



การเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์  
Preparation of Oil from Wastewater Pond for Methyl Ester Production Process

ฐิติมน ชะดาร์ตัน

Thitimon Chadarat

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

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์

ผู้เขียน นางสาวจุติมน ชะคาร์ตัน

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ดร.สุพรรณ สุขมณี)

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ

(ดร.สุพรรณ สุขมณี)

.....

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียเพื่อกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์
ผู้เขียน	นางสาวฐิติมน ชะคาร์ตัน
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2552

### บทคัดย่อ

น้ำมันจากบ่อน้ำเสียของโรงงานปาล์มมีปริมาณกรดไขมันอิสระ 70.12% และส่วนที่ไม่ทราบองค์ประกอบ 29.88% ถ้าน้ำมันดังกล่าวมาผลิตไบโอดีเซลโดยไม่มีการกำจัดสารไม่ทราบองค์ประกอบก่อนจะทำให้คุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไม่ผ่านตามมาตรฐาน งานวิจัยนี้ศึกษาการแยกสารไม่ทราบองค์ประกอบจากน้ำมันในบ่อน้ำเสีย พบว่าการทำปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เท่ากับ 1:4 และปริมาณน้ำ 5 เท่าโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระจะทำให้สบู่เกิดการแยกชั้นได้ดีที่สุด โดยสามารถลดปริมาณโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยการเติมเกลือ ความเข้มข้นเกลือที่เหมาะสมเท่ากับ 25% โดยเติมในปริมาณ 1 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่ สามารถลดปริมาณโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 4 โมล เป็น 2 โมล และให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่เท่ากับ 83 เปอร์เซ็นต์ สบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันถูกสกัดด้วยเฮกเซนเพื่อแยกสารที่ไม่ทราบองค์ประกอบที่ตกค้างอยู่ โดยใช้อัตราส่วนสบู่ต่อเฮกเซน 1:3 โดยน้ำหนัก สบู่ที่ผ่านการแยกชั้นถูกส่งต่อไปยังกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ริฟิเคชัน (esterification) ได้แก่การใช้อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1:12 ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 25% โดยน้ำหนักสบู่ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์เท่ากับ 75.57 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการโดยการประเมินต้นทุนผันแปร พบว่าขั้นเตรียมวัตถุดิบมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 74.46 บาทต่อลิตร และขั้นตอนการผลิตเมทิลเอสเทอร์มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 9.35 บาทต่อลิตร กระบวนการผลิตรวมมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 83.81 บาทต่อลิตร ซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนในเชิงพาณิชย์

<b>Thesis Title</b>	Preparation of Oil from Wastewater Pond for Methyl Ester Production Process
<b>Author</b>	Miss Thitimon Chadarat
<b>Major Program</b>	Chemical Engineering
<b>Academic Year</b>	2009

### **ABSTRACT**

The oil from palm mill composes of 70.12 % free fatty acid and 29.88 % unknown. If the unknown was not removed before methyl ester production process, quality of the methyl ester will not meet the standard. This research studied isolation of the unknown from palm mill oil. It was found that soap was best separated by saponification reaction at 90°C for 60 minutes with FFA : KOH molar ratio at 1:4 with the amount of water 5 times by weight of FFA. The amount of KOH can be reduced by adding 25 % concentrated salt with 1 time of soap. KOH was decreased from 4 to 2 molars and soap yield was 83 %. The soap from saponification was extracted by hexane to further separate the unknown with soap : hexane at 1:3 weight ratio. After separation the soap was sent to methyl ester production process. The optimum condition for esterification was using of soap : methanol at 1:12 molar ratio with 25 % by weight of sulfuric acid at 85°C for 6 hours. The produced methyl ester was 75.57 % purity. The process economics was studied by variable cost assessment. The expenses of the raw material preparation process were THB 74.46 per liter and the expenses of methyl ester production were THB 11.48 per liter. The total expenses were THB 85.95 per liter, which is not worth for commercial investment.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ก็ด้วยความรู้และประสบการณ์ที่คณาจารย์ได้ให้คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดี ซึ่งผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สุธรรม สุขมณี ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแก้ไข ตรวจสอบ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์ กรรมการที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ กรรมการผู้แทน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความกรุณาแนะนำท้วงติง และตรวจสอบแก้ไข วิทยานิพนธ์เพิ่มเติมอันทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัยและมูลนิธิชัยพัฒนา ที่จัดสรรเงินทุนในการวิจัย รวมทั้งศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี เจ้าหน้าที่จากสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำวิจัยและให้ความสะดวกในการติดต่อประสานงาน ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทำวิจัยมาตลอด ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่ให้กำลังใจทั้งในการศึกษา ประโยชน์และความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้องและเพื่อนๆ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

จิตติมน ชะคาร์ตัน

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 ปาล์มน้ำมัน	3
2.2 ปฏิกิริยาของน้ำมัน	12
2.3 เทคนิค Salting Out	15
2.4 ไบโอดีเซล	16
2.5 กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ระดับนำร่อง (Pilot Plant)	21
2.6 ข้อดี-ข้อด้อยของไบโอดีเซล	29
2.7 การวิเคราะห์ต้นทุนทางวิศวกรรม	32
2.8 กรดไขมัน (Fatty acid)	36
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	44
3.1 วัสดุ	44
3.2 อุปกรณ์	44
3.3 วิธีการศึกษา	44
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	53
4.1 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมัน	53
4.2 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่	54
4.3 สถานะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่	62
4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย	73

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุป	83
ข้อเสนอแนะ	84
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	91
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณกระบวนการทดลอง	115
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์	119
ภาคผนวก ง ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ของกรดไขมัน	130
ประวัติผู้แต่ง	135

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมัน	4
2.2 คุณลักษณะของน้ำที่จากขั้นตอนต่างๆ ในการสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำที่รวมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	11
2.3 คุณลักษณะน้ำที่โดยเฉลี่ยจากโรงงานน้ำมันปาล์ม 4 โรงงาน	12
2.4 มาตรฐานเมทิลเอสเทอร์ตามมาตรฐาน ASTM D 6751	28
2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล	30
2.6 การประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการผลิตไบโอดีเซล	35
2.7 บทบาทของกรดไขมันของพืชในอุตสาหกรรม	39
3.1 การเตรียมสัดส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) ต่อโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	46
3.2 การเตรียมเปอร์เซ็นต์และปริมาณสารละลายเกลือที่เหมาะสมในการ salting out เพื่อเพิ่มการแยกชั้นของสบู่ในสารละลาย	47
3.3 การเตรียมสัดส่วนเชิงโมลระหว่างสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันต่อเมทานอล	49
3.4 แสดงเวลาต่างๆ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	50
3.5 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์	51
4.1 แสดงผลการแยกชั้นของสบู่หลังทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที	56
4.2 แสดงการวิเคราะห์ค่าสะปอนนิฟิเคชันสบู่ที่แยกชั้นได้ดีกับสารละลาย ที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที	58
4.3 แสดงการแยกชั้นของสบู่ที่ผ่านการเพิ่มปริมาณสารละลายเกลือ (Salting out) ที่ปริมาณ และระดับความเข้มข้นต่างๆ	59
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้กับมาตรฐาน เมทิลเอสเทอร์	70
4.5 แสดงอุณหภูมิจุดกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D 86	72
4.6 คุณมวลสารของกระบวนการเตรียมน้ำมันและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ ประสิทธิภาพ การเรียกคืนเฮกเซนร้อยละ 99	74



## รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.7 คุณสมบัติสารของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่	77
4.8 พลังงานและแรงงานที่ใช้ในการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่	78
4.9 คุณสมบัติสารของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่	78
4.10 ข้อมูลค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่ใช้ในการคำนวณ	79
4.11 ข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์	80
4.12 ข้อมูลค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่ใช้ในการคำนวณในกระบวนการผลิต	81

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 ปาล์มน้ำมัน	3
2.2 แผนภูมิแสดงการผลิตน้ำมันปาล์มดิบผสมแบบไม่ใช้น้ำ	6
2.3 แผนภูมิการผลิตน้ำมันที่มีการใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมันแบบตีเคเตอร์	7
2.4 แผนภูมิการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้น้ำที่ใช้เครื่องสกัดน้ำมันแบบเซฟารเตอร์	8
2.5 ลักษณะของโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบโมเลกุลของโปรตีน	15
2.6 ปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชัน	17
2.7 ปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชันเมื่อแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเมทานอล	18
2.8 ปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	18
2.9 ปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชันเมื่อแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเมทานอล	19
2.10 แสดงปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชัน	19
2.11 กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	22
2.12 กระบวนการผลิตในขั้นตอนปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชัน	25
2.13 กระบวนการผลิตในส่วน Main Unit	27
2.14 ความสัมพันธ์ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันกับปริมาณการผลิต	34
2.15 แสดงความแตกต่างของโครงสร้างระหว่างกรดไขมันอิ่มตัวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว	37
3.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียก่อนนำไปทำการทดลอง	45
3.2 แสดงการทดลองศึกษาอัตราที่เหมาะสมของกรดไขมันอิสระ (FFA) ต่อ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการทำปฏิกริยา	45
3.3 แสดงขั้นตอนการสกัดสารที่ไม่เกิดสบู่โดยใช้เฮกเซน (Hexane)	48
3.4 แสดงชุดการทดลองแบบรีฟรักซ์ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์	48
3.5 แสดงไดอะแกรมของกระบวนการทดลอง	52
4.1 แสดงลักษณะของน้ำมันจากบ่อน้ำเสียเริ่มต้น	53
4.2 แสดงปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification)	54
4.3 แสดงลักษณะการแยกชั้นของน้ำมันจากบ่อน้ำเสียที่ผ่านปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชัน	55
4.4 แสดงลักษณะของสบู่และสารละลายที่ผ่านปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชันที่แยกชั้นได้ดี	57
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมัน (FFA) ต่อ โปแตสเซียม (KOH) กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชัน	58

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %NaCl (%wt) กับเปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที	60
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) ต่อโปแตสเซียม (KOH) กับเปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที	61
4.8 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระ(ไตรเตรท) เมื่อใช้อัตราส่วนเชิง โมลสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1 : 14 เปรียบเทียบกับน้ำมันจากบ่อน้ำเสียหลังทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	63
4.9 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระ(TLC) เมื่อใช้อัตราส่วนเชิง โมลสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1 : 14 เปรียบเทียบกับน้ำมันจากบ่อน้ำเสียหลังทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	64
4.10 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเตอร์ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนเชิง โมลของสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1:14 เปรียบเทียบกับน้ำมันจากบ่อน้ำเสียหลังทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	65
4.11 แสดงลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเตอร์ที่ได้ ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 15%-20% โดยน้ำหนักสบู่	66
4.12 แสดงผลของอัตราส่วนเชิง โมลของสบู่ต่อเมทานอลที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 25% โดยน้ำหนักสบู่	67
4.13 แสดงผลของเวลาที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระเมื่อใช้อัตราส่วนเชิง โมลของสบู่ต่อเมทานอล 1:12 และปริมาณกรดซัลฟิวริก 25% โดยน้ำหนักสบู่ ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส	68
4.14 แสดงลักษณะเมทิลเอสเตอร์ที่ได้จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสียก่อนกลั่น(a) เมทิลเอสเตอร์หลังการกลั่น(b) และน้ำมันส่วนที่เหลือจากการกลั่น(c)	71
4.15 แสดงอุณหภูมิจุดกลั่นเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย จากการกลั่น D 86	72
4.16 แสดงกระบวนการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่	75
4.17 แสดงกระบวนการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากสบู่	76

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสียที่ผ่านการทดสอบด้วยวิธี Thermogravimetric Analyzer (PerkinElmer, TGA7) ที่อุณหภูมิ 50-800 องศาเซลเซียส	82

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

จากวิกฤติการณ์ด้านราคาน้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมที่เกิดขึ้นเป็นระยะ ทำให้หลายประเทศ ได้หาแนวทางพัฒนาพลังงานทดแทนอื่น เพื่อลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยมีการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเป็นมูลค่ามากในแต่ละปี โดยในปี 2547 ประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์ทั้งสิ้น 55,589 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นมูลค่า มากกว่า 4 แสนล้านบาท โดยเฉพาะน้ำมันดิบที่นำมากลั่นเป็นน้ำมันสำเร็จรูปมีปริมาณการนำเข้ามากถึงร้อยละ 74 ของการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์ทั้งหมด (ปารีสสา, 2007) ซึ่งไม่มีแนวโน้มว่าจะลดลงและอาจจะหมดลงได้ในระยะเวลาประมาณ 50 ปีข้างหน้า (Crabbe *et al.*, 2000) จึงเริ่มมีการตื่นตัวและพยายามมองหาพลังงานทดแทนที่พอจะเป็นทางเลือกใหม่ เนื่องจากในอนาคตอันใกล้ น้ำมันคงจะไม่เพียงพอที่จะเป็นเชื้อเพลิงให้คนทั้งโลก รวมไปถึงราคาน้ำมันเบนซินและดีเซลก็พุ่งสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่มีทีท่าว่าจะลดต่ำลง ซึ่งเป็นความจำเป็นที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องหาพลังงานที่จะนำมาทดแทนน้ำมันซึ่งเป็นพลังงานหลักของโลกที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรและเครื่องยนต์พลังงานชนิดใหม่ที่เราได้เริ่มนำเข้ามาใช้กันอย่างแพร่หลายแล้วในปัจจุบันได้แก่ แก๊สโซฮอล์ และ ก๊าซเอ็นจีวี ส่วนพลังงานทดแทนอีกชนิดหนึ่งที่ผู้คนกล่าวถึงไม่แพ้กันก็คือ ไบโอดีเซล (Biodiesel) (รติกร, 2549)

ไบโอดีเซล เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่รัฐบาลให้ความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากสามารถ ทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซลซึ่งใช้มากในการขนส่ง อันมีผลกระทบโดยตรงต่อปัจจัยในการดำเนินธุรกิจ โดยได้มีการกำหนดแผนพัฒนาไบโอดีเซลของประเทศ โดยตั้งเป้าทดแทนน้ำมันดีเซล วันละ 8.5 ล้านลิตรต่อวัน ในปี พ.ศ. 2555 หรือ ร้อยละ 10 ของความต้องการใช้น้ำมันดีเซล ด้วยการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ และน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบหลัก (ปารีสสา, 2007)

ในส่วนของการนำน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ จะใช้ต้นทุนต่ำเนื่องจาก วัตถุดิบมีราคาถูกแต่มีปัญหาในการเก็บรวบรวมให้ได้ในปริมาณที่มากพอสำหรับการผลิตจึงจำเป็นต้องหาแหล่งวัตถุดิบที่มีปริมาณมากพอในการผลิต โดยวัตถุดิบนั้นต้องสามารถลด

ต้นทุนในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ลงได้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านราคากับน้ำมันดีเซล โดยจากข้อมูลแผนยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมัน พบว่าประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมสามารถปลูกพืชน้ำมันได้หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งปาล์มน้ำมันซึ่งให้ผลผลิตต่อไร่สูงสุด มีปริมาณผลผลิตต่อปีมากที่สุด มีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ได้มาตรฐาน 25 โรงงาน มีปริมาณน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.87 ลบ.เมตร/ตันทะลายปาล์มสด น้ำทิ้งมีสีน้ำตาลเข้ม มีปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยมีค่า COD สารแขวนลอยและน้ำมันเท่ากับ 52.45, 12.48 และ 8.72 กก./ตันทะลายปาล์มสด (พูนสุขและคณะ, 2544) และไขมันในระบบบำบัดน้ำเสีย มีกรดไขมันอิสระ (FFA) มากกว่า 70% สามารถใช้เป็นวัตถุดิบผลิตไบโอดีเซลแทนส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม (palm fatty acid distillate; PFAD) ได้ ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มศักยภาพการแข่งขันทางด้านของดีเซลแล้ว ยังเป็นการแก้ปัญหาหน้าเสียน้ำเสียอีกทางหนึ่ง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและทดลองผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสียของโรงงานปาล์ม โดยศึกษาถึงความเป็นไปได้ของขั้นตอนการนำวัตถุดิบที่เหมาะสมมาใช้ โดยนำน้ำมันจากบ่อน้ำเสียทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันเพื่อแยกสารไม่ทราบองค์ประกอบ จากนั้นทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันให้สบู่เปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย
2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่
3. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่
4. ศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย

## 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันในบ่อน้ำเสียของโรงงานปาล์มได้
2. นำของเสียมาใช้ให้เกิดมูลค่าและลดภาระการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
3. เป็นประโยชน์ในด้านการค้า เกษตรกรรม พลังงาน และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องตลอดจน

หน่วยงานของรัฐบาลในการกำหนดนโยบายพัฒนาด้านพลังงานทดแทน

## บทที่ 2

### ตรวจเอกสาร

#### 2.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันมีต้นกำเนิดอยู่ทางตะวันตกและตอนกลางของทวีปอเมริกา ต่อมาได้แพร่เข้าไปในทวีปอเมริกาใต้โดยสันนิษฐานว่าเกิดขึ้นในยุคล่าอาณานิคม ปาล์มน้ำมันจัดอยู่ในตระกูล *Palme* หรือ *Palmaceae* เป็นตระกูลย่อยเดียวกันกับมะพร้าว คือ *Eliaes* ปาล์มน้ำมันแบ่งออกเป็น 3 สายพันธุ์คือ *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera* และ *Elaeis odora* สำหรับสองสายพันธุ์หลังไม่นิยมปลูกเนื่องจากเติบโตช้าและให้ผลเล็ก พันธุ์ที่นิยมปลูกเชิงเศรษฐกิจในปัจจุบัน คือ *Elaeis guineensis* แสดงดังภาพประกอบที่ 2.1 ปาล์มน้ำมันออกผลเป็นทะลาย ส่วนของผลมีเปลือกชั้นนอก (*Exocarp*) และชั้นกลาง (*Mesocarp*) ที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไขมัน ซึ่งเมื่อคั้นออกมาได้ผลผลิต เรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบ (*Crude Palm Oil, CPO*) โดยมีไขมันรวมประมาณ 73.2% โดยน้ำหนัก สำหรับชั้นในของผล (*Endocarp*) จะหุ้มด้วยกะลาภายใน ประกอบด้วยเนื้อซึ่งสามารถนำมาผลิตน้ำมันเมล็ดใน (*Kemel Oil*) (กิตติภูมิ, 2548)



ภาพประกอบที่ 2.1 ปาล์มน้ำมัน

ที่มา : [www.riankeng.com](http://www.riankeng.com)

สำหรับประเทศไทยจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งซึ่งปลูกกันมากทางภาคใต้ของ ไทยรองจากยางพารา นิยมปลูกกันมากในจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล และตรัง ผลผลิตของ ปาล์มน้ำมันจะถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำมันปาล์มซึ่งมีแนวโน้มการผลิตสูงขึ้นทุกๆ ปี ประเทศที่มีการผลิต และส่งออกน้ำมันปาล์มเป็นอันดับหนึ่งของโลกคือมาเลเซีย รองลงมาคืออินโดนีเซีย ซึ่งประเทศเหล่านี้มี สภาพภูมิอากาศใกล้เคียงกับประเทศไทย

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศไทย มี 3 วิธี (ผาสุกและคณะ, 2531) กระบวนการผลิตแบบใช้น้ำเป็นวิธีมาตรฐาน กระบวนการผลิตแบบอย่างผลปาล์มหรือน้ำมันผสม และ กระบวนการผลิตแบบทอดผลปาล์ม ได้น้ำมันปาล์มแบ่ง 2 ชนิดใหญ่ๆ ถ้าได้จากเนื้อของผลปาล์ม (mesocarp) เรียกว่า น้ำมันปาล์ม (palm oil) ถ้าได้จากเมล็ดเนื้อในเมล็ดปาล์ม (palm kernel) เรียกว่า น้ำมัน เมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) เมื่อนำน้ำมันปาล์มไปแยกส่วนและทำให้บริสุทธิ์จะได้ส่วนที่เป็นของเหลว เรียกว่า น้ำมันปาล์มโอเลอิน (palm olein) ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้กันทั่วไป และส่วนที่เป็นไขเรียกว่า ปาล์มสเตียรีน (palm stearin) น้ำมันปาล์มมีส่วนประกอบของกรดไขมันและการจัดเรียงตัวของไขมันใน ตำแหน่งที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของปาล์มน้ำมัน พื้นที่บริเวณเพาะปลูก และภูมิอากาศ ทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดปาล์มมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ต่างกัน น้ำมันปาล์มมีปริมาณของกรด ไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณที่ใกล้เคียงกันคือร้อยละ 48.05 และ 51.95 ตามลำดับ (ไพจิตร, 2530) ในขณะที่น้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีร้อยละของกรดไขมันอิ่มตัวสูงร้อยละ 78.82 จึงมีผลให้การนำไปใช้ ประโยชน์ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันปาล์ม

	Palm oil	Palm kernel oil
Iodine Value	43-59	14-20
Acid Value	15	20
Saponification Value	195-210	2
Unsaponification matter (%)	1	1
Colour (Lovibone)	y : 2.5 R	10Y:1R57
Total saturated fatty acid (%)	48.05	78.82
Total unsaturated fatty acid (%)	51.95	21.18

\*: cell, 5<sup>1/4</sup> in

ที่มา : ดัดแปลงจาก ไพจิตร จันทรวงศ์ (2530)



### 2.1.1 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

กรรมวิธีการผลิตน้ำมันปาล์มแสดงในภาพที่ 2.2 – 2.4 เป็นกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันออกไป แต่อาจจำแนกได้ 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือการผลิตแบบไม่ใช้น้ำและแบบใช้น้ำ ซึ่งมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ออกมาการผลิตแบบไม่ใช้น้ำ (ภาพประกอบที่ 2.2) จะไม่มีน้ำเสียเลย เป็นการลดปัญหาและค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการกำจัดน้ำเสียไปได้ ความร้อนในการอบผลปาล์มได้จากฟืน ต้องใช้เวลาในการอบ 48 ชั่วโมง ซึ่งนานกว่าการอบด้วยไอน้ำมาก (ไม่เกิน 2 ชั่วโมง) ในขั้นตอนนี้มีน้ำหนักหายไปประมาณ 30% ผลปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องหีบแบบเกลียวอัด (screw press) น้ำมันที่ได้ถูกทำให้ร้อนและผ่านเข้าเครื่องกรองแบบอัดความดัน (filter press) เพื่อจัดสิ่งเจือปนออก วิธีนี้เหมาะกับโรงงานขนาดเล็ก เป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นน้ำมันกะเทย คือน้ำมันผสมทั้งจากส่วนเปลือกและเมล็ดใน ซึ่งคุณภาพจะด้อยกว่าน้ำมันจากส่วนเปลือกเพียงอย่างเดียว (พูนสุข และคณะ, 2533)

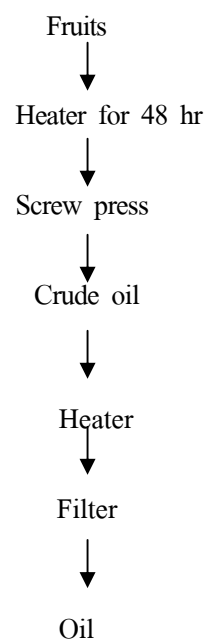
สำหรับการผลิตแบบใช้น้ำ (ภาพประกอบที่ 2.3 – 2.4) เป็นวิธีการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐานที่ใช้ decanter ซึ่งมีอยู่หลายโรงงาน การสกัดน้ำมันแบบใช้ decanter ในการแยกจะมีการใช้น้ำและมีการหมุนเหวี่ยงแยกน้ำสลัดจ์ด้วย separator วิธีการสกัดน้ำมันแบบมาตรฐานที่ใช้ decanter ในการแยกโดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยเพิ่ม separator ที่มีประสิทธิภาพเข้าไปเพื่อแยกน้ำมันที่หลงเหลือในน้ำเสียออกจาก decanter (ภาพประกอบที่ 2.4) กระบวนการผลิตที่ปรับปรุงสามารถแยกน้ำมันได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 2 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด ทำให้ประสิทธิภาพการแยกน้ำมันเพิ่มเป็น ร้อยละ 97 (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม โรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)

### 2.1.2 แหล่งน้ำทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

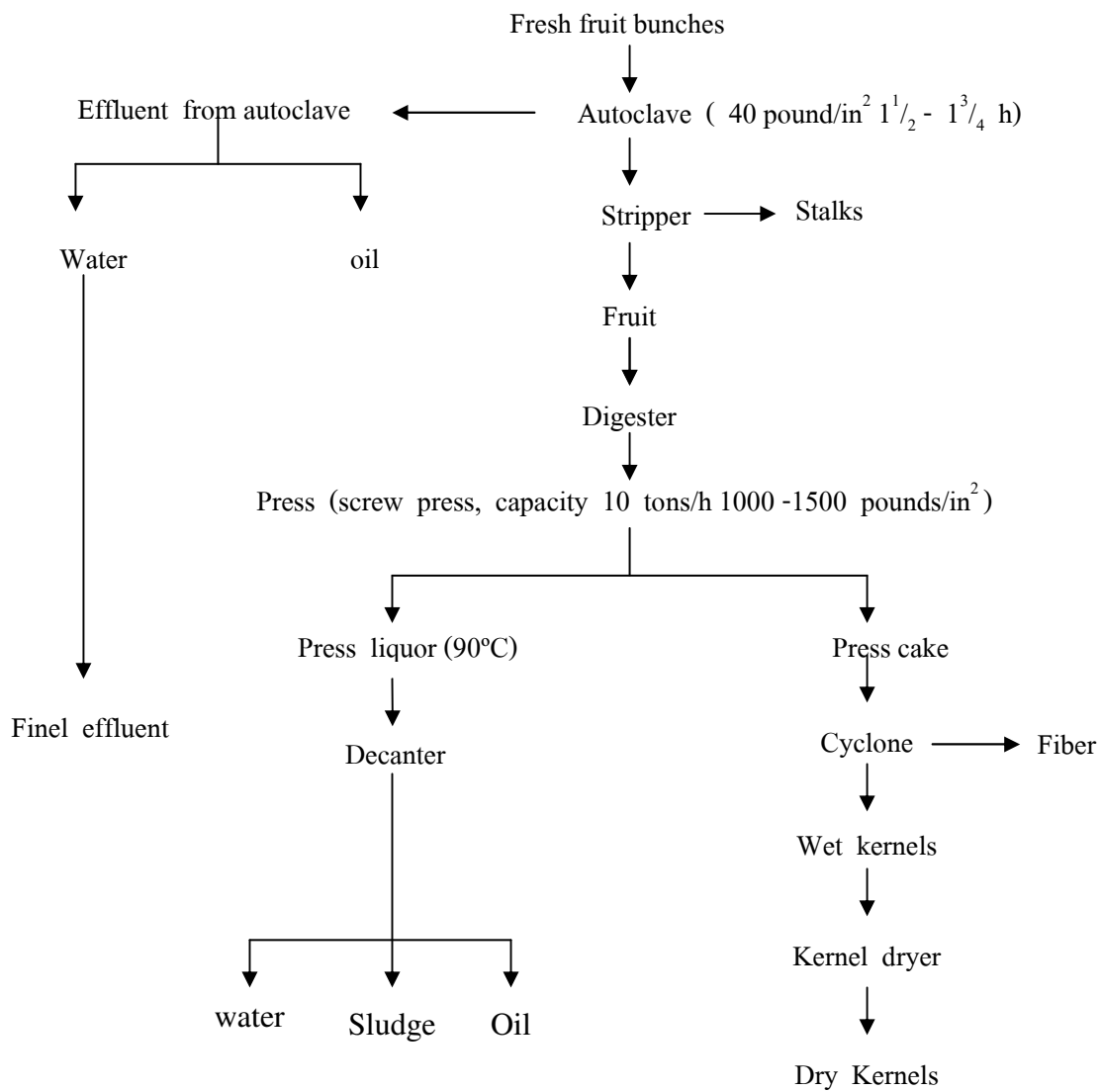
การสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน มีการใช้น้ำในการผลิตมากและก่อให้เกิดน้ำทิ้งในขั้นตอนต่างๆ โดยหน่วยการผลิตที่สำคัญมีดังนี้ (พูนสุข และคณะ, 2533)

#### 2.1.2.1 การนึ่งหรือการฆ่าเชื้อผลปาล์ม (Sterilization)

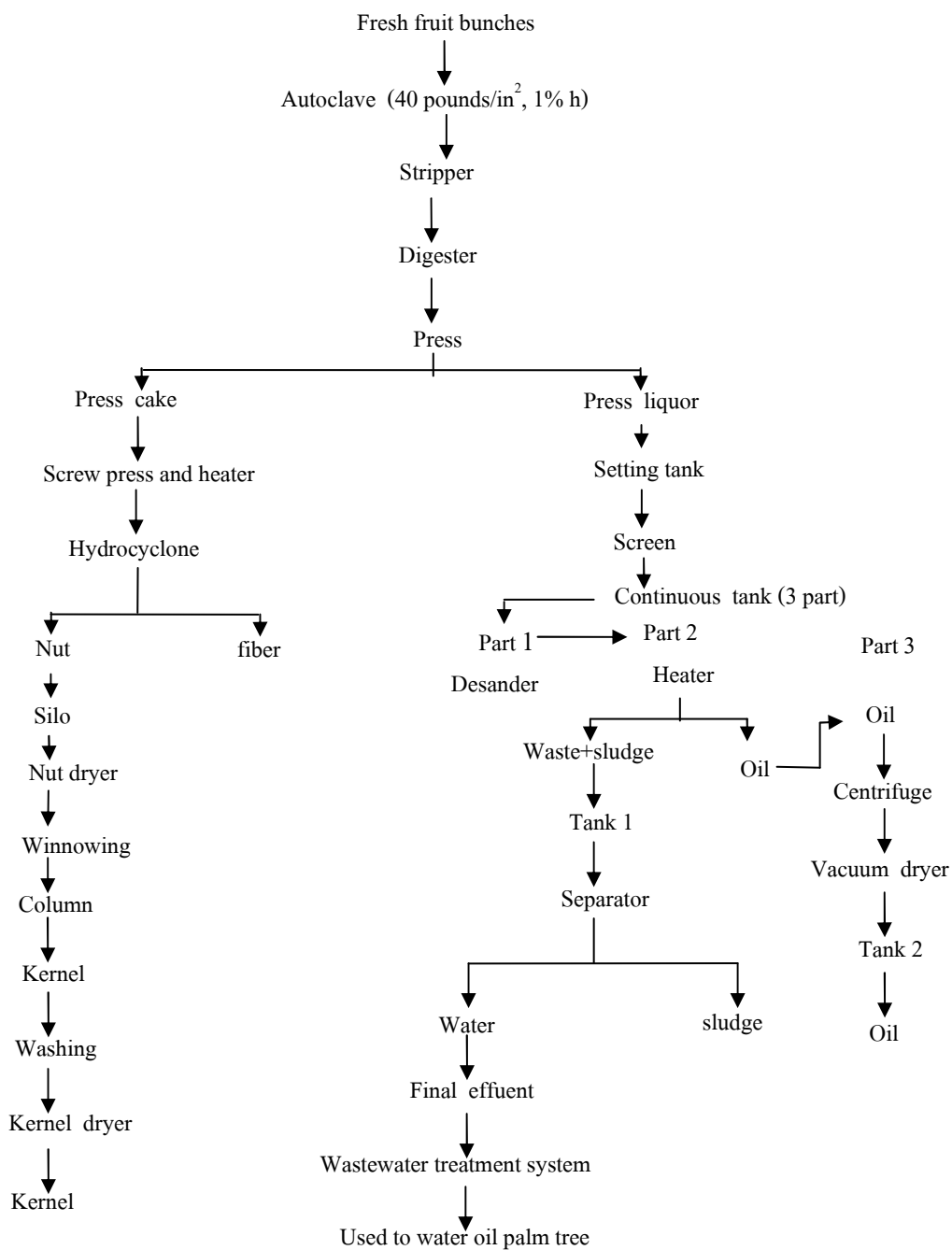
หลังการเก็บเกี่ยวผลปาล์มจากสวน จะต้องรีบนำส่งทะลายปาล์มสดให้ถึงโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มภายใน 27 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเกิดกรดไขมันอิสระ ต้องอบทะลายปาล์มในหม้อนึ่งเพื่อหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่อยู่ในชั้น Mesocarp และทำให้ผลปาล์มสุก หลุดร่วงจากทะลายปาล์มได้ง่าย นอกจากนี้ยังทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ย และง่ายต่อการหีบอัดน้ำมันด้วย โดยทั่วไปการนึ่งทะลายปาล์มสด 25 ตัน มีน้ำทิ้ง (sterilization condensate) ประมาณ 2.0 - 3.0 ลบ.ม.



ภาพประกอบที่ 2.2 แผนภูมิแสดงการผลิตน้ำมันปาล์มดิบผสมแบบไม่ใช้น้ำ  
ที่มา : พูนสุข ประเสริฐสรรพ และคณะ (2533)



ภาพประกอบที่ 2.3 แผนภูมิการผลิตน้ำมันที่มีการใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมันแบบดีเคนเตอร์  
ที่มา : พูนสุข ประเสริฐสรณ์ และคณะ (2533)



ภาพประกอบที่ 2.4 แผนภูมิการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้น้ำที่ใช้เครื่องสกัดน้ำมันแบบเซฟารเตอร์  
ที่มา : พูนสุข ประเสริฐสรทรัพย์ และคณะ (2533)

### 2.1.2.2 การแยกผลปาล์ม (Bunch stripping)

ทะลายปาล์มที่นึ่งเสร็จแล้วจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องแยกผลปาล์มและทะลายเปล่าออกจากกันโดยใช้เครื่องประเภท Rotary drum thresher กระบวนการนี้มีน้ำที่งอกขึ้นแต่จะมีทะลายเปล่าซึ่งถูกกำจัดโดยเผาเป็นเชื้อเพลิง

### 2.1.2.4 การย่อยผลปาล์ม (Digestion)

ผลปาล์มที่ร่วงหลุดจากทะลาย ถูกนำเข้าเครื่องย่อยแบบ Vertical steam-jacketed drums ซึ่งมีแผ่นตีผลปาล์มให้แตก ในขั้นตอนนี้อาจจะมีการเติมน้ำร้อนลงไปเล็กน้อยแต่ไม่มีของเสียน้ำที่งอกและของแข็ง

### 2.1.2.5 การสกัดน้ำมันปาล์ม (Oil extraction)

ผลปาล์มที่ถูกตีจนย่อยจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องหีบเกลียวอัด เพื่อสกัดเอาน้ำออก ขั้นตอนนี้ไม่มีน้ำที่งอกแต่มีเส้นใยและเมล็ดในปาล์มแยกออกมา

### 2.1.2.6 การกรองกาก (Clarification)

น้ำมันดิบที่ได้จะมีเส้นใยและกากต่างๆผสมอยู่มักมีการผสมน้ำเข้าไปแล้วนำไปกรองผ่านตะแกรงสั่น (vibrating screen) เพื่อแยกเอาน้ำมันออกจากสิ่งสกปรกขั้นตอนนี้ไม่มีน้ำที่งอกน้ำมันดิบที่ได้หลังการกรอง ซึ่งยังมีอนุภาคขนาดเล็กและสิ่งสกปรกต่างๆ ปนเปื้อนอยู่มากจะลำเลียงเข้าถังพักเพื่อแยกน้ำมันต่อไป

### 2.1.2.7 การแยกน้ำมัน (Oil separation)

เมื่อน้ำมันถูกลำเลียงเข้าถังพักหรือถังลอย ส่วนของน้ำมันซึ่งเบากว่าน้ำจะลอยตัวอยู่ด้านบนและแยกออกไป ส่วนด้านล่างจะเป็นลักษณะเหลวข้น เรียกว่า น้ำสลัดจ์ ถูกส่งเข้าถังตกจม (settling tank) และผ่านเข้าเครื่องแยกกรวดทราย (desander) ก่อนจะถูกนำไปในเข้าเครื่องแยกน้ำมันโดยใช้ separator หรือ decanter ต่อไป ในกรณีใช้เครื่องแยกแบบ separator เครื่องจะทำงานมีประสิทธิภาพดีหากในน้ำสลัดจ์มีน้ำอยู่ประมาณ 90% น้ำมันที่แยกได้จะถูกนำเข้าผสมอีกเล็กน้อยก่อนการแยกทั้ง separator และ decanter เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งต้องมีการล้างทำความสะอาดในขั้นตอนนี้จะมีน้ำออกมา 200 – 250 ลิตรต่อครั้ง

### 2.1.2.8 การหมุนเหวี่ยง (Centrifugation)

การแยกน้ำมันโดยการลอยตัว การตกจมการใช้เครื่อง separator และ/หรือ decanter น้ำมันดิบที่ได้ยังคงมีสิ่งปนเปื้อนในรูปอนุภาคเล็ก ๆ อยู่ ต้องมีการล้างออกทุกๆ 20 – 30 นาที ในการล้างจะใช้น้ำประมาณ 60 - 100 ลิตร

### 2.1.2.9 การทำแห้ง (Drying)

น้ำมันดิบที่ได้ อาจมีน้ำอยู่ตั้งแต่ 5-30% จำเป็นต้องกำจัดน้ำออกโดยใช้ vacuum evaporator ซึ่งใช้น้ำและน้ำหล่อเย็นในการทำให้เกิดสภาพสุญญากาศน้ำทิ้งในส่วนนี้จะเป็นน้ำหล่อเย็น

### 2.1.2.10 การทำความสะอาด (Cleaning)

นอกจากการล้างทำความสะอาดเครื่องมือของหน่วยการผลิตต่างๆแล้ว ยังต้องมีการล้างทำความสะอาดพื้น ทำความสะอาดถังพักต่างๆ และล้างภาชนะ ในส่วนนี้ก็จะเกิดน้ำทิ้งอีกทางหนึ่ง

## 2.1.3 ปริมาณและลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มมาจากสองขั้นตอนคือ น้ำนึ่งปาล์มหรือน้ำทิ้งจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (sterilizer condensate) และน้ำทิ้งจากเครื่อง decanter หรือเครื่อง separator ก่อนจะไหลกันไปรวมเป็นน้ำทิ้งรวมในบ่อน้ำเสียโรงงาน น้ำทิ้งจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อมีปริมาณ 200 ลิตรต่อ 10 ตัน ทะลายของปาล์ม (หรือ 10% ของน้ำมันที่ผลิตได้) คิดเป็นร้อยละ 2 (ปริมาตรโดยน้ำหนัก) ของทะลายปาล์ม (พูนสุข และคณะ, 2533) ส่วนปริมาณน้ำทิ้งทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 60 ของปริมาตรทะลายปาล์ม (Hwang, *et al.*, 1988 อ้างโดย พูนสุข และคณะ, 2533) หรือ 1/2 - 3 เท่าของปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้ (Cheah, *et al.*, 1988 อ้างโดย พูนสุข และคณะ, 2533)

จากการสำรวจปริมาณน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศมาเลเซียโดย PORIM/RRIM 1981 (ปรีชา, 2539) ประมาณการว่าน้ำทิ้งส่วนใหญ่มาจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อมีปริมาณ 0.9 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของน้ำมัน น้ำทิ้งจากเครื่องแยกกรวดทราย (desander) 0.1 – 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของน้ำมันและน้ำทิ้งของเครื่อง separator หรือ decanter 1.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของน้ำมัน โดยน้ำทิ้งรวมมีปริมาณ 2.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของน้ำมันที่ผลิตได้

พูนสุข และคณะ (2533) รายงานคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำทิ้ง ได้แก่ น้ำทิ้งจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย น้ำทิ้งจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ และน้ำทิ้งจากเครื่อง decanter หรือเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) จากตารางที่ 2.2 แสดงคุณลักษณะโดยรวมของน้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ จะเห็นว่าน้ำทิ้งจากบ่อรวบรวมน้ำเสียมีค่า บีโอดี (57.38 กรัม/ลิตร), ซีโอดี (73.23 กรัม/ลิตร), ของแข็งทั้งหมด ( 68.98 กรัม/ลิตร), ของแข็งแขวนลอย (35.25 กรัม/ลิตร) และกรีส (grease) (1.23 กรัม/ลิตร) ซึ่งเฉลี่ยจะสูงกว่าน้ำทิ้งจากเครื่อง decanter หรือเครื่องหมุนเหวี่ยง (มีค่าต่างๆ เฉลี่ยเท่ากับ 33.19, 52.91, 23.63, 11.60, และ 0.005 กรัม/ลิตร ตามลำดับ) ในขณะที่น้ำทิ้งเครื่อง condensate มีค่า ซีโอดี (75.60 กรัม/ลิตร) และของแข็งทั้งหมด (72.56 กรัม/ลิตร) เฉลี่ยสูงกว่าน้ำทิ้งจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย จากตารางที่ 3 (อรัญ และคณะ, 2537) แสดงคุณลักษณะน้ำทิ้งจากขั้นตอนการ

ผลิตต่างๆของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มจำนวน 4 โรงงาน พบว่าน้ำทิ้งจากหม้อหนึ่งมีปริมาณสารแขวนลอยต่ำ (เฉลี่ย 10.30 กรัม/ลิตร) และมีน้ำมันค่อนข้างสูง (เฉลี่ย 14.57 กรัม/ลิตร) น้ำทิ้งจาก separator มีน้ำมันเหลืออยู่ 12.78 กรัม/ลิตร ในขณะที่น้ำทิ้งจาก decanter มีน้ำมัน 15.21 กรัม/ลิตร น้ำทิ้งจากบ่อกักน้ำทิ้งรวมและน้ำทิ้งจากบ่อดักน้ำมันสุดท้ายมีน้ำมัน 9.45 กรัม/ลิตร และ 11.36 กรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยเฉลี่ยโรงงานสกัดน้ำมันที่สำรวจมีปริมาณน้ำทิ้ง 0.87 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด ซึ่งมีค่าซีไอดี, บีไอดี, สารแขวนลอยและน้ำมันเท่ากับ 52.45, 26.59, 12.84 และ 8.72 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด ในปัจจุบันมีโรงงานน้ำมันปาล์มที่สกัดและกลั่นน้ำมันปาล์มอยู่ 76 โรง มีกำลังการผลิต 5 ล้านตันต่อปี ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียถึง 2.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนใกล้เคียง (สำนักงานนโยบายและแผนพัฒนาพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2549)

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากขั้นตอนต่างๆ ในการสกัดน้ำมันปาล์มและน้ำทิ้งรวมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

Parameter	Wastewater	Effluent fom autoclave	Effluent from decanter or separator
Color	Drark Brown	Brown	Brown-Black Brown
pH	4.05 - 4.62	4.84 - 5.35	4.62 – 4.89
BOD	54,750 – 60,000	22,800 – 41,985	21,000 – 45,375
COD	80,523 – 115,934	45,360 – 80,146	38,246 – 67567
Volatile acid	3,128 – 5,870	998 – 7,125	1,838 – 2,273
Alkalinity	68 – 200	3.75 – 1,576	86.5 – 480
Oil&Grease	16 – 2,449	20.9 – 1,103	4.7
Total solid (TS)	49,053 – 88,508	26,367 – 76,733	25,634 – 47,242
Volatile solid (VS)	42,063 – 81,872	24,415 – 67,635	23,056 – 39,617
Suspended solids (SS)	18,500 – 52,000	26,000 – 6,100	2,900 – 20,300
Nitrogen			
-ammonia	27 – 61	7.7 – 66.3	22.8 – 23.0
-organic	551 – 1,172	22.4 – 1,287	518.5

หมายเหตุ ทุกหน่วยมีค่าเป็น มิลลิกรัม/ลิตร ยกเว้นสีและพีเอช  
ที่มา : ดัดแปลงจากพูนสุข ประเสริฐสรรรพ์ และคณะ (2533)

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะน้ำทิ้งโดยเฉลี่ยจากโรงงานน้ำมันปาล์ม 4 โรงงาน

Mills	pH	Temp. ( °C )	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	COD/BOD D	SS (g/l)	O&G (g/l)
Asian Palm Oil Company Ltd. <sup>a</sup>	4.65	64.9	113,960	59,389	1.94	26.30	14.70
Southern Palm Oil Company Ltd. <sup>b</sup>	4.58	64.9	68,344	30,704	2.29	20.80	7.60
Saim Palm Oil and Industry company Ltd. <sup>c</sup>	4.67	63.4	42,644	21,450	2.00	5.20	14.20
United Palm Oil Industry company Ltd <sup>b</sup>	4.53	54.15	57,641	29,100	1.98	1.98	7.70
Mean	4.61	66.3	70,647	35,160	2.05	17.50	11.10
Std Deviation	0.06	3.70	26,249	14,149	0.14	7.80	3.40

a – Using decanter , b – Using separator and decanter , c – Using separator

ที่มา : อนุรักษ์ และคณะ (2537)

## 2.2. ปฏิกริยาของน้ำมัน

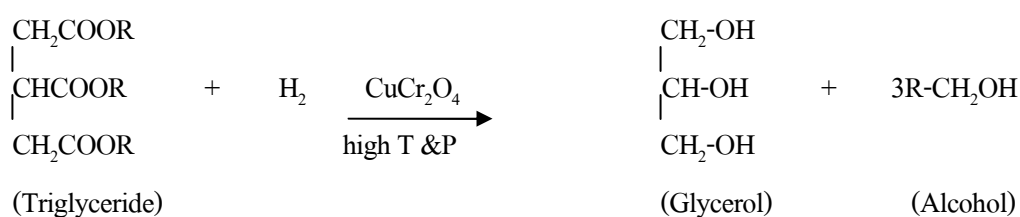
### 2.2.1 ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการที่ไตรกลีเซอไรด์ไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนโดยมีโลหะ (มักใช้เหล็ก) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็นไตรกลีเซอไรด์อิ่มตัว ปฏิกิริยานี้จัดเป็นตัวอย่างของปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของ (alkene) อย่างหนึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญทางการค้า เพราะใช้ทำน้ำมันพืชให้แข็งตัวเพื่อนำไปผลิตเป็นไขมันสำหรับปรุงอาหาร หรือเนยเทียม ตัวอย่างเช่น น้ำมันเมล็ดฝ้าย มีเปอร์เซ็นต์ของไตรกลีเซอไรด์ไม่อิ่มตัวสูงเมื่อเอาไปไฮโดรจิเนชัน ส่วนที่ไม่อิ่มตัวจะถูกเปลี่ยนไปเป็นส่วนที่อิ่มตัวได้เป็นไขมัน ซึ่งผลิตภัณฑ์เป็นของแข็งนี้อาจจำหน่ายในรูปแบบของไขมันในการปรุงอาหาร เช่น นำไปผสมกับสีและปรุงรสเป็นเนยเทียมได้



### 2.2.2 รีดักชัน (Reduction)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการที่ไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนที่อุณหภูมิและความดันสูงๆ โดยมีคอปเปอร์โครไมต์ ( $\text{CuCr}_2\text{O}_4$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จะถูกแบ่งออกเป็นกลีเซอรอลและแอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว ซึ่งแอลกอฮอล์ดังกล่าวมีใช้ประโยชน์ในการผลิตผงซักฟอกได้เป็นอย่างดี

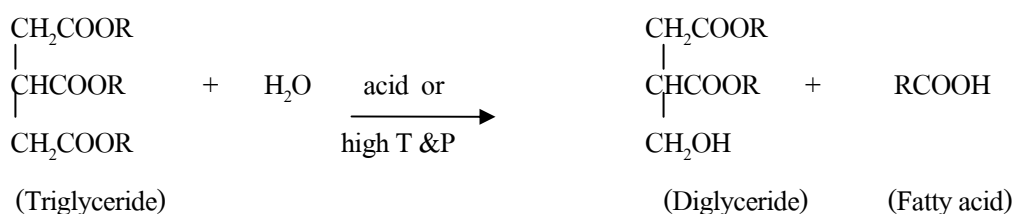


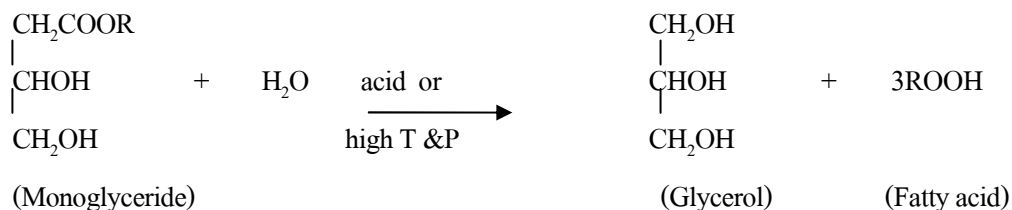
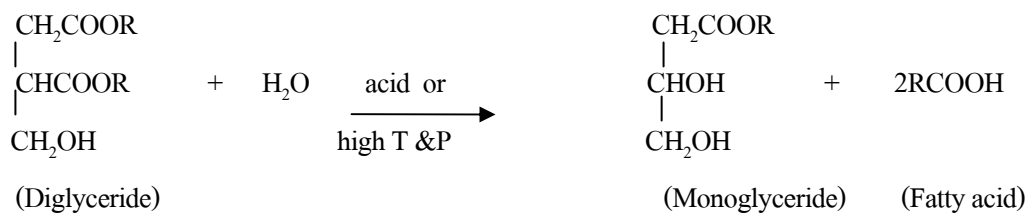
### 2.2.3 การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการที่ไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยากับน้ำ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมัน สามารถจำแนกการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนี้ คือ

- การไฮโดรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิและความดันสูงๆ คือ เกิดที่อุณหภูมิ 210 – 260 องศาเซลเซียส และความดัน 1.9 – 6.0 เมกะปาสกาล

- การไฮโดรไลซิสโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) น้ำมันจะถูกไฮโดรไลซิสได้ง่ายขึ้น กล่าวคือเมื่อนำไปให้ความร้อนที่ความดันปกติก็สามารถไฮโดรไลซิสได้ ผลจากการไฮโดรไลซิสน้ำมันจะได้กรดไขมันกับกลีเซอรอล โดยเกิดขึ้น 3 ขั้นตอนดังสมการนี้

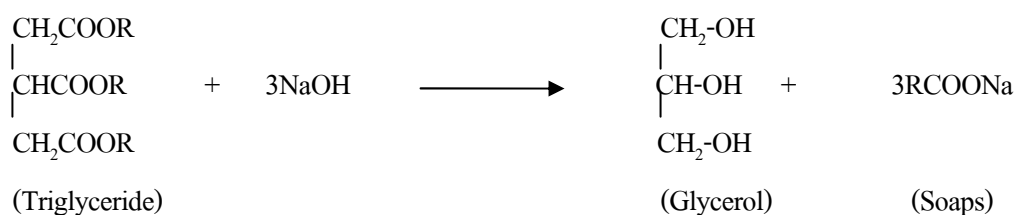




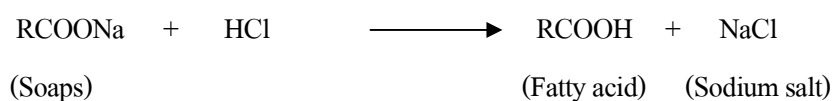
- การไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์ไลเปส (Lipase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นกรดไขมันกับกลีเซอรอล เช่นเดียวกัน

#### 2.2.4 สะปอนนิฟิเคชัน (Saponification)

การเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อให้ความร้อนไตรกลีเซอไรด์กับเบสแก่ เช่น โซดาไฟ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะได้กลีเซอรอลกับเกลือของกรดไขมัน หรือ สบู่ (Soaps) ดังสมการด้านล่างนี้

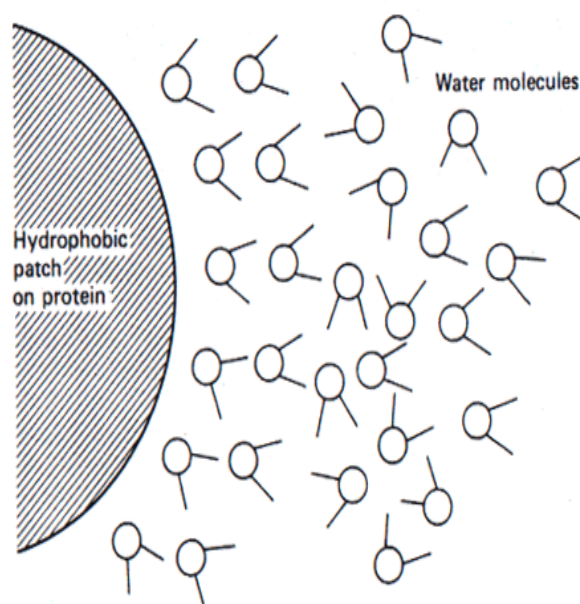


สบู่และกลีเซอรอลละลายน้ำได้ เมื่อนำสบู่ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ทำปฏิกิริยากับกรดแก่ เช่น กรดเกลือ (HCl) จะได้ผลิตภัณฑ์ คือ กรดไขมัน และเกลือ ดังสมการต่อไปนี้



### 2.3 เทคนิค Salting Out

เป็นวิธีการแยกโปรตีนซึ่งละลายอยู่ในตัวทำละลาย โดยการเติมเกลือที่มีความเข้มข้นสูง ๆ จนถึงสารละลายเกลืออิ่มตัว เรียกวิธีนี้ว่า “Salting Out” ในตอนแรกโปรตีนละลายอยู่ในน้ำ โมเลกุลของโปรตีนจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ แสดงดังภาพประกอบที่ 2.5 แต่เมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ เช่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์ หรือสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต อิ่มตัวลงไป เพื่อเพิ่มความแรงไอออน (ion strength) ของสารละลายให้สูงขึ้น จนกระทั่งไอออนของเกลือไป แย่งโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบโมเลกุลของโปรตีนออกมาล้อมรอบโมเลกุลของเกลือเอง อาจกล่าวได้ว่าเป็นการแข่งขันระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและโมเลกุลของเกลือในการเกิดแรงปฏิกิริยาทางไฟฟ้ากับโมเลกุลของน้ำนั่นเอง เมื่อใดก็ตามที่แรงกระทำระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับน้ำมีค่าเหลือน้อยกว่าแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับโปรตีน โปรตีนก็จะจับตัวตกตะกอนลงมา



ภาพประกอบที่ 2.5 ลักษณะของโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบโมเลกุลของโปรตีน  
ที่มา : [www.web.siu.edu/](http://www.web.siu.edu/)

การรวมตัวกันของโปรตีนเกิดจากส่วนที่ไม่ชอบน้ำบนโมเลกุลของโปรตีนแต่ละตัว เคลื่อนที่เข้าอยู่ใกล้กัน โดยแรงดึงดูดระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำด้วยตัวเอง เกิดเป็นกลุ่มก้อน โปรตีนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

เมื่อน้ำหนักสะสมเพิ่มขึ้น ก็เกิดการตกตะกอนลงมาเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ Salting Out Effect ” เกลือที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ แอมโมเนียมซัลเฟต  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  เนื่องจากเกลือชนิดนี้มีค่าการละลายน้ำสูงมาก และมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของละลายค่อนข้างต่ำ (temperature coefficient of solubility) ในช่วง 0–3 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถใช้ในการตกตะกอนโปรตีนที่อุณหภูมิต่ำได้ โดยไม่เกิดการสลายตัวของโครงสร้างโปรตีนหรือเอนไซม์ที่สลายตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงได้ นอกจากนี้ยังมีเกลือชนิดอื่นที่นิยมใช้ในการตกตะกอนโปรตีน เช่น โซเดียมคลอไรด์ แมกนีเซียมซัลเฟต โปแตสเซียมซัลเฟต เป็นต้น โดยเกลือที่มีประจุแบบไดวาเลนต์ (divalent ion) เช่น  $\text{SO}_4^{2-}$  และ ไตรวาเลนต์ (trivalent ion) เช่น  $\text{PO}_4^{3-}$  จะให้ผลในการตกตะกอนได้ดีกว่าพวกที่มีไอออนเดี่ยว (univalent ion) เช่น  $\text{Cl}^-$  ([www.web.siumed.edu/](http://www.web.siumed.edu/))

## 2.4 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ คือ น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ซึ่งแปรรูปเป็นอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งได้จากระบวนการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ระหว่างสารตั้งต้น ไตรกลีเซอไรด์ กับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่ตรงคาร์บอนสั้นๆ

ไบโอดีเซลโดยทั่วไป มีองค์ประกอบที่มีลักษณะโมเลกุลใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลปิโตรเลียมซึ่งสามารถผลิต และพัฒนาได้จากไขมันหรือน้ำมันที่ได้จากพืชและสัตว์โดยส่วนใหญ่แล้วจะมุ่งไปที่เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์โดยใช้ไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์กับเมทานอลมากที่สุด

### 2.4.1 วิธีการนำน้ำมันพืชมาใช้แทนน้ำมันดีเซล

#### 2.4.1.1 การใช้น้ำมันพืชเสมือนน้ำมันดีเซลโดยตรง

การใช้ไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์เป็นแหล่งทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลโดยตรงมักจะใช้น้ำมันพืชเท่านั้น เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สัมพันธ์กับการเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ดีและเหมาะสมกว่าไขมันสัตว์ มีประสิทธิภาพการใช้งานทดแทนสูงกว่า นอกจากนี้แล้วไขมันสัตว์มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าและลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเซล เพราะจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการเตรียมไขมันสัตว์สำหรับการใช้งานโดยตรง

### 2.4.1.2 การเจือจางหรือการผสมตามส่วน

การเจือจางหรือการผสมตามส่วนของน้ำมันพืชสามารถนำมาละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ในวัสดุเหลวบางชนิดเท่านั้น เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นๆ ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเจือจางของน้ำมันเมล็ดทานตะวันโดยใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยปริมาตร และผ่านการทดสอบโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ดีเซลได้สำเร็จ แต่สารผสมนี้ไม่เหมาะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลประเภท Direct Injection ในช่วงระยะเวลายาวเพราะว่าเกิดปัญหาเกี่ยวกับการเกิดโค้กที่ปลายกระบอกของระบบหัวฉีดอย่างรุนแรง

### 2.4.1.3 กระบวนการผลิตแบบไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

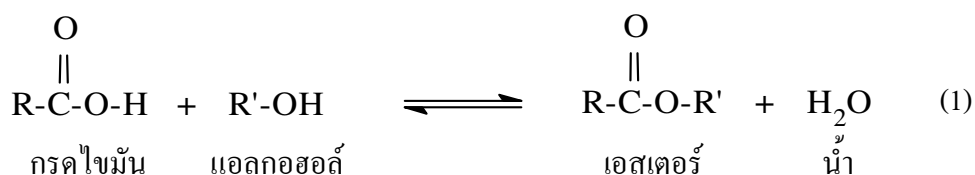
ไมโครอิมัลชันเป็นกระบวนการที่ทำให้ของเหลวมีสารแขวนลอยกระจายอยู่ เช่น การผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ ซึ่งมีสภาพเป็นอิมัลชันและเมื่อนำไปใช้สามารถคิดให้เป็นผลใช้ได้

### 2.4.1.4 กระบวนการผลิตแบบแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking)

วิธีการแตกตัวด้วยความร้อนเป็นการให้ความร้อนกับน้ำมันพืชในสภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อให้น้ำมันแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมหรือใกล้เคียงสำหรับนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและโครงสร้างเนื่องจากความร้อนขอไตรกลีเซอไรด์จะให้สารประกอบเคมีอินทรีย์หลายประเภท เช่น อักเคิน อักคิน อักคาไดอิน แอโรเมติก และกรดคาร์บอกซิลิก เป็นต้น

### 2.4.1.5 กระบวนการผลิตแบบแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์

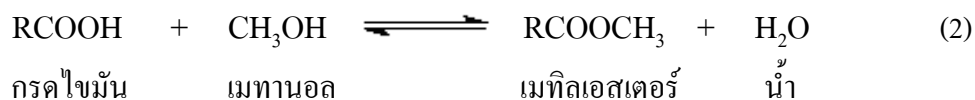
1. กระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน (esterification) เอสเตอริฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลผลิตที่ได้คือเอสเทอร์กับน้ำ ในขั้นตอนนี้จะลดค่าของกรดไขมันอิสระให้น้อยกว่า 1% (กิตติศักดิ์, 2549)



## ภาพประกอบที่ 2.6 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

ที่มา : สุภาวดี เฟื่องคง (2550)

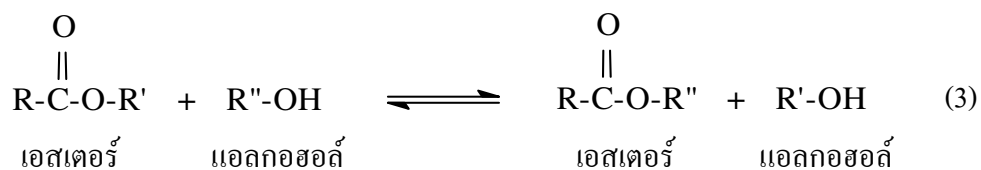
ถ้าแอลกอฮอล์ที่ใช้จะเป็นเมทานอล



ภาพประกอบที่ 2.7 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเมื่อแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเมทานอล

ที่มา : สุภาวดี เฟื่องคง (2550)

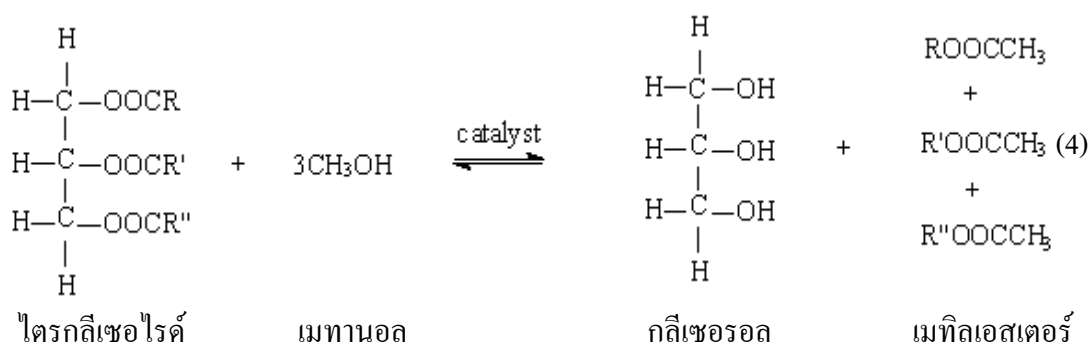
2. กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (transesterification) ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล (สมการที่ 3) ซึ่งนิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และจะมีปฏิกิริยา saponification เกิดขึ้นด้วย ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสบู่ ดังสมการที่ 5



ภาพประกอบที่ 2.8 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

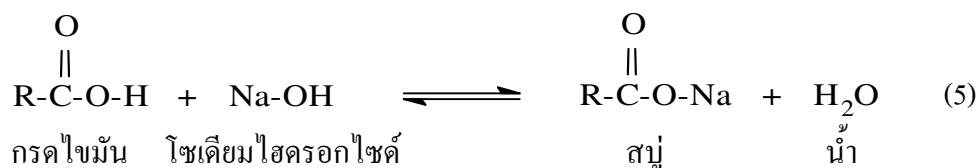
ที่มา : สุภาวดี เฟื่องคง (2550)

การผลิตไบโอดีเซลปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่เกิดขึ้นจะเกิดจากไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาจะได้กลีเซอรอลกับเมทิลเอสเทอร์ ดังสมการที่ 4



ภาพประกอบที่ 2.9 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเมทานอล  
ที่มา : สุภาวดี เฟ็งกง (2550)

สมการที่ 5 แสดงปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification)



ภาพประกอบที่ 2.10 แสดงปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน  
ที่มา : สุภาวดี เฟ็งกง (2550)

#### 2.4.2 ตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

##### 2.4.2.1 ความชื้นและกรดไขมันอิสระ

คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลไม่ควรมีน้ำเจือปน เนื่องจากน้ำจะส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน วัตถุดิบเริ่มต้นใช้ไตรกลีเซอไรด์ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งมีค่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% หากปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 1% จะต้องใช้เบสมากขึ้น เพราะต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาและสะเทินกรดไขมันอิสระ ดังนั้นน้ำและเบสเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ สบู่ที่เกิดทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้น เกิดเป็นเจลและทำให้การแยกชั้นของกลีเซอรอลยากขึ้น

Ma และ Hanna (1999) ศึกษาอิทธิพลของกรดไขมันอิสระและความชื้นที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของ Beef tallow ด้วยเมทานอล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการ

มีน้ำเป็นองค์ประกอบใน Beef tallow ต่ำกว่า 0.06 %w/w และมีกรดไขมันอิสระเป็นองค์ประกอบใน Beef tallow ต่ำกว่า 0.5 %w/w จะเกิดปฏิกิริยาที่ดีที่สุด การมีน้ำเป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบจะส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันมากกว่าการมีกรดไขมันอิสระเป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบ ซึ่งยืนยันได้จากผลการทดลองของ Bradshaw and Meuly (1944) และ Feuge and Grose (1949)

#### 2.4.2.2 สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอล

สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอล (molar ratio) เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะนิยมใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้น ๆ ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และ บิวทานอล อย่างไรก็ตามจะนิยมใช้เมทานอลมากกว่าเนื่องจากราคาถูกกว่า ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะเป็นไปตามปริมาณสัมพันธ์ ซึ่งต้องการแอลกอฮอล์ 3 โมล และไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมล และกลีเซอรอล 1 โมล เพื่อให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเข้าสู่สมดุลต้องใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปเพื่อผลักดันให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ซึ่งการใช้อัตราส่วนเชิงโมลสูงกว่า 3 โมลของแอลกอฮอล์จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น หากใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่สูงเกินไปจะมีผลต่อการแยกชั้น เนื่องจากปริมาณแอลกอฮอล์มากทำให้มีน้ำอยู่ในปฏิกิริยามากตามไปด้วย ไม่ว่าจะเป็นน้ำที่มีอยู่ในแอลกอฮอล์อยู่แล้วหรือน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา ซึ่งน้ำจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ หรือผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ และเกิดปฏิกิริยาสaponification ตามมา ทำให้ได้เกลือของกรดไขมันหรือสบู่ขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ลดลงและเกิดการแยกชั้นยากขึ้นด้วย (เฉลิมพร, 2549)

#### 2.4.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) สามารถใช้ได้ทั้ง กรด เบส และเอนไซม์ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เบสที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่ถ้าน้ำมันมีกรดไขมันอิสระสูงควรใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลโฟนิกของสารอินทรีย์

Freedman และคณะ (1984) จัดตัวเร่งปฏิกิริยาออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กรด เบส และเอนไซม์ โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ถ้าในน้ำมันมีกรดไขมันอิสระและน้ำเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ควรใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า (Sprules and Price, 1950; Freedman et al., 1984) ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรคลอริก กรด



ซัลโฟนิคของสารอินทรีย์ ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ โปแตสเซียมเมทอกไซด์ โซเดียมเอไมด์ โซเดียมไฮไดรด์ โปแตสเซียมเอไมด์ โปแตสเซียมไฮไดรด์

#### 2.4.2.4 เวลาการทำปฏิกิริยา

อัตราการเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น เช่น ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย เมล็ดดอกทานตะวัน และเมล็ดถั่วเหลือง โดยใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 1% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันให้ %yield เท่ากับ 80 หลังจากใช้เวลา 1 นาที และหลังจากเวลาผ่านไป 1 ชม. การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันทั้ง 4 ชนิดเหมือนกันคือ มีค่า %yield เท่ากับ 93-98 (Ma and Hanna, 1999; Freedman et al., 1984)

#### 2.4.2.5 อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา

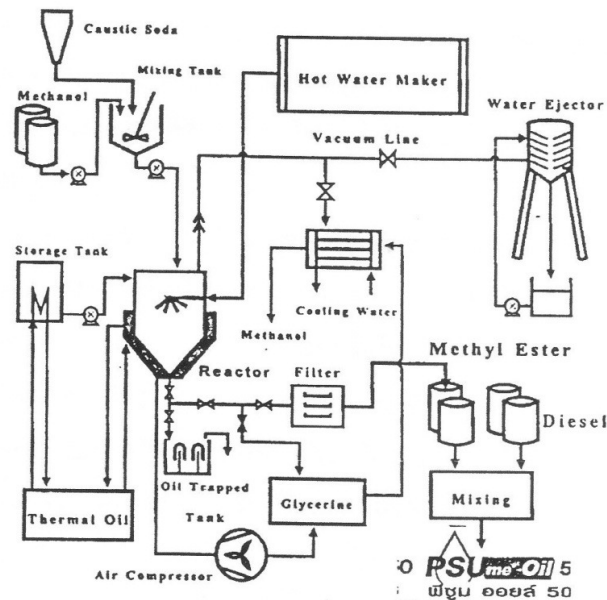
สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (reaction temperature) โดยทั่วไปมักจะใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

Ma และ Hanna (1999) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์ด้วยเมทานอล ในสัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันถั่วเหลืองต่อเมทานอล 1: 6 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 1% ที่อุณหภูมิ 32, 45 และ 60 องศาเซลเซียส ได้ %yield เท่ากับ 64, 87 และ 94 ตามลำดับ

## 2.5. กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ระดับโรงงานนำร่อง (Pilot Plant)

### 2.5.1 กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ชาคริต ทองอุไร และคณะ (2544) ทำการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากผลิตผลปาล์ม น้ำมัน ได้แก่ น้ำมันทอดใช้แล้ว น้ำมันปาล์มดิบเกรดบี (หีบสกัดแบบรวมน้ำมันเปลือกและน้ำมันเมล็ดใน) ที่ผ่านกระบวนการแยกขางเหนียวและลดกรด น้ำมันปาล์มรีไฟน์ ไชปาล์มสเตียรีนทั้งชนิดปกติ (Iodine value 38) และชนิด Super hard (Iodine value 26) กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์แสดงดังภาพประกอบที่ 2.11



ภาพประกอบที่ 2.11 กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน  
ที่มา : ชาคริต ทองอุไร และคณะ (2544)

### ขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

#### 2.5.1.1 การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะถูกเตรียมให้เหมาะสมก่อนเข้าทำปฏิกิริยา โดยหากเป็นน้ำมันปาล์มดิบจำเป็นต้องผ่านกระบวนการแยกขางเหนียว และลดกรดให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ส่วนวัตถุดิบจากน้ำมันที่ใช้ทอดแล้วจะถูกนำมาขจัดโปรตีนออกโดยการทำปฏิกิริยากับไนตริกและล้างด้วยน้ำ วัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% แล้ว จะถูกไปขจัดน้ำออกโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C ประมาณ 20 นาที โดยมีการกวนเพื่อให้การระเหยของน้ำเป็นไปได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น สำหรับไขปาล์มสเตียรีนชนิด Superhard ซึ่งผลิตที่โครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก ได้ถูกขจัดน้ำออกที่อุณหภูมิ 80 °C ภายใต้สภาวะสูญญากาศ 600 – 700 มิลลิเมตรของปรอท

#### 2.5.1.2 การเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เมทานอล เข้าทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ถูกเลือกใช้เพราะมีราคาถูก โดยเมทานอลต้องไม่มีน้ำเจือปนเกินกว่า 1% การเตรียมสารละลายกระทำโดยการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 – 5 ส่วน ละลายในเมทานอล 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมเป็นไปตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในวัตถุดิบ หากกรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงก็ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนที่สูง

### 2.5.1.3 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 ดังนั้นในชั้นเมทิลเอสเทอร์จะเหลือกลีเซอรินอยู่น้อยปฏิกิริยาการเกิดเมทิลเอสเทอร์จะสามารถดำเนินต่อไปอย่างช้าๆ เมื่อทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 – 4 ชั่วโมง น้ำมันก็จะทำปฏิกิริยาไปมากกว่า 95%

### 2.5.1.4 การแยกกลีเซอริน

กลีเซอรินจะถูกถ่ายออกไปใส่ภาชนะ โดยการถ่ายออกทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ในขณะที่ร้อนอยู่เพราะหากทิ้งไว้ให้เย็น ชั้นกลีเซอรินจะกลายเป็นของแข็ง

### 2.5.1.5 การล้างสิ่งปนเปื้อนออก

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

### 2.5.1.6 การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย

เมื่อล้างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้ว ขั้นสุดท้าย คือ การขจัดน้ำที่เหลือในชั้นเมทิลเอสเทอร์ออก ซึ่งกระทำโดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นก็สามารถนำไปเก็บเพื่อใช้งานต่อไป เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากผลิตผลปาล์มน้ำมันต่างๆ เช่น น้ำมันทอดใช้แล้ว น้ำมันปาล์มดิบ (เกรคบี) น้ำมันปาล์มรีไฟน์ ไชปาล์มสเตียรีน และ Superhard stearin ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์เป็นสารเข้าทำปฏิกิริยาและใช้โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยกรรมวิธีการผลิต 6 ขั้นตอน คือ การเตรียมสารละลาย การทำปฏิกิริยา การแยกกลีเซอริน การล้าง และการขจัดน้ำ พบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตผลได้มีความบริสุทธิ์เกือบ 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 แต่จุดไหลเทมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากสัดส่วนเมทิลเอสเทอร์ที่อิ่มตัวซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงในปริมาณที่สูง (ชาคริต และคณะ, 2544)

### 2.5.2 กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบ 2 ขั้นตอน

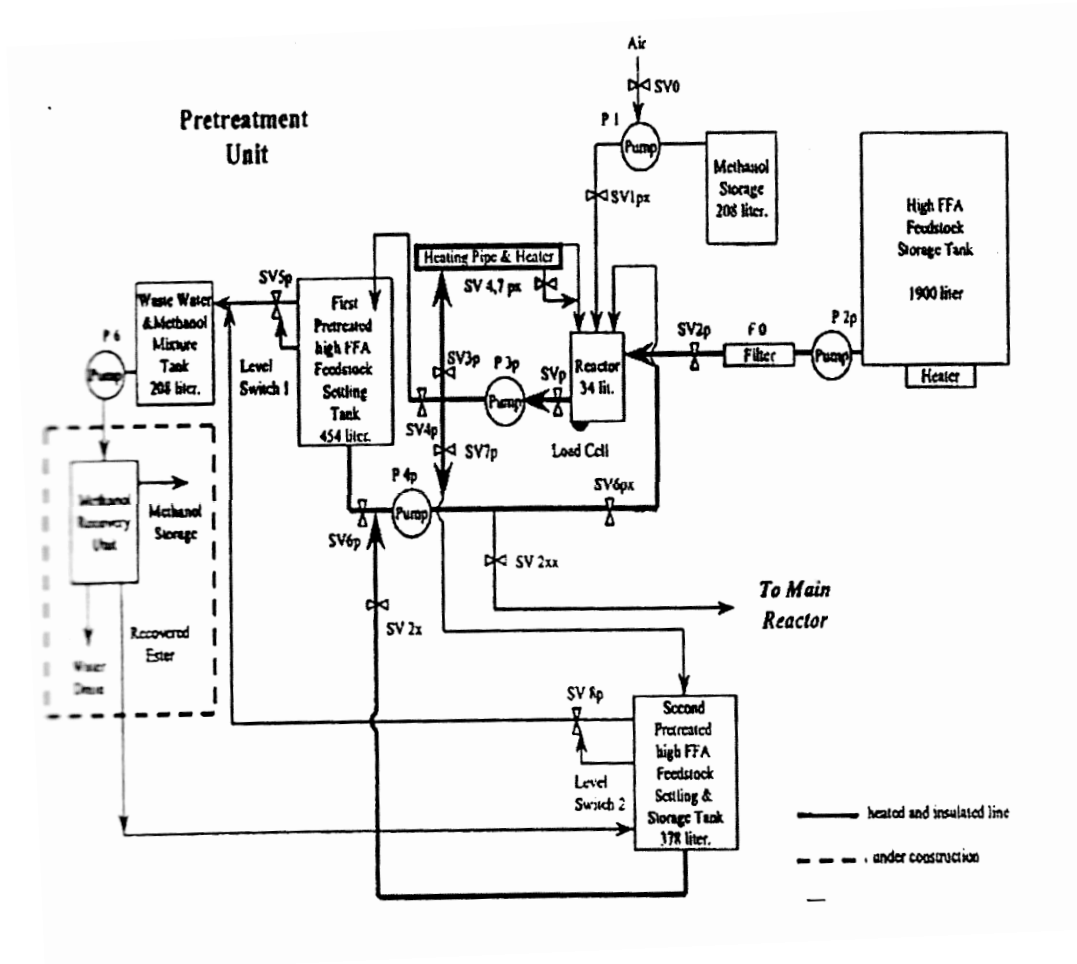
Canakci และ Gerpen (2001) ผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลือง yellow grease และ brown grease ด้วยกระบวนการผลิตที่ประกอบ 2 ขั้นตอนดังนี้

#### ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน

เป็นการลดค่าของกรดไขมันอิสระให้น้อยกว่า 1% ซึ่งอุปกรณ์การผลิตแสดงดังภาพประกอบที่ 7 โดยมีวิธีการผลิตดังนี้

1. การให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ ได้แก่ Yellow grease และ Brown grease ด้วยระบบให้ความร้อนขนาด 1.2 kW ซึ่งติดตั้งอยู่กับถังเก็บวัตถุดิบขนาด 1900 ลิตร เพื่อทำให้เกิดการละลาย

2. การกรอง เมื่อวัตถุดิบละลายแล้วจะถูกปั๊มผ่านตัวกรองขนาด 20 ไมครอน ซึ่งทำมาจากเซลลูโลสปั๊มด้วย P 2p (ตามภาพประกอบที่ 2.12) เพื่อช่วยแยกสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ละลายออกจากวัตถุดิบ เช่น เศษเนื้อ เศษกระดูก



ภาพประกอบที่ 2.12 กระบวนการผลิตในขั้นตอนปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน  
ที่มา : Canakci and Gerpen (2001)

3. การทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน วัตถุดิบที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกอยู่ในถังปฏิกรณ์ขนาด 34 ลิตร ซึ่งทำด้วยเหล็กปลอดสนิมโดยจะมี Load cell ติดตั้งอยู่ที่ถังเพื่อชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์ เมื่อได้น้ำหนักตามต้องการ ทำการเติมเมทานอลซึ่งบรรจุในถัง 208 ลิตร และตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันลงไปโดยอาศัยปั๊มลม P<sub>1</sub> ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. การแยกเมทานอลและน้ำขึ้นต้น จากการทำให้ปฏิกิริยาขึ้นต้นทำให้กรดไขมันในวัตถุดิบเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์และน้ำโดยต้องแยกน้ำออกจากสารผสมที่ได้เพราะจะมีผลต่อการทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป จากการเก็บสารผสมที่ได้จากการทำให้ปฏิกิริยาขึ้นต้นในถังขนาด 454 ลิตร เพื่อแยกสารผสมระหว่างเมทานอลและน้ำออกจากวัตถุดิบที่เหลือโดยหลังจากปล่อยให้เกิดการแยกตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมทานอลและน้ำจะลอยขึ้นมาอยู่ด้านบนของถัง สามารถแยกออกโดยใช้ระบบควบคุมโซลินอยด์แล้ว เข้าไปเก็บในถังขนาด 208 ลิตร เพื่อทำการแยกคืนเมทานอลต่อไป

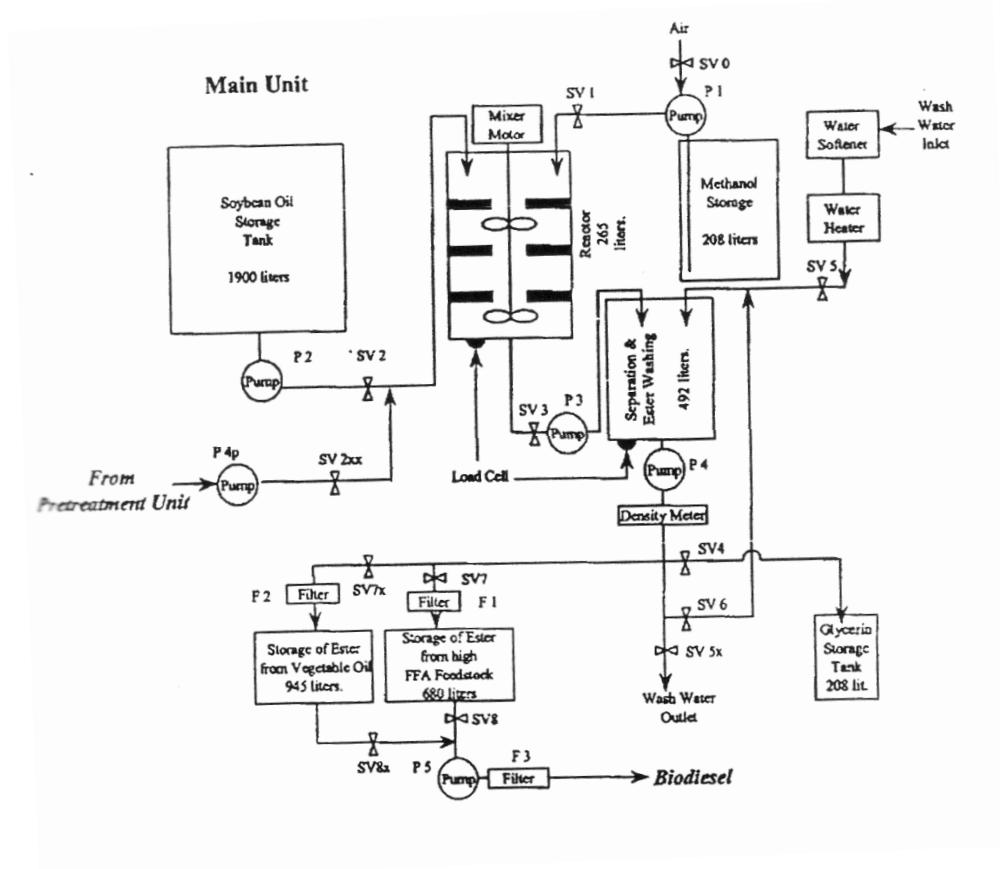
5. การแยกคืนเมทานอล ซึ่งขั้นตอนนี้ยังไม่ได้ดำเนินการแต่สามารถติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อแยกเมทานอลออกจากน้ำกลับมาใช้อีก (เส้นประตามภาพประกอบที่ 2.12)

6. การปฏิกิริยาขั้นที่สอง วัตถุดิบที่เหลือจากการแยกเมทานอลและน้ำออกแล้วถูกปั๊มกลับมายังถังปฏิกรณ์ขนาด 34 ลิตร อีกครั้งด้วยปั๊ม P 4p (ตามภาพประกอบที่ 2.12) เพื่อทำปฏิกิริยากับเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันอีกครั้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

7. การแยกเมทานอลและน้ำขึ้นที่สอง จากการทำให้ปฏิกิริยาขั้นที่สองวัตถุดิบที่ได้จะถูกปั๊มเข้าสู่ถังขนาด 378 ลิตร ด้วยปั๊ม P 3p (ตามภาพประกอบที่ 2.8) เพื่อช่วยแยกสารผสมระหว่างเมทานอลและออกจากวัตถุดิบที่ต้องการ โดยวัตถุดิบที่ได้จะมีค่ากรดไขมันอิสระน้อยกว่า 1%

**ขั้นตอนที่ 2 :** กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน อุปกรณ์การผลิตแสดงดังภาพประกอบที่ 2.13

ในส่วนนี้หากวัตถุดิบที่ใช้ทำการผลิตเป็นน้ำมันถั่วเหลืองในถังขนาด 1900 ลิตร จะถูกปั๊มเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ด้วยปั๊ม P2 (ตามภาพประกอบที่ 2.13) หรือหากเป็นวัตถุดิบในขั้นตอนที่ 1 (กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน) ปั๊มเข้ามาโดยอาศัยปั๊ม P 4p (ตามภาพประกอบที่ 2.12) เข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในถังปฏิกรณ์ขนาด 265 ลิตร ที่มีใบกวนหมุนที่ความเร็วรอบ 1750 รอบ/นาที และติดตั้ง load cell ด้านล่างของถังเพื่อชั่งน้ำหนักสารเข้าทำปฏิกิริยาที่แน่นอน เติมเมทานอลเข้าสู่ถังปฏิกรณ์โดยอาศัยปั๊ม P1 (ตามภาพประกอบที่ 2.13) และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกวนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นจึงปล่อยให้เข้าสู่ถังขนาด 492 ลิตร เพื่อแยกกลีเซอรินออกจากเมทิลเอสเทอร์และล้างน้ำ โดยด้านล่างของถังติดตั้ง Load cell เพื่อหาน้ำหนักของกลีเซอริน ปริมาณน้ำที่ล้าง และปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ เมื่อกลีเซอรินแยกตัวออกมาจะถูกปั๊มเข้าไปเก็บในถังขนาด 208 ลิตร โดยอาศัยปั๊ม P4 (ตามภาพประกอบที่ 2.13) ทำการล้างเมทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำอุ่น (60°C) เพื่อแยกสบู่และกลีเซอรอลที่หลงเหลือในเมทิลเอสเทอร์โดยการพ่นน้ำอุ่นเป็นฝอยผ่านฝักบัว 4 ตัวที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของถังเพื่อช่วยให้เกิดการกระจายตัวได้ทั่วถึง น้ำอุ่นถูกปั๊มเข้ามาโดยอาศัยการปั๊ม P4 วนกลับเข้ามาส่วนน้ำทิ้งจะปล่อยแยกออกไป



ภาพประกอบที่ 2.13 กระบวนการผลิตในส่วน Main Unit

ที่มา : Canakci and Gerpen (2001)

เมทิลเอสเทอร์ที่ล้างน้ำเสร็จแล้วจะถูกกรองผ่านตัวกรองขนาด 20 ไมครอน ก่อนที่จะถูกเก็บในถังขนาด 945 ลิตร ซึ่งใช้เก็บเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลือง ส่วนเมทิลเอสเทอร์จาก Yellow grease หรือ Brown grease จะเก็บในถังขนาด 680 ลิตร เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ยังคงมีส่วนประกอบของน้ำหลงเหลืออยู่และเตรียมการที่จะใช้ Flash type drying เพื่อขจัดน้ำออกในอนาคต

กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบ 2 ขั้นตอน เป็นวิธีการผลิตที่เหมาะสมสำหรับวัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระสูง โดย Ramadhass และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดขางพาราที่มีกรดไขมันอิสระสูง โดยกล่าวว่า กรดไขมันอิสระที่มีค่าสูงจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งใช้เร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง เนื่องจากกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่างเกิดสบู่เป็นผลิตภัณฑ์ และทำให้ไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างกลีเซอรอลและเมทิลเอสเทอร์ ดังนั้นจึงมีการ

ปรับปรุงกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ให้เป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการลดกรดไขมันอิสระให้น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน นำผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนแรกเข้าสู่กระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบด่างเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน พบว่า สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์มีค่าเท่ากับ 1:6 ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างให้ประสิทธิภาพผลดีที่สุด โดยทำการทดลอง 30 นาที อุณหภูมิ  $45 \pm 5^{\circ}\text{C}$  โดยข้อดีของการผลิตเมทิลเอสเทอร์ให้เป็น 2 ขั้นตอน คือ สามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ไขมันที่มีกรดไขมันอิสระสูงเป็นวัตถุดิบ โดยเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนดแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานเมทิลเอสเทอร์ตามมาตรฐาน ASTM D 6751

คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	หน่วย	วิธีทดสอบ	เกณฑ์ต่ำสุด	เกณฑ์สูงสุด
จุดวาบไฟ	$^{\circ}\text{C}$	ASTM D 93	130	-
น้ำและตะกอน	ร้อยละโดยปริมาตร	ASTM D 2709	-	0.05
ค่าความหนืดที่ $40^{\circ}\text{C}$	ตารางมิลลิเมตร/วินาที	ASTM D 445	1.9	6.0
เถ้าซัลเฟต	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D 874	-	0.02
ปริมาณกำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D 5453	-	0.05
การกัดกร่อนทองแดง		ASTM D 130	-	No.3
ค่าซีเทน		ASTM D 613	-	-
จุดขุ่น	$^{\circ}\text{C}$	ASTM D 2500		รายงานผล
กากถ่าน (ร้อยละ 100 ตัวอย่าง)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D 4530	-	0.005
ค่าของกรด	มิลลิกรัมKOH/กรัมไขมัน	ASTM D 644	-	0.8
กลีเซอรอลอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D 6584	-	0.02
กลีเซอรอลทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D 6584	-	0.24
ปริมาณฟอสฟอรัส	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D 4591	-	0.001
อุณหภูมิการกลั่น เทียบเท่าที่ความดันบรรยากาศ กลั่น ได้ร้อยละ 90	$^{\circ}\text{C}$	ASTM D 1180	-	360



เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง โดยค่าที่ได้ควรอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เช่น จุดวาบไฟ มีค่ามากกว่า 130 °C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ทำให้น้ำมันติดไฟได้ น้ำมันที่มีจุดวาบไฟสูงทำให้ติดไฟได้ยากและมีความปลอดภัยในการขนส่ง

## 2.6 ข้อดี – ข้อด้อยของไบโอดีเซล

ในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลมีทั้งข้อดีและข้อด้อยซึ่งสามารถแจกแจงได้ดังนี้

### 2.6.1 ข้อดีของไบโอดีเซล

#### (1) ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษในอากาศอันเนื่องมาจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์ กรมอุทกหารเรือได้ทำการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่ารถที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 50 และสามารถลดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ร้อยละ 20 ลดฝุ่นละอองได้ร้อยละ 39 ลดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ร้อยละ 99 นอกจากนี้การใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นสามารถลดวงจรชีวิต (life – cycle) ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ได้ร้อยละ 78 ซึ่งเป็นผลให้ลดภาวะโลกร้อน

#### (2) ประโยชน์การใช้ไบโอดีเซลด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

การใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี (คณะกรรมการพลังงานสภาผู้แทนราษฎร, 2545) จำทำให้เผาไหม้ในกระบอกสูบเป็นไปอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ค่าแรงบิดเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 75 และทำให้กำลังเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

### 2.6.2 ข้อด้อยของไบโอดีเซล

- (1) เป็นของแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันดีเซล
- (2) ปลดปล่อยแก๊สไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล
- (3) ชิ้นส่วนจากยางปัมน้ำมันจะเสื่อมคุณภาพเร็ว
- (4) ค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 10

การแก้ไขข้อด้อยเหล่านี้อาจกระทำด้วยการผสมกับน้ำมันดีเซล เช่น ผสมน้ำมันดีเซลร้อยละ 80 กับเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 20 ([http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/adv\\_disadv.php](http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/adv_disadv.php))

### 2.6.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลในการใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นผลผลิตที่ได้จากน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการทางเคมี ให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล มีองค์ประกอบและมีโครงสร้างที่แตกต่างกันทำให้ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล ซึ่งบางคุณสมบัติเป็นข้อได้เปรียบและบางคุณสมบัติเป็นข้อเสียเปรียบ สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล ได้ดังแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล

คุณสมบัติของไบโอดีเซล	คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล
1. ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ไอเสียที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์จึงไม่ก่อให้เกิดภาวะฝนกรด	1. น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกเผาไหม้ กำมะถันจะเปลี่ยนรูปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และกรดซัลฟิวริกหรือกรดกำมะถัน เมื่อฝนตกจะถูกชะล้างเกิดเป็นฝนกรดได้
2. ไบโอดีเซลมีออกซิเจนอยู่ใน โครงสร้างโมเลกุลร้อยละ 10-12 และไม่มีสารประกอบ aromatic เป็นองค์ประกอบ ไอเสียที่เกิดขึ้นมีฝุ่นละอองขนาดเล็ก และมีควันดำต่ำ	2. น้ำมันดีเซล ไม่มีออกซิเจนอยู่ใน โครงสร้างโมเลกุล และมีสารประกอบ aromatic เป็นองค์ประกอบร้อยละ 20-40 ไอเสียที่เกิดขึ้นมีฝุ่นละอองขนาดเล็กและมีควันดำสูง
3. ไบโอดีเซล มีจุดวาบไฟสูงจึงมีค่าการจุดระเบิดในเครื่องยนต์ต่ำกว่า	3. น้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟต่ำ มีความเสี่ยงต่อการจุดระเบิดหรือการติดไฟมากกว่า
4. ไบโอดีเซลมีพันธะคู่ในน้ำมันพืช จึงทำให้ไม่เสถียร เกิดออกซิเดชันได้เร็ว และเก็บรักษาได้สั้นกว่าน้ำมันดีเซล	4. น้ำมันดีเซลไม่มีพันธะคู่ใน โครงสร้างโมเลกุลจึงเสถียร และเก็บรักษาได้นานกว่าน้ำมัน ไบโอดีเซล
5. ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี	

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ถึงร้อยละ 94 – 96% ของน้ำหนักโมเลกุล ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันมีคุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพเป็นไปตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้น เมื่อนำน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบนั้นด้วย

ตัวแปรส่วนใหญ่ที่กำหนดในมาตรฐานไบโอดีเซลสากล รวมถึงมาตรฐานไบโอดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 จะเป็นค่าสะท้อนถึงกระบวนการผลิตที่ใช้จะมีเฉพาะบางตัวที่ขึ้นกับวัตถุดิบที่เลือกมาใช้ เช่น ค่าความเสถียรของน้ำมัน (Oxidation stability) ค่าไอโอดีน และปริมาณ Linolenic Acid Methyl เป็นต้น ฉะนั้นในการเลือกใช้น้ำมันพืชเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล นอกจากนี้ต้องพิจารณาถึงปริมาณที่มีเพียงพอที่จะป้อนเข้าโรงงานผลิตไบโอดีเซลแล้ว ยังต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ ที่คัดเลือกมาช่วยเพื่อผลิตให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพของมาตรฐานกำหนด การพิจารณาเลือกน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ชนิดใดมาเป็นวัตถุดิบ (ทรงธรรม, 2551)

#### 2.6.4 ผลของไบโอดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล จากผลการทดลองของสถาบันวิจัยของ บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) พบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าวในอัตราส่วนร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากในไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดีจึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อด้อยนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากล มีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือว่าไม่มีผลทางด้านลบ หรือกรณีเครื่องยนต์เก่า อาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนซีลยางบางส่วน โดยทั่วไปการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศนั้นนิยมผสมเป็นสูตรต่างๆ เช่น

- B2 (ไบโอดีเซล 2% : ดีเซล 98%) มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา และได้บังคับใช้ทั้งมลรัฐ
- B5 (ไบโอดีเซล 5% : ดีเซล 95%) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส โดยกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายเป็นน้ำมันสูตร B5
- B20 (ไบโอดีเซล 20% : ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ (Alternative Motor Fuels Act : AMFA 1988) ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะรถของบริษัทและรถของหน่วยงานราชการ รวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษ เช่น รถรับส่งนักเรียน รถประจำทาง เรือ หรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในเหมืองแร่ ทั้งนี้ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตระบบหัวฉีดน้ำมันและเครื่องยนต์
- B40 (ไบโอดีเซล 40% : ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อผลในการลดมลพิษ
- B100 (ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ใช้ในประเทศเยอรมนีและออสเตรีย โดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์รายใหญ่ของประเทศ (<http://itc.cric.ac.th/skillweb/team3/engine%20effective.htm>)

## 2.7. การวิเคราะห์ต้นทุนทางวิศวกรรม

การวิเคราะห์ต้นทุนทางวิศวกรรมส่วนใหญ่จะเน้นโครงการที่มีการลงทุนในทรัพย์สินจริง ซึ่งแตกต่างจากการลงทุนทางการเงิน โครงการประเภทนี้จะมีอายุโครงการนาน มีตัวเลือกของโครงการจำกัด ดังนั้นการตัดสินใจลงทุนในทรัพย์สินจริง จึงต้องพิจารณาให้รอบคอบ ทั้งในส่วนของค่าเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ความเสี่ยงและความไม่แน่นอนในอนาคต การวิเคราะห์ต้นทุนและการวิเคราะห์ผลกำไรที่ถูกต้องแม่นยำจะช่วยให้การตัดสินใจลงทุนเป็นไปอย่างรอบคอบ

## 2.7.1 ประเภทของต้นทุนที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

### 2.7.1.1 เงินลงทุนเบื้องต้นและต้นทุนดำเนินการ

#### ก. เงินลงทุนเบื้องต้น (Initial Investment)

เป็นค่าใช้จ่ายเพื่อซื้อที่ดิน สิ่งปลูกสร้าง เช่น โรงงาน คลังสินค้า อาคารสำนักงาน เครื่องจักรอุปกรณ์ เครื่องมือ คอมพิวเตอร์และสิ่งสนับสนุนการผลิต ผู้ลงทุนอาจพิจารณาเลือกซื้อถือกรรมสิทธิ์หรือเช่าเพื่อลดวงเงินที่จะต้องใช้งบลงทุนในทรัพย์สินถาวรแสดงถึงขนาดของการลงทุน บริษัทที่มีทรัพย์สินถาวรเกินกว่า 200 ล้านบาท ถือเป็นบริษัทขนาดใหญ่ หากมีทรัพย์สินถาวรน้อยกว่านี้จัดเป็นวิสาหกิจขนาดกลางหรือขนาดย่อม (เอสเอ็มอี)

#### ข. ต้นทุนดำเนินการ (Operating Cost)

เป็นรายจ่ายที่นำไปหักจากรายได้เหลือเป็นการจากการดำเนินการ เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าเสียหุ้ยโรงงาน ต้นทุนส่วนนี้จะปรากฏอยู่ในงบกำไรขาดทุนของบริษัท

#### ค. ต้นทุนรวม (Total Cost)

เป็นผลรวมของเงินลงทุนเบื้องต้นและต้นทุนดำเนินการ

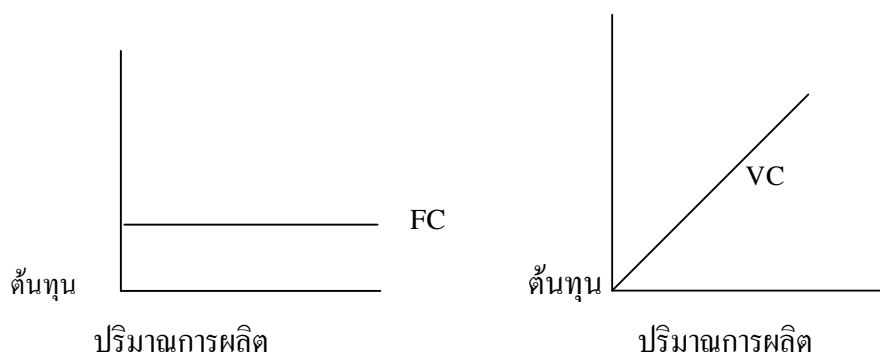
### 2.7.1.2 ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน

#### ก. ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost, FC)

คือ ต้นทุนส่วนที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณงาน ปริมาณงานที่ทำหรือผลิตอาจจะอยู่ในรูปใดรูปหนึ่ง เช่น จำนวนชั่วโมงแรงงานจำนวนหน่วยผลิต น้ำหนักของผลิตภัณฑ์จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ แม้ปริมาณงานจะน้อยหรือมาก ต้นทุนส่วนนี้จะเท่ากัน จึงเรียกว่า ต้นทุนคงที่ ได้แก่ ดอกเบี้ยจ่าย ค่าเสื่อมราคา (โรงงาน อาคารเครื่องจักร) เงินเดือนของฝ่ายบริการและฝ่ายวิจัย แสดงดังภาพประกอบที่ 2.10

#### ข. ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost, VC)

คือ ต้นทุนส่วนที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณงานผลิต ถ้าผลิตมากก็จ่ายมาก ผลิตน้อยก็จ่ายน้อย เช่น ค่าจ้างแรงงาน ค่าวัตถุดิบ ค่าพลังงาน แสดงดังภาพประกอบที่ 2.14



**ภาพประกอบที่ 2.14** ความสัมพันธ์ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันกับปริมาณการผลิต  
ที่มา : นवलศรี เอิบกมล (2546)

## 2.7.2 การกะประมาณต้นทุน

การประมวลข้อมูลมักจะอาศัยข้อมูลในอดีตเพื่อหาต้นทุนในอนาคต มีวิธีหาอยู่ 3 ทางดังนี้

### ก. วิธีการทางวิศวกรรมศาสตร์

เป็นวิธีการหาความแปรผันโดยตรงของต้นทุน จากข้อมูลต้นทุนในอดีต จากข้อกำหนดและนโยบายของฝ่ายบริการหรือจากการศึกษาของวิศวกรรมอุตสาหกรรม วิธีนี้เหมาะสำหรับต้นทุนบางประเภทที่คิดด้วยวิธีอื่นไม่ได้ เช่น ต้นทุนแปรผันเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงวิธีการผลิตจากเครื่องจักรใหม่ที่ไม่มีต้นทุนจากอดีตมาสนับสนุน เป็นต้น

### ข. วิธีการกำหนดจุดสูงสุดจุดต่ำ

วิธีนี้อาศัยข้อมูลของต้นทุนจากบัญชีต้นทุน โดยใช้ค่าของต้นทุนที่ปริมาณการผลิตสูงสุดและปริมาณการผลิตต่ำสำหรับช่วงการผลิตใดๆ มาเขียนเป็นเส้นกราฟในลักษณะสมการเชิงเส้น

### ค. วิธีทางสถิติ

การนำเอาวิธีการกำหนดจุดสูงสุดจุดต่ำซึ่งใช้จุด 2 จุดมาทำเป็นสมการเส้นตรง มีโอกาสเกิดความผิดพลาดสูงเพราะมีข้อมูลน้อยเกินไป จึงได้มีการเอาวิธีการทางสถิติที่เรียกว่า Least Square Method เพื่อหาทิศทางที่เป็นไปได้ทั้งเส้นตรงและเส้นโค้ง จากชุดข้อมูลที่มีหลายๆ ชุด โดยการวิเคราะห์จะเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร คือ ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม (นवलศรี, 2546)

### 2.7.3 การวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์การผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการผลิตไบโอดีเซล เช่น ต้นทุนการผลิต หรือ จุดคุ้มทุน แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการผลิตไบโอดีเซล

	Nelson <i>et al.</i> , (1994)	Noordam and Withers (1996)	Bender (1999)
Plant capacity	100,000 tonner/year	7,800 tonne/year	10,560 tonne/year
Process type	Alkaline – catalyzed continuous process	Alkaline – catalyzed batch process	Alkaline – catalyzed continuous process
Raw material	Beef tallow	Canola seed oil	Animal fat
Total capital cost	\$ 12 million	Not reported	\$3.12 million
Total manufacturing cost	\$ 34 million	\$5.95 million	Not reported
Biodiesel Break even price	\$ 340 million	\$763/tonne	\$420/tonne
Glycerine credit	\$ 6 million (\$600/tonne)	\$0.9million (\$1,450/tonneglycerine)	\$1.2 million for technical grade glycerine (\$1,470/tonne) ; \$0.72 million for crude glycerine (\$660/tonne)

ที่มา : Zhang *et al.*, (2003)

Zhang *et al.*, (2003) อ้างจาก Nelson และคณะ (1994) พิจารณาการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไบโอดีเซลจาก Beef tallow ทำปฏิกิริยา transesterification กับเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง กำลังการผลิตประมาณ 100,000 ตัน/ปี พบว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อต้นทุนไบโอดีเซล คือ ราคาวัตถุดิบ กำลังการผลิต และราคากลิเซอรินซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้

Zhang *et al.*, (2003) อ้างจาก Noordam and Withers (1996) พิจารณาการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไบโอดีเซลจาก Canola seed กำลังการผลิตประมาณ

7,800 ตัน/ปี พบว่า ต้นทุนของวัตถุดิบ (ราคา Canola seed และราคา Canola meal) และราคาผลพลอยได้ (กลีเซอริน) ที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อจุดคุ้มทุนไบโอดีเซล โดยเฉลี่ยราคา canola seed ที่เพิ่มขึ้น \$0.01/kg ทำให้มีผลต่อต้นทุนไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น \$ 0.03/kg แต่เมื่อราคากลีเซอรินเพิ่มขึ้น \$0.11/kg ทำให้ต้นทุนไบโอดีเซลลดลงประมาณ \$0.01/kg

## 2.8 กรดไขมัน (Fatty acid)

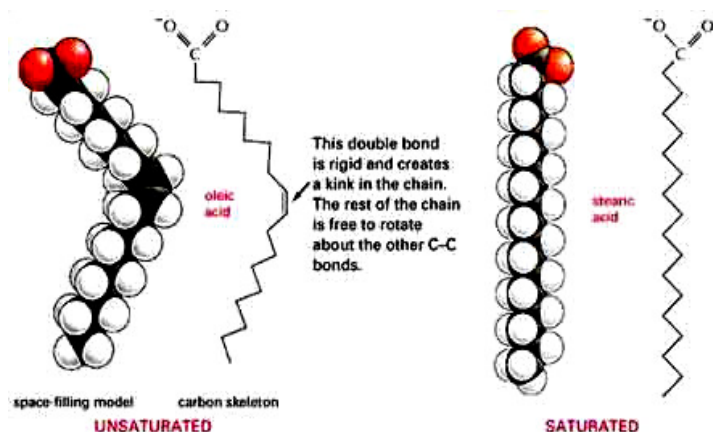
กรดไขมันเป็นสารอินทรีย์ที่ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอน 4–24 อะตอม ปลายข้างหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิลปลายอีกข้างเป็นโซ่ของนอนโพลาไรไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอนทำให้กรดไขมันไม่ละลายน้ำ ในธรรมชาติกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ และเป็นโซ่ยาวอิ่มตัว (ไม่มีพันธะคู่) หรือไม่อิ่มตัว (มีพันธะคู่) หรือมีพันธะสาม (triple bond) 1 คู่ หรือมากกว่า กรดไขมันแต่ละชนิดมีความยาวของโซ่ จำนวนและพันธะไม่อิ่มตัวแตกต่างกัน กรดไขมันที่พบในเซลล์พืชหรือสัตว์จะไม่พบในรูปอิสระ แต่จะอยู่ร่วมกับลิพิดด้วยพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งถูกสลายได้โดยใช้เอนไซม์หรือสารเคมี

กรดไขมันที่พบในพืชและสัตว์ชั้นสูงจะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ อยู่ระหว่าง 14–22 อะตอม โดยเฉพาะ  $C_{16}$  และ  $C_{18}$  และถ้าหากมีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ ก็จะเป็นแบบคอนจูเกต ( $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$ ) โดยมีคอนฟิเจอร์ชันแบบซิส กรดไขมันที่มีสายโซ่ยาวๆ ( $C_{16}-C_{18}$ ) ละลายน้ำไม่ได้ แต่ถ้าในรูปเกลือสามารถสร้างไมเซลล์ในน้ำได้ และไมเซลล์สามารถคงรูปอยู่ได้ด้วยอันตรกิริยาแบบไฮโดรโฟบิก (อาภัสตรา, 2537)

กรดไขมันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) หมู่แอลคิลจะมีแต่พันธะเดี่ยว เช่น กรดไมริสติก, กรดปาล์มิติก, กรดสเตียริก
2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) หมู่แอลคิลจะมีแต่พันธะคู่อยู่ด้วย เช่น กรดปาล์มิโตเลอิก, กรดโอเลอิก, กรดลิโนเลอิก, กรดลิโนเลนิก ดังภาพประกอบที่ 2.15





ภาพประกอบที่ 2.15 แสดงความแตกต่างของโครงสร้างระหว่างกรดไขมันอิ่มตัวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว

ที่มา : <http://www.thamapring.com>

### 2.8.1 การใช้ประโยชน์จากกรดไขมัน

กรดไขมันใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับการผลิตพेटตีแอลกอฮอล์ พेटตีเอสเทอร์ และสารประกอบพेटตีในโตรเจน ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบโดยตรงหรือนำไปดัดแปลงหมู่โครงสร้างเพื่อผลิตสารสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มากมาย ประเทศในกลุ่มอาเซียนสามารถผลิต basic oleochemical ได้ถึงร้อยละ 35 ของโลก โดยวัตถุดิบหลักจะผลิตจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว วิธีการที่ง่ายที่สุดในการผลิตกรดไขมันคือ การใช้อุณหภูมิและความดันสูงในการแยกไขมันและน้ำมัน (fat splitting) สารผสมของกรดไขมันสามารถแยกให้บริสุทธิ์โดยการกลั่น กรดไขมันที่แยกได้สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ยาง เทียนไข และเครื่องสำอางได้โดยตรง (Hui, 1996)

ในอุตสาหกรรมการผลิตยาง กรดไขมันจะถูกเติมลงในระหว่างขั้นตอนการผลิตเพื่อทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความนุ่ม สารหล่อลื่น และทำหน้าที่ช่วยลดระยะเวลาในการให้ความร้อน โดยความยาวของสายกรดไขมันไม่มีผลต่อการทำหน้าที่ดังกล่าว แต่กรดไขมันที่มีความอิ่มตัวสูงอาจมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตได้ การผลิตเทียนไขได้มีการนำกรดไขมันจากน้ำมันปาล์มมาใช้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในด้านความเหนียว ทำให้ง่ายต่อการดึงออกจากแก้ว ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของกรดไขมันที่ใช้คือ  $C_{16}$  ต่อ  $C_{18}$  ในอัตราส่วน 7 : 2 ดังนั้นจึงมีการนำน้ำมันปาล์มสเตียรีนมาใช้เนื่องจากมีปริมาณกรดปาล์มิติกสูง นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดไขมันในอุตสาหกรรม

การผลิตเครื่องสำอาง ชนิดของกรดไขมันที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ กรดไมริสติก กรดปาล์มิติก และกรดสเตียริก วัตถุประสงค์ของการนำมาใช้เพื่อช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นเพิ่มความเนียนนุ่ม และทำหน้าที่เป็นคอนดิชันเนอร์ (Hui, 1996)

นอกจากนี้มีการนำกรดไขมันที่ได้จากมะพร้าวมาใช้ในอุตสาหกรรมสบู่และน้ำยาซักฟอกมากยิ่งขึ้น กรดริซิโนเลอิกที่พบในน้ำมันละหุ่งเป็นกรดไขมันที่ใช้ในอุตสาหกรรมสีย้อมและจารบีมานานแล้ว (ปวีณา, 2547) และยังมีพืชอีกหลายชนิดที่ยังให้กรดไขมันและน้ำมันที่ให้กรดไขมันและน้ำมันที่มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 บทบาทของกรดไขมันของพืชในอุตสาหกรรม

Industry	Fatty Acid	Plant
Food	palmitic acid	palm ( <i>Elaeis guineensis</i> )
	stearic acid	cocoa ( <i>Theobroma cocoa</i> )
	oleic acid	olive ( <i>Olea europaea</i> L.)
		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> )
Functionfood	$\gamma$ – linoleic acid	evening primrose ( <i>Oenothera biennis</i> )
		Brorage ( <i>Borago officinalis</i> L.)
Cosmetic	stearic acid	cocoa ( <i>Theobroma cocoa</i> )
Fuel oil, Detergent, Soap	octanoic acid	<i>Cuphea hookerina</i>
	capric acid	<i>Cuphea paucipetala</i>
		California bay ( <i>Umbellularia californica</i> )
	Lauric acid and myristic acid	nutmeg ( <i>Myristica fragans</i> ) และ coconut ( <i>Cocos nucifera</i> )
Plastic, Nylon, linoleum	petroselinic acid	<i>Coriandrum sativum</i> L.
		Carrot ( <i>Duacus carota</i> L.)
	Calendic acid	<i>Calendula officinalis</i>
Color, Varnish, linoleum	linolenic acid	sunflower ( <i>Helianthus annuus</i> ) Corn ( <i>Zea may</i> )
		$\alpha$ - linilenic acid
	Epoxy resin	vernolic acid
Engine oil, Nylon	calendic acid	<i>Calendula officinalis</i>
Color, Lubricant	ricinoleic acid	castor ( <i>Ricinus communis</i> )
Enamel, Varinsh	$\alpha$ - eleostarcic acid	tung ( <i>Aleurites fordii</i> )
Color, Ink, Enamel	$\alpha$ - licanic acid	octicica ( <i>Ligcania rigida</i> )

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

## 2.7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คูัจันท์ (2549) ศึกษาหากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จาก ไขมันสัตว์ในบ่อน้ำทิ้งจากโรงงานหีบสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งองค์ประกอบของไขมันสัตว์ในระบบ บำบัดน้ำเสียประกอบด้วย กรดไขมันร้อยละ 73.82 ไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 5.03 ไดกลีเซอไรด์ ร้อยละ 3.39 และสารที่ไม่รู้ชนิด (unknown) ร้อยละ 17.76 การขจัดสิ่งปนเปื้อนทำโดยการกลั่น ภายใต้อุณหภูมิ 300 – 350 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองอ่อน คล้ายกับ PFAD (Palm Fatty Acid Distillation) และมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่ ประกอบด้วย กรดไมริสติก (C14:0) ร้อยละ 2.70 กรดปาล์มมิติก (C16:0) ร้อยละ 62.36 กรด ปาล์มมิโตเลอิก(C16:1) ร้อยละ 0.85 กรดสเตียริก(C18:0) ร้อยละ 4.12 กรดโอเลอิก (C18:1) ร้อยละ 23.39 กรด ลีโนเลอิก (C18:2) ร้อยละ 1.25 และสารที่ไม่รู้ชนิดร้อยละ 5.33 ในการผลิตเมทิล เอสเทอร์โดยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) และ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือ สัดส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้น ต่อเมทานอลเป็น 1:8 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก ร้อยละ 1 v/w% ที่อุณหภูมิ 70 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานปาล์มที่การกลั่น แยกสารปนเปื้อนออกแบบต่อเนื่อง ใช้ชุดการสาธิตการผลิตเมทิลเอสเทอร์ขนาดถึงปฏิกรณ์ 3 ลิตร ดำเนินการผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบทช์ เมื่อใช้ค่า retention time เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ ไบโอดีเซลมีค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ในช่วง 94.34 และมี ร้อยละกรดไขมัน, ไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์ตกค้างอยู่ 3.22, 1.6, และ 0.84 ตามลำดับ

ญาใจ (2548) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัด น้ำมันปาล์มในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันโดยเอนไซม์ไลเปสทางการค้า 5 ชนิด ได้แก่ ไลเปส AY (*Candida rugosa*) ไลเปส FAP-15 (*Rhizopus oryzae*) ไลเปส OF (*Candida rugosa*) ไลเปส AK (*Pseudomonas fluorescens*) และไลเปส PS (*Pseudomonas sp.*) พบว่าเอนไซม์ไลเปส PS มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้เอนไซม์ไลเปส PS ตรึงรูป 60 ยูนิต ทำปฏิกิริยา โดยใช้สับเตรทที่มีส่วนประกอบของไขมันจากบ่อน้ำเสียและเมทานอล ในอัตราส่วน 1:1 (โมล/โมล) ปริมาณ 2.5 กรัม บ่มบนเครื่องเขย่า 300 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ได้ร้อยละ 87.36

ทรงธรรม (2551) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันที่ได้จากกระบวนการทำให้เป็นกลางของน้ำมันปาล์มดิบ โดยศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของกระบวนการผลิต ซึ่งนำไขมันมาผ่านกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ กระบวนการสaponification โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยาและทำปฏิกิริยาต่อโดยใช้กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ไขมันกับเมทานอลในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1 : 1.5 ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้อุณหภูมิ 80 -85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่ความดัน 1 – 2 บาร์ วิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค TLC ได้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์เท่ากับ 98.86% โดยมีเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 94.41% นอกจากนี้ยังสามารถควมแน่น เมทานอลที่เหลือจากปฏิกิริยากลับคืนมาใช้ใหม่คิดเป็น 91.22% และได้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทานอลเท่ากับ 97.49% สำหรับการศึกษาด้านการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ โดยใช้โปรแกรม excel ฟังก์ชันในการพิจารณา IRR พบว่า ค่า IRR ของโครงการตลอดเวลา 10 ปี มีค่าเท่ากับ 31% และพบว่าค่า NPV มีค่าเท่ากับ 2,141,734 บาท ซึ่งมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจึงเห็นว่าโครงการจัดสร้างโรงงานผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันมีความคุ้มค่ากับการลงทุน

ปิยะวรรณ (2548) ศึกษาการผลิตกรดไขมันจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายโซดาไฟ โดยศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนระหว่างโซดาไฟต่อน้ำมันปาล์มดิบ และอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ พบว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสน้ำมันปาล์มดิบสามารถเปลี่ยนเป็นกรดไขมันได้อย่างสมบูรณ์ที่อัตราส่วนโซดาไฟต่อน้ำมันดิบไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 ภายในเวลา 120 นาที ซึ่งในเวลาที่เกิดปฏิกิริยานั้นสามารถลดลงเป็น 60 นาทีโดยการเพิ่มอัตราส่วนโซดาไฟต่อน้ำมันดิบไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และที่อัตราส่วนโซดาไฟต่อน้ำมันปาล์มดิบไม่น้อยกว่า ร้อยละ 80 การเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้สำหรับการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการลดลงของอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการเกิดปฏิกิริยาภายใต้สภาวะการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์ของน้ำมันปาล์มดิบ ปริมาณกรดไขมันที่ผลิตได้เป็น 3 เท่าของปริมาณกลีเซอรอลเสมอ

Anozie และ Dzoho (2006) ได้ทำการทดลองโดยการนำน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดปาล์มมาทำปฏิกิริยา hydrolysis เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ, ความดัน, ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีผลต่อตัวอย่างสารทดลอง โดยใช้ชุดการทดลองแบบรีฟลักซ์ที่มีการให้ความร้อนและการกวนตลอดเวลา โดยในขั้นแรกนำน้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารปนเปื้อนมาชั่งน้ำหนักใส่ในขวดก้นแบนขนาด 500 cm<sup>3</sup> โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารผสมระหว่าง Alkyl Benzene และ Sulfuric Acids ในการ hydrolysis ใช้อัตราส่วนน้ำต่อไขมัน 25%, 50%, และ 75% (w/w) สำหรับอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไขมันของน้ำมันเมล็ดปาล์ม เท่ากับ 0.125%, 0.25% และ 0.5% โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 80, 90, 95

และ 100 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อน้ำมัน 25% (w/w) กับความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.018 gmol/L เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการ hydrolysis น้ำมัน และอัตราส่วนน้ำต่อน้ำมัน 50% ความเข้มข้นเริ่มต้นตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.015 gmol/L เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการ hydrolysis น้ำมันเมล็ดปาล์ม นอกจากนี้พบว่าอัตราตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมัน 50% (w/w) เหมาะสมที่สุดสำหรับการ hydrolysis น้ำมันทั้งสอง ในส่วนของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80 เซลเซียสปฏิกิริยาจะเกิดช้ามากแต่จะเกิดได้เร็วที่อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส

Minami และ Saka (2006) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยา hydrolysis ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันไปเป็นกรดไขมัน โดยใช้อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียสและความดันเท่ากับ 20 MPa จะให้ปริมาณของกรดไขมันเท่ากับ 90 wt% สำหรับการ hydrolysis น้ำมันเมล็ดเร้ว 10 wt% ของกรดไขมันและ 0 wt% ของกรดไขมัน ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส ความดัน 10 MPa พบว่าปฏิกิริยา hydrolysis กรดไขมันเมล็ดเร้ว 10 wt% จะเข้าสู่สมดุลโดยใช้เวลา 40 นาที และ 0 wt% ของกรดไขมันใช้เวลา 60 นาที จึงจะเข้าสู่สมดุล

Canakci และ Gerpen (2001) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระสูงระดับ Pilot Plant ด้วยวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง yellow grease และ brown grease ผ่านกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรก : Pretreatment unit จะทำหน้าที่ลดระดับกรดไขมันอิสระให้ต่ำกว่า 1% และส่วนที่สอง : Main reaction unit จะเกิดปฏิกิริยา transesterification เป็นไบโอดีเซล พบว่า การเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1% สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 ส่วน Yellow grease (กรดไขมันอิสระ 9%) และ brown grease (กรดไขมันอิสระ 40%) ทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดกร่อนเพื่อลดค่ากรดไขมันอิสระใช้กรดทำปฏิกิริยา 2 step ในส่วนแรก และส่วนที่สองใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.21% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง yellow grease และ brown grease ต่อ 1 กิโลกรัม มีค่าเป็น 1.584, 1.200 และ 0.911 ดอลลาร์ ตามลำดับ

Zhang และคณะ (2003) วิเคราะห์ความว่องไวและประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์จากการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันที่ใช้ทอดแล้ว (waste cooking oil) ผ่านกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องต่างๆ กัน 4 กระบวนการ พบว่า กระบวนการที่ 1 ผลิตไบโอดีเซลจาก virgin vegetable oil ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง ต้นทุนต่ำสุด เนื่องจากกำลังผลิตไม่มากนัก แลอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการทำด้วย carbon steel ทั้งหมด กระบวนการผลิตที่ 2 ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้ทอดแล้ว ซึ่งต้องผ่านกระบวนการลดกรดไขมันอิสระลงก่อนจึงจะ

นำไปทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่างทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น และกระบวนการที่ 3 และ 4 ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดโดยตรงไม่ต้องผ่านกระบวนการลดไขมันอิสระ ทำให้ต้นทุนการผลิตทั้งสองกระบวนการผลิตด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง เมื่อวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลต่างๆ ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) ประกอบด้วย กำลังการผลิต (Plant capacity) ราคาน้ำมันที่ใช้ทอดแล้ว และราคาไบโอดีเซล

## บทที่ 3

### วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1. วัสดุ

3.1.1 วัสดุดิบ : น้ำมันจากบ่อน้ำเสียของโรงงานนำหงส์ จังหวัดกระบี่

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH Commercail Grade

3.1.2.2 ไฮโดรคลอริกเข้มข้น 36.5-38 % HCl Commercail Grade

3.1.2.3 เอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95 Commercail Grade

3.1.2.4 เฮกเซน Commercail Grade

3.1.2.5 กรดซัลฟิวริก  $H_2SO_4$  Commercail Grade

3.1.2.6 ฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 1 (ละลายในแอลกอฮอล์)

3.1.2.7 โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) Commercail Grade

#### 3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เครื่อง Thin Layer Chromatography/Flame Ionization Deteceion (TLC/FID)

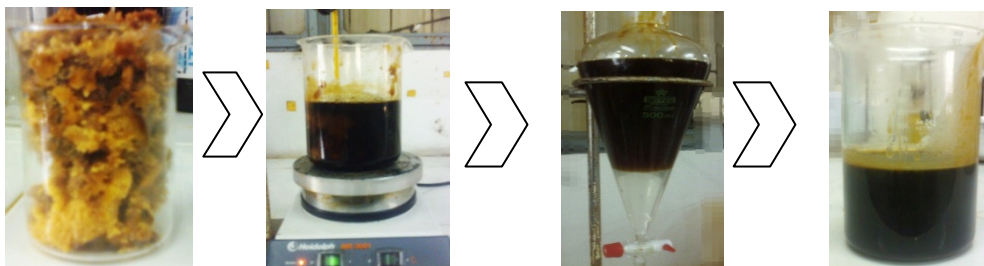
3.2.2 เครื่อง Gas Chromatograph/Mass Spectrometer (GC/MS)

#### 3.3. วิธีการศึกษา

##### 3.3.1. ศึกษาการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย

การทดลองดำเนินการโดยขั้นแรกนำน้ำมันที่ได้จากบ่อน้ำทิ้งของโรงงานนำหงส์ จังหวัดกระบี่ มาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นกรองเอาสิ่งสกปรกออก ล้างด้วยน้ำอุ่น อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำมันจากบ่อน้ำเสียต่อน้ำอุ่น ในอัตราส่วน 4 : 1 โดยปริมาตร เดิมในกรวยแยกแล้วเขย่า รอให้น้ำแยกชั้นจากน้ำมันเป็นเวลาพอสมควรประมาณ 5 – 10 นาที จากนั้นถ่ายน้ำออกทางด้านล่างของกรวยแยก เดิมน้ำอุ่นใหม่ ทำการล้างทั้งหมด 3 ครั้ง เก็บตัวอย่างโดยเทออกทางด้านบนของกรวยแยก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.1 จากนั้นนำน้ำมันเสียที่ผ่านกระบวนการเบื้องต้นที่กล่าวมาแล้วไปวิเคราะห์ห่อังค์ประกอบทางเคมี





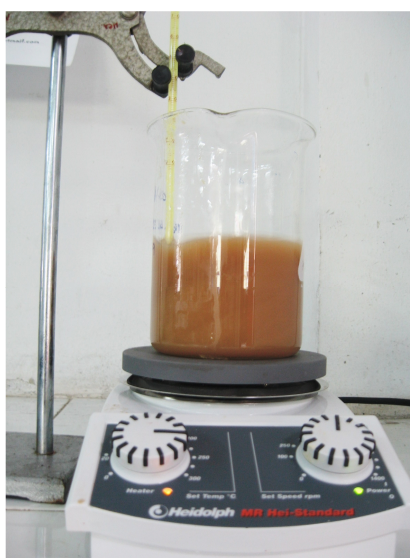
น้ำมันจากบ่อน้ำเสีย      อุ่นที่อุณหภูมิ 50 °C      ล้างด้วยน้ำอุ่น 60 °C      น้ำมันเสียที่ผ่านการเตรียม

ภาพประกอบที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียก่อนนำไปทำการทดลอง

### 3.3.2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่

3.3.2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกรดไขมันอิสระ(FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ(FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 โดยใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 7, 5, 3, 1 เท่าโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นแยกตัวอย่างที่ได้หลังทำปฏิกิริยา ชั่งน้ำหนักบันทึกผล ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.2



ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงการทดลองศึกษาอัตราที่เหมาะสมของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 3.1 การเตรียมสัดส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) ต่อโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

การทดลองที่	สัดส่วนเชิงโมล FFA : KOH	น้ำใช้ทำปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักของ FFA)	เวลาทำปฏิกิริยา (นาที)	อุณหภูมิทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)
1	1 : 1	1	60	90
2	1 : 2	1	60	90
3	1 : 3	1	60	90
4	1 : 4	1	60	90
5	1 : 5	1	60	90
6	1 : 1	3	60	90
7	1 : 2	3	60	90
8	1 : 3	3	60	90
9	1 : 4	3	60	90
10	1 : 5	3	60	90
11	1 : 1	5	60	90
12	1 : 2	5	60	90
13	1 : 3	5	60	90
14	1 : 4	5	60	90
15	1 : 5	5	60	90
16	1 : 1	7	60	90
17	1 : 2	7	60	90
18	1 : 3	7	60	90
19	1 : 4	7	60	90
20	1 : 5	7	60	90

3.3.2.2. ศึกษาเปอร์เซ็นต์และปริมาณสารละลายเกลือที่เหมาะสมในการ salting out เพื่อเพิ่มการแยกชั้นของสบู่ในสารละลาย

สำหรับการ Salting Out เป็นวิธีการเพิ่มการแยกชั้นของสบู่ในสารละลาย โดยใช้การเติมสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูง ๆ จนถึงสารละลายเกลืออิ่มตัว ซึ่งในการทดลองนี้ใช้สารละลายเกลือเข้มข้นเท่ากับ 15%, 20% และ 25% โดยน้ำหนัก ในปริมาณ 1 และ 2 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่ โดยเติมสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ หลังการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

ตารางที่ 3.2 การเตรียมเปอร์เซ็นต์และปริมาณสารละลายเกลือที่เหมาะสมในการ salting out เพื่อเพิ่มการแยกชั้นของสบู่ในสารละลาย

การทดลอง ที่	สัดส่วนเชิงโมล FFA : KOH % NaCl (%wt)	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
		ปริมาณ % NaCl (โดยน้ำหนักของสบู่)				
1	15%wt	1	1	1	1	1
2	15%wt	2	2	2	2	2
3	20%wt	1	1	1	1	1
4	20%wt	2	2	2	2	2
5	25%wt	1	1	1	1	1
6	25%wt	2	2	2	2	2

หลังจากนั้นแยกชั้นสบู่ที่ได้มาสกัดสารที่ไม่เกิดสบู่โดยใช้เฮกเซน (Hexane) หลังการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ โดยใช้สบู่ : เฮกเซนในอัตราส่วน 1 : 3 โดยน้ำหนัก ในกรวยแยก รอจนแยกชั้น ดังภาพประกอบที่ 3.3



ภาพประกอบที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการสกัดสารที่ไม่เกิดสบู่โดยใช้เฮกเซน (Hexane)

### 3.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

วัตถุประสงค์ย่อยของกิจกรรมคือ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้น้ำมันจากบ่อน้ำเสียที่ผ่านการแยกสารไม่ทราบองค์ประกอบด้วยปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน โดยทำการศึกษาในชุดการทดลองแบบรีฟลักซ์ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ ดังภาพประกอบที่ 3.4



ภาพประกอบที่ 3.4 แสดงชุดการทดลองแบบรีฟลักซ์ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์

### 3.3.3.1 ศึกษาปริมาณกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

เตรียมเมทานอลในอัตราส่วนเชิงโมสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1:14 จากนั้นเตรียมกรดซัลฟิวริกเกินพอ 15%, 20%, 25%, 30% และ 35% โดยน้ำหนักสบู่ ตามลำดับ นำไปทำปฏิกิริยาในชุดอุปกรณ์ที่มีรีฟลักซ์ใน oil bath ซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดเวลาในการทำปฏิกิริยา นำชั้นเมทิลเอสเทอร์ไปล้างด้วยน้ำกลั่นที่ร้อนจนกระทั่งน้ำล้างใส (pH = 7) นำตัวอย่างไปให้ความร้อนเพื่อไล่น้ำออกที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

### 3.3.3.2. ศึกษาผลของอัตราส่วนเชิงโมระหว่างสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันต่อเมทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เตรียมสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันเพื่อแยกสารที่ปนเปื้อนออก และเตรียมเมทานอล โดยใช้สบู่ต่อเมทานอลตามอัตราส่วนเชิงโมที่แสดงในตารางที่ 3.3 และเตรียมกรดซัลฟิวริก 25% โดยน้ำหนักของสบู่ นำไปทำปฏิกิริยาในชุดอุปกรณ์ที่มีรีฟลักซ์ใน oil bath ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดเวลาในการทำปฏิกิริยา นำชั้นเมทิลเอสเทอร์ไปล้างด้วยน้ำกลั่นที่ร้อนจนกระทั่งน้ำล้างใส (pH =7) นำตัวอย่างไปให้ความร้อนเพื่อไล่น้ำออกที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

ตารางที่ 3.3 การเตรียมสัดส่วนเชิงโมระหว่างสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันต่อเมทานอล

การทดลองที่	สัดส่วนเชิงโม Soap : MeOH	เวลาทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)
1	1 : 1	4	85
2	1 : 2	4	85
3	1 : 4	4	85
4	1 : 6	4	85
5	1 : 8	4	85
6	1 : 10	4	85
7	1 : 12	4	85
8	1 : 14	4	85
9	1 : 16	4	85

### 3.3.3.3 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลอง 3.3.3.2. โดยใช้ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมจากการทดลอง จากนั้นทดลองทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 ชั่วโมงตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 แสดงเวลาต่างๆ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

การทดลองที่	สัดส่วนเชิงโมล Soap : MeOH	เวลาทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)
1	1 : 12	2	85
2	1 : 12	4	85
3	1 : 12	6	85
4	1 : 12	8	85
5	1 : 12	10	85
6	1 : 12	12	85
7	1 : 12	14	85

### 3.3.3.4 ศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ตามมาตรฐาน

#### ASTM 6751-02

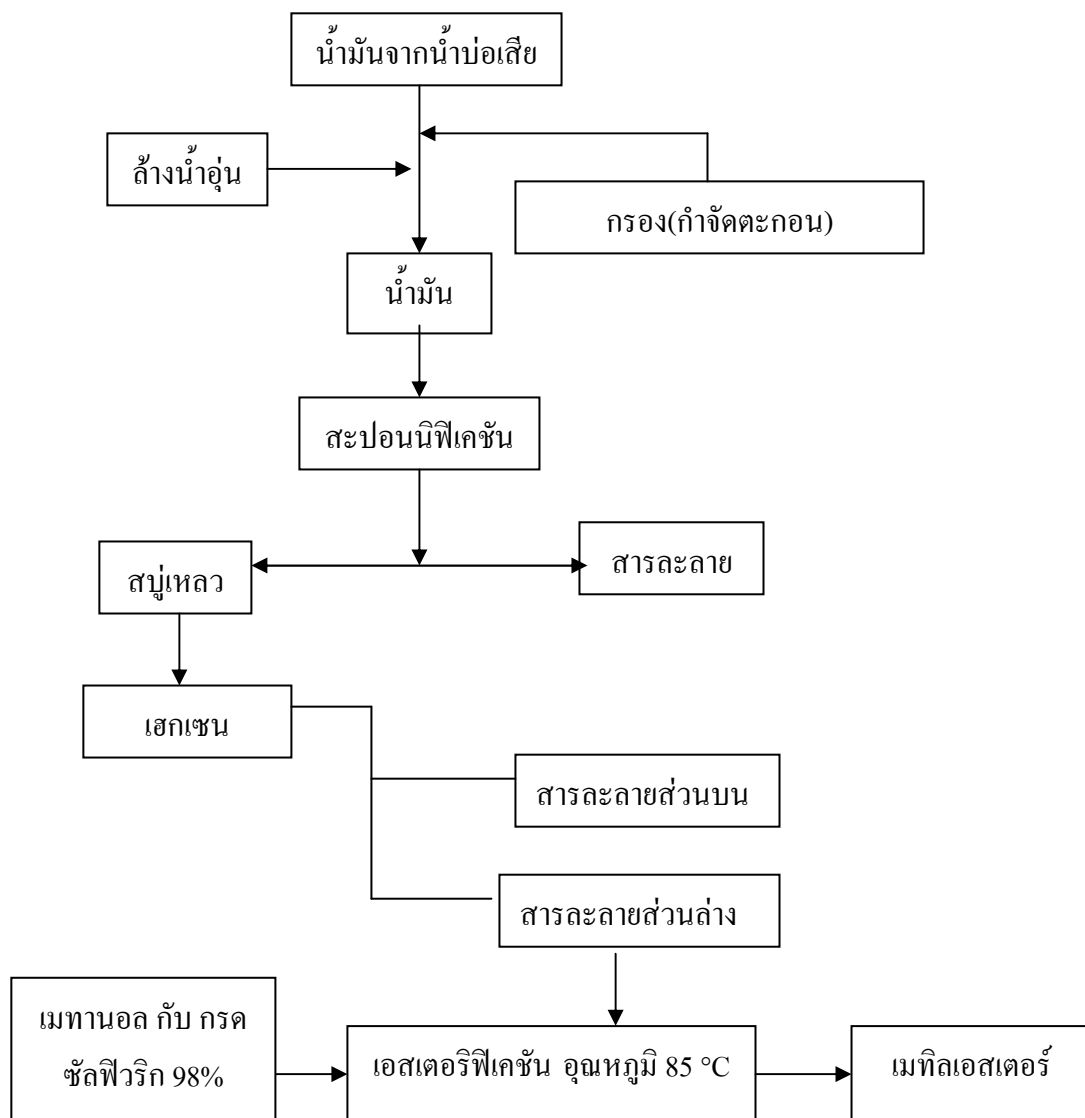
เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด มาวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์

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	ความหนาแน่น 15 °C	เครื่องวัดความหนาแน่น	ASTM D1298	-
6	อุณหภูมิการกลั่นเทียบเท่า ความดันบรรยากาศกลั่นได้ ร้อยละ 90	ชุดกลั่น ASTM D86	ASTM D86	°C
7	ปริมาณน้ำ	Karl Fischer Coulometer (รุ่น D1-39)	Typical Standard	%wt
8	เมทิลเอสเทอร์	เครื่องมือวิเคราะห์ GC	-	%wt

### 3.3.4 ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย

นำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย (3.1) การเปลี่ยนน้ำมันจากบ่อน้ำเสียเป็นสบู่ (3.2) และการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่ (3.3) มาคำนวณราคาต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย โดยพิจารณาเฉพาะต้นทุนผันแปร ซึ่งประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบ และค่าพลังงาน โดยเปรียบเทียบราคาต้นทุนในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสียจากราคาวัตถุดิบ (น้ำมันจากบ่อน้ำเสีย, โปแตสเซียม, เมทานอล, กรดซัลฟิวริก, น้ำ) และค่าพลังงาน



ภาพประกอบที่ 3.5 แสดงไคอะแกรมของกระบวนการทดลอง



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและบทวิจารณ์

#### 4.1 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสียโรงงาน ปาล์ม ซึ่งการดำเนินการขั้นแรกเป็นการเตรียมน้ำมันที่ได้จากบ่อน้ำเสียโดยการล้างด้วยน้ำอุ่น อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อแยกสารปนเปื้อนที่มากับน้ำมันน้ำเสีย จากนั้นนำน้ำมันที่ผ่านการ เตรียมมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน

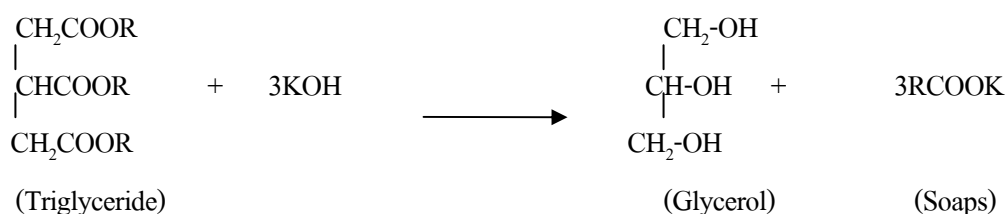
ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันจากบ่อน้ำเสียที่ใช้ทดลองดังที่ได้แสดงใน ภาพประกอบที่ 4.1 มีลักษณะเป็นของแข็ง สีน้ำตาลอมเหลืองที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นเหม็นไม่ละลาย น้ำ เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันเริ่มต้นของน้ำมันจากบ่อน้ำเสียด้วยวิธีการไตเตรทพบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิสระมีค่าสูงถึง 70.12% ส่วนที่เหลืออีก 29.88% เป็นสารไม่ ทราบองค์ประกอบ (รวมไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์)



ภาพประกอบที่ 4.1 แสดงลักษณะของน้ำมันจากบ่อน้ำเสียเริ่มต้น

## 4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่

วัตถุประสงค์ย่อยของการดำเนินการในขั้นตอนนี้เพื่อแยกสารที่ไม่ทราบองค์ประกอบในน้ำมันจากบ่อน้ำเสียโรงงานปาล์มก่อนที่จะนำมาผลิตเมทิลเอสเทอร์ เพื่อให้คุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ผ่านมาตรฐาน โดยนำน้ำมันจากบ่อน้ำเสียทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) คือการนำกลีเซอไรด์ (ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และ โมโนกลีเซอไรด์) มาทำปฏิกิริยากับ โปแตสเซียม (KOH) ก็จะได้สบู่กับกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.2



ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification)

ที่มา : ดัดแปลงจาก ทรงธรรม (2551)

### 4.2.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

จากการทดลองโดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 โดยใช้ น้ำในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 7, 5, 3, 1 เท่าโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

น้ำมันจากบ่อน้ำเสียหลังทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่อัตราส่วนเชิงโมลต่างๆ จะได้สบู่ที่มีลักษณะที่ไม่แยกชั้นและแยกชั้นได้ดีกับสารละลาย โดยสบู่ที่ได้จากการแยกชั้นได้ดีกับสารละลายจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลอมเหลืองดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.3



ภาพประกอบที่ 4.3 แสดงลักษณะการแยกชั้นของน้ำมันจากบ่อน้ำเสียที่ผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน

ในการทำปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันที่อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าน้ำมันจากบ่อน้ำเสียหลังทำปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จะได้สบู่ที่มีการแยกชั้นได้ดีกับสารละลาย คืออัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เท่ากับ 1:4 และ 1:5 โดยปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยาเท่ากับ 3 และ 5 เท่าของกรดไขมันอิสระ (FFA) ซึ่งลักษณะการแยกชั้นของสบู่ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการแยกชั้นของสบู่หลังทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ที่ 90 องศาเซลเซียสเป็น เวลา 60 นาที

อัตราส่วนเชิงโมล FFA:KOH	ปริมาณน้ำ (เท่าของ FFA)	ไม่แยกชั้น	แยกชั้นได้ดี
1:1	7	/	
1:2	7	/	
1:3	7	/	
1:4	7	/	
1:5	7	/	
1:1	5	/	
1:2	5	/	
1:3	5	/	
1:4	5		/
1:5	5		/
1:1	3	/	
1:2	3	/	
1:3	3	/	
1:4	3		/
1:5	3		/
1:1	1	/	
1:2	1	/	
1:3	1	/	
1:4	1	/	
1:5	1	/	

สำหรับลักษณะของสบู่ที่แยกชั้นได้ดีกับสารละลายดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.4 เป็นสบู่ที่ผ่านการแยกสารที่ไม่ทราบองค์ประกอบออกโดยสารไม่ทราบองค์ประกอบเหล่านั้นจะไปอยู่ในส่วนของสารละลาย ส่วนของสบู่ที่ได้จะนำไปเข้าสู่การสกัดแยกสารที่ไม่เกิดสบู่โดยการสกัดด้วยเฮกเซนในอัตราส่วนสบู่ต่อเฮกเซนเท่ากับ 1:3 โดยน้ำหนัก



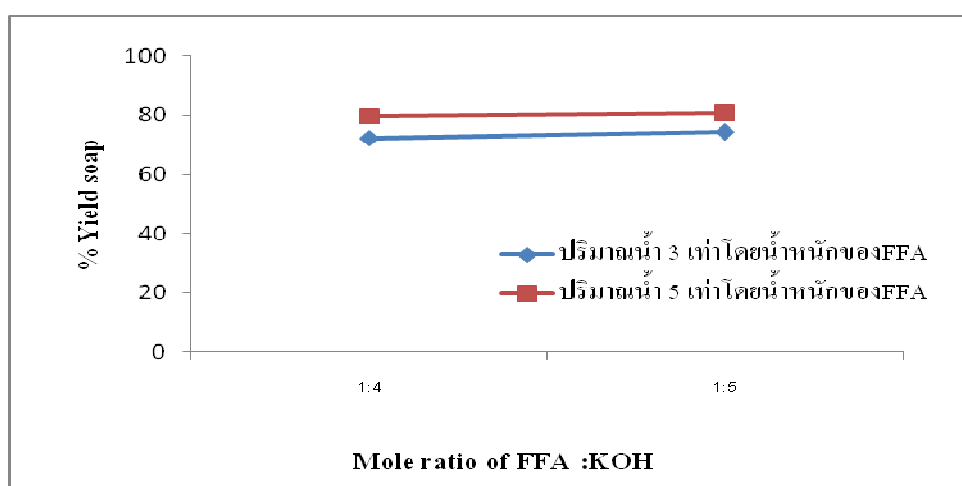
ภาพประกอบที่ 4.4 แสดงลักษณะของสบู่และสารละลายที่ผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันที่แยกชั้นได้ดี

จากผลการวิเคราะห์น้ำมันจากบ่อน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน พบว่ามีค่า Saponification Number เท่ากับ 255.31 และน้ำมันจากบ่อน้ำเสียที่ผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เท่ากับ 1 : 4 และ 1 : 5 โดยใช้ปริมาณน้ำในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 5 เท่าของกรดไขมัน ซึ่งมีค่า Saponification Number เท่ากับ 91.52 และ 81.39 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากค่าสะaponนิฟิเคชันที่ลดเมื่อเทียบกับตัวอย่างเริ่มต้น แสดงว่ากลีเซอไรด์ได้ลดลงจากค่าเริ่มต้น การเปลี่ยนกลีเซอไรด์ให้เป็นสบู่ก่อนเพื่อให้เวลาในการทำปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ได้ช้ากว่าการเปลี่ยนกรดไขมันเป็นเอสเทอร์มาก (ทรงธรรม, 2551)

ตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ค่าสะaponนิฟิเคชันสบู่ที่แยกชั้นได้ดีกับสารละลาย ที่ 90 องศาเซลเซียส 60 นาที

ตัวอย่าง		Saponification Number
สบู่จาก FFA : KOH (mol/mol)	ปริมาณน้ำ (เท่าของ FFA)	
1:4	5	91.52
1:5	5	81.39
1:4	3	184.90
1:5	3	108.49
waste oil		255.31

จากการทดลองศึกษาอัตราส่วนเชิงโมลที่เหมาะสมของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในการทำปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า สบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันในอัตราส่วนเชิงโมลกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เท่ากับ 1 : 4 และ 1 : 5 โดยใช้น้ำในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 5 เท่าโดยน้ำหนักของ FFA จะได้เปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์มากกว่าการใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 3 เท่าโดยน้ำหนักของ FFA ซึ่งจะให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ประมาณ 74.37 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.5



ภาพประกอบที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมัน (FFA) ต่อ โปแตสเซียม (KOH) กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน

#### 4.2.2. ศึกษาเปอร์เซ็นต์และปริมาณสารละลายเกลือที่เหมาะสมในการ Salting out เพื่อเพิ่มการแยกชั้นของสบู่ในสารละลาย

จากตารางที่ 4.1 พบว่า อัตราส่วนเชิง โมลของโปแตสเซียมที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันมีปริมาณที่มากเกินไป ดังนั้นเพื่อลดปริมาณการใช้โปแตสเซียมและเพื่อเพิ่มการแยกชั้นของสบู่จึงใช้วิธี Salting out โดยใช้สารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการแยกชั้นของสบู่ที่ผ่านการเพิ่มปริมาณสารละลายเกลือ (Salting out) ที่ปริมาณและระดับความเข้มข้นต่างๆ

% NaCl (%wt)	ปริมาณ %NaCl (เท่าโดยน้ำหนักของสบู่)	อัตราส่วนเชิง โมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียม (KOH)				
		1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
15%	1	×	×	×	/	/
15%	2	✗	✗	✗	/	/
20%	1	×	×	✗	/	/
20%	2	✗	✗	✗	/	/
25%	1	✗	/	/	/	/
25%	2	/	/	/	/	/

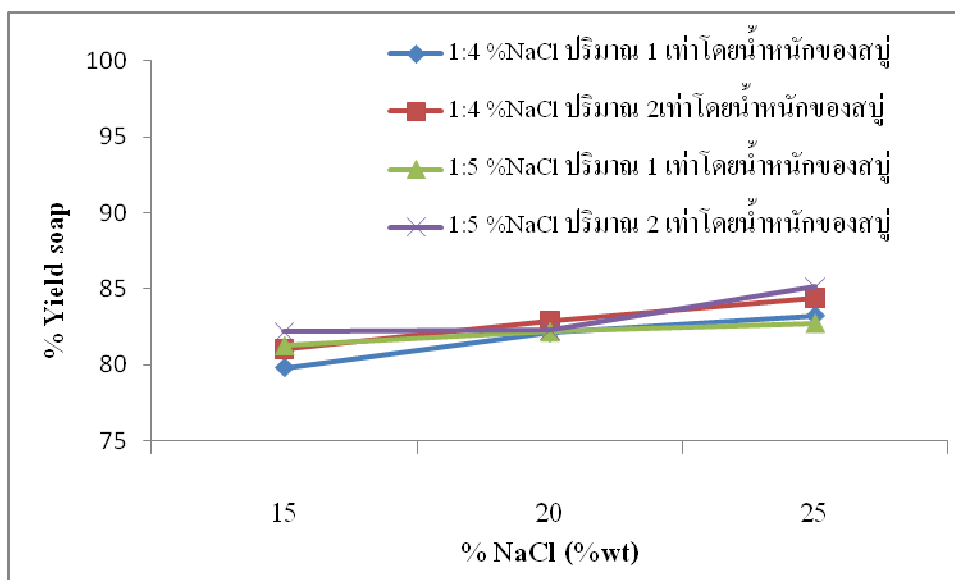
หมายเหตุ : × = ไม่แยกชั้น

✗ = แยกชั้นได้ไม่ดี

/ = แยกชั้นได้ดี

จากตารางที่ 4.3 พบว่า การใช้สารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ คือ 15%, 20% และ 25% สามารถแยกสบู่ที่อัตราส่วนเชิง โมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียม (KOH) เท่ากับ 1 : 4 และ 1 : 5 (mol/mol) ได้ดี และการใช้ความเข้มข้นของสารละลายเกลือเท่ากับ 25% โดยการใช้ในปริมาณ 2 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่ สามารถแยกสบู่ได้ดีที่อัตราส่วนเชิง โมลของ

กรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียม (KOH) เท่ากับ 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4 และ 1 : 5 ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.6



**ภาพประกอบที่ 4.6** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % NaCl (%wt) กับเปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

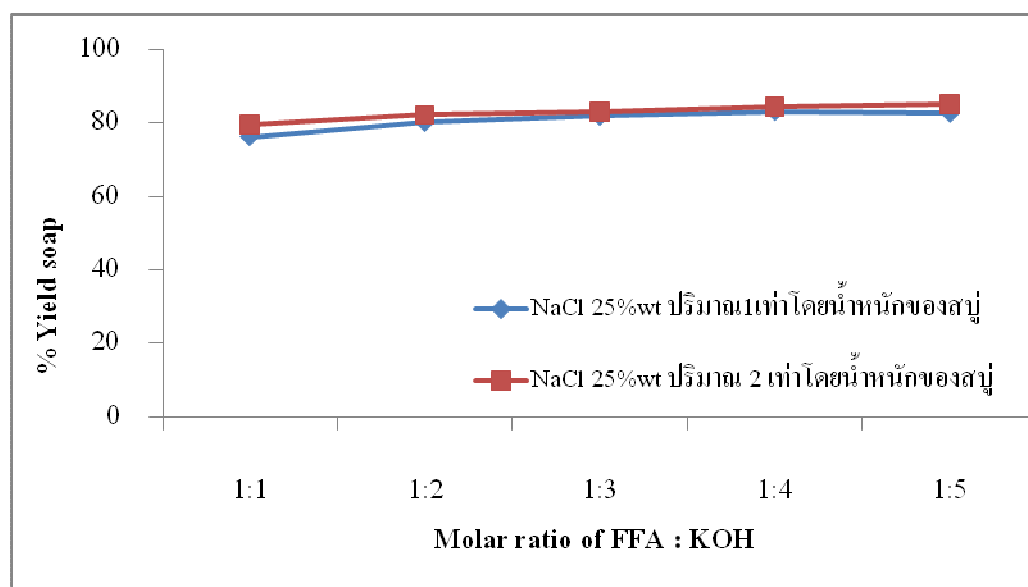
จากภาพประกอบที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กับเปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) ต่อโปแตสเซียม (KOH) เท่ากับ 1 : 4 และ 1 : 5 (mol/mol) ซึ่งแยกชั้นได้ดีกับสารละลาย จากกราฟพบว่า การใช้ความเข้มข้นของสารละลายเกลือเท่ากับ 25% (%wt) จะให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ประมาณ 83.72 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการใช้สารละลายเกลือในปริมาณ 1 หรือ 2 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่ จะให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ใกล้เคียงกันคือ ที่อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) ต่อโปแตสเซียม (KOH) เท่ากับ 1 : 4 การใช้ปริมาณสารละลายเกลือเท่า 1 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่ จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 83.23 และที่ใช้ปริมาณสารละลายเกลือเท่า 2 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่ จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 84.41 สำหรับที่อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) ต่อโปแตสเซียม (KOH) เท่ากับ 1 : 5 การใช้ปริมาณสารละลายเกลือเท่า 1 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่ จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 82.73



และที่การใช้ปริมาณสารละลายเกลือเท่ากับ 2 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่ จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 85.12

การใช้สารละลายเกลือเข้มข้นสูงจนเกือบอิ่มตัว (น้ำเกลือจะอิ่มตัวที่ 26.3%) หรือการ salting out เป็นการช่วยเพิ่มการแยกชั้นให้กับสบู่กับสารละลาย โดยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงไปนในสารละลายจะเพิ่มความแรงไอออน (ion strength) ของสารละลายให้สูงขึ้น จนกระทั่งไอออนของเกลือไปแย่งโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบโมเลกุลของสบู่ออกมาล้อมรอบโมเลกุลของเกลือ จึงเกิดการแยกชั้นของชั้นสารละลายและชั้นของสบู่ ([www. Isbu.ac.uk/water/hofmeist.](http://www.Isbu.ac.uk/water/hofmeist))

จากตารางที่ 4.3 พบว่า การใช้สารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้น 25% (%wt) สามารถแยกสบู่ได้ดีที่อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โพแทสเซียม (KOH) เท่ากับ 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4 และ 1 : 5 ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้สารละลายเกลือช่วยลดปริมาณโพแทสเซียม (KOH) ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาได้ จากเดิมที่ใช้อัตราส่วนเชิงโมลของโพแทสเซียมเท่ากับ 4 หรือ 5 (mol) สารละลายเกลือคลอไรด์ที่เติมเป็นการเพิ่มการแยกชั้นให้กับสบู่กับสารละลายโดยสารละลายเกลือจะเข้าไปจับกับโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบโมเลกุลของสบู่ ทำให้สบู่เกิดการแยกชั้นกับสารละลายได้ดีขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.7



ภาพประกอบที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) ต่อโพแทสเซียม (KOH) กับเปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

จากภาพประกอบที่ 4.7 พบว่า การใช้สารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้น 25% (%wt) ในปริมาณ 1 และ 2 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่ จะให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนเชิงของกรดไขมันอิสระต่อโปแตสเซียมเท่ากับ 1 : 2, 1 : 3 และ 1 : 4 จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ประมาณ 82 – 83 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดปริมาณโปแตสเซียม และลดต้นทุนในการผลิต สารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้น 25% (%wt) ปริมาณ 1 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่จึงเหมาะสมในการช่วยเพิ่มการแยกชั้นให้กับสบู่กับสารละลาย

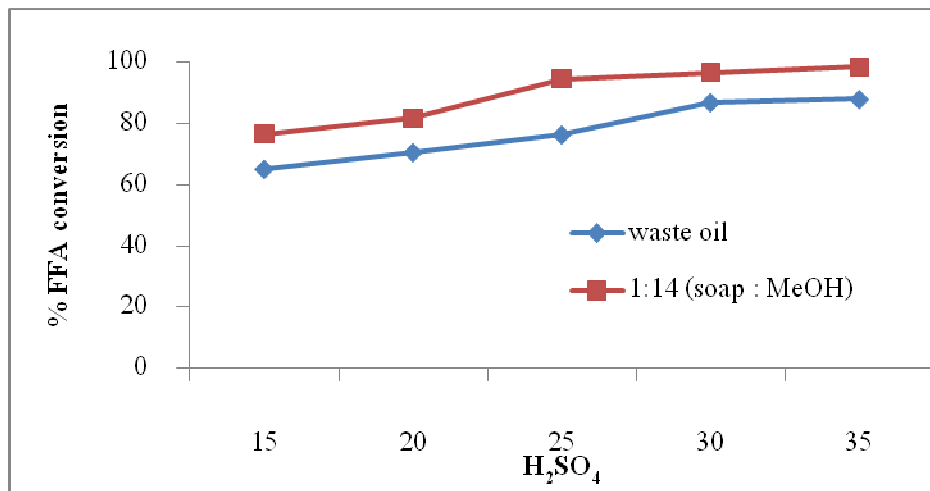
#### 4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

ทำการศึกษาผลของปริมาณกรดซัลฟิวริก อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอล และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

##### 4.3.1 ผลของปริมาณกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

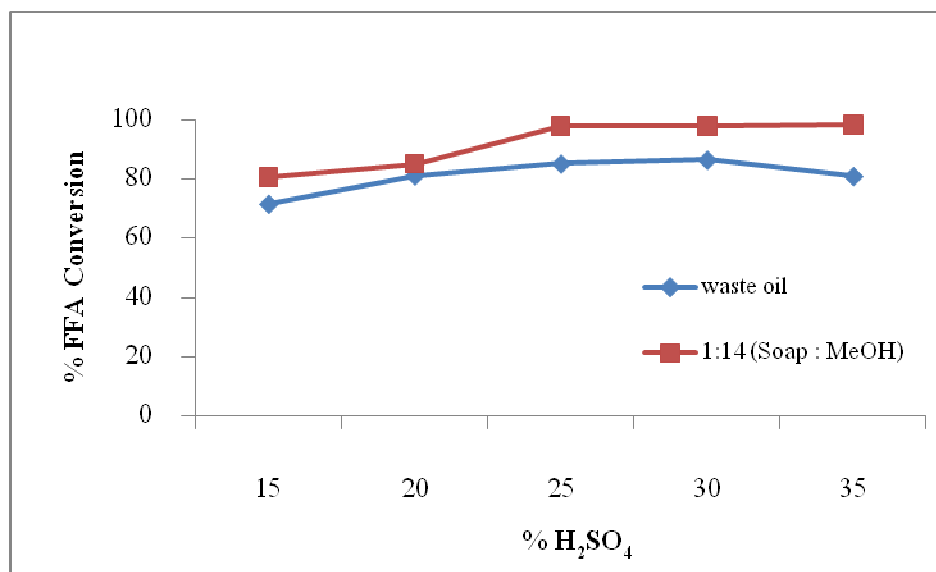
การศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1 : 14 ทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน นาน 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 85 องศาเซลเซียส โดยเตรียมกรดซัลฟิวริกเกินพอ 15%, 20%, 25%, 30% และ 35% โดยน้ำหนักสบู่

จากการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 20% โดยน้ำหนักของสบู่ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระที่วิเคราะห์ด้วยการไตเตรท ในอัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1 : 14 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกมากกว่า 25% โดยน้ำหนักของสบู่ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระมีค่าประมาณ 94.65, 96.74 และ 98.55 ดังภาพประกอบที่ 4.8 ซึ่งวิธีการไตเตรทหาค่ากรดไขมันอิสระเมทิลเอสเทอร์หลังทำปฏิกิริยานั้น อาจจะสังเกตจุดยุติได้ยากเนื่องจากสีของน้ำมันมีสีน้ำตาลเข้ม ดังนั้นจึงยืนยันผลด้วยวิธีวิเคราะห์ TLC (Thin Layer Chromatography)



ภาพประกอบที่ 4.8 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระ (ไตรเอท) เมื่อใช้อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1 : 14 เปรียบเทียบกับน้ำมันจากบ่อน้ำเสียหลังทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

สำหรับผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1 : 14 ทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน นาน 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 85 องศาเซลเซียส โดยเตรียมกรดซัลฟิวริกเกินพอ 15%, 20%, 25%, 30% และ 35% โดยน้ำหนักสบู่ พบว่า ซึ่งแสดงดังภาพประกอบที่ 4.9 เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 20% โดยน้ำหนักสบู่ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระจากการยืนยันผลด้วยวิธีวิเคราะห์ TLC (Thin Layer Chromatography) มีแนวโน้มร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นและแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกับการไตรเอท และจากการทดลองพบว่า เมื่อใช้กรดในปริมาณสูงจะต้องใช้น้ำล้างในปริมาณมากและใช้เวลาล้างนานขึ้น ดังนั้น ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 25% โดยน้ำหนักของสบู่ ในการทดลองลำดับถัดไปเนื่องจากได้ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระเฉลี่ยสูงที่สุด



ภาพประกอบที่ 4.9 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระ (TLC) เมื่อใช้อัตราส่วนเชิงโมลสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1 : 14 เปรียบเทียบกับ น้ำมันจากบ่อน้ำเสียหลังทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน

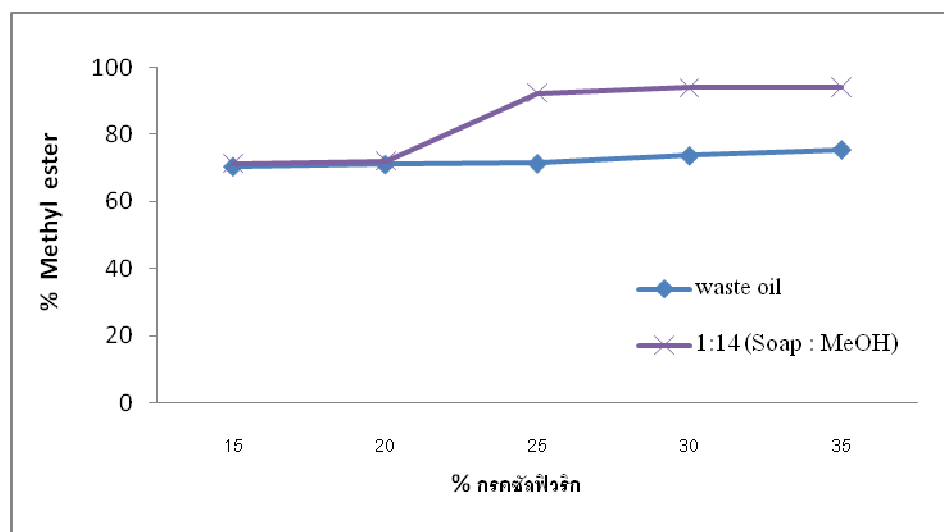
จากการทดลองผลิตเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันจากบ่อเสียเปรียบเทียบกับสบู่ที่ผ่านการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 15%, 20%, 25%, 30% และ 35% โดยน้ำหนักสบู่

จากภาพประกอบที่ 4.10 พบว่า การใช้ปริมาณกรดซัลฟิวริกมากกว่า 20% โดยน้ำหนักสบู่ นั้นทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเตอร์มากกว่าร้อยละ 90 และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกมีผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเตอร์เริ่มมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Crabbe et al. (2001) ที่ได้ทำการทดลองศึกษาอิทธิพลของปริมาณกรดในช่วง 1 ถึง 5% v/w of reactant โดยสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 23:1 ทำปฏิกิริยาที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าผลได้ของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ ผลการทดลองยังสอดคล้องกับการทดลองของ คู่จันทร์ และแสงแข (2545) ซึ่งได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณกรดในช่วง 20 – 1% v/w of reactant โดยใช้สัดส่วนเชิงมวล PFAD : MeOH (60g : 40g) ทำปฏิกิริยาที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ได้ร้อยละเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น และเริ่มมีแนวโน้มคงที่ เมื่อปริมาณกรดมีค่ามากกว่า 0.25% v/w of reactant ถึง 20% v/w of reactant

ดังนั้น จากภาพประกอบที่ 4.10 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ เท่ากับ 25% โดยน้ำหนักสบู่ เนื่องจากประหยัดตัวเร่งปฏิกิริยาและต้นทุนในการผลิตและการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณสูงจะต้องใช้น้ำล้างมากและใช้เวลานาน

นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับการทดลองของ ทรงธรรม (2551) ทำการทดลองผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขสบู่โดยทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ กรดซัลฟิวริกปริมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ จะได้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์และเปอร์เซ็นต์ผลได้เหมาะสมที่สุด



**ภาพประกอบที่ 4.10** ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1:14 เปรียบเทียบกับน้ำมันจากบ่อน้ำเสียหลังทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน

จากภาพประกอบที่ 4.10 ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 25% โดยน้ำหนักสบู่ ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ แต่ที่ปริมาณกรด 15%-20% โดยน้ำหนักสบู่ ได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ต่ำ และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 คืน มีลักษณะเป็นของแข็ง เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ เพราะปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาน้อย ดังภาพประกอบที่ 4.11



ภาพประกอบที่ 4.11 แสดงลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริก 15%-20% โดยน้ำหนักสบู่

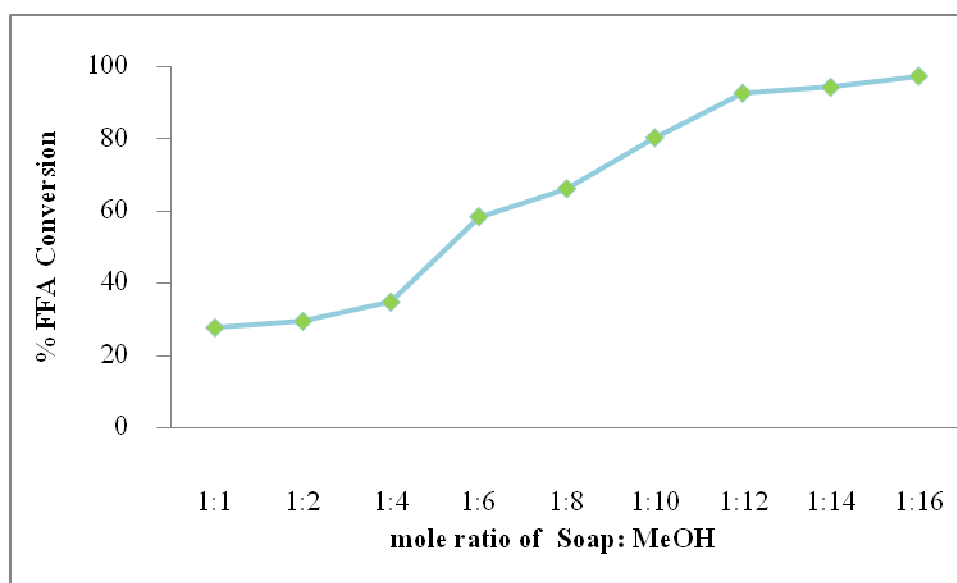
#### 4.3.2. ผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

การทดลองเพื่อหาอิทธิพลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลที่เหมาะสม ได้ทำการทดลองที่สภาวะอัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลในช่วง 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12, 1:14 และ 1:16 เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 85 องศาเซลเซียส ใน oil bath โดยเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 25% โดยน้ำหนักของสบู่ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4.12 พบว่า ที่อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอล 1:1 สังเกตการแยกชั้นได้ยาก เพราะของเหลวที่ได้มีสีดำเข้ม และให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระเฉลี่ยต่ำเท่ากับ 27.7

การเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอล ทำให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และหากใช้ปริมาณเมทานอลมากกว่า 12 โมล พบว่า ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกัน และหากใช้ปริมาณเมทานอลน้อยกว่า 12 โมล นอกจากจะสังเกตการแยกชั้นได้ยากแล้ว ยังล้างน้ำได้ยากอีกด้วย เพราะปริมาณเมทานอลที่น้อยเกินไปทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา

เพื่อเป็นการประหยัดปริมาณเมทานอล และต้นทุนในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสียเป็นสารตั้งต้น อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลที่เหมาะสมคือ 1:12 ซึ่งให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระเฉลี่ยกับ 92.69 จากผลการทดลองอัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอล สอดคล้องกับการศึกษาของ Crabbe et al. (2001) ที่ทำการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอลตั้งแต่ 1:3 ถึง 1:40 โดยใช้

ตัวเร่งปฏิกิริยากรด 3% v/w of reactant ทำปฏิกิริยาที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าผลได้อะสเตอร์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเพิ่มขึ้น โดยการประมาณค่านอกช่วง (Extrapolation) สัดส่วนเชิงโมลสูงสุด ที่ทำปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์จะอยู่ระหว่าง 1:35 ถึง 1:45



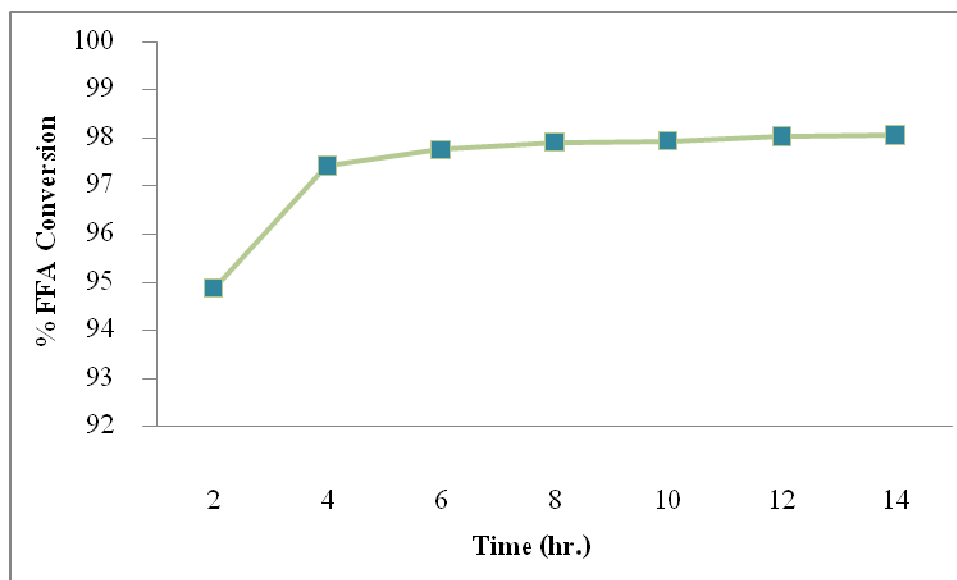
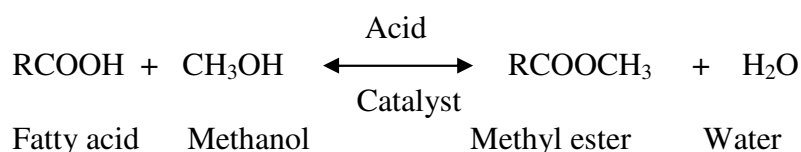
ภาพประกอบที่ 4.12 แสดงผลของอัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 25% โดยน้ำหนักสบู่

#### 4.3.3 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลอง 3.1 โดยใช้ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมจากการทดลอง จากนั้นทดลองทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 ชั่วโมง ดังภาพประกอบที่ 4.13

การศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อการเกิดเมทิลเอสเตอร์โดยพิจารณาจากร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระ พบว่า การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาทำให้แนวโน้มร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อทำการทดลองที่สภาวะตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 25 % โดยน้ำหนักสบู่ อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอล 1:12 อุณหภูมิ

85 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่า ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 4 ชั่วโมงแรก และที่เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 6 ชั่วโมง จะให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 97.76 และเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 6 ชั่วโมง พบว่า แนวโน้มร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระเริ่มคงที่ สำหรับการเพิ่มขึ้นของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระหลังจากเกิดปฏิกิริยาจะส่งผลให้ FFA เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์มากขึ้น จึงส่งผลให้ FFA มีค่าลดลง ดังสมการ



ภาพประกอบที่ 4.13 แสดงผลของเวลาที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระเมื่อใช้อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอล 1:12 และปริมาณกรดซัลฟิวริก 25% โดยน้ำหนักสบู่ ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

ดังนั้นเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมเท่ากับ 6 ชั่วโมง เนื่องจากให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสูงสุด ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zullaikeh et al. (2005) ซึ่งใช้น้ำมันจากเมล็ดข้าวและมีการดไขมันอิสระสูงตั้งแต่ 6.6 % ถึง 75.8% โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 5% v/w of reactant ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 – 24 ชั่วโมง พบว่า เปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทดลอง



อย่างไรก็ตาม Zullaikah พบว่า เวลาที่ใช้ในการทำปฏิริยามากกว่า 12 ชั่วโมง ทำให้แนวโน้มเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทรงธรรม (2551) ซึ่งผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขสบู่ที่ผ่านการสaponนิฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิริยา ภายใต้อุณหภูมิ 80 – 85 องศาเซลเซียส พบว่า การผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากไขสบู่เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับ 98.39

#### 4.3.4 ศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ตามมาตรฐาน ASTM 6751-02

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย โดยเปรียบเทียบกับข้อกำหนดคุณภาพไบโอดีเซลมาตรฐานและน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 4.4 อธิบายได้ดังนี้

จุดวาบไฟมีค่า 190 องศาเซลเซียส เป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพไบโอดีเซลมาตรฐานแต่เกินค่ามาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้า (52°C min) จึงทำให้ไบโอดีเซลที่ได้สามารถขนถ่ายและเก็บได้อย่างปลอดภัยว่าน้ำมันดีเซล เนื่องมาจากการมีจุดวาบไฟที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลจึงมีความเสี่ยงต่อการระเบิดหรือการติดไฟน้อยกว่า

จุดขุ่นมีค่า 14 องศาเซลเซียส ตามข้อกำหนดคุณภาพไบโอดีเซลมาตรฐานและน้ำมันดีเซลไม่ได้กำหนด ส่วนจุดไหลเทมีค่า 9 องศาเซลเซียส เป็นไปตามข้อกำหนดน้ำมันดีเซลหมุนช้า (16 °C max) และหมุนเร็ว (10 °C max) ซึ่งหากนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลจะไม่เกิดการแข็งตัวได้ง่ายกว่าดีเซลหมุนเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

ค่าความหนาแน่น (15 °C) เท่ากับ 880 kg/m<sup>3</sup> ตามข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงานกำหนดใช้ในช่วง 860 – 900 kg/m<sup>3</sup>

ค่าความหนืด (40 °C) 6.23 cSt มีค่าเกินมาตรฐานข้อกำหนดไบโอดีเซล (6.0 max) และน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (1.8-4.1 cSt) แต่มีค่าไม่เกินมาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนช้า (8.0 max) ดังนั้นไบโอดีเซลที่ผลิตได้หากไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเพิ่มเติม น่าจะเหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องยนต์ชนิดรอบต่ำ (300 รอบต่อนาที) และชนิดรอบปานกลาง (300 – 1000 รอบต่อนาที) เท่านั้น (กนกอร และจินดา, 2545)

ปริมาณน้ำ 0.03 %wt ตามข้อกำหนดคุณภาพคุณภาพไบโอดีเซลมาตรฐานได้กำหนดมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน 0.05max และมาตรฐาน ASTM D6751-02 กำหนดมาตรฐาน 0.03%wt

อุณหภูมิการกลั่น (เทียบเท่าที่ความดันบรรยากาศกลั่นได้ร้อยละ 90) มีค่า 334 องศาเซลเซียส เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดไบโอดีเซลและเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลจะมีค่าต่ำกว่าซึ่งน่าจะทำให้ไบโอดีเซลมีการเผาไหม้ที่บริบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล

**ตารางที่ 4.4** แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้กับมาตรฐานเมทิลเอสเทอร์

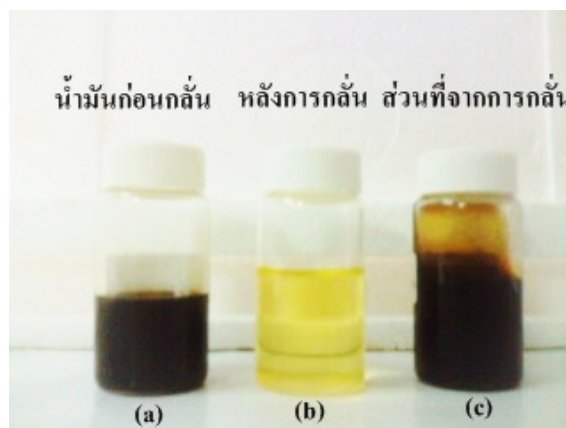
คุณสมบัติ	หน่วย	This work	คุณสมบัติของ ไบโอดีเซล			
			ASTM D6751-02 (a)	High Speed Diesel(b)	Low Speed Diesel(b)	กรมธุรกิจพลังงาน
จุดวาบไฟ	°C	190	130 min	52 min.	52 min.	120 min
จุดขุ่น	°C	14	-3 to 12	Na	Na	-
จุดไหลเท	°C	9	-15 to 10	10max	16max	-
ค่าความหนืดที่ 40 °C	cSt	6.23	1.9-6.0	1.8-4.1	8.0max	3.5-5.0
ความหนาแน่นที่ 15 °C	Kg/m <sup>3</sup>	880	870-900	-	-	860-900
อุณหภูมิการกลั่นเทียบเท่าความดันบรรยากาศกลั่นได้ร้อยละ 90	°C	334	360max	357max	na	-
ปริมาณน้ำ	%wt	0.03	0.03 max	-	-	0.05 max
เมทิลเอสเทอร์	%wt	75.57	-	-	-	96.5 min

na = not available

ที่มา : a = อ้างอิงจากคณะกรรมการกิจการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร (2545)

b = อ้างอิงจากศิริพร (2544)

จากการนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันจากปอที่ผ่านปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลที่เหมาะสม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 25% โดยน้ำหนักของสบู่ นำมากลั่นด้วยเครื่องกลั่นมาตรฐาน ASTM D86 ลักษณะของน้ำมันที่ผ่านการกลั่นที่ได้ แสดงดังภาพประกอบที่ 4.14



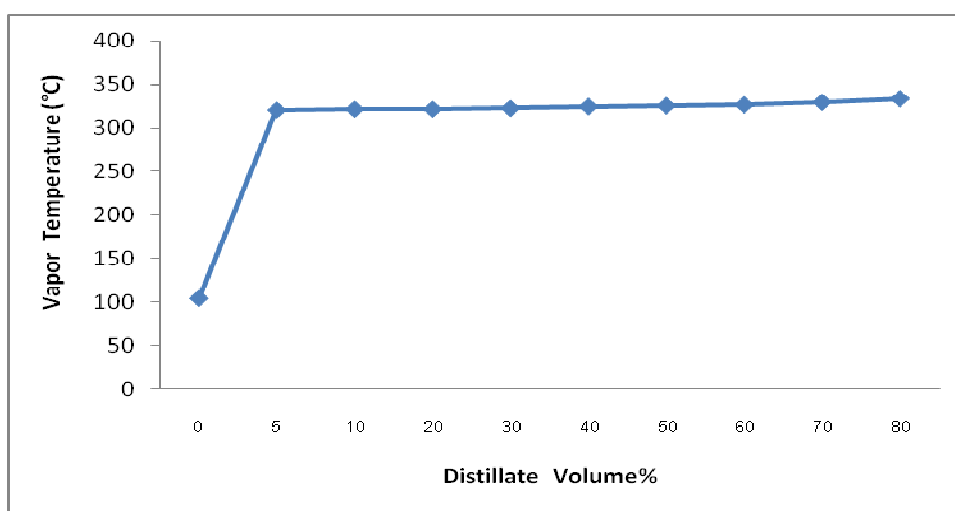
ภาพประกอบที่ 4.14 แสดงลักษณะเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันจากปอน้ำเสียก่อนกลั่น(a) เมทิลเอสเทอร์หลังการกลั่น(b) และน้ำมันส่วนที่เหลือจากการกลั่น(c)

จากภาพประกอบที่ 4.14 พบว่า ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันจากปอน้ำเสียจะมีลักษณะสีน้ำตาลเหลืองอมน้ำตาล เมื่อการกลั่นด้วยเครื่องกลั่นมาตรฐาน ASTM D 86 ลักษณะสีของเมทิลเอสเทอร์จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองอ่อน สำหรับน้ำมันสุดท้ายที่เหลือจากการกลั่นจะมีสีน้ำตาลเข้มและลักษณะขุ่นหนืด ซึ่งส่วนหลังนี้น่าจะมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ไม่เกินร้อยละ 32

ตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิจุดกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D 86

Fraction	Volume (ml)	Temp (°C)
1	หยุดแรก	105
2	5	321
3	10	322
4	20	322
5	30	323
6	40	325
7	60	326
8	70	327
9	80	330
10	90	334

เมื่อนำอุณหภูมิจุดกลั่นจากตารางที่ 4.5 มา plot กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจุดกลั่นปริมาตรจุดกลั่น แสดงดังภาพประกอบที่ 4.15



ภาพประกอบที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิจุดกลั่นเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย จากการกลั่น D 86

จากภาพประกอบที่ 4.15 พบว่า อุณหภูมิจุดกลั่นของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสียแต่ละทุกๆ เเปอร์เซ็นต์ปริมาตรจุดกลั่น มีอุณหภูมิค่อยๆ เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน และเส้นกราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงที่เปอร์เซ็นต์ปริมาณจุดกลั่นตั้งแต่ 5 – 80 แสดงว่าน้ำมันจากบ่อน้ำเสียเป็นสารไม่บริสุทธิ์

นอกจากนี้เมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันที่สภาวะที่เหมาะสม ไปทดสอบการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเผาไหม้ด้วยวิธี Thermogravimetric Analyzer (PerkinElmer, TGA7) ที่อุณหภูมิ 50-800 องศาเซลเซียส ดังภาพประกอบที่ 4.18 พบว่า เมื่อเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการเผาไหม้ในช่วงอุณหภูมิ 150-300 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเมทิลเอสเทอร์อย่างรวดเร็วซึ่งน้ำหนักลดลงเท่ากับ 94.508% และเมื่อเผาไหม้ต่อไปที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส มีการระเหยของน้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ลดลงเท่ากับ 5.497% ซึ่งหลังการเผาไหม้จนถึงอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์เหลือเท่ากับ 0.285%

#### 4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย

##### 4.4.1. ฐานการคำนวณและข้อมูลประกอบการคำนวณ

กำหนดฐานการคำนวณของหน่วยผลิต ซึ่งใช้น้ำมันจากบ่อน้ำเสีย บริษัทนำหงส์ จ.กระบี่ เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ในอัตรา 10,000 กิโลกรัมต่อวัน โดยกระบวนการผลิตจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

##### 1. ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบและเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่

- น้ำมันจากบ่อน้ำเสีย ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นกรองเอาสิ่งสกปรกออก ล้างด้วยน้ำอุ่น อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำมันจากบ่อน้ำเสียต่อน้ำอุ่น ในอัตรา 4:1 โดยปริมาตร การล้างจะกระทำ 3 ครั้ง จากนั้นนำน้ำมันที่ผ่านการเตรียมมาเป็นวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เท่ากับ 1:4 ปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยาเท่ากับ 5 เท่าโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ (FFA)

##### 2. ขั้นตอนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

- การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชัน โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1:12 โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 25% โดยน้ำหนักสบู่ ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 6 ชั่วโมง จึงนำไประเหยเมทานอลออกที่เหลือเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ส่วนที่เหลือนำไปล้างน้ำ โดยใช้น้ำปริมาณเท่ากันและแบ่งน้ำเท่าๆ กัน เพื่อใช้ในการล้าง 5 ครั้ง แยกเมทิลเอสเทอร์ออกไประเหยน้ำที่ค้างอยู่

ออกที่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะของปฏิกิริยา กำหนดให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ มีค่าเท่ากับ 79 และผลผลิตสุดท้ายมีความเป็นเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 75.57

#### 4.4.2 คุณสมบัติของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

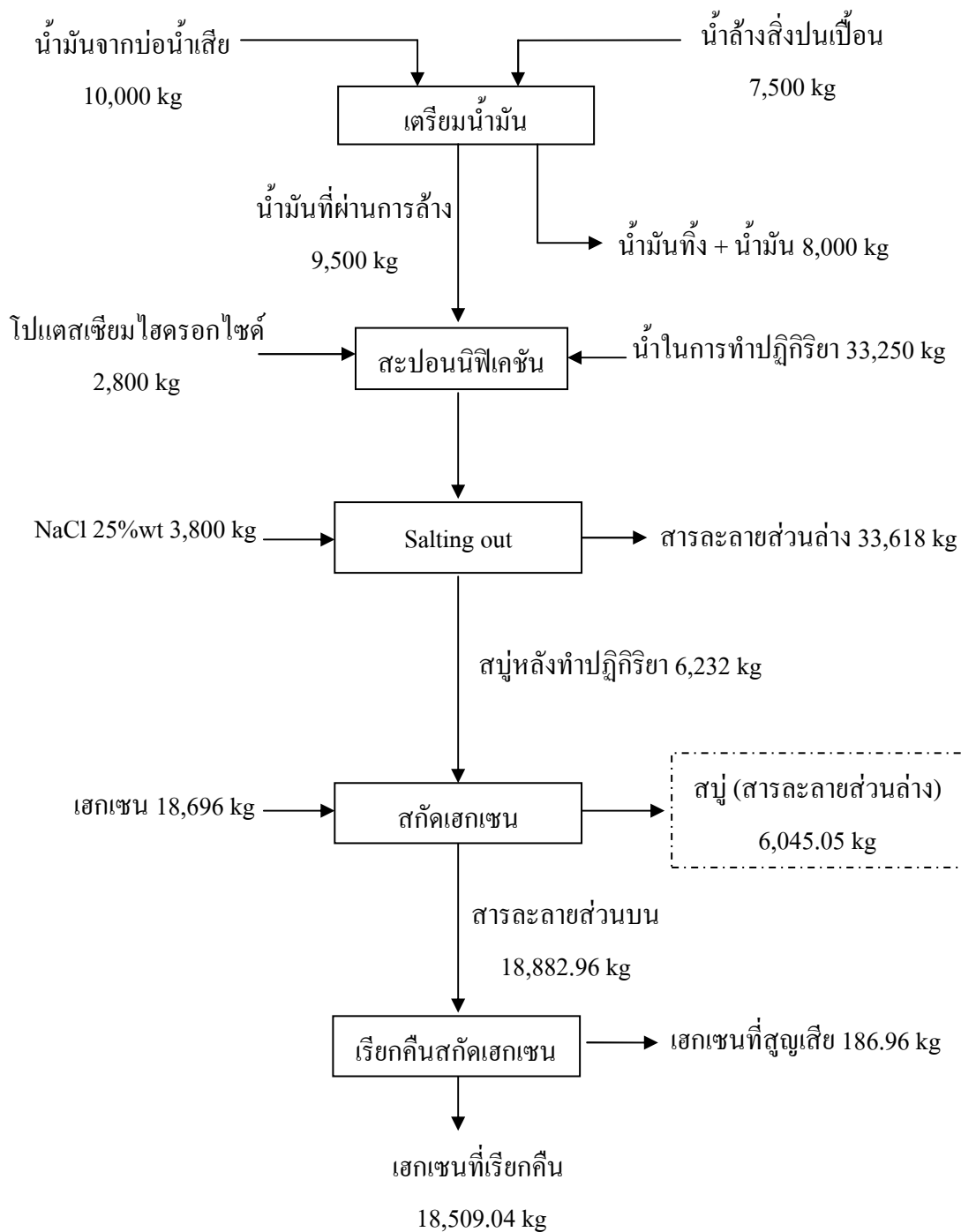
การศึกษาค่าใช้จ่ายผันแปรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากสบู่ จะต้องทำการควบคุมผลผลิตของกระบวนการผลิตโดยรวม เพื่อประเมินค่าวัตถุดิบต่างๆ รวมทั้งใช้เป็นฐานในการประเมินค่าพลังงาน และค่าแรงงานในการผลิต ในที่นี้จึงได้แยกคุณสมบัติออกเป็น 2 ส่วน คือ คุณสมบัติของกระบวนการเตรียมน้ำมันและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ และคุณสมบัติของกระบวนการเมทิลเอสเทอร์

##### 4.4.2.1 คุณสมบัติของกระบวนการเตรียมน้ำมันและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่

ตัวแปรซึ่งเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของกระบวนการนี้ คือ ประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนเพื่อกลับมาใช้ใหม่ ร้อยละ 99 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพการเรียกคืน โรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันทั่วไป ผลทำคุณสมบัติจากข้อมูลและตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดเป็นไปดังที่แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 4.16 และในตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** คุณสมบัติของกระบวนการเตรียมน้ำมันและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ ประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนร้อยละ 99

สารเข้า (วัตถุดิบ)	กิโลกรัม	สารออก (ผลผลิต)	กิโลกรัม
น้ำมันน้ำเสีย	10,000	น้ำมันที่ผ่านการล้าง	9,500
น้ำล้างสิ่งปนเปื้อน	7,500	น้ำทิ้งและน้ำมัน	8,000
น้ำมันที่ผ่านการล้าง	9,500	สบู่ที่ผ่านปฏิกิริยา	6,232
โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์	2,800	สารละลายส่วนล่างหลัง Salting out	43,118
น้ำในการทำปฏิกิริยา	33,250	สารละลายส่วนบน (สกัดเฮกเซน)	18,882.95
สารละลาย NaCl 25%wt	3,800	สบู่ (สารละลายส่วนล่าง)	6,045.05
สบู่ที่ผ่านปฏิกิริยา	6,232	เฮกเซนที่สูญเสียในการสกัด	186.96
เฮกเซน	18,696	เฮกเซนที่เรียกคืนได้	18,509.04

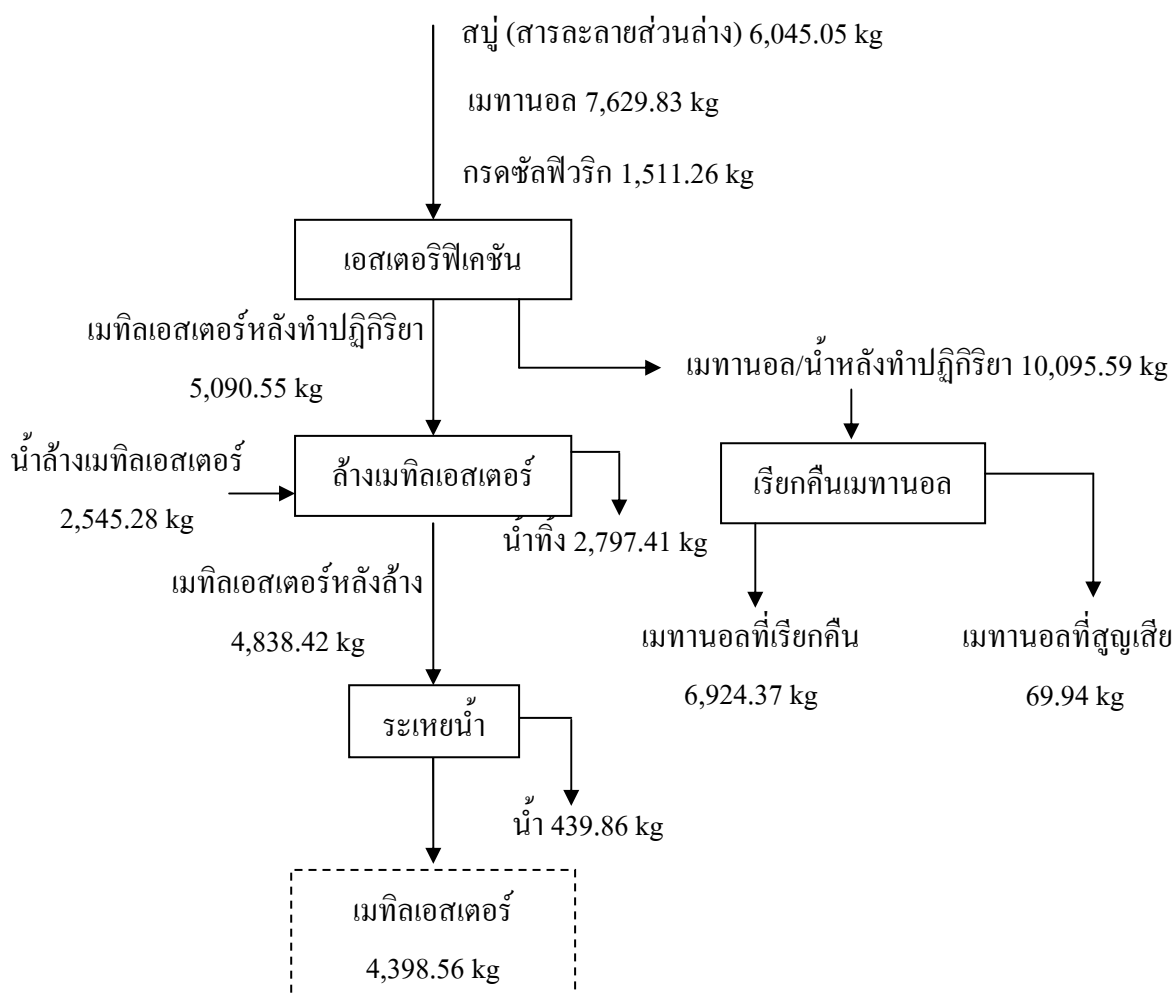


ภาพประกอบที่ 4.16 แสดงกระบวนการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเรียกคืนเฮกเซนทำให้ลดการสูญเสียเฮกเซนในการสกัด 18,509.04 กิโลกรัม ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้

#### 4.4.2.2 คุณสมบัติของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

ในกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่ ใช้น้ำมันเสียที่ผ่านปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันเพื่อแยกสารที่ไม่ทราบองค์ประกอบในน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย โดยน้ำมันน้ำเสียถูกเปลี่ยนเป็นสบู่ จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.17 โดยปริมาณสบู่ที่เข้าสู่กระบวนการนี้เท่ากับ 6,045.05 กิโลกรัม เป็นฐานในการคำนวณ โดยกำหนดร้อยละผลผลิตได้ของเมทิลเอสเทอร์มีค่า 79 และกำหนดประสิทธิภาพการเรียกคืนเมทานอลในการทำคุณสมบัติ คือ ร้อยละ 99 (เช่นเดียวกับกรณีของการเรียกคืนเฮกเซน) ผลการทำคุณสมบัติจากข้อมูลและตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดเป็นไปดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.7



ภาพประกอบที่ 4.17 แสดงกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่



ตารางที่ 4.7 คุณมวลสารของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

สารเข้า (วัตถุดิบ)	กิโลกรัม	สารออก (ผลผลิต)	กิโลกรัม
สารละลายส่วนล่าง (สบู่)	6,045.05	เมทิลเอสเทอร์หลังทำปฏิกิริยา	5,090.55
เมทานอล	7,629.83	เมทานอล/น้ำจากปฏิกิริยา	10,095.59
กรดซัลฟิวริก	1,511.26	เมทิลเอสเทอร์หลังล้าง	4,838.42
น้ำล้างเมทิลเอสเทอร์	2,545.28	น้ำทิ้งจากการล้างเมทิลเอสเทอร์	2,797.41
เมทิลเอสเทอร์หลังทำปฏิกิริยา	5,090.55	น้ำทิ้งหลังระเหย	439.86
เมทิลเอสเทอร์หลังล้าง	4,838.42	เมทิลเอสเทอร์หลังระเหยน้ำ	4,398.56
		เมทานอลที่เรียกคืน	6,924.37
		เมทานอลที่สูญเสียในการผลิต	69.94

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียกคืนเมทานอลร้อยละ 99 ทำให้สามารถได้เมทานอลเพิ่มกลับคืนมา 6,924.37 กิโลกรัม ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้

#### 4.4.3 การประเมินพลังงานและแรงงานในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย

การประเมินพลังงานและแรงงานในกระบวนการผลิตโดยไม่มีโรงงานจำลอง ต้นแบบ หรือหน่วยผลิตจริงให้ศึกษา มีความยุ่งยากและระดับความคลาดเคลื่อนสูง อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ได้ค่าคร่าวๆ ของค่าใช้จ่ายในการผลิต จึงได้กำหนดสมมติฐานและเงื่อนไขที่ใช้ในการประเมิน ดังนี้

(1) กำหนดให้น้ำสูญเสียในกระบวนการผลิตเฉพาะส่วนที่ใช้ล้างน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย และน้ำที่ใช้ล้างเมทิลเอสเทอร์ โดยน้ำที่ใช้ในเครื่องควบแน่นจะมีการวนซ้ำกลับมาใช้ใหม่หลังจากผ่านระบบลดอุณหภูมิลงแล้ว

(2) ไม่คำนึงการใช้พลังงานในอุปกรณ์ย่อย เช่น ปัมป์ อุปกรณ์ควบคุม รวมทั้งไม่กำหนดเงื่อนไขที่สามารถประหยัดพลังงาน เช่น ใช้พลังงานความร้อนอื่นแทนพลังงานไฟฟ้า นำความร้อนที่ได้จากการควบแน่นมาใช้ในกระบวนการ หรือใช้พลังงานสะสมจากกระบวนการก่อนหน้านี้จากความต่อเนื่องในกระบวนการการผลิต เป็นต้น

ผลการประเมินพลังงานและแรงงานที่ใช้ ในส่วนของการเตรียมน้ำมัน การเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ และการผลิตเมทิลเอสเทอร์ แสดงดังตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9

**ตารางที่ 4.8** พลังงานและแรงงานที่ใช้ในการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่

กระบวนการ	พลังงานความร้อนที่ใช้ (MJ)	ชั่วโมง
อุ่นน้ำมันเสีย	9,697.79	1
นำล้างน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย	13,731.75	1
เปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่	9,462.6	1
การแยกสบู่จากสารละลาย	-	1
เรียกคืนเฮกเซน	8,903.91	2
รวม	41,796.05	6

จาดตารางที่ 4.8 พบว่า ในการเตรียมน้ำมันและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่พลังงานความร้อนที่ต้องใช้เท่ากับ 41,796.05 MJ

**ตารางที่ 4.9** พลังงานและแรงงานที่ใช้ในของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

กระบวนการ	พลังงานความร้อนที่ใช้ (MJ)	ชั่วโมง
เปลี่ยนสบู่เป็นเมทิลเอสเทอร์	6,439.90	6
ล้างเมทิลเอสเทอร์	6,657.73	2
เรียกคืนเมทานอล	10,888.93	2
ไล่น้ำออกจากเมทิลเอสเทอร์	1,377.01	2
รวม	25,363.57	12

จาดตารางที่ 4.9 พบว่า ในกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่ มีพลังงานความร้อนที่ต้องใช้เท่ากับ 25,363.57 MJ

#### 4.4.4 การประเมินค่าใช้จ่ายผันแปรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย

ในการศึกษาค่าใช้จ่ายผันแปรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย ซึ่ง ประกอบด้วยค่าวัตถุดิบ ค่าพลังงาน และค่าแรงงาน เพื่อพิจารณาในแต่ละกรณี คือค่าใช้จ่ายในการเตรียมน้ำมันและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ และการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย

เพื่อให้สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายจากข้อมูลคุณสมบัติสาร พลังงานและแรงงานข้างต้นได้ จึงได้กำหนด  
ข้อมูลค่าใช้จ่ายต่อหน่วยต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณไว้ในตารางที่ 4.10

**ตารางที่ 4.10** ข้อมูลค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่ใช้ในการคำนวณ

รายการค่าใช้จ่าย	หน่วยนับ	ค่าที่ใช้ในการศึกษา	หมายเหตุ
น้ำมันจากบ่อน้ำเสีย	บาท/กิโลกรัม	5	
เมทานอล	บาท/กิโลกรัม	15.38	
KOH	บาท/กิโลกรัม	80.28	
กรดซัลฟิวริก	บาท/กิโลกรัม	9.50	
เฮกเซน	บาท/กิโลกรัม	30.40	
น้ำ	บาท/ลบ.เมตร	10	ใช้ค่า 0.01 บาท/กิโลกรัม
ค่าพลังงานไฟฟ้า	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	5	เทียบได้เป็น 2 บาท/MJ
ค่าพลังงานความร้อน	บาท/MJ	2	ใช้ค่าเดียวกับพลังงานไฟฟ้า
ค่าแรงงาน	บาท/คน/วัน	200	

#### 4.4.4.1 การประเมินค่าใช้จ่ายผันแปรในการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย การเปลี่ยน น้ำมันเป็นสบู่และ การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากสบู่

เป็นการศึกษาเพื่อพิจารณาผลของตัวแปรสำคัญซึ่งมีผลต่อค่าใช้จ่าย ประกอบด้วย ราคาสารเคมี ประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนและการเรียกคืนเมทานอล ผลของ  
ตัวแปรต่างๆ ที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.11 และ ตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์

กระบวนการ	บาท	บาท/ลิตร
การเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่		
การเตรียมน้ำมัน	50,000.00	11.38
สะปอนนิฟิเคชัน	225,116.50	51.18
Salting Out	4,700.00	1.08
สกัดเฮกเซน	5,683.58	1.29
ค่าใช้จ่ายสุทธิ	285,625.08	64.93
การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากสบู่		
เอสเทอร์ฟิเคชัน	15,847.91	3.60
ล้างเมทิลเอสเทอร์	25.45	0.01
ค่าใช้จ่ายสุทธิ	15,873.36	3.61
ค่าใช้จ่ายรวม	301,498.44	68.54

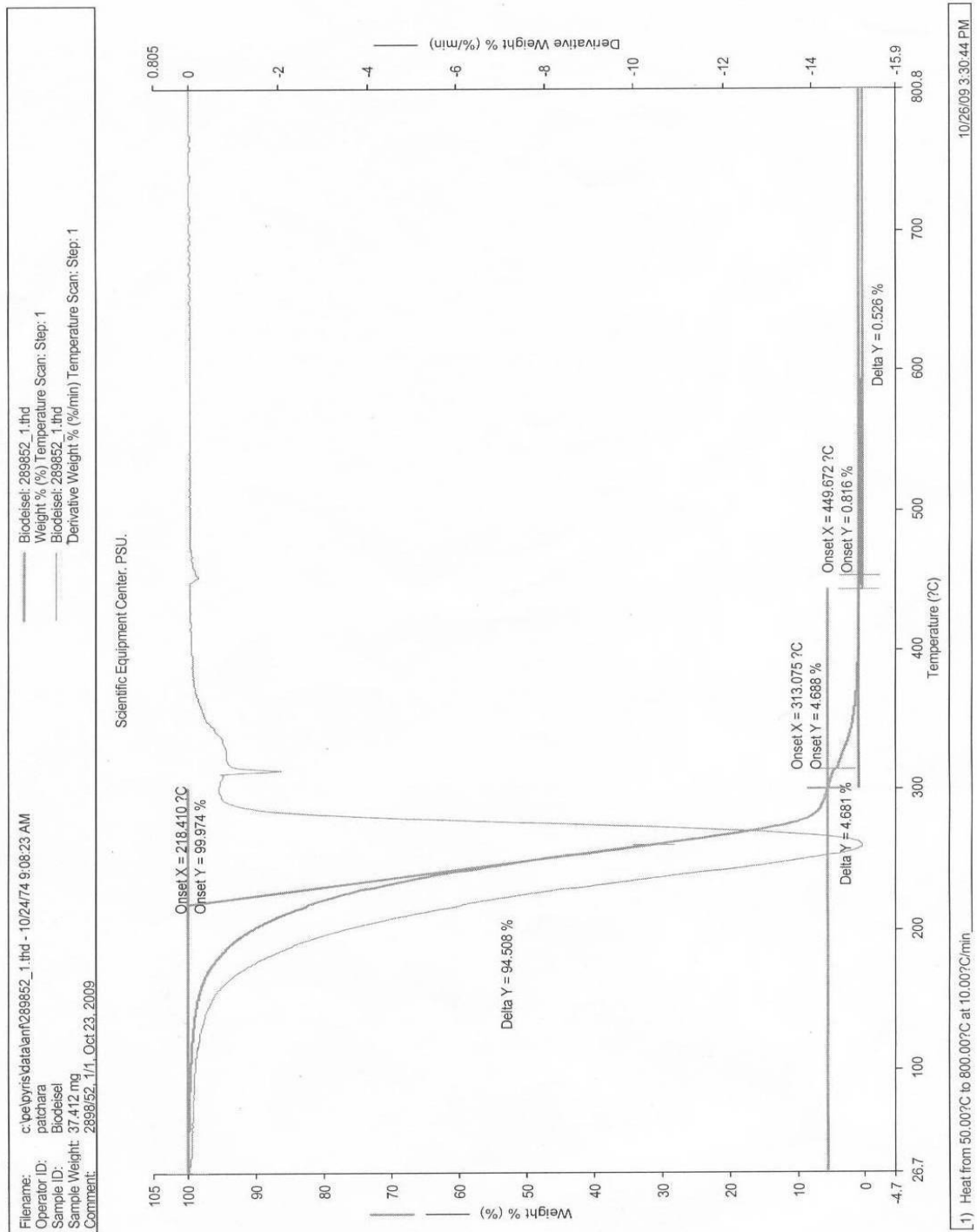
จากตารางที่ 4.11 พบว่า ในการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่จะมีค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบในการผลิตต่อลิตรเท่ากับ 64.93 บาทต่อลิตร สำหรับการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่จะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อลิตรเท่ากับ 3.61 บาทต่อลิตร

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่ใช้ในการคำนวณในกระบวนการผลิต

รายการค่าใช้จ่าย	บาท	บาท/ลิตร
การเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่		
ค่าวัตถุดิบ	285,625.08	64.93
ค่าพลังงาน	41,796.05	9.50
ค่าแรงงาน	150	0.03
ค่าใช้จ่ายสุทธิ	327,571.13	74.46
การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากสบู่		
ค่าวัตถุดิบ	15,873.36	3.61
ค่าพลังงาน	25,363.57	5.67
ค่าแรงงาน	300	0.07
ค่าใช้จ่ายสุทธิ	41,536.93	9.35
ค่าใช้จ่ายรวม	3,691,080.06	83.81

จากตารางที่ 4.12 พบว่า ในการเตรียมน้ำมันจากบ่อน้ำเสียและการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่จะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อลิตรเท่ากับ 74.46 บาทต่อลิตร สำหรับการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่จะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อลิตรเท่ากับ 9.35 บาทต่อลิตร

จากการคำนวณต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ต่อหน่วย พบว่าต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากการใช้น้ำมันจากบ่อน้ำเสีย ใช้ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากมีขั้นตอนในการผลิตหลายขั้นตอนและมีการสกัดโดยใช้เฮกเซนเข้ามาในกระบวนการ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งหากคิดค่าใช้จ่ายรวมกระบวนการผลิตเท่ากับ 83.81 บาทต่อลิตร ดังนั้น เพื่อลดต้นทุนการผลิตอาจปรับเปลี่ยนวิธีการที่ลดปริมาณสารเคมีบางส่วนลงเพื่อสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์จากบ่อน้ำเสียได้ในราคาที่ต่ำกว่า หรือใช้กระบวนการเรียกคืนสารเคมีเข้ามารวมด้วยเพื่อลดต้นทุนการผลิต



ภาพประกอบที่ 4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสียที่ผ่านการทดสอบด้วยวิธี Thermogravimetric Analyzer (PerkinElmer, TGA7) ที่อุณหภูมิ 50-800 องศาเซลเซียส

## บทที่ 5

### สรุป

จากผลการทดลองดำเนินการวิจัยการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันในบ่อน้ำเสียซึ่งมีกรดไขมันอยู่ในปริมาณสูง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. แนวคิดการเปลี่ยนน้ำมัน (ไตรกลีเซอไรด์) ในน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย ให้เป็นกรดไขมันเกือบทั้งหมดโดยผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน เปลี่ยนเป็นสบู่ก่อนเข้าสู่กระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน เพื่อจัดอิทธิพลที่มาจากสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันจากบ่อน้ำเสียเท่ากับ 70.12% ส่วนที่เหลืออีก 29.88% เป็นตัวไม่ทราบองค์ประกอบ (รวมไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์)

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ พบว่า น้ำมันจากบ่อน้ำเสียหลังทำปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จะได้สบู่ที่แยกชั้นได้ดี คืออัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เท่ากับ 1:4 โดยปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยาเท่ากับ 5 เท่าโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ (FFA) จะทำให้เกิดการแยกชั้นได้ดี ซึ่งมีค่า Saponification Number เท่ากับ 91.52 จากค่าสะaponนิฟิเคชันที่ลดเมื่อเทียบกับตัวอย่างเริ่มต้นเท่ากับ 255.31 แสดงว่ากลีเซอไรด์ได้ลดลงจากค่าเริ่มต้น

3. การศึกษาเปอร์เซ็นต์และปริมาณสารละลายเกลือที่เหมาะสมในการ Salting out เพื่อเพิ่มการแยกชั้นของสบู่ในสารละลาย พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณเกลือที่เหมาะสมเท่ากับ 25% โดยเติมในปริมาณ 1 เท่าโดยน้ำหนักของสบู่ สามารถลดการใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนเชิงโมลจากเดิม 4 โมล ลดลงเหลือเท่ากับ 2 โมล และให้ค่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ผลได้ (%Yield) เพิ่มขึ้น

4. การศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยตัวเร่งประเภทกรด คือ ใช้อัตราส่วนเชิงโมลสบู่ต่อเมทานอลเท่ากับ 1:12 โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 25% โดยน้ำหนักสบู่ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 6 ชั่วโมง ให้ค่าความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ได้ 75.57%

5. การศึกษาองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย พบว่า คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ คือ จุดวาบไฟมีค่า 190 องศาเซลเซียส

จุดขุ่นมีค่า 14 องศาเซลเซียส จุดไหลเทมีค่า 9 องศาเซลเซียส ค่าความหนาแน่น (15 °C) เท่ากับ 880 kg/m<sup>3</sup> อุณหภูมิการกลั่น (เทียบเท่าที่ความดันบรรยากาศกลั่นได้ร้อยละ 90) มีค่า 334 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำ 0.03 %wt มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลมาตรฐาน ส่วนค่าความหนืด (40 °C) 6.23 cSt มีค่าเกินมาตรฐานข้อกำหนดน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลมาตรฐานเล็กน้อย

6. การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยการประเมินต้นทุนผันแปรซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรก เกิดจากขั้นเตรียมวัตถุดิบและเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ พบว่า มีค่าใช้จ่ายต่อลิตรเท่ากับ 74.46 บาทต่อลิตร ส่วนที่สอง เกิดจากขั้นตอนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่ พบว่า มีค่าใช้จ่ายต่อลิตรเท่ากับ เท่ากับ 9.35 บาทต่อ ซึ่งหากคิดค่าใช้จ่ายรวมทั้งกระบวนการผลิตเท่ากับ 83.81 บาทต่อลิตร

#### ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันจากบ่อน้ำเสีย โดยการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันเพื่อแยกสารที่ไม่ทราบองค์ประกอบก่อนเข้าสู่ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูง และจากการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูง ซึ่งไม่คุ้มค่าในการลงทุนผลิต



## บรรณานุกรม

- กนกอร รัตนากิจ และ จินดา เจริญพรพาณิชย์. 2545. การพัฒนาไบโอดีเซลจากไขมันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 10 (เมษายน 2545), 1-6.
- กิตติภูมิ ศุภลักษณ์ปัญญา. 2548. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยกรรมวิธีโอโซเนชันเชิงเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาซัลโฟเนตวานาเดียม-ไททานเนียมและแอมเบอร์ลิสต์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กิตติศักดิ์ ทวีสิน โสภาก. 2549. การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มหีบรวมโดยใช้กระบวนการผลิตแบบ Esterification และ Transesterification. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- คณะกรรมการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. 2545. พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล.
- คู่จันทร์ จันทร์ทองอ่อน. 2549. การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเสียในบ่อน้ำทิ้งจากโรงงานปาล์ม. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เฉลิมพร ณ พัทลุง. 2549. ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราและการประยุกต์ใช้งาน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ญาใจ วิฑยะพงศ์. 2548. การใช้ประโยชน์ของไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันโดยใช้เอนไซม์ไลเปสวิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชาคริต ทองอุไร, สันหทัย กลิ่นพิกุล, จริญญา บุญกาญจน์ และพิมพ์พรณ เกียรติชิมกุล. 2544. การผลิตไบโอดีเซลจากผลิตผลปาล์มน้ำมัน, ว. สงขลานครินทร์ วทท. 23(ฉบับพิเศษ): 831-841.

นวลศรี เอิบกมล. 2546. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ทรงธรรม บุรณะ. 2551. การผลิตไบโอดีเซลจากไขสบู่ที่ได้จากกระบวนการทำให้เป็นกลางของ น้ำมันปาล์มดิบ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ปารีสสา กาญจนกุล. 2550. เรื่องไบโอดีเซล. Available from:

[http://www.fm100cmu.com/programs\\_detail.php?id\\_group=58&id=1122](http://www.fm100cmu.com/programs_detail.php?id_group=58&id=1122). Accessed Mar. 5, 2007.

ปิยะวรรณ กฤษเศรษฐกุล. 2548. การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยโซดาไฟ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรีชา มุณีศรี. 2539. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยจุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปวีณา พงษ์คนตรี. 2547. โรงงานชีวภาพสำหรับผลิตกรดไขมันเพื่ออุตสาหกรรม. ว. วิทย. มข. 32(1) : 23 – 54

ผาสุข กุลละวณิชย์, สันหัชชัย กลิ่นพิกุล, เนศวร์ ศรีไพบุลย์, ชิต ลีมวรพันธ์ และสุธาสินี แซ่ฉิม. 2531. รายงานฉบับสมบูรณ์ เรื่องโครงการแปรรูปผลิตภัณฑ์และพัฒนาการตลาดของโรงงานหีบน้ำมันปาล์มขนาดเล็กอันเนื่องมาจากพระราชดำริมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พูนสุข ประเสริฐสรรพ, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และอรัญ หันพงศ์กิตติกุล. 2533. กระบวนการผลิตการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือ และคุณลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานปาล์ม. ว.สงขลานครินทร์ 12(2) : 169 – 176.

พูนสุข ประเสริฐสรพรพ์, อรัญ หันพงษ์กิตติกุล, และ โสภา จันทภาโส. 2544. ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้เอนไซม์จาก *Aspergillus niger* ATCC 6275 ที่เลี้ยงบนกากปาล์ม. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 23 (ฉบับพิเศษ) : 797 – 806.

ไพจิตร จันทรวงศ์. 2530. คู่มือการใช้ประโยชน์และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันพืชและน้ำมันพืช 52 ชนิด. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

รติกร อดงกรณ์ โชติกุล. ไป โอดีเซล. [http://www.dss.go.th/dssweb/st-ticles/files/cp\\_3\\_2549\\_biodiesel.pdf](http://www.dss.go.th/dssweb/st-ticles/files/cp_3_2549_biodiesel.pdf)  
Accessed Feb. 23, 2006.

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2540. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม. กรุงเทพฯ : สำนักงานเลขาธิการคณะรัฐมนตรี.

สำนักงานนโยบายและแผนพัฒนาพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2549. สร้างโอกาสจากวิกฤตด้วยก๊าซชีวภาพ. [http://www.thaibiogas.com/showcase\\_desc.php?ShowID=6](http://www.thaibiogas.com/showcase_desc.php?ShowID=6) Accessed Dec. 21, 2007.

สุภาวดี เฟื่องคง. 2550. จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันสำหรับไป โอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฟอสโฟทังสเตนออกไซด์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศิริพร ก่านกร. 2544. ไป โอดีเซล พลังงานเพื่อทางเลือกของชาติ, วิศวกรรมศาสตร์. 110-116.

อรัญ หันพงษ์กิตติกุล, พูนสุข ประเสริฐสรพรพ์, กัลยา ศรีสุวรรณ, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, และวีระศักดิ์ ทองลิ้มปี. 2537. การศึกษาวิธีการแยกน้ำมันจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โครงการย่อย : การศึกษาในห้องปฏิบัติการ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อภัสตรา ฆมิคัจ. 2537. ลิปัด. ชิวเคมี. หน้า 187 – 217. กรุงเทพฯ : เค.ยู.เพลส.

Abrose N. Anozie และ Joselin M. Dzoho (2006)

- Bradshaw, G.B. and Meuly, W.C. 1944. Preparation of detergents. US Patent; 2(360):844.
- Canakci, M. and Van Gerpen, J. 2001. A Pilot plant to produce biodiesel from high free fatty acid feedstocks, presented as paper no. 016049 at the 2001 ASAE Annual International Meeting Sacramento Convention Center Sacramento, California, USA. 2001.
- Crabbe, E. ; Nolassco-Hipolito, C. ; Kobayashi, G. and Sonomoto, K. 2001. Biodiesel production from crude palm oil and evaluation of butanol extraction and feul properties. *Process Biochemistry*. 2001, 37 : 65-71.
- Eiji Minami, Shiro Saka. 2006. Kinetics of hydrolysis and methyl esterification for biodiesel production in two-step supercritical methanol process. *Fuel* 85:2479–2483.
- Feuge, R.O. and Grose, T., 1949. Modication of vegetable oils. VII. alkali catalyzed interesterication of peanut oil with ethanol. *JAOCS*; 26: 97-102.
- Freedman, B., Pryde, E.H. and Mounts, T.L. 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *JAOCS*; 61: 1638–1643.
- Gelen J.S.; Mohanprasad A.D.;Eric J.D.;Pratik J.M. and Michael J.G. 2003. Transesterification of soybean oil with zeolite and metal catalysts, *Applied Catalysis A*. 257:213-223.
- Hui, Y.H. 1996. Plam oil. *Bailey’s Industrial Oil and Fat Products*. Vol. II : Edible oil and fat : Oil and oilseeds, pp. 271 -376. New York : Jonh wiley and sons, INC.
- Hui, Y.H. 1996. *Bailey’s Industrial OIL & Fat Products*, 5<sup>th</sup> ed : Volume 5 Industrial and Consumer Nonedible Product from Oil and Fat : Wiley – Interience Publication.
- J.M. Marchetti, V.U. Miguel, A.F. Errazu. 2007. Heterogeneous esterification of oil with high amount of free fatty acids. *Fuel*. 86 : 906-910.

Ma, F. and Hanna, M.A. 1999. Biodiesel production : a review. *Bioresource Technology*. 70:1-50.

Ramadhya, A., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil, *Fuel*. 84:335-340.

Sprules, F.J. and Price, D., 1950. Production of fatty esters. US Patent; 2: 366-494.

Zhang, Y.; Dube, M.A.; Mclean, D.D. and Kates, M. 2003. Biodiesel production from waste cooking oil : 2. Economic assessment and sensitivity analysis *Bioresource Technology*. 2003, 90 : 299-240

[http://www.thamapring.com/Pingpong\\_web/BioMolecular.htm](http://www.thamapring.com/Pingpong_web/BioMolecular.htm) (Accessed : 16/12/2007)

<http://www.jobpub.com/articles/showarticle.asp?id=2052> (Accessed : 23/3/ 2009)

[http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/adv\\_disadv.php](http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/adv_disadv.php) (Accessed : 28/6/2008)

<http://itc.cric.ac.th/skillweb/team3/engine%20effective.htm> (Accessed : 6/7/ 2008)

**ภาคผนวก**

## ภาคผนวก ก

### วิธีการวิเคราะห์

#### 1. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำในน้ำมันด้วยวิธี Karl Fisher

Karl Fisher เป็นชื่อนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันที่ผู้คิดค้นวิธีวิเคราะห์หาความชื้นขึ้นจึงได้รับเกียรติให้เป็นชื่อเครื่องมือ สามารถหาความชื้นได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นของเหลวของแข็งและแก๊สได้ เป็นวิธีที่สะดวกและใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น จึงได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เช่น งานทางด้านเภสัชศาสตร์ ทางปิโตรเลียม เป็นต้น

Karl Fisher เป็นเครื่องวัดปริมาณน้ำตัวอย่าง โดยฉีดสารตัวอย่างลงไปในการละลายไอโอไดต์ ทำให้ไอโอไดต์เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนให้แก่สารละลายแคโทไลต์ ซึ่งในสารละลายแคโทไลต์จะมีไฮโดรเจนไอออนอยู่ ทำให้เมื่อไฮโดรเจนไอออนรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งเครื่อง Karl Fisher นี้ จะวัดปริมาณน้ำจากปริมาณอิเล็กตรอนที่ไอโอไดต์สูญเสียไป

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 มิลลิลิตร

- ตวงน้ำยา Karl Fischer ที่ใช้สำหรับ Cathode ลงในส่วนของ Cell ภายในประมาณ 5 มิลลิลิตร
- ปิดช่องต่างๆให้สนิทด้วย 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 โดยอัตโนมัติ สังเกตหน้าจอจะแสดง Bar Graph เมื่อ Bar Graph เข้าใกล้เส้นแบ่งที่กลางหน้าจอ แสดงว่าน้ำที่มีอยู่ใน Titration Beaker หมดแล้ว และเครื่องจะเข้าสู่ Standby Mode และพร้อมทำงานในขั้นตอนอื่นต่อไป
- 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
- → แสดงว่าค่า Drift คงที่ สามารถเริ่มการทำงานขั้นตอนต่อไปได้
- ↘ แสดงว่าค่า Drift ไม่คงที่ และกำลังลดลง ไม่ควรเริ่มการทำงานขั้นตอนต่อไป

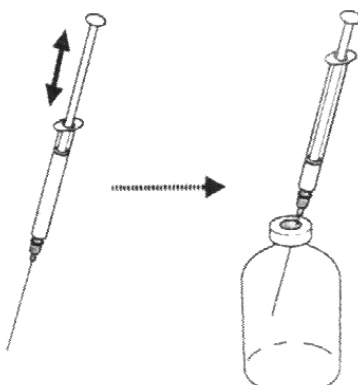


- ➔ แสดงว่าค่า Drift ไม่คงที่ และกำลังเพิ่มขึ้น ไม่ควรเริ่มการทำงาน  
ขั้นตอนต่อไป

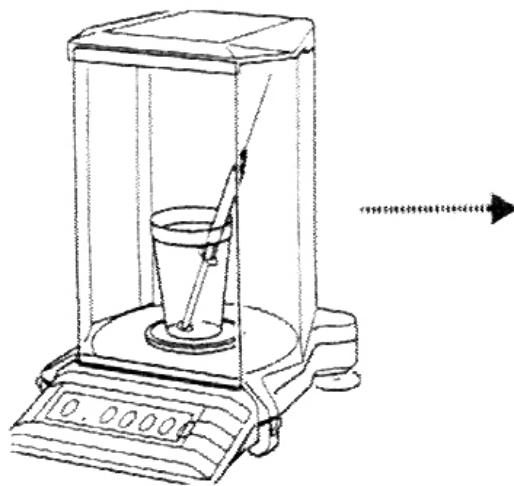
- ขั้นตอนการหาค่าปริมาณน้ำในตัวอย่าง ( Sample Mode )

(เครื่องจะต้องอยู่ใน Standby Mode เท่านั้น จึงจะทำงานใน Sample Mode ได้)

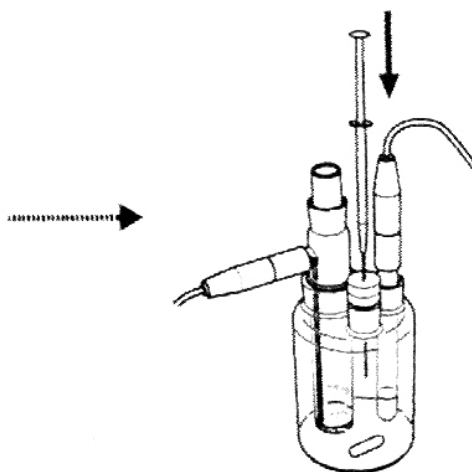
1. กด F3 Sample           เลือกหาค่าปริมาณน้ำในตัวอย่าง
2. กด เป็นตัวเลข       เพื่อเติมเวลา Mix Time ก่อนเริ่มไตเตรทเพื่อให้สาร  
ตัวอย่างละลาย
3. กด F3 OK             เพื่อยืนยันการเติมค่า Mix Time
4. กด F3 OK             หน้าจอปรากฏข้อความ Please add sample min-  
max g
5. เติมตัวอย่างลงใน Titration Beaker
- 5.1 ล้าง Syringe ด้วยตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ 2- 3 ครั้ง
- 5.2 ดูดตัวอย่างเข้า Syringe เช็ดปลายเข็มให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู



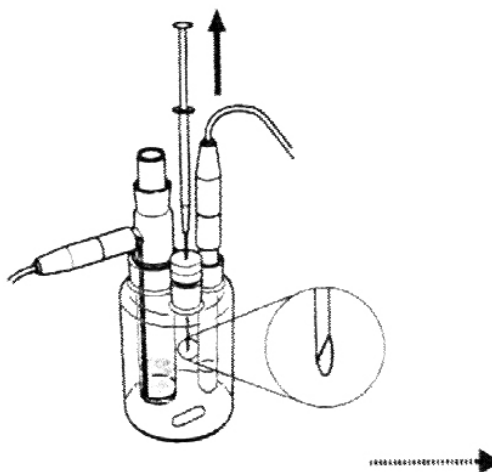
- 5.3 ชั่ง Syringe ในข้อ 5.2 ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง โดยการกลับด้านของ Syringe วางในบีกเกอร์ ตามรูป แล้วกดปุ่ม Tare ที่เครื่องชั่ง ให้น้ำหนักเครื่องชั่งปรากฏเลข 0



5.4 น็อคตัวอย่างลงใน Titration Cell ผ่าน Septum Stopper



5.5 ขณะฉีดสารตัวอย่าง พยายามอย่าให้มีหยดของตัวอย่างค้างที่ปลายเข็ม ถ้ามีหยดตัวอย่างค้างที่ปลายเข็มให้ฉีดลงใน Titration Cell ให้หมด แล้วดึงที่กดขึ้นมาเล็กน้อย ดูในรูป



- 5.6 ดึง Syringe ออก แล้วนำไปซั๊งใหม่จะได้น้ำหนักสารที่ฉีดลงใน Titration Cell
6. กด F3 OK เครื่องจะเริ่มไตเตรท เพื่อหาค่าน้ำ
7. กด F1 Sample
8. กด แป้นตัวเลข เพื่อใส่ น้ำหนักตัวอย่างตามที่ซั๊งได้ในข้อ 5.6
9. กด F3 OK เพื่อ Confirm ค่าน้ำหนักของสารตัวอย่าง  
เครื่องจะเริ่มไตเตรท ขณะที่เครื่องกำลังทำงานอยู่นั้น สามารถกดเป็น F1/F2 หรือ F3 เพื่อดูข้อมูลในการไตเตรทได้ เช่น ค่า Drift/ค่า mg น้ำ/เวลาที่ใช้ในการไตเตรท เป็นต้น  
เมื่อเครื่องไตเตรทเสร็จ จะคำนวณค่าปริมาณน้ำในตัวอย่าง และแสดงผลที่หน้าจอ  
ถ้าต้องการหาค่าตัวอย่างต่อไป ให้กด F3 OK เครื่องจะกลับไป Standby Mode และสามารถเริ่มการหาค่าตัวอย่างต่อไปได้ทันที

## 2. การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

### 2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ในขวดวัดปริมาตร และเก็บสารละลายต่างในขวดแก้ว
3. ฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 1 (ละลายในแอลกอฮอล์)
4. สารละลายแอลกอฮอล์ ที่ปรับสภาพให้เป็นกลาง โดยเติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด ลงในแอลกอฮอล์ 95% จำนวน 200 มิลลิลิตร แล้วหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล ทีละหยดพร้อมทั้งเขย่าจนได้สีชมพูถาวร

### 2.2 วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-10 กรัม ทศนิยมอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายแอลกอฮอล์ที่มีสภาพเป็นกลาง จำนวน 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างน้ำมันละลายในสารละลายแอลกอฮอล์
3. เติมฟีนอล์ฟทาลีนประมาณ 5 หยด แล้วไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งได้สีชมพูถาวร
4. คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระจากสูตร

$$\%FFA = \frac{\text{ปริมาณต่างที่ใช้ (ml)} \times \text{ความเข้มข้นต่าง (นอร์มอล)} \times 25.6}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

### 3. ความหนาแน่น (Density)

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากของน้ำมัน โดยเฉพาะในด้านการซื้อขาย เพราะส่วนใหญ่ทำการซื้อขายกันตามปริมาตรที่อุณหภูมิมาตรฐาน ในด้านคุณภาพของน้ำมัน ค่า gravity เมื่อใช้ร่วมกับคุณสมบัติอื่น ๆ อาจบอกถึงองค์ประกอบของน้ำมันและความเหมาะสมในการใช้งานด้วย

#### 3.1 หลักการ

ปรับอุณหภูมิตัวอย่างให้ได้ตามที่ต้องการ และเทใส่ลงในกระบอกตวงที่มีอุณหภูมิเดียวกับตัวอย่าง จุ่ม hydrometer ลงในตัวอย่าง อ่านสเกลจาก hydrometer และบันทึกอุณหภูมิขณะนั้นด้วย แล้วนำไปปรับค่าเป็นความหนาแน่นที่ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้ตารางมาตรฐาน

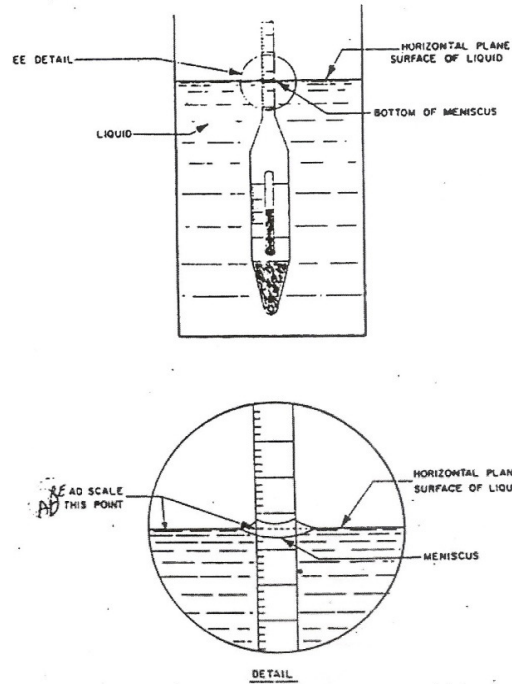
#### 3.2 อุปกรณ์

1. Hydrometer ต้องได้มาตรฐานตาม ASTM
2. เทอร์โมมิเตอร์ ต้องได้มาตรฐานตาม ASTM
3. กระบอกตวง เส้นผ่าศูนย์กลางภายในอย่างน้อย 25 มม. ต้องใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของ hydrometer ที่ใช้ และมีความสูงพอเหมาะให้ hydrometer ลอยในตัวอย่าง โดยมีระยะห่างระหว่างกันของ hydrometer และกระบอกตวงอย่างน้อย 25 มม.
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ

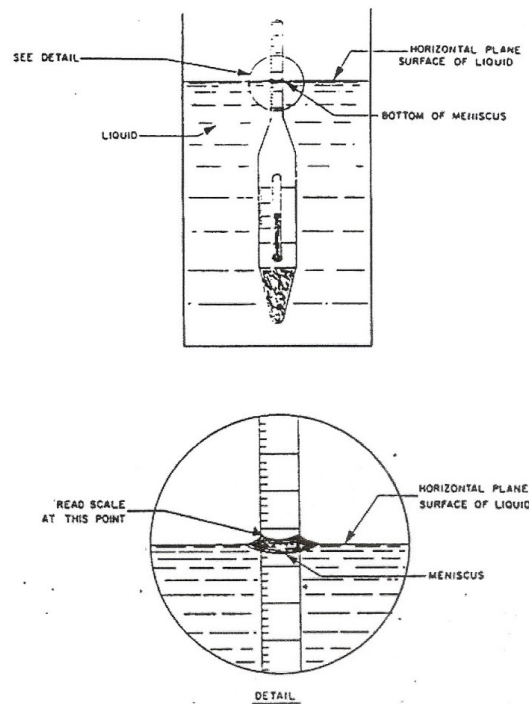
#### 3.3 วิธีการทดสอบ (ASTM D-1298)

1. ปรับอุณหภูมิของตัวอย่าง กระบอกตวง และเทอร์โมมิเตอร์ ให้มีอุณหภูมิเท่ากัน
2. เทตัวอย่างลงในกระบอกตวงที่สะอาดและแห้งสนิท ถ้ามีฟองที่ผิวให้ใช้กระดาษกรองและที่ผิวให้ฟองอากาศหมดไป
3. วางกระบอกตวงในแนวตั้ง ต้องไม่มีกระแสลมและไม่สัมผัสเทียน อุณหภูมิต้องไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง
4. ค่อยๆ วาง hydrometer ลงในตัวอย่าง พร้อมกับคนตัวอย่างด้วยเทอร์โมมิเตอร์ บันทึกอุณหภูมิ แล้วเอาเทอร์โมมิเตอร์ออก
6. กด hydrometer ลงในตัวอย่างประมาณสองสเกล แล้วปล่อยให้มันที่ ก้านของ hydrometer ที่อยู่เหนือของเหลวจะต้องแห้ง และ hydrometer จะต้องนิ่ง และลอยอย่างอิสระ ไม่สัมผัสกับกระบอกตวง

7. อ่านค่าความหนาแน่นจาก hydrometer



ภาพประกอบที่ ก.1 การอ่านค่าความหนาแน่นจาก hydrometer สำหรับตัวอย่างที่มีความโปร่งใส



ภาพประกอบที่ ก.2 การอ่านค่าความหนาแน่นจาก hydrometer สำหรับตัวอย่างที่ทึบแสง

#### 4. จุดไหลเท (Pour Point)

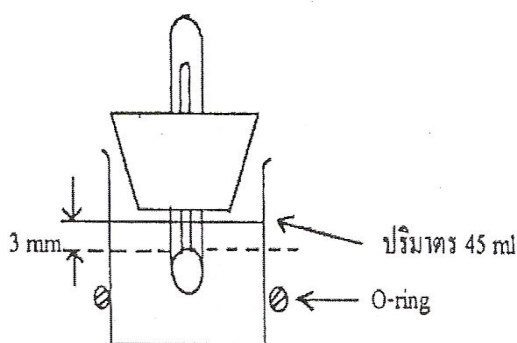
คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้

##### 4.1 หลักการ

ทดสอบโดยนำน้ำมันใส่หลอดแก้ว แล้วแช่ให้เย็นลงเรื่อยๆ ในอ่างทำความเย็น (ใช้แอลกอฮอล์ผสมกับน้ำแข็งแห้ง) และคอยเอาน้ำมันมาตรวจดู จนถึงจุดที่น้ำมันจะเริ่มแข็งตัวและไม่ไหล เมื่อถือหลอดตามแนวนอนเป็นเวลา 5 นาที จุดไหลเทจะเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดนี้ 3 องศาเซลเซียส จุดไหลเทมีประโยชน์ ทำให้ทราบว่าใช้น้ำมันในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำขนาดนั้นไม่ได้ เพราะน้ำมันจะไม่ไหล ไขที่มีอยู่ในน้ำมันจะแยกตัวออกมาอุดตันทางเดินและหม้อกรอง ทำให้อุปกรณ์ทำงานไม่ได้ จุดไหลเทจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณลักษณะของไขที่มีอยู่ในน้ำมัน น้ำมันที่มีปริมาณไขสูงก็จะมีจุดไหลเทสูง

##### 4.2 การวิเคราะห์จุดไหลเท (Pour Point ; ASTM-D97)

1. เขย่าตัวอย่างและเทใส่หลอดแก้วทดสอบเท่าขีดบอกระดับ (45 มล.) เสียบเทอร์โมมิเตอร์ 5C ดังรูป



2. อุ้มตัวอย่างให้ได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และย้ายตัวอย่างสู่อ่างน้ำ 24 องศาเซลเซียส (ตั้งไว้ ณ อุณหภูมิห้อง)

### 3. ให้ควบคุมการลดลงของอุณหภูมิตัวอย่างดังนี้

เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้	ย้ายหลอดแก้วลงตู้อ่างแอลกอฮอล์
27°C	0°C
9°C	-18°C
-6°C	-33°C
-24°C	-51°C
-42°C	-69°C

หมายเหตุ : การปรับอุณหภูมิอ่างแอลกอฮอล์ ใช้น้ำแข็งแห้งใส่ทางฝาเปิดอ่างเปิดมอเตอร์ขับใบกวนให้ระดับอุณหภูมิในอ่างสม่ำเสมอ

4. เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างได้ 9 องศาเซลเซียส เหนือจุดไหลเท (ลาดการณ) ให้ยกหลอดแก้วขึ้นจากอ่างทดสอบ เอียงหลอดแก้ว ถ้าตัวอย่างยังไหลได้ให้คืนหลอดแก้วลงตู้อ่างเหมือนเดิม (ขั้นตอนนี้ไม่เกิน 3 วินาที)

5. กระทำซ้ำเหมือนข้อ 4 ทุก ๆ อุณหภูมิตัวอย่างที่ลดลง 3 องศาเซลเซียส จนกระทั่งพบว่าตัวอย่างเป็นไขแข็งตัว (100%) ให้เอียงหลอดแก้วในแนวระนาบต่อเนื่อง 5 วินาที ถ้าตัวอย่างไม่มีการไหลตัวให้หยุดการทดสอบ

6. รายงานผลจุดไหลเท = อุณหภูมิสุดท้ายที่ตัวอย่างเป็นไขแข็งตัว +3 องศาเซลเซียส



## 5. จุดขุ่น (Cloud Point)

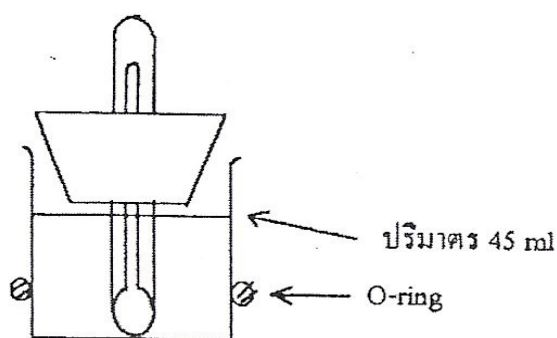
คือ อุณหภูมิที่ไขเริ่มตกผลึกเห็นเป็นฝ้า จุดขุ่นมักจะสูงกว่าจุดไหลเทเล็กน้อยหรืออาจจะเท่ากันก็ได้ จุดขุ่นมีความสำคัญเป็นพิเศษสำหรับน้ำมันดีเซล เพราะการที่ไขเริ่มตกผลึกออกมานั้น อาจทำให้หม้อกรองตันได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สูบน้ำมันไม่ได้ แม้ว่าตัวน้ำมันเองยังไหลได้อยู่ก็ตาม

### 5.1 หลักการทดสอบ

นำน้ำมันใส่หลอดแก้ว แล้วแช่ให้เย็นลงเรื่อยๆ ในอ่างทำความเย็น (แอลกอฮอล์ผสมกับน้ำแข็งแห้ง) และคอยเอน้ำมันมาตรวจดูที่ก้นหลอด จนกระทั่งพบว่ามีฝ้าเกิดขึ้นเต็มก้นหลอด อุณหภูมิที่จุดนั้นคือ จุดขุ่น

### 5.2 การวิเคราะห์หาจุดขุ่น (Cloud Point ; ASTM-D 2500)

1. เขย่าตัวอย่าง และเทใส่หลอดแก้วทดสอบเท่าขีดบอกระดับ (45 มล.) เสียบเทอร์โมมิเตอร์ 5C ดังรูป



2. นำหลอดแก้วไปอุ่นในอ่างความร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิตัวอย่างสูงกว่าจุดขุ่น (ภาคการณ 14 องศาเซลเซียส)

### 3. ให้ควบคุมการลดลงของอุณหภูมิตัวอย่าง ดังนี้

เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้	ย้ายหลอดแก้วลงสู่อ่างแอลกอฮอล์
27°C	0°C
9°C	-18°C
-6°C	-33°C
-24°C	-51°C
-42°C	-69°C

หมายเหตุ : การปรับอุณหภูมิอ่างแอลกอฮอล์ ใช้น้ำแข็งแห้งใส่ทางฝาเปิดอ่างเปิดมอเตอร์จับใบกวนให้ระดับอุณหภูมิในอ่างสม่ำเสมอ

4. ทุก ๆ อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ที่ลดลง ให้ยกหลอดแก้วขึ้นจากอ่างทดสอบในแนวตั้ง สังเกตความขุ่น (การก่อตัวของไข) จากด้านบนของหลอดแก้ว ถ้ายังไม่เต็มพื้นที่ก้นหลอด ให้คืนหลอดแก้วลงอ่างเหมือนเดิม (ขั้นตอนนี้ไม่เกิน 3 วินาที)

5. ถ้าพบว่าจุดขุ่นเต็มพื้นที่ก้นหลอดแก้วแล้ว ให้บันทึกอุณหภูมินั้นไว้และรายงานผลเป็นจุดขุ่น

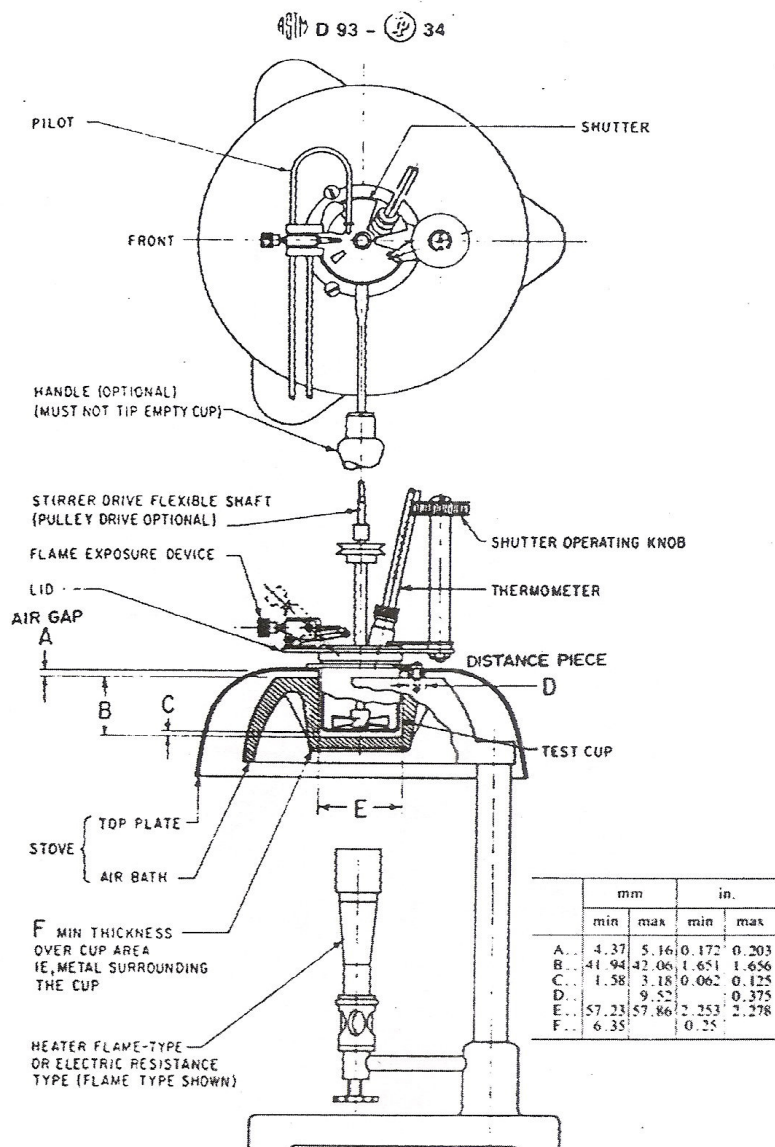
## 6. จุดวาบไฟ (Flash Point)

คือ อุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่ทำให้เกิดไอน้ำมันเป็นปริมาณมากพอ และเมื่อสัมผัสเปลวไฟก็จะลุกไหม้ทันที การหาจุดวาบไฟใช้วิธี ASTM D-93 ซึ่งเป็นเครื่องมือพิเศษเรียกว่า pensky martens closed cup ดังแสดงภาพประกอบที่ ก.3 และ ก.4

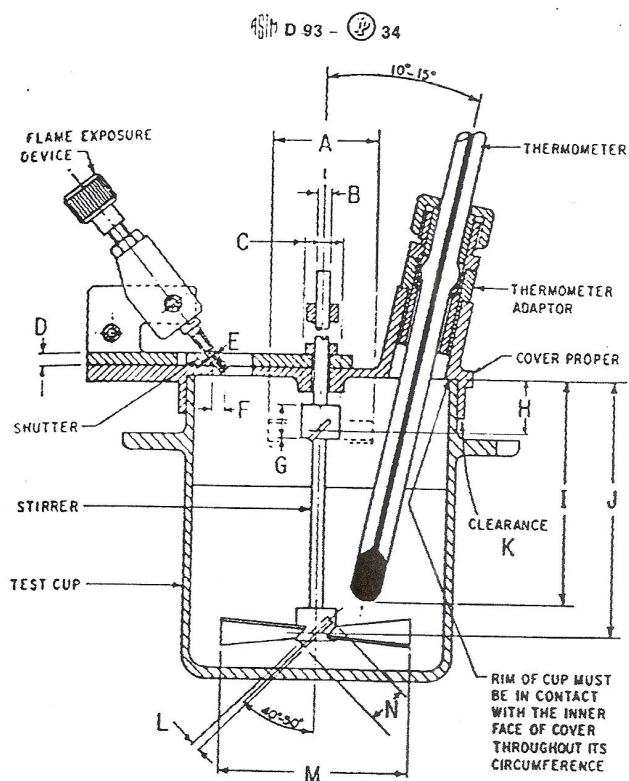
### 6.1 วิธีหาจุดวาบไฟแบบปิด (Flash Point by Pensky Martens Closed Cup ;

#### ASTM-D 93)

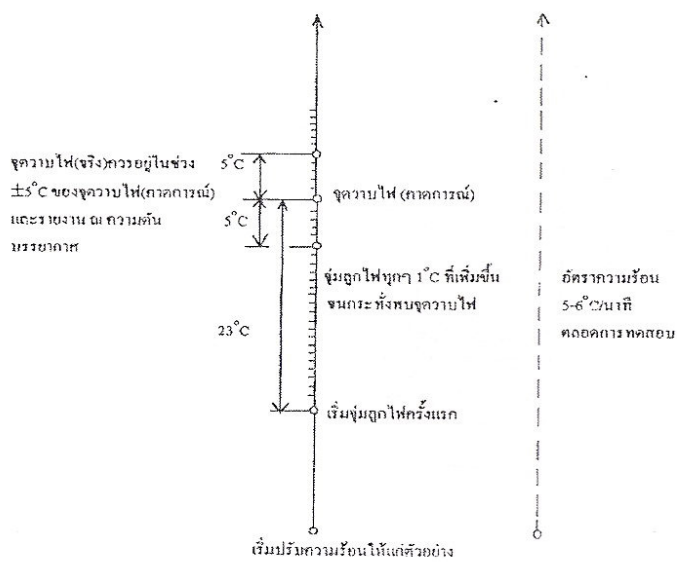
1. เทตัวอย่างลงในถ้วยโลหะทดสอบ ปริมาตรเท่าขีดบอกระดับภายในถ้วย
2. วางถ้วยลงในเตาทดสอบ (ตรงตามร่องบากทั้งสาม) ประกอบฝาครอบถ้วย (ให้ร่องบากตรงกับด้ามจับ) เสียบ thermometer 9C และสายกวนตัวอย่างเข้ากับฝาครอบถ้วย
3. เปิดแก๊สเข้าระบบ และปรับลูกไฟ ignitor ให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม.
4. Switch on สายกวนตัวอย่าง และหมุนปรับ heater (การปรับจะกระทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อควบคุมอัตราการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง 5-6 องศาเซลเซียสต่อนาที ตลอดการทดสอบ)
5. เริ่มจุ่มลูกไฟ (สายกวนจะหยุดตัวเองอัตโนมัติ ขณะจุ่มลูกไฟ) เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้ 23 องศาเซลเซียส ก่อนถึงจุดวาบไฟ (คาดการณ์) ควบคุมเวลาในการจุ่มให้ได้ 1 วินาทีต่อครั้ง
6. จุ่มลูกไฟต่อเนื่องทุก ๆ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส กระทั่งพบจุดวาบไฟ ถ้าจุดวาบไฟ (จริง) อยู่ในช่วง  $\pm 5$  องศาเซลเซียส ของจุดวาบไฟ (คาดการณ์) ให้ทำการทดสอบใหม่ โดยเลือกจุดวาบไฟ (คาดการณ์) ใหม่ให้ใกล้เคียงกับจุดวาบไฟ (จริง) และรายงานผลจุดวาบไฟ ณ ความดันบรรยากาศ (760 มม.ปรอท)



ภาพประกอบที่ ก. 3 เครื่องหาจุดวาบไฟ



ภาพประกอบที่ ก. 4 ถ้วยใส่ตัวอย่างพร้อมฝา



ภาพประกอบที่ ก.5 กราฟแสดงขั้นตอนการทดสอบหาจุดวาบไฟแบบปิด (ASTM-D 93)

## 7. ความหนืด (Viscosity)

หมายถึง แรงเสียดทานหรือแรงต้านทานการไหล ความหนืดเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของไหล ความหนืดของน้ำมันมีความสำคัญมากในการใช้งาน เพราะเป็นเครื่องบอกถึงความต้านทานการไหลตัวของน้ำมันและบอกถึงคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิว ดังนั้น ข้อกำหนดคุณภาพของน้ำมันเครื่องบินไอพ่น น้ำมันดีเซลรอบสูงและรอบต่ำ น้ำมันเตาและน้ำมันหล่อลื่น จึงต้องมีข้อกำหนดความหนืดที่เหมาะสมบังคับไว้ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์สองอย่างหลัง ค่าความหนืดจะเป็นการแบ่ง grade ของน้ำมันด้วย

การหาความหนืดของของเหลวทำได้โดยการวัดอัตราการไหลของของเหลวที่ผ่านหลอดเล็ก ๆ (capillary tube) สำหรับของเหลวที่ไหลผ่านหลอดเล็ก ๆ ซึ่งมีรัศมี  $r$  ในช่วงเวลา  $t$  โดยมีความแตกต่างของความดันที่ทำให้เกิดการไหลที่ปลายหลอดทั้งสองข้างเท่ากับ  $P_1 - P_2$  โดยที่ปริมาตรของของเหลวที่ไหลผ่านหลอดเล็ก ๆ หาได้จากสมการของมีวเซลล์ (Poiseuille's Equation) คือ

$$V = \frac{\pi r^4 t (P_1 - P_2)}{8\eta L} \quad (1)$$

เมื่อ

$L$  คือ ความยาวของหลอดเล็ก ๆ

เครื่องมือวัดความหนืด (viscometer) ของของเหลวที่นิยมใช้ทั่วไปคือ ออสวอลด์ วิสโคซิมิเตอร์ โดยวัดเวลา ( $t$ ) ที่ปริมาตรของของเหลวจำนวนหนึ่งไหลผ่านหลอดเล็ก ๆ ซึ่งอยู่ในแนวตั้ง จากสมการ (1) ต้องรู้ค่ารัศมี ( $r$ ) ความยาวของหลอด ( $L$ ) และความแตกต่างของความดัน ( $P_1 - P_2$ ) ซึ่งสามารถหาได้โดยวัดอัตราการไหลของของเหลวที่ทราบค่าความหนืดแล้ว (คือ เป็นของเหลวเปรียบเทียบ) โดยใช้เครื่องมืออันเดียวกัน จากนั้นก็จะหาค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดของของเหลวที่ต้องการจากสมการต่อไปนี้

$$\eta = \frac{\eta_r t \Delta P}{t_r \Delta P_r} = \frac{\eta_r t \rho_r}{t_r \rho_r} \quad (2)$$

$$\Delta P = \rho g L$$

เมื่อ

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของเหลว ( $\text{g/cm}^3$ )

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $\text{cm/s}^2$ )

$L$  คือ ความยาวของหลอดเล็ก ๆ ( $\text{cm}$ )

และ

$\rho_r$ ,  $t_r$  และ  $\eta_r$  คือ ความหนาแน่น เวลาของการไหล และความหนืดของของเหลวที่เป็นตัวเปรียบเทียบ (reference)

สำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดจะแตกต่างกันสำหรับของเหลวและก๊าซ โดยความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตามสมการ

$$\eta = A e^{E_a/RT} \quad (3)$$

เมื่อ

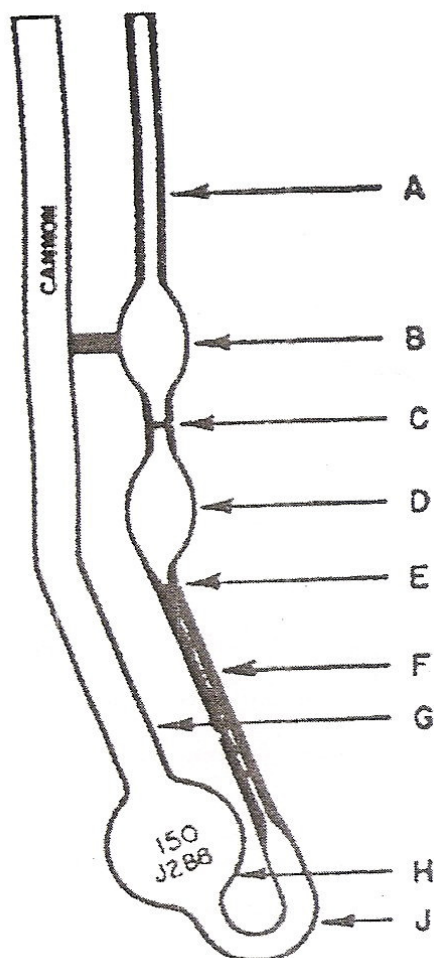
$E_a$  คือ พลังงานกระตุ้นของการไหล ( $\text{J/g.mol.K}$ ) ของเหลวต้องมีพลังงานสูงกว่าจึงจะไหลได้

$A$  คือ ค่าคงที่

$R$  คือ Ideal Gas Constant ( $\text{J/g.mol.K}$ )

$T$  คือ อุณหภูมิ ( $\text{K}$ )

สำหรับก๊าซ ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับของเหลว เนื่องจากค่าความหนืดจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิตลอดเวลา จึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิที่เครื่องวัดอย่างดี และการรายงานต้องบอกอุณหภูมิของการวัดด้วย



ภาพประกอบที่ ก.6 รูป Cannon Fenske Routine Viscometer for Transparent Liquids



ตารางที่ ก.1 การเลือกใช้วิสคอมิเตอร์ ต้องเลือกให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่จะทดสอบ

Size	$\text{mm}^2/\text{s}^2$ , (cSt/s)	Kinematic Viscosity Range $\text{mm}^2/\text{s}$ , (cSt)
25	0.002	0.5 to 2
50	0.004	0. to 4
75	0.008	1.6 to 8
100	0.015	3 to 15
150	0.035	7 to 35
200	0.1	20 to 100
300	0.25	50 to 250
350	0.5	100 to 500
400	1.2	240 to 1200
450	2.5	500 to 2500
500	8	1600 to 8000
600	20	4000 to 20000
650	45	9000 to 45000
700	100	20000 to 100000

### 7.1 วิธีทดสอบ

- ล้างวิสคอมิเตอร์ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วทำให้แห้งโดยเป่าด้วยลมที่แห้งและสะอาด ถ้ามีสารอินทรีย์ติดอยู่ในหลอดให้กำจัดด้วยของเหลวผสมระหว่างกรดโครมิกกับกรดซัลฟิวริก
- ถ้ามีผงฝุ่นหรือของแข็งอยู่ในตัวอย่างที่จะทดสอบ ให้กรองตัวอย่างผ่าน sintered glass หรือตะแกรงละเอียด
- บรรจุตัวอย่างที่จะทดสอบเข้าในวิสคอมิเตอร์ โดยคว่ำหลอดวิสคอมิเตอร์ และใช้แรงดูดที่ปลายด้าน G จุ่มปลายด้าน A ลงในตัวอย่างที่จะทดสอบ ให้ตัวอย่างไหลเข้าไปจนถึงระดับ E เช็ดปลายด้าน A ให้สะอาด แล้วกลับหลอดวิสคอมิเตอร์ให้อยู่ในแนวตั้ง

4. จับวิสคอมิเตอร์ด้วย Holder แล้วจุ่มวิสคอมิเตอร์ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ให้วิสคอมิเตอร์อยู่ในแนวตั้ง
5. ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที ในกรณีที่จะหาความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (เพื่อให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอ่าง) และ 15 นาที ในกรณีที่จะหาความหนืดที่ 100 องศาเซลเซียส
6. ใช้ลูกยางดูดตัวอย่างของเหลวที่ปลายด้าน A จนผิวของของเหลวที่ดูดขึ้นมาอยู่เหนือขีด C
7. จากนั้นปล่อยของเหลวให้ไหลลงไปโดยดึงลูกยางออก เริ่มจับเวลาตั้งแต่ของเหลวผ่านขีด C จนกระทั่งถึงขีด E (เวลาที่ใช้ต้องมากกว่า 200 วินาที หากเวลาน้อยกว่า 200 วินาที แสดงว่าเลือกขนาดของวิสคอมิเตอร์ไม่เหมาะสมกับตัวอย่าง ให้เปลี่ยนวิสคอมิเตอร์อันใหม่)
8. ทดสอบซ้ำ โดยทำซ้ำตามข้อ 6 และข้อ 7
9. ค่า kinematic viscosity ในหน่วย  $\text{mm}^2/\text{s}$  (cSt) เท่ากับ เวลาในหน่วยวินาที คูณด้วย viscometer constant

## 8. การวิเคราะห์หาจุดกลั่น (Distillation ; ASTM-D 86)

### 8.1 หลักการ

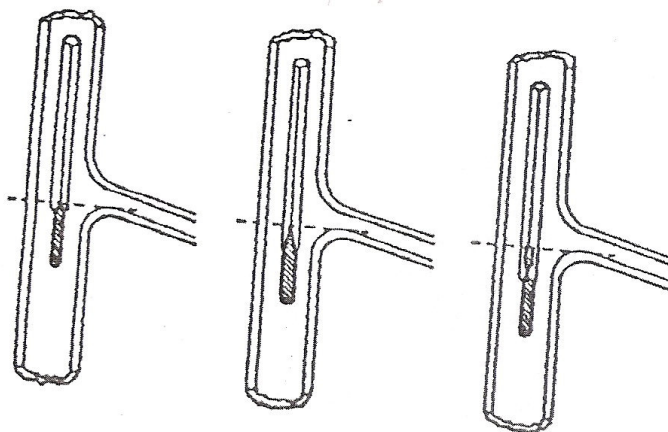
กลั่นตัวอย่าง 100 มล. ด้วยชุดกลั่นที่ได้มาตรฐานตาม ASTM สังเกตและบันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ขณะรองรับของเหลวที่กลั่นได้ในทรงกระบอก ในปริมาตรที่กำหนด แต่ถ้าไม่มีข้อกำหนดส่วนใหญ่จะวัดที่ initial boiling point, end point, 5% และ 95% และทุก ๆ 10% ระหว่างจุด 10% ถึง 90%

### 8.2 วิธีการ

1. ก่อนกลั่นต้องทำความสะอาด condenser ให้สะอาดและแห้ง โดยใช้ผ้าผุกดติดกับหลอดลากทะเล็ด condenser
2. ตวงตัวอย่าง 100 มล. ลงในขวดกลั่นขนาด 125 มล. ควรใส่เม็ดแก้วเพื่อป้องกันการเดือดอย่างรุนแรง
3. เสียบเทอร์โมมิเตอร์ที่ได้มาตรฐานตาม ASTM ตามรูป

3.1 Gasoline ใช้เทอร์โมมิเตอร์ 7C

3.2 Diesel ใช้เทอร์โมมิเตอร์ 8C



4. ประกอบขวดกลั่นให้แบนสนิทกับ condenser และกั้นขวดกลั่นสนิทกับแผ่น  
รองรับ

4.1 Gasoline ใช้แผ่นรองรับที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 38 มม.

4.2 Diesel ใช้แผ่นรองรับที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 50 มม.

5. ประกอบท่อนำแก๊สเข้ากับ condenser

6. ปรับอุณหภูมิของ condenser bath

6.1 Gasoline ประมาณ 0-4°C

6.2 Diesel ประมาณ 50°C (ใช้น้ำอุ่น)

7. เปิดสวิตซ์ให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง และควบคุมสถานะการกลั่นดังนี้

หยุดแรก (IBP)

ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที (สำหรับ Diesel)

หรือ 5-10 วินาที (สำหรับ Gasoline)

5%

ใช้เวลาประมาณ 60-75 วินาที (เฉพาะ Gasoline)

10% หยุดกลั่น

ควบคุมให้ได้ประมาณ 4-5 มล./นาที

20% หยดกลั่น	ควบคุมให้ได้ประมาณ 4-5 มล./นาฬิกา
30% หยดกลั่น	ควบคุมให้ได้ประมาณ 4-5 มล./นาฬิกา
40% หยดกลั่น	ควบคุมให้ได้ประมาณ 4-5 มล./นาฬิกา
50% หยดกลั่น	ควบคุมให้ได้ประมาณ 4-5 มล./นาฬิกา
60% หยดกลั่น	ควบคุมให้ได้ประมาณ 4-5 มล./นาฬิกา
70% หยดกลั่น	ควบคุมให้ได้ประมาณ 4-5 มล./นาฬิกา
80% หยดกลั่น	ควบคุมให้ได้ประมาณ 4-5 มล./นาฬิกา
90% หยดกลั่น	ควบคุมให้ได้ประมาณ 4-5 มล./นาฬิกา
93% หยดกลั่น	หยุดปรับความร้อน (ค้างไว้จนถึงอุณหภูมิสุดท้าย เฉพาะ Gasoline)
94% หยดกลั่น	หยุดปรับความร้อน (ค้างไว้จนถึงอุณหภูมิสุดท้าย เฉพาะ Diesel)
95% หยดกลั่น	ปล่อยอุณหภูมิขึ้นอย่างอิสระ
อุณหภูมิสุดท้าย (FBT,EP)	ไม่เกิน 5 นาที (นับจาก 94% เฉพาะ Diesel) หรือ ไม่เกิน 3-5 นาที (นับจาก 93% เฉพาะ Gasoline)

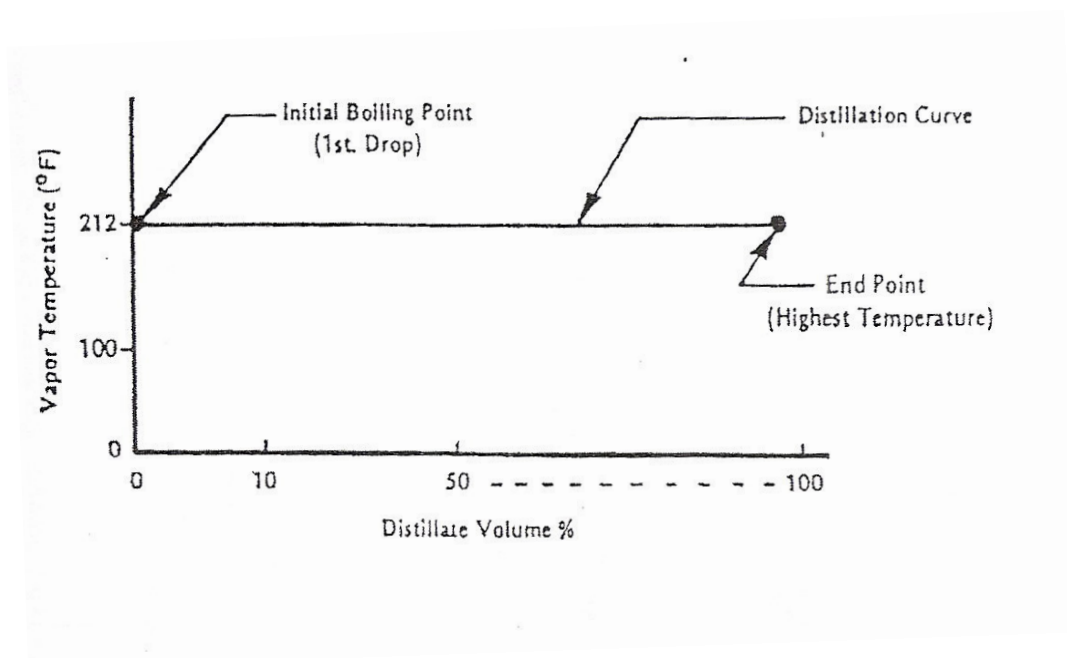
8. เมื่อหยุดแรกตกลง ให้อ่านอุณหภูมิทันที และอ่านอุณหภูมิทุกๆ จุดตามข้อ 7 (ยกเว้น 93% และ 94%) จนกระทั่งอุณหภูมิสุดท้าย (ถ้าไม่ต้องการอุณหภูมิสุดท้ายให้ปิดสวิทซ์ เครื่องทันที ณ 91% หยดกลั่น

หมายเหตุ : Gasoline ก่อนและหลังกลั่น อุณหภูมิควรใกล้เคียงกันประมาณ 13-18 องศาเซลเซียส Diesel ก่อนและหลังกลั่น อุณหภูมิควรใกล้เคียงกันประมาณอุณหภูมิห้อง

9. ถ้าต้องการทราบการสูญเสีย (loss) ให้กลั่นจนกระทั่งอุณหภูมิสุดท้าย (FBP) วัดตัวอย่างที่เหลือที่ก้นขวดกลั่น (residue) และปริมาณหยดกลั่นสะสม (recovery)

$$\% \text{ loss} = 100 - (\text{recovery} + \text{residue})$$

ปกติสารบริสุทธิ์จะมีจุดเดือดคงที่ตลอดเวลาการกลั่น ตามรูป แต่ถ้ามีสารปนเปื้อน จะทำให้มีการเบี่ยงเบนหรือเปลี่ยนไปของอุณหภูมิ

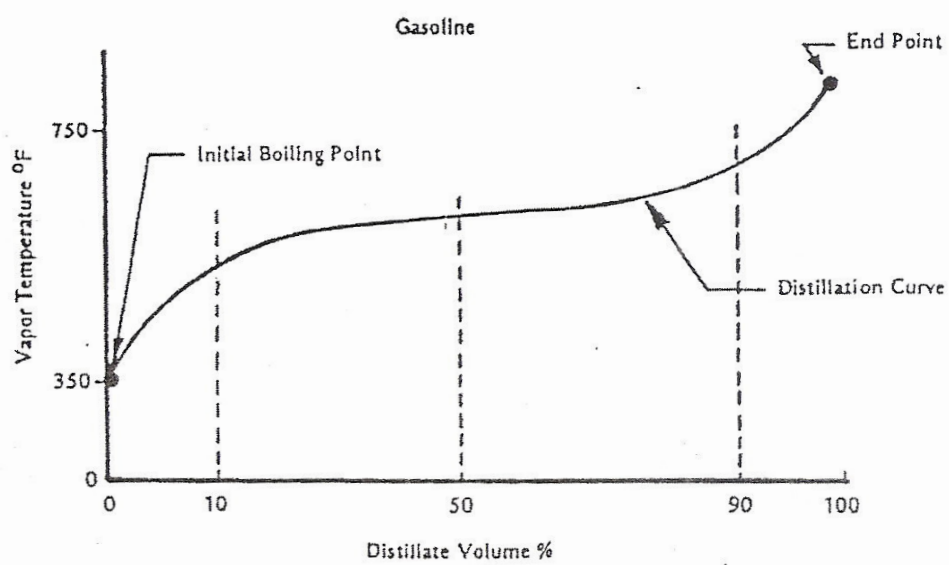


การกลั่นน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM ที่ 10, 50 และ 90% จะบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติของน้ำมัน ดังนี้

ที่ปริมาตร 10% จะบอกถึงการสตาร์ทเครื่องยนต์

ที่ปริมาตร 50% จะบอกถึงการเดินเครื่องยนต์ และอัตราเร่ง

ที่ปริมาตร 90% จะบอกถึงการไอเสียของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูป



## ภาคผนวก ข

### วิธีการคำนวณกระบวนการทดลอง

#### 1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่

ตารางที่ ข.1.1 ศึกษาอัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระต่อโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และ ปริมาณน้ำในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

อุณหภูมิ (°C)	เวลาทำปฏิกิริยา (นาที)	อัตราส่วนเชิงโมล (FFA:KOH)	น้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักของ FFA)
90	60	1:1	1
90	60	1:2	1
90	60	1:3	1
90	60	1:4	1
90	60	1:5	1
90	60	1:1	3
90	60	1:2	3
90	60	1:3	3
90	60	1:4	3
90	60	1:5	3
90	60	1:1	5
90	60	1:2	5
90	60	1:3	5
90	60	1:4	5
90	60	1:5	5
90	60	1:1	7
90	60	1:2	7
90	60	1:3	7
90	60	1:4	7
90	60	1:5	7

$X_1$  = อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระต่อโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

$X_2$  = ปริมาณน้ำในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ตารางที่ ข.1.2 ศึกษาเปอร์เซ็นต์และปริมาณสารละลายเกลือที่เหมาะสมในการ salting out เพื่อเพิ่มการแยกชั้นของสบู่ในสารละลาย

การทดลอง ที่	สัดส่วนเชิงโมล FFA : KOH % NaCl (%wt)	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
		ปริมาณ % NaCl (โดยน้ำหนักของสบู่)				
1	15%wt	1	1	1	1	1
2	15%wt	2	2	2	2	2
3	20%wt	1	1	1	1	1
4	20%wt	2	2	2	2	2
5	25%wt	1	1	1	1	1
6	25%wt	2	2	2	2	2

$X_3$  = เปอร์เซ็นต์สารละลายเกลือที่เหมาะสมในการ salting out

$X_4$  = ปริมาณสารละลายเกลือที่เหมาะสมในการ salting out

ตารางที่ ข.1.3 แสดงสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่

อัตราส่วนเชิงโมล (FFA:KOH)	น้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักของFFA)	% NaCl (%wt)	ปริมาณ % NaCl (โดยน้ำหนักของสบู่)
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$

## 2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จกสบู่

ตารางที่ ข.2.1 ศึกษาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา(ชม.)	อัตราส่วนเชิงโมล (Soap : MeOH)	% กรดซัลฟิวริก (โดยน้ำหนักสบู่)
85	4	1:14	15
85	4	1:14	20
85	4	1:14	25
85	4	1:14	30
85	4	1:14	35



$X_1$  = ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ตารางที่ ข.2.2 ศึกษาอัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลที่เหมาะสม

อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา(ชม.)	อัตราส่วนเชิงโมล (Soap : MeOH)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนักสบู่)
85	4	1:1	$X_1$
85	4	1:2	$X_1$
85	4	1:4	$X_1$
85	4	1:6	$X_1$
85	4	1:8	$X_1$
85	4	1:10	$X_1$
85	4	1:12	$X_1$
85	4	1:14	$X_1$
85	4	1:16	$X_1$

$X_2$  = อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลที่เหมาะสม

ตารางที่ ข.2.3 ศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา(ชม.)	อัตราส่วนเชิงโมล (Soap : MeOH)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนักสบู่)
85	2	$X_2$	$X_1$
85	4	$X_2$	$X_1$
85	6	$X_2$	$X_1$
85	8	$X_2$	$X_1$
85	10	$X_2$	$X_1$
85	12	$X_2$	$X_1$
85	14	$X_2$	$X_1$

$X_3$  = เวลาในการทำปฏิกิริยา(ชั่วโมง)ที่เหมาะสม

ตารางที่ ข.2.4 แสดงสภาวะการผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่เหมาะสม

ตัวเร่งปฏิกิริยา (%โดยน้ำหนักสบู่)	อัตราส่วนเชิงโมล (Soap : MeOH)	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา(ชม.)	อุณหภูมิ (°C)
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	85

## ภาคผนวก ค

## ข้อมูลการวิเคราะห์

## 1. ผลการวิเคราะห์ % Yield ของสบู่ที่ผ่านปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชัน

## 1.1 การศึกษาอัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) ต่อโปแตสเซียม (KOH) กับ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชัน

ตารางที่ ค.1 เปรี่เซนต์ผลได้ของสบู่ที่แยกชั้นได้ดีกับสารละลาย

สภาวะ : ใช้อัตราส่วนเชิงโมลของกรดไขมันอิสระ (FFA) : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 โดยใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 7, 5, 3, 1 เท่าโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

อัตราส่วนเชิงโมล (FFA:KOH)	น้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักของ FFA)	Run ครั้งที่ 1	Run ครั้งที่ 2	Run ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย % Yield
1:4	5	77.15	79.24	82.43	79.61
1:5	5	80.44	84.80	77.08	80.77
1:4	3	71.69	83.16	77.15	77.33
1:5	3	76.13	72.15	74.86	74.37

1.2. ศึกษาเปอร์เซ็นต์และปริมาณสารละลายเกลือที่เหมาะสมในการ Salting out เพื่อเพิ่มการแยก  
ชั้นของสบู่ในสารละลาย

ตารางที่ ค.2 เปอร์เซนต์ผลได้ของสบู่ที่แยกชั้นได้ดีกับสารละลายเกลือที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ในการ  
Salting out

อัตราส่วนเชิงโมล (FF:KOH)	น้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักของFFA)	% NaCl (%wt)	ปริมาณ % NaCl (เท่าโดยน้ำหนักของสบู่)	Run ครั้งที่ 1	Run ครั้งที่ 2	Run ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย % Yield
1:4	5	15%	1	79.52	80.04	-	79.78
1:4	5	15%	2	81.06	80.96	-	81.01
1:5	5	15%	1	81.02	80.93	-	80.98
1:5	5	15%	2	80.76	81.72	-	81.24
1:4	5	20%	1	82.36	81.83	-	82.10
1:4	5	20%	2	82.58	83.12	-	82.85
1:5	5	20%	1	82.48	81.83	-	82.16
1:5	5	20%	2	82.95	81.57	-	82.26
1:1	5	25%	1	75.26	77.12	-	76.19
1:1	5	25%	2	78.98	80.06	-	79.52
1:2	5	25%	1	79.68	80.63	-	80.16
1:2	5	25%	2	83.00	81.45	-	82.23
1:3	5	25%	1	81.15	82.61	-	81.88
1:3	5	25%	2	82.95	83.07	-	83.01
1:4	5	25%	1	83.46	83.00	-	83.23
1:4	5	25%	2	84.97	83.85	-	84.41
1:5	5	25%	1	81.77	83.69	-	82.73
1:5	5	25%	2	85.33	84.91	-	85.12

ตารางที่ ค.3 เปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ที่แยกชั้นได้ดีกับสารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 25 %wt โดยการใช้สารละลายเกลือปริมาณ 1 เท่าโดยน้ำหนักสบู่ ในการSalting out

อัตราส่วนเชิงโมล (FFA:KOH)	น้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักของ FFA)	% NaCl (%wt)	ปริมาณ % NaCl (เท่าโดยน้ำหนักของสบู่)	Run ครั้งที่ 1	Run ครั้งที่ 2	Run ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย % Yield
1:1	5	25%	1	75.26	77.12	-	76.19
1:2	5	25%	1	79.68	80.63	-	80.16
1:3	5	25%	1	81.15	82.61	-	81.88
1:4	5	25%	1	83.46	83.00	-	83.23
1:5	5	25%	1	81.77	83.69	-	82.73

ตารางที่ ค.4 เปอร์เซ็นต์ผลได้ของสบู่ที่แยกชั้นได้ดีกับสารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 25 %wt โดยการใช้สารละลายเกลือปริมาณ 2 เท่าโดยน้ำหนักสบู่ ในการSalting out

อัตราส่วนเชิงโมล (FFA:KOH)	น้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักของ FFA)	% NaCl (%wt)	ปริมาณ % NaCl (เท่าโดยน้ำหนักของสบู่)	Run ครั้งที่ 1	Run ครั้งที่ 2	Run ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย % Yield
1:1	5	25%	2	78.98	80.06	-	79.52
1:2	5	25%	2	83.00	81.45	-	82.23
1:3	5	25%	2	82.95	83.07	-	83.01
1:4	5	25%	2	84.97	83.85	-	84.41
1:5	5	25%	2	85.33	84.91	-	85.12

## 2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

### 2.1 การศึกษาผลของปริมาณกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่

ตารางที่ ค.4 ผลการศึกษาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม (ไตรเตรท)

สภาวะ : ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 15%, 20%, 25%, 30% และ 35% โดยน้ำหนักของสบู่ อัตราส่วนเชิงโมลของน้ำมันน้ำเสียต่อเมทานอล 1:14 เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชม.และอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักสบู่)	Run ครั้งที่ 1	Run ครั้งที่ 2	Run ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย FFA	% FFA conversion
15%	25.10	23.88	-	24.49	65.07
20%	21.13	20.15	-	20.64	70.56
25%	17.03	16.15	-	16.57	76.34
30%	8.95	9.29	-	9.12	86.99
35%	8.51	8.29	-	8.4	88.02

ตารางที่ ค.5 ผลการศึกษาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม (ไตรเตรท)

สภาวะ : ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 15%, 20%, 25%, 30% และ 35% โดยน้ำหนักของสบู่ อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอล 1:14 เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชม.และอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักสบู่)	Run ครั้งที่ 1	Run ครั้งที่ 2	Run ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย FFA	% FFA conversion
15%	16.08	16.66	-	16.37	76.65
20%	13.52	12.10	-	12.81	81.74
25%	3.42	4.08	-	3.75	94.65
30%	2.41	2.15	-	2.28	96.75
35%	1.16	0.88	-	1.02	98.55

**ตารางที่ ค.6 ผลการศึกษาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม (TLC)**

สถานะ : ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 15%, 20%, 25%, 30% และ 35% โดยน้ำหนักของสนู้อัตราส่วนเชิงโมลของน้ำมันน้ำเสียดอเมทานอล 1:14 เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชม.และอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักสนู)	Run ครั้งที่ 1	Run ครั้งที่ 2	Run ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย FFA	% FFA conversion
15%	22.63	21.47	-	22.05	71.73
20%	15.03	14.09	-	14.56	81.33
25%	10.96	11.94	-	11.45	85.32
30%	9.98	10.92	-	10.45	86.60
35%	15.82	13.68	-	14.75	81.09

**ตารางที่ ค.7 ผลการศึกษาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกที่เหมาะสม (TLC)**

สถานะ : ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 15%, 20%, 25%, 30% และ 35% โดยน้ำหนักของสนู้อัตราส่วนเชิงโมลของสนูต่อเมทานอล 1:14 เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชม.และอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (โดยน้ำหนักสนู)	Run ครั้งที่ 1	Run ครั้งที่ 2	Run ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย FFA	% FFA conversion
15%	14.11	15.83	-	14.97	80.81
20%	10.43	12.61	-	11.52	85.23
25%	1.50	1.44	-	1.47	98.12
30%	1.43	1.41	-	1.42	98.18
35%	1.23	1.29	-	1.26	98.39

## 2.2. ผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ ค.8 ผลการศึกษาอัตราส่วนเชิง โมลของสบู่ต่อเมทานอล

สถานะ : ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 25 wt% โดยน้ำหนักสบู่

อัตราส่วนเชิง โมลของสบู่ต่อเมทานอล 1:1-1:16 เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชม. และอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนเชิงโมล (Soap : MeOH)	Run ครั้งที่ 1	Run ครั้งที่ 2	Run ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย FFA	% FFA conversion
1:1	51.60	49.80	-	50.70	27.70
1:2	50.12	48.76	-	49.44	29.49
1:4	46.02	45.44	-	45.73	34.78
1:6	28.12	30.14	-	29.13	58.46
1:8	24.63	22.71	-	23.67	66.24
1:10	12.63	14.95	-	13.79	80.34
1:12	5.62	4.62	-	5.12	92.35
1:14	3.48	4.44	-	3.96	94.35
1:16	1.91	1.75	-	1.83	97.39



### 2.3. ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ ค.9 ผลการศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยา

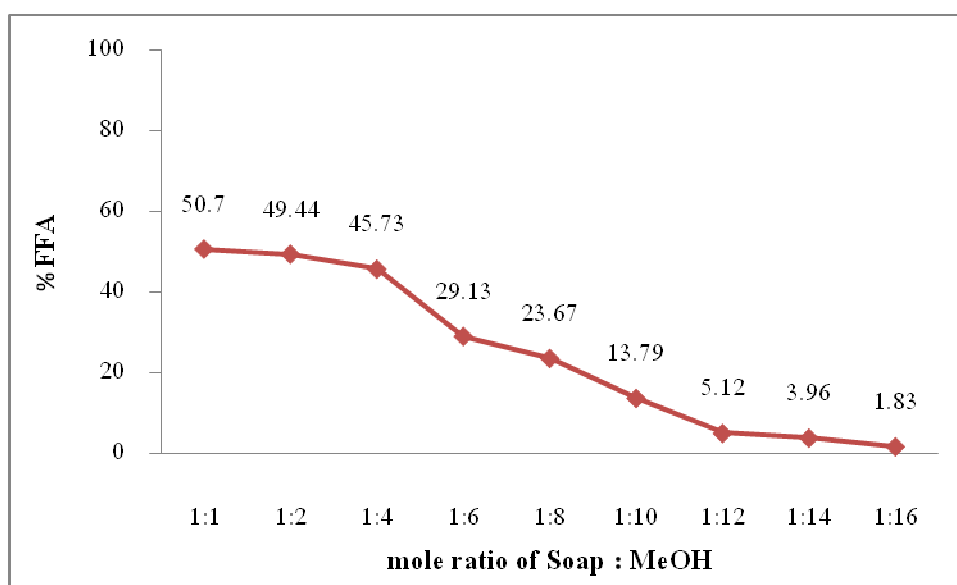
สถานะ : ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 25 wt% โดยน้ำหนักสบู่

อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอล 1:12 อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสและเวลาในการทำปฏิกิริยา 2-14 ชม.

เวลาในการทำปฏิกิริยา(ชม.)	Run ครั้งที่ 1	Run ครั้งที่ 2	Run ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย FFA	% FFA Conversion
2	3.92	3.26	-	3.59	94.88
4	1.66	1.96	-	1.81	97.42
6	1.49	1.65	-	1.57	97.76
8	1.42	1.50	-	1.46	97.91
10	1.39	1.49	-	1.44	97.94
12	1.26	1.50	-	1.38	98.03
14	1.38	1.34	-	1.36	98.06

### 3. ผลของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ทดลองโดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลในช่วง 1:1 ถึง 1:16 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 25% โดยน้ำหนักของสบู่ นำไปทำปฏิกิริยาในชุดอุปกรณ์ที่มีรีฟลักซ์ใน oil bath ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากทำปฏิกิริยา พบว่าที่อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอล 1:1 สังเกตการแยกชั้นได้ยาก เพราะของเหลวที่ได้มีสีค้ำเข้ม ผลของอัตราส่วนเชิงโมลแสดงดังภาพประกอบที่ ค.1

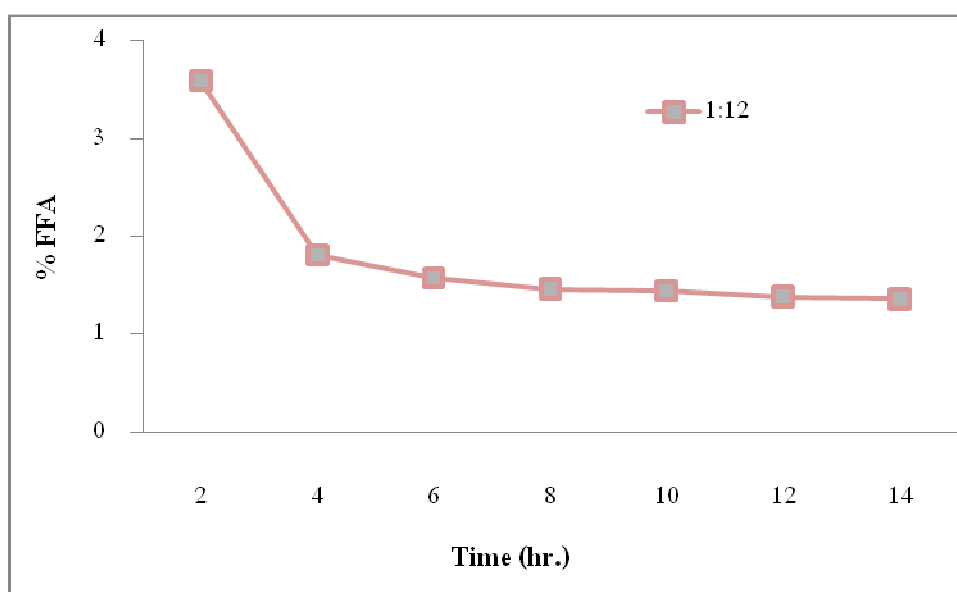


ภาพประกอบที่ ค.1 แสดงผลของอัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอลที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ เมื่อใช้กรด 25% โดยน้ำหนักสบู่

จากภาพประกอบที่ ค.1 พบว่า ผลการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากสบู่ต่อเมทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ มีผลให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระจากการวิเคราะห์ มีแนวโน้มปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเมื่อใช้ปริมาณเมทานอลมากกว่า 12 โดยน้ำหนักสบู่ การเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลสบู่ต่อเมทานอล ทำให้เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง และหากใช้ปริมาณเมทานอลน้อยกว่า 12 โมล นอกจากจะสังเกตการแยกชั้นได้ยากแล้ว ยังยากในการล้างน้ำอีกด้วย เพราะปริมาณเมทานอลที่น้อยเกินไปทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลที่น้อยกว่า 12 โมล จึงไม่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา

#### 4. ศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลอง 3.1 โดยใช้ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมจากการทดลอง จากนั้นทดลองทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 ชั่วโมง ดังภาพประกอบที่ ค.2



ภาพประกอบที่ ค.2 แสดงผลของเวลาที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ เมื่อใช้อัตราส่วนเชิงโมลของสบู่ต่อเมทานอล 1:12 และปริมาณกรดซัลฟิวริก 25% โดยน้ำหนักสบู่ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

การศึกษาดัชนีผลของเวลาต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ จากภาพประกอบที่ ค.2 พบว่า การเพิ่มเวลามีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระลดลง ซึ่งจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 4 ชั่วโมงแรก และที่เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 6 ชั่วโมง จะให้ค่าลดลงและเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นแนวโน้มการลดลงของเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระมีแนวโน้มคงที่ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการดำเนินงาน เวลาที่เหมาะสม เท่ากับ 6 ชั่วโมง

### 5. การทดสอบเมทิลเอสเทอร์การเผาที่อุณหภูมิ $775 \pm 25$ °CASTM D 874

เมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะที่เหมาะสมนำไปเผาเพื่อทดสอบว่าหากเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีสารที่ไม่ทราบองค์ประกอบปนเปื้อนมาเมื่อนำไปผ่านการเผาไหม้แล้ว สารที่ไม่ทราบองค์ประกอบดังกล่าวสามารถเผาไหม้ไปได้หรือไม่ แสดงดังภาพประกอบที่ ค.3 และ ค.4



ภาพประกอบที่ ค.3 แสดงลักษณะเมทิลเอสเทอร์ก่อนการเผาที่อุณหภูมิ  $775 \pm 25$  °C (ASTM D 874)



ภาพประกอบที่ ค.4 แสดงลักษณะเมทิลเอสเทอร์หลังการเผาที่อุณหภูมิ  $775 \pm 25$  °C (ASTM D 874)

จากภาพภาพประกอบที่ ค.3 และ ค.4 พบว่า หลังจากการเผาเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะที่เหมาะสม หลังการเผาโดยใช้อุณหภูมิ  $775 \pm 25$  °C ลักษณะของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้สามารถเผาไหม้ได้หมดและไม่มีสารปนเปื้อนตกค้าง แสดงว่าหากมีการปนเปื้อนของสารที่ไม่ทราบองค์ประกอบปนมากับเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ก็สามารถเผาไหม้ได้หมดเมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจาก จังหวะ ระเบิด (power Stroke) เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นเกือบจุดศูนย์ตายบน ในปลายจังหวะอัด ละอองน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างทันทีทันใด แรงดันจากการเผาไหม้จะผลักดันให้ลูกสูบเลื่อนลง อุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็นประมาณ 2000 องศาเซลเซียส และแรงดันสูงขึ้นเป็น 55-80 กก./ตารางเซนติเมตร ในจังหวะระเบิดนี้พลังงานความร้อนจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานกล (<http://www.jobpub.com>)

## ภาคผนวก ง

### ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

#### ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548

โดยที่ เป็นการสมควรกำหนดลักษณะและคุณภาพของของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันเพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเชิงพาณิชย์ และสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภคอาศัยอำนาจตามความในมาตรา 25 วรรคหนึ่งแห่งพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2548 อธิบดีกรมธุรกิจพลังงานออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ประกาศนี้เรียกว่า “ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548”

ข้อ 2 ประกาศนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นสามสิบวันนับตั้งแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ 3 ประกาศฉบับนี้มีให้ใช้บังคับกับของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่จำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไปนอกอาณาจักร โดยการขนส่งทางทะเล

ข้อ 4 ภายใต้บังคับของข้อ 5 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันให้เป็นไปตามละเอียดแนบท้ายประกาศนี้

การเติมสารเติมแต่งในไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันให้ผู้ค้าน้ำมันแจ้งขอความเห็นชอบและต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมพลังงานก่อน จึงจะสามารถดำเนินการได้

ข้อ 5 ลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ผู้ค้าน้ำมันจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายดังต่อไปนี้จะไม่เป็นตามที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายประกาศนี้ ก็ได้แต่ผู้ค้าน้ำมันต้องแจ้งลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดังกล่าวเฉพาะส่วนที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้าย เพื่อขอความเห็นชอบและต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงานก่อน

- (1) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการส่งออกไปนอกราชอาณาจักรนอกจากการขนส่งทางทะเล
  - (2) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการนำไปใช้กับยานพาหนะที่ส่งออกไปนอกราชอาณาจักร
  - (3) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการนำไปใช้ตามโครงการหรือ นโยบายของรัฐบาล 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

รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน  
 เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน  
 พ.ศ. 2548

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ <sup>L</sup>
1.	เมทิลเอสเตอร์, ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Methyl Ester, % wt. )	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2.	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 <sup>0</sup> ซ, กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตร (Density at 15 <sup>0</sup> C , kg/m3)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860  900	ASTM D 1298
3.	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 <sup>0</sup> ซ, เซนติสโตกส์ (Viscosity at 40 <sup>0</sup> C , cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5  5.0	ASTM D 445
4.	จุดวาบไฟ, องศาเซลเซียส (Flash Point , <sup>0</sup> C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5.	กำมะถัน ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Sulphur, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6.	กากถ่าน, ร้อยละ โดยน้ำหนัก (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.	ถ้าซัลเฟต, ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Sulfated Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ <sup>L</sup>
--------	----------	-------------	------------------------



9.	น้ำ, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Water, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.050	ASTM D 2709
10.	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด, ร้อยละโดยน้ำหนัก (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 องศาเซลเซียส, ชั่วโมง (Oxidation Stability at 110 °C , hours)	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112
13.	ค่าความเป็นกรด, มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/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.	กรดลินolenิกเมทิลเอสเทอร์, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Linolenic Acid Methyl Ester, %wt.)	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16.	เมทานอล, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Methanol, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17.	โมโนกลีเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Monoglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105
18.	ไดกลีเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Diglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ <sup>1/</sup>
19.	ไตรกลีเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Triglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20.	กลีเซอรินอิสระ, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Free glycerin, %wt)	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21.	กลีเซอรินทั้งหมด, ร้อยละโดยน้ำหนัก (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	5.0	EN 14108 และ EN 14109
		ไม่สูงกว่า	5.0	prEN 14538
23.	ฟอสฟอรัส, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Phosphorus, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24.	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

หมายเหตุ 1/ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดใน  
รายละเอียดแนบท้ายนี้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล    นางสาวจิตติมน ชะดารัตน์  
รหัสประจำตัวนักศึกษา                      4910120012

### วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการอาหาร)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	2548

### การตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงาน

Thitimon Chadarat, Sutham Sukmanee, Pakamas Chetpattananondh. 2009. Preparation of Free Fatty Acid from Palm Oil Wastewater for Methyl Ester Production. Proceeding of 7<sup>th</sup> PSU-Engineering Conference, May 21-22, 2009. 90112. Songkhla, Thailand.