

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# เครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขนาดเล็ก

A SMALL USED COOKING OIL BIODIESEL MAKING MACHINE



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 72188  
วัน,เดือน,ปี..... 1.2 ค.ย. 2550

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2549  
ISBN.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขนาดเล็ก

A SMALL USED COOKING OIL BIODIESEL MAKING MACHINE

ผู้จัดทำ

- |                 |                  |              |          |
|-----------------|------------------|--------------|----------|
| 1. นายเอกอนันต์ | ประพิมพ์พันธ์    | รหัสประจำตัว | 47015385 |
| 2. นายอาทิตย์   | เพชรคง           | รหัสประจำตัว | 46010964 |
| 3. นายวีรศักดิ์ | กิมสัมพันธ์เจริญ | รหัสประจำตัว | 47015374 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศส.ดร.จินดา เจริญพรพามิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องผลิต ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขนาดเล็ก

นายเอกอนันต์ ประพิมพ์พันธ์ รหัส 47015385

นายอาทิตย์ เพ็ชรคง รหัส 46010964

นายวีรศักดิ์ ลิ้มสัมพันธ์เจริญ รหัส 47015374

ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์

อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2549

### บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นไปได้ของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากน้ำมันใช้แล้วกับเครื่องยนต์ดีเซล นั้นถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการหาพลังงานทดแทน ซึ่งในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ คือ การสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล และ ผลิตไบโอดีเซลโดยนำน้ำมันพืชใช้แล้วจากการประกอบอาหารมาทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอล โดยมีค่าังโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วน โมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้วจากการประกอบอาหาร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่าังโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) และ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ทำให้ได้ปริมาณไบโอดีเซล และ กลีเซอริน มากขึ้นตามลำดับ และมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร ลดลงตามลำดับ โดยที่สัดส่วน 1:6, 2%KOH, 4 ชั่วโมง ได้ปริมาณไบโอดีเซลมากที่สุด และมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซลค่าที่ต่ำสุด เท่ากับ 21.43 บาทต่อลิตร ทำให้ไม่มีกรดไขมันเหลืออยู่ในไบโอดีเซล และได้ร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลมากที่สุด เท่ากับ 87.86

## A Small Used Cooking Oil Biodiesel Making Machine

Eakarnan Praphimphan

Arthit Petchkong

Weerakit Limsamphancharoen

Ass.Prof.Dr. Chinda Charoenphonphanich Advisor

### Abstract

This study addresses the possibility of producing biodiesel from used cooking oil. The project's objection is to make a biodiesel generator that can use the used cooking oil as the raw material. The used cooking oil reacts with methanol via transesterification reaction and use potassium hydroxide as the catalyst. The result from the experiment shown that if we increase the proportional between moles of ethanol and amount of used cooking oil with more catalyst (potassium hydroxide) and higher reaction time, we will get more amount of biodiesel and glycerin and the total cost per liter of biodiesel will be reduced. At proportional between moles of used cooking oil and methanol 1:6, 2 percent by weight of potassium hydroxide and 4 hours of reaction time get the most amount of biodiesel and the lowest cost of producing biodiesel with no triglyceride is 21.43 baht per liter. Highest percentage of methyl-ester in biodiesel is 87.86.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำทางทฤษฎีและคำปรึกษาเกี่ยวกับการสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล ตลอดจนได้ทำการตรวจสอบผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ โดย ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ได้อบรมสั่งสอน และได้อุปการะ ให้ผู้จัดทำมีโอกาสจัดทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ขึ้นมาได้ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล ตลอดจนให้คำปรึกษาจนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม และพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือทดสอบหาคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล รวมถึงการให้คำแนะนำในเรื่องปฏิกิริยาเคมี และ สัดส่วนปริมาณสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา และ เวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ขอขอบพระคุณ อ.วิชัย ลีมกาญจนพงษ์ และน้องๆ นักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปี1 ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านน้ำมันพืชใช้แล้ว และแรงงานที่ช่วยในการผลิตไบโอดีเซล

ขอขอบพระคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยให้คำปรึกษาและช่วยสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล ตลอดจนแนะนำขั้นตอนการเตรียมปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์

ขอขอบพระคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ช่วยเหลือในการหาข้อมูลและตรวจสอบข้อมูลและช่วยแนะนำบางสิ่งบางอย่างให้เกิดความเข้าใจจนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณกรรมการผู้จัดการ พี่วิศวกร และ ช่างเทคนิคในบริษัทศรีวิศาลเกษรา จำกัด ที่ช่วยเหลือในการสร้างอุปกรณ์ที่สำคัญในเครื่องผลิตไบโอดีเซล

สุดท้ายขอขอบพระคุณผู้สนับสนุนการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จไปด้วยดี ขอให้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
สัญลักษณ์และตัวย่อ.....	XII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา โครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.5 วิธีการดำเนินงาน.....	3
<b>บทที่ 2 การวิเคราะห์ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>6</b>
3.1 พื้นฐานของเครื่องยนต์และน้ำมันเชื้อเพลิง.....	6
3.1.1 การทำงานของเครื่องยนต์.....	6
3.1.2 เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดค้ำวประกายไฟ.....	6
3.1.3 เครื่องยนต์อัตรระเบิด.....	7
3.2 หลักการใช้น้ำมัน ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์.....	8
3.2.1 การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล.....	8
3.2.2 การผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	9
3.2.3 วัตถุประสงค์และกระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....	10
3.2.4 การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทางเคมี.....	11
3.3 ขั้นตอนการทำไบโอดีเซลขั้นพื้นฐาน.....	12
3.3.1 กลไกการเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริเคชันโดยตัวเร่งเบสและตัวเร่งกรด.....	15

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทางเอนไซม์.....	16
3.4 การวิจัยและพัฒนาการผลิตไบโอดีเซล.....	17
3.4.1 การวิจัยและพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์เพื่อผลิตไบโอดีเซล.....	17
3.4.2 การศึกษาและวิจัยสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....	17
3.4.3 การศึกษาและวิจัยวิธีการและมาตรฐาน	
ในการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล.....	18
3.4.4 การศึกษาการใช้ไขมันไบโอดีเซลในเครื่องยนต์.....	18
3.5 ข้อดีและข้อเสียของน้ำมันไบโอดีเซล.....	21
<b>บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลองและอุปกรณ์.....</b>	<b>22</b>
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล.....	22
4.2 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....	30
4.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	31
4.3.1 การสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล.....	31
4.3.2 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ซื้อมาแล้ว.....	39
<b>บทที่ 5 ผลการทดลอง.....</b>	<b>42</b>
5.1 ตัวแปรควบคุมสำหรับการทดลองตอนที่ 1 และการทดลองตอนที่ 2.....	42
5.2 ผลการทดลองตอนที่ 1 ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล.....	43
5.2.1 ผลการทดลองตอนที่ 1.1 ศึกษาถึงเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา	
มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล.....	43
5.2.2 ผลการทดลองตอนที่ 1.2 ศึกษาถึงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา	
มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล.....	46
5.2.3 ผลการทดลองตอนที่ 1.3 ศึกษาถึงปริมาณเมทานอล	
มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล.....	52
5.3 ผลการทดลองตอนที่ 2 การศึกษาเบื้องต้นถึงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล....	53
5.4 ผลการทดลองตอนที่ 3 ตรวจสอบภาพไบโอดีเซลที่ผลิตได้.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 6</b> สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	65
6.1 สรุปผลการทดลองในด้านการศึกษาอึ่งปิ้งจัญที่มีผลต่อปริมาณการเกิด ไบโอดีเซล...65	65
6.2 สรุปผลการทดลองในด้านการศึกษาอึ่งปิ้งจัญที่ใช้ย่ำทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลและ ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร.....	65
6.3 สรุปผลการทดลองในด้านการประเมินคุณภาพไบโอดีเซลที่ผลิตได้.....	66
6.4 สรุปผลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไบโอดีเซล.....	67
6.5 ข้อเสนอแนะ.....	68
<b>เอกสารอ้างอิง</b> .....	70
<b>ภาคผนวก</b> .....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงข้อดีและข้อเสียของน้ำมัน ไบโอดีเซล.....	21
3.2 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันมะพร้าว, น้ำมันปาล์ม และ น้ำมันดีเซล.....	21
4.1 แสดงสัดส่วนของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา และ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	40
5.2.1 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 2% KOH.....	44
5.2.2 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 1.5% KOH.....	45
5.2.3 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 1% KOH.....	46
5.2.4 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้น คือ 1:6 และ ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง.....	47
5.2.5 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้นคือ 1:6 และ ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง.....	48
5.2.6 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้นคือ 1:6 และ ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง.....	49
5.2.7 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้นคือ 1:6 และ ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....	50
5.2.8 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%KOH และ ใช้เวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 1 ชั่วโมง.....	52
5.3.1 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลและต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร.....	55
5.4.1 แสดงผลการตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิต ได้ ด้วยเครื่องNMR Spectroscopy เครื่อง GC และ เครื่อง HPLC .....	61

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงภาพการทำงานของเครื่องชนิดดีเซล.....	7
3.2 แสดงภาพวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล.....	11
3.3 แสดงภาพน้ำมันพืชใช้แล้วที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล.....	11
3.4 แสดงภาพโครงสร้างโครกลีเซอไรด์ในระดับโมเลกุล.....	12
3.5 แสดงแผนภาพขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล.....	12
3.6 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (tranesterification).....	13
3.7 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาทรานเมทิลเลชัน (tranmethylation).....	13
3.8 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยตัวเร่งเบส.....	14
3.9 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยตัวเร่งกรด.....	15
4.1 แสดงหลักฉลากสำหรับทำฐานวางอุปกรณ์.....	22
4.2 แสดงถังสแตนเลสที่ใช้สำหรับทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	22
4.3 แสดงถังพลาสติก ชนิด LDPE ขนาดความจุ 100 ลิตร.....	23
4.4 แสดงถังพลาสติกชนิด HDPE ขนาดความจุ 10 ลิตร.....	23
4.5 แสดงถังคัมไฟฟ้าสแตนเลสที่ใช้สำหรับคัมไล่น้ำออกจากน้ำมันพืช.....	24
4.6 แสดงปั้มน้ำแบบหอยโข่ง ( Centrifugal Pump ).....	24
4.7 แสดงปั้มสำหรับสารเคมี (Magnetic Sealless Chemical Pump).....	25
4.8 แสดงวาล์วไฟฟ้า (Solenoid Valve).....	25
4.9 แสดงบอลวาล์ว (Ball Valve).....	26
4.10 แสดงสายยางชนิดทนสารเคมี.....	26
4.11 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.25 HP, 4 Poles, 1430 rpm , 380 V.....	27
4.12 แสดงถังคัมไฟฟ้าสแตนเลสที่ใช้สำหรับคัมไล่น้ำออกจากไบโอดีเซล.....	27
4.13 แสดงตู้คอนโทรลที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	28
4.14 แสดงอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	28
4.15 แสดง INVERTER.....	29
4.16 แสดง Temperature Controller.....	29
4.17 แสดงหัวฉีดน้ำ.....	30
4.18 แสดงไส้กรองน้ำมันพืชใช้แล้ว.....	30
4.19 แสดงภาพไอโซเมตริกของฐานวางถังคัมไล่น้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ถึงทำปฏิกิริยา และ ถังคัมไล่น้ำออกจากไบโอดีเซล.....	33

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20	แสดงภาพไอโซเมตริกของฐานวางตั้งใส่สารละลายผสมระหว่างเมทานอล กับด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....33
4.21	แสดงภาพไอโซเมตริกของฐานวางตั้งแยกกลีเซอริน , ถังล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำไบที่ 1, ถังล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำไบที่ 2 , ถังเก็บสบู์และกลีเซอริน , ถังเก็บน้ำ และ ถังเก็บไบโอดีเซล ขนาด 100 ลิตร จำนวน 6 ถัง.....34
4.22	แสดงฐานวางอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องผลิตไบโอดีเซล.....34
4.23	แสดงภาพไอโซเมตริกด้านหน้าของเครื่องผลิตไบโอดีเซล.....35
4.24	แสดงภาพไอโซเมตริกด้านหลังของเครื่องผลิตไบโอดีเซล.....35
4.25	แสดงภาพฉายด้านหน้าของเครื่องผลิตไบโอดีเซล.....36
4.22	แสดงภาพฉายด้านบนของเครื่องผลิตไบโอดีเซล.....36
4.23	แสดงภาพถ่ายเครื่องผลิตไบโอดีเซล.....37
4.24	แสดงแผนภาพการไหลของของเหลวในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....39
4.25	แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....39
5.1	แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบร้อยละ โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล ตามการเปลี่ยนแปลง ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนสารตั้งต้น 1 : 6....50
5.2	แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบร้อยละ โดยน้ำหนักของกลีเซอริน ตามการเปลี่ยนแปลง ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนสารตั้งต้น 1 : 6.....51
5.3	แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบร้อยละ โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล และกลีเซอริน ตาม การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้วต่อปริมาณเมทานอลที่สัดส่วนตัวเร่ง ปฏิกิริยา 0.5%KOH และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....53
5.4	แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ตามการ เปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นคือ 1 : 6.....57
5.5	แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร ตามการเปลี่ยนแปลง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นคือ 1 : 6 .....57
5.6	แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล ตามการ เปลี่ยนแปลงสัดส่วนจำนวน โมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เท่ากับ 1 ชั่วโมง.....58

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7	แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร ตามการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนจำนวน โมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เท่ากับ 1 ชั่วโมง.....58
5.8	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน 1:6 , 2% KOH , 4 ชั่วโมง.....63
5.9	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC จากการทดสอบหาร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6 ,1.5%KOH , 4 ชั่วโมง.....64
A1	แสดงรูปถ่ายสีของน้ำมัน ไบโอดีเซลที่ผลิต ได้จากสัดส่วน1:6 ,2%KOH,4ชั่วโมง.....71
A2	แสดงรูปถ่ายสีของน้ำมัน ไบโอดีเซลที่ผลิต ได้จากสัดส่วน1:6 ,0.5%KOH,1ชั่วโมง.....71
A3	แสดงรูปถ่ายสีของน้ำมัน ไบโอดีเซลที่ผลิต ได้จากสัดส่วน1:4 ,0.5%KOH,1ชั่วโมง.....72
A4	แสดงภาพการแยกชั้นระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับสบู่ที่เกิดขึ้นในชั้นตอนล้างน้ำ.....72
A5	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน1:4 ,0.5%KOH,1ชั่วโมง.....73
A6	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง GC ที่สัดส่วน1:4 ,0.5%KOH,1ชั่วโมง.....73
A7	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน1:6 ,0.5%KOH,1ชั่วโมง.....74
A8	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง GC ที่สัดส่วน1:6 ,0.5%KOH,1ชั่วโมง.....74
A9	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน1:6 ,2%KOH,4ชั่วโมง.....75
A10	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง GC ที่สัดส่วน1:6 ,2%KOH,4ชั่วโมง.....75
A11	แสดงใบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบหาร้อยละ โดยน้ำหนักของ เมทิลเอสเทอร์ ด้วยเครื่อง GC ในไบโอดีเซล 3 ตัวอย่าง.....76
A12	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน1:6 ,2%KOH,3ชั่วโมง.....77
A13	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน1:6 ,2%KOH,3ชั่วโมง.....77
A14	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน1:6 ,2%KOH,2ชั่วโมง.....78
A15	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน1:6 ,2%KOH,2ชั่วโมง.....78
A16	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน1:6 ,2%KOH,1ชั่วโมง.....79
A17	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน1:6 ,2%KOH,1ชั่วโมง.....79
A18	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน1:6 ,1.5%KOH,4ชั่วโมง.....80
A19	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน1:6 ,1.5%KOH,4ชั่วโมง.....80
A20	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน1:6 ,1.5%KOH,3ชั่วโมง.....81
A21	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน1:6 ,1.5%KOH,3ชั่วโมง.....81
A22	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน1:6 ,1.5%KOH,2ชั่วโมง.....82

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
A23	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน 1:6 ,1.5%KOH,2 ชั่วโมง.....82
A24	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน 1:6 ,1.5%KOH,1 ชั่วโมง.....83
A25	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน 1:6 ,1.5%KOH,1 ชั่วโมง.....83
A26	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน 1:6 ,1%KOH,4 ชั่วโมง.....84
A27	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน 1:6 ,1%KOH,4 ชั่วโมง.....84
A28	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน 1:6 ,1%KOH,3 ชั่วโมง.....85
A29	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน 1:6 ,1%KOH,3 ชั่วโมง.....85
A30	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน 1:6 ,1%KOH,2 ชั่วโมง.....86
A31	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน 1:6 ,1%KOH,2 ชั่วโมง.....86
A32	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน 1:6 ,1%KOH,1 ชั่วโมง.....87
A33	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน 1:6 ,1%KOH,1 ชั่วโมง.....87
A34	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน 1:5 ,0.5%KOH,1 ชั่วโมง.....88
A35	แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC ที่สัดส่วน 1:5 ,0.5%KOH,1 ชั่วโมง.....88

# บทที่ 1

## บทนำ

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้พระราชทานแนวทฤษฎีเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อการพัฒนา เศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยมากกว่า 25 ปี และได้ทรงเข้าเดือนหลายครั้งในช่วงเศรษฐกิจ ฟองสบู่ตามที่ได้มีพระราชดำรัสเมื่อ พ.ศ.2540 การนี้พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ได้ทรงมีพระ ราชกรณียกิจหลายด้านในการวิจัย พัฒนาและสาธิตหลักการนั้นด้วยโครงการด้านการพัฒนาเพื่อ การพึ่งพาตนเอง ทั้งในระดับประเทศ ชุมชนและครัวเรือน ผ่านหน่วยงานและโครงการใน พระราชดำริ อาทิ โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรดา กองงานส่วนพระองค์ สำนักพระราชวัง มูลนิธิชัยพัฒนาในพระบรมราชูปถัมภ์ และ โครงการตามพระราชดำริต่างๆ หนึ่งในโครงการ พัฒนาเหล่านั้นคือ โครงการแปรรูปพืชผลทางการเกษตรเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น โครงการเอทา นอลและไบโอดีเซล

โครงการ ไบโอดีเซลเป็นอีก โครงการหนึ่งที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงมีพระกระแส รับสั่งให้รัฐบาลดำเนินการศึกษาโครงการ รวมไปถึงการที่ได้ทรงรับสั่งให้กองงานส่วนพระองค์ ดำเนินการทดสอบใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ทดแทนน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เพื่อเป็นการสร้างทางเลือก ให้กับเกษตรกรที่ปลูกปาล์มน้ำมัน และเป็นการสร้างทางเลือกในการพัฒนาพลังงานเพื่อการพึ่งพา ตนเองอีกด้วย

เชื้อเพลิงดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์ปัจจุบันเป็นผลผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ที่ต้องนำเข้าจาก ต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ทำให้รัฐต้องเสียเงินตราต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบัน น้ำมันดีเซลมีราคาสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีแนวโน้มว่าราคาน้ำมันดีเซลจะยังคงเพิ่มขึ้นอย่าง ต่อเนื่อง นอกจากนี้ น้ำมันที่เผาไหม้ในเครื่องยนต์ ยังก่อให้เกิดมลภาวะในบรรยากาศประเภทฝุ่น ละอองขนาดเล็ก คาร์บอน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมาก ซึ่งเป็นผลร้ายต่อ สภาพแวดล้อม

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในภาวะที่เชื้อเพลิงจากน้ำมันปิโตรเลียมเริ่มขาดแคลน พลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียมมี ราคาแพงขึ้นตามสถานการณ์ ทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหา นั่นก็คือการหาพลังงานทดแทน โดยเฉพาะทดแทนน้ำมันดีเซลที่มีอัตราการใช้ในประเทศมากเป็นอันดับหนึ่ง ซึ่งพลังงานทดแทน นั้นคือ ไบโอดีเซล เนื่องจากการวิจัยทดลองทำได้ง่ายกว่าพลังงานทดแทนชนิดอื่น การลงทุน ทางด้านเทคโนโลยีไม่ซับซ้อน อีกทั้งวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำ ไบโอดีเซล สามารถหาได้ง่าย มีราคาถูก จากภาคการเกษตร ได้แก่ พืชน้ำมัน เช่น ปาล์ม มะพร้าว สบู่ดำ เป็นต้น หรือจากภาคอาหาร เช่น น้ำมันพืชที่ใช้แล้วจากการประกอบอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาโรงงาน

เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซลขึ้นมาทำการผลิตไบโอดีเซล เพื่อนำไบโอดีเซลที่ได้ไปทดลองใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์ คือ

1.2.1 เพื่อนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจากการประกอบอาหารมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ลดการเกิดมลพิษและผลเสียต่อสุขภาพ โดยนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นไบโอดีเซล

1.2.2 เพื่อสร้างชุดผลิตไบโอดีเซลต้นแบบที่ใช้งานได้ง่ายและง่ายต่อการนำไปใช้ผลิตในห้องถื่น เป็นการเผยแพร่การใช้ไบโอดีเซลกับรถยนต์ดีเซลให้ประชาชนได้นำไปใช้มากขึ้น

1.2.3 เพื่อทดลองหาค่าสัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลและนำไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิตไปตรวจสอบหาคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามมาตรฐานการผลิตไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน

1.2.4 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไบโอดีเซลในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล ให้สามารถผลิตไบโอดีเซลได้อย่างมีคุณภาพ ระยะเวลาในการผลิตไบโอดีเซลในแต่ละครั้ง สามารถทำการผลิตไบโอดีเซลได้อย่างต่อเนื่อง ลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลในแต่ละครั้ง และ ลดต้นทุนในการสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซลได้มากที่สุด

1.3.2 ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้สารตั้งต้นคือ น้ำมันพืชใช้แล้ว กับ เมทานอล มาทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ค่าังโทแทสเชิมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ ได้ทดลองใช้กรดซัลฟูริก เป็นสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยาสะเทิน เพื่อปรับสภาพน้ำมันพืช ลดการเกิดสบู่ เมื่อทำการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ

1.3.3 ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล โดยพิจารณา 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

1.3.4 ศึกษาถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลและต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร ในการผลิตไบโอดีเซลแต่ละครั้ง

1.3.5 ตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลที่ผลิตได้ โดยตรวจสอบร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลว่าเป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานหรือไม่ และ ตรวจสอบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้น มีกรดไขมันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว หลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทำให้รู้จักการนำสิ่งที่เหลือใช้ คือ น้ำมันพืชเหลือใช้จากการบริโภค มาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล

1.4.2 ทำให้เกิดการพัฒนารูปแบบ โดยการใช้โปรแกรมการเขียนแบบสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้แก่ Solid Works

1.4.3 ทำให้เกิดทักษะจากการใช้เครื่องมือกล เครื่องมือช่าง หรือเครื่องจักรกลในการสร้างหรือผลิตชิ้นงาน

1.4.4 ทำให้เกิดการตื่นตัวทางด้านการใช้พลังงานทดแทน มาใช้แทนน้ำมันปิโตรเลียมโดยเฉพาะ น้ำมันดีเซล ที่มีปริมาณการใช้ในประเทศสูงเป็นอันดับที่หนึ่งของน้ำมันปิโตรเลียมทั้งหมด โดยการใช้วัตถุดิบที่สามารถหาได้ในชุมชน มีราคาถูก เช่น น้ำมันพืชใช้แล้วจากการประกอบอาหาร

1.4.5 พัฒนาการใช้ไบโอดีเซล จากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยเฉพาะใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนให้กับรถยนต์ดีเซลให้เป็นที่แพร่หลาย และยอมรับในวงกว้างขึ้น จนไปสู่การใช้เชิงพาณิชย์

1.4.6 เป็นต้นแบบการทำสถานีจ่ายน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วให้กับชุมชน

1.4.7 ช่วยส่งเสริมนโยบายการประหยัดเงินตราของรัฐบาลจากการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศ และลดต้นทุนค่าครองชีพของประชาชน

## 1.5 วิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบผลิตไบโอดีเซล ให้สามารถผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2 ทดลองผลิตไบโอดีเซลตามสัดส่วนต่างๆของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

1.5.3 นำไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองไปตรวจหาคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันทางด้านร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ EN 14103 ของกรมธุรกิจพลังงาน ด้วยเครื่อง GC และเครื่อง HPLC นอกจากนั้นทำการตรวจสอบไบโอดีเซลที่คิดว่ามีกรดไขมันเหลืออยู่หรือไม่ ด้วยวิธีทดสอบ H-NMR spectrum ด้วยเครื่อง NMR Spectroscopy

## บทที่ 2

### การวิเคราะห์ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วของสถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ตามบรรณานุกรม หมายเลข 1

#### 2.1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ทราบการของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ใช้ไบโอดีเซลสูตรB20
2. เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิงของหน่วยงานต่างๆ ในสังกัดมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และเป็นการรองรับมาตรการประหยัดพลังงานตามนโยบายของภาครัฐ
3. เพื่อเป็นต้นแบบที่ดีต่อสังคมและชุมชน

#### 2.1.2 สรุปผลงานวิจัย

1. ขนาดการผลิตไบโอดีเซลไม่เกิน 150 ลิตรต่อครั้งและใช้เวลาในการผลิตทั้งหมดประมาณ 68 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้ต้มใต้น้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ปรับสภาพน้ำมันพืชก่อนทำปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน รวมทั้งสิ้น 8 ชั่วโมง)
2. น้ำมันพืชใช้แล้วจำนวน 150 ลิตร เมื่อผ่านกระบวนการแล้ว จะได้ไบโอดีเซลประมาณ 138 ลิตร เทียบเท่ากับ 92 % ทั้งนี้ น้ำมันพืชส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยาเป็นกลีเซอริน และสูญเสียโดยการระเหยในกระบวนการผลิต
3. ในกระบวนการผลิตแต่ละครั้ง จะได้กลีเซอรินประมาณ 30 ลิตร
4. ราคาชุดผลิตไบโอดีเซลประมาณ 120000 บาท (ไม่รวมถึงเก็บสะสมน้ำมันพืชใช้แล้ว และถังเก็บไบโอดีเซลในส่วนที่เกิน 150 ลิตร)
5. ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลประมาณ 16 บาทต่อลิตร
6. ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ สามารถเติมในสูตร B20 กล่าวคือ สัดส่วนไบโอดีเซล 20% ของน้ำมันดีเซลในถัง โดยการใช้สูตรB20 นั้นเป็นที่รองรับกันตามมาตรฐาน EPA (Environment Protection Agency) ของอเมริกาและมาตรฐานยุโรป ให้ใช้ได้ในเชิงพาณิชย์ประกอบกับสถานจัดการและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้มีการทดลองในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม มากกว่า 4 ปี จนได้ผลเป็นที่น่าพอใจแล้ว

2.2 เครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วของศูนย์การจัดการและอนุรักษ์พลังงานมหาวิทยาลัย อุบลราชธานี ตามบรรณานุกรมหมายเลข 2

#### 2.2.1 วัตถุประสงค์

1. ส่งเสริมการใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล
2. เป็นต้นแบบเครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วให้กับชุมชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่งเสริมการตลาดการบริโภคน้ำมันพืชใช้ในครัวเรือนและตลาด แคน้ำมันพืชใช้แล้ว มาผลิตเป็น ไบโอดีเซล เพื่อป้องกันอันตรายต่อสุขภาพจากการบริโภคน้ำมันพืช

#### 2.2.2 สรุปผลงานวิจัย

1. ทำการผลิตไบโอดีเซลครั้งละ 150 ลิตร
2. ออกแบบให้ใช้งานได้ง่าย และมีราคาไม่แพง เหมาะกับการนำไปใช้ในองค์กรท้องถิ่น
3. ผลิตได้ต่อเนื่อง และ การส่งถ่าน้ำมันและการหมุนวน-ผสม โดยใช้ปั๊ม
4. มีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปรับตั้งค่าได้
5. ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ประมาณ 4 ชั่วโมง
6. เครื่องผลิตไบโอดีเซลมีประสิทธิภาพการทำงานสูง และได้ไบโอดีเซลมีคุณภาพสูง
7. ใช้ได้กับน้ำมันพืช/สัตว์ ทอดแล้ว ไม่จำกัดความค่าของน้ำมันพืช/สัตว์
8. เครื่องผลิตไบโอดีเซล มีราคาเครื่องละ 76000 บาท
9. ไบโอดีเซลที่ผลิตได้คิดเป็น 90% หรือเท่ากับ 135ลิตรเทียบกับน้ำมันพืชเริ่มต้น 150 ลิตร
10. ค่าใช้จ่ายในการผลิตแต่ละครั้งประมาณ 2000 บาท

#### 2.3 เครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชแบบ Semi-Continuous Batch Type ของกรมอุทกหารเรือ กองทัพเรือ ตามบรรณานุกรม หมายเลข 3

##### 2.3.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช โดยเฉพาะน้ำมันปาล์ม ด้วยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน และใช้ด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. เพื่อผลิตไบโอดีเซลแล้วนำมาใช้กับ รถยนต์ดีเซล และ เรือดีเซล ในสังกัดหน่วยงานของกรมอุทกหารเรือ และ หน่วยงานอื่นๆในกองทัพเรือ
3. เพื่อใช้เป็นต้นแบบเครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช ให้กับหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนได้ศึกษา และ นำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้เอง

##### 2.3.2 สรุปผลงานวิจัย

1. สามารถผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช(น้ำมันปาล์มผ่านการแยกกัมแล้ว) ด้วยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาครั้งละ 400 ลิตร
2. ในการเตรียมสารละลายเมทานอลผสมกับด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และเปิดมอเตอร์กวนสารละลายให้ผสมกัน
3. ถึงทำปฏิกิริยามีความจุ 400 ลิตร และ ดังล้างน้ำ 1 กับดังล้างน้ำ 2 มีความจุ 800 ลิตร
4. ใช้การแยกชั้นของไบโอดีเซลกับกลีเซอรินแบบ Centrifugal Type
5. ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง และ การล้างน้ำเพื่อทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ 2-3 ครั้งโดยแต่ละครั้งใช้เวลา 3 ชั่วโมง รวมใช้เวลาดำเนินการ 1 กระบวนการผลิต เท่ากับ 5 ชั่วโมง
6. ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลลิตรละ 6.42 - 8.02 บาท

## บทที่ 3

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 พื้นฐานของเครื่องยนต์และน้ำมันเชื้อเพลิง

เครื่องยนต์เป็นคำที่ใช้เรียกอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นงานกำลัง (พลังงานกล) โดยทั่วไปแล้วพลังงานความร้อนจะได้ออกมาจากการเผาไหม้อากาศกับเชื้อเพลิง เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน หรือ เครื่องยนต์ความร้อน จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

- เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก (External Combustion Engine : EC Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่นำเอาผลจากการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงให้ถ่ายเทความร้อนไปยังของไหลชนิดที่สอง ซึ่งใช้เป็นสารทำงานสำหรับผลิตกำลัง
- เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (Internal Combustion Engine : IC Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่นำเอาผลของการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงไปใช้เป็นสารทำงานสำหรับผลิตกำลังโดยตรง

##### 3.1.1 การทำงานของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้งานในรถยนต์มักเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine : IC Engine) ซึ่งมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในตัวเครื่อง โดยแบ่งเป็นแบบลูกสูบเคลื่อนที่ตรง (Reciprocating) และแบบโรตารี (Rotary) แต่ที่นิยมใช้กันเป็นแบบลูกสูบ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

##### 3.1.2 เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Spark Ignition)

คือ เครื่องยนต์ที่มีหัวเทียนช่วยในการจุดระเบิด และใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง มีกระบวนการทำงาน 4 ขั้นตอน ในการที่จะจุดระเบิดเชื้อเพลิงกับอากาศ เกิดพลังงานความร้อนทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อขับลูกสูบให้เคลื่อนที่ กระบวนการทำงาน 4 ขั้นตอน ก็คือ ดูด ไอดี อัด ส่วนผสม ถ่ายทอดกำลัง และปล่อยไอเสียหรือจังหวะคาย โดยลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ ได้แก่

- จังหวะดูด ไอดี ลิ้นไอดีจะเปิด ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลง จึงทำให้อากาศภายนอกถูกดูดผ่านคาร์บูเรเตอร์ และดูดน้ำมันเข้าไปผสมด้วย โดยมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมแก่การเผาไหม้คือประมาณ 14.5:1 โดยน้ำหนัก ช้อเหวี่ยงหมุนไปครึ่งรอบ
- จังหวะอัด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงสุดแล้ว ลิ้นไอดีจะปิด ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นอัดส่วนผสมให้เหลือประมาณ 8.5:1 ถึง 10:1 ค่านี้เรียกว่า Compression Ratio หรือ CR (มีแรงดันขณะนี้ประมาณ 10-15 kg/cm<sup>2</sup>) ความร้อนสูงขึ้นตั้งแต่ 400-500 °C
- จังหวะระเบิดและถ่ายทอดกำลัง หัวเทียนจะจุดระเบิดด้วยประกายไฟเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดสูงสุด ทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณและขยายตัวอย่างรวดเร็ว เป็นประมาณ 40-45 บรรยากาศ คั้นให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาขับเพลาลูกสูบ

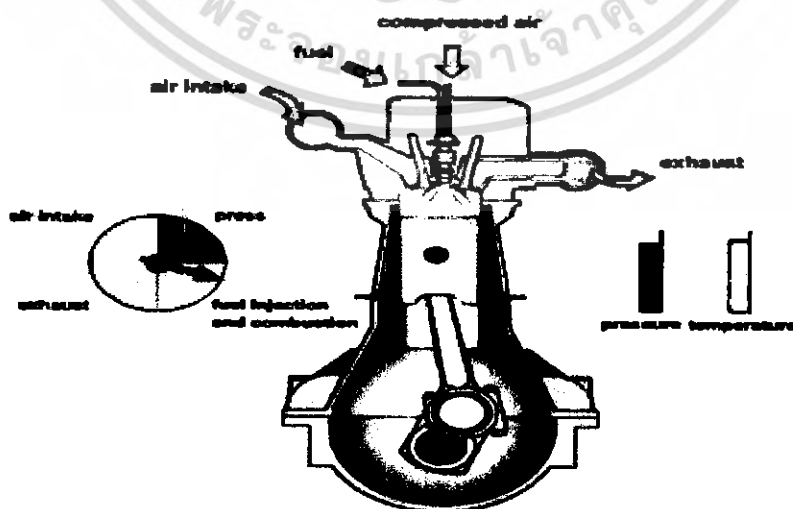
- จังหวะปล่อยไอเสีย เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจึงดันไอเสียไหลผ่านลิ้น ไอเสียจนลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นบนสุด ลิ้นไอดีจึงเปิดเพื่อเริ่มทำงานในจังหวะต่อไป

### 3.1.3 เครื่องยนต์อัตรระเบิด (Compression Ignition : CI)

คือ เครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยตัวเอง และใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีปั๊มและหัวฉีดช่วยในการฉีดน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้ เครื่องยนต์ดีเซลมีจังหวะการทำงานคล้ายเครื่องยนต์เบนซิน แต่ก็มีหลักการการทำงานที่ต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน คือ

เครื่องยนต์ดีเซลดูดอากาศเปล่าๆ เข้าไปอัดอากาศมีแรงดันสูง แล้วฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยละเอียดเข้าไปในห้องเผาไหม้ ซึ่งทำให้เครื่องยนต์ดีเซลไม่มีคาร์บูเรเตอร์ น้ำมันเชื้อเพลิงที่อัดเข้าไปจะสันดาปเองโดยไม่ต้องการประกายไฟจากหัวเทียนได้พลังงานออกมา โดยขั้นตอนการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะมีดังนี้

- จังหวะดูด ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลง ลิ้นไอดีจะเปิดดูดอากาศเปล่าๆ เข้ามาในกระบอกสูบและเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงจุดต่ำสุด ลิ้นไอดีก็จะเปิด
- จังหวะอัด ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะปิดอัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กกลงจนมีอัตราอัดตั้งแต่ 14:1 ถึง 22:1 ซึ่งจะทำให้แรงดันสูงขึ้นตั้งแต่ 30-45 บรรยากาศและความร้อนสูงขึ้น 500-700 °C
- จังหวะกำลัง ก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงจุดสูงสุด ปั๊มหัวฉีดจะเริ่มปัมน้ำมันให้ฉีดออกจากหัวฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ จากความร้อนของอากาศที่อัดจะทำให้ น้ำมันติดไฟขึ้นเอง ทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นถึง 60-80 เท่าของบรรยากาศ ดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงอย่างรวดเร็ว
- จังหวะคาย เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาถึงจุดต่ำสุด ลิ้นไอเสียจะเปิดเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจะไล่ไอเสียออกไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.1 แสดงภาพการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล  
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 หลักการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเครื่องยนต์

Rudolf Diesel ผู้ประดิษฐ์เครื่องยนต์ดีเซลและนำเสนอออกแสดงในงาน Exposition ในปี ค.ศ. 1900 ได้ใช้น้ำมันถั่วลิสงในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ ในช่วงปลายสงครามโลกครั้งที่ 2 ญี่ปุ่น ถูกตัดเส้นทางลำเลียงและขาดแคลนน้ำมันปิโตรเลียม จึงนำเอาน้ำมันถั่วเหลืองมาใช้ในเรือรบ Yamoto ซึ่งมีขนาด 65,000 ตัน

#### 3.2.1 การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลจะจุดระเบิดเชื้อเพลิงผสมอากาศ โดยแรงอัดแรงอัดนี้จะเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้นจนถึงจุดวาบไฟของเชื้อเพลิง คังสมการของแก๊ส

$$PV = nRT$$

ปริมาตรของอากาศในช่วงท้ายจะลดลงไม่มากเท่ากับความดันที่เพิ่มสูงขึ้นมาก ดังนั้น อุณหภูมิของเครื่องยนต์จึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ความดันในกระบอกสูบนั้นสูงกว่าเครื่องยนต์เบนซิน 2 - 3 เท่า (ประมาณ 30 บรรยากาศ)

Compression ratio ของเครื่องยนต์เบนซินนั้นประมาณ 8:1 - 13:1 แต่ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นประมาณ 18:1 - 24:1 ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ (E) คำนวณได้จากสมการ

$$E = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma}$$

$r$  = compression ratio

$$\gamma = \text{ratio} \frac{\text{specific heat at constant P}}{\text{specific heat at constant V}} \cong 1.298$$

ดังนั้นเครื่องยนต์ดีเซลจึงมีความหนา หนัก และทนทานกว่าเครื่องยนต์เบนซิน เชื้อเพลิงที่จะฉีดเป็นละอองเข้าสู่กระบอกสูบในจังหวะที่กระบอกสูบให้แรงอัดเกือบสูงสุด การฉีดจะฉีดด้วยแรงดันสูงถึง 250 บรรยากาศ ซึ่งให้อุณหภูมิสูงพอให้เกิดการเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซลในคลาด ปัจจุบันนี้มี 2 ประเภท คือ direct กับ indirect injection ซึ่ง Direct injection นั้นเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้ากระบอกสูบโดยตรง ส่วน Indirect injection นั้น เชื้อเพลิงจุดฉีดเข้าไปใน precombustion chamber ก่อน

การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันพืชมากกว่า 40 ชนิดได้ถูกนำมาทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลทั้งในโหมดการใช้งานระยะสั้นและระยะยาว พบว่าน้ำมันเมล็ดทานตะวันในเครื่องยนต์ Direct & Indirect injection ให้ Power, Torch และ Break thermal efficiency ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 5% ความสิ้นเปลืองสูงกว่า เนื่องจากค่าความร้อนต่ำกว่า ปัญหาอื่นๆ เช่น ต้องกรองน้ำมันให้สะอาด เครื่องติดยากในฤดูหนาว ส่วนการทดสอบระยะยาวขึ้นกับชนิดของน้ำมัน และเครื่องยนต์ การะงาน (loading) ระยะเวลา และการ Knock ในเครื่องยนต์ดีเซล กับเครื่องยนต์เบนซินนั้นแตกต่างกัน จากประสิทธิภาพเครื่องยนต์

$$E = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma}$$

จากสมการจะเห็นว่า เมื่อ P สูง T สูง และอาจสูงถึงจุดวาบไฟ ของสารเชื้อเพลิงบางตัวเช่น

Pentane = 218 °C      Diesel = 247 °C

Toluene = 550 °C      Benzene = 580 °C

เมื่อเชื้อเพลิงเกิดวาบไฟ ก่อนการจุดระเบิด ทำให้เกิดเสียง Knock เสียงคล้ายโลหะกระทบกัน กำล้างเครื่องชนค้ดก เกิด Over heat ของเครื่องชนค้ด ซึ่งการ Knock ในเครื่องชนค้ด ดีเซลนั้น แตกต่างจากเครื่องชนค้ดเบนซิน โดยการจุดระเบิดของเครื่องชนค้ดดีเซลนั้นเกิดจากแรงอัด (3 -5 MPa 500 – 600 °C) จนถึงอุณหภูมิวาบไฟของเชื้อเพลิงใน high speed diesel เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปใน ห้องเผาไหม้ที่ 15° ก่อนถึง Top dead center (TDC) ละของเชื้อเพลิงจะติดไฟขึ้นเอง ที่ประมาณ 8° ก่อน TDC ความดันในกระบอกสูบจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 6.9 – 7.1 MPa เชื้อเพลิงที่เหมาะสมจะติดไฟที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของ compressed air ประมาณ 30°C เชื้อเพลิงจะหยุดฉีดที่ 5° หลัง Top dead center เชื้อเพลิงจะมี delay time ก่อนการเผาไหม้เล็กน้อยเนื่องจากการระเหยและถูกอัดให้ร้อนจนถึงจุดวาบไฟ จากนั้นก็จะเป็นการเผาไหม้ที่ต่อเนื่องในกระบอกสูบขณะที่ความดันเพิ่มสูงขึ้น และเผาไหม้หมดในขณะที่ถูกฉีด แรงอัดจะค่อยลดลงเมื่อถูกสูบหมุนไปที่ 10° หลัง TDC

สาเหตุของการ knock ในเครื่องชนค้ดดีเซล

ใน high speed diesel เวลาตั้งแต่เชื้อเพลิงเริ่มติดไฟถึงการเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่จะใช้เวลาประมาณ 0.6 มิลลิวินาที (delay time) และเวลาที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิง 1.7 มิลลิวินาที เชื้อเพลิงดีเซลที่ดีจะมีค่า delay time ต่ำ เชื้อเพลิงที่มี delay time สูงมากนั้น เชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ เมื่อเกิดการจุดระเบิดจะเกิดการระเบิดพร้อมกันแรงอัดจะ เกิดพร้อมกันทันทีและสูงมาก เกิดแรงกระแทกทำให้เกิดเสียงดัง เรียกว่า Diesel Knock

### 3.2.2 การผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Production of Biodiesel Fuel from Vegetable Oil)

ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามคิดค้นหาแหล่งพลังงานใหม่ๆ เพื่อลด ปัญหาใหม่ๆ เพื่อลดปัญหามลพิษในอากาศ อันเนื่องมาจากการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากปิโตรเลียม ในส่วนของเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องดีเซลนั้น พบว่าสารประกอบเอสเทอร์อย่างง่าย (simple esters) ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ (ส่วนใหญ่ได้แก่เอทานอลและเมทานอล) หรือที่เรียกกันว่า ไบโอดีเซล (Biodiesel) สามารถใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องชนค้ดดีเซลได้ดี

เนื่องจากโมเลกุลของไบโอดีเซลมีองค์ประกอบของออกซิเจนสูงกว่า และองค์ประกอบของซัลเฟอร์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม จึงปลดปล่อยสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนอกไซด์ รวมทั้งสารประกอบซัลเฟอร์ออกมาในระหว่างกระบวนการเผาผลาญ น้อยกว่า ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องชนค้ดดีเซล จึงเป็นแนวทางในการลดมลพิษในอากาศได้

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันพืช ซึ่งถือเป็นวัสดุชีวภาพที่มาจากการเกษตร โดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชด้วยการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากอากาศ ดังนั้นกระบวนการเผาผลาญไบโอดีเซลจึงไม่เปลี่ยนแปลงปริมาณสุทธิของระดับก๊าซ

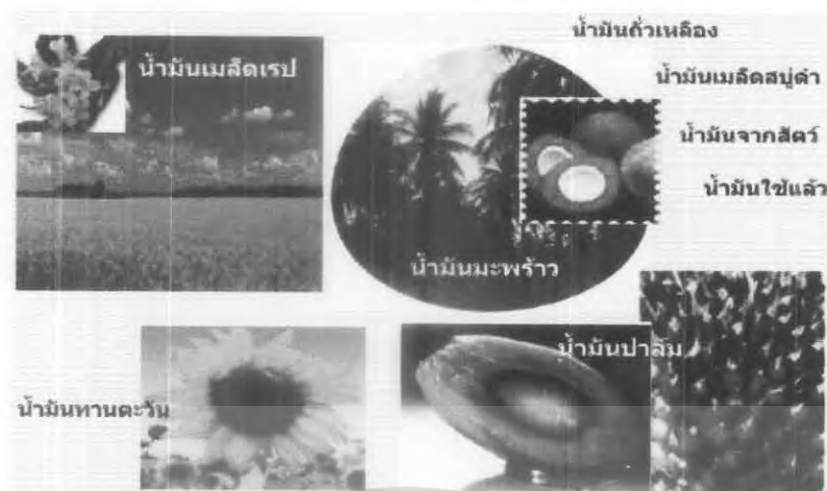
คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ นอกจากนี้ น้ำมันพืชยังเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ถือเป็นทรัพยากรที่สามารถสร้างทดแทนขึ้นมาได้ (renewable resource) ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม จึงได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน

### 3.2.3 วัตถุดิบและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

วัตถุดิบหลักที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันพืช ซึ่งน้ำมันพืชทั่วไป จะมีไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol, TAG) เป็นองค์ประกอบหลัก โครงสร้างของ TAG จะประกอบด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุลจับอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลด้วยพันธะเอสเทอร์ ชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมันใน TAG ที่ได้จากน้ำมันพืชแต่ละประเภทจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์ม จะประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว (กรดลอริก, กรดปาล์มิติก) ในปริมาณสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว (กรดโอเลอิก, กรดลิโนเลอิก) ในปริมาณสูง องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพหรือสมบัติทางฟิสิกส์ของไบโอดีเซลที่ได้ ตัวอย่างเช่น ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันมะพร้าวหรือน้ำมันปาล์มจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลือง ทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันมะพร้าวหรือน้ำมันปาล์ม ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในประเทศในแถบหนาว เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำไบโอดีเซลดังกล่าวจะอยู่ในสภาพของแข็ง อย่างไรก็ตามไบโอดีเซลที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว ในปริมาณสูงก็จะมีปัญหาในเรื่องของความคงตัว เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะถูกออกซิเดชันได้ง่าย

เนื่องจากปัจจุบันมีน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร รวมทั้งร้านอาหารต่างๆ ในปริมาณมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันพืช ซึ่งเกิดจากขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการสกัดน้ำมันพืชและการทำให้บริสุทธิ์ วัสดุดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ ซึ่งถือว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งอีกทางหนึ่ง

นอกจากน้ำมันพืชแล้ววัสดุที่จำเป็นในการผลิตไบโอดีเซลอีกชนิดหนึ่ง ได้แก่ แอลกอฮอล์ ที่นิยมใช้จะเป็นแอลกอฮอล์สายสั้น ได้แก่ เมทานอลหรือเอทานอล ดังนั้น ไบโอดีเซลจึงรู้จักกันในรูปของเมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชและแอลกอฮอล์ จำเป็นต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งอาจเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีหรือตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดซัลฟูริกหรือด่าง (โซเดียมเมทอกไซด์,  $\text{NaOCH}_3$ ) สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ ได้แก่ เอนไซม์ไลเปส (Lipase) จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน สามารถจำแนกรูปแบบของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลออกเป็น 2 รูปแบบ คือ กระบวนการทางเคมี (ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี) และกระบวนการทางเอนไซม์ (ใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) ซึ่งแต่ละกระบวนการผลิตมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป



รูปที่ 3.2 แสดงภาพวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 3.3 แสดงภาพน้ำมันพืชไข่แล้วที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

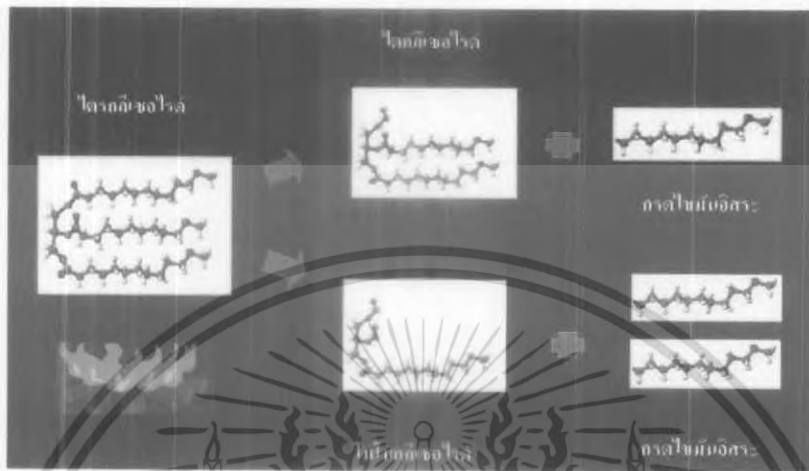
#### 3.2.4 การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทางเคมี

ไบโอดีเซล คือ นำน้ำมันพืชไม่ว่าจะเป็นของไข่แล้วหรือใหม่ มาเปลี่ยนให้เป็นเอสเทอร์ (Ester) ผ่านกระบวนการแยกเรียกว่า Transesterification ซึ่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ จะได้ส่วนของ fatty acid alkyl ester และกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งเมื่อเกิดการแยกชั้น ส่วนของชั้นกลีเซอรอลจะอยู่ด้านล่าง ส่วนของอัลคิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลจะอยู่ในส่วนชั้นบน ซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์เป็น intermediate ในระบบ

เพื่อแยกกลีเซอรินผ่านทางปฏิกิริยาเคมี โดยมีเอทานอลหรือเมทานอลผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide)

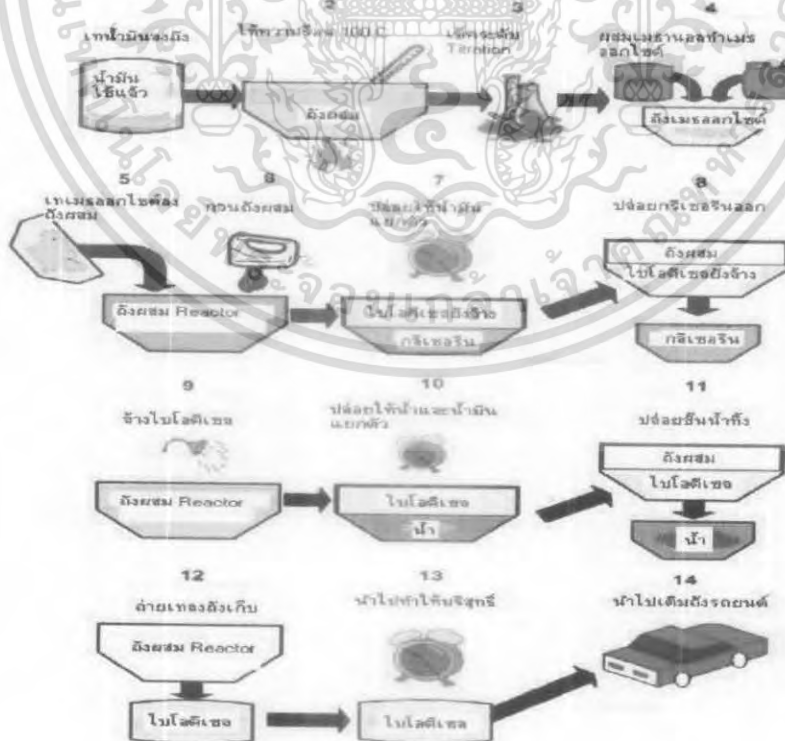
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าใช้ เมทานอลผสมเรียกว่าเมทอกไซด์ (Methoxide) แต่ถ้าใช้เอทานอลผสมเรียกว่า เอทอกไซด์ (Ethoxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเรียกว่า Catalyst เมทานอล หรือเอทานอลใช้ได้ทั้ง เมทิล เมทานอล (Methyl Methanol) และ เอทิลเอทานอล (Ethyl Ethanol).



รูปที่ 3.4 แสดงภาพ โครงสร้าง โครกลีเซอไรต์ในระดับโมเลกุล

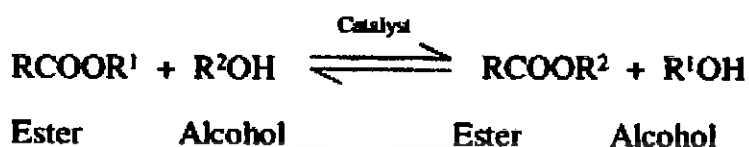
3.3 ขั้นตอนการทำไบโอดีเซลขั้นพื้นฐาน (Basic Biodiesel Making) มีขั้นตอนคร่าวๆดังนี้



รูปที่ 3.5 แสดงแผนภาพขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

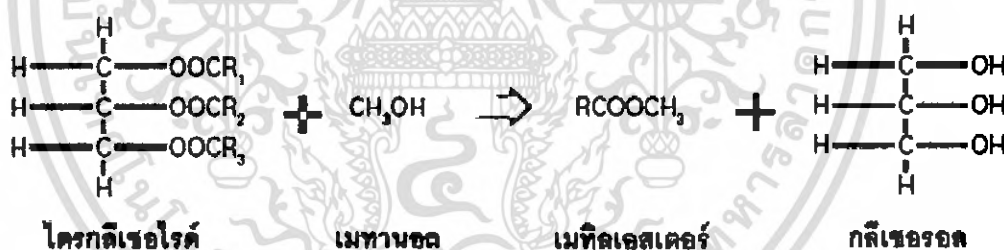
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตโดยใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน หรือปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ บางครั้งนิยมเรียกว่า alcoholysis นิยามโดยทั่วไป หมายถึง กระบวนการของปฏิกิริยาเคมีที่มีการแทนที่หมู่แอลกอฮอล์ในเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์อีกชนิดหนึ่ง สมการของปฏิกิริยาเคมีแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (tranesterification)

กระบวนการนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อการปรับปรุงคุณภาพทางเชื้อเพลิงที่พัฒนามาจากไตรกลีเซอไรด์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะการลดค่าความหนืดของเชื้อเพลิงลง ซึ่งอาจสามารถนิยามจำเพาะเจาะจงได้ว่า เป็นกระบวนการของปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์ เพื่อก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์หรืออัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอล ดังสมการแสดงปฏิกิริยาในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาทรานเมทิลเลชัน (tranmethylation)

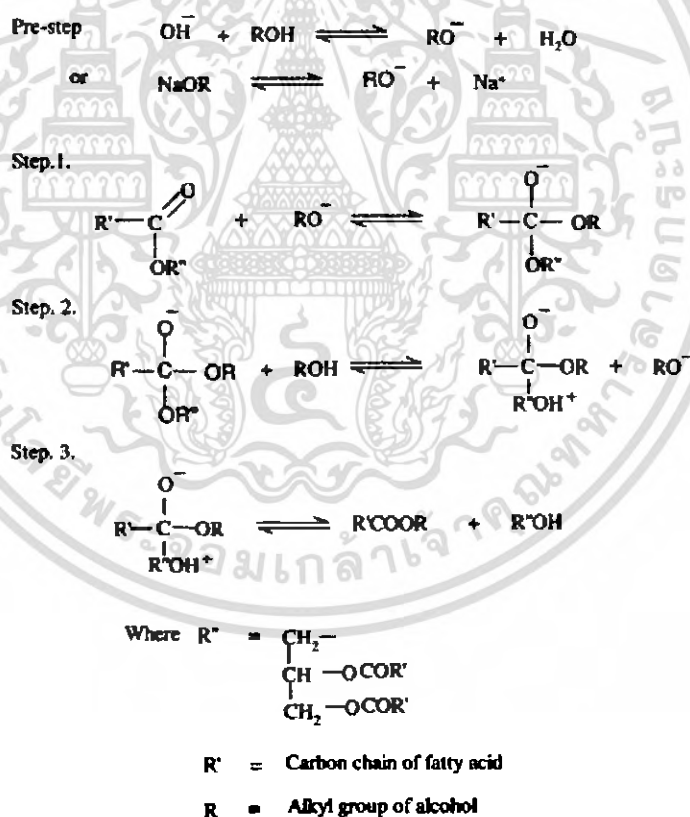
โดยธรรมชาติแล้วปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ค่อนข้างช้ามากและสามารถผันกลับได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อส่งเสริมให้มีอัตราของปฏิกิริยาไปข้างหน้าและผลผลิตสูงขึ้น และควรเพิ่มปริมาณของแอลกอฮอล์ตั้งต้นให้เกินพอเนื่องจากเมทานอลมีความเป็นพิษต่อมนุษย์และนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้น้อย ทำให้มีการเลือกใช้เอทานอลมากขึ้น อีกทั้งเอทานอลยังเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ประเทศไทยกำลังส่งเสริมการผลิตเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในประเทศ

สำหรับปฏิกิริยานี้สามารถเพิ่มอัตราเร็วด้วยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น อัลคาไล (alkalis) กรด(acid) และเอนไซม์ก็ได้ แต่โดยส่วนใหญ่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด alkalis ตัวอย่างเช่น NaOH, KOH, carbonates และสารเคมีที่อยู่ในรูปของ sodium และ potassium hydroxide เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าข้อมูลและใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sodium methoxide, sodium ethoxide, sodium propoxide และ sodium butoxide เป็นต้น ในกรณีของกรด จะนิยมใช้ sulfuric acid, sulfonic acid และ hydrochloric acid และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด alkalis จะมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาและผลผลิตสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดมาก จึงเป็นที่นิยมมาใช้ในกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลมากที่สุดกว่าชนิดอื่น แต่สิ่งที่ต้องควรระวังในการใช้ตัวเร่งเบส คือ ปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในสารตั้งต้น สามารถกระตุ้นปฏิกิริยาบางส่วน เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน (saponification) แทนที่ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของสบู่ทดแทนผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นการลดปริมาณของไบโอดีเซลที่ให้น้อยลง นอกจากนี้ สบู่ยังทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการแยกอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอลออกจากกันได้ยากเพิ่มขึ้น เพราะสบู่จะไปช่วยลดแรงตึงผิวทำให้เกิดเป็นอิมัลชันได้ ทั้งนี้ยังทำให้การปรับปรุงคุณภาพของไบโอดีเซลด้วยการล้างด้วยน้ำทำได้ยากขึ้น สมการและกลไกปฏิกิริยาที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่

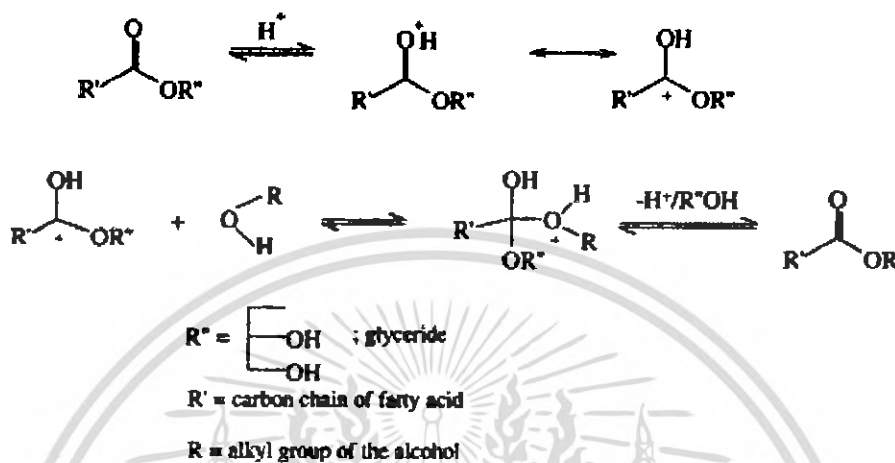


รูปที่ 3.8 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยตัวเร่งเบส

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยตัวเร่งเบสและสารตั้งต้น ไครกลีเซอไรด์ของไขมันและน้ำมัน จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำจะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูง แต่ถ้าสารตั้งต้น ไครกลีเซอไรด์มีปริมาณกรดไขมันอิสระในปริมาณมาก จะทำให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับตัวเร่งเบสทำ

เอกลอร์นี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับอธิบายแนวทางที่เอกลอร์คิดจะนำไปใช้ในอนาคต โดยจะให้ความสำคัญกับการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นควรผลิตด้วยกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ที่ใช้กรดเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยาจะเหมาะสมมากกว่า แต่ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่การใช้ตัวเร่งกรดจะถูกใช้เฉพาะในกรณีนี้ เท่านั้น สมการและกลไกปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยตัวเร่งกรดแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยตัวเร่งกรด

### 3.3.1 กลไกการเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยตัวเร่งเบสและตัวเร่งกรด

กลไกของปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งเบส ดังแสดงในรูปที่ 3.8 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนของ pre-step จะเกิด alkoxide ion ซึ่งเป็นตัวที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ ซึ่งเกิดได้จากไฮดรอกไซด์ไอออนของตัวเร่งเบสจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เกิดเป็น alkoxide ion หรือเกิดได้จากตัวเร่งเบสที่อยู่ในรูป sodium เมื่อละลายน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ alkoxide ion ออกมา จะสังเกตได้ว่าการใช้ตัวเร่งเบสที่ไม่ได้อยู่ในรูป sodium ในปฏิกิริยาการเกิด alkoxide ion จะได้น้ำออกมาด้วย ซึ่งอาจมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน (saponification) แต่การใช้ตัวเร่งเบสที่อยู่ในรูปของ sodium (เช่น sodium methoxide) ถือว่าจะไม่เกิดน้ำ แต่ผลการใช้จะทำให้เกิด sodium salt ซึ่งเป็น by-product ซึ่งเป็น waste หรือถ้าใช้ตัวเร่งเบสในรูป alkalis ก็ควรคำนึงถึงปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นซึ่งจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน (saponification) ทำให้เกิดส่วนของสบู่ซึ่งจะไปเพิ่มความหนืดหรือเกิดการฟอร์มเจล ซึ่งจะมีผลไปรบกวน (interfere) การทำปฏิกิริยาในการแยกกลีเซอรอล มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตเอสเทอร์ที่ได้น้อยลง

ในขั้นตอนแรกจะเกี่ยวข้องกับ การเข้าไปทำปฏิกิริยาของ alkoxide ion กับหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่งคาร์บอนอะตอมของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ผลที่เกิดขึ้นเกิดเป็น tetrahedral intermediate ในขั้นตอนที่สอง intermediate นี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ทำให้เกิด alkoxide ion ซึ่งเป็นตัวที่สำคัญในปฏิกิริยาการเกิด intermediate และในขั้นตอนนี้ tetrahedral intermediate จะเกิด

การจัดเรียงตัวใหม่ (rearrangement) เกิดเป็นเอสเทอร์และไตรกลีเซอไรด์ จึงทำให้ได้ส่วนของเอสเทอร์และไตรกลีเซอไรด์มากขึ้น

กลไกของปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งกรด ดังแสดงในรูปที่ 3.9 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเร่งปฏิกิริยาได้โดยการใช้กรด Brownsted acids ซึ่งเตรียมได้จาก sulfonic acid และ sulfuric acid. การเร่งปฏิกิริยาโดยใช้กรดสามารถให้ผลผลิต อัลคิลเอสเทอร์ได้ในปริมาณมาก (high yield) แต่เป็นปฏิกิริยาที่เกิดได้ช้ามาก ต้องใช้อุณหภูมิสูง (มากกว่า 100 องศาเซลเซียส) และใช้เวลานาน (มากกว่า 3 ชั่วโมง) ในการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ กลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มจากกรดแตกตัวให้โปรตอนซึ่งจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของโมเลกุลเอสเทอร์ โดยจะเข้าไป protonated ทำให้โมเลกุลของเอสเทอร์มีความเป็นประจุบวกมากขึ้น เมื่อนำมาทำปฏิกิริยากับแอคซอลซึ่งมีคุณสมบัติเป็น nucleophile จะใช้คู่อิเล็กตรอนของออกซิเจนอะตอมเข้าทำปฏิกิริยากับเอสเทอร์ที่ตำแหน่งคาร์บอนอะตอม จากปฏิกิริยานี้ทำให้เกิด tetrahedral intermediate ซึ่ง intermediate นี้จะกำจัดส่วนของกลีเซอรอลออกไปเกิดเป็นเอสเทอร์ตัวใหม่ซึ่งถูกแตกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์และได้ส่วนของโปรตอนออกมาด้วยจึงเป็นการทำให้เกิดตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่วนเวียนอยู่ในระบบ

อีกทั้งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์จะได้ส่วนของ fatty acid alkyl ester และกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งเมื่อเกิดการแยกชั้น ส่วนของชั้นกลีเซอรอลจะอยู่ด้านล่าง ส่วนของอัลคิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลจะอยู่ในส่วนชั้นบน ซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์และมอนอกลิเซอไรด์เป็น intermediate ในระบบ

### 3.3.2 การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทางเอนไซม์

ไลเปส เป็นเอนไซม์ที่คุณสมบัติในการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ อย่างไรก็ตามในสภาวะที่เหมาะสมเอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาต่างๆ แหล่งของเอนไซม์ไลเปส ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งประเภท แบคทีเรีย ยีสต์ และรา นอกจากนี้ยังพบไลเปสในพืชบางชนิดอีกด้วย ตัวอย่างของไลเปสที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ เอนไซม์ไลเปสจาก *Candida antarctica*, *candida rugosa*, *Pseudomonas cepacia*, *Pseudomonas fluorescens* และ *Rhizomucor miechei* เป็นต้น

ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นไตรกลีเซอไรด์ ด้วยการทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งอาจจะประกอบด้วยปฏิกิริยาเพียงขั้นตอนเดียวหรือหลายขั้นตอนก็ได้ดังต่อไปนี้

#### 1. ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส (alcoholysis)

เอนไซม์ไลเปสสามารถเร่งปฏิกิริยานี้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ไบโอดีเซล) กับกลีเซอรอล โดยวิธีนี้พบว่าปฏิกิริยาจะเกิดค่อนข้างช้าและการทำงานของเอนไซม์ไลเปส อาจถูกยับยั้งโดยปริมาณของเมทานอลที่มากเกินไป ทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามวิธีแก้ไขสามารถทำได้โดย แบ่งปฏิกิริยาเป็นหลายขั้นตอนด้วยการเติมเมทานอลใน

ปฏิกิริยาคั้งละน้อย เพื่อป้องกันการยับยั้งเอนไซม์ไลเปสโดยเมทานอล ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณของเมทานอลต่อปริมาณของกรดไขมันทั้งหมดในไตรกลีเซอไรด์ไม่ควรเกิน 3:1 โดยโมล

2. ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสร่วมกับเอสเทอร์ฟิเคชัน (hydrolysis and esterification)

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชโดยวิธีนี้จะอาศัยปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หรือการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ในไตรกลีเซอไรด์โดยเอนไซม์ไลเปส ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ ได้แก่ กรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล กลีเซอรอลที่เกิดขึ้นสามารถแยกออกได้โดยง่ายเนื่องจากเกิดการแยกชั้นกับกรดไขมันอิสระ สำหรับในปฏิกิริยาขั้นตอนที่สองคือ เอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระกับเมทานอล และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือไบโอดีเซลนั่นเอง ในขั้นตอนนี้ของเอสเทอร์ฟิเคชัน อาจทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสโดยเมทานอลที่มากเกินไป ดังนั้นปริมาณเมทานอลที่เติมลงไป ปฏิกิริยาจำเป็นต้องมีการศึกษาให้เหมาะสมกับสารตั้งต้นและชนิดของเอนไซม์ไลเปสซึ่งโดยทั่วไปปริมาณของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระจะอยู่ในช่วง 1:1 ถึง 5:1 โดยโมล สำหรับชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอนนี้จะเป็นเอนไซม์ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้

ปัญหาหลักของการใช้เอนไซม์ไลเปสในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง เนื่องจากเอนไซม์ไลเปสมีราคาแพง รวมทั้งปัญหาความเสถียรภาพของเอนไซม์ในระหว่างการเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ โดยการใช้เอนไซม์ในรูปของเอนไซม์ตรึงรูปหรือการตรึงเซลล์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสแทนการใช้เอนไซม์อิสระ โดยวิธีนี้จะสามารถทำให้นำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำได้หลายครั้ง ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้

3.4 การวิจัยและพัฒนาการผลิตไบโอดีเซล

3.4.1 การวิจัยและพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์เพื่อผลิตไบโอดีเซล

ในประเทศไทยได้มีการดำเนินการศึกษา และ วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบ พบว่า น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติในการนำมาใช้ผลิตเป็นไบโอดีเซลมากที่สุด โดยได้ดำเนินการออกแบบจัดสร้าง ติดตั้ง และทดสอบ เครื่องปฏิกรณ์ และทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ และ สภาวะการทำงานต่างๆ ของชุดอุปกรณ์ทั้งจ่ายสาร ความเร็วรอบของเครื่องปฏิกรณ์ และดำเนินการวิเคราะห์ ข้อมูลการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งผลที่ได้นำไปสู่ จุดเริ่มต้นในการพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลสู่เชิงพาณิชย์ต่อไป

3.4.2 การศึกษาและวิจัยสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ได้มีการทำการศึกษาและวิจัยสารเร่งปฏิกิริยาที่มีความเหมาะสม เพื่อใช้ในกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ของน้ำมันมะพร้าวดิบในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ โดยใช้สารโพแทสเซียม คาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าสารทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเนื้อผสมในการผลิตแบบไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้คิ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนของสารตั้งต้นและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวเพื่อวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ได้

### 3.4.3 การศึกษาและวิจัยวิธีการและมาตรฐานในการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล

ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับ mono-, di-, tri- glyceride และแอลกอฮอล์ที่เจือปนอยู่ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากวัตถุดิบในประเทศ โดยทำการวิเคราะห์ค่ากลีเซอรินอิสระและค่ากลีเซอรินรวมในตัวอย่างไบโอดีเซลด้วยวิธีการ Enzymatic Analysis เปรียบเทียบกับการใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี(GC) และทำการสรุปข้อมูลผลการวิจัยเพื่อจัดทำเอกสาร วิธีการมาตรฐานในการตรวจสอบวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลต่อไป

### 3.4.4 การศึกษาการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเครื่องยนต์

งานวิจัยของพงษ์ชัย ขุมมงคล และสมชาย จันทร์ชานา, 2535 ได้ทำการวัดปริมาณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ คือ CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> และควันท้าโดยใช้ น้ำมันดีเซลที่มีอุณหภูมิจุดก้นและสารประกอบซัลเฟอร์ไม่เท่ากัน ดังนี้คือ

1. น้ำมันดีเซลอุณหภูมิจุดก้น 370 °C และสารประกอบซัลเฟอร์ 0.8 %
2. น้ำมันดีเซลอุณหภูมิจุดก้น 357 °C และสารประกอบซัลเฟอร์ 0.5 %
3. น้ำมันดีเซลอุณหภูมิจุดก้น 317 °C และสารประกอบซัลเฟอร์ 0.1 %

โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วงดังนี้

ก. ทำการทดสอบในถนนระยะไกล โดยใช้รถบรรทุกน้ำมันดีเซลจากกรุงเทพมหานครไปจังหวัดขอนแก่น และรถบรรทุกถึงปลายทางจากขอนแก่นมากรุงเทพมหานคร ระยะทางโดยเฉลี่ย 450 กิโลเมตร โดยบันทึกทุกพารามิเตอร์ทุกๆ 15.20 นาที

ข. ทำการทดสอบถนนในระยะสั้น โดยใช้รถบรรทุกเบาหรือรถปิคอัพ ไม่ติดตั้งเทอร์โบ เริ่มจากบางแคถึงสะพานนครชัยศรีมีระยะทางประมาณ 55 กิโลเมตร และทำการบันทึกพารามิเตอร์

ค. ทำการทดสอบเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องยนต์ KUBOTA ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ไคเรออินเจกชั่น 3 กระบอกสูบ 925 ซีซี.

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปริมาณการปลดปล่อย CO และ HC ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิจุดก้นน้ำมันดีเซล (น้ำมันดีเซลที่มีอุณหภูมิจุดก้นต่ำสุดปลดปล่อย CO และ HC ในปริมาณน้อยสุด) ในขณะที่การปลดปล่อย NO<sub>x</sub> จะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิจุดก้นของน้ำมันดีเซล ส่วนการปลดปล่อย SO<sub>2</sub> จะขึ้นกับปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำมันดีเซล ในขณะที่การะการบรรทุกของรถจะมีผลต่อการปลดปล่อยมลพิษรถที่มีภาระบรรทุกหนักจะปลดปล่อย CO และ NO<sub>x</sub> มากกว่ารถที่ไม่มีภาระบรรทุกและในขณะที่เดียวกัน CO และ NO<sub>x</sub> ที่ปลดปล่อยมากขึ้นด้วย ส่วน SO<sub>2</sub> จะให้ผลเช่นเดียวกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของน้ำมันเชื้อเพลิงอุณหภูมิจุดกลั่น 370 °C ส่วนปริมาณ ไฮโดรคาร์บอน ไม่มีผลกับความเร็ว

งานวิจัยของพิศมัย เจนวนิชปัญญกุล และคณะ, 2524 ศึกษาการใช้ น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง ในเครื่องยนต์ดีเซล ได้ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 7 แรงม้า 1 ลูกสูบ ลักษณะหัวฉีดเป็นการ ฉีดเข้าโดยตรงและไม่มีการคัดแปลงชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ น้ำมันพืชที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงคือ น้ำมัน เมล็ดสนุ่นค้ำชนิดคิบ น้ำมันมะพร้าวชนิดคิบ น้ำมันถั่วลิสงชนิดคิบ น้ำมันถั่วลิสงชนิดรีไฟน์ น้ำมัน ผสมระหว่างน้ำมันถั่วลิสงชนิดคิบ 40% กับน้ำมันดีเซล น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วลิสงชนิดคิบ 50% กับน้ำมันก๊าด ผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะสั้นพบว่าทำงานได้ดีเครื่องติดง่าย เกิดการสันดาปได้อย่างต่อเนื่อง และไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดที่รอบต่ำเหมือนการใช้ น้ำมันถั่วลิสงล้วนๆ นอกจากนั้น วท. ยังได้ทดลองนำ fatty acid methyl ester จากน้ำมันปาล์มหรือ เรียกสั้นๆว่า เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอส เทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มที่มีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมัน ดีเซล ในการทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ให้กำลังเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซล

จากงานวิจัยของนิโรจน์ อัครปัญญาวิทย์, 2548 ได้ศึกษาการใช้ น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอ ดีเซลกับรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กทางด้านสมรรถนะและมลพิษ โดยทำการทดสอบใช้น้ำมัน 2 ชนิด คือ น้ำมันไบโอดีเซล palm sterin Methyl ester และ Rapeseed methyl ester โดยทำการทดสอบกับรถ ISUZU DMAX 2.5 L และ TOYOTA D4D 2.5L พบว่าน้ำมันดีเซลที่ผสมไบโอดีเซล 2 % สาร มลพิษที่เกิดขึ้น อัตราการใช้เชื้อเพลิงกำลังรถยนต์และอัตราเร่งไม่แตกต่างกันกับน้ำมันดีเซล และสามารถลดควันดำได้ 10% ส่วนน้ำมันดีเซลที่ผสมไบโอดีเซล 5% พบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงกำลัง รถยนต์และอัตราเร่งไม่แตกต่างกันกับน้ำมันดีเซล และเมื่อนำน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซล 20% พบว่า CO ลดลง 10-20% แต่ NO<sub>x</sub> เพิ่มขึ้น 10% ในขณะที่ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้น 3-4% และกำลังรถยนต์ กับอัตราเร่งลดลง 2-4% เมื่อทำการทดสอบด้วยน้ำมันไบโอดีเซล 100% พบว่า CO ลดลง 20-40% แต่ NO<sub>x</sub> เพิ่มขึ้น 20% ควันลดลง 60% สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้น 8-10% แต่ กำลังรถยนต์และอัตราเร่งลดลง 7-10%

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการใช้ไบโอดีเซล 100% ที่มีองค์ประกอบของธาตุออกซิเจนใน โมเลกุลร้อยละ 10 โคขมวล ลักษณะของไบโอดีเซลจะมีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ที่ฉีดเข้าไปในเครื่องยนต์น้อยกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10% ในขณะที่ออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบ ของไบโอดีเซลจะช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้นจึงสามารถลด CO ได้ แต่ก็ทำให้ NO<sub>x</sub> เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้น ตามสัดส่วน ไบโอดีเซลที่ผสมมากขึ้น และ กำลังรถยนต์กับ อัตราเร่งจะลดลงตามสัดส่วนไบโอดีเซลที่มากขึ้นด้วย

งานวิจัยของ รศ. พูลพร แสงบางปลา นายศษมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทย จากเอกสาร ประกอบการสัมมนาเรื่องการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์มีผลอย่างไร 29 พฤษภาคม 2544 ได้ทำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้สำหรับความรู้ทางวิชาการเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การทดสอบกับน้ำมันพืช 4 ชนิด มีดังนี้ น้ำมันถั่ว น้ำมันมะพร้าว น้ำมันสลัดโค น้ำมันสนุ่นค้ำ และ ไบโอดีเซลชนิดต่างๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันพืชเหล่านี้มาผสมกับน้ำมันดีเซลโดยอัตราส่วนน้ำมันพืช คือน้ำมันดีเซล คือ 20% 40% 60% และ 80 % และได้ทดสอบโดยใช้ใช้น้ำมันพืช 100% โดยตรงไม่ผสมน้ำมันดีเซลโดยเครื่องยนต์ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปเป็นเครื่องยนต์ KUBOTA สูบเคียว เครื่องยนต์ PETTER 2 สูบ และเครื่องยนต์ดีเซล 3 สูบ KIRLOSKAR R 33 ในการทดสอบได้มีการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องโดยใช้ น้ำมันดีเซล 100% โดยทดสอบค่า break power

งานวิจัยของสมิทร โฉมเฉลา และนายรัตนพงศ์ วงศ์พิมพ์รัมย์ พ.ศ. 2525 ศึกษาการใช้เชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล โดยศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันพืชเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลโดยการนำน้ำมันพืชมาผสมน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนในการผสม 5% 10% 20% 30% และ 50% เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานเพื่อคุณสมบัติทางกายภาพและศึกษาถึงกำลังงาน และทอร์คที่ได้เมื่อนำมาใช้ งานกับเครื่องยนต์โดยเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบเป็นเครื่องยนต์ NISSAN TD27 4 สูบ 16 วาล์ว

จากการค้นคว้างานวิจัยของ ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2544 พบว่าผลกระทบต่อความคงทนของเครื่องยนต์ในการใช้ไบโอดีเซลมีดังนี้ คือ

1. ความหนืดที่สูงของน้ำมันพืช ทำให้หัวฉีดไม่สามารถทำน้ำมันให้เป็นละอองฝอยได้ดีเท่ากับน้ำมันดีเซล
2. ก้อนละออง (droplet) มีขนาดใหญ่ทำให้มีผลเสียสองประการ คือ หนึ่งมีโมเมนตัมมาก ทำให้ทะลุผ่านม่านอากาศในกระบอกสูบได้ลึกมากกว่าน้ำมันดีเซล ส่วนหนึ่งจะพุ่งไปชนผนังกระบอกสูบที่เย็น ทำให้ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดจด และ สอง การระเหยให้หมอกภายในเวลาเดินทาง จากหัวฉีดไปยังผนังไม่อาจกระทำไ้เพราะก้อนมวลใหญ่เกินไป มีผลทำให้การผสมตัวและการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์
3. ก้อนละอองที่ว่องวนผนังกระบอกสูบมีการเผาไหม้เพียงบางส่วนซึ่งนำไปสู่การปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง หรือการสะสมตัวของสารประกอบคาร์บอนตามส่วนต่างๆ เช่น ที่แหวนลูกสูบ ลูกสูบผนังกระบอกสูบ รวมทั้งส่วนอื่นๆ ของเครื่องยนต์

การเกิดการสะสมทางกระบวนการทางเคมีเป็นกระบวนการ Polymerization จะเกิดขึ้นได้ง่ายหากน้ำมันมีพันธะคู่สูง ส่วนการปนเปื้อนน้ำมันเครื่องจะทำให้คุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเครื่องเปลี่ยนแปลงไป เช่น ไส้กินไป ชันกินไป หากน้ำมันไส้กินไปอาจเกิดจากน้ำมันมีพันธะเดี่ยวมากจึงใสขึ้น การที่น้ำมันใสขึ้นจะไปเกาะที่กระบอกสูบมาก เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จะถูกแก๊สความดันสูงหรือ แหวนลูกสูบกวาดน้ำมันไปผสมกับน้ำมันเครื่องทำให้น้ำมันใสขึ้นได้ แต่หากน้ำมันชันกินไป ความเหนียวของน้ำมันจะถูกกวาดลงไปผสมน้ำมันเครื่อง จึงทำให้น้ำมันข้นขึ้น

การที่น้ำมันเครื่องใสกินไปจะทำให้การหล่อลื่นคือประสิทธิภาพทำให้เครื่องยนต์เกิดการสึกหรอมาก แต่การชันกินไปอาจทำให้มีการเสียดทานมากทำให้เครื่องยนต์ร้อนเกินไป นอกจากนี้ยังมีปัญหาเกิดจากเขม่า และ ช่างเหนียว เกาะตามส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ สันนิษฐานว่าเกิดจาก

เอ็กซอสเป็นและสารที่สร้างไว้ว่าหมอกใช้เงามเพื่อลดเสียงรบกวนทำเน็ไปเรื่อยจากใช้ไปจึงคือประโยชน์ของการค้าไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บทที่ 4

## ขั้นตอนการทดลองและอุปกรณ์

## 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 4.1 แสดงหม้อต้มขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว หนา 1.5 มิลลิเมตร และ ขนาด 1.5 นิ้ว x 1.5 นิ้ว หนา 1 มิลลิเมตร สำหรับทำฐานวางอุปกรณ์

รูปที่ 4.2 แสดงถังสแตนเลสหุ้มฉนวนด้วยใยหินหนา 1 นิ้ว และหุ้มทับฉนวนด้วยแผ่นสแตนเลสบางหนา 1 มิลลิเมตร ขนาดความจุ 50 ลิตรที่ใช้สำหรับทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงถึงพลาสติก ชนิด LDPE (Low Density Polyethylene) ขนาดความจุ 100 ลิตร ใช้เป็น ถังพักสำหรับแบกกลีเซอริน , ถังสำหรับล้างไม ไอดีเซลด้วยน้ำ ถังสำหรับเก็บน้ำ, ถังสำหรับเก็บน้ำที่ผ่านการล้างไม ไอดีเซลและสบู่ที่เกิดขึ้น และถังสำหรับเก็บน้ำมัน ไม ไอดีเซลที่ผลิตเสร็จ



รูปที่ 4.4 แสดงถึงพลาสติกชนิด HDPE (High Density Polyethylene) สำหรับ เก็บสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ขนาดความจุ 10 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEMPERATURE  
SENSOR

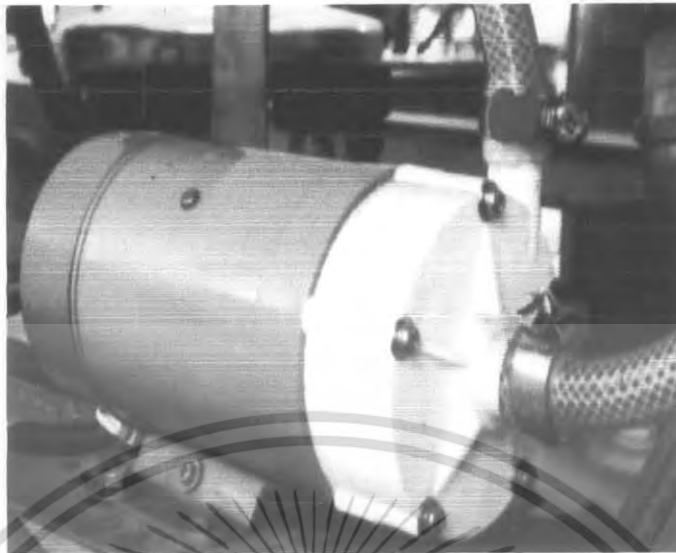


รูปที่ 4.5 แสดงถึงคัมไฟฟ้าสแตนเลสสำเร็จรูป ครอบ ถานกนางนวล ขนาด 3200 วัตต์ ความจุ 36.5 ลิตร ใช้สำหรับคัมไต้่น้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนทำปฏิกิริยา



รูปที่ 4.6 แสดงปั้มน้ำแบบหอยโข่ง ( Centrifugal Pump ) ใช้สำหรับดูดน้ำจากถังสำหรับเก็บน้ำ ส่งไปยังถังสำหรับล้างไบโอดีเซล , ใช้สำหรับดูดน้ำมันพืชใช้แล้วจากถังเก็บน้ำมันพืชไปยังตัวกรองน้ำมันพืช , ใช้ส่งผ่านไบโอดีเซลจากถังสำหรับล้างไบโอดีเซลถึงที่หนึ่ง ไปยังถังสำหรับล้างไบโอดีเซลถึงที่สอง และใช้ดูดไบโอดีเซลที่ผ่านการคัมไต้่น้ำแล้วส่งไปยังถังเก็บไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงปั๊มสำหรับสารเคมี (Magnetic Sealless Chemical Pump) ใช้สำหรับส่งผ่านน้ำมันพืชที่ผ่านการต้มไอน้ำเข้าสู่ถังทำปฏิกิริยา , ใช้สำหรับส่งผ่านไบโอดีเซลจากถังทำปฏิกิริยาเข้าสู่ถังแยกกลีเซอริน และ ใช้สำหรับส่งผ่านไบโอดีเซลจากถังแยกกลีเซอรินเข้าสู่ถังล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ



รูปที่ 4.8 แสดงวาล์วไฟฟ้า (Solenoid Valve) สำหรับควบคุมการไหลของน้ำมันพืชใช้แล้ว, ไบโอดีเซล, สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ใช้กับท่อขนาด  $\frac{1}{2}$  นิ้ว และ  $\frac{3}{4}$  นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

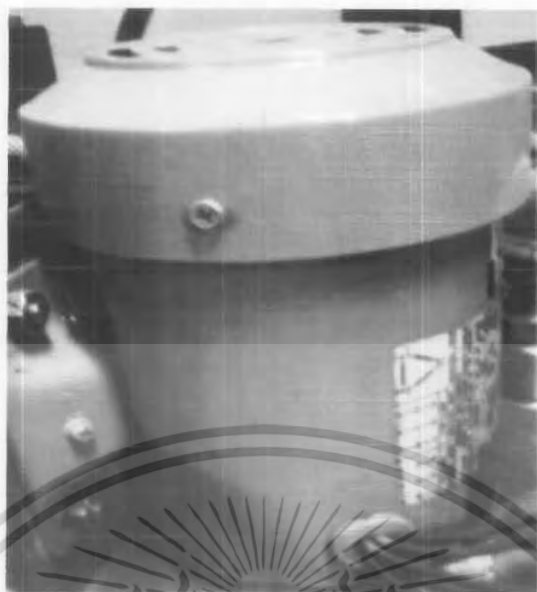


รูปที่ 4.9 แสดงบอลวาล์ว (Ball Valve) ใช้กับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\frac{1}{4}$  นิ้ว สำหรับ  
ปรับเพิ่ม-ลด อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่หัวฉีด



รูปที่ 4.10 แสดงสายยางชนิดทนสารเคมี (ประเภทวัสดุ Fluoride Polymer (PTFE),  
Polyurethane, Polyester Thread และ Soft PVC) ขนาดสายยาง  $\frac{1}{4}$  นิ้ว ใช้สำหรับ  
ลำเลียงน้ำมันพืชใช้แล้ว, ไบโอดีเซลและน้ำ และขนาดสายยาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว ใช้สำหรับ  
ลำเลียงสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.25 HP, 4 Poles, 1430 rpm , 380 V. สำหรับกวนสารที่อยู่ในถังทำปฏิกิริยา

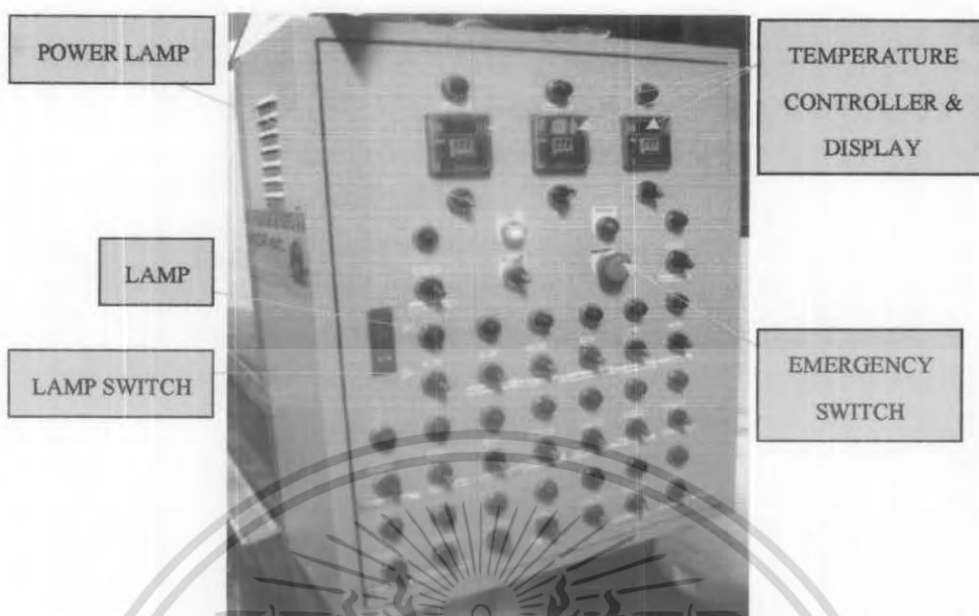


Sight Glass

หุ้มฉนวนด้วยใยหิน  
หนา 1 นิ้ว และ หุ้ม  
ด้านนอกด้วย  
สแตนเลสบาง  
หนา 1 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.12 แสดงถังต้มไฟฟ้าสแตนเลสสำเร็จรูปทรงานกวางนวล ขนาด 3200 วัตต์ ความจุ 36.5 ลิตร หุ้มฉนวนด้วยใยหินหนา 1 นิ้ว และ หุ้มด้านนอกด้วยสแตนเลสบางหนา 1 มิลลิเมตร ใช้สำหรับต้มไอน้ำออกจากไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

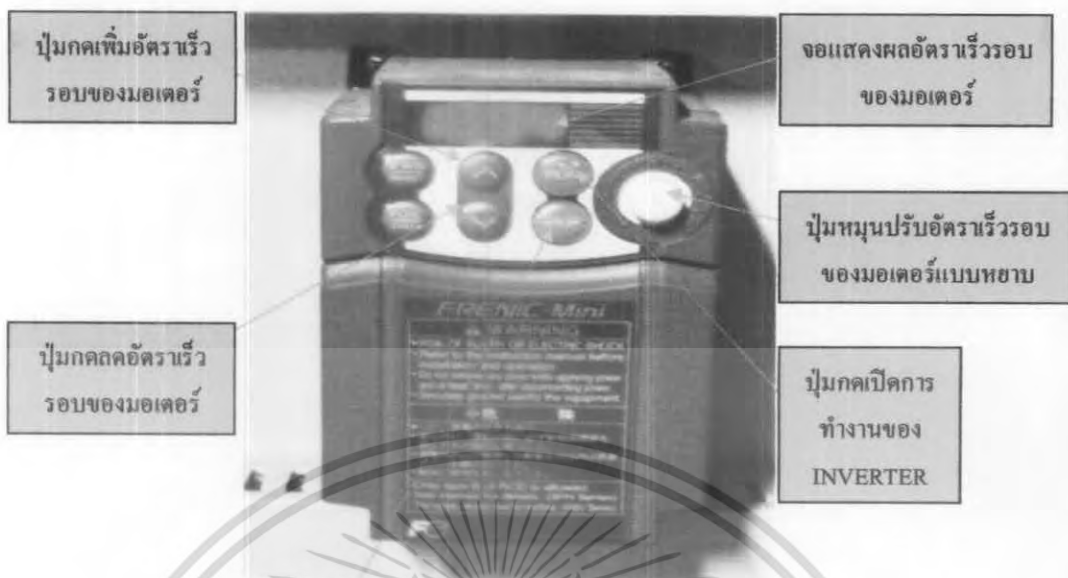


รูปที่ 4.13 แสดงตู้คอนโทรลที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดในเครื่องผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 4.14 แสดงอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในเครื่องผลิตไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดง INVERTER ใช้ปรับเพิ่ม-ลด อัตราเร็วรอบของมอเตอร์กวนสารในถัง  
ทำปฏิกิริยา



รูปที่ 4.16 แสดง Temperature Controller ใช้สำหรับควบคุมและแสดงผลอุณหภูมิ  
ของ Heater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงหัวฉีดยาน้ำ วัสดุทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.18 แสดงไส้กรองน้ำมันพืชใช้แล้ว วัสดุไส้กรองกระดาษอัดขนาดช่องว่าง 0.15 ไมครอน

#### 4.2 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1. น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการทอดปลาทอดไก่ หรือ ผ่านการทอดไก่ โดยเลือกน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีสิ่งเจือปนน้อยที่สุด แล้วนำมากรองสิ่งเจือปนออกก่อนเก็บเข้าในถังเก็บน้ำมันพืชใช้แล้ว
2. เมทานอล เกรดอุตสาหกรรม
3. ค่าง โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) เกรดอุตสาหกรรม
4. กรดซัลฟูริก( $H_2SO_4$ ) เกรดอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ขั้นตอนการทดลอง แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

#### 4.3.1. การสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล

ออกแบบเครื่องผลิตไบโอดีเซลด้วยโปรแกรม Solid Works 2006 โดยมีคุณลักษณะที่สำคัญในการสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล ดังนี้

1. ใช้หลักการลำเลียงของเหลวโดยอาศัยหลักแรงโน้มถ่วงของโลกระหว่างถังใบหนึ่งไปยังถังอีกใบหนึ่ง ทำให้ช่วยประหยัดไฟฟ้าและลดการใช้ปั๊ม
2. สามารถทำการผลิตไบโอดีเซลได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ต้องหยุดรอที่ถังใดถังหนึ่ง ได้คราวละ 3 ครั้งการผลิตไบโอดีเซล
3. ใช้วาล์วไฟฟ้าควบคุมการไหลของของเหลว ทำให้สะดวกต่อการผลิต และ ง่ายต่อการควบคุมการไหลของของเหลว
4. สามารถควบคุมอุณหภูมิไฟฟ้าทั้งหมดในเครื่องผลิตไบโอดีเซลที่ตู้คอนโทรลได้ที่จุดเดียว
5. ถังที่ใช้สำหรับแยกกลีเซอริน ถังล้างน้ำ 1 และถังล้างน้ำ 2 ใช้เป็นถังพลาสติกสีขาว เพื่อง่ายต่อการดูชั้นของไบโอดีเซล และ ถ่ายกลีเซอริน น้ำล้างไบโอดีเซลและสบู่ ออกทางก้นถัง โดยผ่านสายขางใส ทำให้ง่ายต่อการแยกกลีเซอริน น้ำล้าง และสบู่ ออกจากไบโอดีเซลด้วยสายคา
6. การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ ทำการล้างถึง 6 ครั้ง และ ใช้ปั๊มดูดน้ำในถังเก็บน้ำผ่านสายขางเข้าสู่หัวฉีดที่ติดตั้งไว้ที่ด้านบนของถัง 3 หัว ห่างกันเป็นรูปสามเหลี่ยมตามแนวเส้นรอบวงของถัง โดยขนาดรูของหัวฉีด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ทำให้ล้างไบโอดีเซลได้ทั่วถึงและรวดเร็ว
7. แยกถังกลีเซอริน ถังล้างน้ำ 1 และ ถังล้างน้ำ 2 ออกจากกัน ทำให้ไม่เสียเวลาในการรอทำกระบวนการต่อไป
8. เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลแต่ละครั้งเท่ากับ 25 ชั่วโมง โดยคิดเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาน้อยสุดแล้วสามารถเกิดเป็นไบโอดีเซลได้ คือ 1 ชั่วโมง

ขั้นตอนการสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล พอสังเขป มีดังนี้

1. ออกแบบถังทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ด้วยโปรแกรม SolidWorks 2006 โดยมีลักษณะที่สำคัญดังนี้
  - 1.1 ถังมีปริมาตร 50 ลิตร
  - 1.2 ตัวถังทำด้วยสแตนเลส 304 หนา 10 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากสารเคมี
  - 1.3 หุ้มฉนวนด้วยใยหินหนา 1 นิ้ว และหุ้มทับฉนวนด้วยแผ่นสแตนเลสบางหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกจากในถัง ลดภาระงานให้กับฮีตเตอร์ เป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

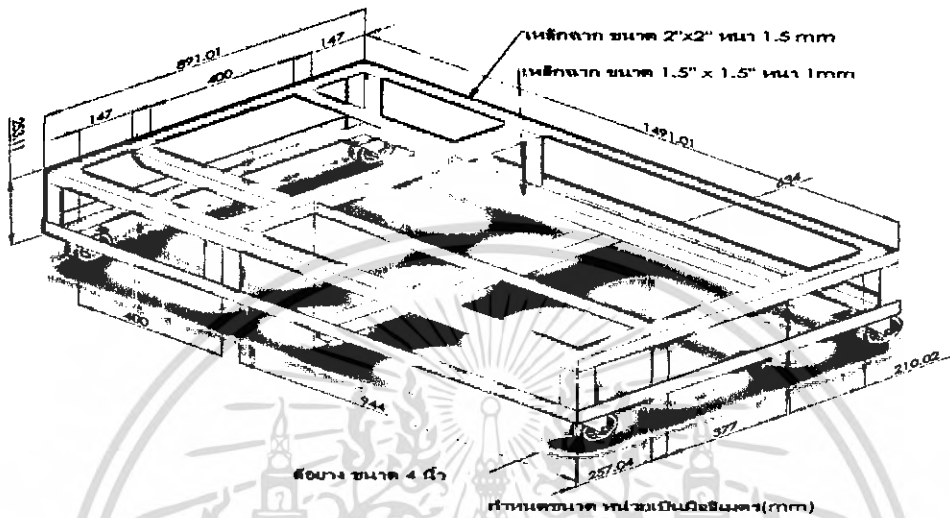
1.4 ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเพลาและใบพัดสแตนเลส ใช้สำหรับกววนสารที่อยู่ในถังทำปฏิกิริยาโดยมอเตอร์ไฟฟ้าติดตั้งไว้ด้านบนถัง และควบคุมอัตราเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ ด้วยอินเวอร์เตอร์

1.5 ติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2200 วัตต์ ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ และ ชุดอุปกรณ์ควบคุมและแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล

2. ประยุกต์ถังคัมน์น้ำไฟฟ้าสแตนเลส ตรา นกนางนวล ความจุ 36.5 ลิตร ขนาดฮีตเตอร์ 3200 วัตต์ เป็นถังคัมน์น้ำได้ออกจากน้ำมันพืช ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ คัดแปลงชุดควบคุมอุณหภูมิ จากเดิมมาเป็นชุดอุปกรณ์ควบคุมและแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
3. ประยุกต์ถังคัมน์น้ำไฟฟ้าสแตนเลส ตรา นกนางนวล ความจุ 36.5 ลิตร ขนาดฮีตเตอร์ 3200 วัตต์ เป็นถังคัมน์น้ำได้ออกจาก ไบโอดีเซล ติดจนวนวไซหินหนา 1 นิ้ว และ ครอบจนวนด้วยแผ่นสแตนเลสบางเบาหนา 1 มิลลิเมตร ติดตั้งกระจกส่องดูสารในถังไว้ด้านบนถัง ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ คัดแปลงชุดควบคุมอุณหภูมิจากเดิมมาเป็นชุดอุปกรณ์ควบคุม และ แสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิทัล
4. เจาะรู 1 รูตรงกลางก้นถังพลาสติกขนาด 100 ลิตร จำนวน 3 ใบ เพื่อต่อสายยางใสขนาด 1 นิ้ว เพื่อใช้เป็นช่องระบายกลีเซอรินออกจากถังแยกกลีเซอริน และ เพื่อใช้เป็นช่องระบายน้ำล้างไบโอดีเซลกับสบู่ ออกจากถังล้างน้ำ และ ถังล้างน้ำ 2
5. เจาะรูด้านล่างและด้านบนของถังพลาสติกขนาด 100 ลิตร ที่ใช้เป็นถังสำหรับแยกกลีเซอริน ถังล้างน้ำ และ ถังล้างน้ำ 2 เพื่อใช้รับ- ถ่ายไบโอดีเซลระหว่างถัง
6. เจาะรูด้านบนของถังพลาสติกขนาด 100 ลิตรที่ใช้เป็นถังล้างน้ำ 1 และ ถังล้างน้ำ 2 ถังละ 3 รู โดยทั้ง 3 รูห่างกันเป็นรูปสามเหลี่ยม ให้มีขนาดรูพอดีกับขนาดหัวฉีด ทำการยึดหัวฉีดเข้ากับรูเจาะด้วยโอริงและติดแน่นด้วยกาวซิลิโคนแล้วต่อสายยางจากถังเก็บน้ำ เข้ากับหัวฉีด
7. เจาะรูด้านบนถังพลาสติกขนาด 100 ลิตรที่ใช้เป็นถังสำหรับเก็บสบู่และน้ำทิ้งจำนวน 2 รู เพื่อต่อกับสายยางน้ำทิ้งและสบู่
8. เจาะรูด้านล่างของถังพลาสติกขนาด 100 ลิตร ที่ใช้เป็นถังสำหรับเก็บสบู่และน้ำทิ้งแล้วต่อเข้ากับบอลวาล์วขนาด ½ นิ้ว เพื่อใช้เปิด-ปิดสบู่และน้ำทิ้งออกจากถังสำหรับเก็บสบู่และน้ำทิ้ง
9. ต่อสายยางเข้ากับตำแหน่งต่างๆ เชื่อมต่อกับวาล์วไฟฟ้า และ ปุ่ม ตามการไหลของของเหลวในเครื่องผลิตไบโอดีเซล
10. ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ในเครื่องผลิตไบโอดีเซล เช่น ปุ่ม ฮีตเตอร์ วาล์วไฟฟ้า มอเตอร์ และ อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ เข้ากับสวิทช์ควบคุม และ หลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ตู้คอนโทรล
11. ทำฐานวางอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องผลิตไบโอดีเซล

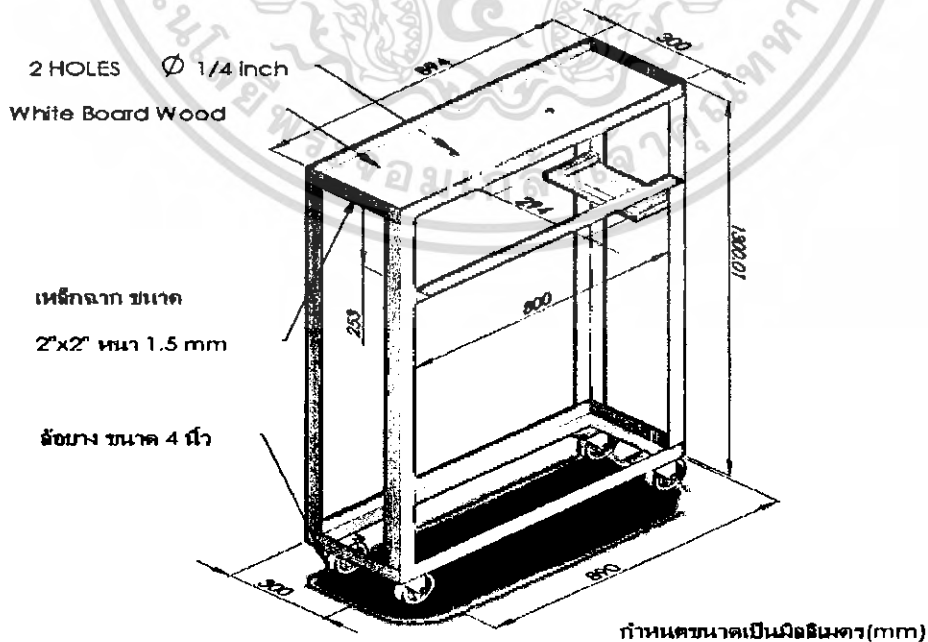
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 11.1 ทำฐานวางหม้อต้มไฟฟ้าใต้น้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว, ถึงทำปฏิกริษา, หม้อต้มไฟฟ้าใต้น้ำออกจากไบโอดีเซล โดยใช้เหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว หนา 1.5 มิลลิเมตร และ เหล็กฉากขนาด 1.5 นิ้ว x 1.5 นิ้ว หนา 1 มิลลิเมตร ตามภาพ



รูปที่ 4.19 แสดงภาพไอโซเมตริกของฐานวางถังต้มใต้น้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ถึงทำปฏิกริษา และ ถังต้มใต้น้ำออกจากไบโอดีเซล

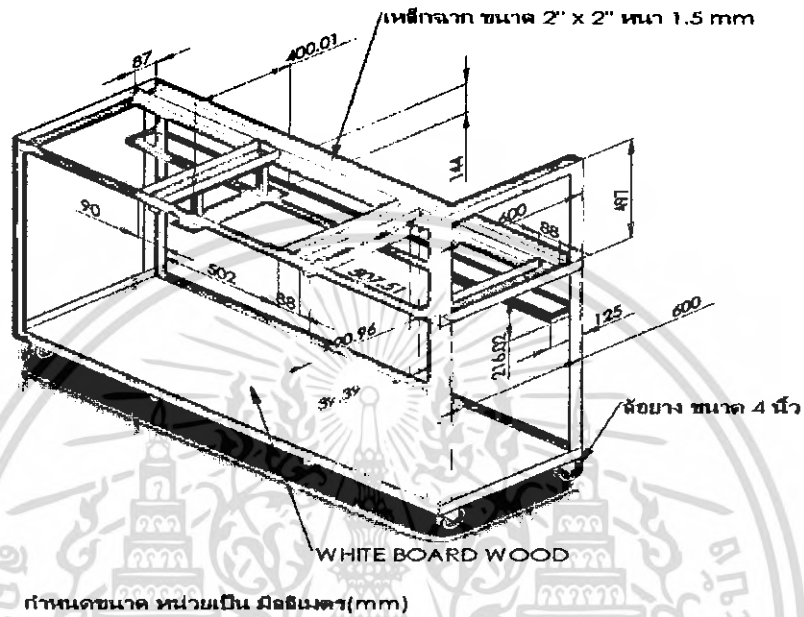
- 11.2 ทำฐานวางถังเก็บสารละลายระหว่างเมทานอลกับค่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ขนาด 10 ลิตรจำนวน 3 ถัง โดยใช้เหล็กฉากขนาด 1.5 นิ้ว x 1.5 นิ้ว หนา 1 มิลลิเมตร ตามภาพ



รูปที่ 4.20 แสดงภาพไอโซเมตริกของฐานวางถังใส่สารละลายผสมระหว่างเมทานอล กับค่าง

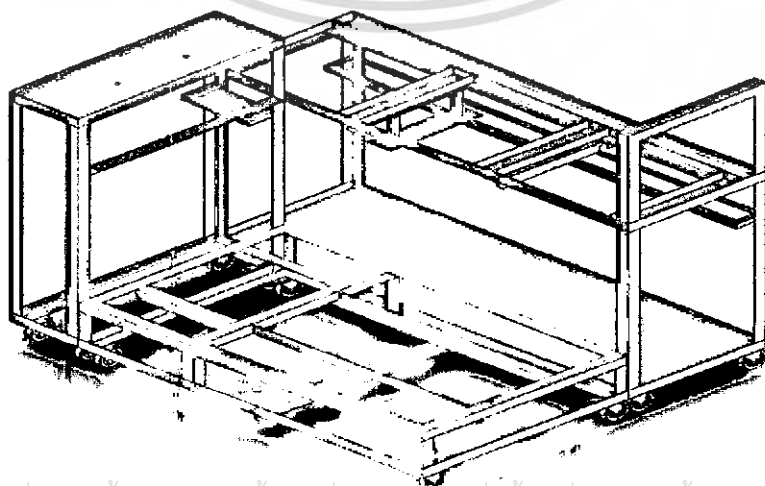
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบโฆษณาหรือการดำเนินการค้า  
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.3 ทำฐานวางถังแยกกลีเซอริน , ถังล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำไบที่ 1 , ถังล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำไบที่ 2 ถังเก็บสบู่และกลีเซอริน , ถังเก็บน้ำ และ ถังเก็บไบโอดีเซล ขนาด 100 ลิตร จำนวน 6 ถัง และ ตำแหน่งที่ยึดตู้คอนโทรล โดยใช้เหล็กฉากขนาด 1.5 นิ้ว x 1.5 นิ้วหนา 1 มิลลิเมตรตามภาพ



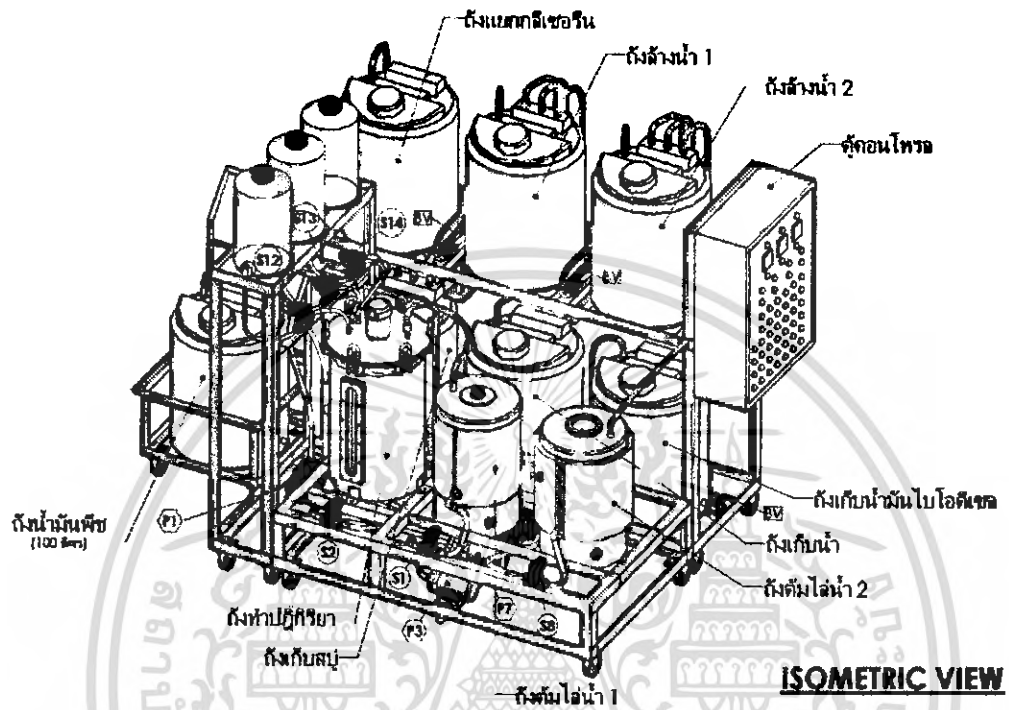
รูปที่ 4.21 แสดงภาพไอโซเมตริกของฐานวางถังแยกกลีเซอริน , ถังล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำไบที่ 1 , ถังล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำไบที่ 2 , ถังเก็บสบู่และกลีเซอริน , ถังเก็บน้ำ และ ถังเก็บไบโอดีเซล ขนาด 100 ลิตร จำนวน 6 ถัง

11.4 นำฐานที่วางอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องผลิตไบโอดีเซล ทั้ง 3 ชั้นส่วน มาเชื่อมต่อกันด้วยสกรูและน็อต ตามภาพ

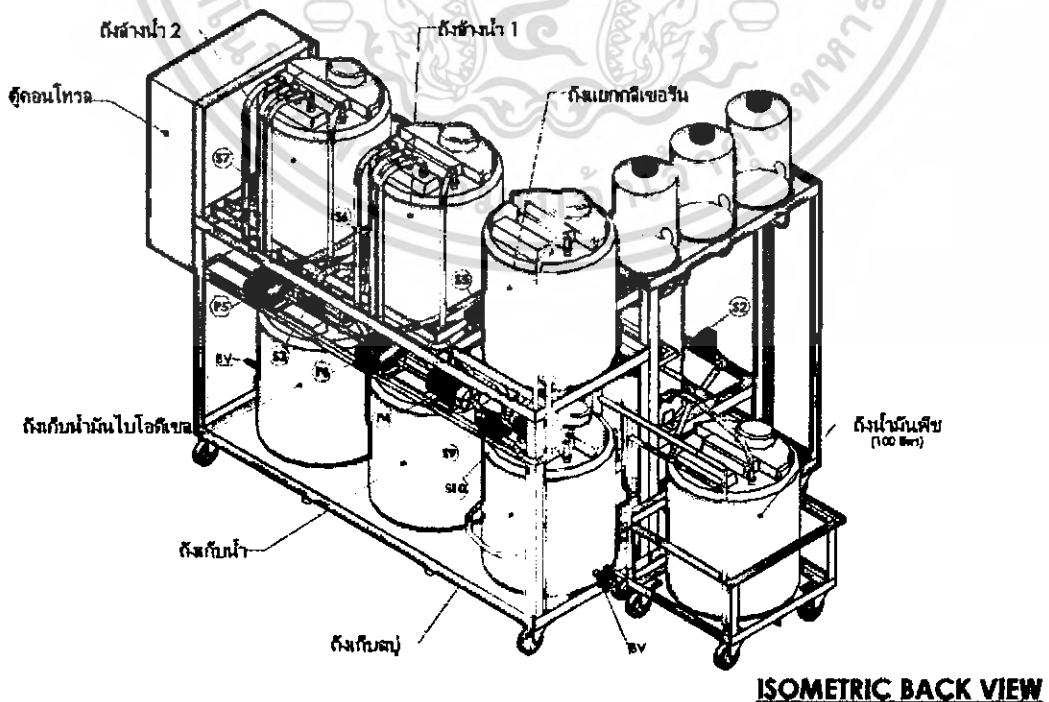


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 4.22 แสดงฐานวางอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องผลิตไบโอดีเซลรั้งที่มีการนำไปใช้

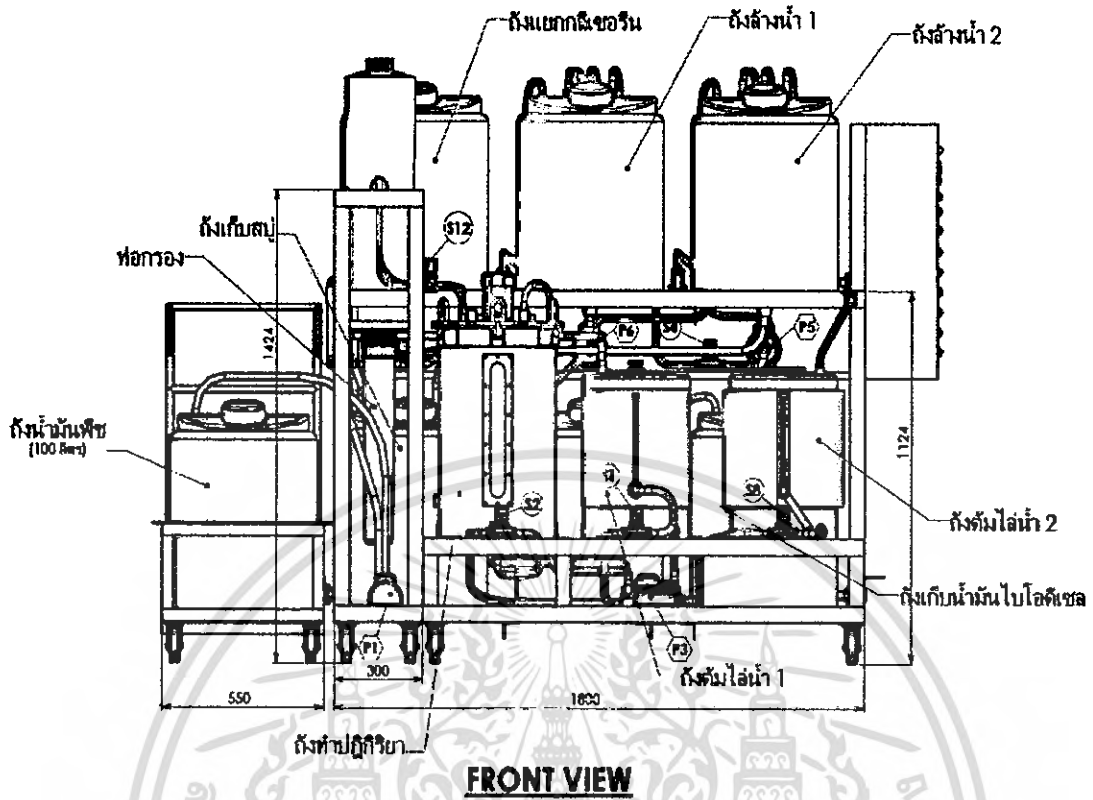
12. นำถังต่างๆและอุปกรณ์ไฟฟ้ามาติดตั้งบนฐานวางเครื่องผลิตไฮโดรเจน เชื่อมต่อสายขางเข้ากับ ถังต่างๆ แล้วต่อระบบไฟฟ้าในตู้คอนโทรลเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าในเครื่องผลิตไฮโดรเจน จะ ได้ดังภาพ



รูปที่ 4.23 แสดงภาพไอโซเมตริกด้านหน้าของเครื่องผลิตไฮโดรเจน

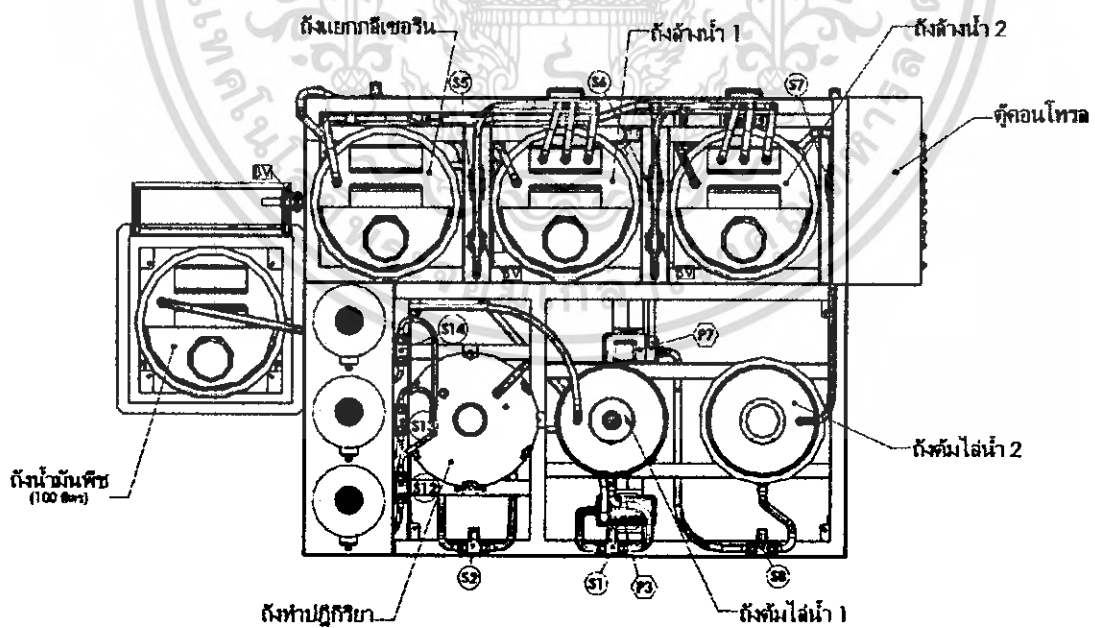


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**FRONT VIEW**

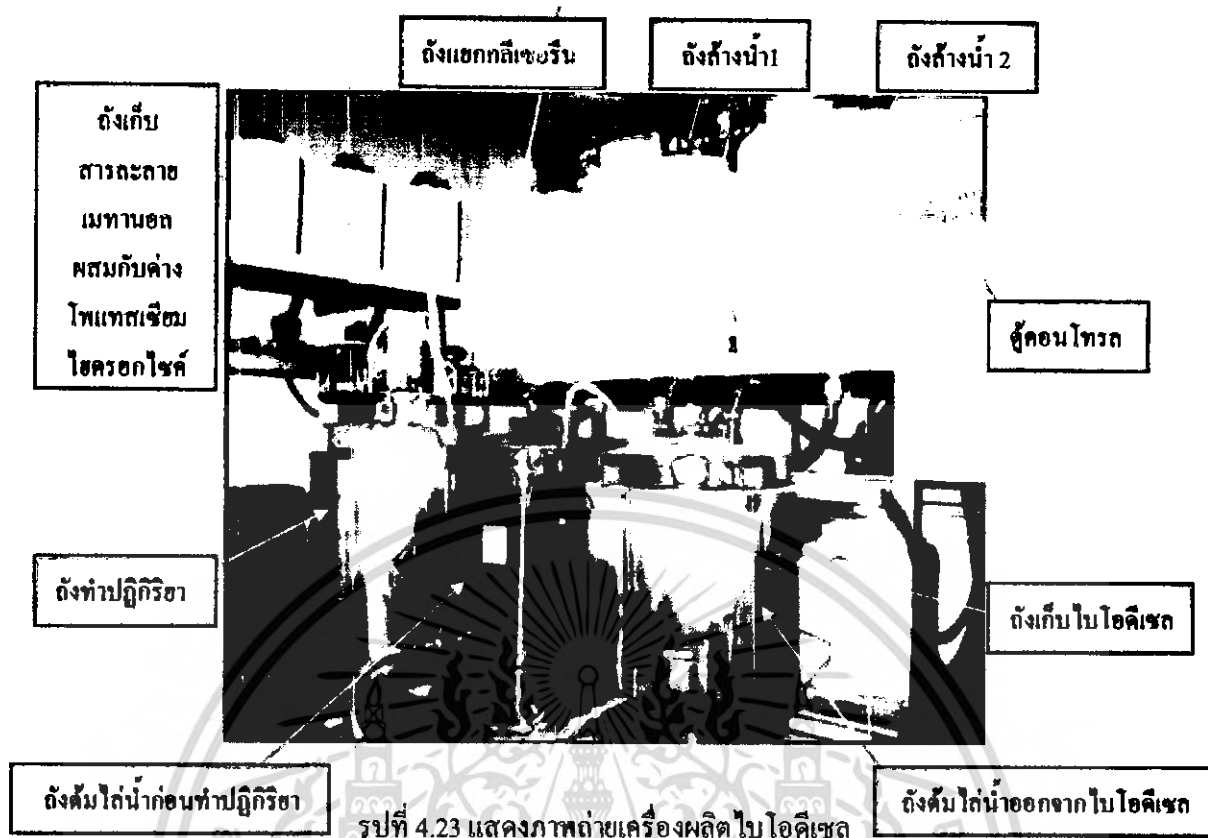
รูปที่ 4.25 แสดงภาพฉายด้านหน้าของเครื่องผลิตไบโอดีเซล



**TOP VIEW**

รูปที่ 4.22 แสดงภาพฉายด้านบนของเครื่องผลิตไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่อใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงภาพถ่ายเครื่องผลิต ไบโอดีเซล

#### 4.3.2 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

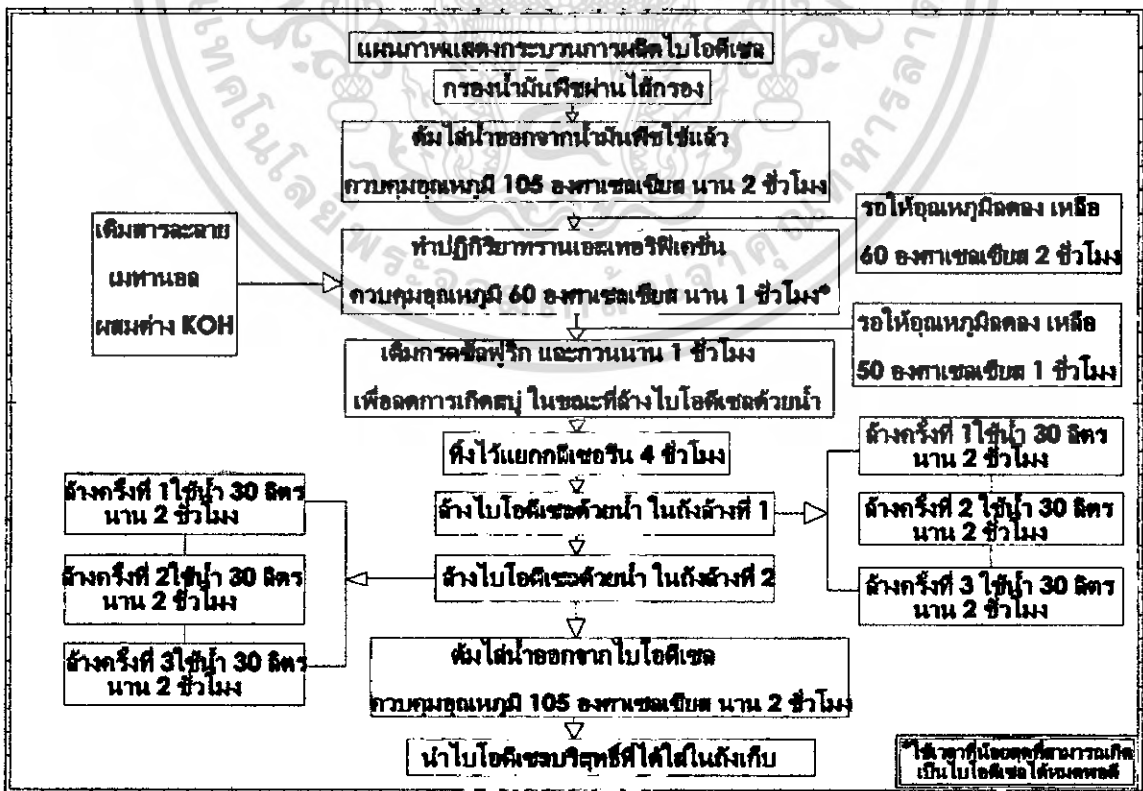
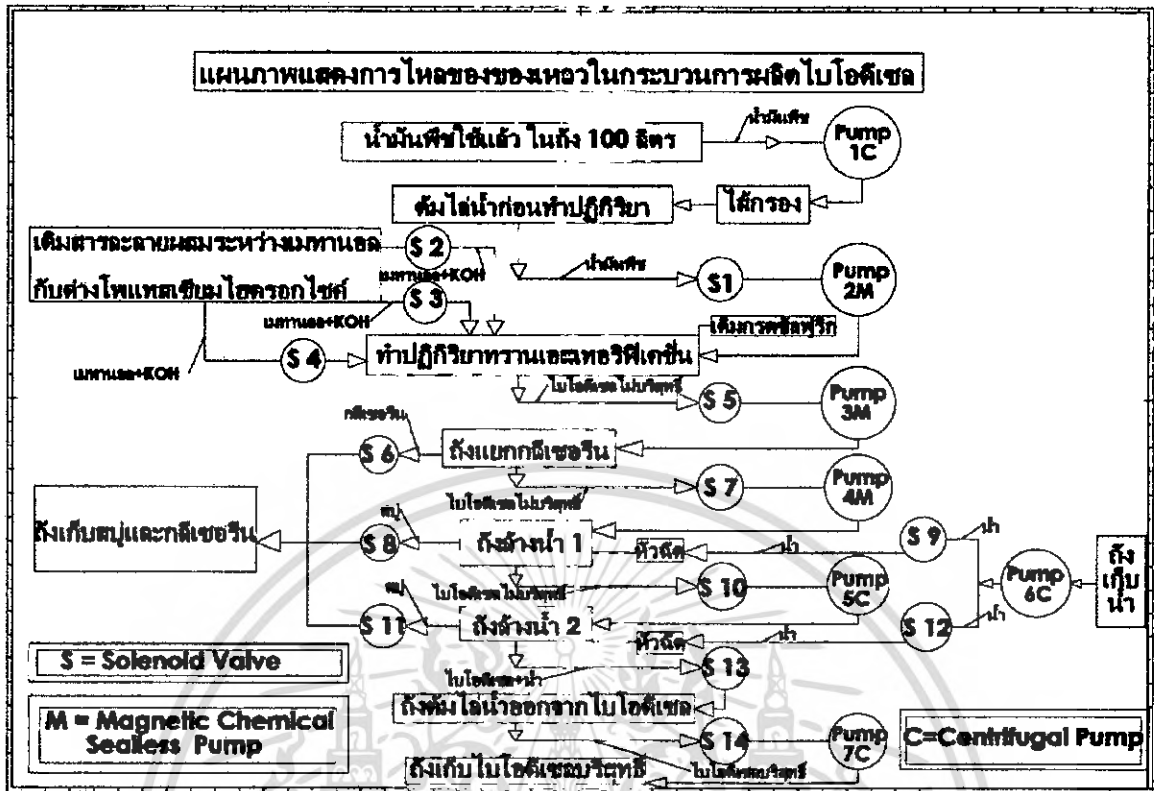
1. เตรียมน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนทำปฏิกิริยา โดยการกรองสารแขวนลอยในน้ำมันพืชใช้แล้วออกผ่านไส้กรองกระดาษ ขนาด 0.5 ไมครอน
2. ค้ำไล่น้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนทำปฏิกิริยาโดยเปิดฮีตเตอร์ในถังค้ำไล่น้ำก่อนทำปฏิกิริยาเท่ากับ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. รอให้อุณหภูมิน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการค้ำไล่น้ำในถังค้ำไล่น้ำก่อนทำปฏิกิริยามีอุณหภูมิลดลงจาก 105 องศาเซลเซียส เหลือ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 2 ชั่วโมง
4. เตรียมสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับค้างโทเทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยนำเมทานอล และ ค้างโทเทสเซียมไฮดรอกไซด์ มาชั่งน้ำหนัก ตามสัดส่วนที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล แล้วเทเมทานอลที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ลงไปในถังเก็บสารละลายเมทานอลผสมกับค้างโทเทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อจากนั้นให้เทค้างโทเทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ชั่งน้ำหนักแล้วลงในเมทานอลที่อยู่ในถังเก็บสารละลายเมทานอลผสมกับค้างโทเทสเซียมไฮดรอกไซด์ อย่างช้าๆ และเทครึ่งละปริมาณพอเหมาะ ห้ามเทค้างโทเทสเซียมไฮดรอกไซด์ลงในเมทานอลครึ่งละปริมาณมากๆ เพราะจะทำให้สารละลายเดือดขึ้นอย่างรุนแรง และ ทุกครั้งที่เติมสารเคมีต้องใช้ถุงมือยางและผ้าปิดจมูก
5. ทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยนำน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการค้ำไล่น้ำ ผ่านปั๊มเข้าไปในถังทำปฏิกิริยาจำนวน 30 ลิตรแล้วเปิดฮีตเตอร์ในถังทำปฏิกิริยาให้มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นั้นเป็นมอเตอร์กวนสารที่อัตราเร็วรอบ 17 รอบต่อวินาที แล้วเปิดวาล์วไฟฟ้าที่ดึงเก็บสารละลาย เมทานอลผสมกับค่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ให้สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับค่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ตามสัดส่วน ลงไปในถังทำปฏิกิริยา แล้วจับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาตามผลการทดลอง ซึ่งได้แก่ 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง
6. เมื่อทำปฏิกิริยาตามเวลาที่กำหนดเสร็จ ปิดสวิตช์แต่ยังเปิดมอเตอร์กวนอยู่ แล้วรอให้อุณหภูมิในถังทำปฏิกิริยาลดลงจาก 60 องศาเซลเซียส เหลือ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลารอประมาณ 1 ชั่วโมง
  7. ทำปฏิกิริยาสะเทิน เพื่อปรับสภาพน้ำมันพืชให้มีค่าความเป็นด่างน้อยลง ทำให้ลดการเกิดสบู่ในไบโอดีเซลในขั้นตอนการล้างน้ำ โดยเติมกรดซัลฟูริกให้น้ำหนักเป็นครึ่งเท่าของจำนวนโมลของค่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ แล้วเปิดมอเตอร์กวน ต่อไปอีก 1 ชั่วโมง
  8. ปิดมอเตอร์กวนแล้วนำไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยาผ่านบีบไปสู่ถังแยกกลีเซอริน รอการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอริน 4 ชั่วโมง ค่อยจากนั้นปล่อยกลีเซอรินที่เกิดขึ้น (กลีเซอรินมีสีน้ำตาลเข้ม) ในชั้นล่างของถังแยกกลีเซอริน ลงสู่ถังเก็บกลีเซอริน และนำไบโอดีเซลที่อยู่ในชั้นบนของถังแยกกลีเซอริน ผ่านบีบ ไปยังถังล้างน้ำ
  9. เปิดบีบน้ำจากถังเก็บน้ำไปยังหัวฉีด 3 หัว ที่อยู่บนถังล้างน้ำ ทำการล้างน้ำในถังล้าง 1 จำนวน 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งใช้น้ำล้าง 30 ลิตรและใช้เวลาล้างน้ำครั้งละ 1 ชั่วโมง เมื่อทำการล้างน้ำเสร็จในแต่ละครั้ง ให้ปล่อยน้ำล้างและสบู่ที่เกิดขึ้นลงสู่ถังเก็บสบู่ แล้วจึงทำการล้างน้ำครั้งต่อไป
  10. นำไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างน้ำในถังล้างน้ำ ผ่านบีบ ไปยังถังล้างน้ำ 2 แล้วเปิดบีบน้ำจากถังเก็บน้ำไปยังหัวฉีด 3 หัว ที่อยู่บนถังล้างน้ำ 2 ทำการล้างน้ำในถังล้าง 2 จำนวน 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้ง ใช้น้ำล้าง 30 ลิตรและใช้เวลาล้างน้ำครั้งละ 1 ชั่วโมง เมื่อทำการล้างน้ำเสร็จในแต่ละครั้ง ให้ปล่อยน้ำล้างและสบู่ที่เกิดขึ้นลงสู่ถังเก็บสบู่
  11. นำไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างน้ำในถังล้างน้ำ 2 ผ่านบีบ ไปยังถังคั้นไถ่น้ำออกจากไบโอดีเซล เปิดสวิตช์ที่ถังคั้นไถ่น้ำออกจากไบโอดีเซล ให้มีอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในระหว่างการคั้นไถ่น้ำ ต้องเปิดฝาถังไว้ตลอด แล้วใช้เวลาในการคั้นไถ่น้ำ 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมงให้ปิดสวิตช์ แล้วรอให้ไบโอดีเซลมีอุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส จึงนำไบโอดีเซลผ่านบีบไปเก็บไว้ในถังเก็บไบโอดีเซลที่เตรียมไว้

- หมายเหตุ: 1.) ในขั้นตอนการเตรียมสารเคมี เช่น กรด ค่าง และ เมทานอล ต้องสวมถุงมืออย่างหนา สวมผ้าปิดจมูก และใส่แว่นครอบตา เพื่อป้องกันอันตรายจากสารเคมี
- 2.) สถานที่ที่ใช้เก็บสารเคมี และ เตรียมสารเคมี ต้องมีอากาศถ่ายเทสะดวก ไม่อยู่ใกล้สถานที่ที่มีประกายไฟ ห้ามจุดไฟ หรือสูบบุหรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** แสดงสัดส่วนของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา และ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา สำหรับการทดลองผลิตไบโอดีเซล ในโครงการนี้ มีดังนี้

ชื่อสัดส่วน	ปริมาณสารตั้งต้น		ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา		เวลาทำปฏิกิริยา
	น้ำมันพืชใช้แล้ว	เมทานอล	ด่างKOH	กรด H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
1:6, 2.0%KOH, 4 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	540 กรัม	475 กรัม	4 ชั่วโมง
1:6, 1.5 % KOH, 4 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	405 กรัม	355 กรัม	4 ชั่วโมง
1:6, 1.0 % KOH, 4 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	270 กรัม	236 กรัม	4 ชั่วโมง
1:6, 2.0 %KOH, 3 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	540 กรัม	475 กรัม	3 ชั่วโมง
1:6, 1.5%KOH, 3 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	405 กรัม	355 กรัม	3 ชั่วโมง
1:6, 1.0%KOH, 3 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	270 กรัม	236 กรัม	3 ชั่วโมง
1:6, 2.0 %KOH, 2 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	540 กรัม	475 กรัม	2 ชั่วโมง
1:6, 1.5 %KOH, 2 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	405 กรัม	355 กรัม	2 ชั่วโมง
1:6, 1.0 %KOH, 2 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	270 กรัม	236 กรัม	2 ชั่วโมง
1:6, 2.0 %KOH, 1 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	540 กรัม	475 กรัม	1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1(ต่อ) แสดงสัดส่วนของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา และ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา สำหรับการทดลองผลิต ไบโอดีเซล ในโครงการนี้มีดังนี้

ชื่อสัดส่วน	ปริมาณสารตั้งต้น		ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา		เวลาทำปฏิกิริยา
	น้ำมันพืชใช้แล้ว	เมทานอล	ด่างKOH	กรด H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
1:6 ,1.5%KOH, 1 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	405 กรัม	355 กรัม	1 ชั่วโมง
1:6 ,1.0 % KOH, 1 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	270 กรัม	236 กรัม	1 ชั่วโมง
1:6 ,0.5 % KOH, 1 ชั่วโมง	30 ลิตร	7.60 ลิตร	140 กรัม	120 กรัม	1 ชั่วโมง
1:5 ,0.5% KOH, 1 ชั่วโมง	30 ลิตร	6.30 ลิตร	140 กรัม	120 กรัม	1 ชั่วโมง
1:4 ,0.5% KOH, 1 ชั่วโมง	30 ลิตร	5.10 ลิตร	140 กรัม	120 กรัม	1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งเป็น 3 ตอน คือ

**ผลการทดลองตอนที่ 1** เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ตัวแปร คือ

- ผลการทดลองตอนที่ 1.1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล
- ผลการทดลองตอนที่ 1.2 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล
- ผลการทดลองตอนที่ 1.3 ปริมาณเมทานอลมีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

**ผลการทดลองตอนที่ 2** เป็นการศึกษาถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลและต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร

**ผลการทดลองตอนที่ 3** เป็นการศึกษาถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลที่ได้โดยใช้เครื่อง NMR Spectroscopy ตรวจสอบกรดไขมันในไบโอดีเซลที่ผลิตได้ และ ใช้เครื่อง GC กับ เครื่อง HPLC ตรวจสอบร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล

#### 5.1 ตัวแปรควบคุมสำหรับการทดลองตอนที่ 1 และการทดลองตอนที่ 2

1. ปริมาณของน้ำมันพืชใช้แล้วเริ่มต้นในทุกกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เท่ากับ 30 ลิตร หรือมีน้ำหนักเท่ากับ 26518.30 กรัม
2. ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน คือ ค่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ KOH
3. สารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสะเทินกับตัวเร่งปฏิกิริยา คือ กรดซัลฟูริก
4. เวลาที่ใช้ในการต้มไล่ไอน้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 2 ชั่วโมง
5. อุณหภูมิที่ใช้ในการต้มไล่ไอน้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 105 องศาเซลเซียส
6. เวลาที่ใช้ในการรออุณหภูมิของน้ำมันพืชใช้แล้วจากการต้มไล่ไอน้ำจากอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ลดลงเหลือ 60 องศาเซลเซียส เท่ากับ 2 ชั่วโมง
7. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส
8. อัตราเร็วรอบของมอเตอร์ในการกวนสารระหว่างทำปฏิกิริยา เท่ากับ 17 รอบต่อวินาที
9. เวลาที่ใช้ในการรออุณหภูมิของไบโอดีเซลในถังทำปฏิกิริยา จากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ลดลงเหลืออุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1 ชั่วโมง
10. อุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการเติมกรดซัลฟูริก เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. อัตราเร็วรอบของมอเตอร์ในการกวนสารระหว่างการเติมกรดซัลฟูริก เท่ากับ 17 รอบต่อวินาที
12. เวลาที่ใช้ในการแยกกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซล เท่ากับ 4 ชั่วโมง
13. จำนวนครั้งในการล้างน้ำในถังล้างที่ 1 และถังล้างน้ำที่ 2 เท่ากับ 3 ครั้ง
14. ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างไบโอดีเซล ครั้งละ 30 ลิตร และใช้เวลาล้างน้ำครั้งละ 2 ชั่วโมง
15. อุณหภูมิที่ใช้ในการต้มไล่नाออกจากไบโอดีเซล เท่ากับ 105 องศาเซลเซียส
16. เวลาที่ใช้ในการต้มไล่น้ำออกจากไบโอดีเซล เท่ากับ 2 ชั่วโมง
17. ปริมาณโมลของกรดซัลฟูริกที่ใช้คิดเป็น 0.5 เท่าของ โมลของด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดย คิดเป็นน้ำหนัก หน่วยกรัม

## 5.2 ผลการทดลองตอนที่ 1 การศึกษาเบื้องต้นถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

การคำนวณหาร้อยละ โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล/กลีเซอริน หาได้จากสมการ

$$\text{ร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซล/กลีเซอริน} = \frac{\text{น้ำหนักไบโอดีเซล/กลีเซอริน}}{\text{น้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา}} \times 100$$

### 5.2.1 ผลการทดลองตอนที่ 1.1 การศึกษาเบื้องต้นถึงเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

ผลการทดลองที่ 5.2.1 แสดงร้อยละ โดยน้ำหนักของไบโอดีเซลและกลีเซอริน ตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 2% KOH

ตัวแปรต้น : เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (4 ชั่วโมง , 3 ชั่วโมง , 2 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง) มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

ตัวแปรตาม : ปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่เกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวแปรควบคุม: สัดส่วนสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 2% KOH มีดังนี้

1. น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 26518.30 กรัม
2. น้ำหนักเมทานอล เท่ากับ 5950.6 กรัม
3. น้ำหนักด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) เท่ากับ 540 กรัม
4. น้ำหนักกรดซัลฟูริก เท่ากับ 475 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2.1 แสดงผลการทดลองที่สกัดส่วนสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 2% KOH

เวลาที่ใช้ ทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	น้ำหนักรวม ของสารตั้งต้นกับ ตัวเร่งปฏิกิริยา(กรัม)	น้ำหนัก ไบโอดีเซล (กรัม)	น้ำหนัก กลีเซอริน (กรัม)	ร้อยละโดย น้ำหนักของ ไบโอดีเซล	ร้อยละโดย น้ำหนักของ กลีเซอริน
1	33483.90	25272.80	5372.60	75.50	16.05
2	33483.90	25774.90	5396.00	77.00	16.12
3	33483.90	26243.50	5422.80	78.40	16.20
4	33483.90	26779.10	5478.20	80.00	16.36

ผลการทดลองที่ 5.2.2 แสดงร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซลและกลีเซอริน ตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 1.5% KOH

ตัวแปรต้น : เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (4 ชั่วโมง , 3 ชั่วโมง , 2 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง) มีผลต่อ ปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

ตัวแปรตาม : ปริมาณ ไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่เกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับ น้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวแปรควบคุม: สัดส่วนสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 1.5% KOH มีดังนี้

1. น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 26518.30 กรัม
2. น้ำหนักเมทานอล เท่ากับ 5950.6 กรัม
3. น้ำหนักด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) เท่ากับ 405 กรัม
4. น้ำหนักกรดซัลฟูริก เท่ากับ 355 กรัม

ตารางที่ 5.2.2 แสดงผลการทดลองที่สกัดส่วนสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 1.5% KOH

เวลาที่ใช้ ทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	น้ำหนักรวมของสาร ตั้งต้นกับตัวเร่ง ปฏิกิริยา(กรัม)	น้ำหนัก ไบโอดีเซล (กรัม)	น้ำหนัก กลีเซอริน (กรัม)	ร้อยละโดย น้ำหนักของ ไบโอดีเซล	ร้อยละโดย น้ำหนักของ กลีเซอริน
1	33228.90	25445.70	5330.10	76.60	16.00
2	33228.90	25678.20	5351.50	77.30	16.10
3	33228.90	26076.80	5386.50	78.50	16.21
4	33228.90	26176.50	5398.00	78.80	16.24

ผลการทดลองที่ 5.2.3 แสดงร้อยละ โดยน้ำหนักของไบโอดีเซลและกลีเซอริน ตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สกัดส่วนของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 1% KOH

ตัวแปรต้น : เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง , 3 ชั่วโมง , 2 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

ตัวแปรตาม : ปริมาณ ไบ โอดีเซลและกลีเซอรินที่เกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวแปรควบคุม: สกัดส่วนสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 1% KOH มีดังนี้

1. น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 26518.30 กรัม
2. น้ำหนักเมทานอล เท่ากับ 5950.6 กรัม
3. น้ำหนักด่าง โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) เท่ากับ 270 กรัม
4. น้ำหนักกรดซัลฟูริก เท่ากับ 236 กรัม

ตารางที่ 5.2.3 แสดงผลการทดลองที่สกัดส่วนสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 1% KOH

เวลาที่ใช้ ทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	น้ำหนักรวมของสาร ตั้งต้นกับตัวเร่ง ปฏิกิริยา(กรัม)	น้ำหนัก ไบโอดีเซล (กรัม)	น้ำหนัก กลีเซอริน (กรัม)	ร้อยละโดย น้ำหนักของ ไบโอดีเซล	ร้อยละโดย น้ำหนักของ กลีเซอริน
1	32974.90	23734.70	5323.00	72.00	15.80
2	32974.90	24533.30	5290.90	74.40	15.95
3	32974.90	24995.00	5257.90	75.80	16.05
4	32974.90	25877.40	5208.40	78.50	16.14

### 5.2.2 ผลการทดลองตอนที่ 1.2 การศึกษาเบื้องต้นถึงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

**ผลการทดลองที่ 5.2.4** แสดงร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซลและกลีเซอริน ตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 1:6 , 4 ชั่วโมง

ตัวแปรต้น : ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยา มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

ตัวแปรตาม : ปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่เกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา

- ตัวแปรควบคุม: 1. สัดส่วนสารตั้งต้น 1:6 คือ น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 26518.30 กรัม และ น้ำหนักเมทานอล เท่ากับ 5950.6 กรัม
- ใช้เวลาทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิคงที่ 4 ชั่วโมง
  - น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0%KOH เท่ากับ 236 กรัม
  - น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5%KOH เท่ากับ 355 กรัม
  - น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 2.0%KOH เท่ากับ 475 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2.4 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้น คือ 1:6 และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง

ตัวเร่งปฏิกิริยา ด่างโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (KOH)		น้ำหนักรวม ของสารตั้งต้น กับตัวเร่ง ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนัก ไบโอดีเซล (กรัม)	น้ำหนัก กลีเซอริน (กรัม)	ร้อยละโดย น้ำหนักของ ไบโอดีเซล	ร้อยละโดย น้ำหนักของ กลีเซอริน
ชื่อ สัดส่วน	ปริมาณ (กรัม)					
1.0%KOH	270	32974.90	25877.40	5208.40	78.50	15.80
1.5%KOH	405	33228.90	26176.50	5398.00	78.80	16.24
2.0%KOH	540	33483.90	26779.10	5478.20	80.00	16.36

ผลการทดลองที่ 5.2.5 แสดงร้อยละ โดยน้ำหนักของไบโอดีเซลและกลีเซอริน ตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 1:6 , 3 ชั่วโมง

ตัวแปรต้น : ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยา (ด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

ตัวแปรตาม : ปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่เกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวแปรควบคุม: 1. สัดส่วนสารตั้งต้น 1:6 คือ น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 26518.30 กรัม และ น้ำหนักเมทานอล เท่ากับ 5950.6 กรัม

- ใช้เวลาทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน 3 ชั่วโมง
- น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0%KOH เท่ากับ 236 กรัม
- น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5%KOH เท่ากับ 355 กรัม
- น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 2.0%KOH เท่ากับ 475 กรัม

ตารางที่ 5.2.5 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้นคือ 1:6 และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง

ตัวเร่งปฏิกิริยา ด่างโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (KOH)		น้ำหนักรวม ของสารตั้งต้น กับตัวเร่ง ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนัก ไบโอดีเซล (กรัม)	น้ำหนัก กลีเซอริน (กรัม)	ร้อยละโดย น้ำหนักของ ไบโอดีเซล	ร้อยละโดย น้ำหนักของ กลีเซอริน
ชื่อ สัดส่วน	ปริมาณ (กรัม)					
1.0%KOH	270	32974.90	24995.00	5257.90	75.80	15.95
1.5%KOH	405	33228.90	26076.80	5386.50	78.50	16.21
2.0%KOH	540	33483.90	26243.50	5422.80	78.40	16.20

ผลการทดลองที่ 5.2.6 แสดงร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซลและกลีเซอริน ตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 1:6 , 2 ชั่วโมง

ตัวแปรต้น : ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (ด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

ตัวแปรตาม : ปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่เกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวแปรควบคุม: 1. สัดส่วนสารตั้งต้น 1:6 คือ น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 26518.30 กรัม และน้ำหนักเมทานอล เท่ากับ 5950.6 กรัม

2. ใช้เวลาทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน 2 ชั่วโมง

3. น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0%KOH เท่ากับ 236 กรัม

4. น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5%KOH เท่ากับ 355 กรัม

5. น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 2.0%KOH เท่ากับ 475 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2.6 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้นคือ 1:6 และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

ตัวเร่งปฏิกิริยา ด่างโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (KOH)		น้ำหนักรวม ของสารตั้งต้น กับตัวเร่ง ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนัก ไบ โอดีเซล (กรัม)	น้ำหนัก กลีเซอริน (กรัม)	ร้อยละ โดย น้ำหนักของ ไบ โอดีเซล	ร้อยละ โดย น้ำหนักของ กลีเซอริน
ชื่อ สัดส่วน	ปริมาณ (กรัม)					
1.0%KOH	270	32974.90	24533.30	5290.90	74.40	16.05
1.5%KOH	405	33228.90	25678.20	5351.50	77.30	16.10
2.0%KOH	540	33483.90	25774.90	5396.00	77.00	16.12

ผลการทดลองที่ 5.2.7 แสดงร้อยละ โดยน้ำหนักของไบ โอดีเซลและกลีเซอริน ตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 1:6 , 1 ชั่วโมง

ตัวแปรต้น : ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (ด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) มีผลต่อปริมาณการเกิดไบ โอดีเซล

ตัวแปรตาม : ปริมาณไบ โอดีเซลและกลีเซอรินที่เกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา

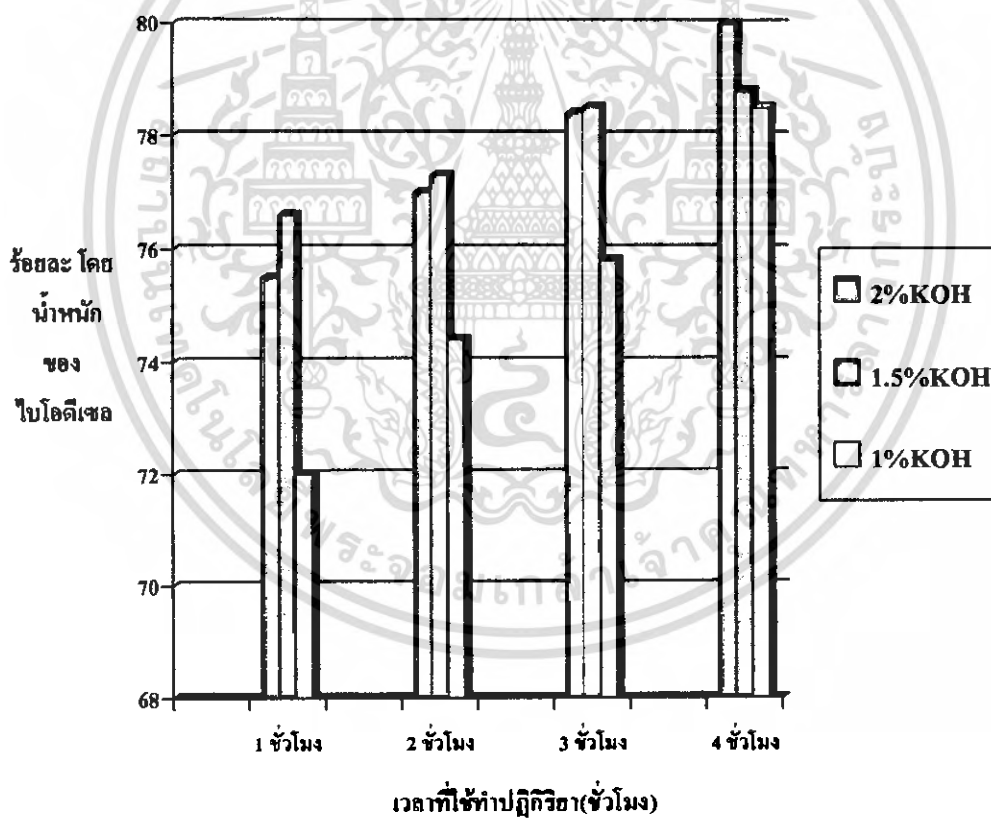
ตัวแปรควบคุม: 1. สัดส่วนสารตั้งต้น 1:6 คือ น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 26518.30 กรัม และ น้ำหนักเมทานอล เท่ากับ 5950.6 กรัม

- ใช้เวลาทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน 1 ชั่วโมง
- น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0%KOH เท่ากับ 236 กรัม
- น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5%KOH เท่ากับ 355 กรัม
- น้ำหนักกรดซัลฟูริก ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 2.0%KOH เท่ากับ 475 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2.7 แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนสารตั้งต้นคือ 1:6 และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

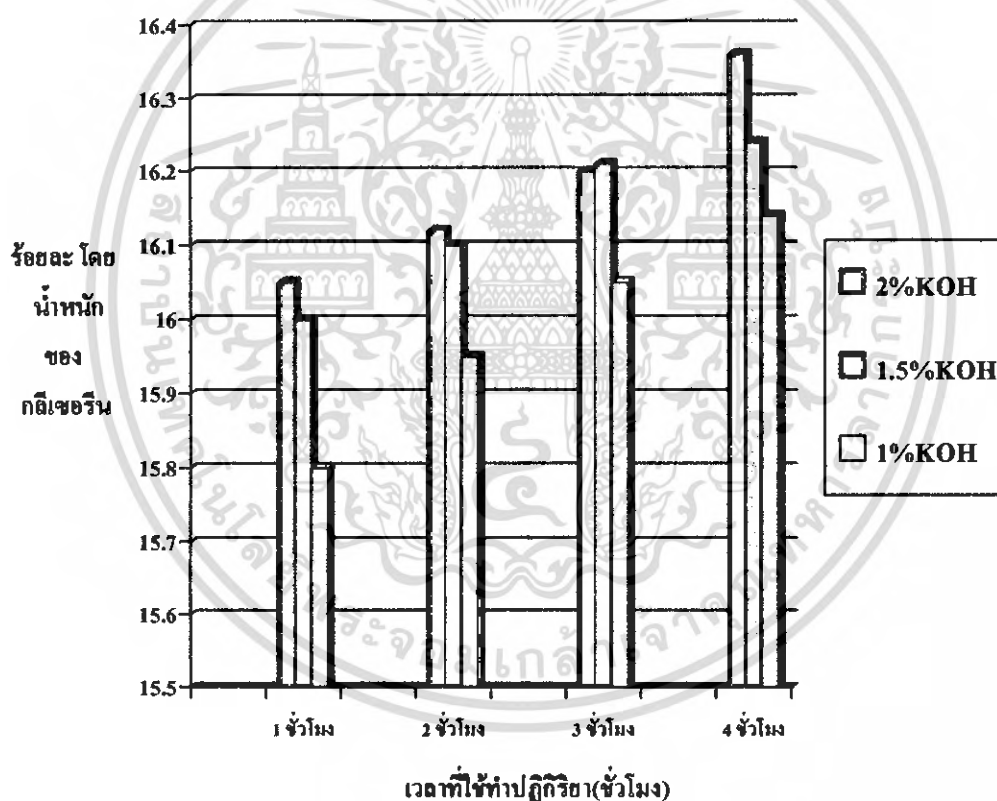
ตัวเร่งปฏิกิริยา ค่างโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (KOH)		น้ำหนักรวม ของสารตั้งต้น กับตัวเร่ง ปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนัก ไบโอดีเซล (กรัม)	น้ำหนัก กลีเซอริน (กรัม)	ร้อยละ โดย น้ำหนักของ ไบโอดีเซล	ร้อยละ โดย น้ำหนักของ กลีเซอริน
ชื่อ สัดส่วน	ปริมาณ (กรัม)					
1.0%KOH	270	32974.90	23734.70	5323.00	72.00	15.80
1.5%KOH	405	33228.90	25445.70	5330.10	76.60	16.00
2.0%KOH	540	33483.90	25272.80	5372.60	75.50	16.05



รูปที่ 5.1 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซล ตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนสารตั้งต้น 1 : 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซล เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่า การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2%KOH และ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง จะทำให้เกิดปริมาณไบโอดีเซลได้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซล เทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 80 และจะมีปริมาณไบโอดีเซลลดลงเรื่อยๆ แต่มีค่าลดลงจากเดิมไม่มากนัก ตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ลดลง จนถึงเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% KOH และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง จะทำให้เกิดปริมาณไบโอดีเซลได้น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซล เทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 72 แสดงได้ว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล



รูปที่ 5.2 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบร้อยละโดยน้ำหนักของกลีเซอริน ตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนสารตั้งต้น 1 : 6

จากรูปที่ 5.2 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบร้อยละโดยน้ำหนักของกลีเซอริน เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่า การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2%KOH และ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 ชั่วโมง จะทำให้เกิดปริมาณกลีเซอรินได้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของกลีเซอริน เทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 16.36 และจะมีปริมาณกลีเซอริน ลดลงเรื่อยๆ แต่มีค่าลดลงจากเดิมไม่มากนัก ตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ลดลง จนถึงเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% KOH และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง จะทำให้เกิดปริมาณกลีเซอรินได้น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของกลีเซอริน เทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 15.80 แสดงได้ว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา มีผลต่อปริมาณการเกิดกลีเซอริน

**5.2.3 ผลการทดลองตอนที่ 1.3** การศึกษาเบื้องต้นถึงปริมาณเมทานอลที่ใช้ในปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณการเกิด ไบโอดีเซลโดยพิจารณาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาน้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิด ไบโอดีเซลได้ เพื่อประหยัดต้นทุนการผลิตได้มากที่สุด

ตัวแปรต้น : ปริมาณเมทานอลที่ใช้ในปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณการเกิด ไบโอดีเซล

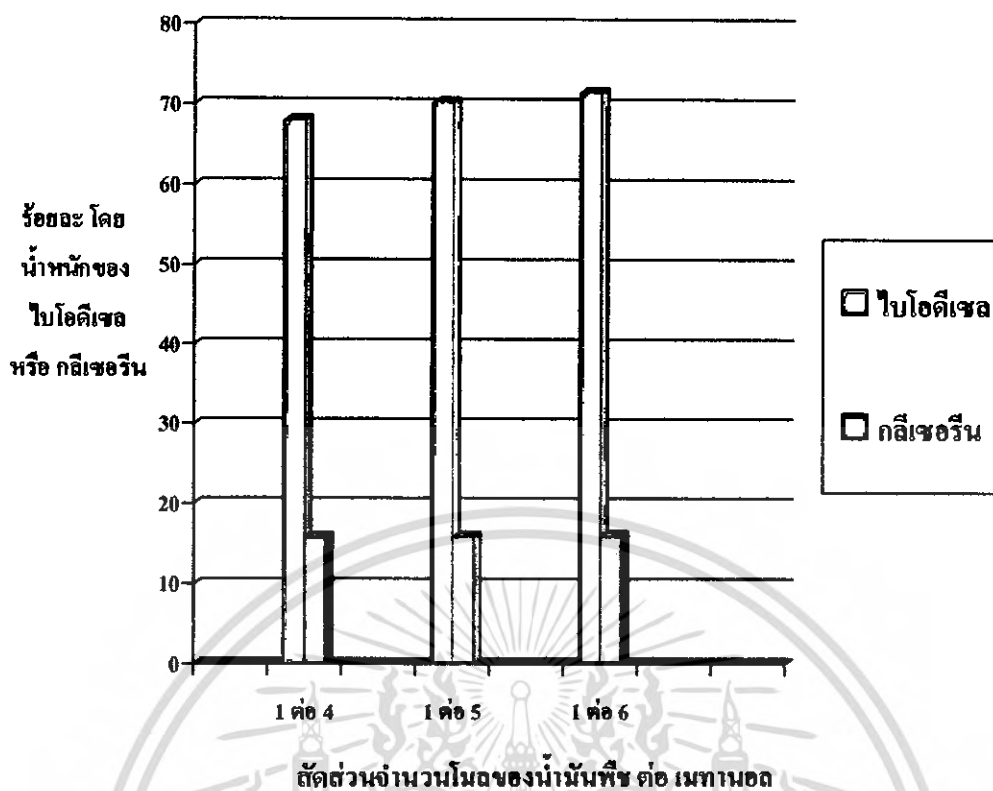
ตัวแปรตาม : ปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่เกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา

- ตัวแปรควบคุม: 1. น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว เท่ากับ 26518.30 กรัม  
2. น้ำหนักต่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 140 กรัม คิดเป็น 0.5%KOH  
3. น้ำหนักกรดซัลฟูริก เท่ากับ 120 กรัม  
4. ใช้เวลาทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน 1 ชั่วโมง

**ตารางที่ 5.2.8** แสดงผลการทดลองที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%KOH และใช้เวลาทำปฏิกิริยา เท่ากับ 1 ชั่วโมง

เมทานอล		น้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักไบโอดีเซล (กรัม)	น้ำหนักกลีเซอริน (กรัม)	ร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซล	ร้อยละโดยน้ำหนักของกลีเซอริน
ชื่อสัดส่วน	ปริมาณ (กรัม)					
1 ต่อ 4	3983.30	30761.60	20917.20	4860.20	68.00	15.80
1 ต่อ 5	4922.40	31700.70	22253.90	5024.00	70.20	15.85
1 ต่อ 6	5950.60	32728.90	23401.20	5220.30	71.50	15.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซล และกลีเซอริน ตามการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้วต่อปริมาณเมทานอลที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%KOH และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 5.3 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบร้อยละโดยน้ำหนักของกลีเซอริน เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่า การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เมื่อใช้สัดส่วนปริมาณน้ำมันพืช ต่อ ปริมาณเมทานอล 1 ต่อ 6 จะทำให้เกิดปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรินได้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซลและกลีเซอรินเทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 71.50 และ 15.95 ตามลำดับ และจะมีปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรินลดลงเรื่อยๆ แต่มีค่าลดลงจากเดิมไม่มากนัก จนถึงเมื่อใช้สัดส่วนปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้ว ต่อ ปริมาณเมทานอล 1 ต่อ 4 จะทำให้เกิดปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรินได้น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซลและกลีเซอริน เทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 68 และ 15.80 ตามลำดับ แสดงได้ว่าปริมาณเมทานอลมีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซลและกลีเซอริน

### 5.3 ผลการทดลองตอนที่ 2 การศึกษาเบื้องต้นถึงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซลแต่ละครั้ง แบ่งได้เป็น 4 ประเภท มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ค่าน้ำมันพืชใช้แล้ว ราคาลิตรละ 11 บาท
2. ค่าสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล - เมทานอล ราคาลิตรละ 17.89 บาท
  - ค่างโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กิโลกรัมละ 1.88 บาท
  - กรดซัลฟูริก ราคา กิโลกรัมละ 8.29 บาท
3. ค่าไฟฟ้า คิดประมาณหน่วยละ 3 บาท
4. ค่าน้ำประปา คิดประมาณลูกบาศก์เมตรละ 10 บาท

การคำนวณหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล หาได้จากสมการ

$$\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล} = \text{ค่าน้ำมันพืชใช้แล้ว} + \text{ค่าสารเคมีที่ใช้ในการผลิต} + \text{ค่าน้ำประปา} + \text{ค่าไฟฟ้า}$$

การคำนวณหาต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร หาได้จากสมการ

$$\text{ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล 1 ครั้ง}}{\text{ปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ 1 ครั้ง}}$$

การคำนวณหาค่าไฟฟ้าและค่าน้ำประปาทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล 1 ครั้ง หาได้จากสมการ

$$\text{ค่าน้ำประปา/ค่าไฟฟ้า} = \text{จำนวนหน่วยน้ำประปา/ไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิต 1 ครั้ง} \times \text{ราคาต่อหน่วย}$$

การคำนวณหาปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิต หาได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักของไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิตตามสัดส่วน}}{\text{ความหนาแน่นโดยเฉลี่ยของไบโอดีเซล}}$$

โดย ค่าความหนาแน่นโดยเฉลี่ยของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้จากการทดลอง เท่ากับ 867.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ผลการทดลองที่ 5.3.1 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลและต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร

ตัวแปรต้น: ปริมาณเมทานอล , ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่างโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์) ปริมาณกรดซัลฟูริก และ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซล

ตัวแปรตาม: ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล และ ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร

ตัวแปรควบคุม: 1. ค่าใช้จ่ายด้านน้ำมันพืชใช้แล้วสำหรับทำปฏิกิริยา 1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล เท่ากับ 330 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2. ค่าใช้จ่ายด้านน้ำประปาสำหรับล้างไบโอดีเซล 1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เท่ากับ 1.80 บาท

ตารางที่ 5.3.1 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลและต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร

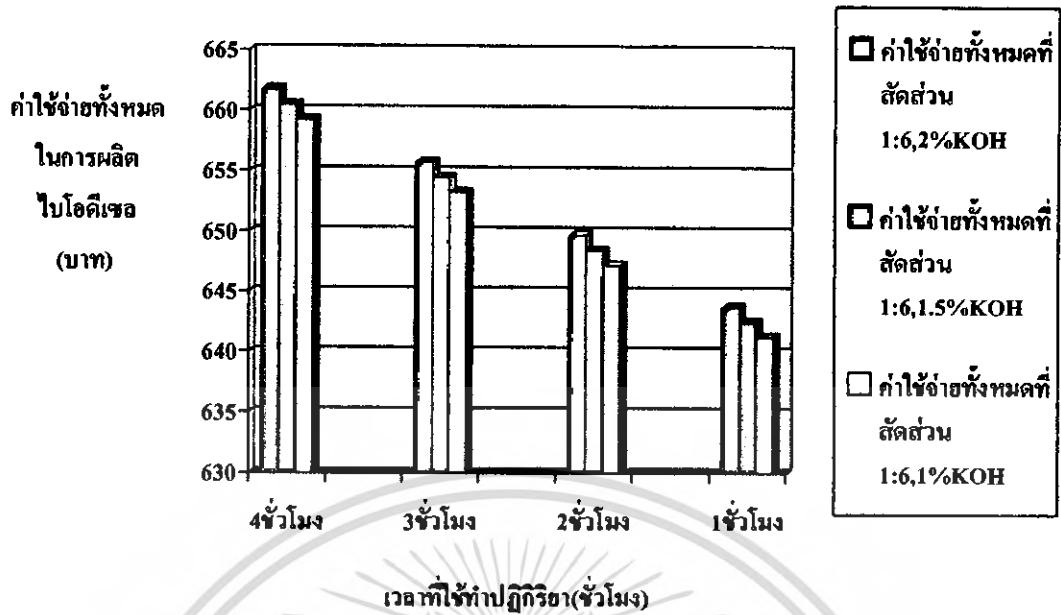
สัดส่วน	ค่าน้ำมันพืช (บาท)	ค่าสารเคมี			ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าน้ำประปา (บาท)	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)	ปริมาณไบโอดีเซล (ลิตร)	ต้นทุนการผลิตต่อลิตร (บาท)
		เมทานอล (บาท)	ค่า KOH (บาท)	กรดซัลฟูริก (บาท)					
1:6 2% KOH 4 ชั่วโมง	330	135.96	1.02	3.94	189	1.80	661.72	30.88	21.43
1:6 2% KOH 3 ชั่วโมง	330	135.96	1.02	3.94	183	1.80	655.72	30.26	21.67
1:6 2% KOH 2 ชั่วโมง	330	135.96	1.02	3.94	177	1.80	649.72	29.72	21.86
1:6 2% KOH 1 ชั่วโมง	330	135.96	1.02	3.94	171	1.80	643.72	29.14	22.09
1:6 1.5%KOH 4 ชั่วโมง	330	135.96	0.76	2.94	189	1.80	660.46	30.18	21.88
1:6 1.5%KOH 3 ชั่วโมง	330	135.96	0.76	2.94	183	1.80	654.46	30.07	21.76
1:6 1.5%KOH 2 ชั่วโมง	330	135.96	0.76	2.94	177	1.80	648.46	29.61	21.90
1:6 1.5%KOH 1 ชั่วโมง	330	135.96	0.76	2.94	171	1.80	642.46	29.34	21.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

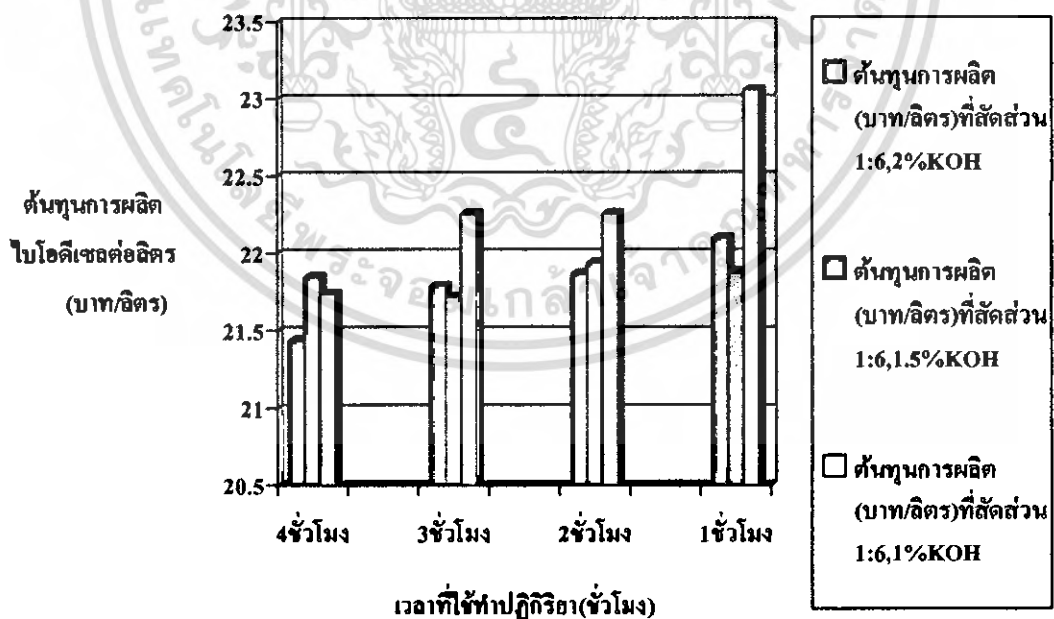
ตารางที่ 5.3.1(ต่อ) แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลและต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร

สัดส่วน	ค่าน้ำมันพืช (บาท)	ค่าสารเคมี			ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าน้ำประปา (บาท)	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)	ปริมาณไบโอดีเซล (ลิตร)	ต้นทุนการผลิตต่อลิตร (บาท)
		เมทานอล (บาท)	ด่าง KOH (บาท)	กรดซัลฟูริก (บาท)					
1:6 1%KOH 4 ชั่วโมง	330	135.96	0.51	1.96	189	1.80	659.23	29.84	22.09
1:6 1% KOH 3 ชั่วโมง	330	135.96	0.51	1.96	183	1.80	653.23	28.82	22.66
1:6 1% KOH 2 ชั่วโมง	330	135.96	0.51	1.96	177	1.80	647.23	28.29	22.88
1:6 1% KOH 1 ชั่วโมง	330	135.96	0.51	1.96	171	1.80	641.23	27.37	23.43
1:6 0.5%KOH 1 ชั่วโมง	330	135.96	0.26	1.00	171	1.80	640.02	26.98	23.72
1:5 0.5%KOH 1 ชั่วโมง	330	112.71	0.26	1.00	171	1.80	616.77	25.66	24.04
1:4 0.5%KOH 1 ชั่วโมง	330	91.24	0.26	1.00	171	1.80	595.30	24.12	24.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

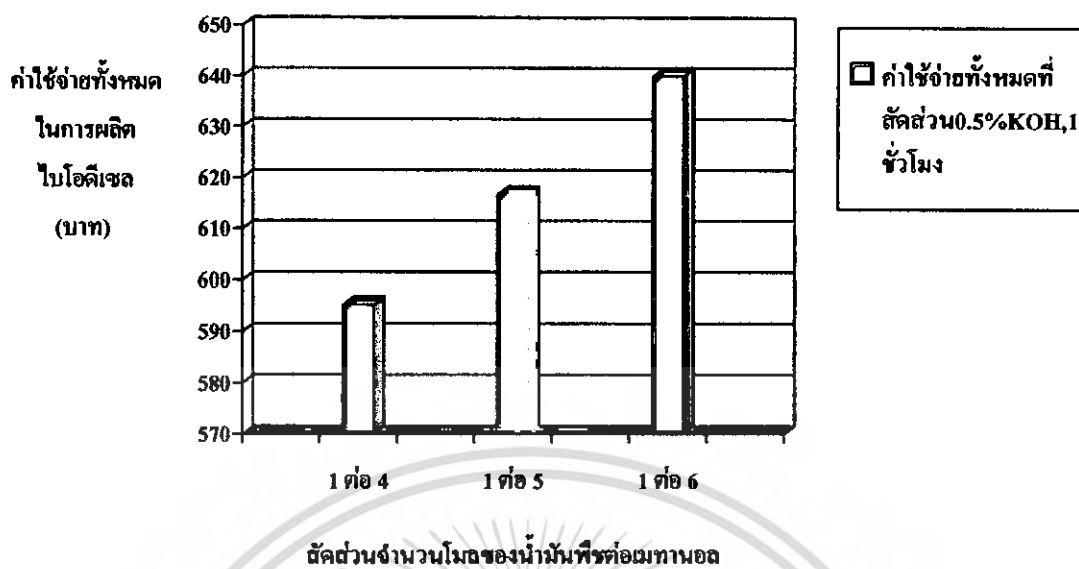


รูปที่ 5.4 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต ไบโอดีเซล ตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นคือ 1 : 6

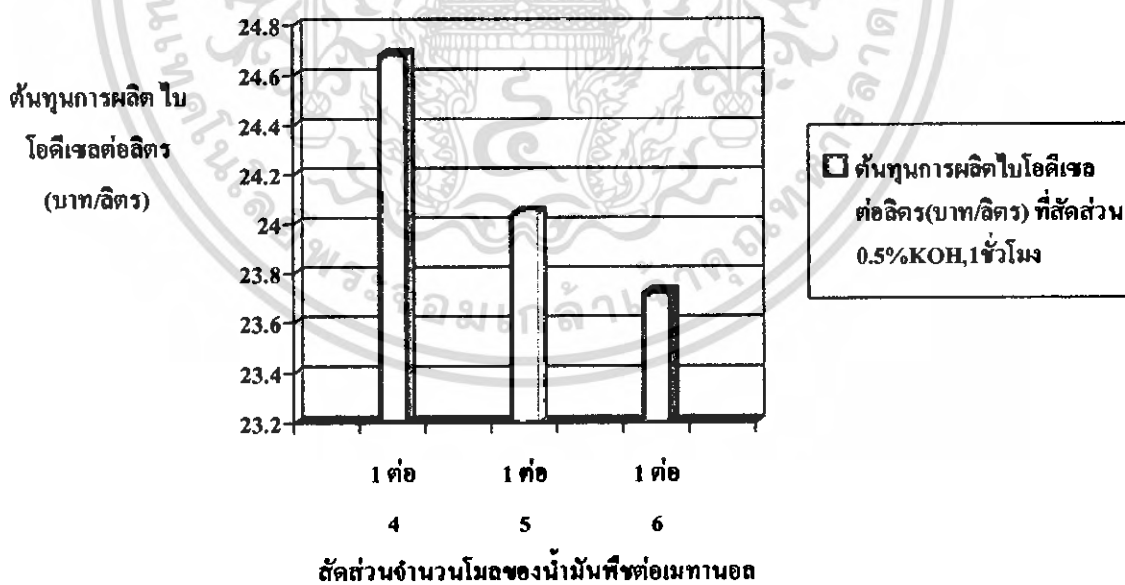


รูปที่ 5.5 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร ตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นคือ 1 : 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล ตามการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนจำนวน โมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เท่ากับ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 5.7 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร ตามการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนจำนวน โมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เท่ากับ 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.4 และ 5.5 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล และต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นคือ 1 : 6 พบว่า ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 2%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลสูงที่สุด เท่ากับ 661.72 บาท เนื่องจาก เป็นสัดส่วนที่ใช้ปริมาณสารเคมีมากกว่าสัดส่วนอื่น และ ใช้เวลาทำปฏิกิริยานานจึงทำให้ใช้ไฟฟ้ามากกว่าสัดส่วนอื่น แต่ค่าไฟฟ้าต่างจากสัดส่วนที่ลดลงตามลำดับ ไม่มากนัก เพราะ ก่อนการทำปฏิกิริยานั้นอุณหภูมิของน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนเข้าถังทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และระหว่างทำปฏิกิริยาจะควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส และ เปิดมอเตอร์กวนสารในถังทำปฏิกิริยาที่อัตราเร็วรอบ 17 รอบต่อวินาที ซึ่งฮีดเตอร์นั้นจะคอยรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียสอยู่ตลอดการทำปฏิกิริยา และถึงทำปฏิกิริยาได้ทำการหุ้มฉนวนไว้ จึงทำให้เกิดภาระงานที่ฮีดเตอร์น้อย ทำให้เหลือภาระงานที่มอเตอร์เพียงอย่างเดียว และจากการทดลอง ได้ทำการวัดปริมาณค่าไฟฟ้าที่ใช้ ระหว่างการทำปฏิกิริยาที่เวลาต่างกัน 1 ชั่วโมง พบว่า มีปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ต่างกัน 2 หน่วย คิดเป็นเงินค่าไฟฟ้าเพียง 6 บาทเท่านั้น (เมื่อพิจารณาค่าไฟฟ้าราคาหน่วยละ 3 บาท) แต่เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร พบว่า ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 2%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง กลับมีต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตรต่ำที่สุด เท่ากับ 21.43 บาท เนื่องจาก เป็นสัดส่วนที่เกิดปริมาณไบโอดีเซลมากที่สุด เมื่อนำมาหารกับค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิต จึงทำให้มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด และในทางตรงกันข้าม ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 1%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง พบว่า มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลต่ำที่สุด เท่ากับ 641.23 บาท แต่มีต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตรสูงที่สุด เท่ากับ 23.43 บาท

จากรูปที่ 5.6 และ 5.7 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล และต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร ตามการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนจำนวน โมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เท่ากับ 1 ชั่วโมง พบว่า ที่สัดส่วนจำนวน โมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 6 มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลสูงที่สุด เท่ากับ 640.02 บาท และมีต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตรต่ำที่สุด เท่ากับ 23.72 บาท เนื่องจาก เป็นสัดส่วนที่เกิดปริมาณไบโอดีเซลมากที่สุด และในทางตรงกันข้าม ที่สัดส่วนจำนวน โมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล เท่ากับ 1 : 4 มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลต่ำที่สุด เท่ากับ 595.30 บาท และมีต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตรสูงที่สุด เท่ากับ 24.68 บาท และ จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลที่สัดส่วนจำนวน โมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล เท่ากับ 1: 6 มีค่าต่างจาก ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลที่สัดส่วนจำนวน โมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล เท่ากับ 1: 4 เท่ากับ 44.72 บาท ซึ่งแตกต่างกันมาก ดังนั้น ปริมาณเมทานอลที่ใช้ในปฏิกิริยา มีผลต่อค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลมากกว่าตัวแปรอื่นๆ

จากรูปที่ 5.5 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นคือ 1 : 6 เปรียบเทียบกับรูปที่ 5.7 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร ตามการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนจำนวนโมลของน้ำมันพืชต่อเมทานอล ที่สัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เท่ากับ 1 ชั่วโมง พบว่า ที่สัดส่วนของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:6 , 2%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง มีต้นทุนการผลิตต่อลิตรต่ำกว่าที่สัดส่วนของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา 1:6 , 0.5%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง เท่ากับ 2.29 บาท และมีต้นทุนการผลิตต่อลิตรต่ำกว่าที่สัดส่วนของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา 1:4 , 0.5%KOH และ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง เท่ากับ 3.25 บาท

**5.4 ผลการทดลองตอนที่ 3** ตรวจสอบภาพไบโอดีเซลที่ผลิตได้ โดยใช้เครื่อง NMR Spectroscopy ตรวจสอบกรดไขมันในไบโอดีเซลที่ผลิตได้ และใช้เครื่อง GC และ เครื่อง HPLC ตรวจสอบร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล

เครื่อง NMR Spectroscopy หรือ มีชื่อเต็มว่า Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจสอบหาสัญญาณของโปรตอน( $H^+$ ) ในหมู่พันธะไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของเมทิลเอสเทอร์ , กรดไขมันและในโครงสร้างของสารประกอบอื่นๆที่อยู่ในไบโอดีเซล และ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอื่น ซึ่งจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซลจากโครงการนี้จะพิจารณาผลการตรวจสอบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้ มีกรดไขมันเหลืออยู่ในโครงสร้างไบโอดีเซลหรือไม่ ถ้ามีกรดไขมันเหลืออยู่ แสดงว่าในไบโอดีเซลที่ผลิตได้ยังไม่บริสุทธิ์(ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์) และ ไม่เหมาะกับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่อง GC ซึ่งมีชื่อเต็มว่า Gas Chromatography และ เครื่อง HPLC ซึ่งมีชื่อเต็มว่า High Performance Liquid Chromatography เป็นเครื่องที่ใช้แยกและวิเคราะห์สารโดยมีหลักการทำงานคือ ทำการแยกองค์ประกอบของสารที่กระจายอยู่ระหว่างเฟสที่ไม่ผสมกัน 2 เฟสคือ เฟสอยู่กับที่ และ เฟสเคลื่อนที่ องค์ประกอบของสารตัวอย่างซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างจากเฟสทั้งสอง จะเคลื่อนที่ผ่านด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน เมื่อองค์ประกอบของสารเคลื่อนที่ผ่านออกจากระบบ จะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องตรวจวัด ซึ่งจะทำการรายงานผลออกมาในรูปแบบของโครมาโทแกรม เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป สิ่งที่ทำให้เทคนิคโครมาโทกราฟีแต่ละเทคนิคมีความแตกต่างกันคือ เฟสเคลื่อนที่ สำหรับเครื่อง GC จะมีเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊ส ส่วนเครื่อง HPLC จะมีเฟสเคลื่อนที่เป็นของเหลวนั่นเอง สำหรับไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองนั้นจะพิจารณาเพียงใช้เครื่อง GC และ เครื่อง HPLC ตรวจสอบร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล ด้วยวิธีการทดสอบ

อ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ EN14103 ซึ่งเป็นไปตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน ว่าด้วยเรื่องไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4.1 แสดงผลการตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ด้วยเครื่อง NMR Spectroscopy , เครื่อง GC และ เครื่อง HPLC

สัดส่วนสารตั้งต้น	ทดสอบด้วยเครื่อง NMR Spectroscopy		ทดสอบด้วย เครื่อง GC และ เครื่อง HPLC
	โปรตอนของกรดไขมัน	โปรตอนของเมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์
1:6,2.0%KOH,4ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	87.86*
1:6,2.0%KOH,3ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	87.67
1:6,2.0%KOH,2ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	85.98
1:6,2.0%KOH,1ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	86.40
1:6,1.5%KOH,4ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	85.12
1:6,1.5%KOH,3ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	85.01
1:6,1.5%KOH,2ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	85.71
1:6,1.5%KOH,1ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	85.30
1:6,1.0%KOH,4ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	86.22
1:6,1.0%KOH,3ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	86.10
1:6,1.0%KOH,2ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	85.15
1:6,1.0%KOH,1ชั่วโมง	ไม่พบ	พบ	85.55
1:6,0.5%KOH,1ชั่วโมง	พบไม่เกิน 5 %	พบ	85.92*
1:5,0.5%KOH,1ชั่วโมง	พบไม่เกิน 5%	พบ	86.89
1:4,0.5%KOH,1ชั่วโมง	พบไม่เกิน 5 %	พบ	86.70*

หมายเหตุ 1. ทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซลด้วยเครื่อง NMR Spectroscopy ที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. \* ทดสอบหาร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล ด้วยเครื่อง GC ที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ทดสอบหาร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลด้วยเครื่อง HPLC

เอกสารที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ใ้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.4.1 แสดงผลการตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ด้วยเครื่อง NMR Spectroscopy , เครื่อง GC และ เครื่อง HPLC พบว่า เมื่อใช้สัดส่วนสารตั้งต้น 1:6 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1%KOH, 1.5 %KOH และ 2%KOH ในเวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ไม่พบกรดไขมันเหลืออยู่ในไบโอดีเซล แต่ถ้าหากลดสัดส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาลงเหลือ 0.5%KOH พบว่า เริ่มมีกรดไขมันเหลืออยู่ในไบโอดีเซล นอกจากนี้ เมื่อลดสัดส่วนสารตั้งต้น หรือลดปริมาณของเมทานอลที่ใช้ในปฏิกิริยาลงจากเดิม 1:6 เหลือ 1:5 และ 1:4 จะพบว่า เริ่มมีกรดไขมันเหลืออยู่ในไบโอดีเซล เช่นกัน และ จากการตรวจหาร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลที่ผลิตได้ โดยเลือกสัดส่วนที่ผลิตไบโอดีเซลได้มากที่สุดและมีต้นทุนการผลิตถูกที่สุด คือ สัดส่วน 1:6 , 2%KOH , 4 ชั่วโมง พบว่า ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลเท่ากับ 87.86 และหากลดสัดส่วนสารตั้งต้นหรือปริมาณเมทานอลที่ใช้ในปฏิกิริยาลงจากเดิม 1:6 เหลือ 1:4 ลดสัดส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเหลือ 0.5%KOH และ ลดเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาเหลือ 1 ชั่วโมง พบว่า ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล จะเท่ากับ 86.70 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ สัดส่วน 1:6 , 2%KOH , 4 ชั่วโมง จะเห็นว่า ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล แตกต่างกันอยู่เพียง ร้อยละ 1.16 ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกันมาก

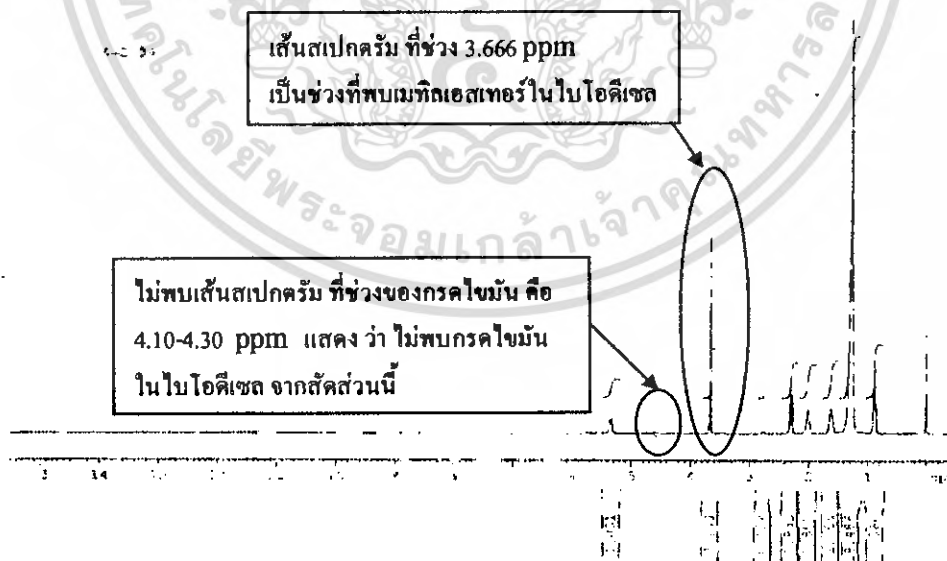
สาเหตุเบื้องต้นที่คาดว่ามิผลทำให้ร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลไม่ถึงมาตรฐานตามกรมธุรกิจพลังงาน ได้แก่ ส่วนผสมของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์พอ การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำยังล้างสิ่งเจือปนออกจากไบโอดีเซลได้ไม่หมด และการคั้นน้ำออกจากไบโอดีเซลสามารถคั้นน้ำให้ออกจากไบโอดีเซลได้ไม่หมด

จากการใช้เครื่องมือตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ด้วยเครื่อง NMR Spectroscopy เครื่อง GC และ เครื่อง HPLC นั้น ให้รายละเอียดการวัดผลคุณภาพไบโอดีเซลที่แตกต่างกันทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณดังนี้

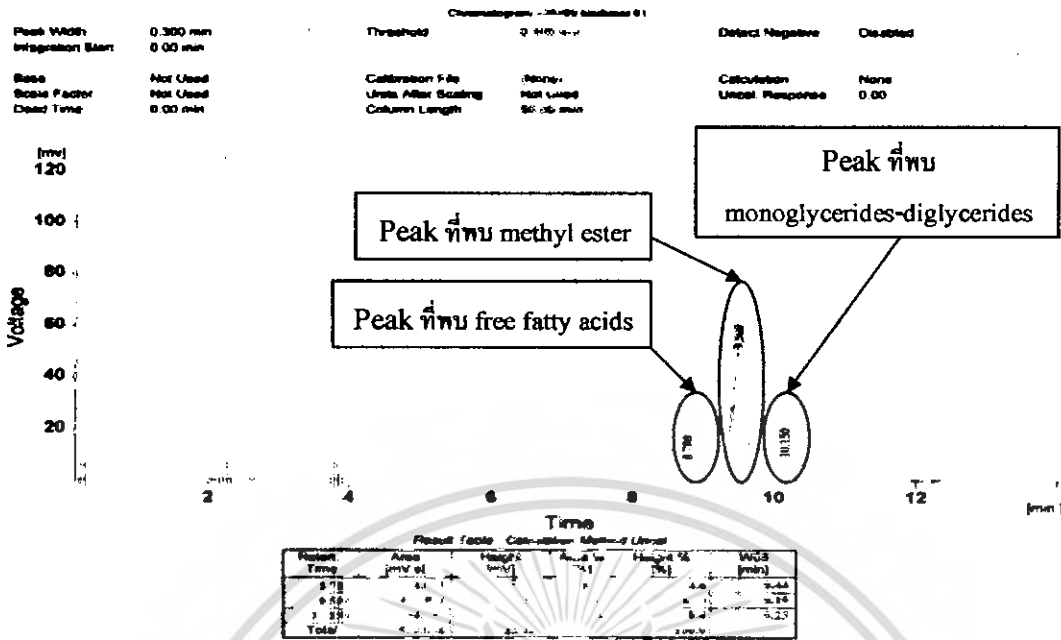
NMR Spectroscopy เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการตรวจสอบในด้านคุณภาพมากกว่าในด้านปริมาณ ถึงแม้ว่าจะทำได้ มีความแม่นยำในระดับที่ดี และมีความนิยมใช้ในด้านปริมาณอยู่มากก็ตาม แต่การตรวจสอบในด้านปริมาณจากผลการทดลองที่ได้จาก NMR Spectroscopy จะมีความคลาดเคลื่อนเช่นกัน โดยขึ้นกับประสิทธิภาพของตัวเครื่องเอง ชาติที่ต้องการดู และขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารที่ต้องการทดสอบ ในกรณีของปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชนั้น peaks ที่แสดงตำแหน่ง  $-CH-O-$  และ  $-CH_2-O-$  ของน้ำมันพืช (ไตรกลีเซอไรด์) ไดกลีเซอไรด์ และมอนอกลิเซอไรด์ จะอยู่ในลักษณะที่เป็นกลุ่ม จึงดู broad กว่า peak ที่แสดงตำแหน่ง  $CH_3-O-$  ของไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) ซึ่งมี peak เดียวที่ sharp มาก เห็นได้ชัดเจน ดังนั้น หากมีปริมาณของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และ มอนอกลิเซอไรด์ อยู่ไม่มากนัก peaks ของมันจะเบนจนเกือบติดกับ base line ทำให้เราไม่เห็นมันได้เหมือนกัน (แต่ถ้าเป็นเครื่องรุ่นใหม่ และความละเอียดสูง น่าจะเห็นได้) ในกรณีนี้ NMR จึงเช็คได้คร่าวๆ เท่านั้น

GC และ HPLC เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณ แต่ว่าจำเป็นต้องมี standard ไว้เปรียบเทียบ (ซึ่งแพง) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าทำด้านปริมาณ อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีปัญหาในเรื่องของ sensitivity ที่มีต่อโครงสร้างของสารที่แตกต่างกัน เช่น ไตรกลีเซอไรด์ , โคลิเลอไรด์ และ มอนอกลิเซอไรด์ รวมทั้ง เมทิลเอสเทอร์ หากไม่มีการทำ calibration curve ด้วย standard ก่อน ซึ่งในโครงการนี้ไม่ได้ทำ จำนวนโมลที่เท่ากันของสารต่างชนิดอาจจะให้ peak ที่มีพื้นที่ได้ peak รวมทั้งความสูงของ peak ที่ไม่เท่ากันได้ การคำนวณด้านปริมาณก็อาจจะคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน

อย่างไรก็ตาม เมื่อการใช้เทคนิค GC และ HPLC แสดงให้เห็นว่ามี โคลิเลอไรด์ และ มอนอกลิเซอไรด์ ก็ทำให้มั่นใจได้ว่ามีอยู่จริง ถึงแม้ว่า NMR Spectroscopy จะไม่แสดงว่ามีอยู่ที่ตาม ดังนั้น การที่ร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล ที่วัดได้ที่สัดส่วน 1:6, 2.0%KOH, 3 ชั่วโมง มีแค่ 87.67% อีก 12.33% ที่เหลืออยู่จึงต้องมีโคลิเลอไรด์ และมอนอกลิเซอไรด์ อยู่ด้วยแน่นอน นอกจากนั้นน่าจะมีการดัดไขมันอิสระอยู่อีกด้วย เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ เมื่อเก็บไว้ในสถานะที่ไม่แห้ง มีความชื้นอยู่มาก ซึ่งน่าจะเป็นอย่างนั้นในกรณีของโครงการนี้ เมทิลเอสเทอร์จะทำปฏิกิริยากับน้ำกลับไปเป็นเมทานอล กับ กรดไขมันอิสระ เพราะปฏิกิริยาเคมีต้องเข้าสู่สภาวะสมดุลใหม่เมื่อองค์ประกอบของไบโอดีเซลเปลี่ยนไป และยิ่งหากว่ามีกรดหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลจากการล้างน้ำที่ไม่ดีพอ จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในระหว่างการเก็บในถังมากขึ้นด้วย จากนั้นเมทานอล ก็ระเหยหายไปได้เนื่องจากมีจุดเดือดต่ำ ส่วน ไตรกลีเซอไรด์ไม่น่าจะมีหลงเหลืออยู่แล้ว แม้จะไม่อาจเช็คโดยGCได้ เนื่องจากอุณหภูมิไม่สูงพอ แต่ในHPLC chromatogram ก็ไม่พบ



รูปที่ 5.8 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy ที่สัดส่วน 1:6 , 2% KOH , 4 ชั่วโมง



รูปที่ 5.9 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC จากการทดสอบหรร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6 ,1.5%KOH , 4 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.12% และพบว่ามียอยละ โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ และ มอนอกลิเซอไรด์ - ไดกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซล เท่ากับ 4.54% และ 10.34% ตามลำดับ

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการทดลองในด้านการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล

จากการทดลองผลิตไบโอดีเซลตามปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล พบว่า ที่ สัดส่วน 1:6 , 2%KOH , 4 ชั่วโมง ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซลเทียบกับน้ำหนักของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยามากที่สุด คือ ร้อยละ 80 ในทางตรงกันข้าม พบว่า ที่สัดส่วน 1:4 , 0.5%KOH 1 ชั่วโมง ให้ร้อยละโดยน้ำหนักของไบโอดีเซลเทียบกับน้ำหนักของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 68 แสดงว่าปริมาณเมทานอลที่ใช้เป็นสารตั้งต้น ส่งผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซลได้มากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าเพิ่มปริมาณเมทานอล จะทำให้เกิดไบโอดีเซลได้มากขึ้นตามลำดับ ส่วนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา(ต่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) มีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซล แต่เปลี่ยนแปลงไม่มากเท่ากับปริมาณเมทานอล

#### 6.2 สรุปผลการทดลองในด้านการศึกษาถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลและต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร

จากการทดลองผลิตไบโอดีเซล เมื่อพิจารณาหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล และต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตรตามสัดส่วนที่ใช้ในการผลิต พบว่า ที่สัดส่วน 1: 6 , 2%KOH, 4 ชั่วโมง มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลสูงที่สุด เท่ากับ 661.72 บาท เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่ใช้ปริมาณเมทานอล ต่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดซัลฟูริกมากที่สุด และ ใช้เวลาทำปฏิกิริยานานที่สุด แต่เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร กลับพบว่า ที่สัดส่วน 1 : 6 , 2%KOH , 4 ชั่วโมง มีต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตรต่ำที่สุด เท่ากับ 21.43 บาท เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่เกิดปริมาณไบโอดีเซลได้มากที่สุด เมื่อหารค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตด้วย ปริมาตรไบโอดีเซล จึงทำให้มีต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตรต่ำที่สุด แต่ในทางตรงกันข้าม ที่ สัดส่วน 1 : 4 , 0.5%KOH, 1 ชั่วโมง มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซลต่ำที่สุด เท่ากับ 641.23 บาท แต่มีต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลสูงที่สุด เท่ากับ 23.43 บาท แสดงว่าค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล ไม่ได้บอกว่า ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีราคาถูกหรือแพง แต่ต้องพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร เนื่องจากต้นทุนการผลิตได้คำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นกับค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไบโอดีเซล จึงทำให้ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร เป็นค่าที่ต่ำกว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีต้นทุนลิตรละเท่าใด จากการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ตามโครงการนี้ ได้พบว่า หากผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้สัดส่วน 1 : 6 , 2%KOH, 4 ชั่วโมง (น้ำมันพืชใช้แล้ว จำนวน 30 ลิตร เมทานอล 7.60 ลิตร ต่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 540 กรัม กรดซัลฟูริก 475 กรัม และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง) และ มีขั้นตอนการผลิตดังที่ได้กล่าวไว้แล้วจากบทที่ 4 จะทำให้ได้ปริมาณไบโอดีเซลมากที่สุด และมีราคาค่าต้นทุนการผลิตต่อลิตรถูกที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 สรุปผลการทดลองในด้านการประเมินคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตไบโอดีเซล เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน

จากการส่งตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลไปตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน โดยตรวจสอบร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล 3 สัดส่วน ได้แก่ สัดส่วน 1:6 , 2%KOH , 4 ชั่วโมง , สัดส่วน 1:6 , 0.5%KOH , 1 ชั่วโมง และ สัดส่วน 1:4 , 0.5%KOH , 1 ชั่วโมง พบว่าที่สัดส่วน 1:6 , 2%KOH , 4 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง GC และ เครื่อง HPLC โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ EN 14103 ของกรมธุรกิจพลังงาน มีค่าร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล เท่ากับ 87.86 และ ไม่พบกรดไขมันในโครงสร้างไบโอดีเซลที่ผลิตได้ จากการทดสอบด้วยเครื่อง NMR Spectroscopy

จากการใช้เครื่องมือตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ด้วยเครื่อง NMR Spectroscopy เครื่อง GC และ เครื่อง HPLC นั้น ให้รายละเอียดการวัดผลคุณภาพไบโอดีเซลที่แตกต่างกันทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณดังนี้

NMR Spectroscopy เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการตรวจสอบในด้านคุณภาพมากกว่าในด้านปริมาณ ถึงแม้ว่าจะทำได้ มีความแม่นยำในระดับที่ดี และมีความนิยมใช้ในด้านปริมาณอยู่มากก็ตาม แต่การตรวจสอบในด้านปริมาณจากผลการทดลองที่ได้จาก NMR Spectroscopy จะมีความคลาดเคลื่อนเช่นกัน โดยขึ้นกับประสิทธิภาพของตัวเครื่องเอง ชาติที่ต้องการดู และขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารที่ต้องการทดสอบ ในกรณีของปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชนั้น peaks ที่แสดงตำแหน่ง  $-CH-O-$  และ  $-CH_2-O-$  ของน้ำมันพืช (ไตรกลีเซอไรด์) ไคกลีเซอไรด์ และ มอนอกลิเซอไรด์ จะอยู่ในลักษณะที่เป็นกลุ่ม จึงดู broad กว่า peak ที่แสดงตำแหน่ง  $CH_3-O-$  ของไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) ซึ่งมี peak เดียวที่ sharp มาก เห็นได้ชัดเจน ดังนั้น หากมีปริมาณของไตรกลีเซอไรด์, ไคกลีเซอไรด์ และ มอนอกลิเซอไรด์ อยู่ไม่มากนัก peaks ของมันจะเบนจนเกือบติดกับ base line ทำให้เราไม่เห็นมันได้เหมือนกัน (แต่ถ้าเป็นเครื่องรุ่นใหม่ และความละเอียดสูง น่าจะเห็นได้) ในกรณีนี้ NMR จึงเช็ดได้คร่าวๆ เท่านั้น

GC และ HPLC เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณ แต่ว่าจำเป็นต้องมี standard ไว้เปรียบเทียบ (ซึ่งแพง) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าทำด้านปริมาณ อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีปัญหาในเรื่องของ sensitivity ที่มีต่อโครงสร้างของสารที่แตกต่างกัน เช่น ไคกลีเซอไรด์ , ไคกลีเซอไรด์ และ มอนอกลิเซอไรด์ รวมทั้ง เมทิลเอสเทอร์ หากไม่มีการทำ calibration curve ด้วย standard ก่อน ซึ่งในโครงการนี้ไม่ได้ทำ จำนวนโมลที่เท่ากันของสารต่างชนิดอาจจะให้ peak ที่มีพื้นที่ได้ peak รวมทั้งความสูงของ peak ที่ไม่เท่ากันได้ การคำนวณด้านปริมาณก็อาจจะคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน

อย่างไรก็ตาม เมื่อการใช้เทคนิค GC และ HPLC แสดงให้เห็นว่ามี ไคกลีเซอไรด์ และ มอนอกลิเซอไรด์ ก็ทำให้มั่นใจได้ว่ามีอยู่จริง ถึงแม้ว่า NMR Spectroscopy จะไม่แสดงว่ามีอยู่ก็ตาม ดังนั้น การที่ร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล ที่วัดได้ที่สัดส่วน 1:6, 2.0%KOH, 3 ชั่วโมง มีแค่ 87.67% อีก 12.33% ที่เหลืออยู่จึงต้องมีไคกลีเซอไรด์ และมอนอกลิเซอไรด์ อยู่ด้วยแน่นอน นอกจากนี้ น่าจะมีกรดไขมันอิสระอยู่อีกด้วย เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ เมื่อเก็บไว้ในสภาวะที่ไม่แห้ง มีความชื้นอยู่มาก ซึ่งน่าจะเป็นอย่างนั้นในกรณีของโครงการนี้ เมทิลเอสเทอร์จะทำปฏิกิริยากับน้ำกลับไปเป็นเมทานอล กับ กรดไขมันอิสระ เพราะปฏิกิริยาเคมีต้องเข้าสู่สภาวะสมดุลใหม่เมื่อองค์ประกอบของไบโอดีเซลเปลี่ยนไป และยิ่งหากว่ามีกรดหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลจากการล้างน้ำที่ไม่ดีพอ จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในระหว่างการเก็บในถังมากขึ้นด้วย จากนั้นเมทานอล ก็ระเหยหายไปได้เนื่องจากมีจุดเดือดต่ำ ส่วนไคกลีเซอไรด์ไม่น่าจะมีหลงเหลืออยู่แล้ว แม้จะไม่อาจเช็คโดยGCได้ เนื่องจากอุณหภูมิไม่สูงพอ แต่ในHPLC chromatogram ก็ไม่พบ

จึงถือได้ว่าการศึกษามือเบื้องต้นในการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล ให้ผลเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่ผ่านมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล ต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 96.5 แสดงว่าการศึกษาวิจัย หาส่วนผสมของสารตั้งต้น, ตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อทำให้เกิดเป็นไบโอดีเซล การพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซล และการปรับปรุงการทำงานของเครื่องผลิตไบโอดีเซล ควรต้องมีการวิจัยและพัฒนาในอีกระดับหนึ่งต่อไป เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตไบโอดีเซล ได้ผ่านการรับรองมาตรฐานจากกรมธุรกิจพลังงาน

#### 6.4 สรุปผลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไบโอดีเซล จากการทดลองผลิตไบโอดีเซล

จากการทดลองผลิตไบโอดีเซล ตามสัดส่วนของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีกระบวนการผลิตตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 ให้ผลที่สำคัญในการใช้เครื่องผลิตไบโอดีเซล ดังนี้

1. การกรองน้ำมันพืชใช้แล้วผ่านไส้กรองกระดาษ ขนาด 0.5 ไมครอน ก่อนดัดน้ำออกจากน้ำมันพืชใช้แล้ว พบว่า น้ำมันพืชใช้แล้วในระหว่างการดัด มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงว่าน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่ผ่านไส้กรองค่อนข้างมีสิ่งเจือปนน้อยมาก ช่วยทำให้ลดระยะเวลาการทำงานของฮีตเตอร์ เป็นการประหยัดไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง
2. การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องผลิตไบโอดีเซล จะกระทำที่ตู้คอนโทรลเท่านั้น ทำให้ง่ายต่อการควบคุมการผลิตไบโอดีเซลในแต่ละขั้นตอน
3. การแยกกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซล การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำในถังล้างน้ำ 1 และ ถังล้างน้ำ 2 ทำได้ง่ายโดยสังเกตจากสายยางใสที่กั้นถัง ในระหว่างการปล่อยกลีเซอริน น้ำล้าง และสบูลงถึงเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ ลดการสูญเสียไบโอดีเซลที่อาจไหลตามกลีเซอริน น้ำล้าง และสูญ ในระหว่างการแยกกลีเซอรินและล้างน้ำได้

4. การถ่ายเทสารละลายเมทานอลผสมกับด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากถังเก็บสารละลายมายังถังทำปฏิกิริยา โดยอาศัยหลักการใช้แรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้สะดวกต่อการเทสารเคมี และปลอดภัยต่อร่างกายของผู้ทำการผลิต

5. การควบคุมการไหลของของเหลวในเครื่องผลิตไบโอดีเซลทำได้สะดวกและรวดเร็ว โดยเปิด-ปิดสวิตช์ควบคุมปั๊มและวาล์วไฟฟ้าได้ที่ตู้คอนโทรล

6. การควบคุมอุณหภูมิของถังต้มที่มีฮีตเตอร์ไฟฟ้า ทำได้สะดวก โดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการได้เลขจะมีอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุม ทำการเปิด-ปิดการทำงานของฮีตเตอร์โดยอัตโนมัติ

7. อุปกรณ์ไฟฟ้าที่กำลังทำงานอยู่ จะมีไฟแสดงสถานะการทำงานเหนือสวิตช์อุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ทำให้ผู้ทำการผลิต ทราบและควบคุมการทำงานตามกระบวนการผลิตได้อย่างง่าย

## 6.5 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองนี้พืงเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล เพื่อใช้ศึกษาเบื้องต้นถึงการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วตามสัดส่วนสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่กำหนดขึ้นมา เพื่อดูแนวโน้มของปริมาณไบโอดีเซลที่เกิดขึ้น ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตร และ คุณภาพของไบโอดีเซล และทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อดูความเป็นไปได้ว่า เมื่อนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซลด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล แล้วการทำงานของเครื่องจะมีผลอย่างไรบ้าง และไบโอดีเซลที่ได้มีความบริสุทธิ์และตรงตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานหรือไม่ ซึ่งจากผลการทดสอบคุณภาพไบโอดีเซลด้วยเครื่อง NMR Spectroscopy , เครื่อง GC และ เครื่องHPLC ทำให้เราทราบว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซล แต่ยังไม่ผ่านมาตรฐานทางด้านร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล ของกรมธุรกิจพลังงาน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้เครื่องผลิตไบโอดีเซลสามารถผลิตไบโอดีเซลให้มีคุณภาพดีมากขึ้น และ เป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ทางคณะผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นทางในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป

1. การพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไบโอดีเซลให้ผลิตไบโอดีเซล ให้มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน และมีค่าต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลต่อลิตรต่ำที่สุด มีดังนี้

1.1 ควรศึกษาถึงอัตราเร็วรอบของมอเตอร์กวนสารในถังทำปฏิกิริยา ว่ามีผลต่อปริมาณการเกิดไบโอดีเซลและคุณภาพไบโอดีเซลหรือไม่

1.2 ควรทำให้การถ่ายเทสารจากถังหนึ่งไปยังอีกถังหนึ่ง ให้หมดในถังที่เริ่มต้นการถ่ายเทสารเพื่อป้องกันการสูญเสียไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ควรเปลี่ยนแปลงกันตั้งแต่ละดังให้เป็นรูปกรวย และ ต่อกับสายยางใสที่มีสเกลบอก ปริมาตร จะทำให้การแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอริน น้ำทิ้งจากการล้างไบโอดีเซล และสบู่ ได้ ง่ายขึ้นและไม่สูญเสียไบโอดีเซลระหว่างการถ่ายกลีเซอริน น้ำทิ้งและสบู่ ออกจากถัง

1.4 ควรติดตั้งอุปกรณ์จับเวลาและสัญญาณเตือนให้สัมพันธ์กับการทำงานของฮีตเตอร์ และ มอเตอร์ในถังทำปฏิกิริยา ฮีตเตอร์ในถังต้มไอน้ำออกจากน้ำมันพืชก่อนทำปฏิกิริยา ฮีตเตอร์ในถัง ต้มไอน้ำออกจากไบโอดีเซล ป้อนน้ำในถังล้างน้ำ1 และ ถังล้างน้ำ2 เพื่อจะได้ควบคุมเวลาการทำงาน ของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้แม่นยำ

1.5 ควรติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาตรของเหลวที่อยู่ในถังทุกถัง เพื่อให้สะดวกและง่าย ต่อการวัดปริมาตรของไบโอดีเซลในแต่ละขั้นตอนการผลิต

1.6 ควรพัฒนาการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในเครื่องผลิตไบโอดีเซล ให้ทำงานสัมพันธ์กัน ตามขั้นตอนการผลิตเป็นแบบอัตโนมัติ

2. การคิดค้นและทดลองหาสัดส่วนของสารตั้งต้น(ปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้ว ต่อ ปริมาณเมทานอล) , ปริมาณหรือชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา ให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ ได้ปริมาณไบ โอดีเซลมากขึ้น และมีคุณภาพตรงตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน, 2548. “ เครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสัตว์/น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว รุ่น CMU-2. ” มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [2] กุลเชษฐ เพ็ชรทอง , 2548. “ เครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว รุ่น UBU Gold-2 .” ศูนย์การจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [3] น.อ.สมัย ใจอินทร์ ผอ.กวางพ.กพช.อร., 2547. “โครงการศึกษาความเหมาะสมการผลิต และ การใช้ไบโอดีเซลจากพืชน้ำมันและไขมัน.” กรมอุทกหารเรือ กองทัพเรือ.
- [4] พิสมัย เจนวนิชปัญญากุล, สุมาลัย ศรีคำไลทอง และ สราวุธ วรสุมันต์ , 2524. “การใช้น้ำมันพืช ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล.” สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- [5] นิโรจน์ อัครปัญญาวิทย์ , 2548. “ การใช้น้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลกับรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ทางด้านสมรรถนะและมลพิษ.” สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.
- [6] พูลพร แสงบางปลา, 2544. “ การใช้ Biodiesel กับเครื่องยนต์มีผลอย่างไร .” เอกสารประกอบการสัมมนา 29 พฤษภาคม 2544.
- [7] สมิตร โฉมเฉลา และ นายรัตนพงศ์ วงศ์พิมพ์ศรี, 2525. “ การศึกษาเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมัน ดีเซล โดยศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันพืชเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล.” วิทยานิพนธ์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- [8] จินดา เจริญพรพาณิชย์ และคณะ, 2547. “ สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์.” การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่18 , หน้า 754-759.
- [9] จินดา เจริญพรพาณิชย์ และคณะ, 2549. “ การทำไบโอดีเซลจาก ไขมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด.” การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่16 , หน้า 66-72.
- [10] จารุวัฒน์ ทองมูล, 2547. “ การสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลและผลิตภัณฑ์หล่อลื่นจากน้ำมัน สนูป่า.” วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาปิโตรเคมีและเคมีของไฮโดรคาร์บอน ภาควิชาเคมี คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

**น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว****สัดส่วน: 1 : 6 , 2.0%KOH , 4 ชั่วโมง**

น้ำมันพืช 30 ลิตร ต่อ เมทานอล 7.6 ลิตร ,

ค่าंगโทแทสเจิมไฮดรอกไซด์ 540 กรัม ,

ใช้เวลาดำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง

รูปที่ A1 แสดงภาพถ่ายสีของน้ำมัน ไบ โอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้จากสัดส่วน 1:6 , 2%KOH ,4 ชั่วโมง

**น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว****สัดส่วน: 1 : 6 , 0.5%KOH , 1 ชั่วโมง**

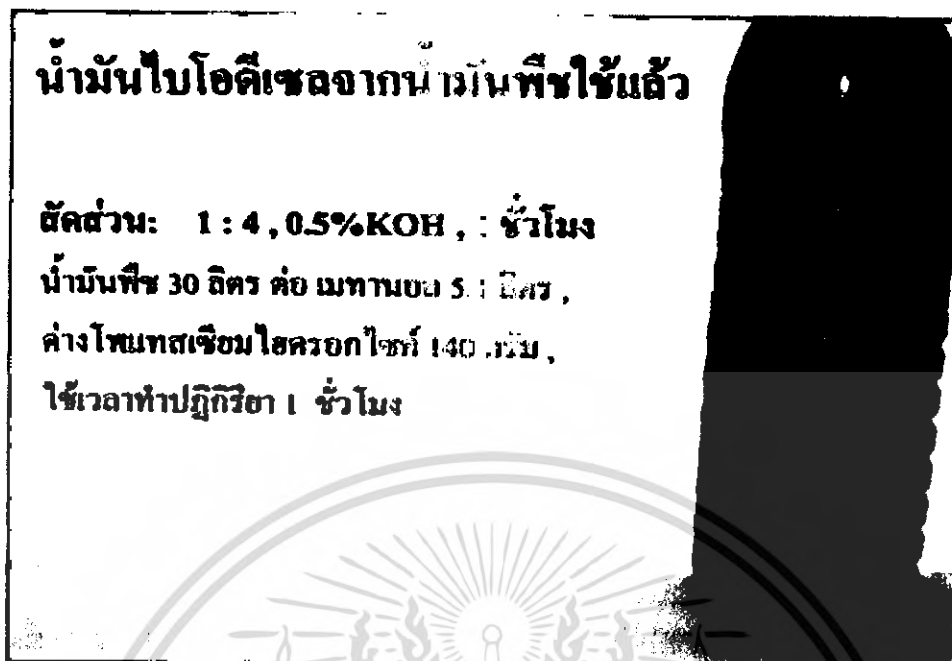
น้ำมันพืช 30 ลิตร ต่อ เมทานอล 7.6 ลิตร ,

ค่าंगโทแทสเจิมไฮดรอกไซด์ 140 กรัม ,

ใช้เวลาดำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

รูปที่ A2 แสดงภาพถ่ายสีของน้ำมัน ไบ โอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้จากสัดส่วน 1:6 , 0.5%KOH ,1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

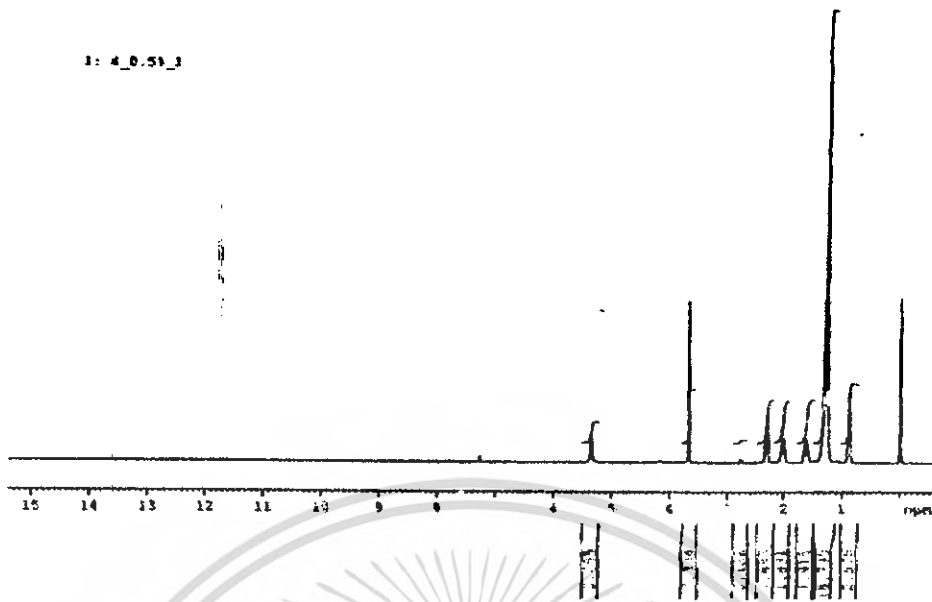


รูปที่ A3 แสดงภาพถ่ายสีของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้จากสัดส่วน 1:4 , 0.5%KOH , 1 ชั่วโมง

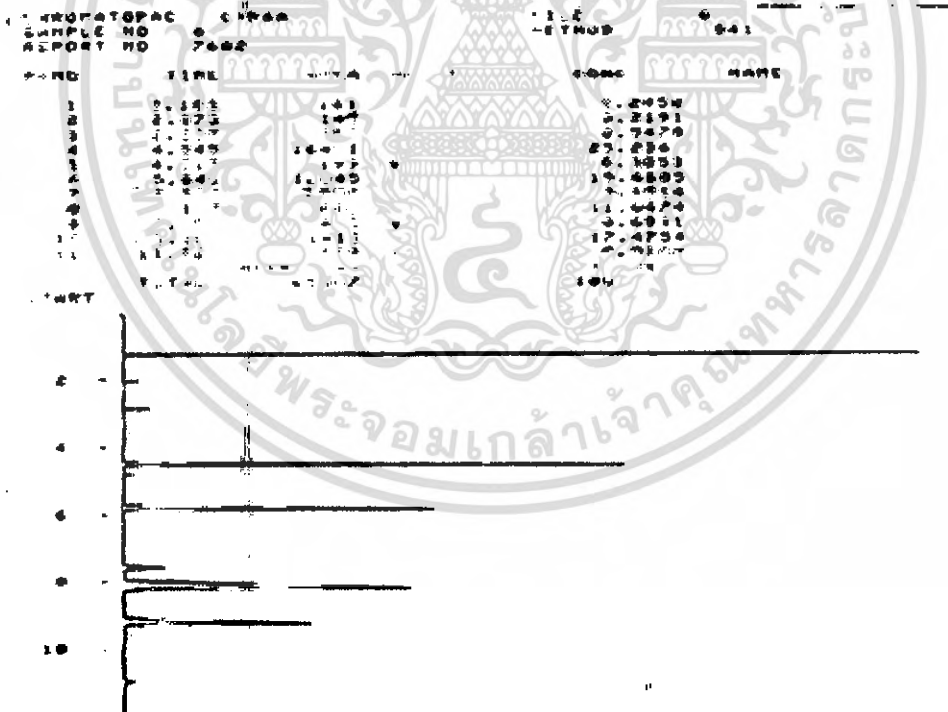


รูปที่ A4 แสดงภาพการแยกชั้นระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับสบู่ที่เกิดขึ้นในชั้นตอนล่างน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

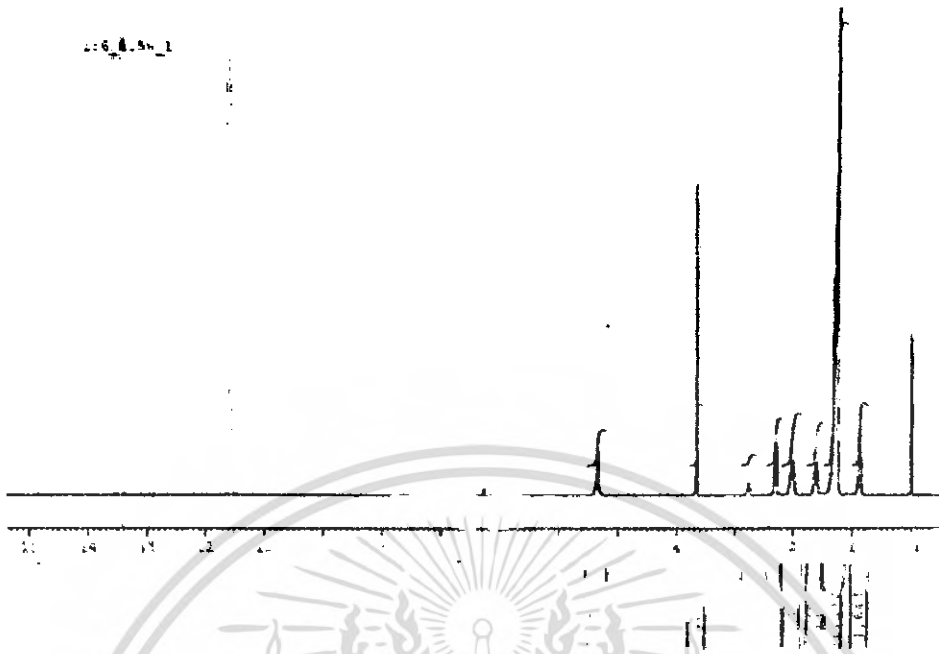


รูปที่ A5 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:4 , 0.5%KOH , 1 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ พบกรดไขมัน ไม่เกินร้อยละ 5



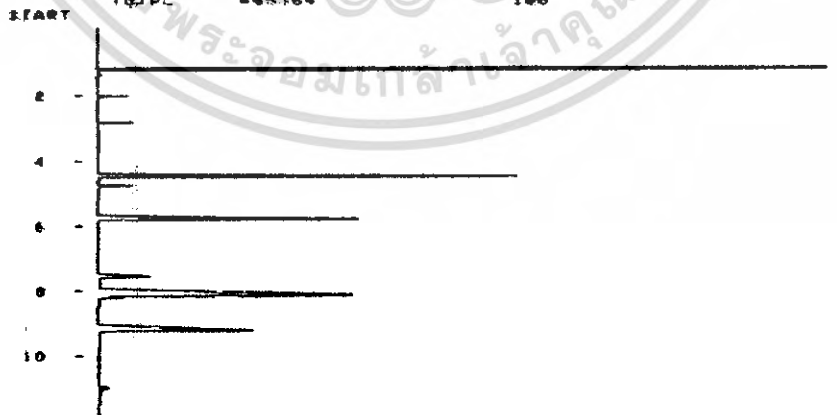
รูปที่ A6 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง GC จากการทดสอบหาร้อยละ โคชน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:4 , 0.5%KOH , 1 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.70% และ พบว่ามี ร้อยละโคชน้ำหนักของมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซล เท่ากับ 13.30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ A7 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 0.5%KOH, 1 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ พบกรดไขมันไม่เกินร้อยละ 5

CHROMATOPAC	C 660	FILE	D
SAMPLE NO	0	METHOD	D41
REPORT NO	7612		
NO	TIME	AREA	CONC
1	0.207	113	0.0363
2	1.26	107755	85.4771
3	2.077	164	0.0363
4	2.080	464	0.1882
5	4.353	21043	4.6938
6	4.717	104	0.0225
7	5.073	15817	2.9845
8	7.595	24732	0.4983
9	8.255	23146	4.9737
10	9.733	5767	1.2382
11	12.598	110	0.0272
TOTAL		468164	100



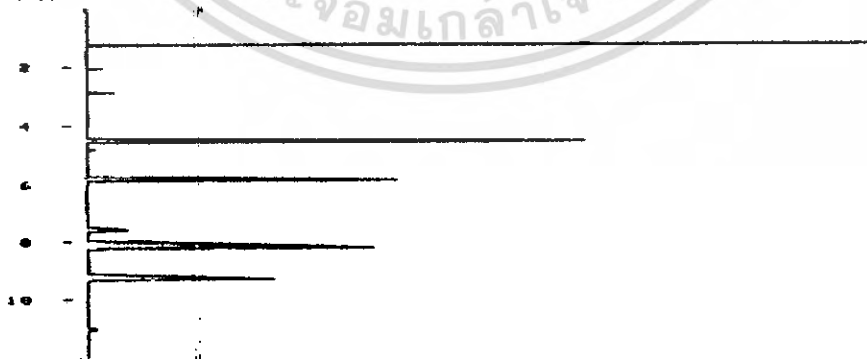
รูปที่ A8 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง GC จากการทดสอบหาร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 0.5%KOH, 1 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.92% และ พบว่ามี ร้อยละ โดยน้ำหนักของมอนอกลิเซอไรด์ ไคกลิเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซล เท่ากับ 14.08%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมการศึกษานานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

รูปที่ A9 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซล สักส่วน 1:6 , 2%KOH , 4 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม่พบกรดไขมัน

PKNO	TIME	AREA	HL	NAME
1	0.182	141		0.2458
2	2.073	143		0.2131
3	2.867	352		0.5478
4	4.548	16451		25.236
5	4.817	193	V	0.3053
6	5.048	12845		19.8585
7	7.388	7838		0.1814
8	8.197	29668		31.6474
9	9.238	433	V	0.6931
10	9.858	11413		17.4754
11	11.0E	323	V	0.818E
TOTAL		65497		100

START



รูปที่ A10 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง GC จากการทดสอบหาร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล สักส่วน 1:6 , 2 %KOH , 4 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 87.86% และ พบว่ามี

เอกลสารนี้เป็นเอกลสารของมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลิเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ ในไบโอดีเซล เท่ากับ 12.14%  
เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาแจ้งที่ 111 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

## ใบแสดงผลการวิเคราะห์และทดสอบหาร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพหลโยธิน แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510

Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Phya Thai Rd, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand

Tel: 6621 2185324-2185330 Fax: 6621 2793711 e-mail: chemtech@chem.chula.ac.th

2 มีนาคม 2550

### รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ

เรื่อง รายงานผลการทดสอบหา % Methyl ester ในน้ำมัน

ด้วยเครื่อง

Gas Chromatograph

ชนิดตัวอย่าง :

น้ำมัน Biodiesel

หน่วยงาน :

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
ตึกกษัตริย์ ในโอโซนระจอนเกล้าเจ้าคุณตากกระบัง

ผู้ส่งตัวอย่าง :

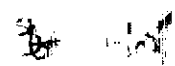
คุณ อภิสิทธิ์ เกียรติวงศ์

อ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ

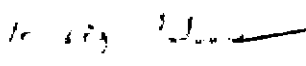
EN 14103

ชนิดตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์ % Methyl ester
KOH2%1:6	87.86
KOH0.5%1:4	86.70
KOH0.5%1:6	85.92

ขอรับรองผลการวิเคราะห์ถูกต้อง

  
(นาง รักษิณ ชัยยิ่ง)  
นักวิทยาศาสตร์  
วิเคราะห์

2 มีนาคม 2550

  
(อ.ดร. ประเทวีรุญ เจียรชองเจริญ)  
หัวหน้าห้องวิจัยเชื้อเพลิง  
2 มีนาคม 2550

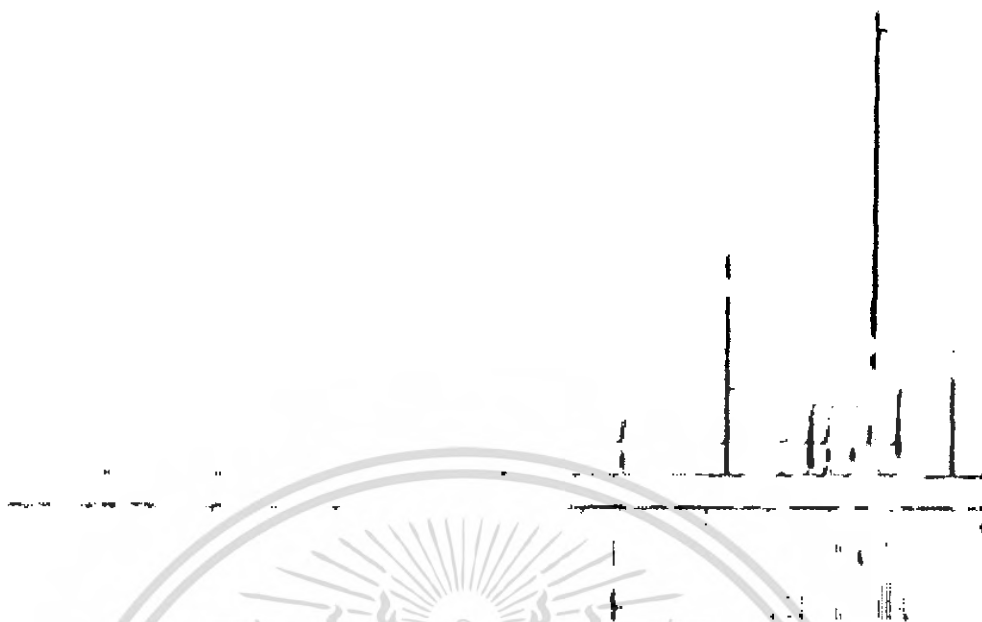
รูปที่ A11 แสดงใบรายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบหาร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล 3 ตัวอย่าง ณ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยได้ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อภาควิชาเคมีเทคนิค โทร. 2185324-2185330 หรือ e-mail: chemtech@chem.chula.ac.th

รูปที่ A12 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในใบ โอดีเซล สัดส่วน 1:6 , 2%KOH , 3 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม้พบกรดไขมัน



รูปที่ A13 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC จากการทดสอบหาร้อยละ โคสน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในใบโอดีเซล สัดส่วน 1:6 , 2%KOH , 3 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 87.67% และพบว่ามียอิลละ โดยน้ำหนักของมอนอกลิเซอไรด์ - ไคกลิเซอไรด์ ในใบโอดีเซล เท่ากับ 12.33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ A14 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 2%KOH, 2 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม้พบกรดไขมัน



รูปที่ A15 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC จากการทดสอบหาร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 2%KOH, 2 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.98% และ พบว่ามีร้อยละ

โดยน้ำหนักของมอนอกลิเซอไรด์ - ไดกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซล เท่ากับ 14.02%<sup>น</sup>ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) ไม่สามารถนำ ไปใช้

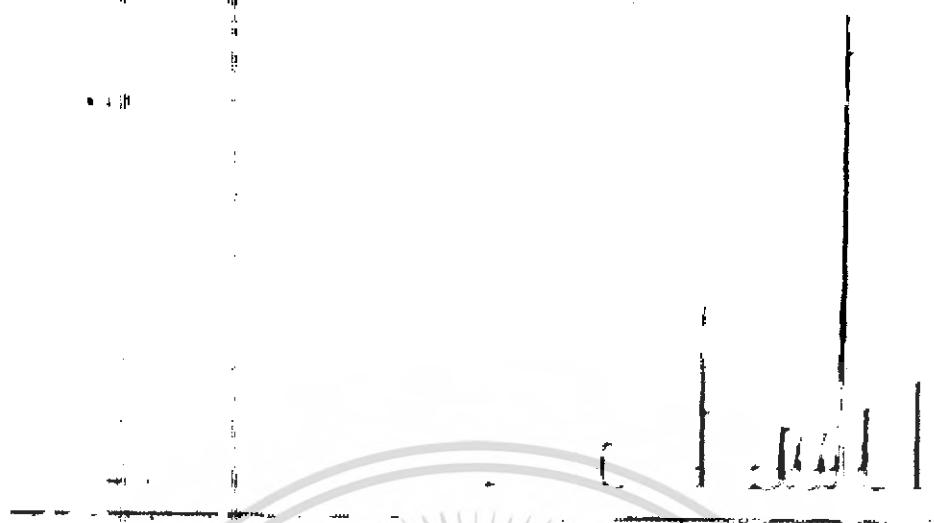
1,2%

รูปที่ A16 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 2%KOH, 1 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม่พบกรดไขมัน



รูปที่ A17 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC จากการทดสอบหาร้อยละของไดโน้หนักของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 2%KOH, 1 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.40% และ พบว่ามีร้อยละของไดโน้หนักของมอนอกลิเซอโรล-ไดกลีเซอโรล ในไบโอดีเซล เท่ากับ 13.60%

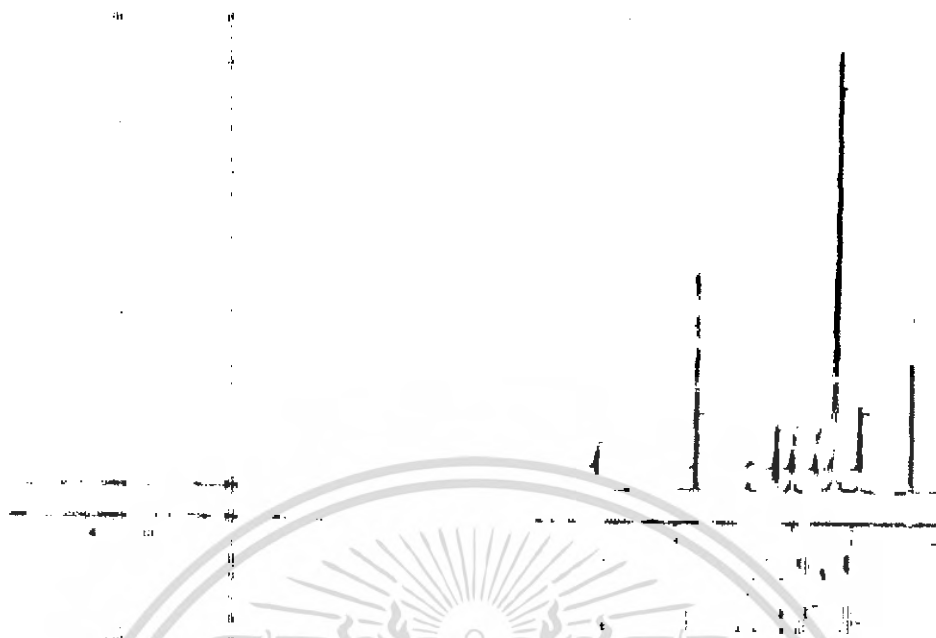
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามนำขึ้นทูลเกล้าฯ ถวาย หรือเผยแพร่ในสื่อใดๆ โดยมิได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย



รูปที่ A18 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 1.5%KOH, 4 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม่พบกรดไขมัน



รูปที่ A19 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC จากการทดสอบหาร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 1.5%KOH, 4 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.12% และพบว่า มีร้อยละ โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ และ มอนอกลิเซอไรด์ - ไดกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซลการค่า ไม่ว่ากรณีใดๆ เท่ากับ 4.54% และ 10.34% คมลำดับ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ A20 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซล  
อัตราส่วน 1:6, 1.5%KOH, 3 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม้พบกรดไขมัน



รูปที่ A21 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC จากการทดสอบหาร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์  
ในไบโอดีเซล อัตราส่วน 1:6, 1.5%KOH, 3 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.01% และพบว่าไม่มีร้อยละ  
โดยน้ำหนักของมอนอกลิเซอไรด์ - ไดกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซล เท่ากับ 14.99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ A22 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซล  
 สัดส่วน 1:6 , 1.5%KOH , 2 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม่พบกรดไขมัน



รูปที่ A23 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่องHPLC จากการทดสอบหารี้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเตอร์  
 ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6 , 1.5%KOH , 2 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.71%และพบว่ามีรี้อยละ  
 โดยน้ำหนักของมอนอกลิเซอไรด์ - ไดกลิเซอไรด์ ในไบโอดีเซล เท่ากับ 14.29%

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ ไม่สามารถนำออกเผยแพร่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ A24 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในใบ โอดีเซล สัดส่วน 1:6, 1.5%KOH, 1 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม้พกรดไขมัน



รูปที่ A25 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC จากการทดสอบหาร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในใบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 1.5%KOH, 1 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.30% และพบว่า มีร้อยละ โดยน้ำหนักของมอนอกลิเซอไรด์ - ไดกลีเซอไรด์ ในใบโอดีเซล เท่ากับ 14.70%

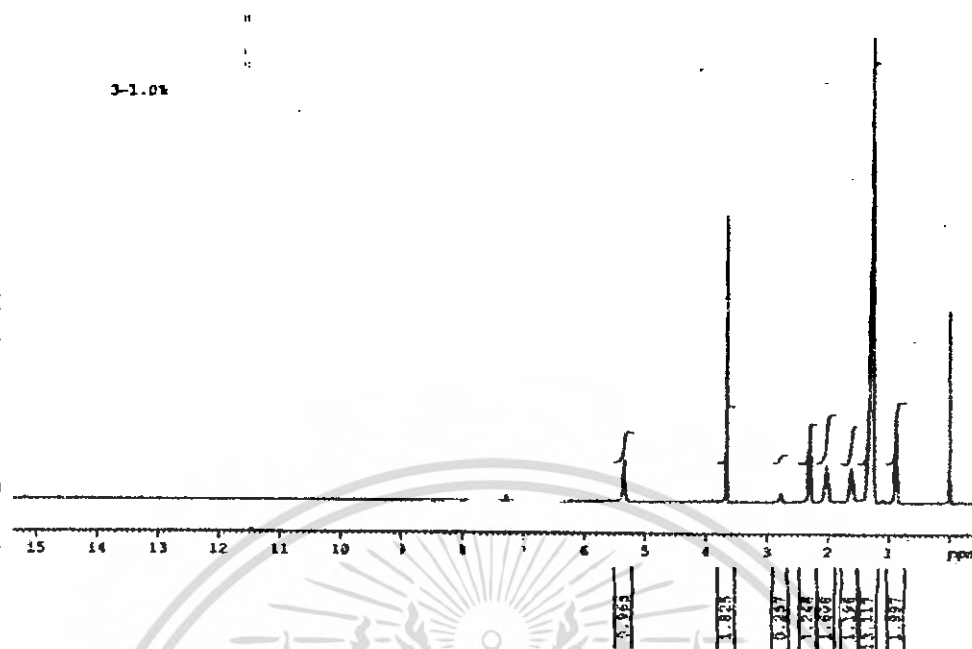
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้

รูปที่ A26 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในใบ โอลิเซล  
 ตั้ดส่วน 1:6 , 1%KOH , 4 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม่พบกรดไขมัน



รูปที่ A27 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC จากการทดสอบหาร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์  
 ในใบ โอลิเซล ตั้ดส่วน 1:6 , 1%KOH, 4 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.22% และ พบว่ามีร้อยละ  
 โดยน้ำหนักของมอนอกลิเซอไรด์ - ไดกลิเซอไรด์ ในใบ โอลิเซล เท่ากับ 13.78%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าจะโดยใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



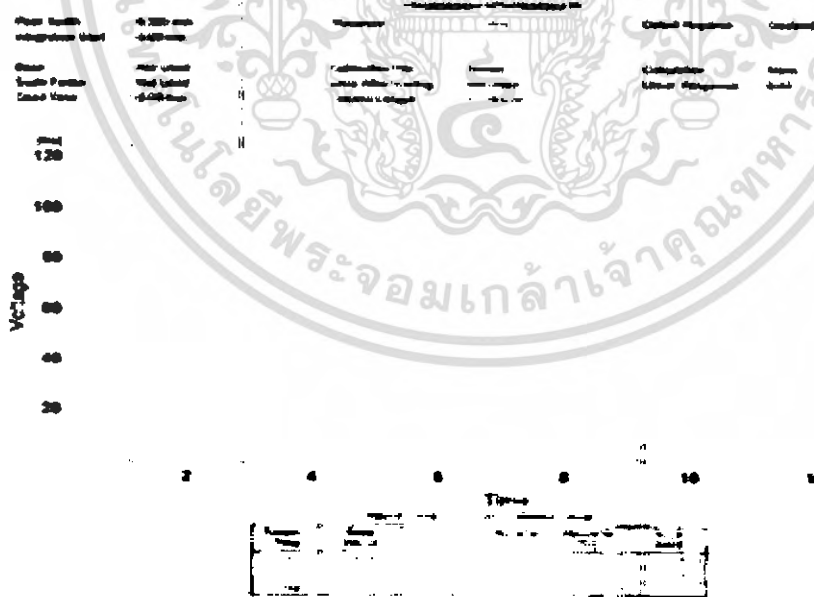
รูปที่ A28 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 1%KOH, 3 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไมพบกรดไขมัน



รูปที่ A29 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่องHPLC จากการทดสอบหาร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 1%KOH, 3 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.10% และพบว่ามีร้อยละ โดยน้ำหนักของมอนอกลิเซอไรด์ - ไดกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซล เท่ากับ 13.90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ A30 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหากรดไขมันในไบโอดีเซล  
 สัดส่วน 1:6, 1%KOH, 2 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม้พบกรดไขมัน



รูปที่ A31 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่องHPLC จากการทดสอบหาร้อยละโดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์  
 ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 1%KOH, 2 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.15% และพบว่ามีร้อยละ  
 โดยน้ำหนักของมอนอกลิเซอโรล - ไดกลีเซอโรล ใน ไบ โอดีเซล เท่ากับ 14.85%

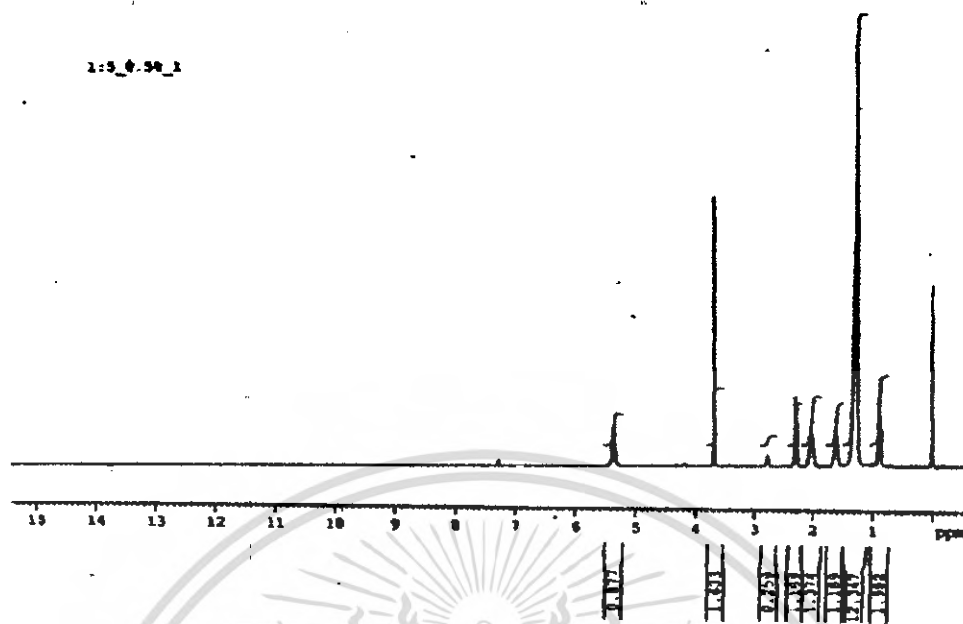
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ A32 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหารกรดไขมันในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 1%KOH, 1 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ ไม่พบกรดไขมัน



รูปที่ A33 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่องHPLC จากการทดสอบหาร้อยละ โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:6, 1%KOH, 1 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 85.55% และพบว่ามีย้อยละ โดยน้ำหนักของมอนอกลิเซอไรด์ - ไดกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซล เท่ากับ 14.45%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ A34 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง NMR Spectroscopy จากการทดสอบหารกรดไขมันในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:5 , 0.5%KOH , 1 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ พบกรดไขมัน ไม่เกินร้อยละ 5



รูปที่ A35 แสดงกราฟที่ได้จากเครื่อง HPLC จากการทดสอบหารร้อยละ โคลน้าหนักของเมทิลเอสเทอร์ ในไบโอดีเซล สัดส่วน 1:5 , 0.5%KOH , 1 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.89%และพบว่ามียอดะ โคลน้าหนักของกรดไขมันอิสระ ในไบโอดีเซล เท่ากับ 13.11%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้