10 นาที) สัดส่วนน้ำมันต่อสารละลายแอลกอฮอล์โดยน้ำหนักเท่ากับ 5 ต่อ 1 ทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงเป็นเวลาประมาณ 15 นาที ด้วยอัตราการกวนปานกลาง (500 รอบ/นาที) อุณหภูมิในช่วงนี้ลดลงเหลือประมาณ 65 °C การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน แต่ปฏิกิริยานี้ผันกลับได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหยุดกวนเพื่อแยกผลผลิตตัวใดตัวหนึ่งออก เมื่อหยุดกวนกลีเซอรินซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่า (ประมาณ 1.26 กรัม/มิลลิลิตร) จะแยกชั้นออกจากชั้นเมทิลเอสเทอร์ โดยแยกตัวตกลงมาที่ก้นถัง ดังนั้นในชั้นเมทิลเอสเทอร์จะเหลือกลีเซอรินอยู่น้อย ปฏิกิริยาการเกิดเมทิลเอสเทอร์จะสามารถดำเนินต่อไปอย่างช้าๆ เมื่อทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 – 4 ชั่วโมง น้ำมันก็จะทำปฏิกิริยาไปมากกว่า 95%

3.1.4 การแยกกลีเซอริน

กลีเซอรินจะถูกถ่ายออกไปใส่ภาชนะโดยการถ่ายออกทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ในขณะที่ถังร้อนอยู่เพราะหากทิ้งไว้ให้เย็น ชั้นกลีเซอรินจะกลายเป็นของแข็ง

3.1.5 การล้างสิ่งปนเปื้อนออก

เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ยังปนเปื้อนด้วยสารอื่นๆ เช่น สบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไขมันอิสระหรือน้ำมัน กลีเซอรินที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเทอร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด ดังนั้นจึงต้องทำการขจัดออกด้วยการล้างด้วยน้ำอุ่นหลายๆครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้แต่ละครั้งประมาณ 1 ต่อ 4 ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ เมื่อเติมน้ำเพียงพอแล้วรอให้น้ำแยกชั้นจากเมทิลเอสเทอร์เป็นเวลาพอสมควร (ประมาณ 5 – 10 นาที) ก็ถ่ายน้ำออกด้านล่าง เติมน้ำอุ่นเพื่อล้างใหม่ การล้างจะกระทำ 4 – 5 ครั้ง และเพิ่มการกวนในการล้างครั้งหลังๆ

3.1.6 การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย

เมื่อล้างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้ว ขั้นตอนสุดท้าย คือ การขจัดน้ำที่หลงเหลือในชั้นเมทิลเอสเทอร์ออก ซึ่งกระทำโดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นก็สามารถนำไปเก็บเพื่อใช้งานต่อไป

เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากผลิตผลปาล์มน้ำมันต่างๆ เช่น น้ำมันทอดใช้แล้ว น้ำมันปาล์มดิบ (เกรดบี) น้ำมันปาล์มรีไฟน์ ไบโพลีสเตียร์ และ Superhard stearin ด้วยกระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์เป็นสารเข้าทำปฏิกิริยาและใช้โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยกรรมวิธีการผลิต 6 ขั้นตอน คือ การเตรียมน้ำมัน การเตรียมสารละลาย การทำปฏิกิริยา การแยกกลีเซอริน การล้าง และการขจัดน้ำ พบว่า เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์เกือบ 100% เมื่อทดสอบด้วยเทคนิค Thin Layer Chromatograph (TLC) สภาวะการผลิตที่เหมาะสม ใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทิลแอลกอฮอล์ คือ 1:6 หรือ เมทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 20% โดยน้ำหนัก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5-1% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60-80 °C โดยมีการกวนประมาณ 15-30 นาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาต่อนาน 3-4 ชั่วโมง เมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีสมบัติหลายประการใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อน และช่วงอุณหภูมิการกลั่น แต่ จุดไหลเทมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีสัดส่วนเมทิลเอสเทอร์ที่อิมตัวซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงในปริมาณที่สูง (ชาคริต ทองอุไร และคณะ, 2544)

4. มาตรฐานคุณภาพและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

ข้อกำหนดมาตรฐานทางคุณภาพของไบโอดีเซลถูกกำหนดโดยสถาบันทางมาตรฐานวิทยาศาสตร์ชั้นนำของโลกตัวอย่างเช่น ปัจจุบันประเทศเยอรมนีได้กำหนดมาตรฐาน DIN E 51606 ในตารางที่ 8 มักใช้อ้างอิงถึงไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมัน rapeseed ในประเทศเยอรมัน และยังถูกนำมาเทียบเคียงกับมาตรฐานไบโอดีเซลในกลุ่มสหภาพยุโรป โดยเฉพาะในประเทศออสเตรเลีย อิตาลี ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้มาตรฐาน ASTM D 6751 ซึ่งระบุรายละเอียดขอบเขตทางคุณภาพของไบโอดีเซล ที่ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C หรือที่ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 60 °C ความหนืดจลนศาสตร์ (kinematic viscosity) ณ อุณหภูมิ 40 °C จุดวาบไฟ เป็นต้น รวมถึงคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ส่วนประกอบทางเคมีอินทรีย์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการศึกษาและผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันในกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และในเอกสารรายงานเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล เดือนสิงหาคม 2002 - มกราคม 2004 โดย National Renewable Energy Laboratory ประเทศแคนาดา ได้แสดงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลโดยแสดงในมาตรฐาน ASTM D 6751 ในตารางที่ 9

ตารางที่ 8 รายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพไบโอดีเซลตามมาตรฐาน DIN E 51606

Properties	Limits	
	Minimum	Maximum
1. Density at 15 °C, g/ml	0.875	0.90
2. Kinematic viscosity at 40 °C, mm ² /s	3.500	5.00
3. Flash point (Pensky-Martens) , °C	100.0	
4. Cold filter plugging point, °C		
15 April – 30 September		0.00
1 October – 15 November		-10.00
16 November – 28 February		-20.00
1 March – 14 April		-10.00
5. Sulphur content, wt%		0.01
6. Carbon residue, wt% (10% Distillation)		0.30
7. Cetane number		49.00
8. Ash, wt%		0.01
9. Water, mg/kg		300.00
10. Total dirt, mg/kg		20.00
11. Copper corrosion for 3 h at 50°C		1.00
12. Neutralization number, mg KOH/g		0.50
13. Methanol, wt%		0.30
14. Monoglyceride, wt%		0.80
15. Diglyceride, wt%		0.10
16. Triglyceride, wt%		0.10
17. Free glycerol, wt%		0.02
18. Iodine number, g Iodine/100g		115.00
19. Phosphorous, mg/kg		10.00

ตารางที่ 9 รายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D6751

Property	method	limits	units
Flash point, closed cup	D 93	130 min	° C
Water and sediment	D 2709	0.050max	%volume
Kinematics viscosity, 40 ^o C	D 445	1.9-0.6	mm ² /s
Sulfated ash	D 874	0.020 max	wt.%
Total Sulfur	D 5453	0.05max	wt.%
Copper strip corrosion	D 130	No.3max	
Cetane number	D 613	47 min	
Cloud point	D 2500	Report to customer	° C
Carbon residue	D 4530	0.050 max.	wt.%
Acid number	D 664	0.8 max	Mg KOH/g
Free glycerin	D 6584	0.020	wt.%
Total glycerin	D 6584	0.240	wt.%
Phosphorus	D 4951	0.0010	wt.%
wt.% vacuum distillation end point	D 1160	360 ° C max,at 90% distilled	° C
Storage stability	To be determined	To be determined	To be determined

นอกจากมาตรการทางด้านคุณภาพของต่างประเทศแล้วนั้น สำหรับประเทศไทยโดย
ประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอ
สเตอร์ของกรดไขมัน ณ วันที่ 11 กรกฎาคม 2548 โดยรายละเอียดด้านคุณภาพแสดงไว้ในตารางที่
10 ดังนี้

ตารางที่ 10 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน
พ.ศ. 2548

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ "
1	เมทิลเอสเตอร์ร้อยละโดยน้ำหนัก (Methyl Ester,% Wt.)	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตร (Density at 15 °C,kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่าและ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C เซนติสโตกส์ (Viscosity at 40 °C,cSt)	ไม่ต่ำกว่าและ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟองศาเซลเซียส (Flash Point,°C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5	กำมะถันร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphur,%WL)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่านร้อยละโดยน้ำหนัก (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue, on 10% distillation residue,%Wt.)	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟตร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulfated Ash,%Wt)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำร้อยละโดยน้ำหนัก (Water,%Wt)	ไม่สูงกว่า	0.050	ASTM D 2709
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมดร้อยละโดยน้ำหนัก (Total Contaminate,%Wt)	ไม่สูงกว่า	0.0024	ASTM D 5452
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C ชั่วโมง (Oxidation Stability at 110 °C,hours)	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ "
13	ค่าความเป็นกรด มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม (Acid Value, mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน กรัมไอโอดีน/100 กรัม (Iodine Value, g Iodine/100 g)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Linolenic Acid Methyl Ester,%Wt)	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Methanol,%Wt)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Monoglyceride,%Wt)	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Diglyceride,%Wt)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Triglyceride,%Wt)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระร้อยละ โดยน้ำหนัก (Free glycerin,%Wt)	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมดร้อยละ โดยน้ำหนัก (Total glycerin,%Wt)	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโปแตสเซียม) มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group I metals (Na+K)mg/kg) โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group II metals (Ca+Mg) mg/kg)	ไม่สูงกว่า ไม่สูงกว่า	5.0 5.0	EN 14108 และ EN 14109 prEN 14538
23	ฟอสฟอรัสร้อยละ โดยน้ำหนัก (Phosphorus,%Wt)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

หมายเหตุ * วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุ

1.1 วัสดุดิบ

1.1.1 สารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันปาล์มสเตียริน จากสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.1.2 กลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว จากสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ภาพประกอบที่ 5 กลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันปาล์มสเตียริน



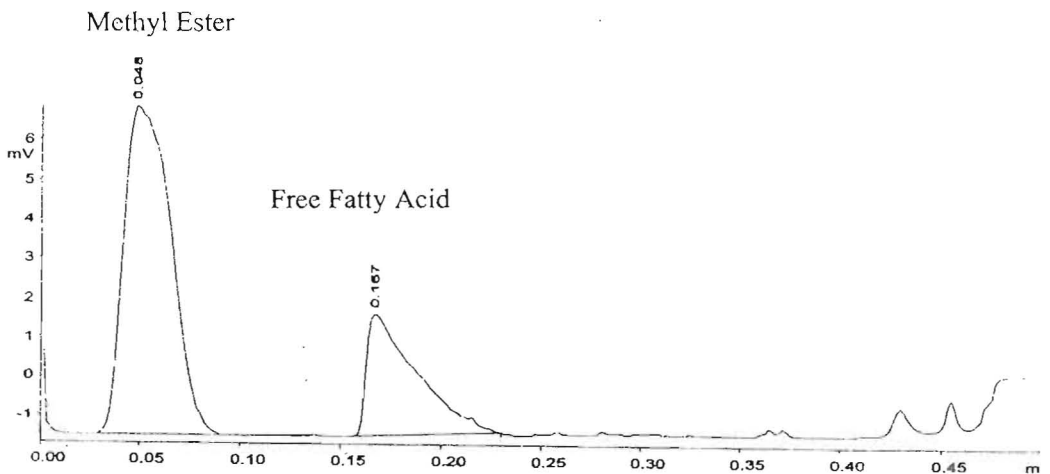
ภาพประกอบที่ 6 กลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว



ภาพประกอบที่ 7 ลักษณะทางกายภาพของสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอล
ของกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว

ลักษณะทางกายภาพ :

- เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง สีของสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของ
กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วเป็นสีน้ำตาลเข้ม
- สารอินทรีย์มีกลิ่นเหม็นหืนแรง
- เมื่อนำมาหลอมเหลวและตั้งทิ้งไว้จะคงรูปของเหลว



ภาพประกอบที่ 8 ผลการวิเคราะห์ TLC (Thin Layer Chromatograph) ของสารอินทรีย์ที่แยกจาก
เฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ TLC องค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของ
กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันทอดใช้แล้ว

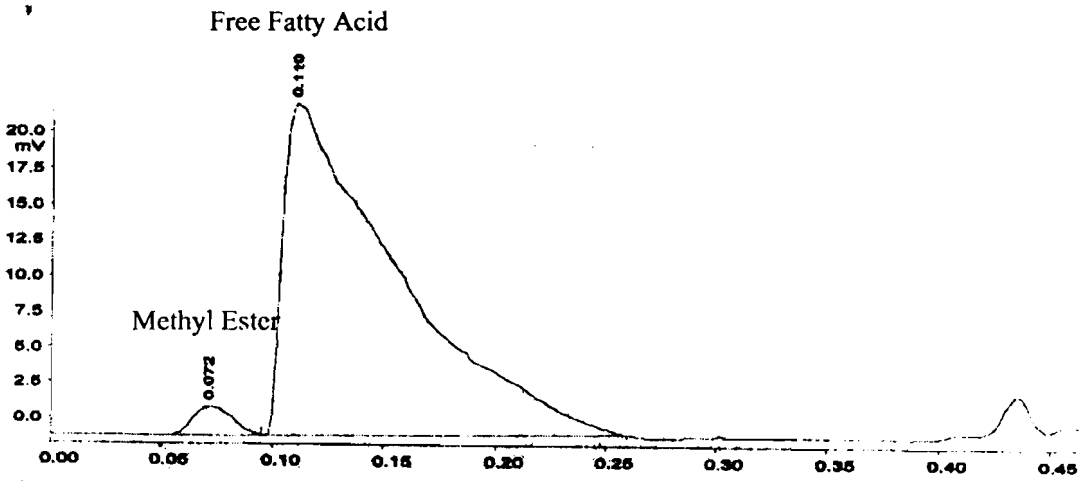
Component	% Area
FFA (Free Fatty Acid)	28.83
ME (Methyl Ester)	71.17



ภาพประกอบที่ 9 ลักษณะทางกายภาพของสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอล
ของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันปาล์มสเตียริน

ลักษณะทางกายภาพ :

- เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง สีของสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของ
กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันปาล์มสเตียรินแล้วเป็นสีน้ำตาลอ่อน
- สารอินทรีย์มีกลิ่นเหม็นหืน
- เมื่อนำมาหลอมเหลวและตั้งทิ้งไว้จะแข็งตัวอย่างรวดเร็ว



ภาพประกอบที่ 10 ผลการวิเคราะห์ TLC (Thin Layer Chromatograph) ของสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันปาล์มสเตียร์น

ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ TLC องค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันทอดใช้แล้ว

Component	% Area
FFA (Free Fatty Acid)	97.186
ME (Methyl Ester)	2.814

1.2 สารเคมี

- 1.2.1 Methanol (CH_3OH) 99.5% commercial grade
- 1.2.2 Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 95% commercial grade
- 1.2.3 Sodium hydroxide (NaOH) 99% commercial Grade
- 1.2.4 Hydrochloric acid (HCl) 35% commercial grade
- 1.2.5 Sulfuric acid (H_2SO_4) 98% commercial grade
- 1.2.6 Phenolphthalein Indicator
- 1.2.7 Paraffin oil

2 อุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

2.1.1 ชุดทำการทดลองปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน เป็นชุดทำปฏิกิริยาเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเมทิลเอสเตอริ์ ประกอบด้วยขวด screw capped bottle แฉ่งลงในอ่างชุดการทดลองและชุดควบคุมอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 11



ภาพประกอบที่ 11 ชุดทำการทดลองปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

2.1.2 ชุดทำการทดลองแยกคีนเมทานอล เป็นชุดที่ใช้ศึกษาการแยกคีนเมทานอล หลังทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน ประกอบด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิ หน่วยกลั่นและ Cooling Pump ดังแสดงในภาพประกอบที่ 12



ภาพประกอบที่ 12 ชุดทำการทดลองแยกคีนเมทานอล

2.1.3 ชุดเตรียมสารอินทรีย์จากกลีเซอรอลดิบ เป็นชุดที่ใช้สำหรับเตรียมสารอินทรีย์ก่อนทำปฏิกิริยาโดยมีหน่วยให้ความร้อนจากแก๊สด้านล่างและมีหน่วยกวนผสมด้านบน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 13



ภาพประกอบที่ 13 ชุดเตรียมสารอินทรีย์จากกลีเซอรอลดิบ

2.1.4 ชุดต้นแบบในการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบกะขนาด 40 ลิตร เป็นชุดปฏิกรณ์ที่ใช้ทำการผลิตไบโอดีเซลเพื่อยืนยันผลการทดลองจากสภาวะที่เหมาะสม ส่วนประกอบหลักประกอบด้วยหน่วยให้ความร้อน, หน่วยทำปฏิกิริยาและหน่วยแยกคีนเมทานอลดังแสดงในภาพประกอบที่ 14



ภาพประกอบที่ 14 ชุดต้นแบบในการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบกะขนาด 40 ลิตร

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.2.1 เครื่องมือวิเคราะห์ Thin Layer Chromatography/Hydrogen Flame Ionization Detection (TLC/FID), Iatroscan Model MK- 6s เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้สำหรับแยกองค์ประกอบของสารเนื้อเดียวที่มีองค์ประกอบของสารตั้งแต่ 2 ชนิด ขึ้นไป ละลายในของเหลวเดียวกัน โดยอาศัยหลักการว่า สารแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายต่างกัน และมีสมบัติในการซึมผ่านตัวดูดซับบางชนิดต่างกัน ดังนั้นเครื่องมือวิเคราะห์ TLC/FID จึงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวดูดซับและตัวทำละลาย การใช้ TLC/FID แยกสารเนื้อเดียวชนิดเดียวกัน แต่ใช้ตัวดูดซับหรือตัวทำละลายต่างกัน อาจทำให้ผลที่ได้ต่างไปด้วย ซึ่งสารที่ถูกดูดซับได้น้อยจะเคลื่อนที่ไปได้ไกล สารที่ถูกดูดซับได้มากจะเคลื่อนที่ไปได้ใกล้

2.2.2 เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในสารตัวอย่าง (Karl Fischer) เป็นเครื่องวัดปริมาณน้ำตัวอย่าง โดยฉีดสารตัวอย่างลงไปในการละลายไอโอดี ทำให้ไอโอดีเกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนให้แก่สารละลายแคโทลด์ ซึ่งในสารละลายแคโทลด์จะมีไฮโดรเจนไอออนอยู่ ทำให้เมื่อไฮโดรเจนไอออนรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งเครื่อง Karl Fischer นี้จะวัดปริมาณน้ำจากปริมาณอิเล็กตรอนที่ไอโอดีสูญเสียไป

3. วิธีการ

3.1 ทำการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมและเตรียมวัตถุดิบก่อนทำปฏิกิริยา

วัตถุดิบที่ใช้คือสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลดิบของน้ำมันพืช 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์มสเตียรีนและน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว

3.1.1 แหล่งที่มาของวัตถุดิบ

สารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลดิบของน้ำมันปาล์มสเตียรีนและกลีเซอรอลดิบของน้ำมันพืชทอดใช้แล้วได้จาก สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3.1.2 วิธีเตรียมวัตถุดิบ มีดังนี้

1. ชั่งกลีเซอรอลดิบให้ได้น้ำหนักตามต้องการและทำการอุ่นในบีกเกอร์ขนาด 1,000 ml จนถึงอุณหภูมิ 70 °C และทำการกวนวัตถุดิบสม่ำเสมอจนกลีเซอรอลหลอมเหลว
2. เติม hydrochloric acid (HCl) 35% commercial grade ในสัดส่วนตั้งแต่ 7-12 % โดยน้ำหนักของกลีเซอรอล ทำการกวนเป็นระยะเวลา 40 นาทีพร้อมกับลดอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา

3. หลังทำปฏิกิริยาคั่งของผสมทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อให้ของผสมแยกชั้นอย่างสมบูรณ์ ของผสมส่วนล่าง (กลีเซอรอล) ถูกไขแยกออกจนเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล.

4. สารอินทรีย์ที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบโดยใช้ Thin Layer Chromatography (TLC) และจากการวิเคราะห์ ทำให้ทราบว่าสารอินทรีย์ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระ (FFA, free fatty acid) และเมทิลเอสเทอร์เป็นส่วนใหญ่และนอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดไขมันอิสระโดยใช้วิธีการไทเทรตเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ จาก TLC โดยวิธีการวิเคราะห์แสดงดังหัวข้อ 3.1.3 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ V.G. Shashikant และคณะ (2005)

3.1.3 การวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน และกรดไขมันอิสระ

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-10 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ให้เป็นกลาง โดยเติมฟีนอล์ฟทาลิน 5 หยด และปรับให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล หยดค้างทีละหยดพร้อมทั้งเขย่าหรือคนจนได้สีชมพูถาวร
3. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ ถ้าละลายได้ไม่ดีให้อุ่นที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส
4. ไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล ขณะไทเทรตต้องเขย่าอย่างแรง จนกระทั่งได้สีชมพูคงที่อยู่ประมาณ 1 นาที
5. คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ

3.2 กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืช โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในชุดทำปฏิกิริยาเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

1. นำสารอินทรีย์มาอุ่นที่อุณหภูมิ 70 °C และเตรียม สารอินทรีย์: เมทานอลในอัตราส่วน 1:1, 1:1.5 และ 1:2 โดยน้ำหนัก
2. เตรียม กรดซัลฟิวริก 1% โดยน้ำหนักน้ำมัน
3. นำสารอินทรีย์, เมทานอล และกรดซัลฟิวริก ใส่ในชุดทำปฏิกิริยา
4. ให้ความร้อนโดยให้ได้อุณหภูมิ 70, 75, 80, 85 และ 90 °C นาน 1-3 ชั่วโมง
5. ของผสมหลังปฏิกิริยาทิ้งไว้ให้เย็นแล้วสังเกตผลที่ได้
6. คำนวณสมมูลมวลสาร และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ Thin Layer Chromatography (TLC) บันทึกผลการทดลอง

7. ใช้สภาวะที่เหมาะสมทำการทดลองในชุดปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 40 ลิตร
8. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

3.3 กระบวนการผลิตเพื่อยืนยันผลการทดลองในชุดต้นแบบของการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบกะ ขนาด 40 ลิตร

กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันปาล์มสเตียรีนและน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว มีขั้นตอนรวม 6 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพประกอบ 15 และในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 กระบวนการเตรียมสารอินทรีย์

โดยนำกลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C ด้วยแก๊สทำการกวนผสมสม่ำเสมอและเติมกรดไฮโดรคลอริกเพื่อทำลายพันธะสบู่ในกลีเซอรอลดิบจะได้ชั้นสารอินทรีย์แยกแยกจากกลีเซอรอลดิบอยู่ด้านบนทำการแยกชั้นกลีเซอรอลออก และทำการกรองแยกสิ่งสกปรกออกจากสารอินทรีย์โดยใช้ตะแกรง แล้วจึงเก็บสารอินทรีย์ที่กรองได้ในภาชนะปิด

3.3.2 กระบวนการอุ่นสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ที่เตรียมได้จากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันพืช 2 ชนิด มีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะจากน้ำมันปาล์มสเตียรีนเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงต้องนำสารอินทรีย์ที่เตรียมในขั้นตอนที่ 1 มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C ด้วยแก๊สจนสารอินทรีย์อยู่ในรูปของเหลวหมด แล้วจึงป้อนเข้าถังทำปฏิกิริยา

3.3.3 กระบวนการทำปฏิกิริยา

สารอินทรีย์ที่ใช้มีปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นส่วนใหญ่ โดยในส่วนที่เตรียมจากกลีเซอรอลดิบของน้ำมันปาล์มสเตียรีนมีกรดไขมันอิสระประมาณ 97 % และน้ำมันพืชทอดใช้แล้วมีกรดไขมันอิสระประมาณ 30% ป้อนสารอินทรีย์, เมทานอล ในสัดส่วนโดยน้ำหนักสารอินทรีย์ต่อเมทานอลเป็น 2:1 และตามด้วยกรดซัลฟิวริก 1% โดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ โดยกำหนดสภาวะที่อุณหภูมิ 70 °C ความดัน 1.5 บาร์ การทำปฏิกิริยา 1.5 ชั่วโมง เปิดป้อนตลอดการทำปฏิกิริยา และระหว่างทำการทดลองควรเช็คความดันไม่เกิน 2 บาร์ เพราะจะทำให้เกิดอันตรายได้

3.3.4 กระบวนการควบแน่นเมทานอลกลับ

ตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 60 °C คัดน้ำมันในถังทำปฏิกิริยา โดยเปิดป้อน และเปิดวาล์วทางออกให้ไอของเมทานอลไหลเข้าสู่ถังควบแน่นเพื่อควบแน่นคิงเมทานอลกลับ ซึ่งในกระบวนการนี้ จะใช้น้ำแข็งในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอของเมทานอล ใช้เวลาในการควบแน่น 3 ชั่วโมง สังเกตปริมาณเมทานอลที่ควบแน่นได้ ถ้าปริมาณน้อยลงให้เพิ่มอุณหภูมิจนถึง

80 °C ในส่วนของถังควบแน่นควรถ่ายเทน้ำร้อนออก แล้วเติมน้ำแข็งใหม่จนควบแน่นเมทานอลหมด ซึ่งโดยรวมใช้ปริมาณน้ำแข็ง 60 กิโลกรัม

3.3.5 กระบวนการแยกสิ่งเจือปนและระเหยน้ำ

เปิดฝาถังปฏิริยา อุ่นน้ำมันที่อยู่ในถังปฏิริยาให้ร้อน โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 70 °C นาน 30 นาที ปิดฮีทเตอร์ แล้วจึงใช้น้ำล้างโดยฉีดให้เป็นฝอย ในระหว่างการล้างควรเปิดปั๊มเพื่อให้น้ำสัมผัสกับน้ำมันมากที่สุด ใช้น้ำล้างประมาณ 10 ลิตรต่อรอบ ล้าง 2-3 รอบ ในแต่ละรอบหลังฉีดน้ำล้างแล้วปล่อยให้ น้ำมันตกตะกอน 20 นาทีหลังจากนั้นทำการระเหยน้ำที่เหลืออยู่ในน้ำมัน โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C ใช้เวลา 2 – 3 ชั่วโมง และควรสังเกตผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถังปฏิริยาว่าต้องไม่มีน้ำปนอยู่

3.3.6 กระบวนการกรอง

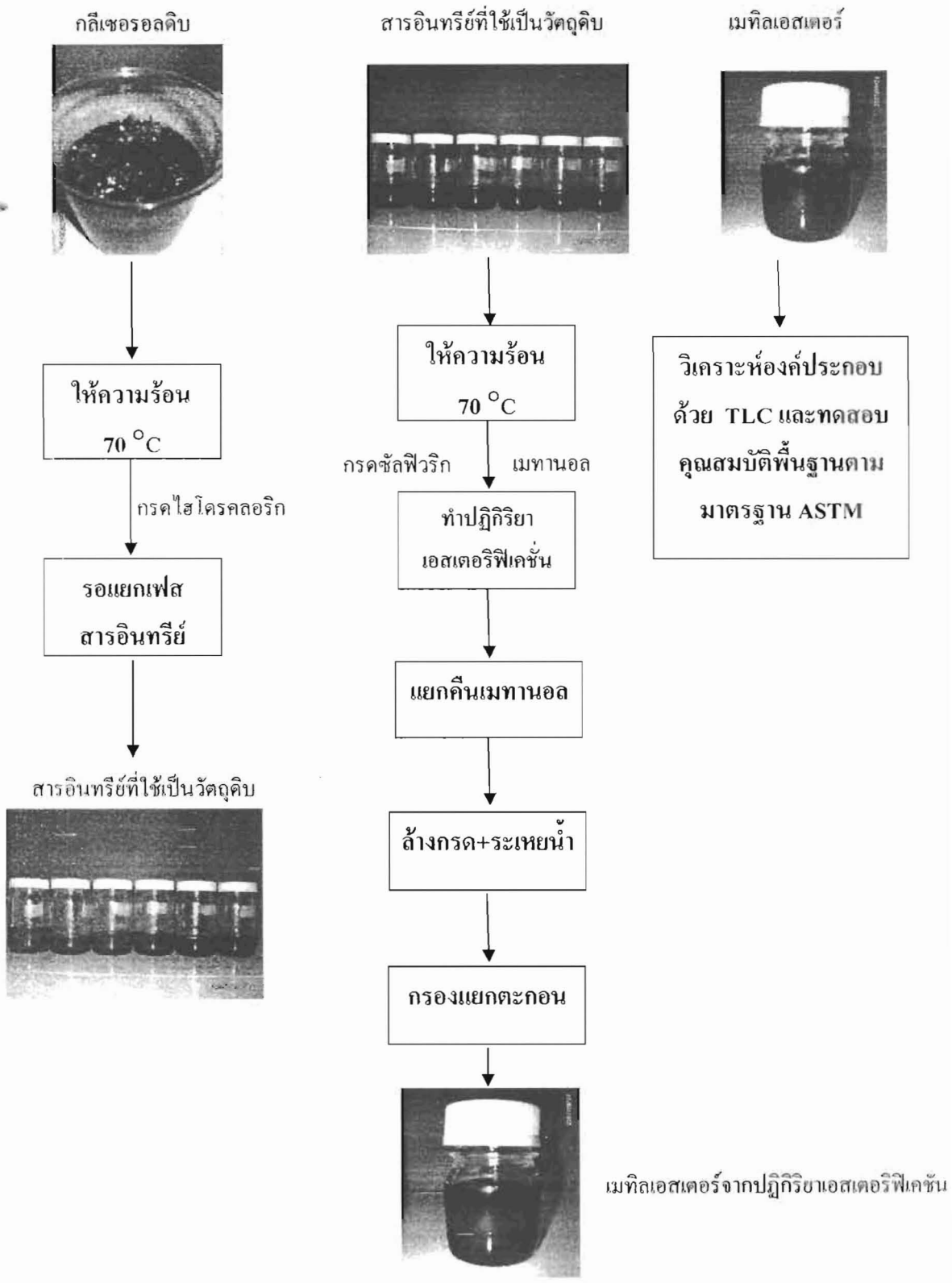
ทั้งน้ำมันที่ได้ให้เย็นแล้วจึงทำการกรองด้วยตะแกรงอีกครั้งเพื่อแยกส่วนที่เป็นตะกอนสีดำที่ไม่เกิดปฏิริยาออก ก็จะได้อเมทิลเอสเตอร์

3.3.7 กระบวนการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

เอสเตอร์ที่ได้จากการผลิตเมทิลเอสเตอร์แบบกะ นำไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วย TLC (Thin Layer Chromatography) โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดนำมาทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 6751 แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเตอร์

ลำดับ	คุณสมบัติ	อุปกรณ์	วิธีการ	หน่วย
1	จุดวาบไฟ	ชุดอุปกรณ์วัดจุดวาบไฟ	ASTM D93	°C
2	จุดไหลเท	ชุดอุปกรณ์วัดจุดไหลเท	ASTM D97	°C
3	จุดขุ่น	ชุดอุปกรณ์วัดจุดขุ่น	ASTM D2500	°C
4	ค่าความหนืดที่ 40 °C	เครื่องวัดความหนืด	ASTM D445	Centistokes
5	ค่าความถ่วงจำเพาะที่ 30 °C	เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ แบบ Hydrometer	ASTM D1298	-



ภาพประกอบที่ 15 แสดงกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟส กลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันน้ำมันพืช

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ

สารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน น้ำมันปาล์มสเตียริน (ได้จากสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

ตารางที่ 14 ผลวิเคราะห์กรดไขมันอิสระสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันปาล์มสเตียรินเปรียบเทียบจากการไทเทรตและผลวิเคราะห์จาก TLC

ตัวอย่างที่	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบจาก TLC		ผลวิเคราะห์จากการไทเทรต
	% ME	%FFA	%FFA
1	2.81	97.19	97.33
2	2.18	97.82	97.86
3	2.43	97.57	97.50

จากตารางที่ 14 วัตถุดิบที่ใช้ถูกเตรียมจากการเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 35% commercial grade ในสัดส่วน 11% โดยน้ำหนัก เทียบกับกลีเซอรอลดิบ และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารอินทรีย์จาก TLC เทคนิคพบว่า มีองค์ประกอบโดยมากเป็นกรดไขมันอิสระประมาณ 97 % และมีเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 3 % เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระจากการไทเทรตและจาก TLC เทคนิคพบว่า มีค่าใกล้เคียงกันจึงเป็นการยืนยันผลการทดลองในส่วนของ TLC เทคนิคได้ และเนื่องจากสารอินทรีย์จะแข็งตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นในการทำการไทเทรตควรทำการอุ่นวัตถุดิบก่อนทำการไทเทรต

2. สารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน น้ำมันพืชทอดใช้แล้ว โดยสารอินทรีย์สามารถเตรียมได้ตามหัวข้อ 3.1.2 โดยมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลวิเคราะห์กรดไขมันอิสระสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วเปรียบเทียบกับจากการไทเทรตและผลวิเคราะห์จาก TLC

ร้อยละโดยน้ำหนักของ 35% Conc. HCl	% yield Organic	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย TLC		Titration %FFA
		%ME	%FFA	
7%	42.47	60.20	39.80	38.54
8%	52.14	71.17	28.83	29.23
9%	50.45	59.95	40.05	41.48
10%	47.26	53.39	46.61	44.54
11%	44.41	53.66	46.34	45.06
12%	43.65	58.10	41.90	40.63

จากตารางที่ 15 เมื่อทดลองเติมกรดไฮโดรคลอริกตั้งแต่ 7- 12% โดยน้ำหนักเทียบกับกลีเซอรอลดิบพบว่าที่ 8% โดยน้ำหนักของกรดไฮโดรคลอริกจะสามารถแยกสารอินทรีย์ให้ผลได้สูงสุดที่ 52.14% เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยจาก TLC เทคนิคพบว่าที่ 8% โดยน้ำหนักของกรดไฮโดรคลอริกมีองค์ประกอบโดยมากเป็นเมทิลเอสเตอร์ 71.17% และให้กรดไขมันอิสระต่ำสุดที่ 28.83 % และหากเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระจากการไทเทรตและ TLC เทคนิคพบว่าผลวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับกรณีสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของปาล์มสเตียร์น ดังนั้นจึงเลือกสัดส่วนของกรดไฮโดรคลอริก 8% โดยน้ำหนักเทียบกับกลีเซอรอลเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง.

สำหรับปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้และผลได้ของปฏิกิริยาส่วนหนึ่งคือน้ำ ดังนั้นหากมีปริมาณน้ำในวัตถุดิบมากจะส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดผันกลับมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ V.G. Shashikant และคณะ (2005) ซึ่งได้ทำการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเตอร์จาก Mahua oil ซึ่งมีกรดไขมันอิสระอยู่สูง และใช้ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันในการลดกรดไขมันอิสระ พบว่าเมื่อทำการศึกษาโดยใช้สัดส่วนเมทานอลเข้าทำปฏิกิริยาสูงถึง 0.65 v/v จะเกิดน้ำในผลิตภัณฑ์สูง ส่งผลให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ไม่สูงเท่าที่ควรและส่งผลเสียในส่วนของ การสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์

ดังนั้นสำหรับวัตถุดิบที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันจึงต้องทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำก่อนทำปฏิกิริยาด้วย สำหรับการวิเคราะห์จะดำเนินการใช้วิธี Karl Fischer Titration รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ตามภาคผนวก ข และผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์น้ำในวัตถุดิบ โดยใช้วิธี Karl Fischer Titration

ลำดับที่	ชนิดของน้ำมันที่ใช้แยกเฟสสารอินทรีย์จากกลีเซอรอลดิบ	ร้อยละโดยน้ำหนักของ 35% Conc. HCl	% H ₂ O
1	ปาล์มสเตียร์น	11%	0.358%
2	ปาล์มสเตียร์น	11%	0.374%
3	ปาล์มสเตียร์น	11%	0.342%
4	น้ำมันพืชทอดใช้แล้ว	7%	0.337%
5	น้ำมันพืชทอดใช้แล้ว	8%	0.338%
6	น้ำมันพืชทอดใช้แล้ว	9%	0.398%
7	น้ำมันพืชทอดใช้แล้ว	10%	0.352%
8	น้ำมันพืชทอดใช้แล้ว	11%	0.346%
9	น้ำมันพืชทอดใช้แล้ว	12%	0.367%

จากตารางที่ 16 พบว่าวัตถุดิบที่เตรียมได้มีปริมาณของน้ำตั้งแต่ 0.342 - 0.374% สำหรับสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มสเตียร์น และ 0.337 - 0.398% สำหรับสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว จะเห็นว่ามือน้ำในวัตถุดิบในปริมาณมาก ดังนั้นวัตถุดิบที่จะใช้สำหรับทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันจึงควรอุ่นวัตถุดิบเพื่อระเหยน้ำออกก่อน เพื่อมิให้น้ำไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา

4.2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเตอริ์ โดยศึกษาจากปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

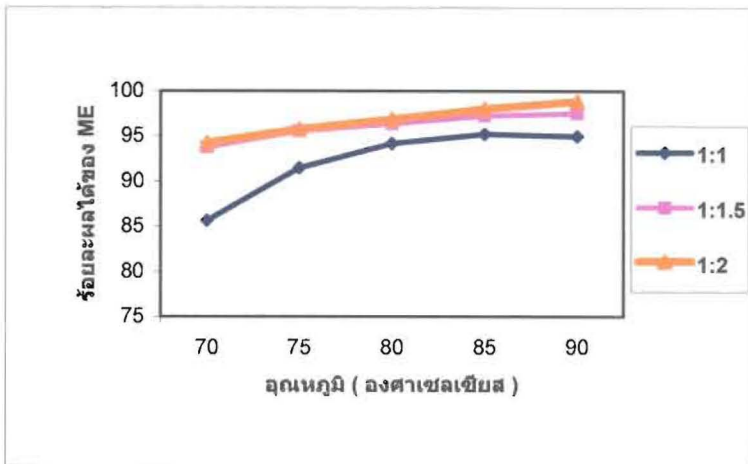
การศึกษาจะแบ่งตามชนิดของวัตถุดิบ ดังนี้

4.2.1 สารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของปาล์มสเตียร์น

4.2.1.1 ศึกษาผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลและอุณหภูมิที่มีผลต่อ

ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์

ทำการศึกษาที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลเป็น 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ที่อุณหภูมิ 70, 75, 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียสและใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนักของกรดซัลฟิวริกเทียบกับสารอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ V.B. Vcljkovic และคณะ (2006) ได้ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จาก tobacco seed oil ด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าผลได้ของผลิตภัณฑ์สูงสุดที่ 91% และเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีคุณสมบัติผ่านตามาตรฐาน ASTM D6751-02 ของสหรัฐอเมริกาและ DIN EN 14214 ของยุโรป โดยผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 16



ภาพประกอบที่ 16 แสดงผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลและอุณหภูมิกับร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์

จากภาพประกอบที่ 16 ที่อุณหภูมิค่าในช่วง 70-75 องศาเซลเซียสพบว่าสัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลตั้งแต่ 1: 1.5 ขึ้นไปจะให้ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกันและหากพิจารณาเปรียบเทียบกับสัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลที่ 1: 1 ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์จะมีค่าต่างกัน ทั้งนี้พบว่าในขั้นตอนของการล้างด้วยน้ำอุ่นจะเกิดขึ้นของอิมัลชันลักษณะเป็นฟองครีมสีเหลืองอ่อนปนอยู่ระหว่างชั้นของเมทิลเอสเทอร์กับน้ำ เป็นผลให้สูญเสียเมทิลเอสเทอร์ในขั้นตอนการไขแยกน้ำล้างและอิมัลชันกับเมทิลเอสเทอร์ ดังแสดงใน

เมทิลเอสเทอร์จะสูงขึ้นและจะเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

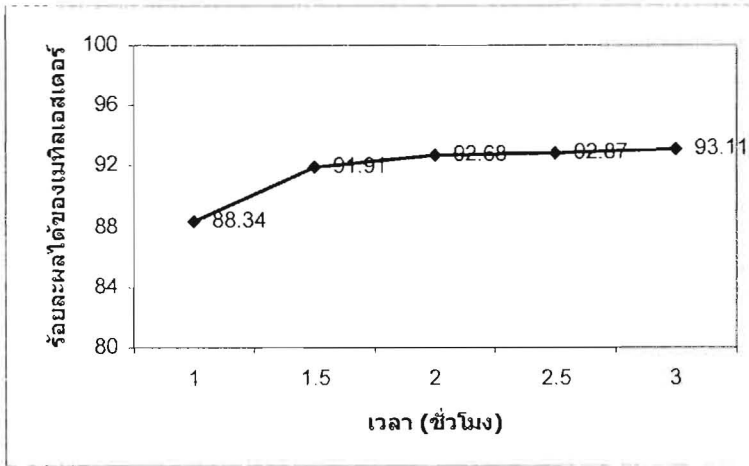


อิมัลชันที่เกิดในชั้นตอนล่างน้ำ

ภาพประกอบที่ 17 ลักษณะของอิมัลชันที่เกิดในขั้นตอนการล้างด้วยน้ำ

4.2.1.2 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์

ทำการศึกษาในช่วงเวลา 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ชั่วโมง และใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลและอุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 4.2.1.1 คืออุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลเป็น 1:1.5 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนักของกรดซัลฟิวริก ผลการทดลองดังภาพประกอบที่ 18



ภาพประกอบที่ 18 แสดงผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยากับร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์

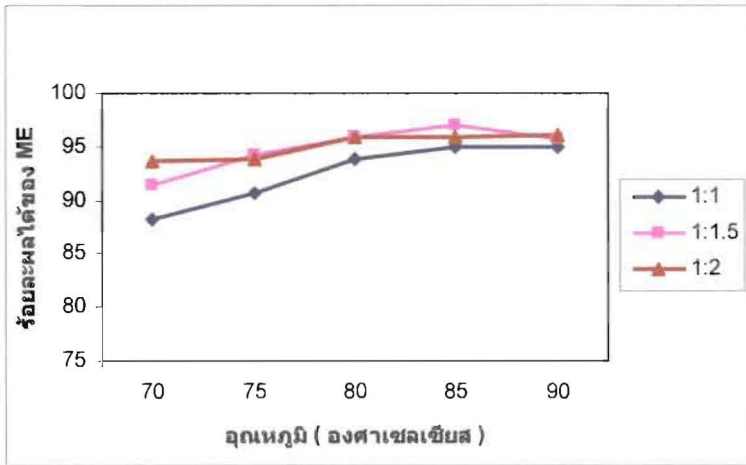
จากภาพประกอบที่ 18 เมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่าร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและจะคงที่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 1.5 ชั่วโมงขึ้นไป ทั้งนี้สาเหตุที่ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ไม่สูงเท่าที่ควรเนื่องจากการเกิดอิมัลชันเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 4.2.1.1 จึงเลือกใช้เวลา 1.5 ชั่วโมงเป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากหัวข้อ 4.2.1.1 และ 4.2.1.2 โดยใช้ Thin Layer Chromatograph (TLC) พบว่ากรดไขมันอิสระส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ในช่วง 99.17 – 99.83% และส่วนที่เหลือเพียงเล็กน้อยคือกรดไขมันอิสระที่เหลือจากปฏิกิริยา

4.2.2 สารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว

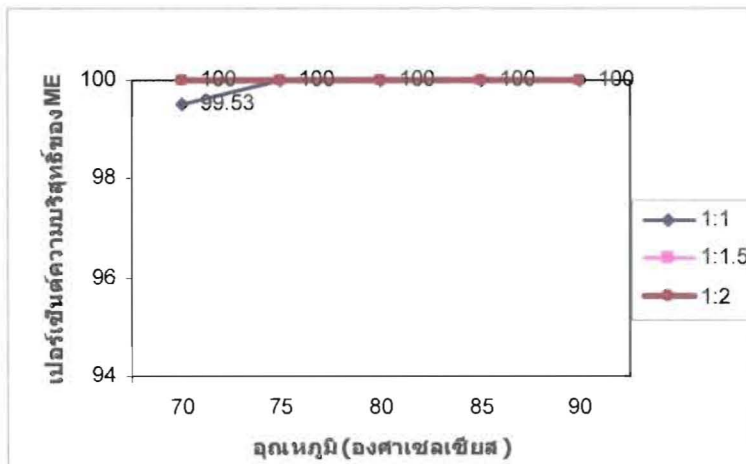
4.2.2.1 ศึกษาผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลและอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละผลได้และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

ทำการศึกษาที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลเป็น 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ที่อุณหภูมิ 70, 75, 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียสและใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนักของกรดซัลฟิวริกเทียบกับสารอินทรีย์ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 19



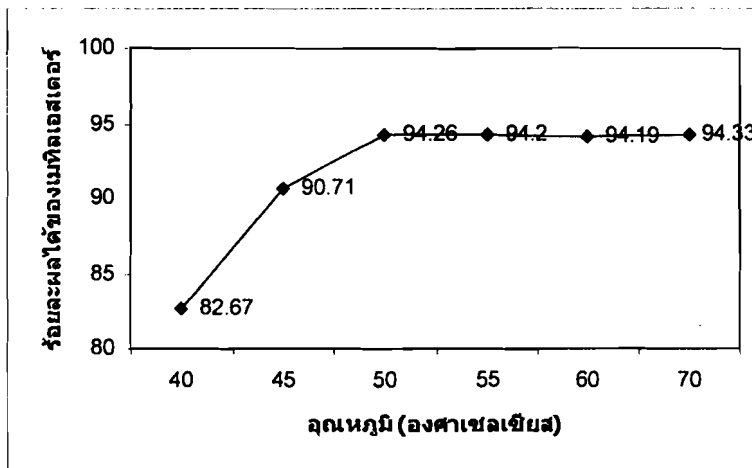
ภาพประกอบที่ 19 แสดงผลของสัดส่วน โดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลและอุณหภูมิกับร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์

จากภาพประกอบที่ 19 เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิและสัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลกับร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งจากกราฟจะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการทดลองตามหัวข้อ 4.2.1.1 คือที่สัดส่วน โดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลที่ 1:1, 1:1.5 ร้อยละผลได้ไม่มีความแตกต่างกัน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิผลได้ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจะมีแนวโน้มคงที่และเมื่อพิจารณาศึกษาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์จาก Thin Layer Chromatograph (TLC) ซึ่งแสดงผลตามภาพประกอบที่ 20

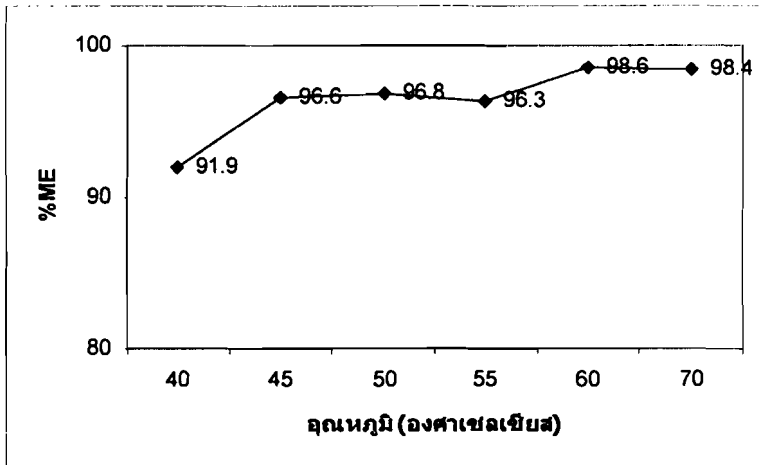


ภาพประกอบที่ 20 แสดงผลของสัดส่วน โดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลและอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์

จากภาพประกอบที่ 20 เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิและสัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลกับเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ซึ่งพบว่าโดยมากมีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เป็น 100 % ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนของเมทานอลที่มีปริมาณมากเกินไปเมื่อเทียบกับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในสารอินทรีย์และจากการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วย Titration เทคนิค และ Thin Layer Chromatograph (TLC) พบว่ามีกรดไขมันอิสระอยู่ประมาณ 29 % โดยน้ำหนักเทียบกับสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ดังนั้น การศึกษาขั้นต่อไปจะทำการศึกษาโดยลดสัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลที่เข้าทำปฏิกิริยา และลดอุณหภูมิที่เข้าทำปฏิกิริยาโดยสนใจศึกษาอุณหภูมิในช่วง 40- 70 องศาเซลเซียส สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ 100 กรัม (มีกรดไขมันอิสระประมาณ 28.83 %) ต่อเมทานอล 30 กรัม ทั้งนี้เพื่อคำนึงถึงต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการผลิตต่อไป ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 21 และ 22



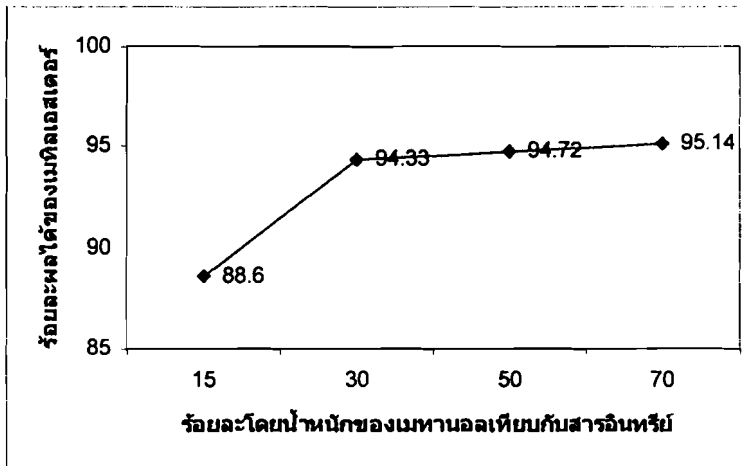
ภาพประกอบที่ 21 แสดงผลของอุณหภูมิกับร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์



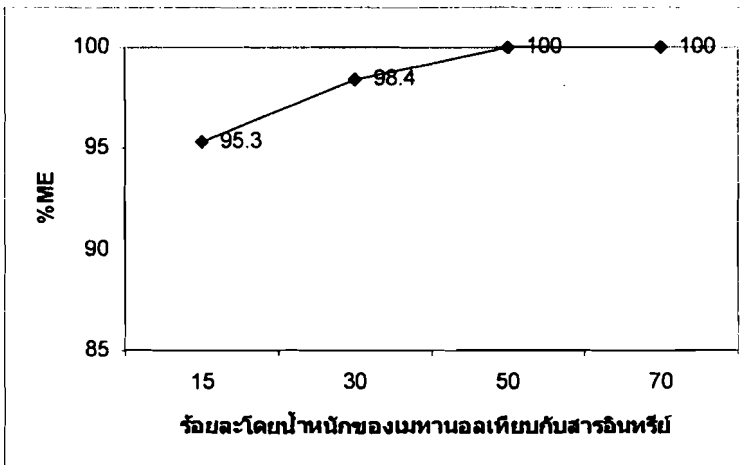
ภาพประกอบที่ 22 แสดงผลของอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

จากภาพประกอบที่ 21 ศึกษาผลของอุณหภูมิกับร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เมื่อทำการลดอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40-70 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เมื่อเทียบกับอุณหภูมิทำปฏิกิริยาที่สูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ผลได้ลดลงเล็กน้อยและหากพิจารณาเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 40 องศาเซลเซียส ผลได้จะเพิ่มขึ้น และคงที่ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50 องศาเซลเซียสและจากภาพประกอบที่ 22 เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์พบว่าที่อุณหภูมิในช่วง 45 – 70 องศาเซลเซียส ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 96.6 ถึง 98.6 % ซึ่งมีแนวโน้มที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ในหัวข้อปริมาณของเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ที่กำหนดให้สูงกว่า 96.5% และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจะให้ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดและได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์สูงที่ 94.33% และ 98.4 % ตามลำดับ ดังนั้นจึงสนใจเลือกใช้อุณหภูมินี้เป็นสถานะที่เหมาะสมที่ใช้ดำเนินการผลิต

เมื่อศึกษาผลของสัดส่วนร้อยละ โดยนำนักเมทานอลเทียบกับสารอินทรีย์โดยลดอัตราส่วนลงดังนี้ คือใช้เมทานอลในช่วง 15, 30, 50 และ 70% โดยนำนักเทียบกับสารอินทรีย์ (มีกรดไขมันอิสระประมาณ 29%) โดยใช้อุณหภูมิตั้งที่ 70 องศาเซลเซียสและใช้ตัวเร่ง ปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 1% โดยนำนักเทียบกับสารอินทรีย์ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 23 และ 24



ภาพประกอบที่ 23 แสดงผลของร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์กับสัดส่วน โดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอล



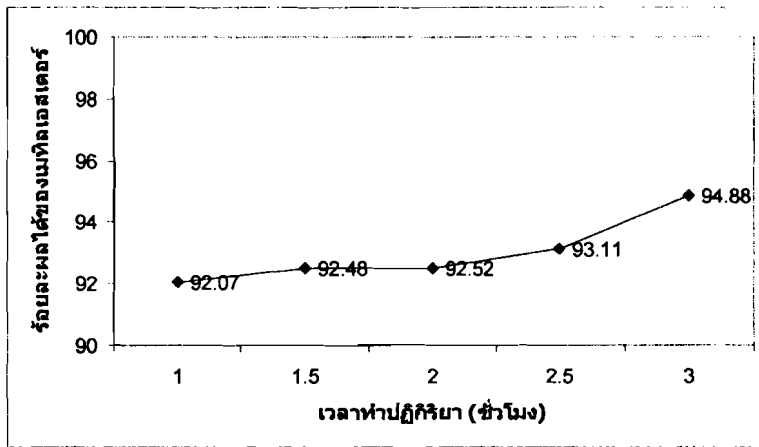
ภาพประกอบที่ 24 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์กับร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทานอลเทียบกับสารอินทรีย์

จากภาพประกอบที่ 23 และ 24 เป็นการศึกษาค่าผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของเมทานอลตั้งแต่ 15%, 30%, 50% และ 70% เทียบกับสารอินทรีย์ซึ่งมีกรดไขมันอิสระประมาณ 29 % โดยจะสนใจผลได้ของผลิตภัณฑ์และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเมทานอลตั้งแต่ 30 กรัมขึ้นไป และพบว่าเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเป็น 100% เมื่อใช้ปริมาณเมทานอล

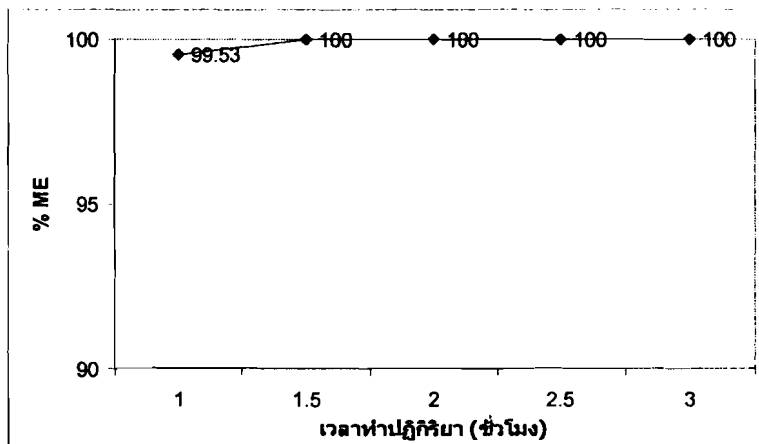
ตั้งแต่ 50 % โดยน้ำหนักเทียบกับสารอินทรีย์ ดังนั้นจึงเลือกสัดส่วนของเมทานอล 50 % โดยน้ำหนักเทียบกับสารอินทรีย์ เป็นสถานะที่เหมาะสมในการดำเนินการต่อไป

4.2.2.2 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อร้อยละและเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาผลของเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา โดยศึกษาในช่วงเวลา 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาเป็น 70 องศาเซลเซียส ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของเมทานอล 50 % โดยน้ำหนักเทียบกับสารอินทรีย์ (กรดไขมันอิสระ 29%) ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 25 และ 26



ภาพประกอบที่ 25 แสดงผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยากับร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์



ภาพประกอบที่ 26 แสดงผลของเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยากับเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

จากภาพประกอบที่ 25 และ 26 พบว่าผลได้ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มคงที่ในช่วงเวลา 1.0 - 2.5 ชั่วโมงและจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มเวลาเป็น 3 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์จะมากขึ้นและจะสูงสุดและคงที่เป็น 100 % ที่เวลาดั้งแต่ 1.5 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาที่ 1.5 ชั่วโมงเป็นเวลาที่เหมาะสมในการดำเนินปฏิกิริยา.

4.3 ผลการทดลองการแยกคืนเมทานอลกลับในชุดหาสภาวะที่เหมาะสม

เนื่องจากการทำปฏิกิริยาจำเป็นต้องใช้สัดส่วนของเมทานอลต่อสารอินทรีย์ในปริมาณที่มากเกินไปสำหรับดำเนินปฏิกิริยาให้สมบูรณ์และหลังปฏิกิริยาจะมีปริมาณของเมทานอลส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาปริมาณมาก ดังนั้นหากคำนึงถึงต้นทุนในการผลิตแล้วจึงควรเพิ่มขั้นตอนของการแยกคืนเมทานอลส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา ในเบื้องต้นได้ทำการทดลองกลั่นแยกคืนเมทานอลในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันของสารอินทรีย์ที่แยกได้จากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้แล้วโดยใช้อุปกรณ์ตามภาพประกอบที่ 12 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 17 เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60-80°C และใช้ความดันบรรยากาศ

ตารางที่ 17 ผลการแยกคืนเมทานอลและผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์น้ำในผลิตภัณฑ์โดยใช้

วิธี Karl Fischer Titration

ลำดับ ที่	สภาวะที่ใช้ทำปฏิกิริยา (ก่อนแยกคืน)			เมทานอลที่แยกคืนได้		% H ₂ O จาก Karl Fischer
	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	%เมทานอล	น้ำหนัก (กรัม)	% yield เมทานอล	
1	70	60	50	38.66	77.32	4.21
2	70	50	50	43.58	87.16	4.80
3	70	40	50	44.02	88.04	5.00
4	70	30	50	43.44	86.88	4.87
5	65	60	50	38.02	76.04	4.42
6	60	60	50	41.75	83.50	4.43
7	70	60	30	26.32	87.73	4.21
8	70	50	30	26.94	89.80	4.46
9	70	40	30	28.14	93.80	4.48
10	70	30	30	28.79	95.97	4.48
11	65	60	30	26.02	86.73	4.41
12	60	60	30	26.75	89.17	4.46

จากตารางที่ 17 แสดงปริมาณเมทานอลที่แยกคั้นได้และผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์น้ำที่ปนเปื้อนโดยใช้ เทคนิค Karl Fischer Titration เมื่อทำการลดเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70°C โดยศึกษาที่สัดส่วนของเมทานอล 30% และ 50% โดยน้ำหนักเทียบกับสารอินทรีย์ พบว่าจะมีแนวโน้มของปริมาณเมทานอลที่แยกได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อลดเวลาในการทำปฏิกิริยา เมทานอลจะถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาน้อยลงหรืออาจกล่าวได้ว่ามีเมทานอลเหลือในปฏิกิริยามากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถแยกคั้นเมทานอลได้มากขึ้นและพบว่าเมื่อใช้เมทานอล 50% สามารถแยกคั้นเมทานอลได้ 76.04 – 88.04 % และที่ปริมาณเมทานอล 30 % จะสามารถแยกได้ 86.73 -95.97 % เมื่อนำเมทานอลไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์น้ำที่ปนเปื้อน พบว่ามีน้ำปนเปื้อนอยู่ในเมทานอลอยู่ในช่วง 4.208 – 5.001 % โดยเมทานอลที่แยกคั้นได้แสดงดังภาพประกอบที่ 27



ภาพประกอบที่ 27 ลักษณะทางกายภาพของเมทานอลที่แยกคั้นได้หลังจากการทำปฏิกิริยา-เอสเตอร์ฟิเคชันในชุดหาสภาวะที่เหมาะสม

จากภาพที่ 27 แสดงลักษณะทางกายภาพของเมทานอลที่แยกคั้นได้หลังปฏิกิริยาจากชุดการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้อุปกรณ์ตามภาพประกอบที่ 12 พบว่าเมทานอลที่ได้มีลักษณะใส ไม่พบตะกอนหรือสิ่งปนเปื้อนใดๆ แต่มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวแรงคล้ายกลิ่นของน้ำมันไหม้ เมื่อตั้งทิ้งไว้ระยะหนึ่งกลิ่นจะจางลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากกลิ่นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขณะที่ทำการแยกคั้นเมทานอลที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส

4.4 การผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในชุดปฏิกรณ์แบบกะขนาด 40 ลิตรโดยใช้ ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน

4.4.1 การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันปาล์มสเตียรีน

จากผลการทดลองในชุดหาสภาวะที่เหมาะสมในข้อ 4.2.1.1 และ 4.2.1.2 ทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันปาล์มสเตียรีนดังนี้คือ

- * อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 80 องศาเซลเซียส
- * ระยะเวลาดำเนินปฏิกิริยา 1.5 ชั่วโมง
- * สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารอินทรีย์ต่อเมทานอลเป็น 1: 1.5

เมื่อใช้ กรดซัลฟิวริก 1 % โดยน้ำหนักเทียบกับสารอินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลการทดลองผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสภาวะที่เหมาะสมในชุดปฏิกรณ์แบบกะ
ขนาด 40 ลิตรเมื่อใช้วัตถุดิบคือสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของปาล์มสเตียรีน

ลำดับ ที่	% yield ของ ผลิตภัณฑ์	ผลวิเคราะห์ องค์ประกอบ (TLC)		ผลวิเคราะห์ องค์ประกอบ (Titration) % FFA	เมทานอลแยก คืน		% น้ำ ใน ผลิตภัณฑ์
		% ME	% FFA		%เม ทานอล	% น้ำ	
1	95.36	99.78	0.22	0.26	86.22	4.68	0.03
2	92.04	99.81	0.19	0.21	92.09	4.69	0.03
3	94.97	99.83	0.17	0.16	90.86	4.67	0.03

จากตารางที่ 18 พบว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้สอดคล้องใกล้เคียงกับการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย TLC จะให้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า 99% และสามารถยืนยันผลการทดลองให้นำเชื้อถ้อยขึ้นด้วยการไทเทรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระผลที่ได้ให้ค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถแยกคืนเมทานอลได้สูงอยู่ในช่วง 86.22% – 92.09% ทั้งนี้เป็นผลดีในแง่การลดต้นทุน

ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตได้ หลังจากนำเมทิลเอสเตอร์ที่ได้ไประเหยน้ำแล้วนำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์พบว่ามีค่า 0.026% - 0.028% ผ่านตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

4.4.2 การผลิตเมทิลเอสเตอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว

จากผลการทดลองในชุดหาสภาวะที่เหมาะสมในข้อ 4.2.2.1 และข้อ 4.2.2.2 ทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วดังนี้คือ

- * อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 70 องศาเซลเซียส
- * ระยะเวลาดำเนินปฏิกิริยา 1.5 ชั่วโมง
- * สัดส่วนโดยน้ำหนักของเมทานอล 50 % เทียบกับสารอินทรีย์ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระ 30 % โดยเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์และเมทานอลตามสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์ 40 ลิตรเมื่อใช้ กรดซัลฟิวริก 1 % โดยน้ำหนักเทียบกับสารอินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลการทดลองผลิตเมทิลเอสเตอร์จากสภาวะที่เหมาะสมในชุดปฏิกรณ์แบบกะขนาด 40 ลิตร เมื่อใช้วัตถุดิบคือสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว

ลำดับที่	% yield ของผลิตภัณฑ์	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบ (TLC)		เมทานอลแยกคืน		% น้ำในผลิตภัณฑ์
		% ME	% FFA	%เมทานอล	% น้ำ	
1	94.86	100	0	94.47	4.35	0.03
2	93.95	100	0	92.14	4.38	0.03
3	91.33	100	0	91.63	4.34	0.03

จากตารางที่ 19 พบว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้สอดคล้องใกล้เคียงกับการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย TLC จะให้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์สูงสุดเป็น 100% ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เพื่อยืนยันผลการทดลองด้วยการไทเทรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระ และสามารถ

แยกคีนเมทานอลได้สูงอยู่ในช่วง 91.63 % – 94.47 % ทั้งนี้เป็นผลดีในแง่การลดต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตได้ หลังจากนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไประเหยน้ำแล้วนำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์พบว่า มีค่า 0.028% - 0.030 %

4.5 ลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์

เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันเมื่อใช้วัตถุดิบเป็นสารอินทรีย์ที่แยกได้จากเฟสของกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วและน้ำมันปาล์มสเตียรีนมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบที่แตกต่างกันในเรื่องของสีและกลิ่น สารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันปาล์มสเตียรีนจะมีสีน้ำตาลเข้มเมื่อทำการอุ่นให้หลอมเหลวและจะมีกลิ่นเหม็นไม่มากนัก ส่วนสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้แล้วจะมีสีดำเข้ม มีกลิ่นเหม็นหืน ดังนั้นเมื่อนำวัตถุดิบมาผลิตเมทิลเอสเทอร์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันด้วย ดังแสดงตัวอย่างเปรียบเทียบในภาพประกอบที่ 28



เมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอล
ของน้ำมันปาล์มสเตียรีน



เมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอล
ของน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว

ภาพประกอบที่ 28 ตัวอย่างเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วกับปาล์มสเตียรีน

4.6 วิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์

ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการทางเคมีเทียบกับค่ามาตรฐานของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D 6751 ของประเทศสหรัฐอเมริกาและมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ค่าที่ได้แสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 20 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้เทียบกับมาตรฐาน ASTM D 6751 และมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

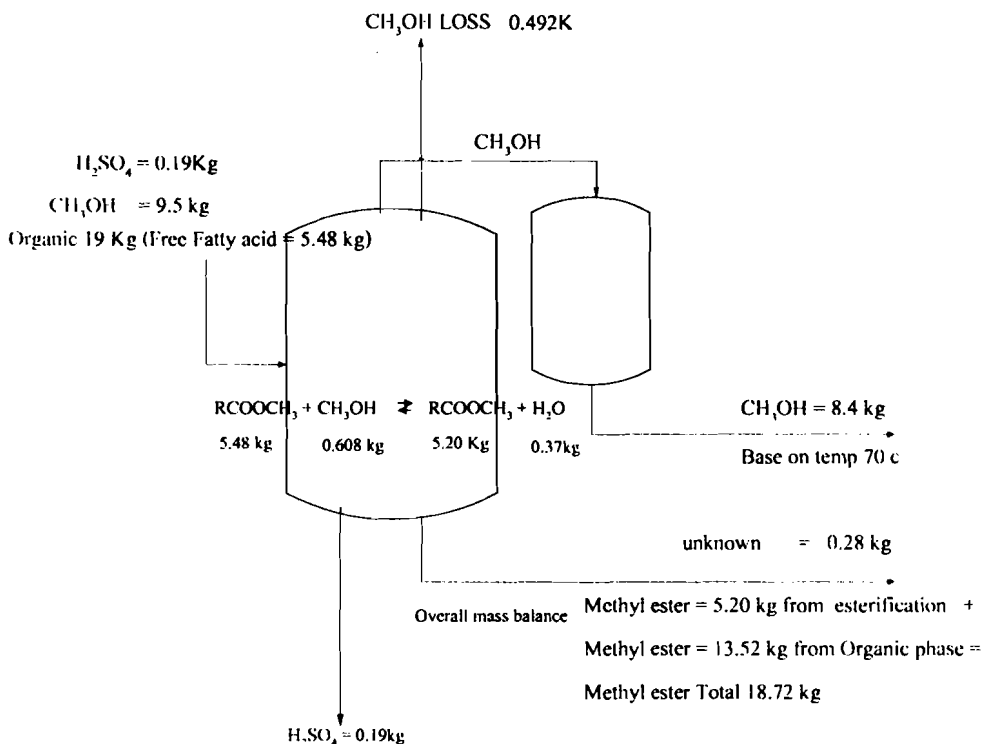
Property	Unit	Test method	Biodiesel specification		methyl ester from	
			Thai Standard	ASTM D 6751	Organic phase of	
					Palm Stearin	Use Cooking Oil
Ester content	%wt	TLC	>96.5	-	99.81	100
Water content	%wt	Karl Fischer	0.05 max	0.03 max	0.027	0.029
Density at 15 ^o C	kg/m ³	ASTM D4052	860-900	870-900	868	870
Viscosity at 40 ^o C	mm ² /s	ASTM D445	3.5-5.0	1.9-6.0	4.89	4.86
Flash point	^o C	ASTM D93	>120	>130	181	161
Cloud point	^o C	ASTM D2500	-	-3 to 12	12	8
Pour point	^o C	ASTM D97	-	-15 to 10	8	6

จากตารางที่ 22 พบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ทำการผลิตจากวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดที่แตกต่างกัน มีคุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีที่ผ่านตามาตรฐานทั้งของกรมธุรกิจพลังงาน และมาตรฐาน ASTM D 6751 ของประเทศสหรัฐอเมริกา.

4.7 ตัวอย่างการทำคุณมวลสารของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์

จากตารางที่ 19 ในชุดการทดลองที่ 1 ใช้สารอินทรีย์ 19 กิโลกรัมทำปฏิกิริยากับ เมทานอล 9.5 กิโลกรัม กรดซัลฟิวริก 0.19 กิโลกรัมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 1.5 ชั่วโมง ได้เมทิลเอสเทอร์ 18.72 กิโลกรัม หรือ 92.58 % ของน้ำหนักสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ (มีน้ำปน 0.37 กิโลกรัม) สามารถแยกคืนเมทานอลได้ 8.4 กิโลกรัม เมทานอลที่ใช้ใน

การทำปฏิกิริยา 0.608 กิโลกรัม สูญเสียไปในระหว่างการผลิต 0.492 กิโลกรัมจากเมทานอลที่ใส่ เริ่มต้น 9.5 กิโลกรัมดังแสดงในภาพประกอบที่ 29 และตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข



ภาพประกอบที่ 29 ตัวอย่างการทำคุณมวลสารของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วจากชุดปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 40 ลิตร

ทั้งนี้ในขั้นตอนของการแยกคืนเมทานอลในชุดปฏิกรณ์ต้นแบบขนาด 40 ลิตร พบปัญหาเมื่อนำน้ำเป็นสารหล่อเย็นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอของเมทานอลให้ควบแน่นกลับมาเป็นของเหลว โดยไอของเมทานอลควบแน่นเป็นของเหลวไม่ทันด้วยสาเหตุคือ อุณหภูมิที่ใช้น้ำหล่อเย็นไม่ต่ำพอที่ทำให้ไอเมทานอลควบแน่นและอีกสาเหตุอาจเกิดจากคอลัมน์ที่เป็นใช้ควบแน่นมีระยะสั้นเกินไป ทั้งนี้สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวโดยใช้น้ำแข็งเป็นสารหล่อเย็นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอเมทานอลให้ควบแน่นได้ดีขึ้น สำหรับการทดลองแยกคืนเมทานอลในชุดปฏิกรณ์

40 ลิตรจะใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง และต้องใช้น้ำแข็ง 2 กระสอบหรือประมาณ 60 กิโลกรัมในการควบคุมอุณหภูมิตลอด 1 ชุดการทดลอง

4.8 ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์พื้นฐานในการผลิต

4.8.1 ราคาวัตถุดิบที่ใช้ผลิต

- * Methanol (CH_3OH) 99.5% commercial grade 19 Bath/Kg
- * Sulfuric acid (H_2SO_4) 98% commercial grade 8 Bath/Kg
- * Hydrochloric acid (HCl) 35% commercial grade 13.43 Bath/Kg
- * Sodium hydroxide (NaOH) 99% commercial Grade 19 Bath/Kg

4.8.2 ประมาณการต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล

จากการทำคุณวมวลสารในหัวข้อ 4.7 สามารถประมาณการต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ดังตารางที่ 20 และ 21 ตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ทำปฏิกิริยาและราคาค้นทุนวัตถุดิบตามหัวข้อ 4.8.1

ตาราง ที่ 21 ประมาณการต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจาก
เฟสกลีเซอรอลของปาล์มสดเคียวริน

วัตถุดิบที่ใช้	น้ำหนัก (กก.)	ราคาวัตถุดิบต่อกิโลกรัม (บาท)				
		เมทานอล	กรด ซัลฟิวริก	กรดไฮโดร คลอริก	พลังงาน	รวม
ขั้นตอนเตรียมสารอินทรีย์						
- กลีเซอรอลดิบ	38.00					-
- กรดไฮโดรคลอริก	4.18			13.43		-56.14
ขั้นตอนทำปฏิกิริยา						
- สารอินทรีย์	19.00					-
-เมทานอลทำปฏิกิริยา 0.912 กก.	2.25	19				-42.75
-เมทานอลสูญเสียบ 1.338 กก.						
- กรดซัลฟิวริก	0.19		8			-1.52
ขั้นตอนแยกคืนเมทานอล						
- เมทานอลแยกคืน	22.63					-
* สมมติค่าพลังงานและน้ำหล่อ เย็นในการแยกคืนเมทานอล 1 กก. = 2 บาท/กก.	22.63				2.00	-45.26
* ค่าน้ำตาลอดการทดลอง						
- 0.01 บาท/ลิตร	0.22					-0.22
* ค่าพลังงานในการผลิตเมทิล เอสเทอร์ 0.50 บาท/ลิตรของME	20.16 ลิตร				10.08	-10.08
ต้นทุนการผลิตรวม						
- เมทิลเอสเทอร์	17.49					-155.97

* ค่าไฟฟ้าอ้างอิงจากฐานการคำนวณของโรงงานผลิตไบโอดีเซล จ. กระบี่

จากตารางที่ 21 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัตถุดิบสารอินทรีย์ 19 กก. ให้เมทิลเอสเทอร์ 17.49 กก.
2. จากผล TLC ในสารอินทรีย์ 19 กก. มีกรดไขมันอิสระ 18.47 กก. และ เมทิลเอสเทอร์ 0.53 กก. ดังนั้นค่าใช้จ่ายการผลิตจึงใช้เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระ 18.47 กก. ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์
3. ค่าใช้จ่ายรวมตลอดการผลิต 155.97 บาท หรือคิดเป็น 8.44 บาท/กก. ของ กรดไขมันอิสระ

ตาราง ที่ 22 ประมาณการต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่แยกจาก
เฟสกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว

วัตถุดิบที่ใช้	น้ำหนัก (กก.)	ราคาวัตถุดิบต่อกิโลกรัม (บาท)				
		เมทานอล	กรด ซัลฟูริก	กรดไฮโดร คลอริก	พลังงาน	รวม
ขั้นตอนเตรียมสารอินทรีย์						
- กลีเซอรอลดิบ	36.44					-
- กรดไฮโดรคลอริก	2.92			13.43		-39.22
ขั้นตอนทำปฏิกิริยา						
- สารอินทรีย์	19.00					-
-เมทานอลทำปฏิกิริยา 0.608 กก.	1.10	19				-20.90
-เมทานอลสูญเสีย 0.492 กก.						
- กรดซัลฟูริก	0.19		8			-1.52
ขั้นตอนแยกคืนเมทานอล						
- เมทานอลแยกคืน	8.40					-
* สมมติค่าพลังงานและน้ำหล่อ เย็นในการแยกคืนเมทานอล 1 กก. = 2 บาท	8.40				2.00	-16.80
ค่าน้ำตาลอดการทดลอง						
- 0.01 บาท/ลิตร	0.22					-0.22
* ค่าพลังงานในการผลิตเมทิล เอสเทอร์ 0.50 บาท/ลิตรของ ME	21.52 ลิตร				10.76	-10.76
ต้นทุนการผลิตรวม						
- เมทิลเอสเทอร์	18.72					-89.42

* ค่าไฟฟ้าอ้างอิงจากฐานการคำนวณของโรงงานผลิต ไบโอดีเซล จ. กระบี่

จากตารางที่ 20 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัตถุดิบสารอินทรีย์ 19 กก. ให้เมทิลเอสเทอร์ 18.72 กก.
2. จากผล TLC ในสารอินทรีย์ 19 กก. มีกรดไขมันอิสระ 5.48 กก. และ เมทิลเอสเทอร์ 13.52 กก. ดังนั้นค่าใช้จ่ายการผลิตจึงใช้เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระ 5.48 กก. ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์
3. ค่าใช้จ่ายรวมตลอดการผลิต 89.42 บาท คิดเป็น 16.32บาท/กก.ของกรดไขมันอิสระ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองดำเนินการวิจัยการผลิตไบโอดีเซลจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วและน้ำมันปาล์มสเตียรีน ซึ่งมีกรดไขมันอิสระอยู่ในปริมาณสูง สามารถสรุปได้เป็นประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1. การศึกษาผลของการผลิตเมทิลเอสเตอร์ โดยใช้สารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วและน้ำมันปาล์มสเตียรีนเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันแบบแบทช์ สามารถแยกพิจารณาเป็นกรณีได้ดังนี้

1.1 สารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันปาล์มสเตียรีนในการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเมทิลเอสเตอร์ดังนี้

1.1.1 สัดส่วนโดยน้ำหนักสารอินทรีย์ 100 กรัม (กรดไขมันอิสระ 97กรัม) ต่อ

เมทานอล 150 กรัม หรือเทียบเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักของ FFA: MeOH = 1:1.55

1.1.2 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

1.1.3 เวลา 1.5 ชั่วโมง

สามารถผลิตเมทิลเอสเตอร์ที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์สูงกว่า 99% และผลได้ (yield) 90-93% โดยมีสารปนเปื้อนคือกรดไขมันอิสระที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจากการวิเคราะห์ด้วย TLC อยู่เป็นจำนวนเล็กน้อย

1.2 สารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชทอดใช้แล้วในการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเมทิลเอสเตอร์

1.2.1 สัดส่วนโดยน้ำหนักสารอินทรีย์ 100 กรัม (กรดไขมันอิสระ 30กรัม) ต่อ

เมทานอล 50 กรัม หรือเทียบเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักของ FFA: MeOH = 1:1.67

1.2.2 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

1.2.3 เวลา 1.5 ชั่วโมง

สามารถผลิตเมทิลเอสเตอร์ที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ 100 % และร้อยละผลได้ (yield) อยู่ในช่วง 93-95% และจากผลข้อ 1.1.1 และ 1.2.1 พบว่าวัตถุดิบที่แตกต่างกันทั้ง 2 ชนิด จะมีสัดส่วนโดยน้ำหนักของ FFA: MeOH ที่สอดคล้องใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1:1.55 - 1.67

2. การทดลองผลิตเมทิลเอสเตอร์จากสภาวะที่เหมาะสมในปฏิกรณ์แบบกะขนาด 40 ลิตร จะให้ผลสอดคล้องกับสภาวะที่เหมาะสมเบื้องต้น กล่าวคือสำหรับวัตถุดิบสารอินทรีย์ที่แยกจาก

เฟสกลีเซอรอลของน้ำมันปาล์มสเตียร์นเมื่อนำมาผลิตเมทิลเอสเตอร์ให้ผลได้เฉลี่ย 94.12% และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์เฉลี่ย 99.81% และวัตถุดิบสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้แล้วให้ผลได้เฉลี่ย 93.38% และมีความบริสุทธิ์เป็น 100% เมื่อวิเคราะห์ด้วย TLC

3 ลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตจากสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันปาล์มสเตียร์นจะมีสีที่อ่อนกว่าและมีกลิ่นเหม็นน้อยกว่ากรณีใช้วัตถุดิบเป็นสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้

4. เมื่อศึกษาด้านทุนทางเศรษฐศาสตร์พื้นฐานในการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากชุดปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 40 ลิตร โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายการผลิตต่อน้ำหนักของกรดไขมันอิสระที่จะเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์ จะพบว่าเมื่อสารตั้งต้นคือกลีเซอรอลของปาล์มสเตียร์น ซึ่งมีสัดส่วนของกรดไขมันอิสระสูงถึง 97% จะมีค่าใช้จ่ายเพียง 8.44บาท/กก.ของกรดไขมันอิสระ โดยเป็นค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการแยกสารอินทรีย์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกประมาณ 3.04 บาท/กก.ของกรดไขมันอิสระ หรือ 36.02% ของการผลิตทั้งหมด แต่เมื่อสารตั้งต้นมาจากกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว ซึ่งมีกรดไขมันอิสระเพียง 28.83% จะมีค่าใช้จ่ายสูงถึง 16.32 บาท/กก.ของกรดไขมันอิสระ โดยเป็นค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการแยกสารอินทรีย์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกประมาณ 7.16บาท/กก. ของกรดไขมันอิสระ หรือ 43.87% ของการผลิตทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายประมาณ 40% คือสารเคมีที่ใช้ในการแยกเฟสสารอินทรีย์ออกจากเฟสกลีเซอรอล

5. คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตได้จากกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันของสารอินทรีย์ที่แยกจากเฟสกลีเซอรอลของน้ำมันปาล์มสเตียร์นและน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว พบว่าในแต่ละหัวข้อที่ทำการวิเคราะห์ผ่านตามาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานและมาตรฐาน ASTM D 6751 ของประเทศสหรัฐอเมริกา.

บรรณานุกรม

- คู่จันทร์ จันทร์อ่อน และ แสงแข ไพรัตน์กร. 2543. “การศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันในบ่อน้ำทิ้งของโรงงานน้ำมันปาล์ม”, โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชากริต ทองอุไร และคณะ. 2544. “การผลิตไบโอดีเซลจากผลผลิตผลปาล์มน้ำมัน” ว.สงขลานครินทร์ วทท. 23 (ฉบับพิเศษ): 831-841.
- ปวีณา พงษ์คนตรี. 2547. “โรงงานชีวภาพสำหรับผลิตกรดไขมันเพื่ออุตสาหกรรม”. ว.วิทย์.มช. 32(1): 23-54.
- ไพจิตร จันทร์วงศ์. 2530. คู่มือการใช้ประโยชน์และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันพืชและน้ำมันพืช 52 ชนิด. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- วิชา หมั่นทำการ. 2545, “การผลิตและการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซล” ว. วิศวกรรม มก. ปีที่47, ฉบับ ส.ค.-พ.ย.: 92-98.
- สิริรัตน์ พึ่งชมภู. 2548. “การศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ จากไขมันปาล์มในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม”.วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Crabbe, E., Nolasco-Hipolito, C., Kobayashi, G., Sonomoto, K. and Ishizaki, A. 2001. Biodiesel production from crude palm oil and evaluation of butanol extraction and fuel properties. *Process Biochem.* 37: 65-71.
- Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H. 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *J. Biosci. Bioeng.* 92: 405-416.

- Hui, Y.H. 1996. Palm oil. *In* Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol. II : Edible oil and fat : Oil and oilseeds, pp. 271-376. New York: John Wiley and Sons, INC.
- Hui, Y.H. 1996. Bailey's Industrial OIL & Fat Products, 5th ed: Volume 5 Industrial and Consumer Nonedible Product from Oil and Fats: A Wiley – Interscience Publication.
- Kreutzer, U.D. and Henkel, K.G. 1984. Manufacture of fatty alcohols based on natural fats and oils. *JAOCS*; 61(2): 343-348.
- Ma, F. and Hanna, M. A. 1999. Biodiesel production. *Bioresource Technol.* 70: 1-15.
- Mohamnd I. Al-Widyan, Ali O. Shyoukh, experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel, *Bioresource Tecnology* 85 (2002) 253-256.
- Muniyappa, P.R., Brammer, S.C. and Nouredini, H. 1996. Improved Conversion of Plant Oils and Animal Fats into Biodiesel and Co-product. *Bioresource Technology*, 56, 19-24.
- Shashikant, V.G. and Hifjur, R. 2005. Biodiesel production from mahua oil having high free fatty acids. *Biomass and Bioenergy*; 28(6):601-605.
- Srivastava, A. and Prasad, R. 1999. Triglycerides-based diesel fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 4: 111 – 133.
- Van Gerpen, J.H., E.H. Hammond, L. Yu, and A. Monyem Determining the Influence of Contaminants on Biodiesel Properties, Society of Automotive Engineers Technical Paper Series, Paper No. 971685, Warrendale, PA, 1997.
- Van Gerpen, B. Shanks, and R. Pruszko, H. 2004 Biodiesel Analytical Methods, Renewable Products Development Laboratory, 22-91.

Weiliang Cao, Hengwen Han, Jingchang Zhang, 2005. "Preparation of biodiesel from soybean oil using supercritical methanol and co-solvent", Fuel, 84(2005): 347-351.

Y. Zhang ^a, M.A. Dubé ^a, D.D. Mclean ^{a,*}, M. Kates ^b, 2003. "Biodiesel production from waste cooking oil: 2 Economic assessment and sensitivity analysis". Bioresour. Technol. 90(2003): 229-240.

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์วัตถุคิบบและเมทิลเอสเตอร์

1. การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์) เข้มข้น 0.1 นอร์มอล สำหรับความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บสารละลายต่างในขวดแก้ว
3. ฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 1

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-10 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ให้เป็นกลาง โดยเติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด และปรับให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล หยดค่างที่ละหยดพร้อมทั้งเขย่าหรือคนจนได้สีชมพูถาวร
3. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ ถ้าละลายได้ไม่ดีให้อุ่นที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส
4. ใส่น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล ขณะไตเตรทต้องเขย่าอย่างแรง จนกระทั่งได้สีชมพูคงที่อยู่ประมาณ 1 นาที
5. คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระจากสูตร

กรดไขมันอิสระร้อยละในรูปกรดโอเลอิก

$$= \frac{\text{ปริมาตรค่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times \text{ความเข้มข้นค่าง (นอร์มัล)} \times 28.2}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำในน้ำมันด้วยวิธี Karl Fisher

Karl Fischer Titration เป็นหลักการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในตัวอย่าง โดยเริ่มต้นจากระบบการทำงานต้องไตเตรทน้ำในตัวทำละลายให้หมดไปก่อน (pretitration) จากนั้นหาอัตราการแพร่ของน้ำในอากาศว่าเข้าสู่ระบบปริมาณเท่าไร (Drift หรือ Blank ของระบบ) และสุดท้ายถึงทำการฉีดตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์เป็นที่น่าเชื่อถือ เนื่องจาก

1. ได้ทำการหาค่า Drift หรือ Blank ของระบบ
2. นำสารมาตรฐานมาทดสอบหาปริมาณน้ำที่แน่นอนแล้ว

ขั้นตอนการทำงาน

1. การเตรียมสารละลายใน Titration beaker

1.1 การเติมน้ำยา Karl Fischer ในส่วนที่เป็น Anolyte และ Catholyte

- ตวงน้ำยา Karl Fischer ที่ใช้สำหรับ Anode ลงในส่วนของ vessel ภายนอกประมาณ 100 มล.
- ตวงน้ำยา Karl Fischer ที่ใช้สำหรับ Cathode ลงในส่วนของ cell ภายในประมาณ 5 มล.
- ปิดช่องต่างๆ ให้สนิทด้วย desiccator tube หรือฝาจุกสำหรับใส่สารตัวอย่าง

1.2 ถ้าต้องการเอาสารละลายออกจาก titration beaker

- กด Pump key
- เปิดฝาจุกที่ปิดบน Vessel ออก แล้วสอดสาย suction tube ลงไปใน titration beaker
- กด F3 เพื่อสั่งการทำงานของ pump เมื่อ pump ดูดสารละลายออกจาก titration beaker หมดแล้ว ให้ดึงสาย suction tube ขึ้น แล้วกด F3 หยุดการทำงานของ pump

2. เริ่มการไตเตรท

การหาปริมาณน้ำในตัวอย่างด้วยเทคนิค Karl Fischer มีขั้นตอนการทำงาน 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ

1. Pretitration เป็นการทำให้น้ำใน titration beaker หมดไป

2. การหาปริมาณน้ำในตัวอย่าง

โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

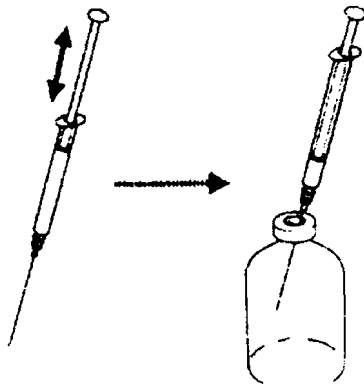
- กด RUN key
- กด F3, OK เครื่องจะเริ่มทำ Pretitration โดย อัตโนมติ สังเกตหน้าจอ จะแสดง bar graph เมื่อ bar graph เข้าใกล้เส้นแบ่งที่กลางหน้าจอ แสดงว่าน้ำที่มีอยู่ใน titration beaker หมดแล้ว และเครื่องจะเข้าสู่ standby mode และพร้อมทำงานในขั้นตอนถัดไป

- ในขณะที่เครื่องอยู่ใน Standby mode เครื่องจะหาค่า online drift ตลอดเวลา โดยสามารถทราบค่า drift จากด้านล่างของหน้าจอ จะแสดงค่า drift ในหน่วย $\mu\text{g}/\text{min}$ โดยทั่วไป จะรอให้ค่า drift คงที่ก่อน จึงจะเริ่มทำงานในขั้นตอนต่อไป

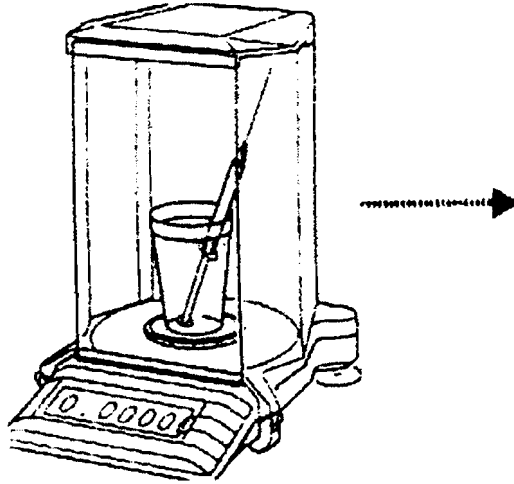
- สามารถสังเกตค่า drift ว่าคงที่หรือไม่ ได้จากลูกศรที่อยู่ด้านล่างค่า drift
- \rightarrow แสดงว่าค่า drift คงที่ สามารถเริ่มการทำงานขั้นตอนต่อไปได้
- \searrow แสดงว่าค่า drift ไม่คงที่ และกำลังลดลง ไม่ควรเริ่มการทำงานขั้นตอนต่อไป
- \nearrow แสดงว่าค่า drift ไม่คงที่ และกำลังเพิ่มขึ้น ไม่ควรเริ่มการทำงานขั้นตอนต่อไป
- ขั้นตอนการหาค่าปริมาณน้ำในตัวอย่าง (Sample mode)

(เครื่องจะต้องอยู่ใน standby mode เท่านั้น จึงจะทำงานใน Sample mode ได้)

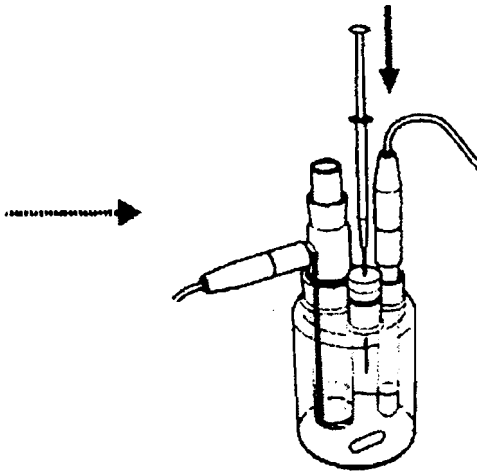
1. กด F3 Sample เลือกหาค่าปริมาณน้ำในตัวอย่าง
2. กด เป็นตัวเลข เพื่อเติมเวลา mix time ก่อนเริ่มไตเตรทเพื่อให้สารตัวอย่างละลาย
3. กด F3 OK เพื่อยืนยันการเติมค่า mix time
4. กด F3 OK หน้าจอปรากฏข้อความ Please addsample min-max g
5. เติมตัวอย่างลงใน Titration beaker
 - 5.1 ล้าง Syringe ด้วยตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ 2-3 ครั้ง
 - 5.2 ดูดตัวอย่างเข้า Syringe เช็ดปลายเข็มให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู



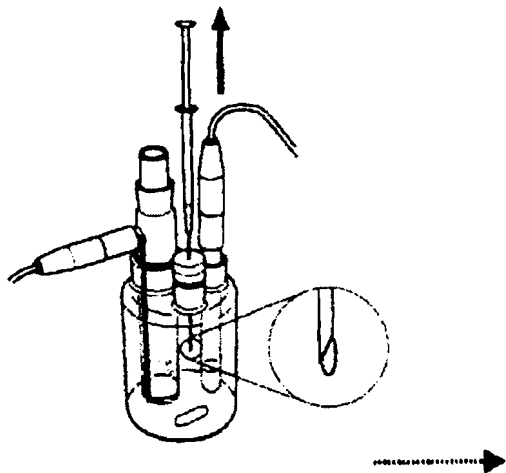
5.3 ซั่ง Syringe ในข้อ 5.2 ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง โดยการกลับด้านของ Syringe วางในปิ๊กเกอร์ ตามรูป แล้วกดปุ่ม Tare ที่เครื่องชั่ง ให้นำน้ำปิดเครื่องชั่งปรากฏเลข 0



5.4 ฉีดตัวอย่างลงใน titration cell ผ่าน Septum stopper



5.5 ขณะฉีดสารตัวอย่าง พยายามอย่าให้มีหยดของตัวอย่างค้างที่ปลายเข็ม ถ้ามีหยดตัวอย่างค้างที่ปลายเข็ม ให้ฉีดลงใน Titration cell ให้หมด แล้วดึงที่กดขึ้นมาเล็กน้อย คูในรูป



5.6 ดึง Syringe ออก แล้วนำไปซึ่งใหม่ จะได้น้ำหนักสารที่ฉีดลงใน Titration cell

1. กด F3 OK เครื่องจะเริ่มไตเตรท เพื่อหาค่าน้ำ
2. กด F1 Sample
3. กด เป็นตัวเลข เพื่อใส่น้ำหนักตัวอย่าง ตามที่ซึ่งได้ในข้อ 5.6
4. กด F3 OK เพื่อ confirm ค่าน้ำหนักของสารตัวอย่าง

เครื่องจะเริ่มไตเตรท ขณะที่เครื่องกำลังทำงานอยู่นั้น สามารถกดเป็น F1/F2 หรือ F3 เพื่อดูข้อมูล ในการไตเตรทได้ เช่น ค่า drift / ค่า mg น้ำ / เวลาที่ใช้ในการไตเตรท เป็นต้น

เมื่อเครื่องไตเตรทเสร็จ จะคำนวณค่าปริมาณน้ำในตัวอย่าง และแสดงผลที่หน้าจอถ้าต้องการหาค่าตัวอย่างต่อไป ให้กด F3 OK เครื่องจะกลับไป standby mode และสามารถเริ่มการหาค่าตัวอย่างต่อไปได้ทันที

3. การวิเคราะห์จุดจุด (ASTM-D2500)

วิธีการวิเคราะห์

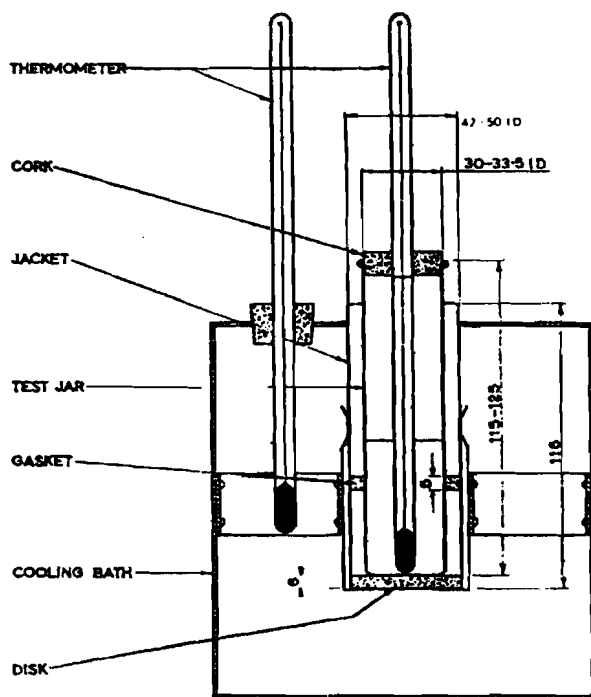
1. เขย่าตัวอย่างและเทใส่หลอดแก้วทดสอบเท่ากับขีดบอกระดับ (45 มิลลิลิตร)
2. ปิ๊ดฝาด้วยจุกค็อกพร้อมกับใส่เทอร์โมมิเตอร์โดยให้ตำแหน่งช่วง capillary ของเทอร์โมมิเตอร์ต่ำกว่าผิวหน้าของตัวอย่าง (ภาพประกอบที่ 68)
3. อุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้องให้ควบคุมการลดลงของอุณหภูมิตัวอย่างดังนี้

เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้	ย้ายหลอดแก้วสู่อ่างแอลกอฮอล์
27	0
9	-18
-6	-33
-24	-51
-42	-69

หมายเหตุ : การปรับอุณหภูมิอ่างแอลกอฮอล์ ใช้น้ำแข็งแห้งใส่ทางฝาเปิดอ่าง เปิดมอเตอร์ขับใบกวนให้ระดับอุณหภูมิในอ่างสม่ำเสมอ

2. ทูกว่า อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ที่ลดลง ให้ยกหลอดแก้วขึ้นจากอ่างทดสอบในแนวตั้ง สังเกตความขุ่น (การก่อตัวของใบ) จากด้านบนของหลอดแก้ว ถ้ายังไม่เต็มพื้นที่ก้นหลอด ให้คืนหลอดแก้วลงอ่างเหมือนเดิม (ขั้นตอนนี้ไม่เกิน 3 วินาที)

3. ถ้าพบว่าจุดขุ่นเต็มพื้นที่ก้นหลอดแล้ว ให้บันทึกอุณหภูมินั้นไว้และรายงานผลเป็นจุดขุ่น



NOTE - Dimensions are in millimetres.
All dimensions in millimetres.

ภาพประกอบที่ 30 อุปกรณ์วิเคราะห์จุดขุ่น

4. การวิเคราะห์หาจุดไหลเท (Pour point: ASTM-D97)

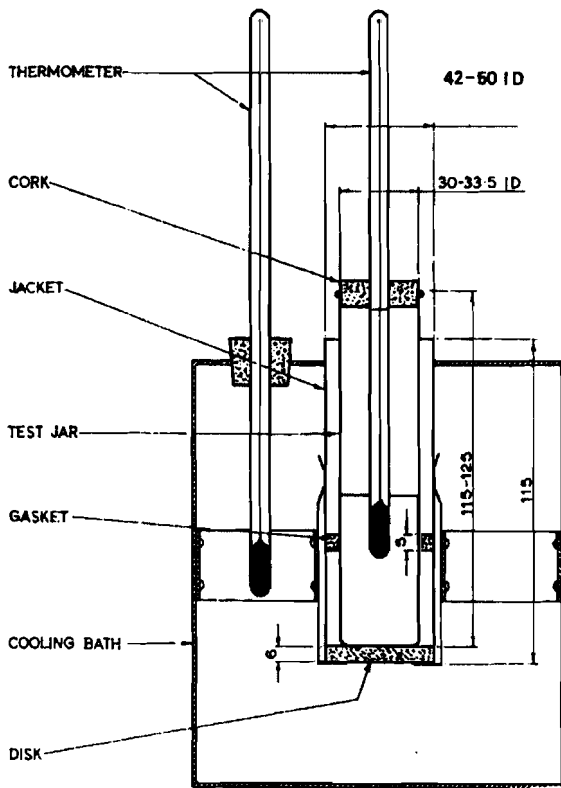
วิธีการวิเคราะห์

1. เขย่าตัวอย่างและเทใส่หลอดแก้วทดสอบเท่ากับขีดบอกระดับ (45 มิลลิลิตร)
2. ปิดฝาด้วยจุกค็อกพร้อมกับใส่เทอร์โมมิเตอร์โดยให้ตำแหน่งช่วง capillary ของเทอร์โมมิเตอร์ต่ำกว่าผิวหน้าของตัวอย่าง (ภาพประกอบที่ 69)
3. กุ่นตัวอย่างให้ได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิจุด
4. ให้ควบคุมการลดลงของอุณหภูมิตัวอย่างดังนี้

เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้(°ซ)	ย้ายหลอดแก้วสู่อ่างแอลกอฮอล์
27	0
9	-18
-6	-33
-24	-51
-42	-69

หมายเหตุ : การปรับอุณหภูมิอ่างแอลกอฮอล์ ใช้น้ำแข็งแห้งใส่ทางฝาเปิดอ่าง เปิดมอเตอร์ขับใบ
กวนให้ระดับอุณหภูมิในอ่างสม่ำเสมอ

5. เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้ 9 องศาเซลเซียส เหนือจุดไหลเท (ภาคการณ) ให้ยกหลอดแก้วขึ้นจากอ่างทดสอบ เอียงหลอดแก้ว ถ้าตัวอย่างยังไหลได้ให้คืนหลอดแก้วลงสู่อ่างเหมือนเดิม (ขั้นตอนนี้ไม่เกิน 3 วินาที)
6. กระทำซ้ำเหมือนข้อ 5 ทุกๆ อุณหภูมิที่ลดลง 3 องศาเซลเซียส จนกระทั่งพบว่า ตัวอย่างเป็นไขแข็งตัว (100%) ให้เอียงหลอดแก้วในแนวระนาบต่อเนื่อง 5 วินาที ถ้าตัวอย่างไม่มีการไหลตัวให้หยุดการทดสอบ
7. การรายงานผลให้เอาอุณหภูมิต่ำสุดที่ตัวอย่างเป็นไขแข็งตัวเป็นอุณหภูมิจุดไหลเท



ภาพประกอบที่ 31 อุปกรณ์วิเคราะห์จุดไหลเท

5. การวิเคราะห์หาความหนืด (Viscosity: ASTM-D445)

วิธีวิเคราะห์

1. เติมน้ำมันลงไปใน viscometer (ภาพประกอบที่ 32)
2. ให้จุกของชุดตัวอย่างน้ำมันที่ตำแหน่งหลอดเล็กๆ จนผิวของน้ำมันที่ดูคขึ้นมาอยู่เหนือขีดบน (ขีด E ดังรูป) จากนั้นปล่อยของไหลให้ไหลลงไปที่จุกข้างออก
3. เริ่มจับเวลาเมื่อของไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงผ่านขีดบน E และหยุดจับเวลาจนกระทั่งของไหลผ่านล่าง F ในเครื่องวัดความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส
4. คำนวณหาค่า Kinematic viscosity ได้จากสูตร

$$v = Ct$$

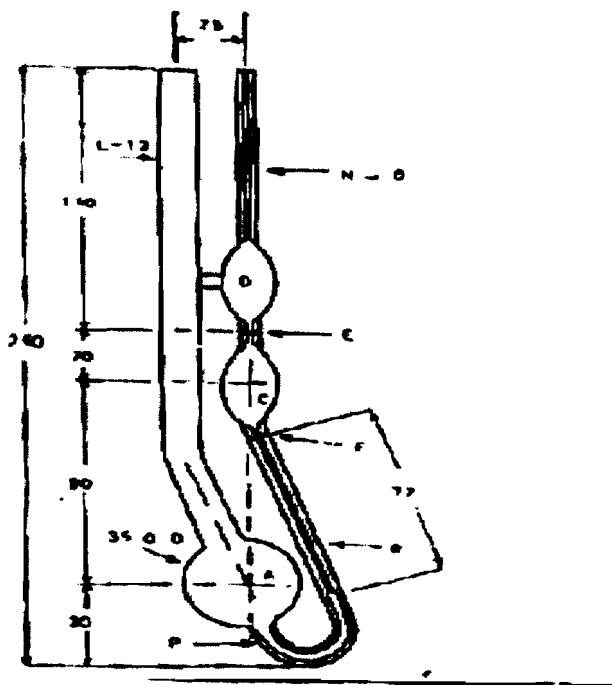
โดยที่ v = Kinematics viscosity

C = ค่าคงที่จากการทำมาตรฐานของเครื่อง (cSt/s) ดังตาราง 26

t = เวลาที่ใช้ในการไหล (s)

ตารางที่ 23 ค่าคงที่การคำนวณความหนืด

Tube No.	Approximate Constant, cSt/s	Kinematic Viscosity Range, cSt	Inside Diameter of Tube R, mm (± 2 percent)	Inside Diameter of Tubes N, E, and P, mm	Bulb Volume, ml (± 5 percent)																																				
					D	C																																			
25	0.002	0.5* to 2	0.30	2.6 to 3.0	3.1	1.6																																			
50	0.004	0.8 to 4	0.44	2.6 to 3.0	3.1	3.1																																			
75	0.008	1.6 to 8	0.54	2.6 to 3.2	3.1	3.1																																			
100	0.015	3 to 15	0.63	2.8 to 3.6	3.1	3.1																																			
150	0.035	7 to 35	0.78	2.8 to 3.6	3.1	3.1																																			
200	0.1	20 to 100	1.01	2.8 to 3.6	3.1	3.1																																			
300	0.25	50 to 250	1.27	2.8 to 3.6	3.1	3.1 </tr <tr> <td>350</td> <td>0.5</td> <td>100 to 500</td> <td>1.52</td> <td>3.0 to 3.8</td> <td>3.1</td> <td>3.1</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>1.2</td> <td>240 to 1 200</td> <td>1.92</td> <td>3.0 to 3.8</td> <td>3.1</td> <td>3.1</td> </tr> <tr> <td>450</td> <td>2.5</td> <td>500 to 2 500</td> <td>2.35</td> <td>3.5 to 4.2</td> <td>3.1</td> <td>3.1</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>8</td> <td>1 600 to 8 000</td> <td>3.20</td> <td>3.7 to 4.2</td> <td>3.1</td> <td>3.1</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>20</td> <td>4 000 to 20 000</td> <td>4.20</td> <td>4.4 to 5.0</td> <td>4.3</td> <td>3.1</td> </tr>	350	0.5	100 to 500	1.52	3.0 to 3.8	3.1	3.1	400	1.2	240 to 1 200	1.92	3.0 to 3.8	3.1	3.1	450	2.5	500 to 2 500	2.35	3.5 to 4.2	3.1	3.1	500	8	1 600 to 8 000	3.20	3.7 to 4.2	3.1	3.1	600	20	4 000 to 20 000	4.20	4.4 to 5.0	4.3	3.1
350	0.5	100 to 500	1.52	3.0 to 3.8	3.1	3.1																																			
400	1.2	240 to 1 200	1.92	3.0 to 3.8	3.1	3.1																																			
450	2.5	500 to 2 500	2.35	3.5 to 4.2	3.1	3.1																																			
500	8	1 600 to 8 000	3.20	3.7 to 4.2	3.1	3.1																																			
600	20	4 000 to 20 000	4.20	4.4 to 5.0	4.3	3.1																																			



ภาพประกอบที่ 32 เครื่องวัดความหนืด

6. การวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. สารละลายผสมของ เฮกเซน : ไดเอทิลอีเทอร์: กรดฟอร์มิก ในอัตราส่วน 50: 20: 0.3 (ปริมาตรต่อปริมาตรต่อปริมาตร)
2. สารละลายผสมของ เฮกเซน : เบนซีน ในอัตราส่วน 1: 1 (ปริมาตรต่อปริมาตร)

วิธีวิเคราะห์

1. дукตัวอย่างละลายเมทิลเอสเทอร์ 150 มิลลิกรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม 0.3 มิลลิลิตร
2. เตรียม quartz rods (silica gel padre coated Chromarod S-III) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไป blank scan ด้วย TLC/FID analyzer ภายใต้สภาวะ 30 วินาทีต่อสแกน อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 160 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศ 2000 มิลลิลิตรต่อนาที
3. หยดสารละลายจากข้อ (1) ลงไปประมาณ 1 ไมโครลิตร นำ quartz rods ไปแช่ในสารละลายซึ่งประกอบด้วย เฮกเซน: ไดเอทิลอีเทอร์: กรดฟอร์มิก ในอัตราส่วน 50: 20: 0.3 (ปริมาตรต่อปริมาตรต่อปริมาตร) จนกระทั่งสารละลายเคลื่อนที่สูงประมาณ 8 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปแช่ในสารละลายซึ่งประกอบด้วย เฮกเซน: เบนซีน ในอัตราส่วน 1:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) จนกระทั่งสารละลายเคลื่อนที่สูงประมาณ 10 เซนติเมตร
4. นำ quartz rods ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาสแกนภายใต้สภาวะเดียวกันกับ blank scan
5. อ่านผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม ChromStar light โดยผลการทดลองแสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่

ภาคผนวก ข

(ตัวอย่างการคำนวณ)

คุณมวลสารในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเฟสกลีเซอรอลของกระบวนการ
ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันน้ำมันพืชทอดใช้แล้วในปฏิกรณ์ 40 ลิตร

เริ่มต้น

- มวลโมเลกุลกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิกเท่ากับ 282

- มวลโมเลกุลของเมทานอลเท่ากับ 32

สารอินทรีย์ 100 กรัม มีกรดไขมันอิสระ 28.83% เท่ากับ 28.83 กรัม

ดังนั้นจำนวนโมลของกรดไขมัน = $(28.83 \text{ กรัม}) / (282 \text{ กรัม/โมล})$

$$= 0.10 \text{ โมล}$$

มวลสารละลายเมทานอลที่ใช้ทำปฏิกิริยา = $0.10 \text{ โมล} \times 32 \text{ กรัม/โมล}$

$$= 3.2 \text{ กรัม}$$

คิดเป็น 3.2 % ของสารอินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยา

ปฏิกรณ์ 40 ลิตร (ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักสารอินทรีย์ 100 กรัม/เมทานอล 50 กรัม)

เริ่มต้นใช้สารอินทรีย์ 19,000 กรัม

ดังนั้นเมทานอลทำปฏิกิริยา 9,500 กรัม

และเมทานอลเข้าทำปฏิกิริยาคิดเป็น 3.2 % ของสารอินทรีย์ = $19,000 \times 0.032$

$$= 608 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา = $9,500 - 608 \text{ กรัม}$

$$= 8,892 \text{ กรัม}$$

เมทานอลที่แยกคืนได้ = 8,400 กรัม คิดเป็น $(8,400 / 8,892) \times 100 = 94.47 \%$

เมทานอลสูญเสียบ้าง $8,892 - 8,400 \text{ กรัม} = 492 \text{ กรัม}$

คิดเป็น $(492 / 8,892) \times 100 = 5.53 \%$

ภาคผนวก ค

คุณสมบัติของ Fatty Acid และ Fatty acid Methyl ester

ตารางที่ 24 แสดงคุณสมบัติของ Fatty Acid และ Fatty acid Methyl ester

Chemical name	Chemical	M.W.	M.P. ^a (°C)	B.P. ^a (°C)	Density ^b (kg/l)	Solubility
Methyl Oleate	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	296.49	-19.9	218.5 ²⁰	0.8739 ²⁰	w1, e5, eth5, chl3
Methyl linoleate	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	294.48	-35	215 ²⁰	0.08886 ¹⁰	eth4, e4
Methyl linolenate	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	292.46	-	182 ³	0.8527 ⁶²	-
Methyl palmitate	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270.46	30	417	0.8247 ⁷⁵	w1, e4, eth3, ace4
Methyl stearate	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	298.51	39.1	443	0.8488 ²⁰	eth4
Propionic acid	C ₃ H ₆ O ₂	74.08	-20.7	141.1	0.9930 ²⁰	w5, e5, eth3, chl2
Malonic acid	C ₃ H ₄ O ₄	104.06	135 de	Sub	1.619 ¹⁰	w4, e3, eth3, chl2
Caproic acid	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.16	-3	205.2	0.9274 ²⁰	w1, e3, eth3, chl3
Pelargonic acid	C ₉ H ₁₈ O ₂	158.24	12.3	254.5	0.9057 ²⁰	w1, e3, eth3, chl3
Azelaic acid	C ₉ H ₁₆ O ₄	188.22	106.5	921	1.225 ²⁵	w2, e3, eth2, bz2
Methyl propionate	C ₄ H ₈ O ₂	88.11	-87.5	79.8	0.9150 ²⁰	w2, e5, eth5, ace3
Dimethyl malonate	C ₅ H ₈ O ₄	132.12	-61.9	181.4	1.528 ²⁰	w2, e5, eth5, ace4
Methyl caproate	C ₇ H ₁₄ O ₂	130.19	-41	149.5	0.8846 ²⁰	w1, e4, eth4, ace3
Capric acid	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172.27	-	213.5	0.8799 ¹⁵	w1, e3, eth3, etc2
Dimethyl azelate	C ₁₁ H ₂₀ O ₄	216.28	-	156 ²⁰	1.0082 ²⁰	w1, e3, ace3, bz3

ที่มา CRC Handbook of Chemistry and physics (1995)

Melting point (M.P.), Boiling point (B.P.), de = decomposes,

^a pressure at which the measurement was done

^b temperature at which the measurement was done

Solubility : ace = acetone, bz = benzene, chl = chloroform, etc = carbon tetrachloride,

eth = ethyl ether, e = ethanol, w = water

1 = insoluble, 2 = slight soluble, 3 = soluble, 4 = very soluble, 5 = miscible

ภาคผนวก ง

ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

พ.ศ. 2548

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดลักษณะและคุณภาพของของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเชิงพาณิชย์ และสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภค อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 25 วรรคหนึ่ง แห่งพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2548 อธิบดีกรมธุรกิจพลังงานออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

- ข้อ 1 ประกาศนี้เรียกว่า "ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548"
- ข้อ 2 ประกาศนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นสามสิบวันนับตั้งแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป
- ข้อ 3 ประกาศฉบับนี้มีให้ใช้บังคับกับของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ที่จำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไปนอกอาณาจักร โดยการขนส่งทางทะเล
- ข้อ 4 ภายใต้อำนาจของข้อ 5 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันให้เป็นไปตามละเอียดแนบท้ายประกาศนี้
- การเติมสารเติมแต่งในไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ให้ผู้ค้าน้ำมันแจ้งขอความเห็นชอบ และต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมพลังงานก่อน จึงจะดำเนินการได้
- ข้อ 5 ลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ผู้ค้าน้ำมันจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายดังต่อไปนี้ จะไม่เป็นตามที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายประกาศนี้ก็ได้ แต่ผู้ค้าน้ำมันต้องแจ้งลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดังกล่าวเฉพาะส่วนที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้าย เพื่อขอความเห็นชอบและต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงานก่อน

- (1) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการส่งออกป็นอกราชอาณาจักรนอกจากการขนส่งทางทะเล
- (2) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการนำไปใช้กับยานพาหนะที่ส่งออกไปนอกราชอาณาจักร
- (3) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการนำไปใช้ตามโครงการหรือนโยบายของรัฐบาล หรืองานวิจัย
- (4) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่นำเข้ามาในราชอาณาจักรสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล
- (5) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการจำหน่ายให้แก่ผู้ค้าน้ำมันซึ่งเป็นผู้ผลิตไบโอดีเซล เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล
- (6) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการจำหน่ายให้แก่ผู้ค้าน้ำมันเพื่อวัตถุประสงค์ตาม (1)
- (7) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการจำหน่ายให้แก่ผู้ผลิตไบโอดีเซลหรือผู้ค้าน้ำมันตามมาตรา 7 เพื่อวัตถุประสงค์ตาม (2) และ (3)
- ข้อ 6 การขอและการให้ความเห็นชอบตามข้อ 4 วรรคสอง และข้อ 5 ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกรมธุรกิจพลังงานกำหนด

ประกาศ ณ วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2548

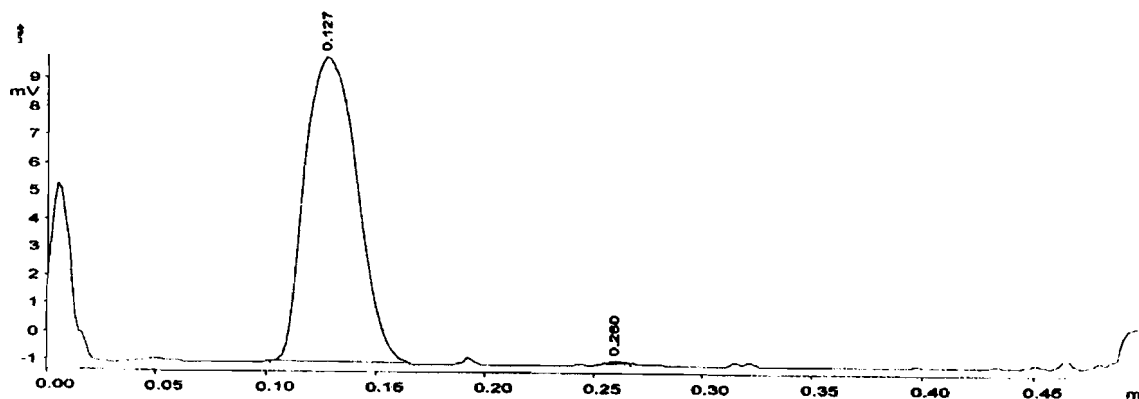
วิโรจน์ คลังบุญครอง

อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างผล TLC แสดงองค์ประกอบใน เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากกระบวนการด้วย
ปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 40 ลิตร

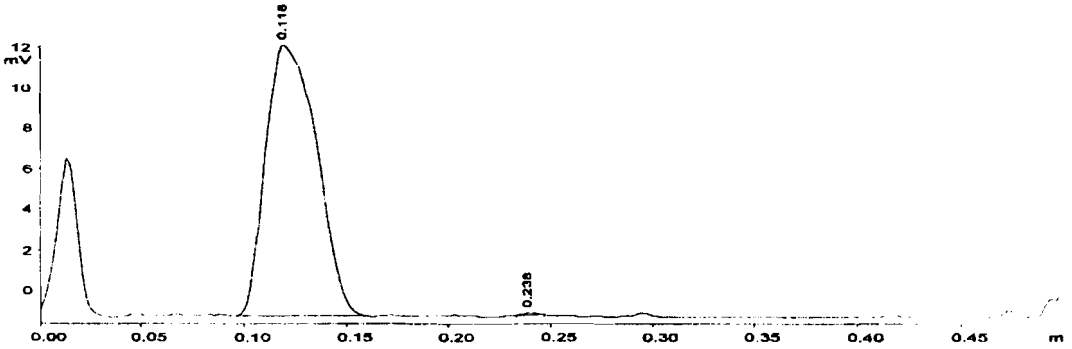
ตัวอย่างผลการทดลองผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสภาวะที่เหมาะสมในชุดปฏิกรณ์แบบ
กะขนาด 40 ลิตรเมื่อใช้วัตถุดิบคือสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของน้ำมันปาล์มสเตียรีน



Calculation Method : Percent

Peak- No	Ret. Time (min)	Pk. Start (min)	Pk. End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.127	0.102	0.165	9427	10.78	99.776
2	0.260	0.252	0.267	21	0.07	0.224
				9448	10.85	100.000

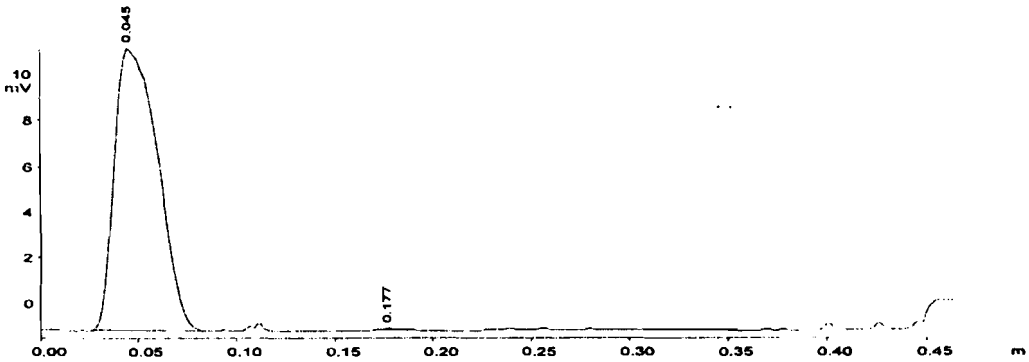
ภาพประกอบที่33 ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (1)



Calculation Method : Percent

Peak- No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.118	0.097	0.158	12143	13.38	99.810
2	0.238	0.233	0.247	23	0.09	0.190
				12166	13.46	100.000

ภาพประกอบที่ 34 ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (2)

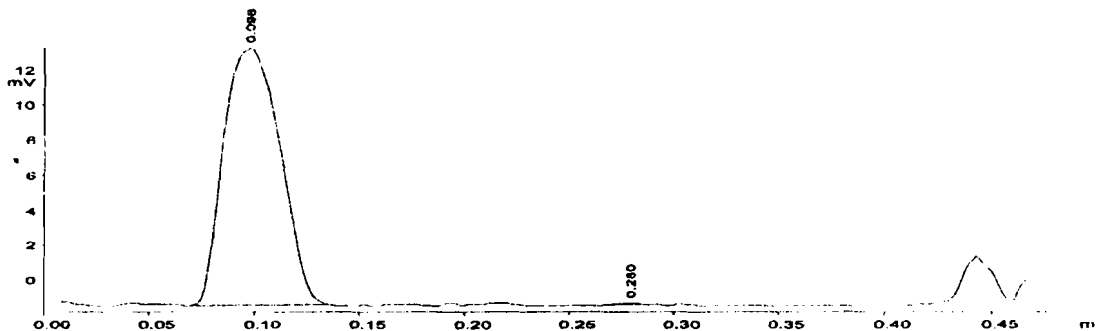


Calculation Method : Percent

Peak- No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.045	0.027	0.082	9823	12.27	99.834
2	0.177	0.170	0.187	16	0.05	0.166
				9839	12.32	100.000

ภาพประกอบที่ 35 ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (3)

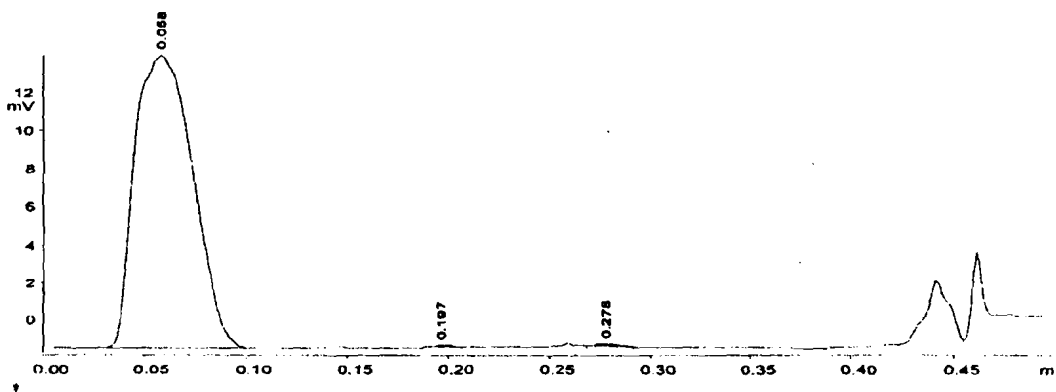
ตัวอย่างผลการทดลองผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสภาวะที่เหมาะสมในชุดปฏิกรณ์
แบบกะขนาด 40 ลิตรเมื่อใช้วัตถุดิบคือสารอินทรีย์ที่แยกจากกลีเซอรอลของน้ำมันพืชทอดใช้แล้ว



Calculation Method : Percent

Peak- No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.098	0.068	0.137	14403	14.65	100.000
				14403	14.65	100.000

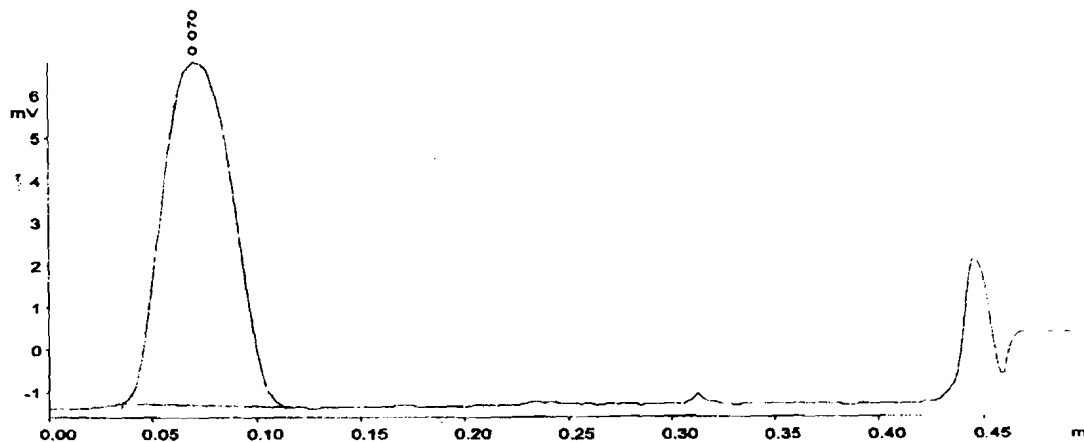
ภาพประกอบที่36 ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (4)



Calculation Method : Percent

Peak- No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.058	0.032	0.102	15937	15.45	100.000
				15937	15.45	100.000

ภาพประกอบที่37 ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (5)



Calculation Method : Percent

Peak- No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.070	0.035	0.113	9802	8.05	100.000
				9802	8.05	100.000

ภาพประกอบที่38 ผลวิเคราะห์ TLC ในตัวอย่างน้ำมัน (6)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายณัฐพงศ์ เอกวรรณัง	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4812016	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2546