

การศึกษาคุณลักษณะของดีโซฮอล์และอิทธิพลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

STUDY OF DIESHOL CHARACTERISTICS AND ITS EFFECT ON  
ENGINE PERFORMANCE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-D-030-022

การศึกษาคุณลักษณะของดีโซฮอล์และอิทธิพลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

STUDY OF DIESOHOL CHARACTERISTICS AND ITS EFFECT ON  
ENGINE PERFORMANCE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-D-030-022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF DIESEL CHARACTERISTICS AND ITS EFFECT ON  
ENGINE PERFORMANCE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2016  
KMITL-2016-EN-D-030-022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2016**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณลักษณะของดีโซฮอลล์และอิทธิพลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์  
Thesis Title Study of Diesohol Characteristics and Its Effect on Engine Performance  
นักศึกษา นางสาวกนกอร รจนากิจ  
รหัสประจำตัว 51060102  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม) ดร.ธีรภัทร ศรีนรคุตร  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-D- 030-022

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.มธุรส	สุชาตะวัฒน์	
ดร.จิตราภรณ์	วงศางาม	
ดร.ธีรภัทร	ศรีนรคุตร	
ดร.ปรีชา	การินทร์	
ผศ.ดร.จินดา	เจริญพรพาณิชย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

ฉบับนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
วันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณลักษณะของดีโซฮอล์และอิทธิพลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์
นักศึกษา	นางสาวกนกอร รจนากิจ
รหัสประจำตัว	51060102
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.ธีรภัทร ศรีนรคุตร

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อผลิตไบโอดีเซลจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำ โดยมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติการหล่อลื่นของนํ้ามันเชื้อเพลิงต่างชนิด ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด และการหาค่าสัดส่วนการผสมที่เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้ได้ทดลองทำการผลิตไบโอดีเซลจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำและทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ จากผลการทดลองไบโอดีเซลจากไขนํ้ามันปาล์มมีค่าความบริสุทธิ์ที่ 97.75% ไบโอดีเซลจากนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำมีค่าความบริสุทธิ์ที่ 98.38% ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 96.5% ตามที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด จากผลการทดลองนํ้ามันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ทั้ง 7 ชนิด มีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานนํ้ามันดีเซลหมุนเร็ว ยกเว้นจุดวาบไฟ ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติการหล่อลื่นของนํ้ามันเชื้อเพลิงโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 จากผลการทดลองพบว่าไบโอดีเซลจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์, ไบโอดีเซลจากนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำ, D95B5RPO, D95B5JTP, D95E5B5RPO และ D95E5B5JTP มีค่ารอยขีดข่วนเท่ากับ 201  $\mu\text{m}$ , 169  $\mu\text{m}$ , 204  $\mu\text{m}$ , 204  $\mu\text{m}$ , 205 และ 205  $\mu\text{m}$  ตามลำดับ โดยค่ารอยขีดข่วนที่ได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 460  $\mu\text{m}$  จากนั้นนำนํ้ามันเชื้อเพลิงที่ได้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่าดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสมต่ำและไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำจากพีชนํ้ามันทั้งสองชนิดมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองนํ้ามันเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน ค่ากำลังประสิทธิภาพทางความร้อน และมลภาวะ ไกล่เคียงกันกับการใช้นํ้ามันดีเซลหมุนเร็วมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Study of Diesohol Characteristics and Its Effect on Engine Performance
<b>Student</b>	Miss Kanok-on Rodjanakid
<b>Student ID.</b>	51060102
<b>Degree</b>	Doctor of Engineering
<b>Program</b>	Mechanical Engineering
<b>Year</b>	2016
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr.Chinda Charoenphonphanich
<b>Thesis Co-Advisor</b>	Dr.Teerapatr Srinorakutara

## ABSTRACT

The objective of this research is to produce biodiesel from refined palm oil stearin and biodiesel from jatropha seed oil and to compare their lubricating properties to other types of fuel and used in a compression ignition engine. Optimum mixtures are also investigated. Produced biodiesel from refined palm oil stearin and biodiesel from jatropha seed oil are tested to determine their identity and purity. The results show that their purity are 97.75% and 98.38% respectively which are higher than 96.5% as specified by the standard of Department of Energy Business. Resulting biodiesels are tested in a compression ignition engine, including as an additive to stabilize the ethanol in diesel oil. The test results of physical properties of the seven types of fuel show that all meets the standard of high speed diesel oil, except the flash point property of the diesohol. To compare the lubricating properties, each type of the fuel has been tested with the High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) according the CEC-F-06-A-96 standard. The results show that the pure biodiesel from refined palm oil stearin, pure biodiesel from jatropha seed oil, biodiesel D95B5RPO, D95B5JTP diesohol D95E5B5(RPO) and D95E5B5(JTP) have the wear scar 169  $\mu\text{m}$ , 204  $\mu\text{m}$ , and 205  $\mu\text{m}$  respectively. The wear scar of each type of the studied fuels is below the allowable standard wear scar 460  $\mu\text{m}$ . Then they were tested with diesel generators in a short period and found that low proportion of diesohol and low mixture of blending biodiesel in this study have brake specific fuel consumption, brake specific energy consumption, power performance, thermal efficiency and emission close to standard high speed diesel oil.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ธีรภัทร ศรีนรคุตร ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ คอยช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ เป็นอย่างสูง ที่ท่านได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางดีในการทำวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ขึ้นได้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

ขอขอบคุณบุคคลที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกขอบคุณในกำลังใจนั้น

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพรักทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

กนกอร รจนากิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	IX
สารบัญรูป .....	XII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์ .....	XVI
<b>บทที่ 1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา .....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย .....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา .....	4
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	5
<b>บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์ .....</b>	<b>6</b>
2.1 บทนำ .....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	6
2.2.1 งานวิจัยภายในประเทศ .....	6
2.2.2 งานวิจัยในต่างประเทศ .....	9
<b>บทที่ 3 ทฤษฎี .....</b>	<b>24</b>
3.1 บทนำ .....	24
3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดการออกแบบ และการทำงานของเครื่องยนต์ .....	24
3.2.1 กำลัง .....	24
3.2.1.1 กำลังเบรก .....	24
3.2.2 ความดันยังผลเฉลี่ย .....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.3 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและประสิทธิภาพ .....	25
3.2.4 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption).....	26
3.2.5 ประสิทธิภาพความร้อน (Thermal Efficiency) .....	26
3.2.6 สัดส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงต่ออากาศ .....	27
3.3 น้ำมันเชื้อเพลิง .....	27
3.3.1 ข้อกำหนดของน้ำมันดีเซล .....	27
3.3.1.1 คุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง .....	27
3.3.1.1.1 ผลของคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่อเครื่องยนต์ .....	28
3.3.1.2 อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเอง .....	28
3.3.1.3 ค่าความร้อน .....	28
3.3.1.4 จุดวาบไฟ .....	28
3.3.1.5 จุดไหลเท .....	29
3.3.1.6 ความหนืด .....	29
3.3.1.7 ความถ่วงจำเพาะ .....	29
3.3.2 ปาล์มน้ำมัน .....	29
3.3.2.1 ความสำคัญของปาล์มน้ำมันต่อระบบเศรษฐกิจ .....	29
3.3.3 การใช้น้ำมันสลับตำแหน่งน้ำมันดีเซล .....	30
3.3.4 ไบโอดีเซล .....	31
3.3.4.1 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน .....	31
3.3.4.2 กลีเซอริน .....	32
3.3.5 เอทานอล .....	33
3.4 อุณหภูมิของสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ .....	33
3.4.1 ส่วนประกอบของอากาศและเชื้อเพลิง .....	33
3.4.2 ปริมาณสัมพัทธ์ของการเผาไหม้ .....	34
3.5 การควบคุมมลพิษจากเครื่องยนต์ .....	36
3.5.1 ปัญหามลภาวะทางอากาศ .....	36
3.5.2 แก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล .....	36
3.5.2.1 เหม่า .....	36
3.5.2.2 ไฮโดรคาร์บอน .....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6.2.3 ไนโตรเจนออกไซด์ .....	37
3.6.2.4 คาร์บอนมอนอกไซด์ .....	37
<b>บทที่ 4 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง .....</b>	<b>38</b>
4.1 บทนำ .....	38
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	38
4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน .....	38
4.2.2 น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง .....	39
4.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	39
4.3 ขั้นตอนดำเนินการผลิตไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ .....	39
4.4 ขั้นตอนดำเนินการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ .....	40
4.5 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง .....	41
4.6 ขั้นตอนการทดสอบการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC F-06-A-96 .....	43
4.6.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ .....	43
4.6.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน .....	44
4.6.3 ขั้นตอนการทดสอบ .....	44
4.7 ขั้นตอนในการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล .....	45
4.7.1 ขั้นตอนการทดสอบกับเครื่องยนต์ .....	45
4.7.2 วิธีการทดสอบ.....	47
<b>บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ .....</b>	<b>49</b>
5.1 ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์.....	49
5.2 ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ.....	51
5.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ เมื่อใช้ไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นส่วนผสม.....	53
5.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อใช้ไบโอดีเซล จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำเป็นส่วนผสม.....	56
5.5 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของ เมทิลเอสเทอร์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.6 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของ เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ.....	63
5.7 แสดงค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากไขมันปาล์ม บริสุทธิ์ที่ผลิตได้จากการทดลอง.....	69
5.8 แสดงค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ที่ผลิตได้จากการทดลอง.....	70
5.9 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ที่ใช้ ไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นส่วนผสม.....	70
5.10 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ที่ใช้ ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำเป็นส่วนผสม.....	73
5.11 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิง ประเภทต่างๆโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96.....	75
5.12 สรุปผลการทดลองเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต.....	79
5.12.1 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์.....	79
5.12.1.1 ผลของสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อ ไขมันปาล์มบริสุทธิ์.....	79
5.12.1.2 ผลจากการเปลี่ยนแปลงเวลา.....	79
5.12.1.3 ผลจากการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยา.....	79
5.12.2 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ.....	80
5.12.2.1 ผลของสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอล ต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ.....	80
5.12.2.2 ผลจากการเปลี่ยนแปลงเวลา.....	80
5.12.2.3 ผลจากการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ โดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	80
5.13 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล.....	81
5.14 ผลการทดลองจากการทดสอบกับเครื่องยนต์.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	100
6.1 สรุปผลการทดลอง .....	100
6.1.1 ผลการทดลองเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต .....	100
6.1.2 ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ .....	102
6.1.3 ผลการทดลองเกี่ยวกับเครื่องยนต์และมลภาวะไอเสีย .....	104
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	105
เอกสารอ้างอิง .....	107
ภาคผนวก ก ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	110
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์.....	113
ประวัติผู้เขียน .....	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	15
4.1 แสดงสัดส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	38
4.2 แสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์ทดสอบ YUNNEI รุ่น 4100QB-2.....	45
5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์, 0.4% KOH (wt/vol) , อุณหภูมิ 60 °C , เวลา 60 นาที .....	49
5.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงเวลาที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , 0.4%(wt / Vol)KOH , อุณหภูมิ 60 °C .....	49
5.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่สัดส่วนโดยปริมาตร เมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , เวลา 60 นาที.....	50
5.4 แสดง ค่า PH ของน้ำมันจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นสัดส่วนโดย ปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , 0.4% KOH(wt/vol) , อุณหภูมิ 60 °C ที่สัดส่วน Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 35% โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล เวลาในการกวน 30 นาที .....	50
5.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ, 0.8% KOH(wt/vol) , อุณหภูมิ 60 °C , เวลา 60 นาที.....	51
5.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงเวลาที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , 0.8%KOH(wt/vol) , อุณหภูมิ 60 °C .....	51
5.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่สัดส่วนโดยปริมาตร เมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 3 , เวลา 60 นาที.....	52
5.8 แสดง ค่า PH ของน้ำมันจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นสัดส่วนโดยปริมาตร เมทานอลต่อไขน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 ที่ 0.8%KOH(wt/vol) อุณหภูมิ 60 °C ที่สัดส่วน Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 35% โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล .....	52
5.9 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 1298 .....	53
5.10 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 445 .....	53
5.11 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 93 .....	54
5.12 แสดงผลการวิเคราะห์จุดไหลเทของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 97 .....	55
5.13 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 240 .....	55
5.14 แสดงผลการวิเคราะห์การกัดกร่อนแผ่นทองแดงของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 130 .....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรมการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นาเบเซบระเยชนตานการค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.15 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 1298 .....	56
5.16 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 445 .....	57
5.17 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 93 .....	57
5.18 แสดงผลการวิเคราะห์จุดไหลเทของของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 97 .....	58
5.19 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 240 .....	58
5.20 แสดงผลการวิเคราะห์การกัดกร่อนแผ่นทองแดงของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ทำการผลิต ASTM D 130 .....	59
5.21 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมัน เซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำกับ น้ำมันดีเซลหมุนเร็วมาตรฐาน .....	59
5.22 แสดงลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศกรม ธุรกิจพลังงาน ที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 3 , 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C .....	60
5.23 แสดงลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศกรม ธุรกิจพลังงาน ที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C .....	61
5.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วน การผสมที่แตกต่างกัน .....	63
5.25 แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่ สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมัน เมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , 0.8%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 ° C .....	63
5.26 แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่ สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมัน เมล็ดสบู่ดำ 1 : 2 , 0.8%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 ° C .....	65
5.27 แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่ สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมัน เมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , 0.6%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 ° C .....	66
5.28 แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่ สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมัน เมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , 1%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 °C .....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.29 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซล จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง 25°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 95% .....	70
5.30 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซล จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 35°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 95% .....	71
5.31 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซล จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง 25°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9% .....	71
5.32 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซล จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 35°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9% .....	72
5.33 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซล จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง 25°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 95% .....	73
5.34 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซล จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 35°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 95% .....	73
5.35 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซล จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง 25°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9% .....	74
5.36 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซล จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 35°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9% .....	74
5.37 แสดงผลการทดสอบการหล่อลื่นโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) มาตรฐาน CEC-F-06-A-96 ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลอง.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของเมทานอลกับไตรกลีเซอไรด์ .....	32
4.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตและทดสอบไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ .....	40
4.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตและทดสอบเมทิลเอสเทอร์จากไขมันเมล็ดสบู่ดำ .....	41
4.3 เครื่องทดสอบ High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) .....	43
4.4 แสดงชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ .....	44
4.5 แสดงเครื่องยนต์ทดสอบ YUNNEI รุ่น 4100QB-2 .....	45
4.6 แสดง Engine Dynamometer .....	46
4.7 แสดงเครื่อง Gravimetric Fuel Consumption Meter .....	46
4.8 แสดง Gas Analyzer .....	46
4.9 แผนภาพแสดงไดอะแกรมขั้นตอนการทดสอบเครื่องยนต์ .....	47
5.1 โครมาโทแกรมของเมทิลเอสเทอร์ของไขมันปาล์มบริสุทธิ์ ที่สกัดด้วยปริมาตรเมทานอล ต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 3 , 0.4%KOH(wt/vol) ที่อุณหภูมิ 60 °C .....	60
5.2 โครมาโทแกรมของเมทิลเอสเทอร์ของไขมันปาล์มบริสุทธิ์ ที่สกัดด้วยปริมาตรเมทานอล ต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 ที่ 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิ 60 °C .....	62
5.3 โครมาโทแกรมของเมทิลเอสเทอร์ของไขมันเมล็ดสบู่ดำสกัดด้วยปริมาตรเมทานอล ต่อไขมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 ที่ 0.8%KOH(wt/vol) อุณหภูมิ 60 °C .....	64
5.4 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำ สกัดด้วยปริมาตรเมทานอลต่อ ไขมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 2 ที่ 0.8%KOH(wt/vol) อุณหภูมิ 60 °C .....	65
5.5 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำ สกัดด้วยปริมาตรเมทานอล ต่อไขมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 ที่ 0.6%KOH(wt/vol) อุณหภูมิ 60 °C .....	67
5.6 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำ สกัดด้วยปริมาตรเมทานอล ต่อไขมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 ที่ 1%KOH(wt/vol) อุณหภูมิ 60 °C .....	68
5.7 แสดงค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ผลิตได้จากการทดลอง .....	69
5.8 แสดงค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำที่ผลิตได้จากการทดลอง .....	70
5.9 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของไบโอดีเซล 100% จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ .....	75
5.10 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของไบโอดีเซล 100% จากไขมันเมล็ดสบู่ดำ .....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.11 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของไบโอดีเซล จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สกัดส่วนการผสม D95B5(RPO) .....	76
5.12 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของไบโอดีเซล จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ที่สกัดส่วนการผสม D95B5(JTP) .....	77
5.13 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของดีโซฮอล์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ที่สกัดส่วนการผสม D95E5B5(RPO) .....	77
5.14 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของดีโซฮอล์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ สกัดส่วนการผสม D95E5B5(JTP) .....	78
5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซล ที่สังเคราะห์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลผสมที่สกัดส่วนการผสมต่ำ .....	81
5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ที่ผลิตจาก ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและไบโอดีเซลผสมที่สกัดส่วนการผสมต่ำ .....	81
5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์และไบโอดีเซล ผสมที่สกัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ .....	82
5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 °C (g/cm <sup>3</sup> ) เปรียบเทียบ กับดีโซฮอล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลผสม ที่สกัดส่วนการผสมต่ำ .....	82
5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 °C (g/cm <sup>3</sup> ) เปรียบเทียบ กับดีโซฮอล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและไบโอดีเซลผสม ที่สกัดส่วนการผสมต่ำ .....	83
5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 °C (g/cm <sup>3</sup> ) เปรียบเทียบกับ ดีโซฮอล์และไบโอดีเซลผสมที่สกัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ .....	83
5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลผสม ที่สกัดส่วนการผสมต่ำ .....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและไบโอดีเซลผสม ที่สัดส่วนการผสมต่ำ .....	85
5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ .....	85
5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดไหลเทกับประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง .....	86
5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซล ที่สังเคราะห์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ .....	87
5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซล ที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ .....	87
5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์และไบโอดีเซลผสม ที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ .....	88
5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์และไบโอดีเซลผสม ที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ .....	89
5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีโซฮอล์ ผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ .....	90
5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซล ผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ .....	90
5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีโซฮอล์และ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ.....	91
5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเบรกกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เมื่อใช้ดีโซฮอล์ผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ .....	91
5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเบรกกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ .....	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเบรกกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ ดีโซฮอล์และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์ และนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำ .....	92
5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์เมื่อใช้ดีโซฮอล์ผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และนํ้ามัน เมล็ดสบู่ดำ .....	93
5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และนํ้ามัน เมล็ดสบู่ดำ.....	94
5.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์เมื่อใช้ดีโซฮอล์ผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และนํ้ามัน เมล็ดสบู่ดำ .....	95
5.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และนํ้ามัน เมล็ดสบู่ดำ .....	96
5.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดี โซฮอล์ผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำ .....	97
5.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง THC กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีโซฮอล์ผสมที่สัดส่วน การผสมต่ำที่ผลิตจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำ .....	98
5.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง THC กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วน การผสมต่ำที่ผลิตจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำ .....	98
5.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NOx กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีโซฮอล์ผสมที่สัดส่วน การผสมต่ำที่ผลิตจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำ .....	99
5.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NOx กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสม ที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์และนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำ.....	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

$V_c$	ปริมาตรช่องว่าง
$V_t$	ปริมาตรรวม
$V_d$	ปริมาตรกระจัด
$r_c$	อัตราส่วนการอัด
$B$	เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ
$L$	ระยะชักหรือช่วงชัก
$l$	ความยาวก้านสูบ
$a$	รัศมีข้อเหวี่ยง
$\theta$	มุมข้อเหวี่ยง
$R_{ps}$	อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบกับระยะชัก
$R$	อัตราส่วนของความยาวก้านสูบกับรัศมีข้อเหวี่ยง
$N$	รอบการหมุนของเพลาค้อนเหวี่ยง
$mep$	ความดันยังผลเฉลี่ย
$\dot{m}$	อัตราการไหลของมวล
$sfc$	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ
$\dot{m}_a$	อัตราการไหลของมวลอากาศ
$\dot{m}_f$	อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง
$COC$	Cleveland Open Cup Apparatus
$PMCC, PM$	Pensky – Martens Closed Cup Apparatus
$\bar{R}$	ค่าคงตัวแก๊สสากล
$M$	น้ำหนักโมเลกุลของอากาศ
$\rho$	ค่าความหนาแน่น
$(A/F)$	อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิงพอดีทางทฤษฎี
$(F/A)$	อัตราส่วนเชื้อเพลิง / อากาศทางทฤษฎี
$\phi$	อัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิง / อากาศ
$\lambda$	อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิงสัมพัทธ์
$Q_{HV}$	ค่าความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีแหล่งทรัพยากรพลังงานที่สามารถพึ่งตนเองได้ แต่ยังมีสัดส่วนน้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานรวมทั้งประเทศ เนื่องจากการใช้พลังงานของประเทศส่วนใหญ่มาจากปิโตรเลียม ประเทศไทยมีพลังงานจากแหล่งฟอสซิลนี้ในจำนวนจำกัด ไม่เพียงพอกับความต้องการ ต้องนำเข้าเป็นส่วนใหญ่ ทำให้สูญเสียเงินตราต่างประเทศ ขาดความสามารถในการแข่งขันกับต่างประเทศ และจะเป็นปัญหาความมั่นคงในการจัดหาพลังงานในอนาคต

เนื่องจากน้ำมันพืชเมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง จะมีปัญหาทางด้านจุดไหลเท (Pour Point) และค่าความหนืด (Viscosity) ซึ่งเป็นปัญหาหลัก เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวในข้างต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไขมันเมล็ดสบู่ดำมาสังเคราะห์เป็นเมทิลเอสเทอร์หรือที่เรียกว่าไบโอดีเซลด้วยจุดประสงค์เดียวกันคือเพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชและทำให้ไขมันพืชมีความคงตัวมากขึ้น

ในปัจจุบันนี้ได้มีการศึกษาวิจัยเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียม ไบโอดีเซลและเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ได้มีการศึกษาลึกลงความเป็นไปได้ในหลายๆประเทศรวมทั้งในประเทศไทย การผสมระหว่างเอทานอลและน้ำมันดีเซลหรือที่เรียกว่า ดีโซฮอล (Diesohol) เป็นทางเลือกหนึ่งในการลดการใช้ไขมันดีเซล แต่อย่างไรก็ตามในการผสมเอทานอล กับน้ำมันดีเซลไม่สามารถที่จะผสมเป็นสารเนื้อเดียวได้ เนื่องจากความแตกต่างทางด้านโครงสร้าง และคุณลักษณะทางเคมีของสารทั้งสองชนิด ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ตัวประสานที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ไขมันผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ในการทดลองครั้งนี้ได้มีการออกแบบการผลิตเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ได้สูงสุดโดยที่มีคุณสมบัติทางเคมีคุณลักษณะเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานปี 2548 โดยวิธีการนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้มาทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณะโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยการทดสอบเพื่อศึกษาถึงลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน จากนั้นนำไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำมาใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำมันดีโซฮอลที่ต้องการผลิตที่สัดส่วนการผสมต่ำ รวมทั้งในการทดลองได้มีการออกแบบโดยการนำไขมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลองที่มีลักษณะและคุณภาพที่เหมาะสม มาทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการหล่อลื่นของไขมันเชื้อเพลิงด้วยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 จากนั้นนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลในระยะสั้นเพื่อศึกษาถึงสมรรถนะ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและมลภาวะไอเสียที่เกิดขึ้นเมื่อมีการนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์จริง

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อทำการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำที่มีคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อศึกษาถึงลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงดังนี้ ไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ D95E5B5 D95E5B10 D95E10B5 ของไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 D95E5B10 D95E10B5 จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 D95B10 จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 D95B10 จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมาตรฐาน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน
3. เพื่อพัฒนาอีมีลซิไฟเออร์ สำหรับการผสมดีโซฮอล์ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ ได้แก่ไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ
4. เพื่อทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและความมีเสถียรภาพของดีโซฮอล์ที่ผลิตได้
5. เพื่อหาปริมาณของดีเซล เอทานอล และไบโอดีเซลที่นำมาผลิตดีโซฮอล์ ในสัดส่วนการผสมที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของดีโซฮอล์ที่ผลิตได้จากไขน้ำมันทั้งสองประเภทกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมาตรฐาน
6. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ได้แก่ ไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ผสมน้ำมันดีเซลมาตรฐานที่สัดส่วนการผสม D95B5 และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำผสมน้ำมันดีเซลมาตรฐานที่สัดส่วนการผสม D95B5
7. เพื่อนำน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ ไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ผสมน้ำมันดีเซลมาตรฐานที่สัดส่วนการผสม D95B5 ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำผสมน้ำมันดีเซลมาตรฐานที่สัดส่วนการผสม D95B5 มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อศึกษาถึงสมรรถนะ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลภาวะที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมาตรฐาน

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชที่แตกต่างกันจะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันไปตามคุณลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ ซึ่งจากผลการทดลองจะทำให้ทราบถึงประโยชน์และข้อจำกัดในการนำไบโอดีเซลจากพืชน้ำมันทั้งสองชนิดมาใช้เป็นอีมีลซิไฟเออร์ในดีโซฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนการนำเข้าสารเติมแต่ง จากต่างประเทศอันจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตดีโซฮอล์ รวมทั้งมีการออกแบบให้มีการใช้ประโยชน์ของไบโอดีเซลในแง่มุมมองของการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนโดยทำการศึกษาโดยการนำไปโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ D95B5 จากพืชน้ำมันทั้งสองประเภท โดยศึกษาถึงคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ การหล่อลื่น การทดสอบกับเครื่องยนต์เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติ และมลภาวะไอเสียที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับการใช้้ำมันดีเซล โดยคาดว่าดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสมต่ำและไบโอดีเซลที่สัดส่วนการผสมต่ำจากพืชน้ำมันทั้งสองชนิดจะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมาตรฐาน

#### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

1. งานวิจัยนี้เป็นการผลิตไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ จากนั้นนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้มาทดสอบหาลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันเพื่อให้ได้ค่าตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานจากนั้นทำการทดสอบลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงตามมาตรฐานน้ำมันดีเซล ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เนื่องจากไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าความหนืดและจุดไหลเทเกินค่ามาตรฐานข้อกำหนดน้ำมันดีเซลหมุนเร็วกระทรวงพาณิชย์ จึงได้มีการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยทำการผลิตดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ D95E5B5 D95E5B10 D95E10B5 จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 D95E5B10 D95E10B5 จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 D95B10 จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 D95B10 จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน
2. ทำการทดสอบลักษณะและคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากการทดลองให้ได้ตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน จากนั้นนำน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมมาทดสอบหาค่าสมรรถนะ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและค่ามลภาวะไอเสียที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมาตรฐานในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการสรุปผลการทดลอง และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยเพิ่มเติมเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้

#### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการผลิตไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ และทำการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ให้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน
2. ทำการผลิตดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ D95E5B5 D95E5B10 D95E10B5 ของไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 D95E5B10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีการสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา เมื่อผู้ยืมได้เห็นใบเช็คประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D95E10B5 จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 D95B10 จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 D95B10 จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ มาทำการทดสอบลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน จากนั้นนำน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 ทำการหาค่าสมรรถนะ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและค่ามลภาวะไอเสียที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมาตรฐาน

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ การผลิตดีเซลไฮดรอลิก รวมถึงปัญหา ข้อจำกัดและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
2. ศึกษาถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องรวมถึงวิธีการทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้
3. ทำการผลิตไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ
4. ทดสอบความเป็นเอกลักษณ์ของไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำเพื่อองค์ประกอบของน้ำมันเปรียบเทียบกับเมทิลเอสเทอร์มาตรฐาน
5. การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและความมีเสถียรภาพของน้ำมัน (Homogeneity and Emulsification Stability Test) โดยการผสมดีเซลไฮดรอลิกที่สัดส่วนการผสมต่ำจากไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำตามลำดับ โดยมีสัดส่วนการผสม ดีเซล:เอทานอล:ไบโอดีเซลที่ 95:5:5 (โดยปริมาตร) โดยใช้เอทานอลความบริสุทธิ์ 95% และ 99.9% จากนั้นทำการเติมไบโอดีเซลลงไปใต้น้ำมันผสมโดยปรับสัดส่วนการผสมเพิ่มขึ้นที่ทุก 5% โดยปริมาตร โดยมีค่าสัดส่วนการผสมตั้งแต่ 5%-35% โดยปริมาตรของน้ำมันผสม จากนั้นทำการกวนที่อุณหภูมิห้อง 25 °C และที่อุณหภูมิ 35 °C และเก็บไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือนเพื่อดูการแยกชั้นของผสม
6. นำดีเซลไฮดรอลิกที่สัดส่วนการผสมต่ำ D95E5B5 D95E5B10 D95E10B5 ของไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดีเซลไฮดรอลิกที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 D95E5B10 D95E10B5 จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 D95B10 จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 D95B10 จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ มาทำการทดสอบลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด ค่าความร้อน จุดวาบไฟ จุดไหลเท ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 ของน้ำมันเชื้อเพลิงดังนี้ ไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสับดูดำ ดีโซฮอลล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดีโซฮอลล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 จากน้ำมันเมล็ดสับดูดำ ไบโอดีเซลผสมสัดส่วนการผสมต่ำได้แก่ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 จากน้ำมันเมล็ดสับดูดำ
8. นำดีโซฮอลล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 จากไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดีโซฮอลล์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5 จากไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดสับดูดำ ไบโอดีเซลผสมสัดส่วนการผสมต่ำได้แก่ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95B5 จากน้ำมันเมล็ดสับดูดำ มาทำการทดสอบกับเครื่องยนต์เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะและมลภาวะไอเสียที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันดีเซลหมุนเร็วมาตรฐาน

### 1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ช่วยสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันของประเทศ โดยเป็นแบบอย่างและเป็นแนวทางที่ดีไปสู่การพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน
2. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของพลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยการใช้ประโยชน์จากพืชน้ำมันที่มีอยู่ภายในประเทศได้อย่างเหมาะสม
3. ช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศโดยการใช้แอลกอฮอล์ที่ผลิตจากพืชและไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสับดูดำที่เป็นผลผลิตที่ได้จากการเกษตรที่มีอยู่มากภายในประเทศ
4. ช่วยแก้ปัญหาเรื่องผลผลิตทางการเกษตรที่มีมูลค่าตกต่ำและเป็นการพัฒนาพลังงานจากเชื้อเพลิงเพื่อแก้ปัญหาวิกฤติการณ์ทางด้านน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์

### 2.1 บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ในขณะที่แหล่งที่มาของพลังงานที่อยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการนำพลังงานจากแหล่งอื่นมาใช้ ไบโอดีเซลเป็นทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้และได้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในหลาย ๆ ประเทศรวมทั้งประเทศสมาชิกในกลุ่ม Organization for Economic Co-operation and Development นอกเหนือจากไบโอดีเซลแล้ว เอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอลยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยรัฐบาลได้มีนโยบายสนับสนุนการผลิตและใช้เอทานอลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงทดแทนเพื่อลดการนำเข้าปิโตรเลียม

ปัจจุบันเอทานอลถูกนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในรูปของดีโซฮอล์ เพื่อลดปริมาณและต้นทุนของน้ำมันดีเซล ในขณะที่การนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันดีเซลยังไม่ได้มีการศึกษาวิจัยอย่างละเอียด รวมถึงไปถึงจากการตรึงราคาของน้ำมันดีเซล ที่รัฐบาลมีการปล่อยราคาน้ำมันดีเซล เพื่อเป็นไปตามกลไกของตลาด โดยงานวิจัยนี้จะมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในอนาคต

การนำเอทานอลผสมกับน้ำมันดีเซลสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล แต่เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของเอทานอลและน้ำมันดีเซลแตกต่างกัน ทำให้เมื่อนำมาผสมกันจะเกิดการแยกชั้น ดังนั้นจะต้องมีอิมัลซิไฟเออร์ที่สามารถทำให้ของผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซลผสมกันได้เป็นเนื้อเดียว ในงานวิจัยนี้ ไบโอดีเซลถูกใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ สำหรับการผลิตดีโซฮอล์รวมทั้งในการทดลองได้มีการออกแบบโดยการนำน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลองที่มีลักษณะและคุณภาพที่เหมาะสม มาทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 จากนั้นมีการนำน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลในระยะสั้นเพื่อศึกษาถึงสมรรถนะ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและมลภาวะไอเสียที่เกิดขึ้นเมื่อมีการนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์จริง โดยมีการวิจัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องดังนี้

### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.2.1 งานวิจัยภายในประเทศ

งานวิจัยของ เกรียรติไกร อายุวัฒน์ [1] ศึกษาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตธนบุรี ศึกษาการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อนำน้ำมันมะพร้าวเป็นเป็นเชื้อเพลิงเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยมีการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อมีการใช้น้ำมันมะพร้าว 100% เป็นเชื้อเพลิงเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยเปรียบเทียบสมรรถนะที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับการสึกหรอ และการบำรุงรักษาของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

งานวิจัยของ โกวิท ศตาวุฒิ และอิทธิ ปานงาม [2] ศึกษาการใช้แอลกอฮอล์ผสมน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยทำการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนรอบปานกลางขนาดเล็กชนิดฉีดทางตรง พบว่าเครื่องยนต์เดินได้ปกติและทำให้กำลังมากขึ้นความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าที่ทุกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ ส่วนการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้คือ การที่ไม่สามารถนำแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีห้องเผาไหม้แบบ Pre-Combustion Chamber ได้

งานวิจัยของ ก่อเกียรติ ศุภพิมล [3] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศึกษาการสันดาปของหยดน้ำมันพืชโดยทำการวิจัยเกี่ยวกับการสันดาปของหยดน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันรำข้าว ขนาด 2.5 และ 5 ซม โดยการทำนายอัตราการเผาไหม้ของหยดดีเซลและน้ำมันพืชชนิดอื่นการประเมิน และเปรียบเทียบอัตราการสันดาปของหยดน้ำมันระหว่างค่าของทฤษฎีการถ่ายเทมวล และการปฏิบัติจากเครื่องมือทดสอบตลอดจนการประเมินสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

งานวิจัยของ จารุวัฒน์ และคณะ [4] ศึกษาถึงการใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซล และศึกษาส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันอื่น ๆ พบว่าการนำน้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าดในสัดส่วน 20 ต่อ 1 โดยปริมาตร สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี และได้ทำการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ปรากฏว่ามีการสึกหรอเท่าเทียมกันกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ คือการจับตัวเป็นไขของน้ำมันมะพร้าวที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $20^{\circ}\text{C}$  ส่งผลให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ในครั้งแรกทำได้ยาก และต้องใช้น้ำมันดีเซลสตาร์ทเครื่องยนต์ก่อน เมื่อเครื่องยนต์ร้อนจึงจะใช้น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดเดินเครื่องยนต์ได้ นอกจากนี้แล้วยังมีเขม่าจับที่ฝาสูบ หัวลูกสูบ ลิ้นไอดี และไอเสีย มียางเหนียว จับบริเวณหัวฉีด การอุดตันของไส้กรองน้ำมันที่เร็วกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

งานวิจัยของ พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และคณะ [5] ศึกษาการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โดยศึกษาถึงการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 7 แรงม้า 1 ลูกสูบ โดยน้ำมันพืชที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงคือ น้ำมันเมล็ดสบูดำชนิดดิบ น้ำมันมะพร้าวชนิดดิบ น้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบ น้ำมันถั่วลิสงชนิดรีไฟน์ น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบ 40% กับน้ำมันดีเซล น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบ 50% กับน้ำมันดีเซลกับน้ำมันก๊าดผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะสั้นพบว่าใช้งานได้ดีติดเครื่องได้ง่าย เกิดการสันดาปได้อย่างต่อเนื่อง และไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดที่รอบต่ำเหมือนการใช้น้ำมันถั่วลิสง 100% นอกจากนั้น ว.ท. ยังได้ทดลองนำ Fatty Acid Methyl Ester จากน้ำมันปาล์มหรือที่เรียกสั้น ๆ ว่าเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มที่ได้มีค่าความหนืดสูงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซลในการทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ให้กำลังเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซลทุกประการ

งานวิจัยของ ร.ศ พูลพร แสงบางปลา [6] นายกษมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทยทำการทดสอบกับน้ำมันพืช 4 ชนิดดังนี้ มีดังนี้ น้ำมันถั่ว น้ำมันมะพร้าว น้ำมันสลัดได น้ำมันสบูดำ นำน้ำมันพืชเหล่านี้มาผสมกับน้ำมันดีเซลโดยอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลคือ 20% 40% 60% และ 80% และได้ทดสอบโดยใช้น้ำมันพืช 100% โดยตรงโดยไม่ผสมน้ำมันดีเซล โดยก่อนทำการทดสอบมีการหาคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยเครื่องยนต์ที่ใช้กันอยู่ โดยทั่วไปเป็นเครื่องยนต์ KUBOTA สูบเดียว เครื่องยนต์ PETTER 2 สูบ และเครื่องยนต์ดีเซล 3 สูบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIRLOSKAR R33 ในการทดสอบได้มีการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องโดยใช้น้ำมันดีเซล 100% โดยทดสอบค่า BSFC และ Brake Power

งานวิจัยของ ปิยะภรณ์ วลัยกนก และคณะ [7] ภาควิชาเคมี สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศึกษาถึงการเตรียม และศึกษาสมบัติดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าวโดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าว โดยการนำน้ำมันมะพร้าวมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยศึกษาผลของชนิดของแอลกอฮอล์ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ อุณหภูมิชนิดเบส และปริมาณเบส และทำการเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ผลิตได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ

งานวิจัยของ มนต์รี ทวาโรจน์ [8] ศึกษาถึงการใช้น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดในสัดส่วน 20 ต่อ 1 โดยปริมาตร เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าความสิ้นเปลืองน้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดมีมากกว่าน้ำมันดีเซล และประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ คือ สตาร์ทเครื่องยนต์ครั้งแรกยาก และมีการอุดตันของระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

งานวิจัยของ ระพีพันธ์ และคณะ [9] ได้ทำการวิจัยค้นคว้าการใช้น้ำมันสุญุด้าเป็นพลังงานทดแทนเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งรวมไปถึงการวิเคราะห์น้ำมันทั้งทางเคมีและฟิสิกส์ การทดสอบการเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันสุญุด้าโดยตรง และน้ำมันสุญุด้าร่วมกับ LPG การตรวจสภาพเครื่องยนต์หลังการเดินเครื่องยนต์ครบ 1,000 ชั่วโมง ตลอดจนการทดสอบไอเสีย

งานวิจัยของ บริษัท ฟอर्डมอเตอร์ (Ford Motor) และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (National Metal and Material Technology Center) [10] ร่วมมือกันวิจัยการใช้ดีโซฮอลล์กับรถโดยสารขนาดเล็ก 2.5 ลิตร เชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ ประกอบด้วย 10% ของเอทานอล 89% ของดีเซลและ 1%ของสารเติมแต่ง การทดสอบแสดงให้เห็นถึงค่าการแพร่กระจายของคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์ และอนุภาคสารสูงกว่าน้ำมันดีเซลปกติ ในขณะที่ไนโตรเจนออกไซด์และควันนั้มีค่าการแพร่กระจายที่ต่ำกว่า

งานวิจัยของ สมศักดิ์ สิ้นประเสริฐ [11] ศึกษาถึงสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้เมทานอล และน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และได้คำแนะนำในการป้อนเมทานอลเข้าสู่กระบอกสูบเครื่องยนต์ ดังนี้ 1) ป้อนเข้าโดยตรงใช้หัวฉีดโดยการฉีดเมทานอลเข้าสู่เครื่องยนต์ลักษณะเดียวกันกับการฉีดน้ำมันดีเซล โดยจำเป็นต้องมีการออกแบบหัวฉีดและห้องเผาไหม้ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของเมทานอลต่อไป 2) การป้อนเมทานอลโดยการผสมกับน้ำมันดีเซลก่อน แล้วจึงฉีดเข้าเช่นเดียวกับข้อ 1) แต่วิธีนี้มีปัญหาอยู่ที่เมทานอลไม่สามารถรวมตัวกับน้ำมันดีเซล และ 3) การป้อนเมทานอลแยกกับน้ำมันดีเซล โดยเป็นวิธีที่สะดวกและน่าจะเป็นไปได้มากเนื่องจากสามารถหาคาร์บูเรเตอร์ต่อเข้าทางท่อไอดีได้ง่ายและสะดวกในการติดตั้ง และเสียค่าใช้จ่ายน้อย โดยการติดตั้งลักษณะนี้จะทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

Al.Widyan และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซล โดยการนำน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาดำเนินไปของปฏิกิริยาและศึกษาการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล โดยทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้กรดซัลฟิวริกและไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันกับเอทานอลในปริมาณที่มากเกินไป จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นสูงจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยลง และพบอีกว่าซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2.25 โมล นอกจากนั้นแอลกอฮอล์ที่ 100%Excess จะมีผลต่อการลดลงของเวลาที่ทำปฏิกิริยาด้วยโดยทั่วไปแล้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีอัตราเร็วของปฏิกิริยา และผลผลิตสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดมาก จึงเป็นที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมากกว่า ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงสนใจตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสเป็นหลัก

Antolin และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาแบบกะ เพื่อทดสอบสถานะที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด จากการทดลองพบว่าสถานะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน เป็นเมทิลเอสเทอร์ คือ 0.28% w/w ของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ทำปฏิกิริยากับน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันในตัวทำละลายเมทานอลที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 35 ต่อ 1 โดยปริมาตร และใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา  $70^{\circ}\text{C}$  พบว่าเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 96 ของปริมาณน้ำมันเริ่มต้น

Basu และคณะ [14] การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันหรือไขมันนั้นมีปัญหาเรื่องของปริมาณกรดไขมันอิสระ และสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ เช่น โพลีเอปไตต์ ฟอสโฟไลปิด ซึ่งจะไปรบกวนปฏิกิริยาในการแยกชั้น อีกทั้งปริมาณกรดไขมันอิสระจะทำให้เกิดสบู่เมื่อมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการแยกชั้น อีกทั้งปริมาณกรดไขมันอิสระจะทำให้เกิดสบู่เมื่อมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงได้มีการออกแบบการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นปฏิกิริยาพรีเอสเทอร์ฟิเคชัน (Preesterification) โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนในขั้นที่ 2 เป็นทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันโดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในงานวิจัยที่ Basu และคณะได้ทำนี้จะช่วยลดความยุ่งยากในการทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน โดยทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ของน้ำมันหรือไขมันทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยมีแคลเซียมอะซิเตรต และแบเรียมอะซิเตรตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผสมในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ  $220 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ความดัน 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าช่วยลดปัญหาในการเกิดสบู่และลดขั้นตอนลงได้

Berchmans และคณะ [15] ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสุญุดำ โดยวิธีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ใช้กรดซัลฟิวริก ขั้นตอนที่ 2 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาพบว่า สถานะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสุญุดำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 0.60 อุณหภูมิเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50 °C ปริมาณกรดซัลฟิวริก 1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ส่วนชั้นที่ 2 ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 0.24 อุณหภูมิ 65 °C ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.4% โดยน้ำหนักของน้ำมันและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 120 นาที โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 90%

B.Freedman และคณะ [16] ทำการทดลองผลิตดีเซลชีวภาพผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน เพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อ Yield และความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ที่ได้จากเมล็ดสาลี ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และเมล็ดดอกทานตะวัน โดยศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืชชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความบริสุทธิ์ของน้ำมันพืชเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมเมทอกไซด์) ที่อุณหภูมิ 60 °C หรือสูงกว่านี้ที่อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันอย่างน้อย 6 : 1 โดยทำกับน้ำมันที่มีความบริสุทธิ์สูงพบว่า Conversion ของเมทิลเอสเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และบิวทิลเอสเทอร์จะสมบูรณ์เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง และเมื่อทำปฏิกิริยาที่ 32 °C น้ำมันพืชจะถูกทำปฏิกิริยาไป 99% ในเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าใช้เวลานานกว่าการใช้เบสแต่เมื่อใช้น้ำมันพืชดิบในการทำปฏิกิริยาพบว่าปริมาณของเอสเทอร์ที่ได้ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากมียางและวัสดุอื่น ๆ ปะปนมากับน้ำมันพืชดิบ

B.Jones และคณะ [17] ทำการศึกษาโดยการนำไปโอดีเซลผสมกับน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลในเครื่องยนต์ Ford F-250 pick-up truck with a 6.9 Liter pre-chamber diesel engine พบว่าไปโอดีเซลผสมมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่น้อยกว่าปิโตรเลียมดีเซล

Crabbe และ คณะ [18] ทำการศึกษาโดยใช้ไปโอดีเซลจากปาล์มดิบเป็นตัวสกัดในอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล (Acetone-Butanol-Ethanol หรือ ABE) ในกระบวนการหมัก คุณสมบัติของเชื้อเพลิงผสมระหว่างไปโอดีเซลกับ ABE สามารถเทียบได้กับน้ำมันดีเซลเบอร์ 2 (No.2 Diesel) นอกจากนั้น ไปโอดีเซลกับ ABE มีค่าซีเทนและจุดเดือดของสัดส่วน 90% ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลเบอร์ 2

Darnoko และคณะ [19] ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการผลิตไปโอดีเซลด้วยกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มในถังปฏิกรณ์แบบกะ การศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5, 1.0 และ 1.2% โดยมีเวลาของการทำปฏิกิริยา 20, 40, 60, 80 และ 100 นาที ส่วนอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ใช้ คือ 6:1 ผู้ทำการศึกษได้เสนอกลไกการเกิดปฏิกิริยาเป็น 3 ขั้นตอนต่อเนื่องที่ผันกลับได้จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาอันดับสองและค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาของแต่ละขั้นตอนที่ 50-65 °C กล่าวโดยสรุปคือโมโนกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์มีค่าสูงกว่าไตรกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์โดยเวลาที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาเท่ากับ 90 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมเท่ากับ 1% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Galen และคณะ [20] ทำการทดลองเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ ระหว่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (Metal Catalyst) ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ซิงค์คาร์บอเนต ( $\text{ZnCO}_3$ ) นิกเกิล (Nickel) พาเลเดียม (palladium) และซิงค์ออกไซด์ ( $\text{ZnO}$ ) กับ ซีโอไลต์ (Zeolite) โดยให้ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิ 60, 120 และ 150 °C โดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาทำให้ร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 300 °C ก่อนจะนำไปใช้ในการเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 60 ไปเป็น 150 °C เปอร์เซ็นต์ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยจะพบว่าซิงค์ออกไซด์ ให้เปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารประกอบโลหะตัวอื่นคือร้อยละ 80 ในขณะที่ซีโอไลต์มีการจัดเรียงตัวที่ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะทำให้เกิดการแพร่ผ่านรูพรุนที่ดีกว่า งานวิจัยสรุปว่าซีโอไลต์ให้ค่าการแปลงผัน (Conversion) เท่ากันที่อุณหภูมิต่ำกว่า และได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์เป็นร้อยละ 95 ซึ่งสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ

Gryglewicz [21] ทำการทดลองเพื่อทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดเรพ (Rapeseed Oil) ไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ งานวิจัยนี้พบว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของ น้ำมันเมล็ดเรพ กับเมทานอลสามารถถูกเร่งปฏิกิริยาได้โดยใช้เบสออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น แบเรียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ba(OH)}_2$ ) แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) และแคลเซียมเมทอกไซด์ ( $\text{Ca(Me}_3\text{O)}_2$ ) จากการศึกษพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบเรียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ba(OH)}_2$ ) เมื่อทำปฏิกิริยากับเมทานอลแล้วจะเกิดเป็นสารประกอบแบเรียมเมทอกไซด์ ( $\text{Ba(CH}_3\text{O)}_2$ ) ซึ่งมีความเป็นพิษ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) และแคลเซียมเมทอกไซด์ ( $\text{Ca(Me}_3\text{O)}_2$ ) นั้นมีความน่าสนใจที่ราคาถูกแต่พบว่าให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการกระตุ้นโดยอาศัยคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมเมทอกไซด์ ( $\text{Ca(Me}_3\text{O)}_2$ ) และใช้สารเตตระไฮโดรฟูแรน (THF) ในปริมาณร้อยละ 10 เป็นตัวทำละลายร่วม สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) โดยจะให้ร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สูงถึงประมาณร้อยละ 90-93 และผลที่ได้ก็ใกล้เคียงกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

He และคณะ [22] ทำการวิจัยเรื่องผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากเครื่องยนต์ดีเซลที่มีการใช้เอทานอลกับน้ำมันดีเซล โดยทำการทดลองโดยใช้เครื่องยนต์ลูกสูบเดี่ยวสี่จังหวะ และมีการเทียบผลการผลการปล่อยมลพิษกับเชื้อเพลิงต่างที่น้ำหนักบรรทุกต่างๆ มีการวัดปริมาณก๊าซไอเสียคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (THC) จากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการบรรทุกมากจะส่งผลให้ปริมาณควินและไนโตรเจนออกไซด์มีค่าสูง แต่เมื่อสัดส่วนของเอทานอลในน้ำมันดีเซลสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณควินไนโตรเจนออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ยิ่งกว่านั้นค่า THC จะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวที่น้ำหนักบรรทุกต่ำ

Kass และคณะ [23] ทำการตรวจสอบแรงบิดของเครื่องจักรที่มีการใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องที่มีการใช้เอทานอลกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งได้ทำการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซลหลายเครื่อง และใช้สารเติมแต่งที่แตกต่างกันจากผู้ผลิตหลายราย โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลกับเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งได้ทำการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซลหลายเครื่อง และใช้สารเติมแต่งที่แตกต่างกันจากผู้ผลิตหลายราย โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลกับเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีการเติมเอทานอล 10% และ 15% โดยเติมสารเติมแต่ง GE Betz 2% พบว่าแรงบิดมีค่าลดลงประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงผสมทั้งคู่ ไม่เพียงแต่การลดลงของพลังงานที่เหมือนกัน แต่สถานะของเครื่องยนต์ขณะเดินเครื่องที่การใช้งานจริงหรือทั่วไปนั้นไม่มีความแตกต่างกัน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลไม่ส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์สถานะขณะเดินเครื่อง

Keim [24] ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระถึง 50.8% ใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ 0.75% ใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระแล้ว จึงทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสที่ความเข้มข้น 1.25% ที่อุณหภูมิ 50 °C ได้ปริมาณเอสเทอร์เท่ากับ 97%

Kim และคณะ [25] ทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ โดยได้ทำการทดลองโดยใช้ Na/NaOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ร่วมกับนอร์มอลเฮกเซน (n-hexane) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วม (Co-Solvent) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 °C และให้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ Na/NaOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ในการเร่งปฏิกิริยาร่วมกับตัวทำละลายร่วมที่สถานะเดียวกันจะให้ร้อยละผลได้สูงเมื่อเทียบกับการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

Lin และคณะ [26] ทำการศึกษาการรวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวของเชื้อเพลิงและน้ำ โดยใช้สารประกอบโมโนลิเอท (Monoleate Compounds) เป็นสารลดแรงตึงผิว การกระจายของน้ำมันน้ำ และ น้ำมันในรูปแบบ 3 เฟส ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มีการประมาณกันว่ามีความเป็นไปได้ ที่จะนำอิมัลชันมาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงปริมาณของน้ำเล็กน้อยที่พบในหยดของของเหลว แต่ถึงอย่างไรก็ตามความหนืดของอิมัลชันเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำ และได้มีการใช้ค่าสมดุลไฮโดรฟิลิกและลิโปฟิลิก (Hydrophilic-Lipophilic Balances หรือ HLB) ประมาณ 6-8 เป็นอิมัลซิไฟเออร์ช่วยในการควบคุมความเสถียรของอิมัลชัน

Ma และคณะ [27] ทำการศึกษาพบว่า ที่สถานะเดียวกันปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้น้ำมันปาล์มดิบมีค่าน้อยกว่าปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากไขมันปาล์มสเตอริน ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าความเป็นกรดของน้ำมันตั้งต้นของน้ำมันทั้งสองชนิด มีค่าแตกต่างกัน น้ำมันปาล์มดิบเป็นน้ำมันที่มีค่าความเป็นกรด 9.33 มิลลิกรัมของ KOH/กรัมของน้ำมัน ซึ่งสูงกว่าค่าความเป็นกรดของไขมันปาล์มสเตอรินที่มีค่าความเป็นกรด 0.16 มิลลิกรัมของ KOH/กรัม ของน้ำมัน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบการทำปฏิกิริยาของน้ำมันสองชนิด เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส ในปริมาณที่เท่ากัน น้ำมันปาล์มดิบต้องสูญเสียเบสจำนวนหนึ่งเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันอิสระเหล่านั้น ทำให้ปริมาณเบสที่ใช้ทำปฏิกิริยาเหลือน้อยลง

Meher และคณะ [28] ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Karanja และเมทานอล โดยผ่านการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลคือ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อเอทานอลนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมัน อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาและอัตราเร็วของการกวนผสม ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการไปโอดีเซลโดยการวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้โดยใช้เทคนิค HPLC จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไปโอดีเซลจากน้ำมัน Karanja และเมทานอล คือ ใช้ 1% โดยน้ำหนักของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เทียบกับน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา 65 °C อัตราเร็วของการกวนผสม 360 รอบต่อนาที

N.Foidl และคณะ [29] ทำการทดลองโดยใช้น้ำมันจาก *Jatropha Curcas* 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Coboverde และพันธุ์ Nicaragua วิเคราะห์กรดไขมันโดยใช้ก๊าซ-ของเหลวโครมาโทกราฟี ใช้เมทานอล (ที่มีน้ำอยู่ 0.02%) และเอทานอล (96%) และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่าสามารถสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ได้ 88.4% จากนั้นทำการวิเคราะห์กลีเซอไรด์ กลีเซอรอลอิสระ และเอสเทอร์ด้วยก๊าซโครมาโทกราฟี สำหรับคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเอสเทอร์ วิเคราะห์ตามมาตรฐานของประเทศออสเตรเลีย (O-NORM C 1190, 1995) และมาตรฐานของประเทศเยอรมัน (DIN V 51606, 1994) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่น่าสนใจคือ ค่าซีเทนซึ่งมีค่าสูง โดยเมทิลเอสเทอร์มีค่าซีเทนเท่ากับ 51 ส่วนเอทิลเอสเทอร์มีค่าซีเทนเท่ากับ 59

Richard W. Heiden [30] ทำการศึกษาถึงวิธีการหาปริมาณรวมเมทิลเอสเทอร์ในไปโอดีเซลด้วยเครื่อง Gas Chromatography โดยใช้ Flame Ionization (GC/FID) เป็นตัววัดสัญญาณ และใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ในการหาปริมาณรวมเมทิลเอสเทอร์ในไปโอดีเซล

Takeda และคณะ [31] ทำการศึกษาถึงการทดลองขั้นต้นในการใช้น้ำมันเมล็ดสบู่ดำเดินเครื่องยนต์ดีเซลและศึกษาทางด้านวิศวกรรมโดยร่วมกับบริษัทย่นมาร์ ประเทศไทย จำกัด นอกจากนี้เขายังได้ส่งตัวอย่างน้ำมันไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและฟิสิกส์ในประเทศญี่ปุ่นด้วยจากการทดลองใช้น้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สกัดโดยวิธีชาวบ้าน น้ำมันที่ได้จากการสกัดโดยวิธีดังกล่าวยังไม่สะอาดพอที่จะใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลและมีการสิ้นเปลืองมากกว่า

Turck และคณะ [32] ทำการศึกษาถึงการทำการสำรวจผลที่เป็นลบในการใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง การต่อต้านกรดไขมันอิสระโดยการเติมเบสที่คะตะลิสต์ในการทำปฏิกิริยาและเกิดสบู่ขึ้น ผลที่ได้คล้ายกับการใช้สารเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกลางและเหมาะสมที่จะใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเอสเทอร์ฟิเคชัน น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีกรดไขมันอิสระสูงจะทำให้กระบวนการไม่สามารถผสมเข้ากันได้กับชั้นกลีเซอรอลที่มีกรดไขมันอิสระที่เป็นกลางและสามารถผ่านเข้าไปในเฟสกลีเซอรอลที่เป็น Monovalent Triglyceride ในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา รูปร่างและชนิดของกรดไขมันอิสระ ลักษณะพิเศษภายหลังจากการแยกและการแยกชั้นของกลีเซอรอลระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยไตรกลีเซอไรด์ กระบวนการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่น้อยที่สุดจะเป็นตัวกำหนดกระบวนการเพื่อใช้ในการคำนวณความสัมพันธ์ของน้ำมัน 1,000 กรัม ในกระบวนการความแรงของกรด และจำนวนโมลของมวลน้ำมันและไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vicente และคณะ [33] ศึกษาถึงการทดลองเพื่อทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวีริฟันธุ์เทียบ กับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ที่สภาวะเดียวกัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), Zirconium-based และ Immobilized Lipase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ไขมันเมล็ดดอกทานตะวัน ที่สภาวะอุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  และเวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ร้อยละ ผลได้ของผลิตภัณฑ์สูงสุด ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา Zirconium-based และ Immobilized Lipase พบว่าไม่เกิดผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์

Y. Ali และคณะ [34] ทำการสรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมาโดยได้รวบรวมวิธีการเตรียมไบโอดีเซลทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ กระบวนการไพโรไลซิส กระบวนการ Dilution กระบวนการ Microemulsion และกระบวนการ Transesterification โดยในบทความนี้เน้นไปที่กระบวนการ Transesterification



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลำดับ	ผู้แต่ง	เชื้อเพลิง	ผลที่ได้ (ข้อสรุปสำคัญ)
1.	เกรียงตรีไกร อายุวัฒน์	น้ำมันมะพร้าว	ศึกษาการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยมีการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อมีการใช้น้ำมันมะพร้าว 100% เป็นเชื้อเพลิงเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยเปรียบเทียบสมรรถนะที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับ การสึกหรอ และการบำรุงรักษาของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ
2.	โกวิท ศตาวุฒิ	แอลกอฮอล์	ศึกษาการใช้แอลกอฮอล์ผสมน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ได้ทำการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซล หมุนรอบปานกลางขนาดเล็กชนิดฉีดทางตรง (Direct Injection) พบว่าเครื่องยนต์เดินได้ปกติ และทำให้กำลังมากขึ้นความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าที่ทุกความเร็วรอบ ส่วนการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง
3.	ก่อเกียรติ ศุภพิมล	น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ด ทานตะวัน และ น้ำมันรำข้าว	ศึกษาการสันดาปของหยดน้ำมันพืชโดยทำการวิจัยเกี่ยวกับการสันดาปของหยดน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันรำข้าว ขนาด 2.5 และ 5 ซม โดยการทำนายอัตราการเผาไหม้ของหยดดีเซลและน้ำมันพืชชนิดอื่นการประเมิน และเปรียบเทียบอัตราการสันดาปของหยดน้ำมันระหว่างค่าของทฤษฎีการถ่ายเทมวล และการปฏิบัติ จากเครื่องมือทดสอบตลอดจนการประเมินสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล
4.	จารุวัฒน์ และ คณะ	น้ำมันมะพร้าว	สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซลได้ดีและได้ทำการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ปรากฏว่ามีการสึกหรอเท่าเทียมกันกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีปัญหาการจับตัวเป็นไขของน้ำมันมะพร้าว
5.	พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และคณะ	น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันปาล์ม	การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะสั้นพบว่าใช้งานได้ดีติดเครื่องได้ง่าย เกิดการสันดาปได้อย่างต่อเนื่อง และไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดที่รอบต่ำเหมือนการใช้น้ำมันถั่วลิสง 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ผู้แต่ง	ชื่อเพลิง	ผลที่ได้ (ข้อสรุปสำคัญ)
6.	รศ. พูลพร แสงบางปลา	น้ำมันถั่ว น้ำมันมะพร้าว น้ำมันสลัดได น้ำมันสบูดำ	นำน้ำมันพืชเหล่านี้มาผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลคือ 20% 40% 60% และ 80% และได้ทดสอบโดยใช้น้ำมันพืช 100% โดยตรงโดยไม่ผสมน้ำมันดีเซล โดยก่อนทำการทดสอบมีการหาคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยเครื่องยนต์ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปเป็นเครื่องยนต์ KUBOTA สูบเดี่ยว เครื่องยนต์ PETTER 2 สูบ และเครื่องยนต์ดีเซล 3 สูบ KIRLOSKAR R33 ในการทดสอบได้มีการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องโดยใช้น้ำมันดีเซล 100% โดยทดสอบค่า bsfc และ Brake Power
7.	ปิยะภรณ์ วลัย กนก และคณะ	ไบโอดีเซลจาก น้ำมันมะพร้าว	การเตรียมและการศึกษาสมบัติดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าวโดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าว โดยการนำน้ำมันมะพร้าวมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันกับแอลกอฮอล์และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยศึกษาผลของชนิดของแอลกอฮอล์ สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ อุณหภูมิชนิดเบส และปริมาณเบส และทำการเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ผลิตได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ
8.	มนตรี ทวาโรจน์	น้ำมันมะพร้าว	การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แอลกอฮอล์ผสมน้ำมันดีเซลและน้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าความสิ้นเปลืองน้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดมีมากกว่าน้ำมันดีเซล และประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่า
9.	ระพีพันธ์ และคณะ	น้ำมันสบูดำ	วิจัยค้นคว้าการใช้น้ำมันสบูดำเป็นพลังงานทดแทนเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งรวมไปถึงการวิเคราะห์น้ำมันทั้งทางเคมีและฟิสิกส์ การทดสอบการเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันสบูดำโดยตรง และน้ำมันสบูดำร่วมกับ LPG การตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์หลังการเดินเครื่องยนต์ครบ 1,000 ชั่วโมง การทดสอบไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ผู้แต่ง	ชื่อเพลิง	ผลที่ได้ (ข้อสรุปสำคัญ)
10.	บริษัทฟอร์ดมอเตอร์ (Ford motor) และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ	ดีโซฮอลล์	วิจัยการใช้ดีโซฮอลล์ โดยมีสูตรประกอบด้วย 10 เปอร์เซ็นต์ ของเอทานอล 89 เปอร์เซ็นต์ของดีเซล และ 1 เปอร์เซ็นต์ของสารเติมแต่ง จากผลการทดลอง คุณสมบัติของดีโซฮอลล์สามารถเทียบได้กับน้ำมันดีเซลปกติ ยกเว้นแต่จุดวาบไฟ (Flash Point) ซึ่งต่ำกว่าที่ ต้องการ การแพร่กระจายของคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์ และอนุภาคสารสูงกว่าน้ำมันดีเซลปกติ ในขณะที่ไนโตรเจนออกไซด์และควินนีนมีค่าการแพร่กระจายที่ต่ำกว่า
11.	สมศักดิ์ สีนประเสริฐ	เมทานอล	จากผลการทดลองพบว่าเนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลได้ออกแบบหัวฉีดมาสำหรับใช้กับน้ำมันดีเซล ไม่เหมาะสมกับเมทานอล จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบหัวฉีดและห้องเผาไหม้ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของเมทานอล ซึ่งจะต้องมีการวิจัยอย่างละเอียดอีกต่อไป
12.	Al.Widyan และคณะ	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟิวริก และไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกับเอทานอลในปริมาณที่มากเกินไป จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นสูงขึ้นไปจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยลง โดยกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2.25 โมล นอกจากนั้นแอลกอฮอล์ที่ 100%Excess จะมีผลต่อการลดลงของเวลาที่ทำปฏิกิริยา
13.	Antolin และคณะ	น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน เป็นเมทิลเอสเทอร์ คือ 0.28 % w/w ของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 35 ต่อ 1 โดยปริมาตร และใช้อุณหภูมิ 70 ° C ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 96 ของปริมาณน้ำมันเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ผู้แต่ง	ชื่อเพลิง	ผลที่ได้ (ข้อสรุปสำคัญ)
14.	Basu และคณะ	ไขมัน	ได้มีการออกแบบการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นกิริยาพรีเอสเทอร์ิฟิเคชัน (Pre Esterification) โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนในขั้นที่ 2 เป็นทรานเอสเทอร์ิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันโดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะช่วยลดความยุ่งยากในการทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน พบว่าช่วยลดปัญหาในการเกิดสบู่และลดขั้นตอนลงได้
15.	Berchmans และคณะ	น้ำมันสบู่ดำ	ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ใช้กรดซัลฟิวริก ขั้นตอนที่ 2 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 0.60 อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณกรดซัลฟิวริก 1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ส่วนขั้นที่ 2 ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 0.24 อุณหภูมิ 65 °C ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.4 % โดยน้ำหนักของน้ำมันและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 120 นาที โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 90%
16.	B.Freedman และคณะ	เมล็ดสาลีถั่วลิสง ถั่วเหลือง เมล็ดดอกทานตะวัน	ทดลองผลิตดีเซลชีวภาพผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชัน เพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อ Yield และความบริสุทธิ์ของเอสเทอร์ที่ได้ โดยศึกษาปัจจัยของสัดส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืชชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความบริสุทธิ์ของน้ำมันพืชเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าใช้เวลานานกว่าการใช้เบสแต่เมื่อใช้น้ำมันพืชดิบในการทำปฏิกิริยาพบว่าปริมาณของเอสเทอร์ที่ได้น้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากมียางและวัสดุอื่นๆ ปะปนมากับน้ำมันพืชดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ผู้แต่ง	ชื่อเพลิง	ผลที่ได้ (ข้อสรุปสำคัญ)
17.	B.Jones และคณะ	ไบโอดีเซล	ทำการศึกษา นำไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลในเครื่องยนต์ Ford F-250 pick-up truck with a 6.9 Liter pre-chamber diesel engine พบว่าไบโอดีเซลผสมมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่น้อยกว่าปิโตรเลียมดีเซล
18.	Crabbe และคณะ	น้ำมันปาล์มดิบ	ใช้ไบโอดีเซลจากปาล์มดิบเป็นตัวสกัดในอะซิโตน บิวทานอล และเอทานอล (Acetone-Butanol-Ethanol หรือ ABE) ในกระบวนการหมัก คุณสมบัติของเชื้อเพลิงผสมระหว่างไบโอดีเซลกับ ABE สามารถเทียบได้กับน้ำมันดีเซลเบอร์ 2
19.	Darnoko และคณะ	น้ำมันปาล์ม	ทำการศึกษาปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มโดยใช้ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5, 1.0 และ 1.2% โดยมีเวลาของการทำปฏิกิริยา 20, 40, 60, 80 และ 100 นาที อัตราส่วนโดย โมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ใช้ คือ 6:1 ผู้ทำการศึกษได้เสนอกลไกการเกิดปฏิกิริยาเป็น 3 ขั้นตอนต่อเนื่องที่ผันกลับได้ จากการทดลองพบว่า โมโนกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์มีค่าสูงกว่า ไตรกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์โดยเวลาที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาเท่ากับ 90 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมเท่ากับ 1% โดยน้ำหนัก
20.	Galen และคณะ	น้ำมันถั่วเหลือง	ทำการทดลองเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองระหว่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะโดยให้ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิ 60, 120 และ 150 °C โดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาทำให้ร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 300 °C ก่อนจะนำไปใช้ในการเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าซีโอไลต์ให้ค่าการแปลงผัน (Conversion) เท่ากันที่อุณหภูมิต่ำกว่า และได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์เป็นร้อยละ 95 ซึ่งสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ผู้แต่ง	ชื่อเพลิง	ผลที่ได้ (ข้อสรุปสำคัญ)
21.	Gryglewicz	น้ำมันเมล็ดเรพ	ทำการทดลองเพื่อทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดเรพ (Rapeseed Oil) ไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ งานวิจัยนี้พบว่า ปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของ น้ำมันเมล็ดเรพ กับเมทานอลสามารถถูกเร่งปฏิกิริยาได้โดยใช้เบสออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์และแคลเซียมเมทอกไซด์มีความน่าสนใจที่ราคาถูกแต่พบว่าให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการกระตุ้นโดยอาศัยคลื่นอัลตราโซนิก ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมเมทอกไซด์และใช้สารตัวเร่งไฮโดรฟูแรน (THF) ในปริมาณร้อยละ 10 เป็นตัวทำละลายร่วม สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์โดยจะให้ร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สูงถึงประมาณร้อยละ 90-93 และผลที่ได้ก็ใกล้เคียงกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
22.	He และคณะ	เอทานอล	มีการวัดปริมาณก๊าซไอเสียคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (Total Hydrocarbon หรือ THC) จากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการบรรจุมากจะส่งผลให้ปริมาณควันและไนโตรเจนออกไซด์มีค่าสูง แต่เมื่อสัดส่วนของเอทานอลในน้ำมันดีเซลสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณควันไนโตรเจนออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ยิ่งกว่านั้นค่า THC จะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวที่น้ำหนักบรรทุกต่ำ
23.	Kass และคณะ	เอทานอล	ทำการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซลหลายเครื่อง และใช้สารเติมแต่งที่แตกต่างกันจากผู้ผลิตหลายราย โดยเปรียบเทียบระหว่างการใส่เชื้อเพลิงที่มีการเติมเอทานอล 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยเติมสารเติมแต่ง GE Betz 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแรงบิดมีค่าลดลงประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลไม่ส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์สถานะขณะเดินเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ผู้แต่ง	ชื่อเพลิง	ผลที่ได้ (ข้อสรุปสำคัญ)
24.	Keim	น้ำมันปาล์ม	ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระถึง 50.8% ใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ 0.75% ระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระแล้ว จึงทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสที่ความเข้มข้น 1.25% ที่อุณหภูมิ 50 °C ได้ปริมาณเอสเทอร์เท่ากับ 97%
25.	Kim และคณะ	น้ำมันถั่วเหลือง	ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ โดยได้ทำการทดลองโดยใช้ Na/NaOH/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ร่วมกับนอร์มอลเฮกเซน (n-hexane) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วม (Co-Solvent) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 °C และให้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ Na/NaOH/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ในการเร่งปฏิกิริยาร่วมกับตัวทำละลายร่วมที่สภาวะเดียวกันจะให้ร้อยละผลได้สูงเมื่อเทียบกับการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์
26.	Lin และคณะ	น้ำมันดีเซล	ทำการศึกษารวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวของเชื้อเพลิงและน้ำ โดยใช้สารประกอบโมโนลีโอท (Monoleate Compounds) เป็นสารลดแรงตึงผิว การกระจายของน้ำมัน น้ำ และ น้ำมันในรูปแบบ 3 เฟส ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงปริมาณของน้ำเล็กน้อยที่พบในหยดของของเหลว แต่ถึงอย่างไรก็ตามความหนืดของอิมัลชันเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำ และได้มีการใช้ค่าสมดุลไฮโดรฟิลิกและลิพอฟิลิก (Hydrophilic-Lipophilic Balances หรือ HLB) ประมาณ 6-8 เป็นอิมัลซิไฟเออร์ช่วยในการควบคุมความเสถียรของอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ผู้แต่ง	ชื่อเพลิง	ผลที่ได้ (ข้อสรุปสำคัญ)
27.	Ma และคณะ	น้ำมันปาล์มดิบ	ทำการศึกษาพบว่าที่สภาวะเดียวกันปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้น้ำมันปาล์มดิบมีค่าน้อยกว่าปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากไขปาล์มสเตอริน ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าความเป็นกรดของน้ำมันตั้งต้นของน้ำมันทั้งสองชนิด มีค่าแตกต่างกัน โดยเมื่อเปรียบเทียบการทำปฏิกิริยาของน้ำมันสองชนิด เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส ในปริมาณที่เท่ากัน น้ำมันปาล์มดิบต้องสูญเสียเบสจำนวนหนึ่งเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันอิสระเหล่านั้น ทำให้ปริมาณเบสที่ใช้ทำปฏิกิริยาเหลือน้อยลง
28.	Meher และคณะ	น้ำมัน Karanja	ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Karanja และเมทานอล โดยผ่านการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Karanja และเมทานอล คือ ใช้ 1% โดยน้ำหนักของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เทียบกับน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา 65 °C อัตราเร็วของการกวนผสม 360 รอบต่อนาที
29.	N.Foidl และคณะ	น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	ทำการทดลองโดยใช้ไขมันจาก Jatropha Curcas 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Coboverde และพันธุ์ Nicaragua วิเคราะห์กรดไขมันโดยใช้ก๊าซ-ของเหลวโครมาโทกราฟี จากผลการทดลองพบว่าสามารถสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ได้ 88.4% วิเคราะห์ตามมาตรฐานของประเทศออสเตรเลีย (O-NORM C 1190, 1995) และมาตรฐานของประเทศเยอรมัน (DIN V 51606, 1994) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่น่าสนใจคือ ค่าซีเทนซึ่งมีค่าสูง โดยเมทิลเอสเทอร์มีค่าซีเทนเท่ากับ 51 ส่วนเอทิลเอสเทอร์มีค่าซีเทนเท่ากับ 59
30.	Richard W. Heiden	ไบโอดีเซล	ทำการศึกษาถึงวิธีการหาปริมาณรวมเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลด้วยเครื่อง Gas Chromatography โดยใช้ Flame Ionization (GC/FID) เป็นตัววัดสัญญาณ และใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ในการหาปริมาณรวมเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ใด ๆ ให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ผู้แต่ง	ชื่อเพลิง	ผลที่ได้ (ข้อสรุปสำคัญ)
31.	Takeda และคณะ	น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	ทำการศึกษาถึงการทดลองขั้นต้นในการใช้น้ำมันเมล็ดสบู่ดำเดินเครื่องยนต์ดีเซลและศึกษาทางด้านวิศวกรรมโดยร่วมกับบริษัทยูนมาร์ ประเทศไทย จำกัด จากการทดลองใช้น้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สกัดโดยวิธีชาวบ้าน เขาสรุปว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดโดยวิธีดังกล่าวยังไม่สะอาดพอที่จะใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลและมีการสิ้นเปลืองมากกว่า
32.	Turck และคณะ	น้ำมันพีชหรือไขมันสัตว์	ทำการศึกษาถึงการทำการสำรวจผลที่เป็นลบในการใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงจากผลการทดลองพบว่าน้ำมันพีชหรือไขมันสัตว์ที่มีกรดไขมันอิสระสูงจะทำให้กระบวนการไม่สามารถผสมเข้ากันได้กับชั้นกลีเซอรอลที่มีกรดไขมันอิสระที่เป็นกลาง และสามารถผ่านเข้าไปในเฟสกลีเซอรอลที่เป็น monovalent triglyceride ในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
33.	Vicente และคณะ	น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	ศึกษาถึงการทดลองเพื่อทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์เทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ที่สถานะเดียวกัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), Zirconiumbased และ Immobilized Lipase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ที่สถานะอุณหภูมิ 60 ° C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์สูงสุด ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา Zirconium-based และ Immobilized Lipase พบว่าไม่เกิดผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์
34.	Y. Ali และคณะ	-	สรุปรวมผลงานวิจัยที่ผ่านมา โดยได้รวบรวมวิธีการเตรียมไบโอดีเซล 4 วิธี ได้แก่ กระบวนการไพโรไลซิส กระบวนการ Dilution กระบวนการ Microemulsio และ กระบวนการ Transesterification โดยในบทความนี้เน้นไปที่กระบวนการ Transesterification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ทฤษฎี

#### 3.1 บทนำ

เครื่องยนต์เป็นคำที่มักใช้เรียกอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นงาน และกำลังโดยทั่วไปพลังงานความร้อนจะได้อาจจากการเผาไหม้อากาศกับเชื้อเพลิงเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (Combustion Engine) หรือเครื่องยนต์ความร้อน (Heat Engine) นี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก (External Combustion Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่นำเอาผลจากการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงให้ถ่ายเทความร้อนไปยังของไหลชนิดที่สองซึ่งใช้เป็นสารทำงานสำหรับผลิตกำลัง

2. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (Internal Combustion Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่นำเอาผลของการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงไปใช้เป็นสารทำงานสำหรับผลิตกำลังโดยตรง

#### 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดการออกแบบ และการทำงานของเครื่องยนต์

##### 3.2.1 กำลัง

###### 3.2.1.1 กำลังเบรก

กำลังเบรก (Brake Power ,  $P_b$ ) เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาค้อหรือที่ล้อตุนกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งานได้นั่นเอง การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด (รูปที่ 3.1) โดยจะวัดออกมาในรูปของทอร์ก ( $T$ ) และรอบการหมุนของเครื่องยนต์ซึ่งจะได้ [35]

$$T = Fb \quad (3.1)$$

$$P_b = 2\pi TN \quad (3.2)$$

โดย  $N$  เป็นความเร็วรอบการหมุนของเพลาค้อหรือเพลาค้อ (rev/s)

$P_b$  เป็นกำลังเบรก (KW)

$T$  เป็นแรงบิด ( $N.m \times 10^{-3}$ )

##### 3.2.2 ความดันยังผลเฉลี่ย

ค่าทอร์กจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์ จึงมีการกำหนดการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบขึ้นโดยได้จากการหารงานต่อวัฏจักรด้วยปริมาตรการกระจัดต่อวัฏจักร ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่จึงเรียกว่าความดันยังผลเฉลี่ย (Mean Effective Pressure ,  $p_{me}$ )

$$\text{งานบ่งชี้ต่อวัฏจักรการทำงาน} \quad W_{c,i} = \frac{Pn_R}{N} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $n_R$  เป็นจำนวนรอบการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยงที่ให้จังหวะกำลัง 1 จังหวะต่อสูบ สำหรับเครื่องยนต์สี่จังหวะ  $n_R = 2$  จะได้ความดันยังผลเฉลี่ยเป็น

$$bmep = \frac{P_b n_R}{V_d N} \quad (3.4)$$

โดย  $V_d$  เป็นปริมาตรกระจัดในหน่วยเอสไอจะได้เป็น

$$mep(\text{หน่วยเป็น } kPa) = \frac{P(KW)n_R \times 10^3}{V_d(dm^3)N(\text{rev}/s)} \quad (3.5)$$

ค่าความดันยังผลเฉลี่ยยังสามารถแสดงอยู่ในรูปของทอร์กโดยแทนค่าทอร์กจากสมการ

$$T = Fb \quad (3.6)$$

และกำลังเบรก

$$P_b = 2\pi TN \quad (3.7)$$

จะได้

$$mep(\text{หน่วยเป็น } kPa) = \frac{6.28n_R T(N.m)}{V_d(dm^3)} \quad (3.8)$$

ค่าความดันยังผลเฉลี่ยจะขึ้นอยู่กับกำลังที่ใช้ในการหา ถ้าใช้กำลังบ่งชี้ก็จะได้เป็นความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (Indicated Mean Effective Pressure , imep) และถ้าใช้เป็นกำลังเบรกก็จะได้เป็นความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (Brake Mean Effective Pressure , bmep)

ความดันยังผลเฉลี่ยเบรกสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์แต่ละชนิดที่ถูกออกแบบอย่างดีมักจะมีค่าเกือบคงตัวตลอดช่วงของขนาดเครื่องยนต์ และมีการกำหนดค่าทั่วไปไว้ ดังนั้นจึงสามารถนำความดันยังผลเฉลี่ยเบรกที่กำหนดไว้มาใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จริงเพื่อประเมินว่าผู้ออกแบบได้ใช้ปริมาตรกระจัดของเครื่องยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด และยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบเบื้องต้นเพื่อหาปริมาตรกระจัดที่ต้องการสำหรับทอร์กหรือกำลังที่อัตราเร็วรอบที่กำหนดหนึ่งๆด้วย [35]

### 3.2.3 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและประสิทธิภาพ

ในการทดสอบเครื่องยนต์การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการไหลของมวล ( $\dot{m}_f$ ) ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้จึงกำหนดในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption , sfc) ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมา และเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตงานออกมา

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (3.9)$$

ในหน่วยเอสไอจะได้

$$sfc(mg/J) = \frac{\dot{m}_f(g/s)}{P(kW)} \quad (3.10)$$

หรือ

$$sfc(g/(kW.h)) = \frac{\dot{m}_f(g/h)}{P(kW)} \quad (3.11)$$

### 3.2.4 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption)

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (*bsec*) คือ จำนวนของพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อกำลังงานเบรกของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นกำลังงานเบรกของเชื้อเพลิง หาได้จากสมการ

$$bsec = Q_{HV} \times bsfc \quad (3.11)$$

เมื่อ *bsec* เป็นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (kJ/kW.hr.)  
 $Q_{HV}$  เป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

### 3.2.5 ประสิทธิภาพความร้อน (Thermal Efficiency)

สำหรับการทำงานต่อหนึ่งสูบและหนึ่งวัฏจักร ความร้อนที่ได้จากการสันดาปคือ

$$Q_{in} = \dot{m}_f Q_{HV} \eta_c \quad (3.12)$$

ที่ความเร็วรอบและโหลดคงที่

$$Q_{in} = \dot{m}_f Q_{HV} \eta_c \quad (3.13)$$

โดย

$$\eta_t = W / Q_{in} = \dot{W} / \dot{Q}_{in} = \dot{W} / \dot{m}_f Q_{HV} \eta_c = \eta_f / \eta_c \quad (3.14)$$

กำหนด

$W$	=	งานต่อหนึ่งวัฏจักร
$\dot{W}$	=	กำลัง
$\dot{m}_f$	=	มวลเชื้อเพลิงต่อหนึ่งวัฏจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_f &= \text{อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง} \\
 Q_{HV} &= \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง} \\
 \eta_f &= \text{ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิง}
 \end{aligned}$$

### 3.2.6 สัดส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงต่ออากาศ

อัตราการไหลของมวลอากาศ ( $\dot{m}_a$ ) และอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง ( $\dot{m}_f$ ) มักจะถูกวัดในการทดสอบเครื่องยนต์ สัดส่วนของอัตราการไหลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ [35]

$$\text{สัดส่วนอากาศ/เชื้อเพลิง} \quad (A/F) = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (3.15)$$

$$\text{สัดส่วนเชื้อเพลิง/อากาศ} \quad (F/A) = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad (3.16)$$

สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลจะมีสัดส่วนทั้งสองคือ  $18 \leq A/F \leq 70$  ( $0.014 \leq F/A \leq 0.056$ )

## 3.3 น้ำมันเชื้อเพลิง

### 3.3.1 ข้อกำหนดของน้ำมันดีเซล

#### 3.3.1.1 คุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง

คุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงอาจจะอธิบายได้เป็นระดับของความง่ายของการเผาไหม้เมื่อถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพการจุดระเบิดต่ำจะใช้เวลาในการจุดระเบิดยาวกว่าเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพการจุดระเบิดสูง น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพการจุดระเบิดต่ำจึงทำให้เกิดช่วงความล่าช้าหรือความล่าช้าในการจุดระเบิดที่ยาวซึ่งเป็นผลให้เกิดดีเซลน็อกมากขึ้น ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลเป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุดของการวัดคุณภาพการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ซีเทนเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นสารประกอบเคมีที่มีคุณภาพการจุดระเบิดสูงสุดจึงถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 แอลฟาเมทิลแนฟทาลินซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงอีกตัวหนึ่งซึ่งมีคุณภาพการจุดระเบิดต่ำมาก จึงถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อหาคุณภาพการจุดระเบิด เครื่องยนต์ทดสอบจะเดินโดยใช้ตัวอย่างของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อน แล้วบันทึกแนวโน้มของการ์น็อก และช่วงความล่าช้าของเครื่องยนต์ หลังจากนั้นใช้เครื่องยนต์ทดสอบเดียวกันเดินเครื่องโดยใช้สารผสมของซีเทน และแอลฟาเมทิลแนฟทาลิน แล้วค่อย ๆ เพิ่มหรือลดปริมาณของซีเทนในสารผสมจนกระทั่งเครื่องยนต์ให้ผลการทดสอบเดียวกับที่ได้เมื่อเดินเครื่องโดยใช้น้ำมันตัวอย่าง ตัวอย่างเช่น ถ้าสารผสมของซีเทน และแอลฟาเมทิลแนฟทาลินให้ผลการทดสอบเดียวกันนี้ประกอบด้วยซีเทน 40% และแอลฟาเมทิลแนฟทาลิน 60% ค่าซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงก็จะเท่ากับ 40 วิธีการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงอีกวิธีหนึ่งในห้องทดลองเครื่องยนต์เพื่อยืนยันค่าซีเทนโดยคำนวณค่าเทียบเท่าหลังจากการทดสอบง่าย ๆ ของน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ค่าซีเทนที่ได้จะเรียกว่าค่าซีเทนจากการคำนวณ เครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูงโดยเฉลี่ยต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนจากการคำนวณต่ำสุดเท่ากับ 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.1.1 ผลของคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่อเครื่องยนต์

1. การเกิดดีเซลน็อก การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพในการจุดระเบิดต่ำเกินไปจะเป็นผลให้เกิดดีเซลน็อกอย่างรุนแรงเครื่องยนต์เดินไม่เรียบ และมีแรงกระแทกอย่างรุนแรงกระทำต่อลูกสูบ และแบริ่ง
2. สารตกค้างในเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพในการจุดระเบิดต่ำจะทำให้สารตกค้างในห้องเผาไหม้ บนแหวน และลูกสูบมากขึ้น การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมจะช่วยรักษาสารตกค้างเหล่านี้ให้มีน้อยที่สุด
3. การสตาร์ท การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพในการจุดระเบิดสูงชันก็จะทำให้อุณหภูมิการสตาร์ทต่ำลง การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพในการจุดระเบิดต่ำกว่าที่ได้แนะนำไว้จะเป็นผลให้การสตาร์ทยากขึ้น และช่วงการอุ่นเครื่องจะยาวขึ้นซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องยนต์ให้ควันขาวออกมา
4. กลิ่นและควัน ถ้าเครื่องยนต์อยู่ในสภาพที่ดีและใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพในการจุดระเบิดสูงก็จะช่วยให้ไอ กลิ่น และควันดำน้อยที่สุดในขณะที่น้ำมันเชื้อเพลิงเกรดต่ำจะทำให้สถานการณ์เลวลง

### 3.3.1.2 อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเอง

เป็นอุณหภูมิที่ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงจะจุดระเบิดโดยไม่ต้องการความช่วยเหลือของประกายไฟ ถ้าอุณหภูมินี้ยังต่ำเครื่องยนต์ก็จะสตาร์ทง่ายมากขึ้นและดีเซลน็อกก็เกิดขึ้นน้อยลง อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเองต่ำลงคุณภาพการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิงก็จะสูงขึ้น

### 3.3.1.3 ค่าความร้อน

เป็นปริมาณของความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งมีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิง เนื่องจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในขึ้นอยู่กับความร้อนที่จะเปลี่ยนไปเป็นกำลัง ดังนั้นค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงจึงมีผลโดยตรงต่อกำลังที่ออกจากเครื่องยนต์

### 3.3.1.4 จุดวาบไฟ

เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอ และเมื่อไอนี้ถูกเปลวไฟจะลุกวาบขึ้น การหาจุดวาบไฟหาได้จากเครื่องมือ COC (Cleveland Open Cup Apparatus) และ PMCC หรือ PM (Pensky-Martens Closed Cup Apparatus) โดยจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลคืออุณหภูมิที่น้ำมันดีเซลจะต้องถูกทำให้ร้อนเพื่อให้เกิดส่วนผสมของไอน้ำมันกับอากาศที่จะจุดติดไฟได้เหนือผิวหน้าของน้ำมันเมื่อมีเปลวไฟเป็นตัวล่อสำหรับการหาจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลที่ใช้วิธีการทดสอบของ Pensky-Martens ในทางปฏิบัติจุดวาบไฟมีความสำคัญในด้านอันตรายจากอัคคีภัยในการเก็บรักษา และใช้งานเท่านั้นไม่มีความสำคัญโดยตรงต่อการเผาไหม้และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

### 3.3.1.5 จุดไหลเท

จุดไหลเทเป็นปัจจัยที่สำคัญ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีจุดไหลเทต่ำจึงควรหลีกเลี่ยงในที่ไม่มีควมจำเป็น ทั้งนี้จุดวาบไฟเป็นอุณหภูมิต่ำสุดภายใต้สภาวะการทดสอบ ที่น้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลด้วยน้ำหนักของตัวเองซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่น้ำมันเชื้อเพลิงจะต้องไหลได้อย่างอิสระที่อุณหภูมิต่ำสุดที่อาจเกิดขึ้น

### 3.3.1.6 ความหนืด

หมายถึงความต้านทานในการไหลของของไหล ของไหลที่หนืดมากก็จะมีควมต้านทานในการไหลมาก ถ้ามองในแง่ของการปฏิบัติแล้วความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นการวัดความข้นหรือความใส ความหนืดถูกวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด (Viscometer) ซึ่งวัดเวลาที่ใช้สำหรับของเหลวที่มีปริมาณที่กำหนดไหลผ่านอริฟิซขนาดที่กำหนด ความหนืดของน้ำมันดีเซลมีความสำคัญมาก ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงไม่หนืดเพียงพอแล้ว ฟิล์มหล่อลื่นระหว่างชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ในหัวฉีดและในปั๊มหัวฉีดอาจแตก เป็นผลให้เกิดความเสียหายอย่างรวดเร็วของอุปกรณ์ที่มีราคาแพงนี้ ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงที่หนืดมากเกินไปก็อาจจะบรรจุเข้าไปไม่เต็มในชิ้นส่วนของปั๊มที่ความเร็วสูง เป็นผลให้มีการสูญเสียกำลัง นอกจากนี้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่หนืดมากจะแตกตัวเป็นละอองฝอยน้อย แต่น้ำมันที่ฉีดจะไปได้ไกลกว่า ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้อาจถูกเปลี่ยนแปลงอย่างมากถ้าใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดไม่ถูกต้อง

### 3.3.1.7 ความถ่วงจำเพาะ

คือสัดส่วนระหว่างความหนาแน่นของสารต่อความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่มีปริมาตรเท่ากัน และที่อุณหภูมิเดียวกัน สถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (American Petroleum Institute) ได้ตั้งมาตรฐานความถ่วง API ขึ้นเพื่อใช้วัดคุณภาพของน้ำมัน โดยเทียบกับความถ่วงจำเพาะดังสมการความถ่วง หรือองศา API (สมการ 3.17) วิธีทดลองทำได้โดยหย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกแก้วที่บรรจุน้ำมันตัวอย่างพร้อมกับวัดอุณหภูมิด้วย เป็ดตารางเทียบที่อุณหภูมิ 60 °F ซึ่งเป็นอุณหภูมิมาตรฐานของ API ความสำคัญของการหาความถ่วงของน้ำมันคือใช้ในการคำนวณหาปริมาณ และน้ำหนัก ข้อกำหนดนี้ไม่มีความสำคัญในด้านการเผาไหม้หรือสมรรถนะของเครื่องยนต์แต่จะใช้สำหรับการเปลี่ยนน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นปริมาตร และช่วยแสดงชนิดของน้ำมันพื้นฐานถ้าความถ่วงผิดไปจากเดิมแสดงว่าอาจมีการปนกันระหว่างน้ำมันต่างชนิด

$$API = \frac{141.5}{\text{Specific Gravity}_{60 / 60^{\circ}F}} - 131.5 \quad (3.17)$$

## 3.3.2 ปาล์มน้ำมัน

### 3.3.2.1 ความสำคัญของปาล์มน้ำมันต่อระบบเศรษฐกิจ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงชนิดหนึ่ง ซึ่งนอกจากช่วยให้เกษตรกรมีรายได้จากการปลูกปาล์มน้ำมันแล้ว ยังให้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง กล่าวคือ เมื่อนำผลปาล์มสดมาแปรรูปเป็นน้ำมันส่วนหนึ่งใช้เป็นน้ำมันพืชสำหรับบริโภคในชีวิตประจำวัน เช่น อุตสาหกรรมทำสบู่ เนยเทียม ไขมันแข็ง ส่วนผลสมของผงช็อกฟอก เครื่องสำอาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมการผลิตอาหารชนิดต่าง ๆ อุตสาหกรรมฉาบเหล็กโลหะต่าง ๆ และน้ำมันหล่อลื่นเป็นต้น น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นสินค้าชนิดหนึ่งที่รัฐบาลประกาศให้มีการควบคุมการนำเข้าจากต่างประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ 2525 เป็นต้นมา ก่อนจะปรับเปลี่ยนนโยบายการนำเข้าให้เป็นโดยเสรีภายใต้ความตกลงสินค้าเกษตรขององค์การการค้าโลก (WTO) ในปี พ.ศ 2538 แต่ยังคงมีการตั้งกำแพงภาษีในอัตราค่อนข้างสูงคือร้อยละ 152.6 ของมูลค่านำเข้า ( ยกเว้นไว้ในส่วนที่เป็นการนำเข้าภายใต้โควตาภาษี จำนวน 4,700 ตัน ที่เสียภาษีในอัตราร้อยละ 10 ของมูลค่านำเข้า ) ทั้งนี้เพื่อปกป้องอุตสาหกรรมภายในประเทศเนื่องจากประสิทธิภาพของไทยไม่สามารถสู้กับคู่แข่งเช่น ประเทศมาเลเซีย และ อินโดนีเซียที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ และผลผลิตต่อไร่สูงกว่า สำหรับการส่งออกให้เป็นไปได้โดยเสรี และไม่เสียภาษีส่งออกซึ่งธุรกิจการนำเข้า และส่งออกส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของน้ำมันปาล์มดิบเนื่องจากคุณลักษณะเฉพาะตัวของผลปาล์มน้ำมันสด ซึ่งเมื่อตัดผลปาล์มน้ำมันสดแล้วจะต้องผ่านกระบวนการสกัดทันทีภายใน 24 ชั่วโมงเพราะเมื่อผลปาล์มถูกทำให้เกิดแผลหรือถูกตัดออกจากต้น ปริมาณกลีเซอไรด์จะลดลงจากการกระทำของเอนไซม์ไลเปสโดยจะเปลี่ยนกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอลการเกิดกรดไขมันอิสระสูงในผลปาล์มจะเกิดผลเสียเมื่อนำไปสกัดน้ำมันจะได้น้ำมันที่มีคุณภาพต่ำ ส่วนการส่งออกในรูปของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่สามารถทำได้เนื่องจากการมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าประเทศคู่แข่ง

### 3.3.3 การใช้น้ำมันสปูดำแทนน้ำมันดีเซล

น้ำมันสปูดำสามารถละลายได้ดีในน้ำมันดีเซลและเบนซิน เมื่อเก็บไว้นานๆ ไม่มีการแยกชั้น ดังนั้น น้ำมันสปูดำจึงใช้ประโยชน์ในการผสม กับน้ำมันเบนซิน สำหรับเดินเครื่องยนต์เบนซินได้ดีอีกด้วย โดยปกติสิ่งที่นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน น่าจะเป็นที่นิยมมากกว่าใช้แทนน้ำมันดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน ประเทศอุตสาหกรรม สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้วทั้งหลายก็คำนึงถึงการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง สำหรับผู้มีเครื่องยนต์เบนซินอยู่แล้วก็จะยอมรับแนวความคิดนี้ได้ง่าย ตามความเป็นจริงประเทศที่กำลังพัฒนากลับมีความคิดที่ตรงกันข้าม ความจริงก็คือว่ารถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ตามที่ขึ้นทะเบียนไว้จะมี จำนวนมากกว่ารถยนต์ชนิดอื่น ๆ ยิ่งไปกว่านั้น เครื่องมือที่ใช้ในการก่อสร้าง เครื่องจักรกลเกษตร และเรือหาปลา มักนิยมใช้เครื่องยนต์ดีเซล องค์กร the United States Environment Protection Agency หรือ USEPA พบว่าน้ำมันสปูดำมีผลกระทบต่อด้านมลภาวะ ทางอากาศน้อยกว่าการใช้น้ำมันอื่น ๆ โดยลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนตกค้าง (unburned hydrocarbons) ได้ประมาณ 68% คาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) 44 % ปริมาณซัลเฟต (sulphates) 100 % กลุ่มสารอโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbons PAHs) 80% และคาร์ซิโนเจนิกไนเตรท ( carcinogenic nitrated PAHs) 90% จากหลักการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ความร้อนจาก การอัดอากาศในกระบอกสูบ แล้วฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปเพื่อทำการเผาไหม้ นั้น คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันสปูดำ จะอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดและดีกว่า ค่ากำหนดมาตรฐานของน้ำมันดีเซลในบางประเทศ เช่น ไทย ญี่ปุ่น และยุโรป เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ ( specific gravity) ค่าความหนาแน่น (density) ค่าจุดวาบไฟ (flash point) ค่าซีเทน (cetane) และค่าความหนืด (viscosity) รวมถึงให้ความร้อนสูงเท่ากับ 9,470 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซินและเอทิลแอลกอฮอล์ที่ให้ความร้อนเท่ากับ 10,170 10,600 และ 6,400 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งคุณสมบัติทางเคมี เหล่านี้ เป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ การติดไฟ การป้องกันการน็อค และการประหยัดน้ำมันในเครื่องยนต์ดีเซล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับค่าการเผาไหม้ของสารซัลเฟต (sulphated ash) หรือปริมาณสารซัลเฟอร์ตกค้างที่จะกัดกร่อนชิ้นส่วนของระบบหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซลให้ฝุกร่อนได้ง่าย และทำให้อากาศเป็นพิษ น้ำมันสบูดำจะมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลด้วย

นอกจากนี้ภายในเมล็ดสบูดำยังประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีที่มีประโยชน์หลายชนิด และมีปริมาณสูง เมื่อเปรียบเทียบกับในเมล็ดถั่วเหลือง และถั่วลิสง ซึ่งเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เช่น โปรตีน กรดไขมันไม่อิ่มตัว และไฟเบอร์ เมล็ดสบูดำจึงมีประโยชน์ในด้านการทำปุ๋ยอินทรีย์ได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์จากเมล็ดสบูดำมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูง หลายชนิด ได้แก่ ฟอสฟอรัส (0.61 % ) แคลเซียม (0.47%) แมกนีเซียม (0.42%) โซเดียม (0.04%) และโพแทสเซียม (1.03%)

### 3.3.4 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลคือเชื้อเพลิงใด ๆ ที่สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้มาจากชีวมวลหรืออีกความหมายหนึ่งตามมาตรฐาน ASTM ก็คือ Mono Alkyl Ester ของกรดไขมัน (Fatty Acid) ที่ได้มาจากน้ำมันจากเมล็ดพืช และไขมันสัตว์ เมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลแล้วไบโอดีเซลจะช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนโดยในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวลมี 4 วิธีคือ

1. Blending เป็นการผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนโดยมวลที่สัดส่วน ต่าง ๆ เพื่อทำให้ความหนืดของน้ำมันพืชลดลง โดยสามารถผสมน้ำมันพืชตั้งแต่ 10% ขึ้นไปตามความเหมาะสม
2. Micro Emulsion หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Hybrid Fuels เป็นการทำให้ของเหลว 2 ชนิดที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยอาศัยหลักการทำให้ของเหลวกระจายตัวอยู่ในรูปอิมัลชันด้วยการผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้น เช่น เมทานอล หรือเอทานอล โดยสามารถนำไปฉีดเป็นฝอยได้
3. Pyrolysis เป็นการ Decompose น้ำมันพืชให้ไปเป็น Alkane, Alkene และ Oxygenate โดยมี  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
4. Transesterification หรือ Alcoholysis เป็นการทำปฏิกิริยาของ Triglyceride กับ แอลกอฮอล์โดยมี ตัว กรด หรือเอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้เอสเทอร์ และกลีเซอริน ออกมา

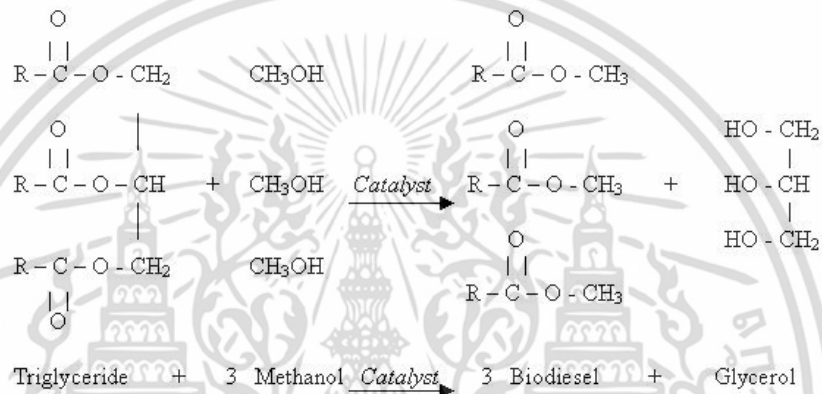
#### 3.3.4.1 ทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน

เป็นกระบวนการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืชให้ไปเป็น Mono Alkyl Ester โดยใช้แอลกอฮอล์โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ และอันดับของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับสัดส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมทิลเอสเทอร์เป็นเอสเทอร์ที่นิยมสังเคราะห์มากที่สุดเนื่องจากหาได้ง่าย และมีราคาถูกกว่าแอลกอฮอล์ตัวอื่นๆ ประโยชน์ของการเปลี่ยนน้ำมันพืชให้เป็น Mono Alkyl Ester ก็คือ Mono Alkyl เมื่อเผาไหม้แล้วจะเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ลดความหนืดของน้ำมันพืช และลดการเกิดปฏิกิริยา Polymerization ของน้ำมันดีเซล นอกจากการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วยังสามารถใช้กรดเป็น

ตัวเร่งปฏิกิริยาได้แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้ากว่า แต่ในการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้ในปัจจุบันนี้นิยมใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากเหตุผลต่างๆดังนี้

1. อุณหภูมิและความดันต่ำ (150 °C, 20 Psi)
2. ได้ผลิตภัณฑ์มากและใช้เวลาในการผลิตน้อย
3. สามารถเปลี่ยนไปเป็น Methyl Ester โดยไม่จำเป็นต้องใช้กระบวนการอื่นเสริม
4. ไม่จำเป็นต้องใช้สารอื่นเข้าร่วมกระบวนการ
5. ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงใดๆต่อกระบวนการ



รูปที่ 3.1 แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของเมทานอลกับไตรกลีเซอไรด์

### 3.3.4.2 กลีเซอริน

กลีเซอริน (กลีเซอรอล) คือผลพลอยได้ของการผลิตดีเซลชีวภาพ มีลักษณะใส ไม่มีสีไม่มีพิษ ความหนืดค่อนข้างคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันทำให้สามารถเก็บรักษาให้ไม่มีกลิ่น รส สี ได้นาน กลีเซอรินที่จะนำไปจำหน่ายต้องผ่านการทำให้เป็นกลาง ในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลีเซอรินที่ได้สามารถทำให้เป็นกลางโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกกรดฟอสฟอริกหรือโซเดียมคลอไรด์ สำหรับสีของกลีเซอรินสามารถขจัดออกได้โดยการกรองผ่านถ่าน

กลีเซอรินเมื่อถูกทำให้เย็นจะเป็นซูปเปอร์คูลแต่ไม่แข็งตัวเนื่องจากกลีเซอรินสามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำ และแอลกอฮอล์ จึงเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับองค์ประกอบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ และเนื่องจากมีความหนืดจึงมักถูกใช้เป็น Thickening Agent หรือ Bodying Agent กลีเซอรินที่ความเข้มข้น 55 – 75 เปอร์เซ็นต์จะมีรสหวานสามารถใช้เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ กลีเซอรินเป็นสาร Hygroscopic ดูดซับความชื้นจากอากาศได้ดี จึงนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความนุ่ม (Softness) ความหยุ่นตัว (Flexibility) และความเป็นครีม (Creaminess) ในทางการค้ามีการใช้กลีเซอรินเพื่อเป็นสารป้องกันรักษาความชุ่มชื้นเป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติกชนิดที่ช่วยเก็บรักษาความอ่อนนุ่ม และความหนืด กลีเซอรินถูกใช้ในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับช่องปาก เช่น ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก เนื่องจากคุณสมบัติในการเป็นสารดูดความชื้น และการระเหยต่ำจึงถูกใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ยาสีฟันแห้งแข็งในหลอด กลีเซอรินส่วนใหญ่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร และ

เครื่องดื่มจะเป็นตัวทำละลาย และเป็นสารดูดความชื้น โมโนกลีเซอไรด์ที่ได้จากกลีเซอรินจะถูกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสารอิมัลชัน และสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำสลัด และลูกกวาด ในผลิตภัณฑ์ยาสูบ จะใช้กลีเซอรินเพื่อช่วยรักษาความชื้นให้กับใบยาสูบ และใช้เป็นส่วนผสมในไส้กรอง ในอุตสาหกรรมยาใช้กลีเซอรินเป็นสารให้ความหวาน และเป็นตัวให้ความนุ่มในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางใช้เป็นสารอิมัลชันในครีมและทำหน้าที่แทนไขในลิปสติก

### 3.3.5 เอทานอล (Ethanol)

เอทานอล หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นสารอินทรีย์ มีสูตรเคมีคือ  $C_2H_5OH$  ซึ่งเป็นของเหลวใส ไม่มีสีและติดไฟง่าย ในการผลิตเอทานอลนั้นความบริสุทธิ์ของเอทานอลต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปัญหาในเรื่องของจุดอาซิโโทรป (Azeotrope) ซึ่งเทคโนโลยีการกลั่นแบบธรรมดาไม่สามารถที่จะทำให้เอทานอลที่กลั่นได้มีความบริสุทธิ์มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์โดยโมลได้ เอทานอลที่ความบริสุทธิ์ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์จะถูกเรียกว่าไฮดรัสเอทานอล (Hydrous Ethanol) และเอทานอลที่ความบริสุทธิ์มากกว่า 99.5 เปอร์เซ็นต์ จะถูกเรียกว่า แอนไฮดรัสแอลกอฮอล์ (Anhydrous Ethanol) การผลิตเอทานอลมี 2 วิธีการ หลักๆ ได้แก่ การผลิตเอทานอลโดยใช้เอทิลีน (Ethylene) เป็นวัตถุดิบ เอทานอลประเภทนี้ จะถูกเรียกว่า เอทานอลสังเคราะห์ (Synthetic Ethanol) สำหรับเอทานอลที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง น้ำตาล ฟางข้าว ชานอ้อย จะถูกเรียกว่าไบโอเอทานอล (Bio-Ethanol) ซึ่งปัจจุบันรัฐบาลไทยได้ส่งเสริมการบริโภคและอุปโภคการใช้เอทานอลประเภทนี้อย่างมากเพื่อลดการนำเข้าน้ำมันดิบ

## 3.4 อุณหภูมิของสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ

### 3.4.1 ส่วนประกอบของอากาศและเชื้อเพลิง

อากาศประกอบด้วยสารผสมของแก๊ส (อากาศแห้ง) และความชื้น (ไอน้ำ) อากาศแห้งโดยทั่วไปประกอบด้วย ออกซิเจน ไนโตรเจน อาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สอื่นๆ

ในการเผาไหม้ออกซิเจนจะเป็นตัวทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง สำหรับอาร์กอน และคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณน้อย และโดยทั่วไปจะไม่ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับไนโตรเจน จึงนิยมคิดรวมเข้ากับไนโตรเจนเป็นไนโตรเจนบรรยากาศ (Atmospheric Nitrogen) หรือไนโตรเจนที่ปรากฏ (Apparent Nitrogen) ดังนั้นอากาศแห้งโดยประมาณจึงประกอบด้วยแก๊ส 2 ชนิด คือ ออกซิเจน และไนโตรเจนในบรรยากาศ เมื่อคิดต่อ 1 หน่วยโมลของออกซิเจนจะมีไนโตรเจนบรรยากาศ 3.773 โมล ( $\frac{1-0.2095}{0.2095} = 3.773$ ) และน้ำหนักโมเลกุลของไนโตรเจนบรรยากาศ (ซึ่งแตกต่างจากไนโตรเจนบริสุทธิ์) หาได้โดยคิดอากาศแห้งเป็นสารผสมของแก๊สอุดมคติ

$$M = \sum_i \bar{x}_i M_i \quad (3.18)$$

$$M_{air} = \bar{x}_{O_2} M_{O_2} + \bar{x}_{aN_2} M_{aN_2} \quad (3.19)$$

$$M_{aN_2} = \frac{M_{air} - \bar{x}_{O_2} M_{O_2}}{\bar{x}_{aN_2}} \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{28.962 - 0.2095 \times 31.998}{1 - 0.2095}$$

$$= 28.16$$

ความหนาแน่นของอากาศแห้งสามารถหาได้โดยคิดอากาศแห้งเป็นแก๊สอุดมคติ จากสมการของสภาวะ หรือกฎของแก๊สอุดมคติ

$$pV = mRT = m \frac{\bar{R}}{M} T \quad (3.21)$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \quad (3.22)$$

$\bar{R}$  เป็นค่าคงตัวแก๊สสากลมีค่าเท่ากับ  $8314.3 \text{ J/(kmol}\cdot\text{K)}$  และ  $M$  เป็นน้ำหนักโมเลกุลของอากาศมีค่าเท่ากับ  $28.962$  จะได้  $\bar{R}$

$$\rho(\text{kg/m}^3) = \frac{3.483 \times 10^{-3} (\text{Pa})}{T(\text{K})} \quad (3.23)$$

ซึ่งค่าความหนาแน่นของอากาศแห้งที่ 1 ความดันบรรยากาศ ( $1.0133 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) และที่  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  จะเท่ากับ  $1.184 \text{ kg/m}^3$  สำหรับปริมาณความชื้นหรือไอน้ำในอากาศจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระดับของการอิ่มตัว ซึ่งโดยทั่วไปสัดส่วนโดยมวลของไอน้ำในอากาศจะเป็นร้อยละ 1 โดยประมาณ แต่อาจสูงจนถึงร้อยละ 4 ในบางสภาวะ ปริมาณไอน้ำในอากาศนี้สามารถหาได้โดยการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) แล้วอ่านค่ามวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้งจากแผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric Chart) เชื้อเพลิงที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในคือน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลซึ่งเป็นสารผสมของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่างกันหลายตัว เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนี้โดยทั่วไปจะประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 86 และไฮโดรเจนร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดแล้วยังมีเชื้อเพลิงอื่นอีกที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน คือ แอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงแก๊ส ส่วนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวเดียวมักจะถูกนำไปใช้ในงานวิจัยด้านเครื่องยนต์

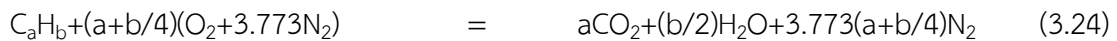
### 3.4.2 ปริมาณสัมพันธ์ของการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับสารออกซิไดส์ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักใช้ออกซิเจนในอากาศเป็นสารออกซิไดส์ เมื่อเกิดการเผาไหม้ขึ้นเชื้อเพลิงจะถูกออกซิไดส์ และปลดปล่อยความร้อนออกมา (สารทำปฏิกิริยาในการเผาไหม้คือเชื้อเพลิงกับอากาศ) และจะเปลี่ยนไปเป็นสารที่ได้จากการเผาไหม้ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างสารทำปฏิกิริยา และสารที่ได้จากการเผาไหม้จะถูกกำหนดโดยสมการเคมี

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์พอดีที่เรียกว่าการเผาไหม้ทางทฤษฎี (Stoichiometric Combustion , Chemically Correct Combustion หรือ Theoretical Combustion) ของ

เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนก็คือปฏิกิริยาทางเคมีที่มีออกซิเจนเพียงพอที่จะออกซิไดส์คาร์บอนให้เป็น  $\text{CO}_2$  และไฮโดรเจนให้กลายเป็น  $\text{H}_2\text{O}$  เท่านั้น เมื่ออยู่ในสภาวะที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อาจเกิด  $\text{CO}$  หรือ  $\text{H}_2$  ขึ้นมา ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จึงต้องหลีกเลี่ยง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิไดส์ไฮโดรเจนให้เป็นน้ำทั้งหมด สำหรับการเผาไหม้ทางทฤษฎีของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนใดๆที่มีสูตรเป็น  $C_aH_b$  กับอากาศสามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้



ซึ่งแสดงถึงสัดส่วนโดยโมลของสารทำปฏิกิริยาและสารที่ได้จากการเผาไหม้ ดังนั้นสูตรหรือส่วนประกอบของเชื้อเพลิงสามารถเขียนได้เป็น  $CH_y$  โดย  $y = b/a$  และสมการเคมีสำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์พอดีก็จะเป็น



จากสมการข้างต้นนี้สามารถหาสัดส่วน อากาศ/เชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิง/อากาศพอดีทางทฤษฎีได้เป็น

$$\begin{aligned} \left(\frac{A}{F}\right)_s &= \left(\frac{F}{A}\right)_s^{-1} \\ &= \frac{(1 + (y/4))(32 + 3.773 \times 28.16)}{12.011 + 1.008 y} \\ &= \frac{34.56(4 + y)}{12.011 + 1.008 y} \end{aligned} \quad (3.26)$$

ถ้าสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศมีอากาศมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าพอดี การเผาไหม้ก็ยังคงเกิดขึ้นได้แต่จะต้องมีค่าไม่ห่างจากค่าอากาศพอดีมากเกินไป สำหรับการเผาไหม้ที่มีอากาศเกินหรือที่เรียกว่าการเผาไหม้สารผสมบาง (Fuel - Lean Combustion) อากาศที่เกินจะไม่เข้าทำปฏิกิริยา (หรืออีกนัยหนึ่งคืออากาศที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา) และในการดุลสมการเคมี อากาศที่เหลือนี้จะถูกเขียนไว้รวมกับสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยา สำหรับการเผาไหม้ที่มีอากาศน้อยกว่าอากาศพอดีหรือที่เรียกว่าการเผาไหม้สารผสมหนา (Fuel - Rich Combustion) ก็จะมีออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะออกซิไดส์เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (รวมทั้งไนโตรเจน) และจะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจนด้วย โดยส่วนประกอบของสารที่เกิดจากการเผาไหม้นี้ไม่สามารถหาได้จากการดุลอะตอมอย่างเดียวยังจะต้องมีข้อสมมติเพิ่มเติมซึ่งจะได้อธิบายเพิ่มเติมภายหลัง เนื่องจากส่วนประกอบของสารที่ได้จากการเผาไหม้จะแตกต่างกันสำหรับสารผสมบาง และสารผสมหนา และเนื่องจากสัดส่วนเชื้อเพลิง/อากาศพอดีจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงมีการกำหนดส่วนประกอบของสารผสมในรูปของสัดส่วนของ สัดส่วนเชื้อเพลิง/อากาศจริง ต่อ สัดส่วนเชื้อเพลิง/อากาศพอดี หรือกลับกันซึ่งได้แก่ สัดส่วนสมมูลของเชื้อเพลิง/อากาศ (Fuel/Air Equivalence Ratio ,  $\phi$ )

$$\phi = \frac{(F/A)_{actual}}{(F/A)_s} \quad (3.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสัดส่วนอากาศ/เชื้อเพลิงสัมพัทธ์ (Relative Air/Fuel Ratio ,  $\lambda$ )

$$\lambda = \phi^{-1} = \frac{(A/F)_{actual}}{(A/F)_s} \quad (3.28)$$

ในการเผาไหม้สารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศสามารถเป็นไปได้ 3 ลักษณะ คือ

1. สารผสมบาง (Fuel – Lean Mixture) เป็นสารผสมที่มีค่า  $\phi < 1$  หรือ  $\lambda > 1$  คือมีเชื้อเพลิงน้อยหรือมีอากาศเกินกว่าค่าพอดี ซึ่งอาจระบุเป็นร้อยละของอากาศเกิน ตัวอย่างเช่นร้อยละ 25 ของอากาศเกิน สารผสมก็จะมีอากาศเป็น 1.25 เท่าของอากาศพอดี
2. สารผสมพอดี (Stoichiometric Mixture) เป็นสารผสมที่มีค่า  $\phi = \lambda = 1$  คือมีเชื้อเพลิงพอดีที่จะถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจนในอากาศได้หมด
3. สารผสมหนา (Fuel – Rich Mixture) เป็นสารผสมที่มีค่า  $\phi > 1$  หรือ  $\lambda < 1$  คือมีเชื้อเพลิงมากเกินไปหรือมีออกซิเจนน้อยเกินไปที่จะออกซิไดส์เชื้อเพลิงได้ทั้งหมด [35]

### 3.5 การควบคุมมลพิษจากเครื่องยนต์

#### 3.5.1 ปัญหามลภาวะทางอากาศ

มลภาวะทางอากาศเป็นปัญหาที่ซับซ้อนมาก ซึ่งจะมีวงจรของการเพิ่ม และการเอาออกจากบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง มนุษย์จะเพิ่มปริมาณของสารให้กับบรรยากาศแต่จะทำน้อยมากในการเอาสารออกจากบรรยากาศ มลภาวะทางอากาศที่รุนแรงจะเกิดขึ้นในแถบละติจูดที่ 30 – 60 องศาเหนือ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอุตสาหกรรมหนาแน่นของโลก

รถยนต์จะให้มลพิษออกมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับปริมาณมลพิษทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมา ส่วนรถบรรทุกที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลจะมีมลพิษน้อยกว่า 2% ตามหลักการแล้วแก๊สไอเสียจากรถที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลจะไม่มีปัญหาถ้าวิ่งบนทางหลวงที่ซึ่งเครื่องยนต์ทำงานภายใต้สภาวะที่เหมาะสม และไอเสียที่ออกมาจะถูกเจือจางโดยอากาศอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของคนในเมืองสถานการณ์จะแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ทั้งนี้เนื่องจากมีรถยนต์จำนวนมากและการจราจรติดขัดทำให้เครื่องยนต์ของรถยนต์เหล่านี้ส่วนใหญ่ทำงานที่ความเร็วเดินเบาหรือภายใต้สภาวะอื่นที่ทำให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นไม่ดี

#### 3.5.2 แก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล

เมื่อพิจารณาถึงแก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องแยกระหว่างส่วนประกอบที่เป็นอนุภาคและส่วนประกอบที่เป็นแก๊ส ส่วนประกอบที่เป็นอนุภาคซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเขม่าที่เป็นอนุภาคของคาร์บอน โดยสัดส่วนที่มากที่สุดของไอเสียจะประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

##### 3.5.2.1 เขม่า

เขม่าประกอบด้วยอนุภาคของคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์จะเข้าไปผสมกับอากาศแต่การผสมจะไม่สมบูรณ์ในทุกบริเวณซึ่งหมายความว่ามีความที่มีบริเวณที่มีน้ำมันเชื้อเพลิงเกิน ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงและมีการขาดออกซิเจน (ส่วนผสมหนา) เนื่องจากการแยกตัวของไฮโดรเจนผลที่ได้ก็คือคาร์บอน เมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นต่อไปคาร์บอนก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ซึ่งจะได้คาร์บอนมอนอกไซด์ถ้ามีออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นประโยชน์ในการนำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพอและอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 1000 °C ถ้าออกซิเจนไม่เพียงพอและ/หรืออุณหภูมิต่ำเกินไป อนุภาคของคาร์บอนจะยังคงเป็นอนุภาค และออกไปกับไอเสียซึ่งเห็นเป็นควันดำ อนุภาคจะรวมกันเป็นเม็ดเล็กๆเป็นสาเหตุของการเคืองตา เพราะทำให้การมองเห็นลดลง และทำให้พื้นที่บริเวณที่มีเขม่าโดยรอบเป็นสีดำ

### 3.5.2.2 ไฮโดรคาร์บอน

ตัวย่อ HC จะถูกใช้แทนกลุ่มของไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ ที่มีมากกว่า 100 ชนิด ไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในไอเสียที่ออกมาจากรถยนต์จะเป็นผลในเบื้องต้นมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงน้ำมันเชื้อเพลิงที่ระเหยจากระบบน้ำมันเชื้อเพลิง ปริมาณของ HC ในไอเสียจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการเผาไหม้หลายประการ ตัวอย่างเช่นอุณหภูมิสูงจะให้ปริมาณ HC ต่ำ วิธีการหนึ่งที่จะลด HC ก็คือการออกแบบเครื่องยนต์ที่ให้อุณหภูมิสูงในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ภายใต้สภาวะโหลดน้อย ปริมาณของ HC ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าโดยตรงจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงเหลืออยู่ที่ปลายของหัวฉีดด้วย ไฮโดรคาร์บอนที่ปล่อยออกมานี้ได้มีการศึกษาเป็นพิเศษในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากจะทำให้เกิดผลของปฏิกิริยาทางแสง และทางเคมีที่เรียกว่า หมอก (Smog) หมอกเป็นผลของปฏิกิริยาหลากหลายในบรรยากาศที่เริ่มจากการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ตปฏิกิริยาเหล่านี้จะทำให้เกิดสารบางอย่างซึ่งทำให้การมองเห็นลดลง เคืองตา และทำความเสียหายแก่พืช หมอกสามารถเกิดในที่ซึ่งมีการรวมกันของไอเสียที่ออกมา การหมุนเวียนของอากาศไม่ดีและแสงแดดจ้า สภาวะของหมอกเกิดขึ้นครั้งแรกในลอสแอนเจลิส แต่ในปัจจุบันส่วนมากจะเห็นได้ในเมืองใหญ่ ๆ ของอเมริกา

### 3.5.2.3 ไนโตรเจนออกไซด์

$\text{NO}_x$  เป็นสูตรที่ใช้แทนไนโตรเจนออกไซด์ทั้งหมด ออกไซด์ของไนโตรเจนที่มีอยู่ในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลคือ ไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ )

NO ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น ในอากาศ NO จะรวมกับออกซิเจนเป็น  $\text{NO}_2$  ซึ่งจะมีสีน้ำตาลแดง มีกลิ่นฉุน และทำให้ระคายเคือง ความเข้มข้นของ  $\text{NO}_2$  ที่มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อปอด นอกจากนี้  $\text{NO}_2$  จะรวมได้ง่ายกับเฮโมโกลบินของเลือดป้องกันเลือดจากการดูดซับ และขนส่งออกซิเจนจากปอดไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ซึ่งจะเหมือนกับพิษของคาร์บอนมอนอกไซด์และผลสุดท้ายก็คือ จะทำให้หายใจไม่ออก ไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนและออกซิเจน ซึ่งปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับสภาวะที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้คือ อุณหภูมิสูงความดันสูง และมีออกซิเจนอยู่จะทำให้เกิด  $\text{NO}_x$  สูง

### 3.5.2.4 คาร์บอนมอนอกไซด์

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไม่มีกลิ่นและไม่มีสี คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นพิษ CO จะเกิดขึ้นในระหว่างช่วงกลางของการเผาไหม้ หลังจากนั้นก็จะรวมกับออกซิเจนกลายเป็น  $\text{CO}_2$  ที่ไม่เป็นพิษ CO จะเกิดในไอเสียถ้าการเผาไหม้มีออกซิเจนไม่เพียงพอเท่านั้น เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลทำงานโดยมีอากาศเกินพอ ปริมาณ CO ในไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลจึงต่ำ

## บทที่ 4 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

### 4.1 บทนำ

ขั้นตอนในการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็นขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ ขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซล ขั้นตอนในการทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซล ขั้นตอนในการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิง ขั้นตอนในการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์สามารถแยกย่อยออกได้เป็น การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อผลิตไบโอดีเซล การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล และการเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ในส่วนของขั้นตอนในการผลิตสามารถแยกย่อยออกได้เป็น การผลิตไบโอดีเซลจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์ การผลิตไบโอดีเซลจากนํ้ามันเมล็ดสบู่ดำ และการผลิตดีโซฮอล์ โดยทำการผลิตไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ และดีโซฮอล์สัดส่วนการผสมต่ำตามตารางการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงสัดส่วนนํ้ามันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

เชื้อเพลิง	Diesel (%โดยปริมาตร)	Ethanol (%โดยปริมาตร)	Biodiesel (%โดยปริมาตร)
D95E5B5	90.48	4.76	4.76
D95E5B10	86.36	4.55	9.09
D95E10B5	86.36	9.09	4.55
D95B5	95	-	5
D95B10	90.48	-	9.52

### 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

1. RET BASIC SAFETY CONTROL IKAMAG,  
Temperature range : Room Temperature to - 340 °C, 50 – 1,700 rpm
2. Bar Stirring Cylindrical PTFE 60×10 mm.
3. Condenser ใ้ตรง 45 cm.
4. Flat Bottom Flask 5 Litres
5. Separating Funnel 1000 ml
6. Beaker Glass Low Form 5000 ml
7. Connector 2 Way, L 2 inch, 40/40, 24/29
8. Stopper Glass แบบแก้วตัน 40/40
9. Stopper Glass แบบแก้วตัน 24/29
10. Add Neck Flask 5 L, 1 Neck, 24/29
11. Adaptor Probe Use with Joint 24/29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. Adapter Thermometer 24/29, 40/40
13. Thermometer Alcohol 0-100 °C
14. Stand and Base
15. Condenser Clamp

#### 4.2.2 น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง

1. ไข่น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์
2. น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

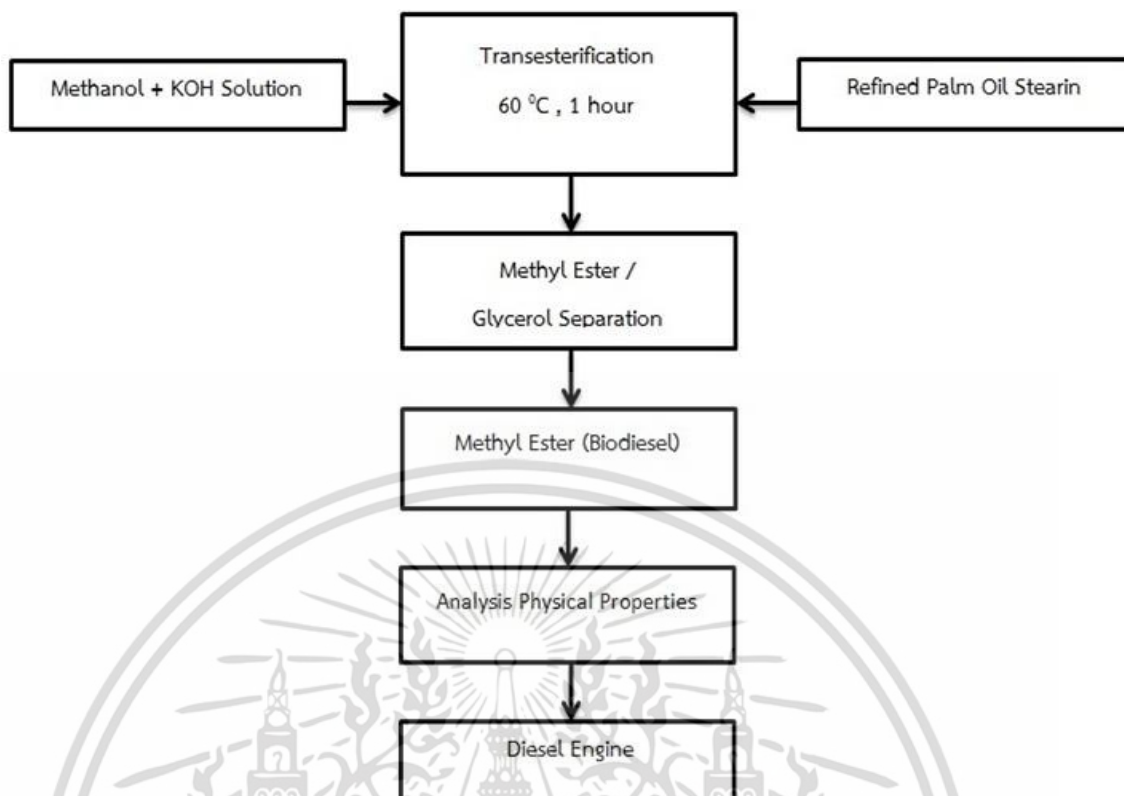
#### 4.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เมทานอลเกรดอุตสาหกรรมความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.5%
2. เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ 95%
3. เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ 99.5%
4. โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกรดอุตสาหกรรมความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 90%
5. โซเดียมซัลเฟตเกรด AR

### 4.3 ขั้นตอนดำเนินการผลิตไบโอดีเซลจากไข่น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

นำไข่น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มาอุ่นที่อุณหภูมิ 60 °C เพื่อให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว จากนั้นนำน้ำมันที่ได้มาทำการวัดปริมาตรโดยตรงให้มีปริมาตร 3,000 ml ใส่ในปิกเกอร์ไบท์ 1 ทำการกวนและอุ่นน้ำมันโดยตั้งความเร็วรอบในการกวน 1,500 รอบต่อนาที พร้อมกับอุ่นน้ำมันให้มีอุณหภูมิ 60 °C ผสมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกรดอุตสาหกรรมจำนวน 12 g 0.4%KOH(wt/vol) กับเมทานอลเกรดอุตสาหกรรมที่สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อน้ำมัน 1 : 2 ลงในปิกเกอร์ไบท์ 2 นำไปกวน และอุ่นให้ความร้อนเพื่อให้เกลือโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลาย เทของผสมระหว่างโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลลงไปในน้ำมันที่เตรียมไว้ในปิกเกอร์ไบท์ 1 กวนจนครบ 60 นาทีแล้วปิดเครื่องกวนสาร จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้ใส่ลงใน Separation Funnel ทำการแยกกลีเซอรอลโดยการไขเอากลิเซอรอลที่อยู่ด้านล่างออก จากนั้นทำการล้างเมทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 40 °C หลายๆครั้งจน pH ของน้ำมีค่าเท่ากับ 7 ทำการทดลองซ้ำโดยทำการทดลองที่สภาวะต่างๆดังนี้

1. เปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอล : ไข่น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ 1 : 3, 1 : 4, 1 : 5 และ 1 : 6
2. เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 60 นาทีเป็น 30 นาที
3. เปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยมวลของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.2%KOH(wt/vol) และ 0.6%KOH(wt/vol)



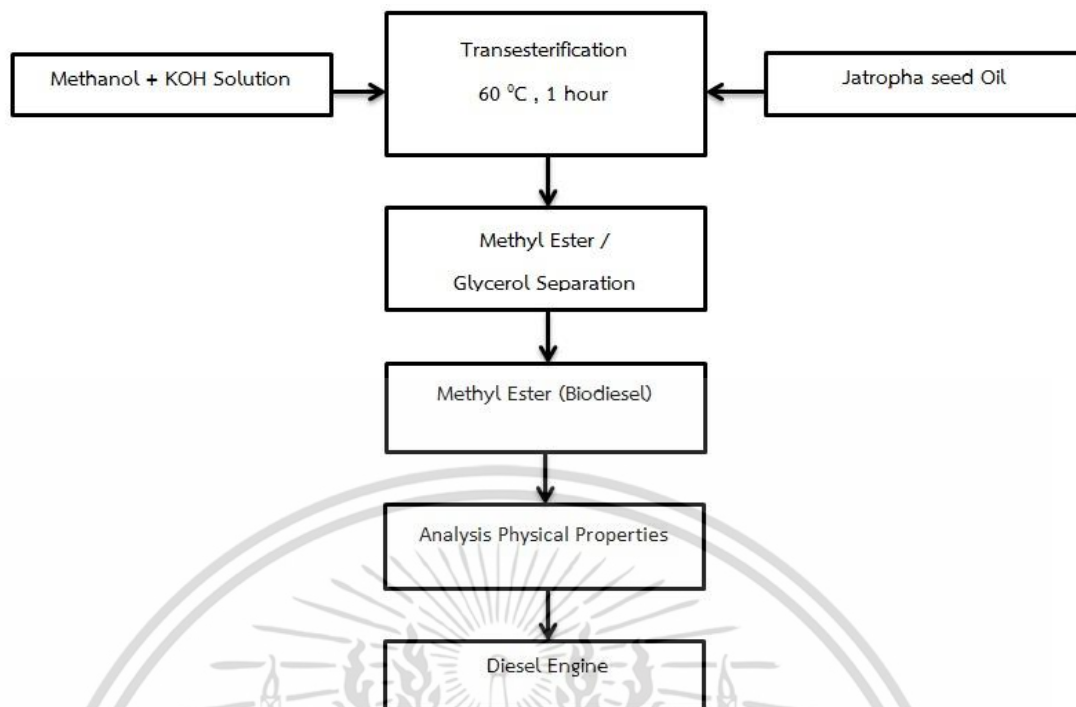
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตและทดสอบไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์

#### 4.4 ขั้นตอนดำเนินการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

ทำการวัดปริมาตรน้ำมันเมล็ดสบู่ดำโดยการตวงให้มีปริมาตร 3,000 ml ใส่ในปิกเกอร์ไบที่ 1 ทำการกวนและอุ่นน้ำมันโดยตั้งความเร็วรอบในการกวน 1,500 รอบต่อนาที พร้อมกับอุ่นน้ำมันให้มีอุณหภูมิ 60 °C ผสมโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกรดอุตสาหกรรมจำนวน 24 g 0.8%KOH(wt/vol) กับเมทานอลเกรดอุตสาหกรรมที่สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อน้ำมัน 1 : 3 ลงในปิกเกอร์ไบที่ 2 นำไปกวน และอุ่นให้ความร้อนเพื่อให้เกลือโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลาย จากนั้นเทของผสมระหว่างโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลลงไปน้ำมันที่เตรียมไว้ในปิกเกอร์ไบที่ 1 กวนจนครบ 60 นาทีแล้วปิดเครื่องกวนสาร นำผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้ใส่ลงใน Separation Funnel ทำการแยกกลีเซอรอลโดยการไขเอากลิเซอรอลที่อยู่ด้านล่างออก จากนั้นทำการล้างเมทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 40 °C หลาย ๆ ครั้งจน pH ของน้ำมีค่าเท่ากับ 7 ทำการทดลองซ้ำโดยทำการทดลองที่สถานะต่างๆดังนี้

1. เปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ 1 : 2, 1 : 4 และ 1 : 5
2. เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 60 นาทีเป็น 30 นาที
3. เปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยมวลของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.6%KOH(wt/vol) และ 1%KOH(wt/vol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตและทดสอบเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

#### 4.5 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

##### 4.5.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความหนาแน่นที่ 15 °C

1. ชั่งน้ำหนักขวดวัดความหนาแน่นด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียด 0.0001 g
2. ใส่เมทิลเอสเทอร์ลงในขวดวัดความหนาแน่นจนล้นเช็ดปากขวดจุ่มลงใน Water Bath จนน้ำมันตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับ 15 °C แล้วนำขึ้นมาเช็ดน้ำ และตัวอย่างที่ล้นออกมาให้แห้ง
3. ชั่งน้ำหนักขวดวัดความหนาแน่นอีกครั้ง
4. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนเป็นเอทิลเอสเทอร์

##### 4.5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ API ที่ 15.6 °C

1. รินไปโอดีเซลที่ต้องการทดสอบปริมาตร 800 ml ลงในกระบอกตวงขนาด 1000 ml
2. นำกระบอกตวงวัดปริมาตรที่บรรจุน้ำมันไปใส่ในอ่างน้ำเพื่อทำการลดอุณหภูมิ
3. ลดอุณหภูมิน้ำโดยใส่น้ำแข็งลงในน้ำที่อยู่ในอ่างน้ำจนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิเท่ากับ 60 °F หรือ 15.6 °C
4. นำไฮโดรมิเตอร์หย่อนลงในน้ำมันช้า ๆ (เพื่อกันไม่ให้ไฮโดรมิเตอร์กระแทกกับก้นของกระบอกวัดปริมาตร) โดยให้ไฮโดรมิเตอร์ลอยอยู่นิ่งก้นของกระบอกวัดปริมาตรแล้วอ่านค่าที่ไฮโดรมิเตอร์ค่าที่อ่านได้คือค่า API
5. ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้งค่าที่ได้ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 0.2° API
6. ค่า API ที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาค่า Specific Gravity ได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{\text{Specific Gravity @ } 60 / 60^{\circ}F} - 131.5 \quad (4.1)$$

$API$  = ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์

7. ถ้าไม่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำมันได้ที่  $60^{\circ}F$  หรือ  $15.6^{\circ}C$  ให้ลดอุณหภูมิให้ได้มากที่สุดโดยยังไม่เกิดไข จากนั้นนำค่า  $API$  ที่ได้มาคำนวณเปลี่ยนให้เป็นที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}F$  หรือ  $15.6^{\circ}C$  โดย

$$API(60^{\circ}F) = (0.002(60 - T) + 1) \times API(T) \quad (4.2)$$

$API(60^{\circ}F)$  = ค่า  $API$  จากการคำนวณเปลี่ยนมาเป็นที่  $60^{\circ}F$

$T$  = อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำได้โดยยังไม่เกิดไข ( $^{\circ}F$ )

$API(T)$  = ค่า  $API$  ที่ได้ที่อุณหภูมิใดๆ

#### 4.5.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความหนืดมาตรฐาน ASTM D 445

1. เลือกขนาดของ Viscometer ให้เหมาะสมกับอัตราการไหล
  2. ปรับอุณหภูมิของอ่างที่จะแช่ตัวอย่างให้ได้เท่ากับ  $40^{\circ}C$  และ  $100^{\circ}C$
  3. ถ้าตัวอย่างสกปรกมีฝุ่นละอองให้กรองด้วยตะแกรง
  4. ใส่น้ำกลั่นลงใน Viscometer เพื่อคำนวณค่าคงที่ของ Viscometer โดยให้ตัวอย่างอยู่ต่ำกว่าระดับของเหลวประมาณ 2 เซนติเมตร และสูงกว่าก้นอ่างไม่น้อยกว่า 2 เซนติเมตร รอให้อุณหภูมิของตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิของของเหลวภายในอ่าง
  5. ใช้ลูกยางดูดน้ำกลั่นให้พื้นขีดของ Viscometer เริ่มจับเวลาตั้งแต่ขีดบนจนถึงขีดล่าง จับเวลาซ้ำอีกครั้งนำเวลาที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อคำนวณหาค่าความหนืด
  6. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนน้ำกลั่นเป็นเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์
- ความหนืด = เวลาที่วัดได้ (วินาที)  $\times$  ค่าคงที่ของ Viscometer . (4.3)

#### 4.5.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์จุดวาบไฟมาตรฐาน ASTM D 92

1. ใสตัวอย่างลงใน Oil Cup ให้พอดีกับขีดและอย่าให้มีฟอง
2. จุดเปลวไฟทดสอบสำหรับทดสอบจุดวาบไฟ
3. ให้ความร้อนกับตัวอย่างในอัตรา  $14^{\circ}C$  ต่อนาที เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเข้าใกล้จุดวาบไฟที่คาดไว้ให้ลดความร้อนลงเหลือ  $2^{\circ}C$  ต่อนาที
4. ผ่านเปลวไฟทดสอบไปบนผิวหน้าของน้ำมันจากขอบถ้วยด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งในแนวราบเป็นรูปกากบาทอ่านจุดวาบไฟที่เกิดขึ้นโดยดูจากเทอร์โมมิเตอร์ที่จุ่มลงในตัวอย่าง
5. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์จุดไหลเทมาตรฐาน ASTM D 97

1. เทตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุที่ทำด้วยแก้วรูปทรงกระบอก ให้ระดับของเหลวสูงประมาณ 54 มิลลิเมตร
2. ใช้จุกคอร์คที่มีเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่ตรงกลางภาชนะที่มีตัวอย่างให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์จมลง 26 มิลลิเมตรจากผิวหน้าของตัวอย่าง
3. นำตัวอย่างที่เตรียมเรียบร้อยแล้วใส่ลงในอ่างปรับอุณหภูมิ
4. เริ่มหาจุดหยุดไหลเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าจุดหยุดไหลที่คาดไว้ประมาณ 12 องศาเซลเซียส โดยเอียงภาชนะบรรจุตัวอย่างทุก ๆ 2 °C จนกระทั่งตัวอย่างไม่ไหลภายใน 5 วินาที เมื่อภาชนะบรรจุตัวอย่างเอียงขนานกับพื้น
5. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง
6. การรายงานผลบวกอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีก 2 °C จากอุณหภูมิที่อ่านได้ เช่น อ่านได้ -2 °C ให้รายงานว่า 0 °C

#### 4.6 ขั้นตอนการทดสอบการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC F-06-A-96

##### 4.6.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงในครั้งนี้ทำการทดสอบด้วยเครื่อง High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC F-06-A-96 แสดงดังรูป 4.3 และ ชิ้นงานสำหรับทำการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 เครื่องทดสอบ High Frequency Reciprocating Rig (HFRR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

#### 4.6.2 ขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงาน

1. นำลูกบอลและแผ่นทดสอบใส่ลงในบีกเกอร์ที่มี Toluene โดยแผ่นทดสอบต้องนำด้านที่มันเงาหงายหน้าขึ้น แช่ทิ้งไว้หนึ่งคืนหลังจากนั้นทำความสะอาดด้วย ultrasonic bath เป็นเวลา 10 นาที และ acetone 2 นาที
2. นำชิ้นส่วนทุกชิ้นที่ต้องมีการสัมผัสกับน้ำมันทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวจับบอล, ตัวจับแผ่นทดสอบ, น็อตยึดแผ่นทดสอบ 2 ตัว, น็อตยึดอ่างน้ำมันและ ตัวจับบอล 3 ตัว, และ L key ใส่ลงในบีกเกอร์เดียวกัน แล้วทำความสะอาดด้วย Toluene เป็นเวลา 10 นาที ซ้ำอีกหนึ่งครั้งแต่ใช้ acetone โดยใช้เวลา 2 นาที ด้วยเครื่อง ultrasonic bath

#### 4.6.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

1. นำ แผ่นทดสอบวางลงในแท่นจับแผ่นทดสอบโดยนำด้านมันเงาขึ้นเท่านั้น
2. ใส่ ball ใน ตัวจับ ชั้นน็อต พอดีมือและนำไปประกอบกับตัวเครื่อง
3. ตรวจสอบ สถานะการทดสอบว่าเหมาะสมที่จะทำการทดสอบหรือไม่ โดยดู ค่า ความชื้นและอุณหภูมิ ใน Chart 1
4. นำสายเคเบิลคล้องกับตัว Upper นำน้ำหนัก 200 g มาแขวนที่ตัวเคเบิลโดยให้อยู่กึ่งกลาง
5. เสียบสาย Thermo couple ในรู Lower
6. เปิดโปรแกรม HFRPC ก่อนเครื่องจะขึ้นว่า Offline , ถ้าเปิดเครื่องแล้วจะขึ้นว่า Online
7. เลือกชนิดการทดสอบ (Test type)  
CEC-F-06-A-96 (สำหรับทดสอบน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล)
8. กด Save เครื่องก็จะ Run (สำหรับดีเซลใช้เวลาทดสอบประมาณ 75 นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

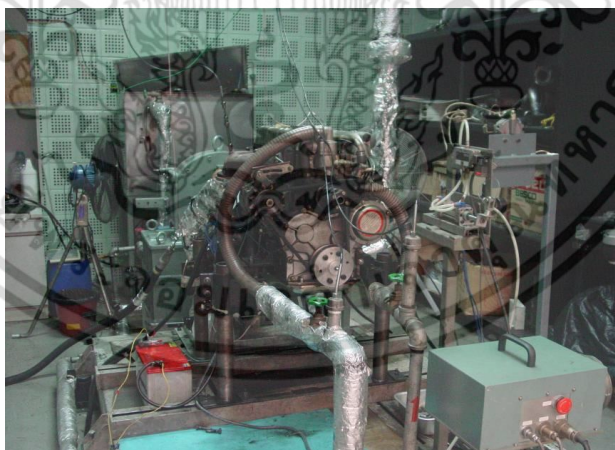
9. หลังจากจบการทดสอบให้นำมาล้าง Toluene และ acetone ด้วยเครื่อง ultrasonic bath เป็นเวลา 5 นาที

#### 4.7 ขั้นตอนในการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล

##### 4.7.1 ขั้นตอนการทดสอบกับเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์ทดสอบ YUNNEI รุ่น 4100QB-2

เครื่องยนต์	4 จังหวะ
กระบอกสูบ×ระยะชัก	100 x 115 มิลลิเมตร
จำนวนกระบอกสูบ	4 สูบ
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำ
ระบบห้องเผาไหม้	ไดเรคอินเจคชั่น
ปริมาตรกระบอกสูบ	3.612 ลิตร
รอบเดินเบา	800 รอบ
สัดส่วนการอัด	17.5:1
จังหวะการจุดระเบิด	1-3-4-2
กำลังสูงสุด (กิโลวัตต์/รอบต่อนาที)	66.2/3200
แรงบิดสูงสุด (นิวตัน-เมตร/รอบต่อนาที)	230/2200
อัตราการสิ้นเปลือง (กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)	238



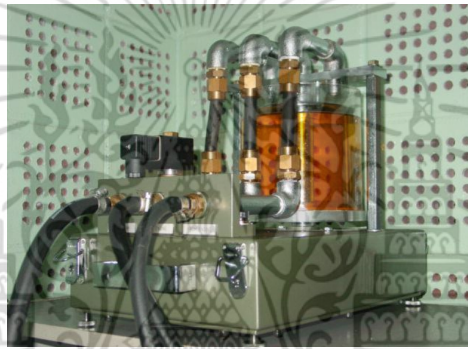
รูปที่ 4.5 แสดงเครื่องยนต์ทดสอบ YUNNEI รุ่น 4100QB-2

เครื่องยนต์ดีเซล YUNNEI รุ่น 4100QB-2 แบบฉีดตรง ชนิดปั๊มหัวฉีด (In-line pump) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ในรถบรรทุกขนาดเล็กเพื่อใช้ในการเกษตร แสดงดังรูปที่ 4.5 โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดง Engine Dynamometer



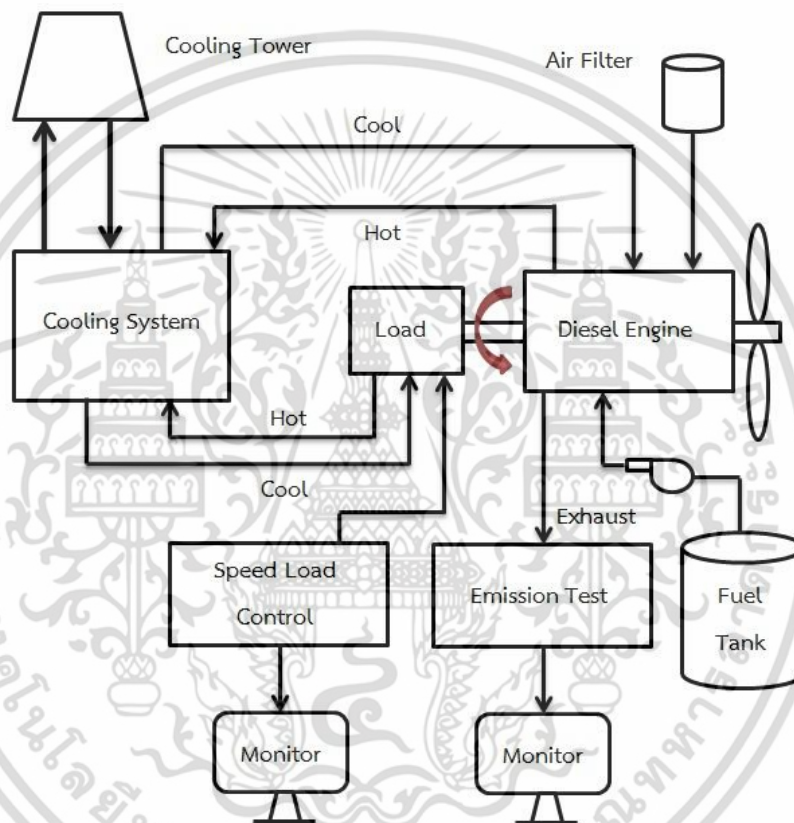
รูปที่ 4.7 แสดงเครื่อง Gravimetric Fuel Consumption Meter



รูปที่ 4.8 แสดง Gas Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบสมรรถนะและมลพิษจากเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ จะนำเครื่องยนต์ต่อเข้ากับไดนาโมมิเตอร์ (Engine Dynamometer) ประเภท Eddy Current ของบริษัท Tokyo Plant รุ่น DY-1000T มีกำลังขนาด 150 กิโลวัตต์และระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังแสดงตามรูปที่ 4.6 วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันโดยใช้ Gravimetric Fuel Consumption Meter ดังแสดงตามรูปที่ 4.7 โดยคำนวณจากน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้เทียบกับเวลา ข้อมูลของสมรรถนะและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจะแสดงผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป PDrive ของบริษัท Tokyo Plant ส่วนปริมาณมลพิษจากเครื่องยนต์จะสามารถตรวจสอบได้โดยเครื่อง Gas Analyzer ของบริษัท HORIBA รุ่น MEXA-1600D แสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งสามารถวัดค่าปริมาณแก๊สไอเสีย ได้แก่  $\text{NO}_x$  และปริมาณ THC



รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงไดอะแกรมขั้นตอนการทดสอบเครื่องยนต์

#### 4.7.2 วิธีการทดสอบ

1. ทำการติดตั้งเครื่องยนต์ทดสอบบนแท่นทดสอบ และต่อเครื่องยนต์เข้ากับไดนาโมมิเตอร์
2. เตรียมเชื้อเพลิงสำหรับทดสอบ
3. ทำการทดสอบสมรรถนะและมลพิษจากเครื่องยนต์แบบ Full Load Test โดยปรับคันเร่งของเครื่องยนต์ให้เร่งเต็มที่เท่ากับระดับที่เครื่องยนต์ถูกตั้งไว้จากโรงงานผู้ผลิต ซึ่งความเร็วรอบสูงสุดประมาณ 3,300 rpm
4. ปรับไดนาโมมิเตอร์เพื่อเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์ โดยให้ความเร็วรอบลดลงครั้งละ 200 rpm จนกระทั่งถึงความเร็วรอบต่ำสุดที่ทำการทดสอบคือ 800 rpm ในแต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในชื่อของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยฯ ได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ ทำการวัดค่าแรงบิด กำลัง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน และไอเสีย ได้แก่  $\text{NO}_x$  และ THC ซึ่งได้จากเครื่องทดสอบ Gas Analyzer (Horiba model MEXA-1600D with a 'MEXA-1600D' software version 1.0.9.0)

5. ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย
6. เปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถนะ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและปริมาณไอเสีย ของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 5.1 ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์, 0.4% KOH (wt/vol) , อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C , เวลา 60 นาที

สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (%)	การวิเคราะห์ค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมัน (GC)
1 : 6	-	ไม่ผ่าน
1 : 5	79	ไม่ผ่าน
1 : 4	80	ไม่ผ่าน
1 : 3	81	ไม่ผ่าน
1 : 2	82	ผ่าน

สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 มีค่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงที่สุดคือ 82% ที่สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 โดยที่สัดส่วนการผลิตดังกล่าวไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีลักษณะและคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงเวลาที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , 0.4%(wt / Vol)KOH , อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C

เวลา (min)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (cc)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (cc)	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับน้ำมันที่ใช้
30	250	200	80
60	250	205	82

ที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , 0.4% KOH (wt/vol) , อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที มีค่าเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับน้ำมันที่ใช้เท่ากับ 82% โดยในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาทีจะเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์มากกว่าการทำปฏิกิริยาที่เวลา 30 นาที ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เท่ากับ 82% โดยมีค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การผลิตได้ที่ 2% ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกทำการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่เวลา 60 นาที เนื่องจากมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C เวลา 60 นาที

เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ ปริมาตรน้ำมัน % KOH(wt/vol)	ปริมาณ น้ำมันที่ใช้ (cc)	ปริมาณ ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการ ล้างน้ำ (cc)	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เทียบกับน้ำมันที่ใช้
0.2	250	195	78
0.4	250	205	82
0.6	250	200	80

สารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) หมายถึงสารที่ช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น เป็นสารที่ไม่ได้เป็นวัตถุดิบ และไม่ถูกใช้ไปในปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ 1 : 2 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ที่เปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาตรน้ำมันที่ 0.4%KOH(wt/vol) มีค่าเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับน้ำมันที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 82% เมื่อเทียบกับที่เปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.2 และ 0.6%KOH(wt/vol)

ตารางที่ 5.4 แสดง ค่า PH ของน้ำมันจากการล้างไปโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นสัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , 0.4% KOH(wt/vol) , อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C ที่สัดส่วน  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  35% โดยน้ำหนักของไปโอดีเซล เวลาในการกวน 30 นาที

การล้างน้ำครั้งที่ น้ำมัน : น้ำ 1 : 2 (โดยปริมาตร)	PH	Yield หลังจากล้าง น้ำ
1	9.8	82
2	8.5	
3	7.0	

จากผลการทดลองการล้างสารเร่งปฏิกิริยาสบู่และเมทานอลออกจากไปโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 40 ° C พบว่าที่สัดส่วนเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาตรน้ำมันที่ 0.4%KOH(wt/vol) สามารถล้างสารเร่งปฏิกิริยาสบู่และเมทานอลออกจากน้ำมันได้อย่างหมดจด โดยต้องทำการล้างน้ำ 3 ครั้ง เพื่อปรับสภาพไปโอดีเซลให้เป็นกลาง จากนั้นทำการเติม  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ที่สัดส่วน 35% โดยน้ำหนักของไปโอดีเซล เพื่อกำจัดน้ำออกจากไปโอดีเซลเพื่อให้มีปริมาณน้ำ ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 0.050 ตามมาตรฐานคุณลักษณะและคุณภาพมาตรฐานของไปโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน ASTM D 2709

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ, 0.8% KOH(wt/vol) , อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C , เวลา 60 นาที

สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอล ต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (%)	การวิเคราะห์ความเป็น เอกลักษณ์ของน้ำมัน (GC)
1 : 5	74.28	ไม่ผ่านเกณฑ์ การทดสอบ
1 : 4	70.52	ไม่ผ่านเกณฑ์ การทดสอบ
1 : 3	71.04	ผ่านเกณฑ์การทดสอบ
1 : 2	62.92	ผ่านเกณฑ์การทดสอบ

ที่สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 มีค่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงที่สุดคือ 71.04% โดยทำการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานกำหนด

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงเวลาที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , 0.8%KOH(wt/vol) , อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C

เวลา (min)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (cc)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (cc)	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของ ผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับน้ำมันที่ใช้
30	250	155.9	62.35
60	250	177.6	71.04

ที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , 0.8%KOH (wt/vol) , อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที มีค่าเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับน้ำมันที่ใช้เท่ากับ 71.04% ทั้งนี้ในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาทีจะเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์มากกว่าการทำปฏิกิริยาที่เวลา 30 นาที ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เท่ากับ 62.35% โดยมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การผลิตได้ที่ 8.69% ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่เวลา 60 นาที เนื่องจากมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , เวลา 60 นาที

เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ ปริมาตรน้ำมัน %(wt/vol)KOH	ปริมาณ น้ำมันที่ใช้ (cc)	ปริมาณ ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการ ล้างน้ำ (cc)	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เทียบกับน้ำมันที่ใช้
0.6	250	196.2	78.48
0.8	250	177.6	71.04
1.0	250	170.9	68.36

สารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) หมายถึงสารที่ช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น เป็นสารที่ไม่ได้เป็นวัตถุดิบ และไม่ถูกใช้ไปในปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาทีที่เปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาต่อมวลน้ำมัน %KOH (wt/vol) ที่ 0.8 ให้ค่าเปอร์เซ็นต์โดยมวลของผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับน้ำมันที่ใช้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 71.04% ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้เปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาตรน้ำมันที่ 0.8%(wt/vol)KOH

ตารางที่ 5.8 แสดง ค่า PH ของน้ำมันจากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นสัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60 °C ที่สัดส่วน Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 35% โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล

สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ โดยมวล ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ ปริมาตรน้ำมัน %KOH(wt/vol)	PH ล้างน้ำครั้งที่ 1	PH ล้างน้ำครั้งที่ 2	PH ล้างน้ำครั้งที่ 3	PH ล้างน้ำครั้งที่ 4
0.6	10.2	8.6	7.0	-
0.8	10.9	10.0	7.8	6.5
1.0	10.8	10.0	8.5	7.0

จากผลการทดลองการล้างสารเร่งปฏิกิริยาสบู่และเมทานอลออกจากไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 40 °C พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้จำนวนครั้งในการล้างไบโอดีเซลเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ที่สัดส่วนเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาตรน้ำมันที่ 0.8%KOH(wt/vol) สามารถล้างสารเร่งปฏิกิริยาสบู่และเมทานอลออกจากน้ำมันได้อย่างหมดจด โดยต้องทำการล้างน้ำ 4 ครั้ง เพื่อปรับสภาพไบโอดีเซลให้เป็นกลาง จากนั้นทำการเติม Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ที่สัดส่วน 35% โดยน้ำหนักของไบโอดีเซลเพื่อกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซลเพื่อให้มีปริมาณน้ำ ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 0.050 ตามมาตรฐานคุณลักษณะและคุณภาพมาตรฐานของไบโอดีเซลประเภท เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน ASTM D 2709

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆเมื่อใช้ไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นส่วนผสม

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 1298

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Density@15 °C (g/cm <sup>3</sup> )
Diesel Oil	0.8281
100%Biodiesel (RPO)	0.8749
D95B5 (RPO)	0.8388
D95B10 (RPO)	0.8410
D95E5B5 (RPO)	0.8372
D95E5B10 (RPO)	0.8386
D95E10B5 (RPO)	0.8344

จากผลการทดลองตารางที่ 5.9 เมื่อมีการผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนการผสมที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในด้านการผลิตเป็นดีเซลหรืออัตราส่วนการผสมต่อการนำมาไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่ำ จะมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาแน่นถือเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล โดยค่าความหนาแน่นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิงเมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากขึ้นจะมีผลทำให้มีค่าพลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซล แต่มีค่าปริมาณพลังงานความร้อนโดยรวมที่ต่ำกว่า ความหนาแน่นของไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.8749 g/cm<sup>3</sup> ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล กรมธุรกิจพลังงาน ทั้งนี้วัตถุดิบน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลที่ตกค้างไปไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำขึ้นด้วย เนื่องจากการทดลองนี้ได้มีการล้างเมทานอลได้อย่างหมดจดจึงไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นที่มีการเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 445

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Viscosity 40 °C (cSt)
Diesel Oil	3.18
100%Biodiesel (RPO)	4.62
D95B5 (RPO)	3.73
D95B10 (RPO)	3.75
D95E5B5 (RPO)	3.33
D95E5B10 (RPO)	3.41
D95E10B5 (RPO)	3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบความหนืดซึ่งเกี่ยวข้องกับกำไลด การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีด ในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยละอองขนาดเล็กจะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบจากผลการทดลองดีโซลล์และไบโอดีเซลผสมที่อัตราส่วนการผสมต่างๆมีค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน โดยไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ผลิตได้มีค่าความหนืดเท่ากับ 4.62 ตามเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลที่กำหนดให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C ของไบโอดีเซลมีค่าอยู่ในช่วง 3.5-5 cSt ค่าความหนืดยังเป็นดัชนีแสดงการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซล อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกทางหนึ่ง จากผลการทดลองค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ผลิตจากไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ยังคงมีค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่กำหนดไว้สูงสุดที่ 4.1 cSt ทั้งนี้กำหนดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C ตามลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วประเภทกรมธุรกิจพลังงานต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1 cSt ส่วนน้ำมันดีเซลหมุนช้า ข้อกำหนดค่าความหนืดจะต้องไม่สูงกว่า 8.0 cSt

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 93

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Flash Point (°C)
Diesel Oil	65
100%Biodiesel (RPO)	166
D95B5 (RPO)	58
D95B10 (RPO)	62
D95E5B5 (RPO)	26
D95E5B10 (RPO)	26
D95E10B5 (RPO)	26

จุดวาบไฟเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอของน้ำมัน แล้วทำให้น้ำมันติดไฟ ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ASTM D93 กำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 120 °C ทั้งนี้ปริมาณเมทานอลที่หลงเหลือในไบโอดีเซลทำให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ ปริมาณเมทานอลที่ยังคงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณมากกว่า 0.2% ส่งผลให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่า 100 °C

จากผลการทดลองไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ผลิตได้มีค่าจุดวาบไฟเท่ากับ 166 °C ซึ่งมากกว่า 120 °C ที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด จึงมีความสะดวกในการขนส่ง เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ สามารถจัดเก็บไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ไว้ในที่เดียวกันกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน โดยไม่จำเป็นต้องแยกพื้นที่ในการจัดเก็บ

จากผลการทดลองดีโซลล์ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆพบว่า น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากการทดลองมีค่าจุดวาบไฟต่ำกว่าจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ASTM D93 กำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟไม่ต่ำกว่า 52 °C ได้แก่ดีโซลล์สูตร D95E5B5 D95E5B10 D95E10B5 จำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการขนส่ง เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ ทั้งนี้เมื่อมีการผสมเอทานอลลงไปในน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีผลทำให้จุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าลดลง

โดยจากผลการทดลองไบโอดีเซลที่อัตราส่วนการผสม D95B5 และ D95B10 มีค่าจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนด คือ 58 และ 62 °C ตามลำดับ

**ตารางที่ 5.12** แสดงผลการวิเคราะห์จุดไหลเทของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 97

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Pour point (°C)
Diesel Oil	1
100%Biodiesel (RPO)	16

คุณสมบัติการไหลได้ที่อุณหภูมิต่ำ เป็นการวัดความสามารถในการใช้งานเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำหรือในภูมิภาคที่มีอากาศหนาวเย็น สำหรับไบโอดีเซลที่มีจุดแข็งตัวสูง จะมีคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำไม่ดีเท่าน้ำมันดีเซล คุณสมบัตินี้วัดได้ด้วยการใช้จุดขุ่นและจุดไหลเท (Cloud Point and Pour Point) โดยจุดไหลเท คืออุณหภูมิที่เชื้อเพลิงกลายเป็นขุ่นข้นจนไม่สามารถสูบขึ้นได้ โดยทั่วไปจุดไหลเทจะมีค่าต่ำกว่าจุดขุ่น จากผลการทดลองพบว่าไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์มีจุดไหลเทเท่ากับ 16 °C ซึ่งเป็นไปตามลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้าตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดค่าอุณหภูมิจุดไหลเทน้ำมันดีเซลหมุนเร็วอุณหภูมิไม่สูงกว่า 10 °C และน้ำมันดีเซลหมุนช้ามีค่าอุณหภูมิจุดไหลเทไม่สูงกว่า 16 °C

**ตารางที่ 5.13** แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 240

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Heating Value (MJ/kg)
Diesel Oil	41.64
D95B5 (RPO)	39.37
D95B10 (RPO)	38.92
D95E5B5 (RPO)	38.87
D95E5B10 (RPO)	36.79
D95E10B5 (RPO)	35.59

ค่าความร้อนเป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นต่อน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงนั้นถูกเผาไหม้ จากผลการทดลองไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ผสมที่อัตราส่วนการผสมต่างๆที่ผลิตได้จากการทดลองมีค่าทางความร้อนสูงกว่าดีเซลที่ทุกอัตราส่วนการผสม โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลหรือไบโอดีเซลเข้าไปในน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง โดยดีเซลที่อัตราส่วนการผสมต่างๆที่ผลิตได้จากการทดลองจะมีค่าความร้อนต่ำกว่าไบโอดีเซลผสมในทุกร้อยอัตราส่วนการผสมที่ผลิตได้จากการทดลอง

**ตารางที่ 5.14** แสดงผลการวิเคราะห์การกัดกร่อนแผ่นทองแดงของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 130

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Copper Strip Corrosion
Diesel Oil	1a
100%Biodiesel (RPO)	1a

ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ได้จากการทดลองมีค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดงไม่สูงกว่าหมายเลข 1 ตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอ์ของกรดไขมันและข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน โดยค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดง แสดงถึงการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ดีเซล อันเนื่องมาจากปริมาณกรด และสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำมัน จากผลการทดลองไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์สามารถนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลอันเนื่องมาจากการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ และไม่ก่อให้เกิดผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

#### 5.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำเป็นส่วนผสม

**ตารางที่ 5.15** แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 1298

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Density@15 °C (g/cm <sup>3</sup> )
Diesel Oil	0.8281
100%Biodiesel (JTP)	0.8816
D95B5 (JTP)	0.8399
D95B10 (JTP)	0.8416
D95E5B5 (JTP)	0.8376
D95E5B10 (JTP)	0.8395
D95E10B5 (JTP)	0.8351

จากผลการทดลองตารางที่ 5.15 เมื่อมีการผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนการผสมที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในด้านการผลิตเป็นดีเซลที่อัตราส่วนการผสมต่ำหรือการนำมาไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่ำ จะมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาแน่นถือเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล โดยค่าความหนาแน่นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิงเมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากขึ้นจะมีผลทำให้มีค่าพลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซล แต่มีค่าปริมาณพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนโดยรวมที่ต่ำกว่า ความหนาแน่นของไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ  $0.8816 \text{ g/cm}^3$  ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล กรมธุรกิจพลังงาน

**ตารางที่ 5.16** แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 445

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Viscosity $40^\circ\text{C}$ (cSt)
Diesel Oil	3.18
100%Biodiesel (JTP)	4.81
D95B5 (JTP)	3.77
D95B10 (JTP)	3.88
D95E5B5 (JTP)	3.61
D95E5B10 (JTP)	3.65
D95E10B5 (JTP)	3.51

จากผลการทดลองดีเซลและไบโอดีเซลผสมที่อัตราส่วนการผสมต่างๆมีค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน โดยไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ผลิตได้มีค่าความหนืดเท่ากับ 4.81 cSt ตามเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลที่กำหนดให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$  ของไบโอดีเซลมีค่าอยู่ในช่วง 3.5-5 cSt ค่าความหนืดยังเป็นดัชนีแสดงการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซล อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกทางหนึ่ง จากผลการทดลองค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ผลิตจากไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ยังคงมีค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่กำหนดไว้สูงสุดที่ 4.1 cSt ทั้งนี้กำหนดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$  ตามลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วประเภทกรมธุรกิจพลังงานต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1 cSt ส่วนน้ำมันดีเซลหมุนช้าข้อกำหนดค่าความหนืดจะต้องไม่สูงกว่า 8.0 cSt

**ตารางที่ 5.17** แสดงผลการวิเคราะห์ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 93

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Flash Point ( $^\circ\text{C}$ )
Diesel Oil	65
100%Biodiesel (JTP)	158
D95B5 (JTP)	57
D95B10 (JTP)	61
D95E5B5 (JTP)	26
D95E5B10 (JTP)	26
D95E10B5 (JTP)	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ASTM D93 กำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า  $120^{\circ}\text{C}$  ทั้งนี้ปริมาณเมทานอลที่หลงเหลือในไบโอดีเซลทำให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ จากผลการทดลองไบโอดีเซลน้ำมันสบู่ดำที่ผลิตได้มีค่าจุดวาบไฟเท่ากับ  $158^{\circ}\text{C}$  ซึ่งมากกว่า  $120^{\circ}\text{C}$  ที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด จึงมีความสะดวกในการขนส่ง เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ สามารถจัดเก็บไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ไว้ในที่เดียวกันกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน โดยไม่จำเป็นต้องแยกพื้นที่ในการจัดเก็บ จากผลการทดลองดีโซฮอล์ที่อัตราส่วนผสมต่างๆพบว่า น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากการทดลองมีค่าจุดวาบไฟต่ำกว่าจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ASTM D93 กำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟไม่ต่ำกว่า  $52^{\circ}\text{C}$  ทั้งนี้ น้ำมันดีโซฮอล์สูตร D95E5B5 D95E5B10 D95E10B5 จำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการขนส่ง เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ ทั้งนี้เมื่อมีการผสมเอทานอลลงไป น้ำมันเชื้อเพลิงจะมีผลทำให้จุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าลดลง โดยจากการทดลองไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสม D95B5 และ D95B10 มีค่าจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนด คือ  $57^{\circ}\text{C}$  และ  $61^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ

ตารางที่ 5.18 แสดงผลการวิเคราะห์จุดไหลเทของของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 97

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Pour point ( $^{\circ}\text{C}$ )
Diesel Oil	1
100%Biodiesel (JTP)	2

จากผลการทดลองพบว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำมีจุดไหลเทเท่ากับ  $2^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นไปตามลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้าตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดค่าอุณหภูมิจุดไหลเทน้ำมันดีเซลหมุนเร็วอุณหภูมิไม่สูงกว่า  $10^{\circ}\text{C}$  และน้ำมันดีเซลหมุนช้ามีค่าอุณหภูมิจุดไหลเทไม่สูงกว่า  $16^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 5.19 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 240

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Heating Value (MJ/kg)
Diesel Oil	41.64
D95B5 (JTP)	39.25
D95B10 (JTP)	38.41
D95E5B5 (JTP)	38.60
D95E5B10 (JTP)	36.46
D95E10B5 (JTP)	35.25

ค่าความร้อนเป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงนั้นถูกเผาไหม้ จากผลการทดลองไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่อัตราส่วนผสมต่างๆที่ผลิตได้จากการทดลองมีค่าทางความร้อนสูงกว่าดีโซฮอล์ที่ทุกอัตราส่วนผสม โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลหรือไบโอดีเซลเข้าไปในน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง โดยดีโซฮอล์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าเอกสารนี้ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสม กรุณาแจ้งให้ทราบทันที และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนการผสมต่างๆที่ผลิตได้จากการทดลองจะมีค่าความร้อนต่ำกว่าไบโอดีเซลผสมในทุกอัตราส่วนการผสมที่ผลิตได้จากการทดลอง

**ตารางที่ 5.20** แสดงผลการวิเคราะห์การกัดกร่อนแผ่นทองแดงของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการผลิต ASTM D 130

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	Copper Strip Corrosion
Diesel	1a
100%Biodiesel (JTP)	1a

ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ได้จากการทดลองมีค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดงไม่สูงกว่าหมายเลข 1 ตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน โดยค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดง แสดงถึงการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ดีเซล อันเนื่องมาจากปริมาณกรด และสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำมัน จากผลการทดลองไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำสามารถนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลอันเนื่องมาจากการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ และไม่ก่อให้เกิดผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

**ตารางที่ 5.21** แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมาตรฐาน

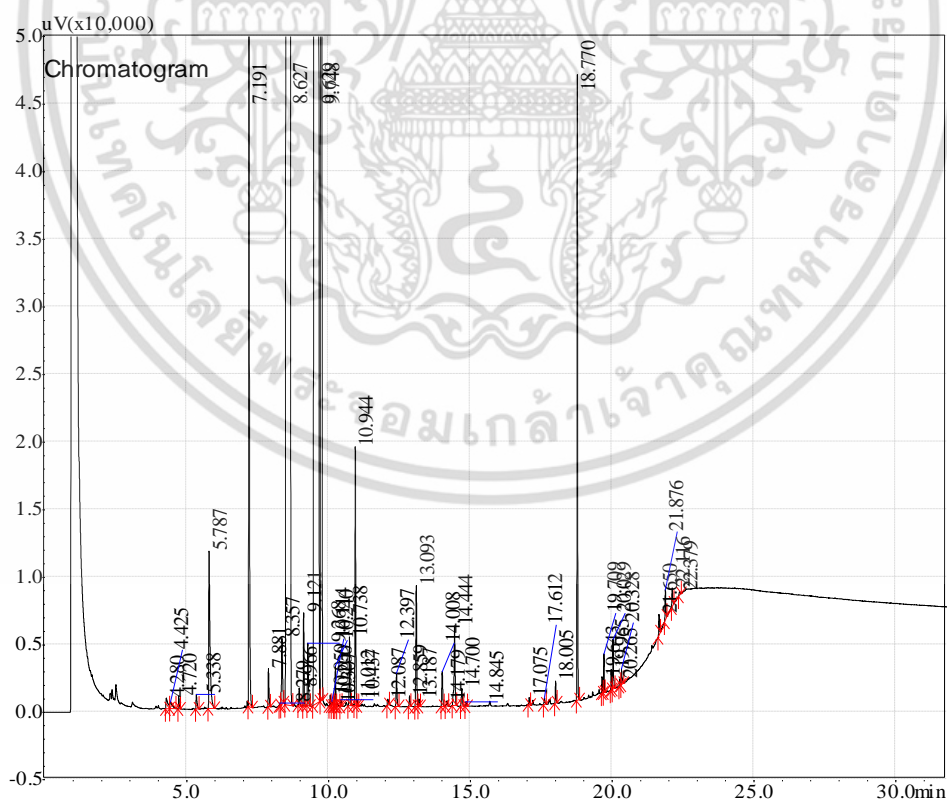
Properties	High Speed Diesel	Low Speed Diesel	Diesel	100% Biodiesel (RPO)	100% Biodiesel (JTP)
Specific Gravity @15.6/15.6 °C ASTM D 1298	0.81 min. - 0.87 max.	0.920 max.	0.8286	0.8754	0.8821
Kinematic Viscosity at 40°C ASTM D 445 (cSt.)	1.8 – 4.1	8.0 max.	3.18	4.62	4.81
Pour Point °C ASTM D 97 (°C)	10 max.	16 max.	1	16	2
Flash Point °C ASTM D 93 (°C)	52 min.	66 min.	65	166	158
Corrosion ASTM D 130	No.1 max.	-	No.1	No.1	No.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของเมทิลเอสเทอร์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

ตารางที่ 5.22 แสดงลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ที่สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 3 , 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C

ที่	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		ไบโอดีเซลจาก ไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์
1	โมนอกลิเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.80	0.114832
2	ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	0.149433
3	ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	0.390362
4	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	0.02
5	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.25	0.114



รูปที่ 5.1 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ที่สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 3 , 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C

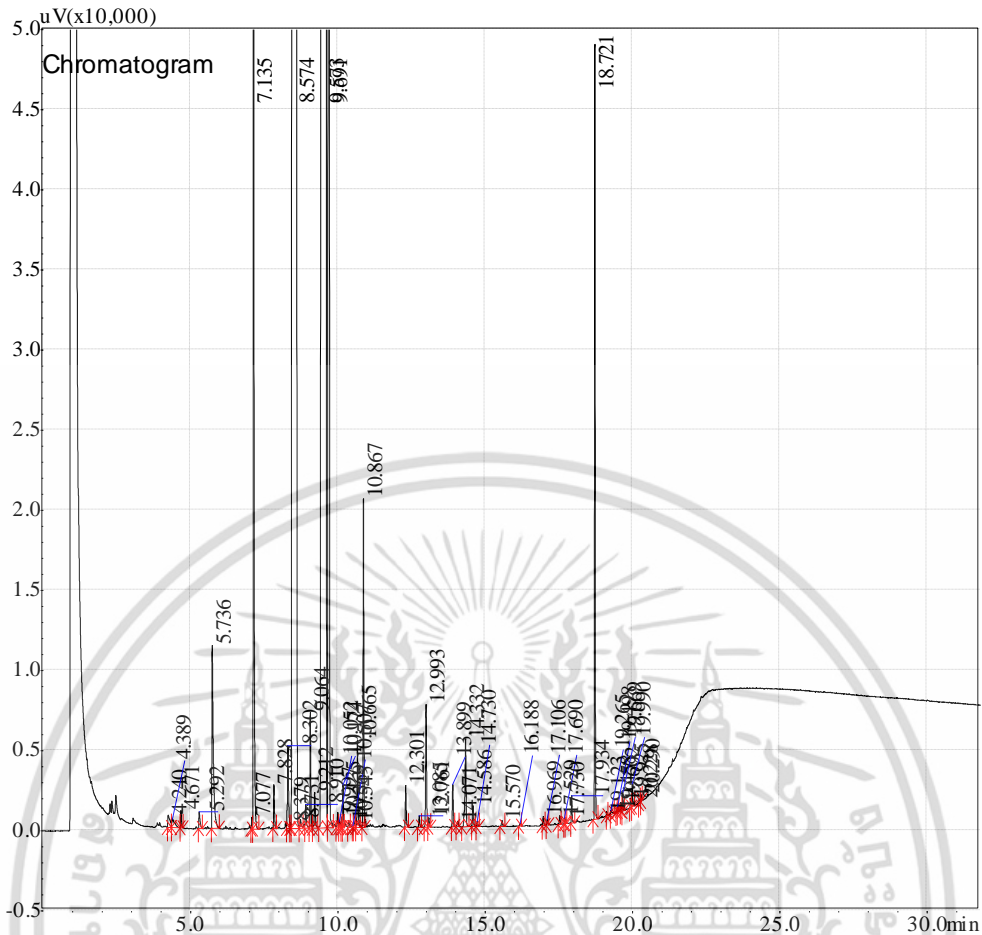
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น เมื่อผู้ผลิตเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่าการฉ้อโกง ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 3 ที่ 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณ Monoglycerides มีค่าเท่ากับ 0.114832 ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ 0.8 ปริมาณ Diglycerides มีค่าเท่ากับ 0.149433 ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ 0.2 และมี Free Glycerin เท่ากับ 0.02 และ Total Glycerin 0.114 ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงาน กำหนดที่ 0.02 และ 0.25 ตามลำดับ แต่มีค่า Triglyceride เท่ากับ 0.390362 ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานไบโอดีเซลที่กรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดปริมาณไว้ที่ 0.2 ทั้งนี้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ที่สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 3 ที่ 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิ 60 ° C ที่ใช้ในการทดลองนี้ ถ้านำไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองนี้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ จะส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด และวาล์วภายในเครื่องยนต์

ตารางที่ 5.23 แสดงลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ที่สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C

ที่	ข้อกำหนด		อัตราสูงสุด		ไบโอดีเซลจาก ไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์
1	โมโนกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.80	0.200107
2	ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	0.094159
3	ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	0.081227
4	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	0.02
5	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.25	0.096

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สกัดด้วยปริมาตรเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 ที่ 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C

จากผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่สกัดด้วยปริมาตรเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 ที่ 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณ Monoglycerides Diglycerides Triglyceride Free Glycerin และ Total Glycerin ไม่เกินค่ามาตรฐานไบโอดีเซลที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด

ไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ในสัดส่วนการผสมดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อทำการผลิตดีเซลและไบโอดีเซลที่สัดส่วนการผสมต่ำในขั้นตอนต่อไป โดยปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันแสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ทั้งนี้เมื่อนำไบโอดีเซลที่สัดส่วนการผสมดังกล่าวมาทดสอบกับเครื่องยนต์ จะไม่ก่อให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด และวาล์วภายในเครื่องยนต์

ตารางที่ 5.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการผลิตโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสมที่แตกต่างกัน

สัดส่วนโดยปริมาตร เมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	%KOH (wt/vol)	Yield (%)	ความหนืด (cSt)
1 : 2	0.4	82	4.62
1 : 2	0.6	75	4.60

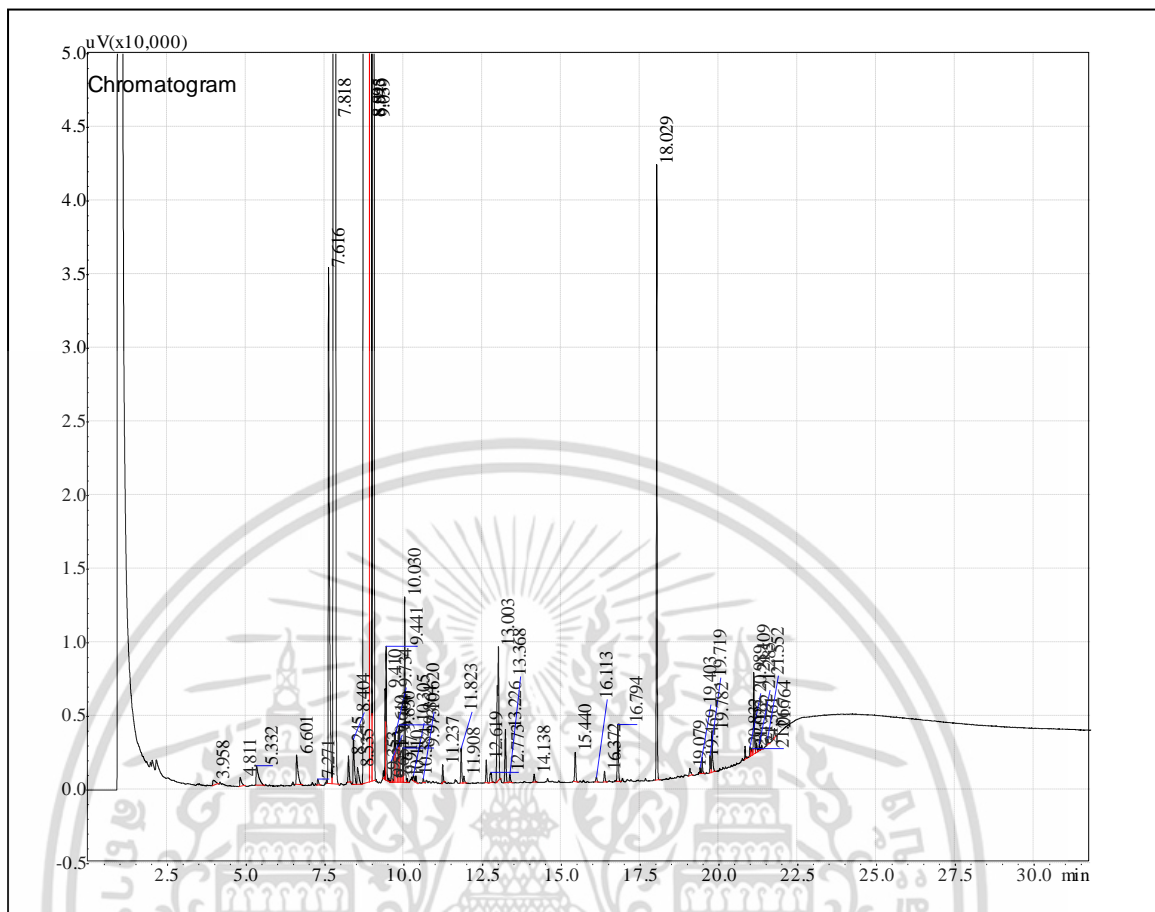
จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , 0.4%(wt/vol)KOH อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60 ° C กับที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , 0.6%(wt/vol)KOH อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60 ° C พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2, 0.4%(wt/vol)KOH อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตดีโซฮอลล์ในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากให้ผลผลิตได้ที่สูงกว่า โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 7%

## 5.6 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

ตารางที่ 5.25 แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่ สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , 0.8%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 ° C

ที่	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	ไบโอดีเซลจาก ไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	
1	โมนอกลิเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.80	0.123957
2	ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	0.169083
3	ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	0.163456
4	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.02	0.01
5	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.25	0.085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



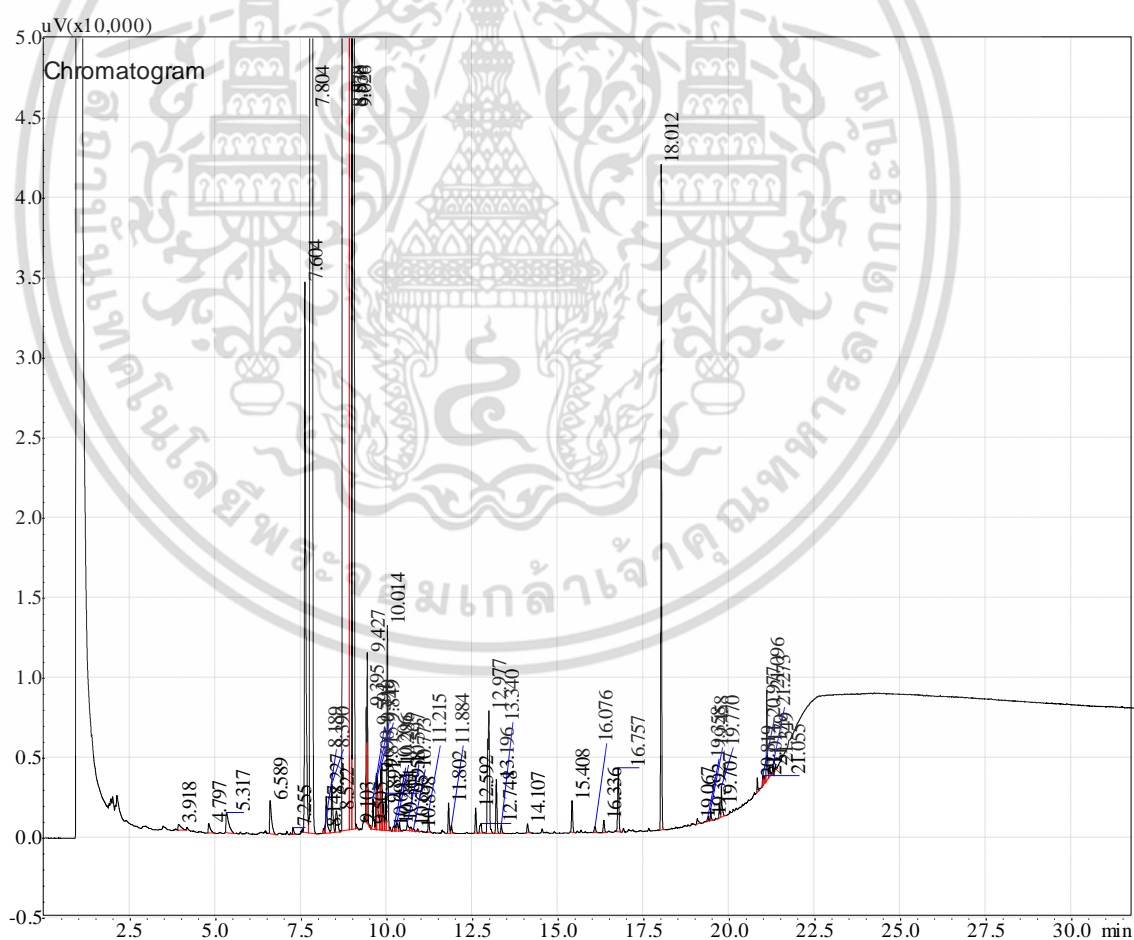
รูปที่ 5.3 โครมาโทแกรมของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำสกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อ น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , 0.8%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 ° C

จากผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อ น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , 0.8%(wt/vol)KOH ที่อุณหภูมิ 60 ° C พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณ Monoglycerides Diglycerides และ Triglyceride ไม่เกินค่ามาตรฐานไบโอดีเซลที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด รวมทั้งมี Free Glycerin และ Total Glycerin ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด

ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ทำการผลิตที่สกัดส่วนการผสมดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อทำการผลิตดีโซฮอล์และไบโอดีเซลที่สกัดส่วนการผสมต่ำในขั้นตอนต่อไป โดยปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันแสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ทั้งนี้เมื่อนำไบโอดีเซลที่สกัดส่วนการผสมดังกล่าวมาทดสอบกับเครื่องยนต์ จะไม่ก่อให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด และวาล์วภายในเครื่องยนต์

ตารางที่ 5.26 แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่ สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบูดำ 1 : 2 , 0.8%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 ° C

ที่	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		ไบโอดีเซลจาก ไขน้ำมันปาล์ม บริสุทธิ์
			ไม่สูงกว่า		
1	โมนอกลิเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.80	0.150576
2	ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	0.100001
3	ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	0.162898
4	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	0.01
5	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.25	0.083



รูปที่ 5.4 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบูดำ สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบูดำ 1 : 2 , 0.8%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 ° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

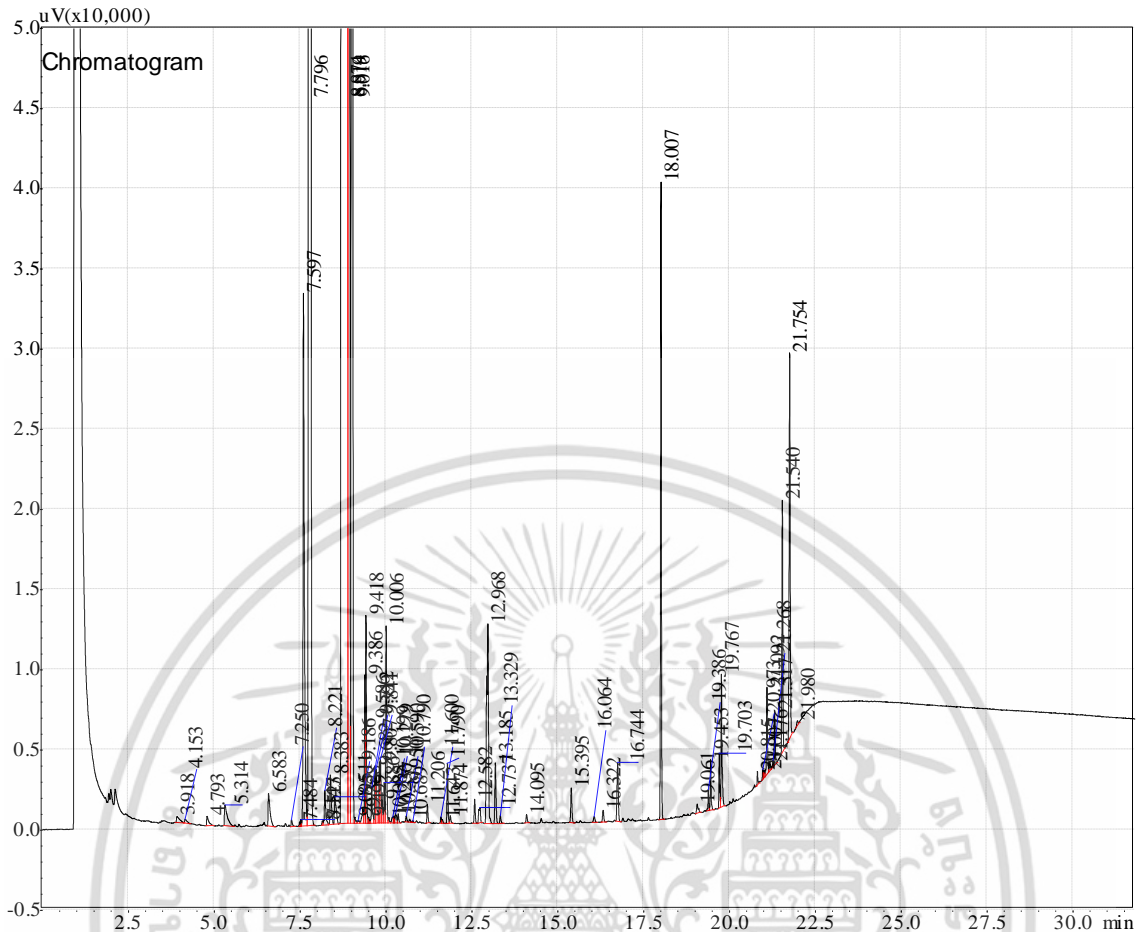
จากผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่ สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อ น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 2 , 0.8%(wt/vol)KOH ที่อุณหภูมิ 60 ° C พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณ Monoglycerides Diglycerides และ Triglyceride ไม่เกินค่ามาตรฐานไบโอดีเซลที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด รวมทั้งมี Free Glycerin และ Total Glycerin ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด

ทั้งนี้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ในสัดส่วนการผสมนี้ โดยถ้านำไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองนี้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์จะส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด และวาล์วภายในเครื่องยนต์

**ตารางที่ 5.27** แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่ สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อ น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3, 0.6%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 ° C

ที่	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		ไบโอดีเซลจาก ไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์
1	โมโนกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.80	0.136552
2	ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	0.275274
3	ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	0.258137
4	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	0.01
5	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.25	0.116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



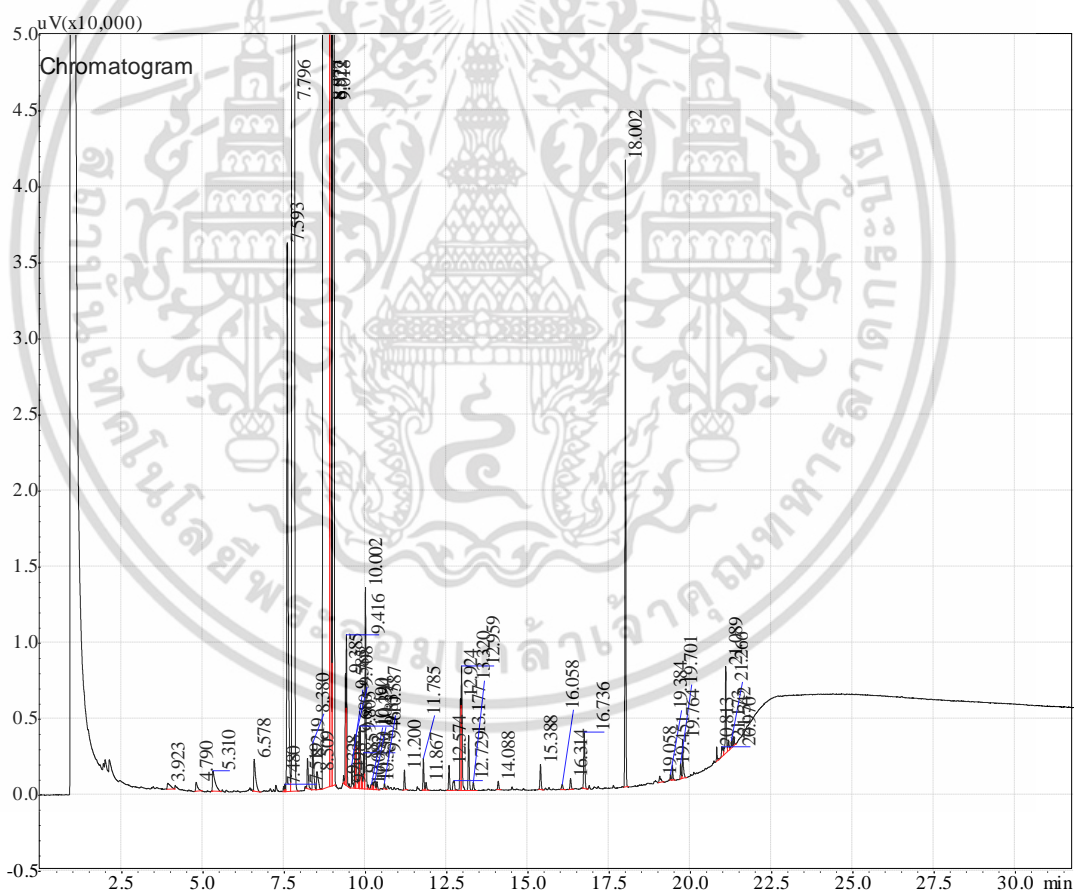
รูปที่ 5.5 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3, 0.6%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 °C

จากผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่ สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อ น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3, 0.6%(wt/vol)KOH ที่อุณหภูมิ 60 °C พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณ Monoglycerides ไม่เกินค่ามาตรฐานไบโอดีเซลที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด แต่มีค่า Diglycerides และ Triglyceride ที่เกินค่ามาตรฐานไบโอดีเซลที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด รวมทั้งมี Free Glycerin และ Total Glycerin ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด

ทั้งนี้ปริมาณโมโนกลีเซอไรต์, ไดกลีเซอไรต์ และไตรกลีเซอไรต์ แสดงถึงความสมบูรณ์ของ ปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรต์, ไดกลีเซอไรต์ และไตรกลีเซอไรต์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ในสัดส่วนการผสมนี้ โดยถ้านำไปโอดีเซลที่ได้จากการทดลองนี้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์จะส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด และวาล์วภายในเครื่องยนต์

ตารางที่ 5.28 แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่ สกัดส่วนโดยปริมาตร เมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3, 1%(wt/vol)KOH , อุณหภูมิ 60 °C

ที่	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		ไบโอดีเซลจาก ไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์
1	โมนอกลิเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.80	0.113987
2	ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	0.101481
3	ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	0.151621
4	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	0.02
5	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.25	0.075



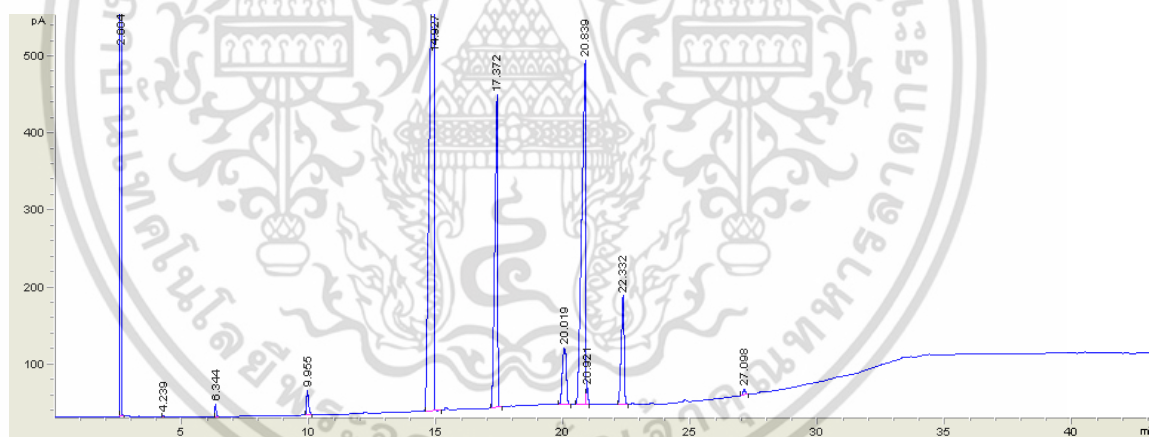
รูปที่ 5.6 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอล ต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3, 1%(wt / wt)KOH , อุณหภูมิ 60 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อ น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 2 , 0.8%(wt/vol)KOH ที่อุณหภูมิ 60 ° C พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณ Monoglycerides Diglycerides และ Triglyceride ไม่เกินค่ามาตรฐานไบโอดีเซลที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด รวมทั้งมี Free Glycerin และ Total Glycerin ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด

ทั้งนี้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ในสัดส่วนการผสมนี้ โดยถ้านำไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองนี้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์จะส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด และวาล์วภายในเครื่องยนต์ จากผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือที่เปอร์เซ็นต์โดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.8%KOH(wt/vol) และเมื่อใช้เปอร์เซ็นต์โดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1%KOH(wt/vol) พบว่าไบโอดีเซลที่เปอร์เซ็นต์ที่ได้มีเปอร์เซ็นต์การผลิตได้ (yield) ที่ต่ำกว่า จึงพิจารณาเลือกใช้ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่ 0.8%KOH(wt/vol) ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำในขั้นตอนต่อไป

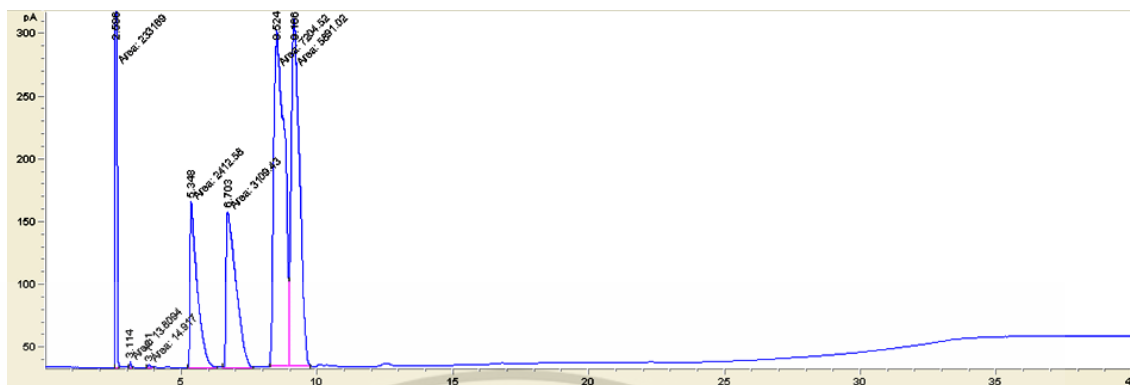
## 5.7 แสดงค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ผลิตได้จากการทดลอง



รูปที่ 5.7 แสดงค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ผลิตได้จากการทดลอง

ทั้งนี้ค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากการทดลองที่สกัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 ที่ 0.4%KOH(wt/vol) ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ° C มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้คือ 97.75% จากเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดคือ 96.5%

## 5.8 แสดงค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ผลิตได้จากการทดลอง



รูปที่ 5.8 แสดงค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ผลิตได้จากการทดลอง

หึ่งนี้ค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากการทดลองที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอล ต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 ที่ 0.8%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C มีค่าสูงกว่า เกณฑ์มาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้คือ 98.38% จากเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดคือ 96.5%

## 5.9 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากไข น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นส่วนผสม

ตารางที่ 5.29 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซลจากไขน้ำมัน ปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง 25°C โดยใช้เอทานอล ค่าความบริสุทธิ์ที่ 95%

น้ำมันดีเซล	เอทานอล	ไบโอดีเซลจาก ไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	การละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ของดีโซฮอล์
95	5	5	เกิดการแยกชั้น
95	5	10	เกิดการแยกชั้น
95	5	15	เกิดการแยกชั้น
95	5	20	เกิดการแยกชั้น
95	5	25	เกิดการแยกชั้น
95	5	30	เกิดการแยกชั้น
95	5	35	เกิดการแยกชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.30 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 35°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 95%

น้ำมันดีเซล	เอทานอล	ไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์	การละลายเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์
95	5	5	เกิดการแยกชั้น
95	5	10	เกิดการแยกชั้น
95	5	15	เกิดการแยกชั้น
95	5	20	เกิดการแยกชั้น
95	5	25	เกิดการแยกชั้น
95	5	30	เกิดการแยกชั้น
95	5	35	เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ 5.31 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง 25°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9%

น้ำมันดีเซล	เอทานอล	ไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์	การละลายเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์
95	5	5	เนื้อเดียว
95	5	10	เนื้อเดียว
95	5	15	เนื้อเดียว
95	5	20	เนื้อเดียว
95	5	25	เนื้อเดียว
95	5	30	เนื้อเดียว
95	5	35	เนื้อเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.32 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 35°C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9%

น้ำมันดีเซล	เอทานอล	ไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์	การละลายเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์
95	5	5	เนื้อเดียว
95	5	10	เนื้อเดียว
95	5	15	เนื้อเดียว
95	5	20	เนื้อเดียว
95	5	25	เนื้อเดียว
95	5	30	เนื้อเดียว
95	5	35	เนื้อเดียว

การแยกชั้นระหว่างน้ำมันดีเซลกับเอทานอลเป็นผลมาจากคุณสมบัติของเอทานอลและน้ำที่มีอยู่ในเอทานอล จากผลการทดลองจากตารางที่ 5.29 - 5.32 เอทานอลในปริมาณที่น้อยสามารถละลายในน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณมากได้โดยไม่เกิดการแยกชั้น ดังนั้นเมื่อนำไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์มาใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในของผสมดีโซฮอล์จะสามารถทำให้ดีเซลและเอทานอลผสมเข้ากันได้โดยไม่แยกชั้น ดังนั้นความเป็นอิมัลชันของดีโซฮอล์จึงมีความเสถียร นำดีโซฮอล์ในอัตราส่วนการผสมต่างๆมาทดสอบถึงลักษณะการแยกชั้นเมื่อถูกเก็บไว้ในสภาวะควบคุมเป็นเวลา 6 เดือน ดีโซฮอล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ยังคงใสและไม่เกิดการแยกชั้น ทั้งนี้การแยกชั้นระหว่างน้ำมันดีเซลกับเอทานอลเป็นผลมาจากคุณสมบัติของเอทานอลและน้ำที่มีอยู่ในเอทานอล ซึ่งเอทานอลมีโครงสร้างทางเคมีเป็นแบบมีขั้ว ส่วนน้ำมันดีเซลมีโครงสร้างทางเคมีเป็นแบบไม่มีขั้ว จากผลการทดลองพบว่าที่เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9% อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตดีโซฮอล์ที่ 25 °C และ 35 °C สามารถผลิตดีโซฮอล์ได้โดยไม่เกิดลักษณะการแยกชั้นของดีโซฮอล์ที่ทำการผลิต เมื่อถูกเก็บไว้ในสภาวะควบคุมเป็นเวลา 6 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.10 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอลล์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำเป็นส่วนผสม

ตารางที่ 5.33 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอลล์ผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง  $25^{\circ}\text{C}$  โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 95%

น้ำมันดีเซล	เอทานอล	ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	การละลายเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอลล์
95	5	5	เกิดการแยกชั้น
95	5	10	เกิดการแยกชั้น
95	5	15	เกิดการแยกชั้น
95	5	20	เกิดการแยกชั้น
95	5	25	เกิดการแยกชั้น
95	5	30	เกิดการแยกชั้น
95	5	35	เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ 5.34 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอลล์ผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $35^{\circ}\text{C}$  โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 95%

น้ำมันดีเซล	เอทานอล	ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	การละลายเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอลล์
95	5	5	เกิดการแยกชั้น
95	5	10	เกิดการแยกชั้น
95	5	15	เกิดการแยกชั้น
95	5	20	เกิดการแยกชั้น
95	5	25	เกิดการแยกชั้น
95	5	30	เกิดการแยกชั้น
95	5	35	เกิดการแยกชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.35 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบูดำที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง 25 °C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9%

น้ำมันดีเซล	เอทานอล	ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบูดำ	การละลายเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์
95	5	5	เนื้อเดียว
95	5	10	เนื้อเดียว
95	5	15	เนื้อเดียว
95	5	20	เนื้อเดียว
95	5	25	เนื้อเดียว
95	5	30	เนื้อเดียว
95	5	35	เนื้อเดียว

ตารางที่ 5.36 แสดงผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์ผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบูดำที่สัดส่วนการผสมต่ำ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 35 °C โดยใช้เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9%

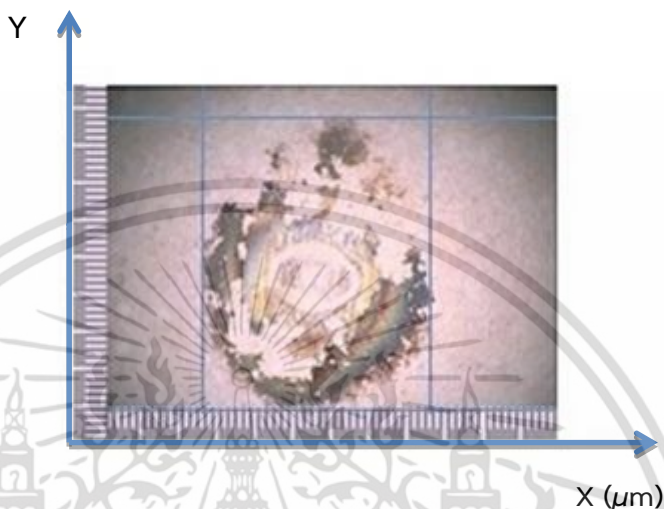
น้ำมันดีเซล	เอทานอล	ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบูดำ	การละลายเป็นเนื้อเดียวกันของดีโซฮอล์
95	5	5	เนื้อเดียว
95	5	10	เนื้อเดียว
95	5	15	เนื้อเดียว
95	5	20	เนื้อเดียว
95	5	25	เนื้อเดียว
95	5	30	เนื้อเดียว
95	5	35	เนื้อเดียว

จากผลการทดลองจากตารางที่ 5.33 - 5.36 เอทานอลในปริมาณที่น้อยสามารถละลายในน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณมากได้โดยไม่เกิดการแยกชั้น ดังนั้นเมื่อนำไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบูดำมาใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในของผสมดีโซฮอล์จะสามารถทำให้ดีเซลและเอทานอลผสมเข้ากันได้โดยไม่แยกชั้น ดังนั้นความเป็นอิมัลชันของดีโซฮอล์จึงมีความเสถียร นำดีโซฮอล์ในอัตราส่วนการผสมต่างๆมาทดสอบถึงลักษณะการแยกชั้นเมื่อถูกเก็บไว้ในสภาวะควบคุมเป็นเวลา 6 เดือน ดีโซฮอล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ยังคงใสและไม่เกิดการแยกชั้น ทั้งนี้การแยกชั้นระหว่างน้ำมันดีเซลกับเอทานอลเป็นผลมาจากคุณสมบัติของเอทานอลและน้ำที่มีอยู่ในเอทานอล ซึ่งเอทานอลมีโครงสร้างทางเคมีเป็นแบบมีขั้ว ส่วนน้ำมันดีเซลมีโครงสร้างทางเคมีเป็นแบบไม่มีขั้ว จากผลการทดลองพบว่าที่เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9% อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตดีโซฮอล์ที่ 25 °C และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

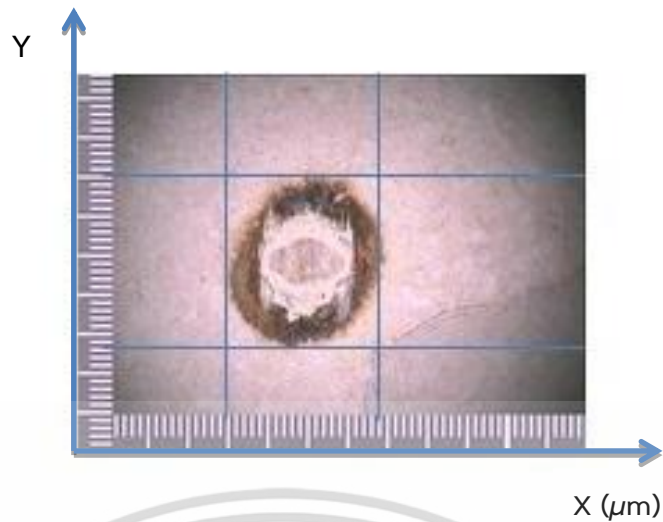
35 ° C สามารถผลิตดีโซฮอล์ได้โดยไม่เกิดลักษณะการแยกชั้นของดีโซฮอล์ที่ทำการผลิต เมื่อถูกเก็บไว้ในสภาวะควบคุมเป็นเวลา 6 เดือน

### 5.11 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96



รูปที่ 5.9 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของไบโอดีเซล 100%จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์

เนื่องจากรัฐบาลกำหนดให้มีปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลได้ไม่เกิน 0.05% โดยน้ำหนัก การลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลลงทำให้คุณสมบัติการหล่อลื่นโดยธรรมชาติของน้ำมันดีเซลลดลงไปมากส่งผลทำให้ปั๊มหัวฉีดสึกหรอและอุดตันได้ในระยะยาว รัฐบาลจึงอนุญาตให้เติมสารเพิ่มคุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity Additive) ในน้ำมันดีเซล คุณสมบัติในการหล่อลื่นสามารถทดสอบโดยวิธี HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) จากผลการทดลองทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธี HFRR ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 โดยมีค่า wear scar ไม่สูงกว่า 460  $\mu\text{m}$  พบว่าไบโอดีเซล 100%จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ ที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี โดยมีค่า wear scar อยู่ที่ 201  $\mu\text{m}$



รูปที่ 5.10 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของ ไบโอดีเซล 100% จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 โดยมีค่า wear scar ไม่สูงกว่า  $460 \mu\text{m}$  พบว่าไบโอดีเซล 100% จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี โดยมีค่า wear scar อยู่ที่  $169 \mu\text{m}$

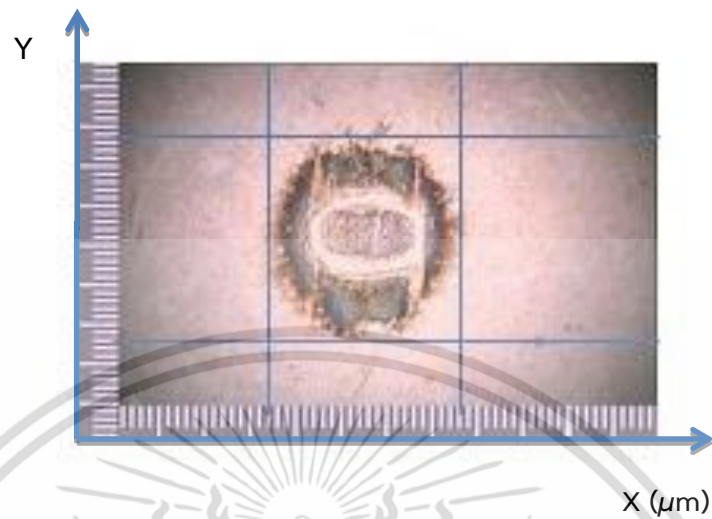


รูปที่ 5.11 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของ ไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสม D95B5(RPO)

จากผลการทดลองทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 โดยมีค่า wear scar ไม่สูงกว่า  $460 \mu\text{m}$  พบว่าไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสม D95B5(RPO) ที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี โดยมีค่า wear scar อยู่ที่  $204 \mu\text{m}$



รูปที่ 5.12 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสม D95B5(JTP)

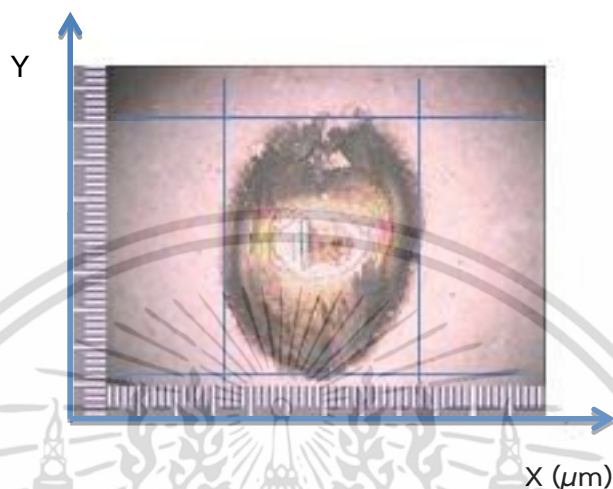
จากผลการทดลองทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 โดยมีค่า wear scar ไม่สูงกว่า  $460 \mu\text{m}$  พบว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสม D95B5(JTP) ที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี โดยมีค่า wear scar อยู่ที่  $204 \mu\text{m}$



รูปที่ 5.13 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของดีโซฮอล์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5(RPO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 โดยมีค่า wear scar ไม่สูงกว่า  $460 \mu\text{m}$  พบว่าดีโซฮอล์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5(RPO) ที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี โดยมีค่า wear scar อยู่ที่  $205 \mu\text{m}$



รูปที่ 5.14 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยวิธี HFRR ของดีโซฮอล์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสม D95E5B5(JTP)

จากผลการทดลองทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 โดยมีค่า wear scar ไม่สูงกว่า  $460 \mu\text{m}$  พบว่าดีโซฮอล์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสม D95E5B5(JTP) ที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี โดยมีค่า wear scar อยู่ที่  $205 \mu\text{m}$

ตารางที่ 5.37 แสดงผลการทดสอบการหล่อลื่นโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) มาตรฐาน CEC-F-06-A-96 ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลอง

Tye of Fuel	Wear Scar Test
	( $\mu\text{m}$ )
100% Biodisel (RPO)	201
100% Biodisel (JTP)	169
D95B5 (RPO)	204
D95B5 (JTP)	204
D95E5B5 (RPO)	205
D95E5B5 (JTP)	205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 พบว่า ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์มีค่า Wear Scar เท่ากับ  $201 \mu\text{m}$  ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขมันเมล็ดสบู่ดำมีค่า Wear Scar เท่ากับ  $169 \mu\text{m}$  ดีโซฮอลล์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5(RPO) มีค่า Wear Scar เท่ากับ  $205 \mu\text{m}$  ดีโซฮอลล์จากไขมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสม D95E5B5(RPO) มีค่า Wear Scar เท่ากับ  $205 \mu\text{m}$  ไบโอดีเซลผสมสูตร D95B5(RPO) จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ มีค่า Wear Scar เท่ากับ  $204 \mu\text{m}$  และไบโอดีเซลผสมสูตร D95B5(JTP) จากไขมันเมล็ดสบู่ดำ มีค่า Wear Scar เท่ากับ  $204 \mu\text{m}$  ทั้งนี้ น้ำมันเชื้อเพลิงทุกประเภทที่ได้จากการผลิตมีค่าการหล่อลื่นเป็นไปตามที่มาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานกำหนดโดยมีค่ารอยขีดข่วนไม่เกิน  $460 \mu\text{m}$  โดยน้ำมันทุกประเภทที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นในเครื่องยนต์ที่ดีกว่าการใช้ไขมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี

## 5.12 สรุปผลการทดลองเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต

### 5.12.1 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์

#### 5.12.1.1 ผลของสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์

ผลการทดลองจากตารางที่ 5.1 ที่สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ 1 : 6 พบว่าสัดส่วนของปริมาณแอลกอฮอล์ที่เข้าทำปฏิกิริยามีค่าน้อยมาก ไม่สามารถแยกออกจากปฏิกิริยาน้ำมันมีสภาพเป็นเจล และเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ 1 : 4 และ 1 : 5 กับสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ 1 : 2 และ 1 : 3 พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันแต่มีช่วงค่าความหนืดที่แตกต่างกันมาก และเมื่อนำสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ 1 : 2 มาทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ พบว่าไบโอดีเซลที่สัดส่วนการผสมมีลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ตามเกณฑ์มาตรฐานประกาศจากกรมธุรกิจพลังงาน จึงพิจารณาเลือกใช้ที่สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ 1 : 2 ในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์

#### 5.12.1.2 ผลจากการเปลี่ยนแปลงเวลา

ผลการทดลองจากตารางที่ 5.2 ที่น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 0.4%KOH (wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา  $60^{\circ}\text{C}$  ที่เวลา 60 นาทีพบว่าเวลาที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ 30 นาทีพบว่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์การทดลองที่ได้ที่เวลา 60 นาที จึงพิจารณาเลือกใช้เวลาในการทดลองที่ 60 นาทีในการทดลองผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์

#### 5.12.1.3 ผลจากการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองจากตารางที่ 5.3 พบว่าปริมาณของเหลวใสส่วนบนมากขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ที่ 0.4%KOH(wt/vol) ให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้มากที่สุดเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

82% โดยปริมาตร จึงพิจารณาเลือกใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.4%KOH(wt/vol) ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์

### 5.12.2 การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

#### 5.12.2.1 ผลของสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันเมล็ดสบู่ดำ

ผลการทดลองจากตารางที่ 5.5 ที่สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันเมล็ดสบู่ดำที่ 1 : 5 และ 1 : 4 มาทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ พบว่าไบโอดีเซลที่สัดส่วนการผสมดังกล่าวมีลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์มีค่าไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานประกาศจากกรมธุรกิจพลังงาน เมื่อเพิ่มสัดส่วนของปริมาณแอลกอฮอล์ที่เข้าทำปฏิกิริยาให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นที่ 1 : 2 และ 1 : 3 แล้วนำมาทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ พบว่าไบโอดีเซลที่สัดส่วนการผสมดังกล่าวมีลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ตามเกณฑ์มาตรฐานประกาศจากกรมธุรกิจพลังงาน จึงพิจารณาเลือกใช้ไบโอดีเซลที่สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ 1 : 3 เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์การผลิตที่สูงกว่า

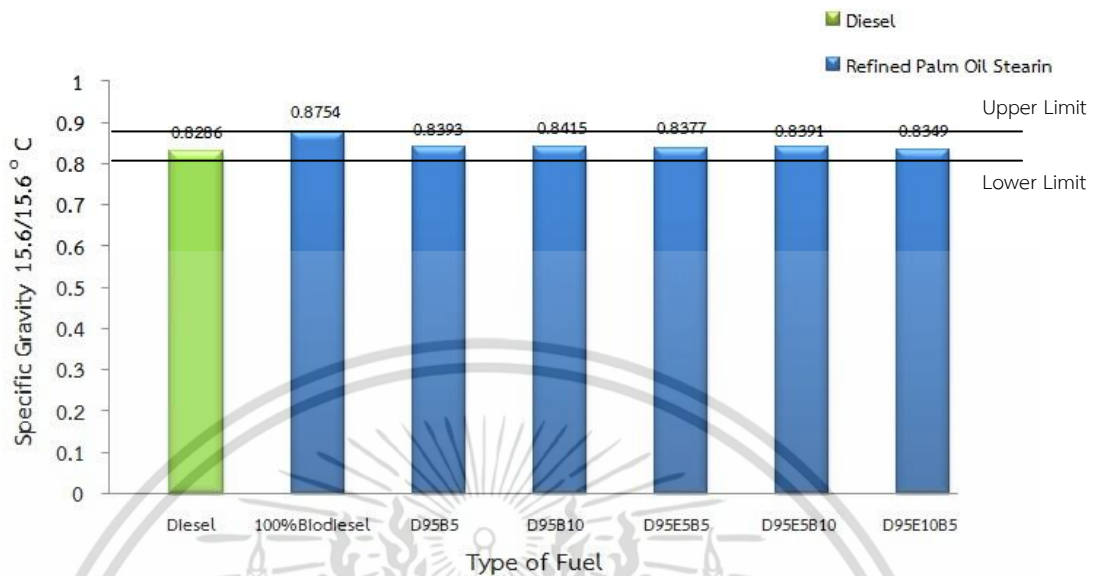
#### 5.12.2.2 ผลจากการเปลี่ยนแปลงเวลา

ผลการทดลองจากตารางที่ 5.6 ที่น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 0.8%KOH (wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C ที่เวลา 60 นาทีพบว่าเวลาที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ 30 นาทีพบว่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์การทดลองที่ได้ที่เวลา 60 นาที จึงพิจารณาเลือกใช้เวลาในการทดลองที่ 60 นาทีในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันเมล็ดสบู่ดำ

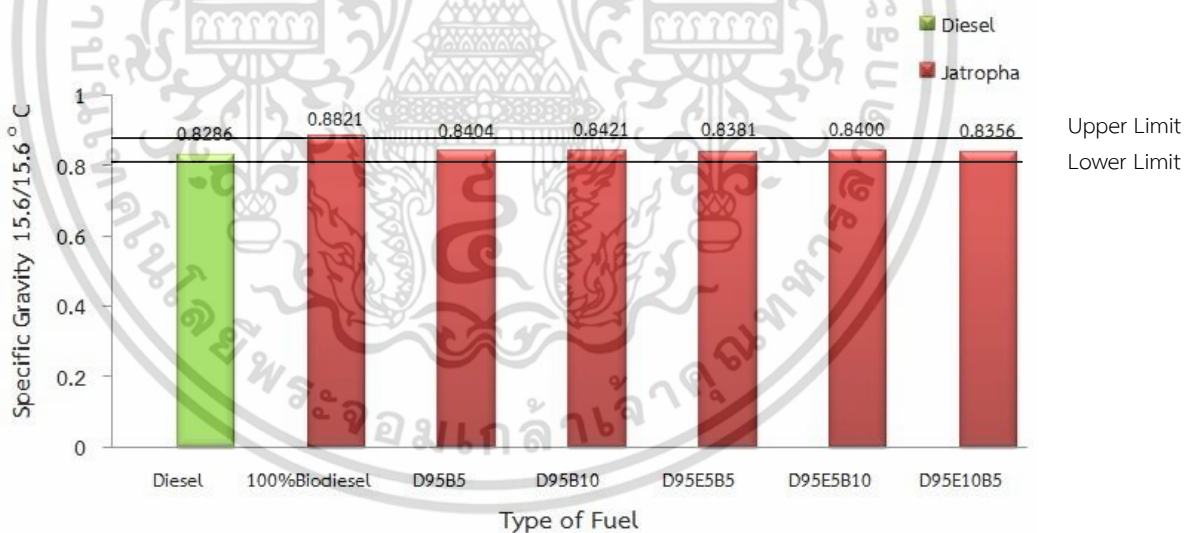
#### 5.12.2.3 ผลจากการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองจากตารางที่ 5.7 พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือที่เปอร์เซ็นต์โดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.8%KOH(wt/vol) และเมื่อใช้เปอร์เซ็นต์โดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.6%(wt/vol) พบว่าไบโอดีเซลที่เปอร์เซ็นต์การผสมดังกล่าวมีลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานประกาศจากกรมธุรกิจ จากผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือที่เปอร์เซ็นต์โดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.8%KOH(wt/vol) และเมื่อใช้เปอร์เซ็นต์โดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1%KOH(wt/vol) พบว่าไบโอดีเซลที่เปอร์เซ็นต์ที่ได้มีเปอร์เซ็นต์การผลิตได้ (yield) ที่ต่ำกว่า จึงพิจารณาเลือกใช้ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่ 0.8%KOH(wt/vol) ในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำในขั้นตอนต่อไป

### 5.13 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล

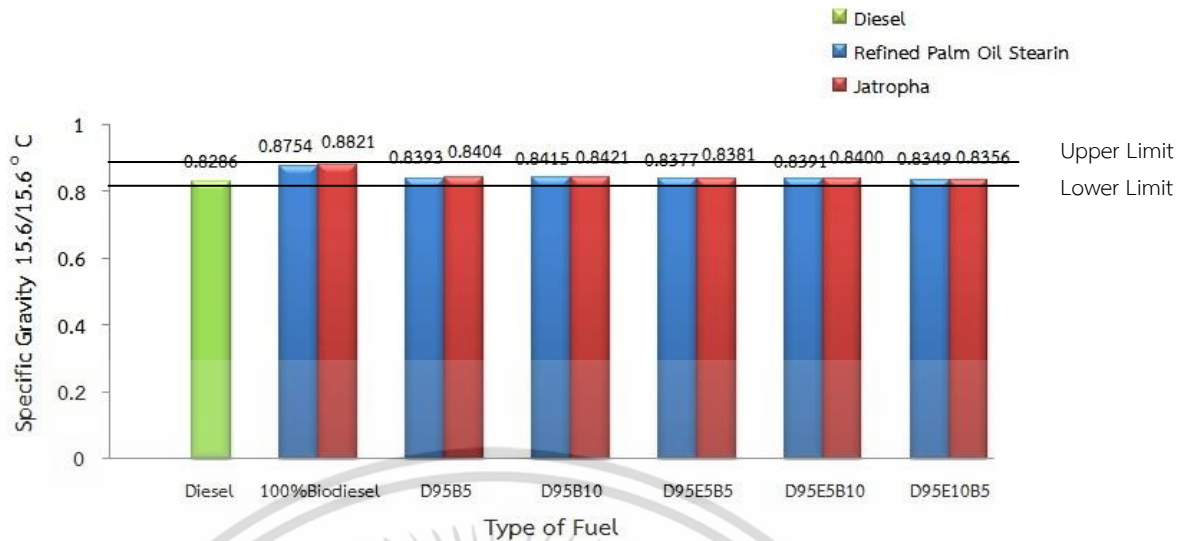


รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ



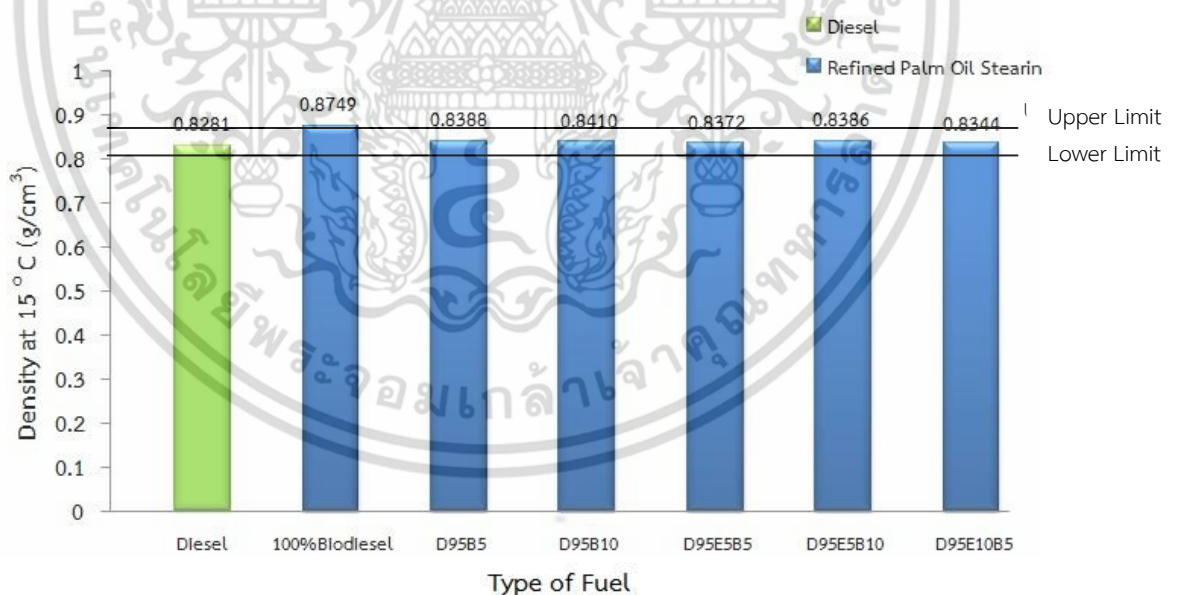
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



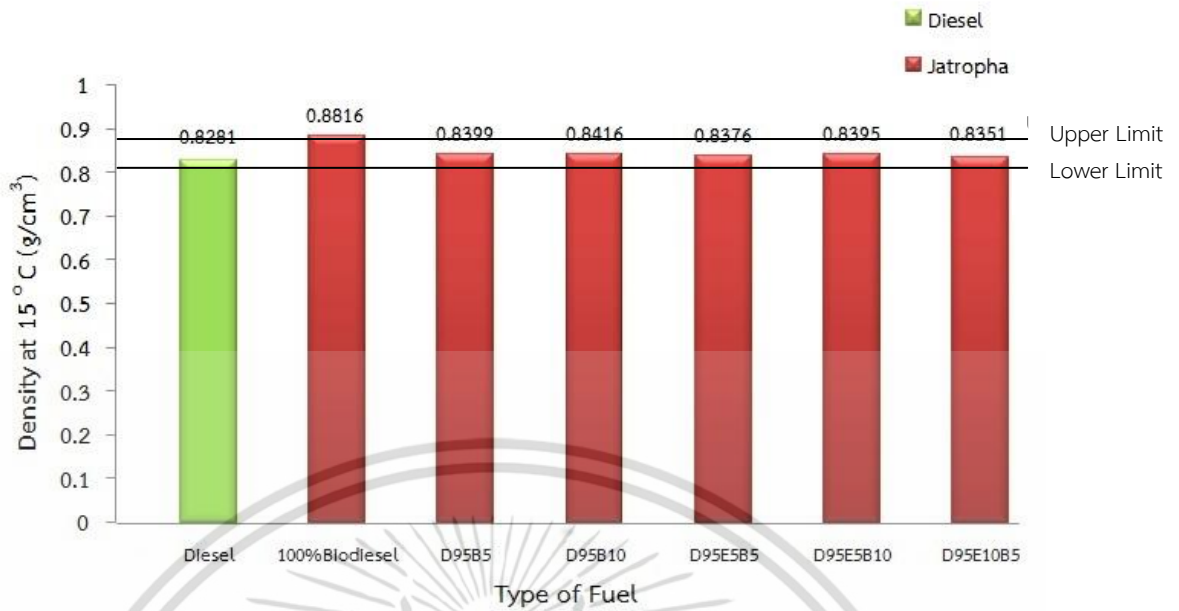
รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเปรียบเทียบกับดีโซฮอลล์และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสุบุดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.15 5.16 และ 5.17 พบว่าไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากน้ำมันเมล็ดสุบุดำโดยมีค่าความถ่วงจำเพาะที่ 0.8754 และ 0.8821 ซึ่งในทุกๆสัดส่วนการผสมโดยเมื่อมีการผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนการผสมที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าความถ่วงจำเพาะที่เพิ่มมากขึ้น

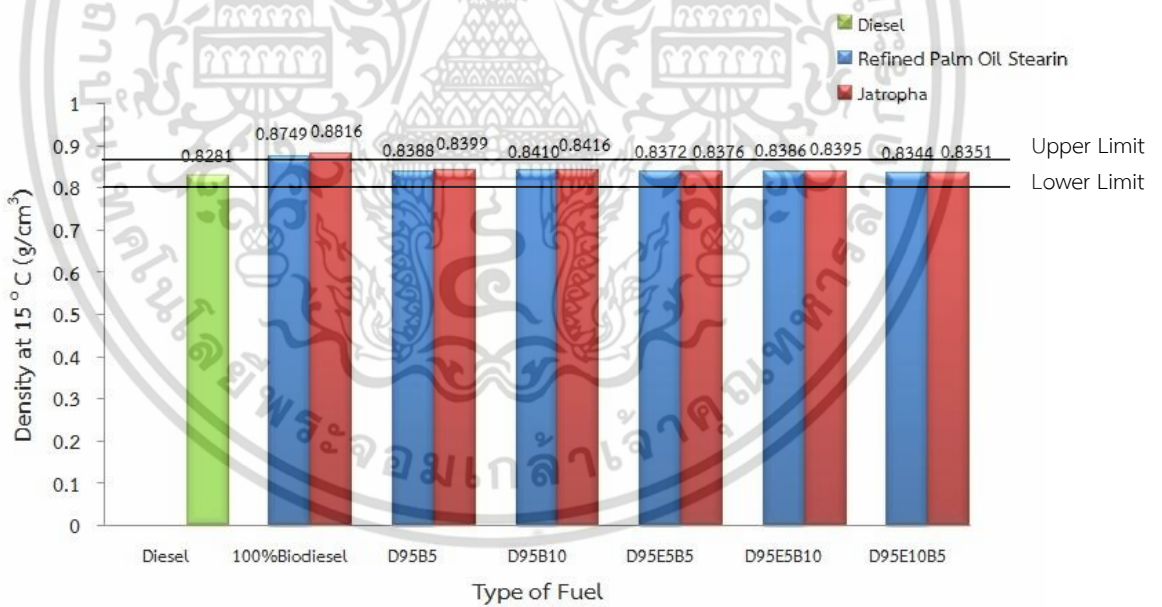


รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 °C (g/cm<sup>3</sup>) เปรียบเทียบกับดีโซฮอลล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 °C (g/cm<sup>3</sup>) เปรียบเทียบกับ ดีโซฮอลล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและไบโอดีเซลผสม ที่สัดส่วนการผสมต่ำ

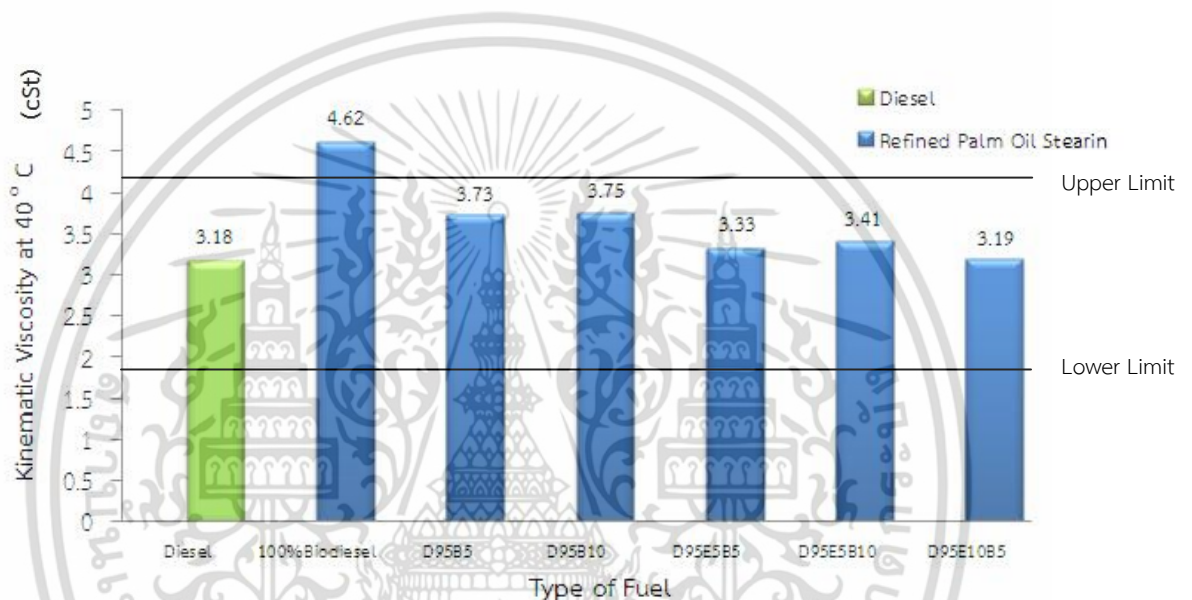


รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 °C (g/cm<sup>3</sup>) เปรียบเทียบกับ ดีโซฮอลล์และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.18 5.19 และ 5.20 พบว่าไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำในทุกๆสัดส่วนการผสมโดยเมื่อมีการผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนการผสมที่มากขึ้นทั้งทางด้านการผลิตเป็นดีโซฮอลล์ที่อัตราส่วนการผสมต่ำโดยใช้ไบโอดีเซลจากพืชน้ำมันทั้งสองชนิด หรือการนำมาไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสม

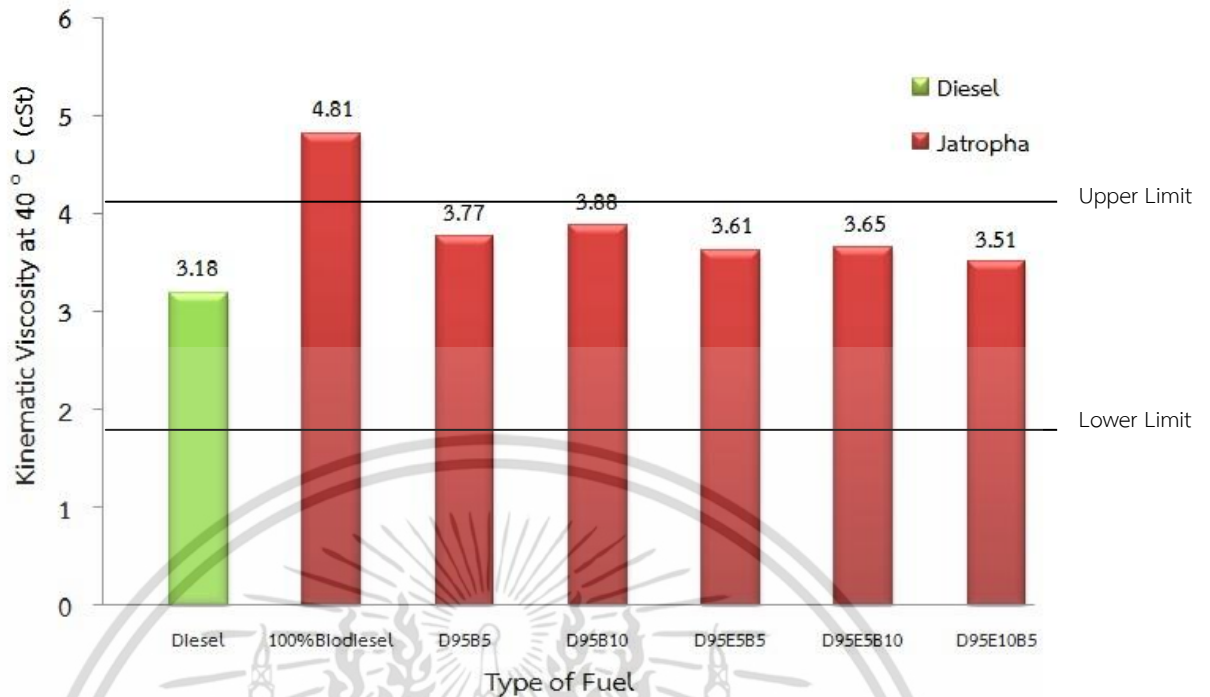
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ของเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำโดยใช้ไบโอดีเซลจากพืชทั้งสองชนิด จะทำให้น้ำมันมีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ค่าความหนาแน่นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิงเมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากก็จะให้พลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน น้ำมันไบโอดีเซลมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซล แต่ค่าปริมาณพลังงานโดยรวมของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่า ความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลที่ตกค้างไปไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำขึ้นด้วย เนื่องจากการทดลองนี้ได้มีการล้างเมทานอลได้อย่างหมดจดจึงไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง

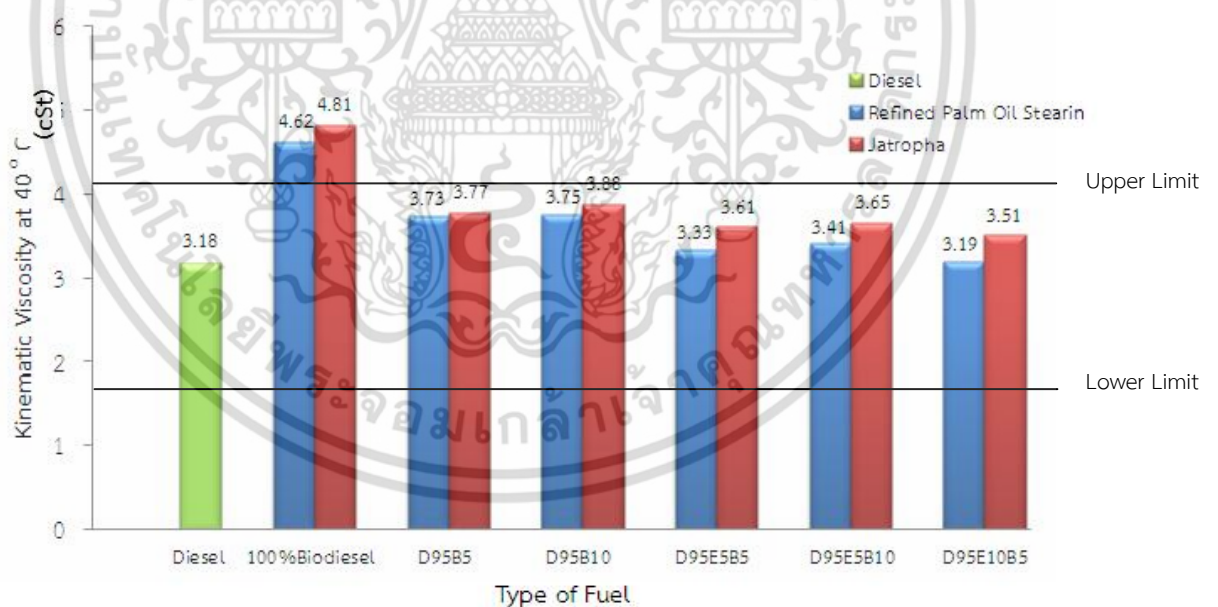


รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เปรียบเทียบกับดีโซฮอล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เปรียบเทียบกับดีเซลที่ผลิตจากไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ

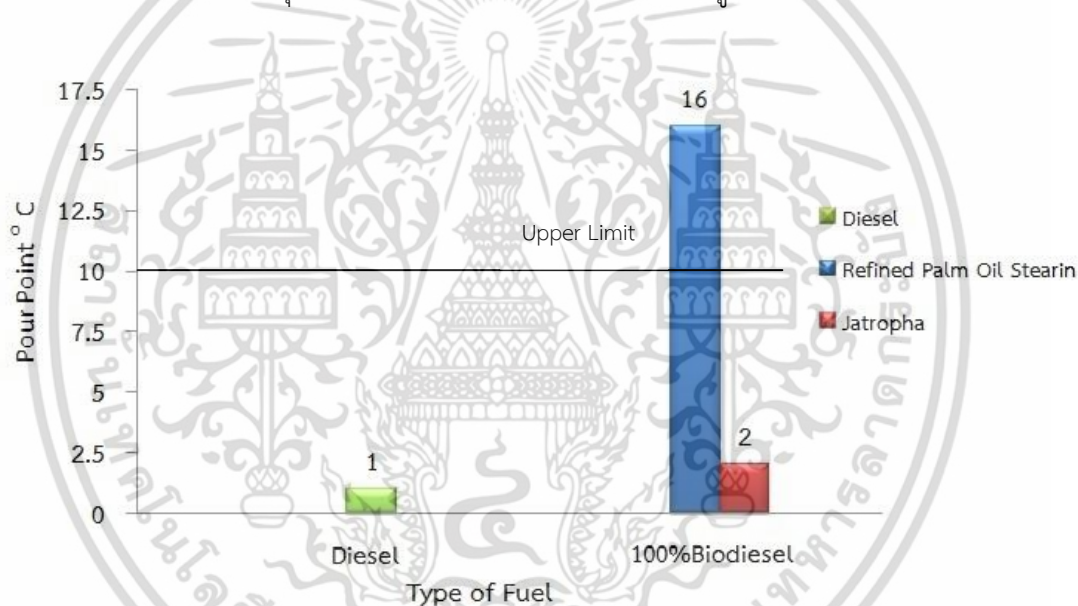


รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เปรียบเทียบกับดีเซลและไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.21 5.22 และ 5.23 แสดงผลการทดสอบความหนืดซึ่งเกี่ยวข้องกับการไหล การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีด ในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยละอองขนาดเล็ก จะทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบจากผลการทดลองดีโซลล์และไบโอดีเซลผสมที่อัตราส่วนการผสมต่างๆมีค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน โดยไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ผลิตได้มีค่าความหนืดเท่ากับ 4.62 cSt และไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ผลิตได้มีค่าความหนืดเท่ากับ 4.81 cSt ตามเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลที่กำหนดให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C ของไบโอดีเซลมีค่าอยู่ในช่วง 3.5-5 cSt ทั้งนี้ค่าความหนืดยังเป็นดัชนีแสดงการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซลอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากผลการทดลองค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ผลิตจากไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ผลิตจากไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ยังคงมีค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่กำหนดไว้สูงสุดที่ 4.1 cSt ทั้งนี้กำหนดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C ตามลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วประเภทกรมธุรกิจพลังงานต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1 cSt ส่วนน้ำมันดีเซลหมุนช้า ข้อกำหนดค่าความหนืดจะต้องไม่สูงกว่า 8.0 cSt

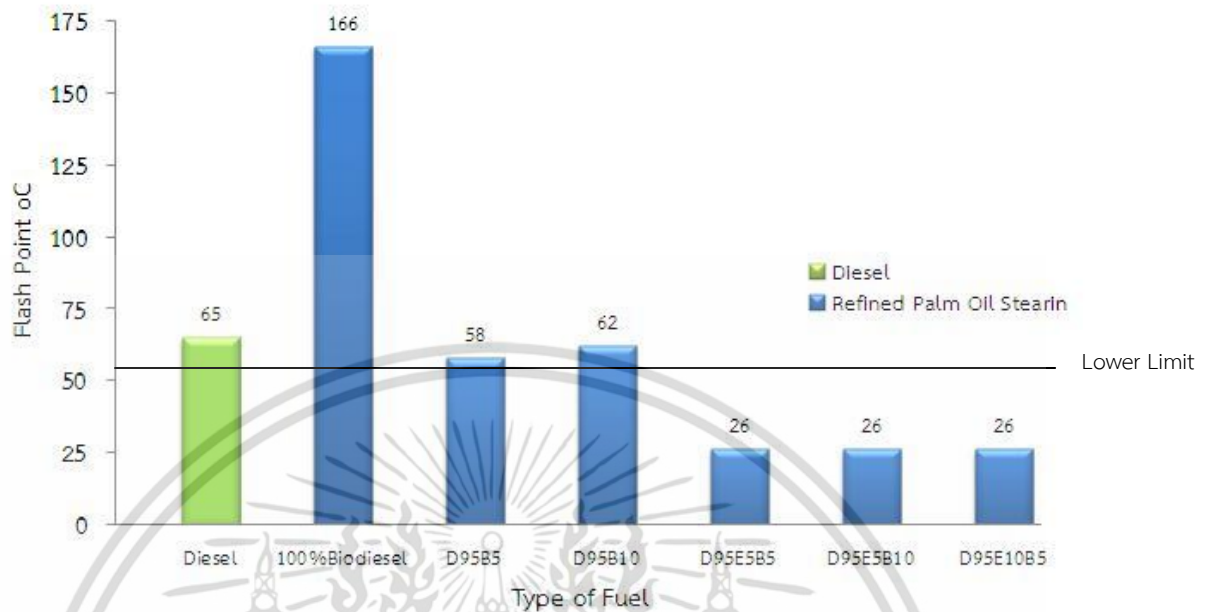


รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดไหลเทกับประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง

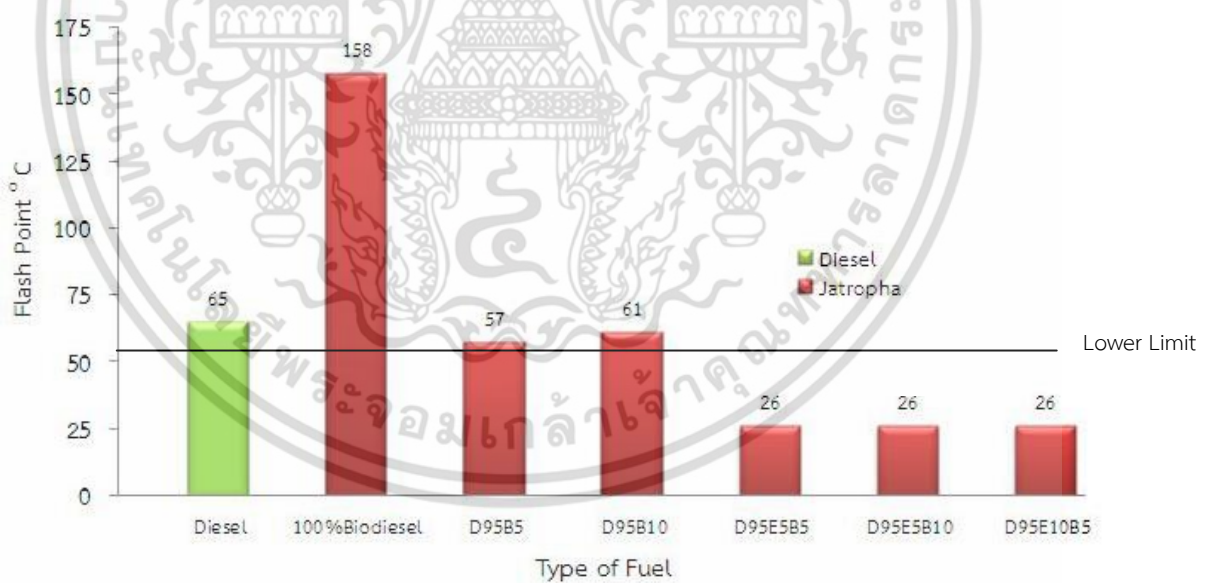
คุณสมบัติการไหลได้ที่อุณหภูมิต่ำ เป็นการวัดความสามารถในการใช้งานเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำหรือในภูมิภาคที่มีอากาศหนาวเย็น สำหรับไบโอดีเซลที่มีจุดแข็งตัวสูง จะมีคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำไม่เทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล คุณสมบัตินี้วัดได้ด้วยการใช้จุดขุ่นและจุดไหลเท (Cloud Point and Pour Point) เป็นการชี้บอก การนำไบโอดีเซลบริสุทธิ์ที่ 100% มาใช้จำเป็นต้องรู้ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้เมื่อได้รับความเย็นโดยจุดไหลเทของไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มีค่าจุดไหลเทอยู่ที่อุณหภูมิ 16 °C จึงสามารถนำไปใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิที่ไม่ต่ำกว่า 16 °C ส่วนจุดไหลเทของไบโอดีเซลบริสุทธิ์น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ มีค่าจุดไหลเทอยู่ที่อุณหภูมิ 2 °C จึงสามารถนำไปใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่ไม่ต่ำกว่า 2 °C ทั้งนี้ถ้านำน้ำมันไปใช้งานในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดไหลเท จะทำให้น้ำมันเกิดเป็นไขซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันตรงบริเวณท่อทางเดินน้ำมัน และไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการละเมิดลิขสิทธิ์ในเอกสารวิชาการ เมื่อผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ในการศึกษา ไม่ควรเผยแพร่ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงอุณหภูมิและภูมิภาคในพื้นที่ที่ใช้งานด้วย เพื่อไม่ให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้กลายเป็นของแข็งขณะ การขนส่งและใช้งาน

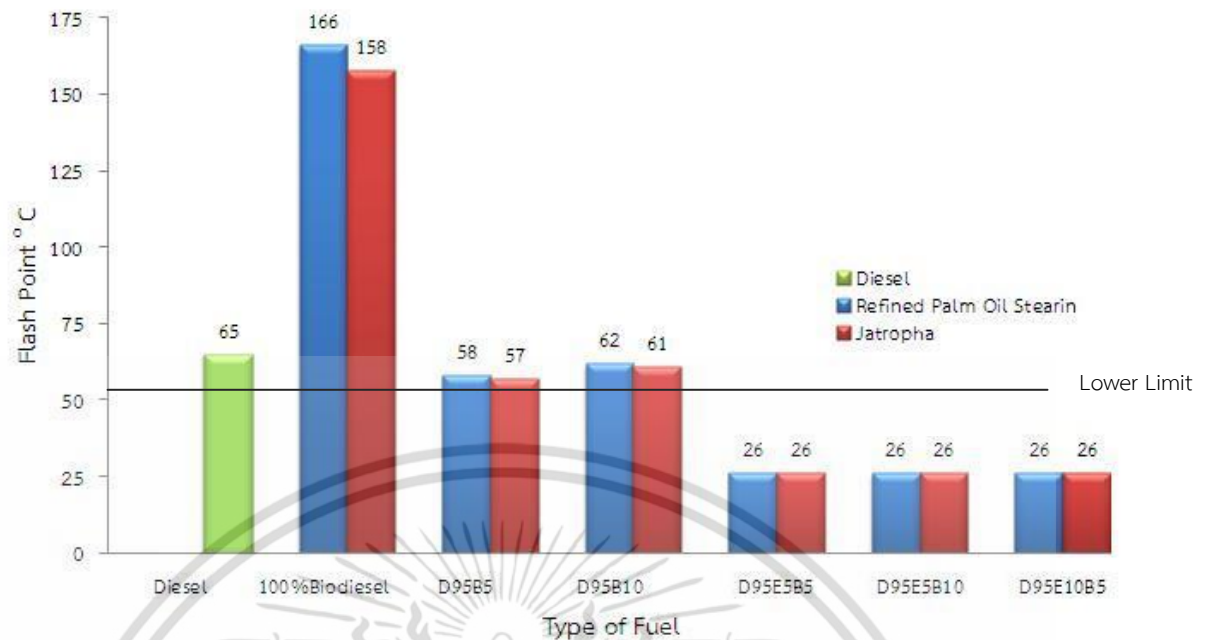


รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟเปรียบเทียบกับดีโซฮอลล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซล ที่สังเคราะห์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ



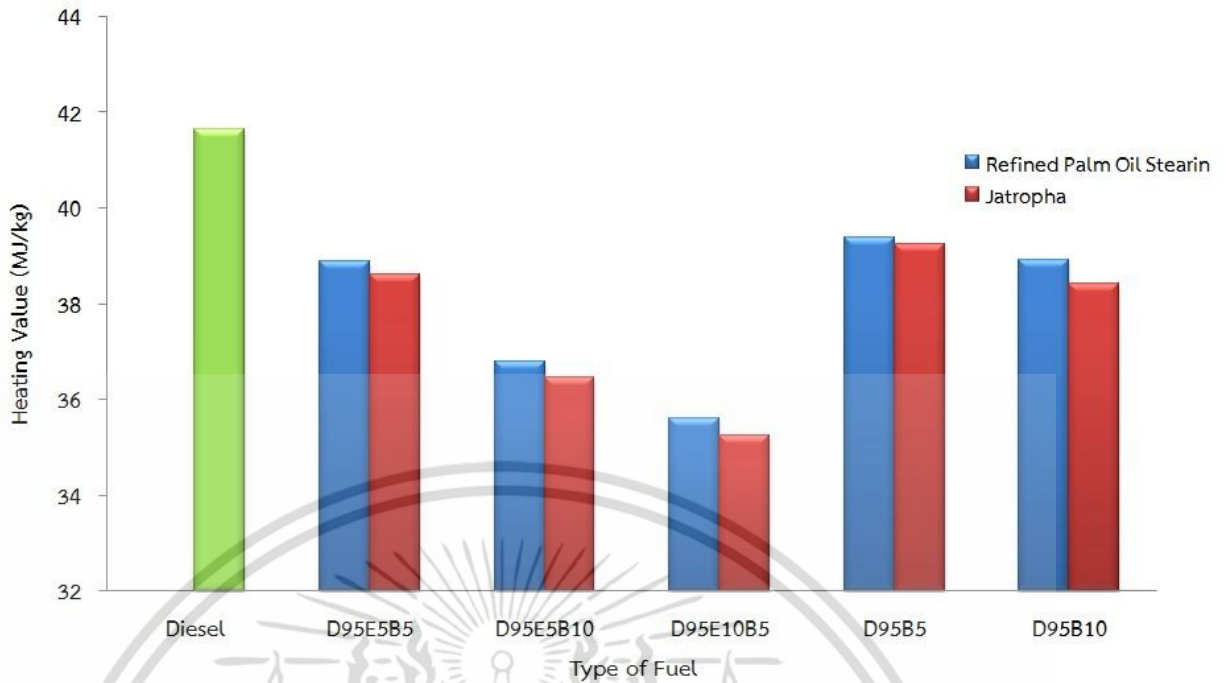
รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟเปรียบเทียบกับดีโซฮอลล์ที่ผลิตจากไบโอดีเซล ที่สังเคราะห์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟเปรียบเทียบกับดีเซลและไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมตำที่ผลิตจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

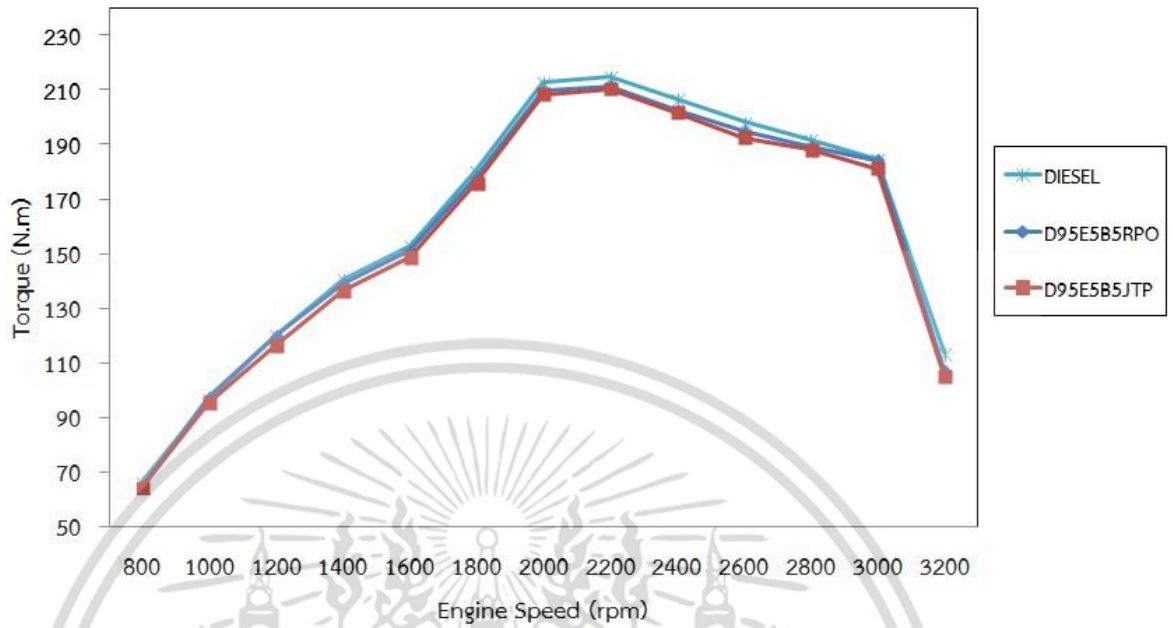
จากผลการทดลองรูปที่ 5.25 5.26 และ 5.27 พบว่าไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ D95B5(RPO) D95B5(JTP) D95B10(RPO) D95B10(JTP) มีความปลอดภัยในการเก็บรักษาโดยไม่จำเป็นต้องมีการแยกพื้นที่ในการเก็บรักษาตลอดจนการขนย้ายน้ำมันสามารถทำได้ปลอดภัยกว่าน้ำมันดีเซลอื่นเนื่องมาจากการมีค่าจุดวาบไฟที่สูง ทั้งนี้เนื่องจากการเติมเอทานอลลงไปในน้ำมันดีเซลจะมีผลทำให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน จากผลการทดลองพบว่าดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสม D95E5B5(RPO) D95E5B5(JTP) D95E5B10(RPO) D95E5B10(JTP) มีค่าจุดวาบไฟที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน จึงมีความจำเป็นต้องมีการแยกพื้นที่ในการเก็บรักษาตลอดจนการจัดการด้านความปลอดภัยในการขนย้ายน้ำมัน ทั้งนี้จุดวาบไฟ คืออุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันระเหยเป็นไอ และเริ่มติดไฟโดยไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำมีอุณหภูมิจุดวาบไฟ และจุดติดไฟที่มากกว่าน้ำมันดีเซล จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนการผสมที่เพิ่มมากขึ้นจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิจุดวาบไฟของกลุ่มไบโอดีเซลผสมให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น



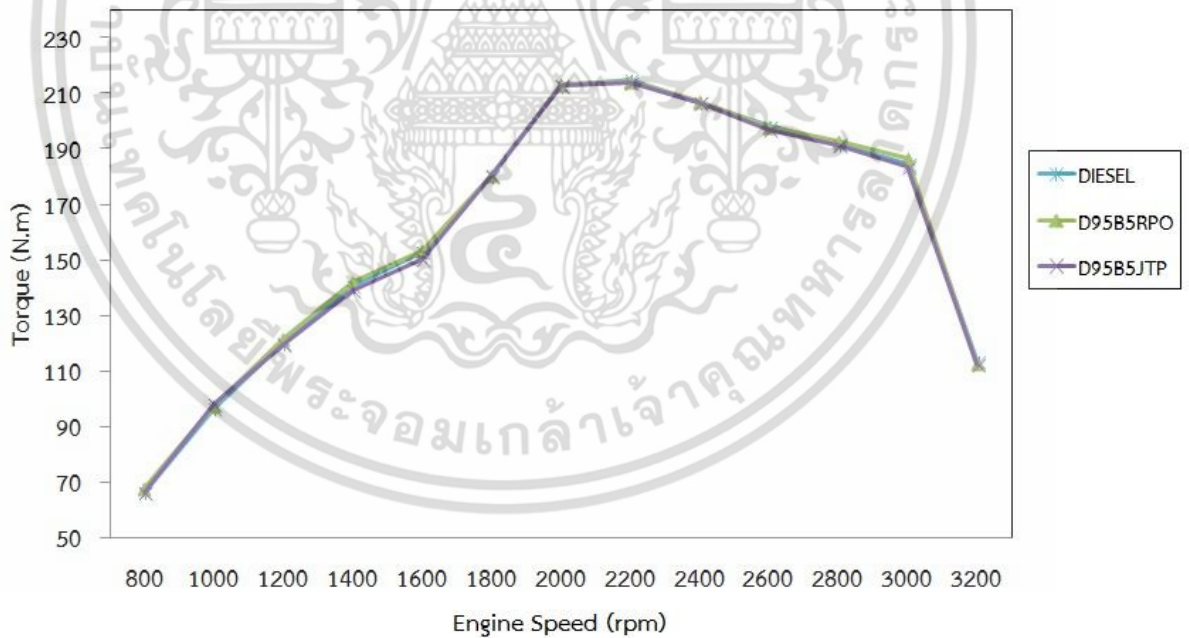
รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน เปรียบเทียบกับดีโซฮอล์และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.28 เนื่องจากการเผาไหม้ของน้ำมันในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในขึ้นอยู่กับค่าความร้อนที่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกำลัง ดังนั้นค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงจึงมีผลโดยตรงต่อกำลังที่ออกจากเครื่องยนต์ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อผสมไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำในสัดส่วนการผสมต่ำพบว่าค่าความร้อนมีค่าลดลงตามสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลที่เพิ่มมากขึ้น โดยจากการทดลองพบว่าไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากพืชไขมันทั้งสองชนิด มีค่าความร้อนสูงกว่าดีโซฮอล์สัดส่วนการผสมต่ำที่ใช้ในการทดลอง โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลหรือไบโอดีเซลเข้าไปในน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนของดีโซฮอล์มีค่าลดลง

5.14 ผลการทดลองจากการทดสอบกับเครื่องยนต์

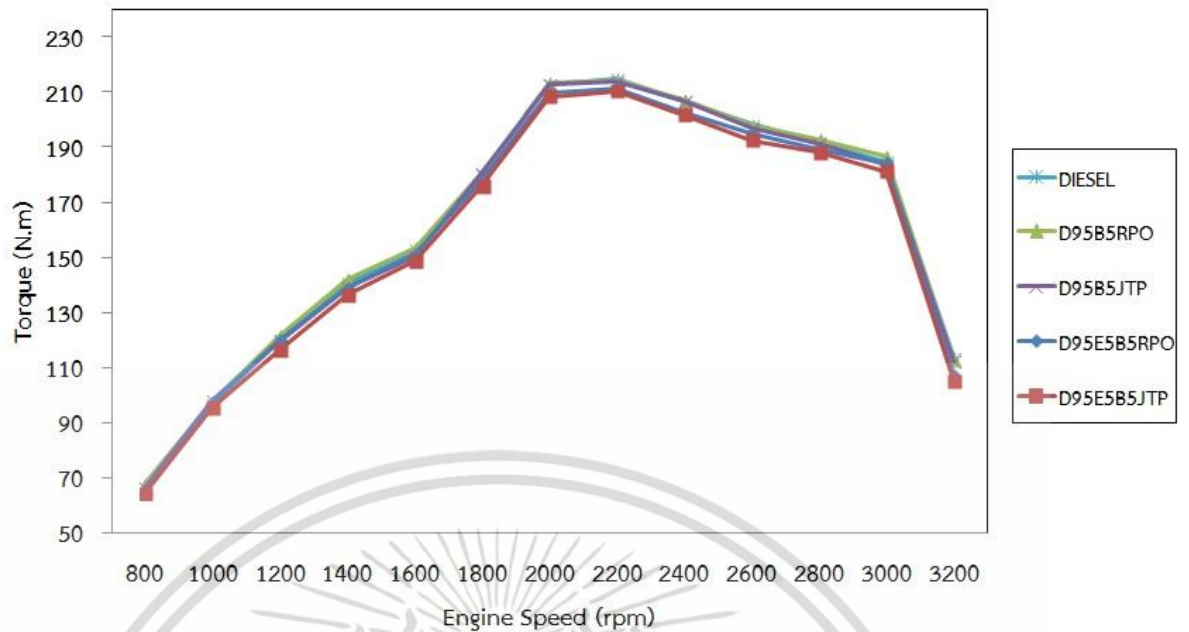


รูปที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไข่น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสับดูดำ

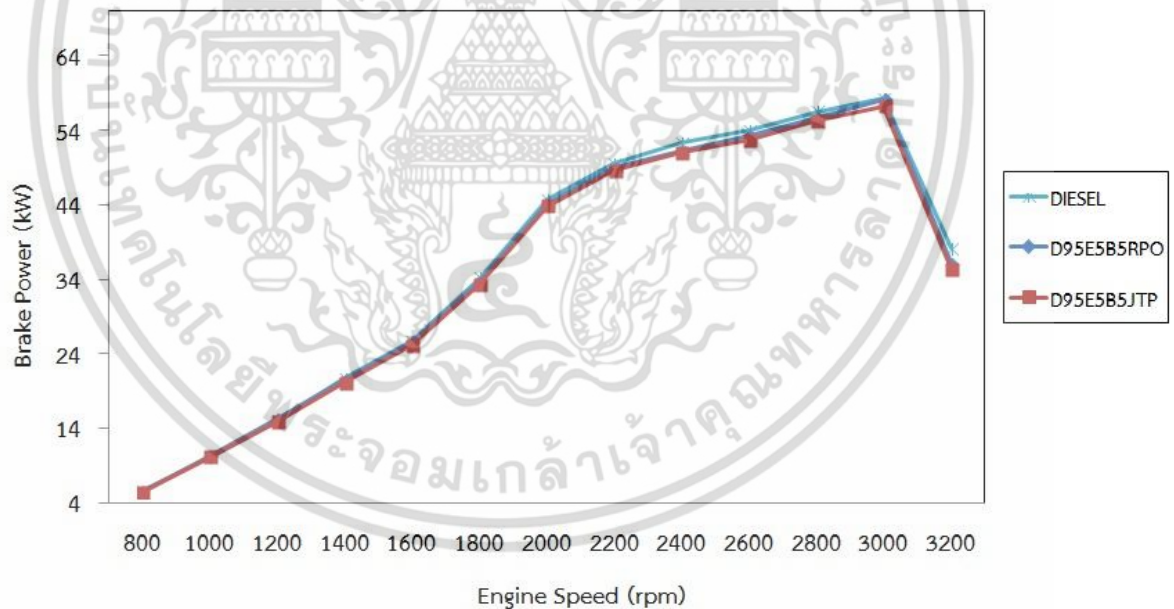


รูปที่ 5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไข่น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสับดูดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

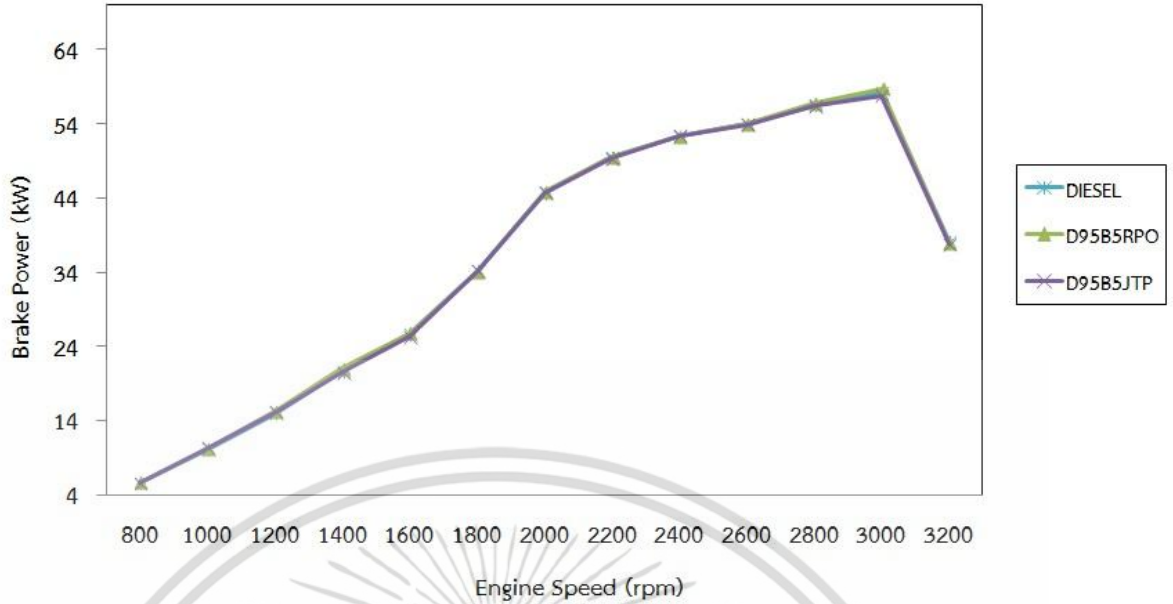


รูปที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีเซลฮอลล์ และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

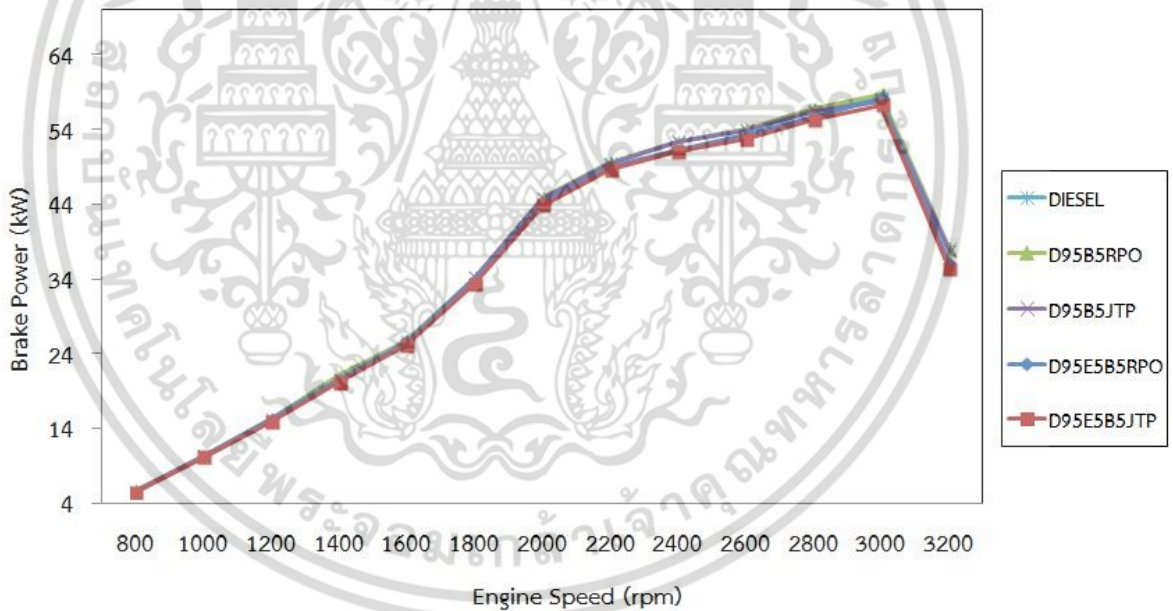


รูปที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเบรคกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีเซลฮอลล์ ผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



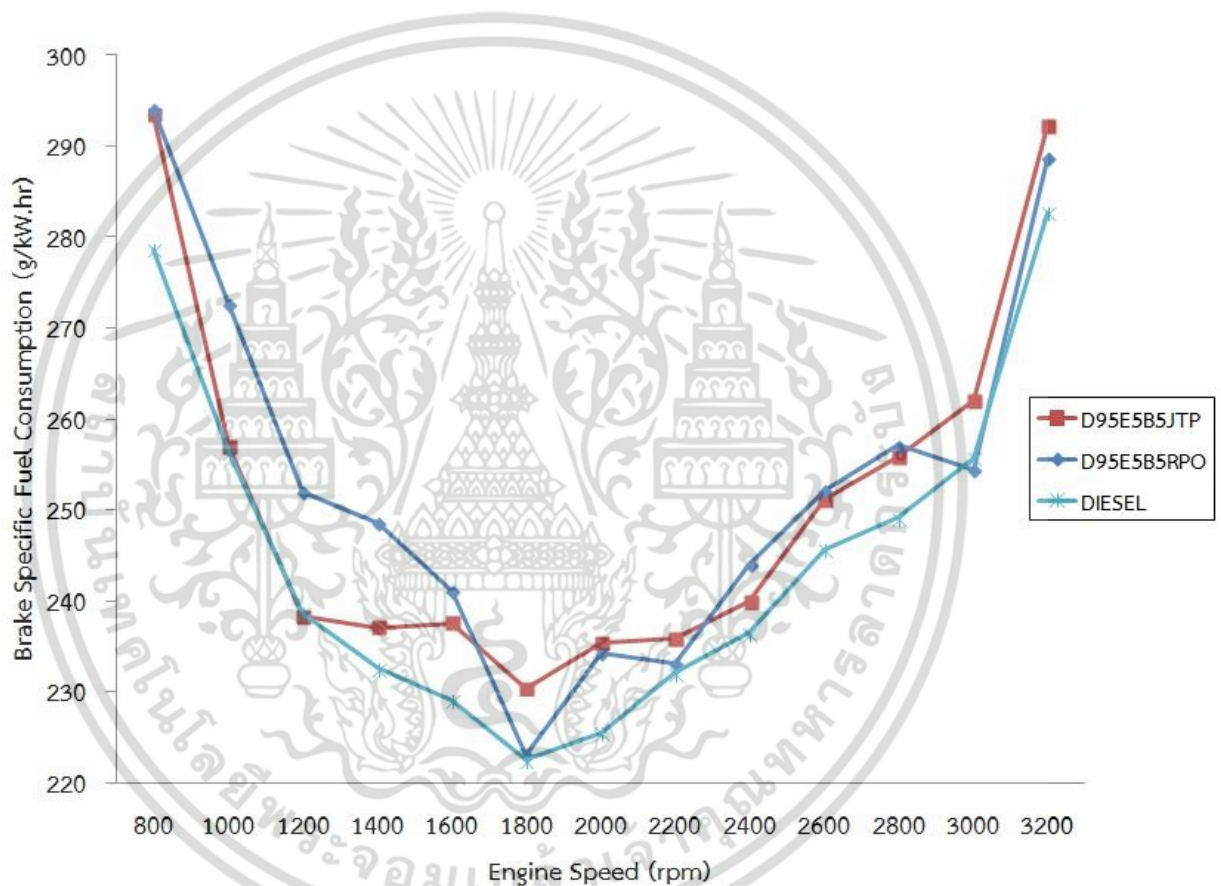
รูปที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเบรกกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ



รูปที่ 5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเบรกกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีโซฮอล์และไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

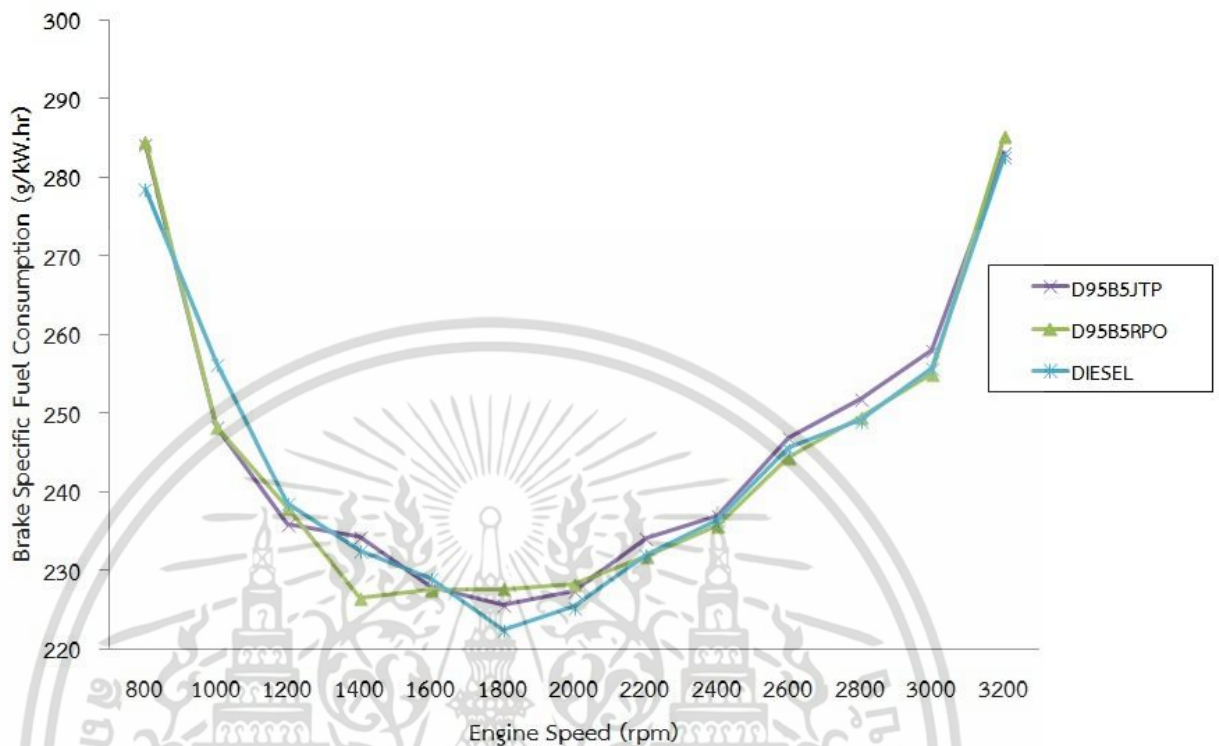
จากผลการทดลองรูปที่ 5.29 ถึงรูปที่ 5.34 กลุ่มน้ำมันไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ ให้ค่าทอร์คและกำลังเบรคมีค่าใกล้เคียงกันกับการใช้น้ำมันดีเซลรองลงมาได้แก่กลุ่มน้ำมันดีโซฮอล โดยมีผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยประโยชน์หลักของการใช้ไบโอดีเซลในน้ำมันดีโซฮอล คือไบโอดีเซลมีค่าความหนืดสูงจึงช่วยชดเชยค่าความหนืดต่ำของเชื้อเพลิงผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้ น้ำมันที่มีค่าความหนืดที่สูง จะมีอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีด ทำให้การฉีดเป็นฝอยละอองได้ไม่ดีละอองมีขนาดใหญ่ น้ำมันจะพุ่งไปไกลซึ่งจะพุ่งเป็นสายแทนที่จะกระจายเป็นฝอยเล็ก ๆ ทำให้การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นไปอย่างไม่ทั่วถึง ส่งผลให้การสันดาปที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ซึ่งจะมีผลทำให้กำลัง และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง และการมีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ต่ำ



รูปที่ 5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีโซฮอลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

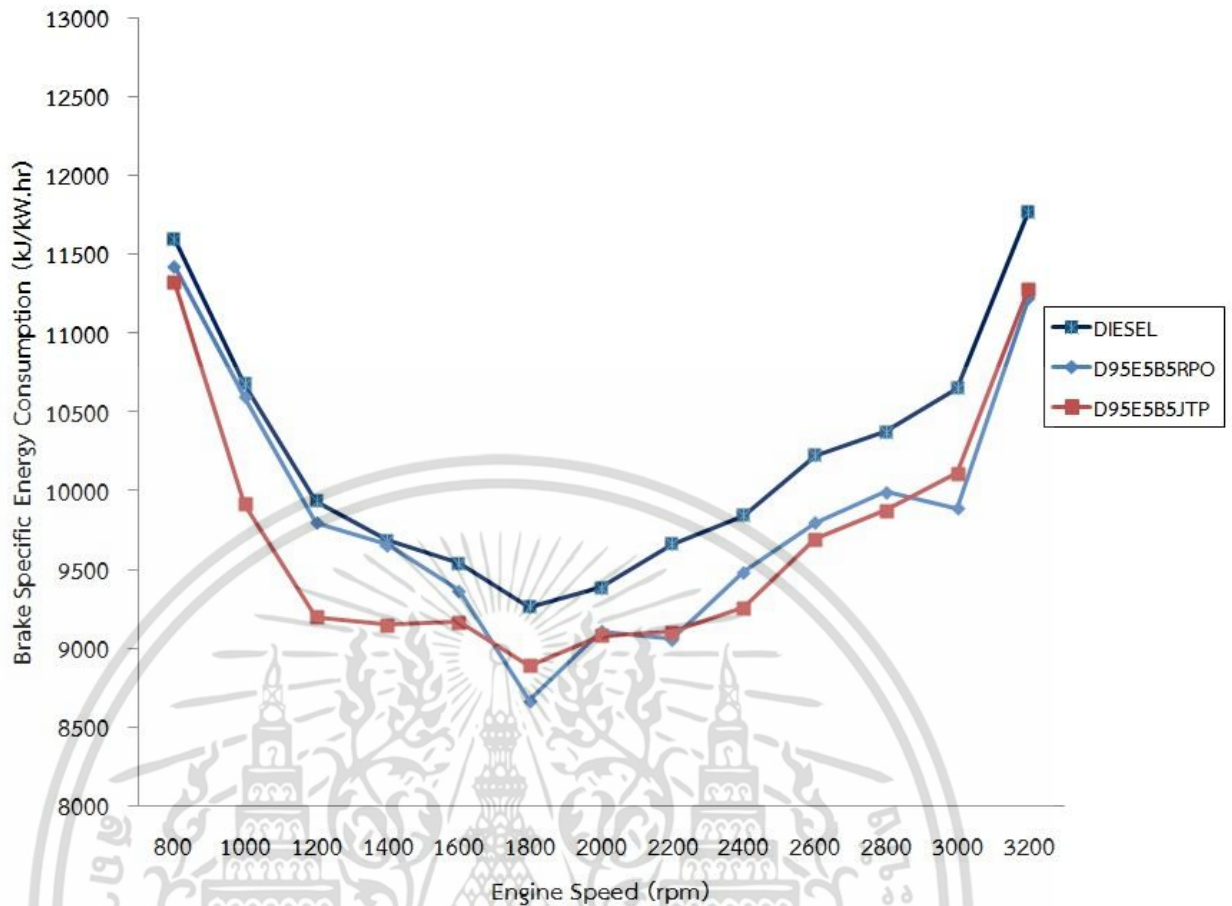
จากผลการทดลองรูปที่ 5.35 พบว่ากลุ่มน้ำมันดีโซฮอลมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมากกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ โดยค่า bsfc จะมากขึ้นได้เนื่องจากการมีอัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากซึ่งเกิดจากค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงและปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ จากผลการทดลองพบว่ากลุ่มน้ำมันดีโซฮอลมีค่าความร้อนที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณเอทานอลและไบโอดีเซลที่ใช้ในการผสม จึงส่งผลให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่

ได้มีค่าความร้อนลดต่ำลง จึงทำให้ต้องมีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อชดเชยให้ มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ค่า bsfc มีค่าเพิ่มมากขึ้น



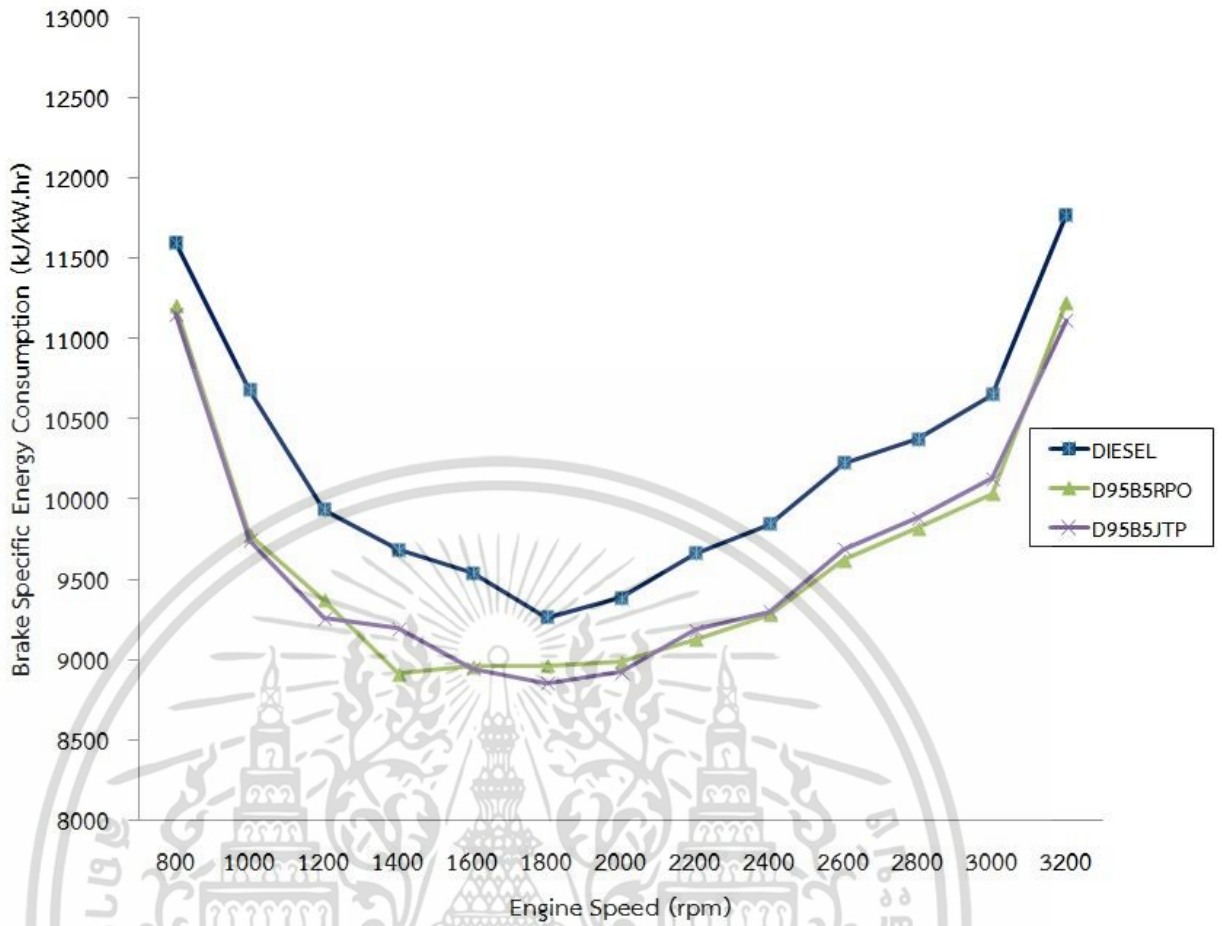
รูปที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไข่น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมลิตสปูดา

จากผลการทดลองรูปที่ 5.36 พบว่ากลุ่มน้ำมันไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกใกล้เคียงกันกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มน้ำมันดีโซลล์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ ทั้งนี้เมื่อผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนการผสมที่เพิ่มมากขึ้นจะมีแนวโน้มทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมีค่าเพิ่มมากขึ้น และจากผลการทดลองพบว่าการใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำจากพืชไขมันทั้งสองประเภทจะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกโดยเฉลี่ยสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน



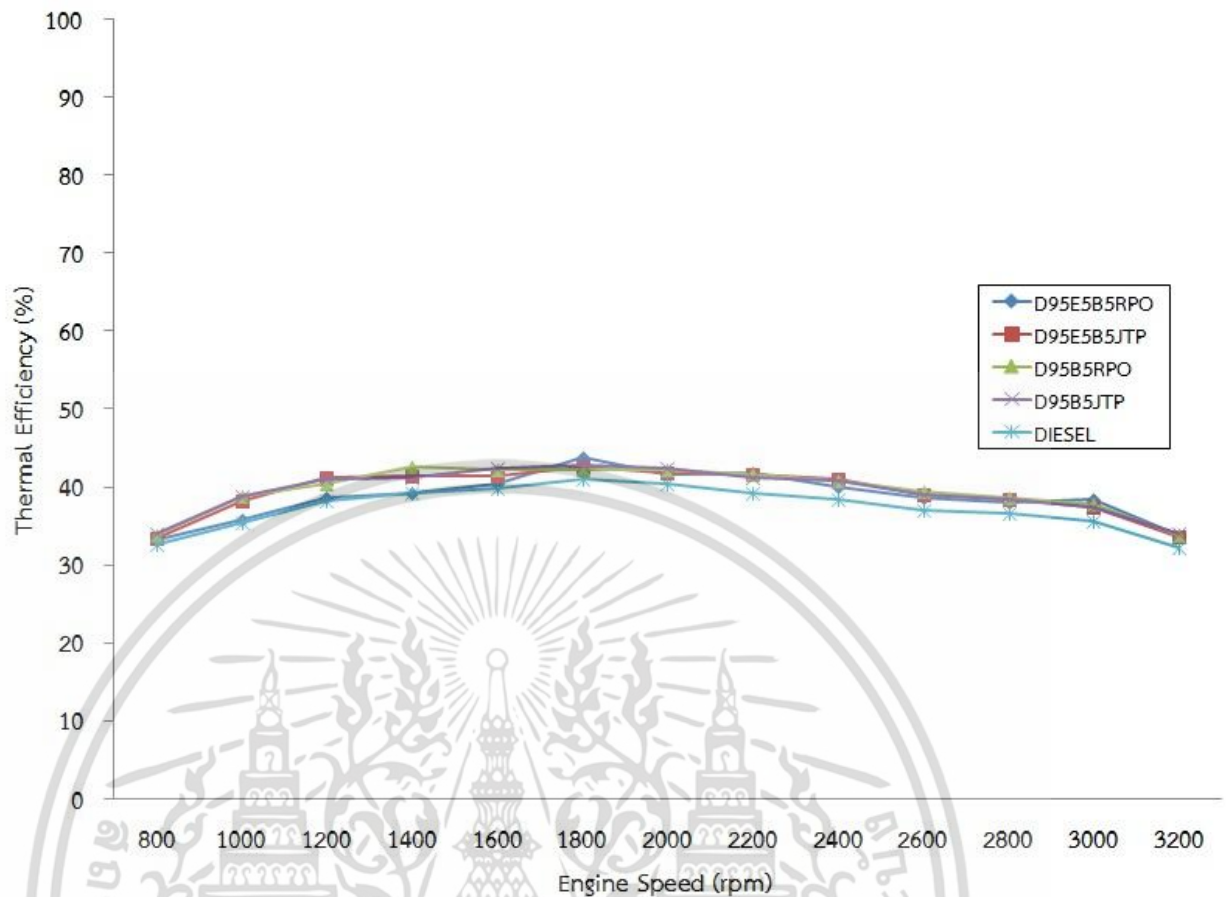
รูปที่ 5.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไข่น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.37 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกเปรียบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะมีโหลดพบว่า ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของน้ำมันดีโซฮอล์จากไข่น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และดีโซฮอล์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสมต่ำมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งนับเป็นข้อดีของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน



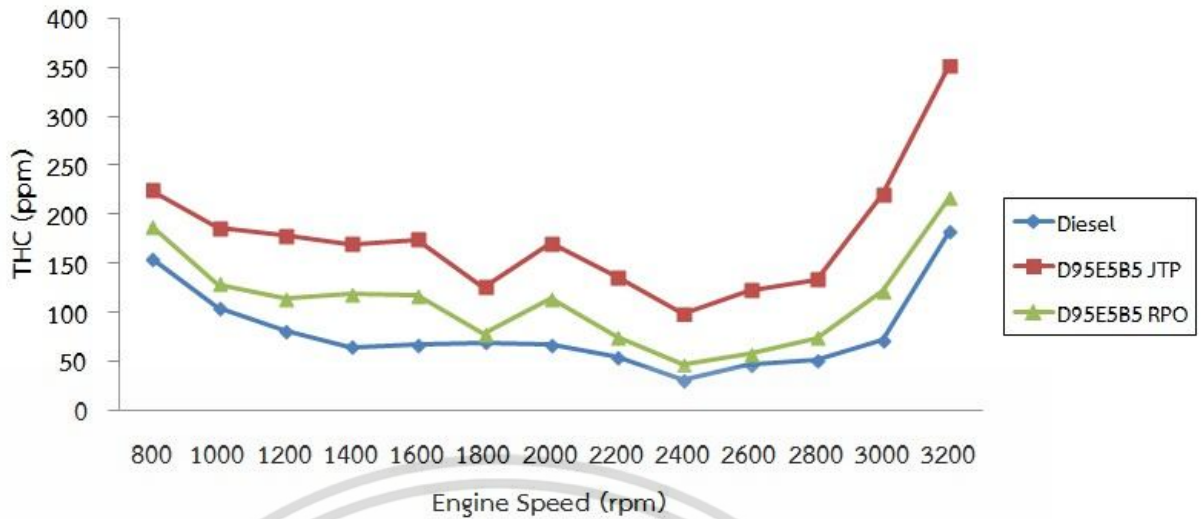
รูปที่ 5.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไขมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.38 พบว่าเมื่อมีการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของกลุ่มน้ำมันไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำจากพืชไขมันทั้งสองประเภทพบว่า น้ำมันดีเซลจะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกที่มากที่สุด โดย D95B5RPO และ D95B5JTP จะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกเฉลี่ยที่ต่ำกว่าการใช้ไขมันดีเซล



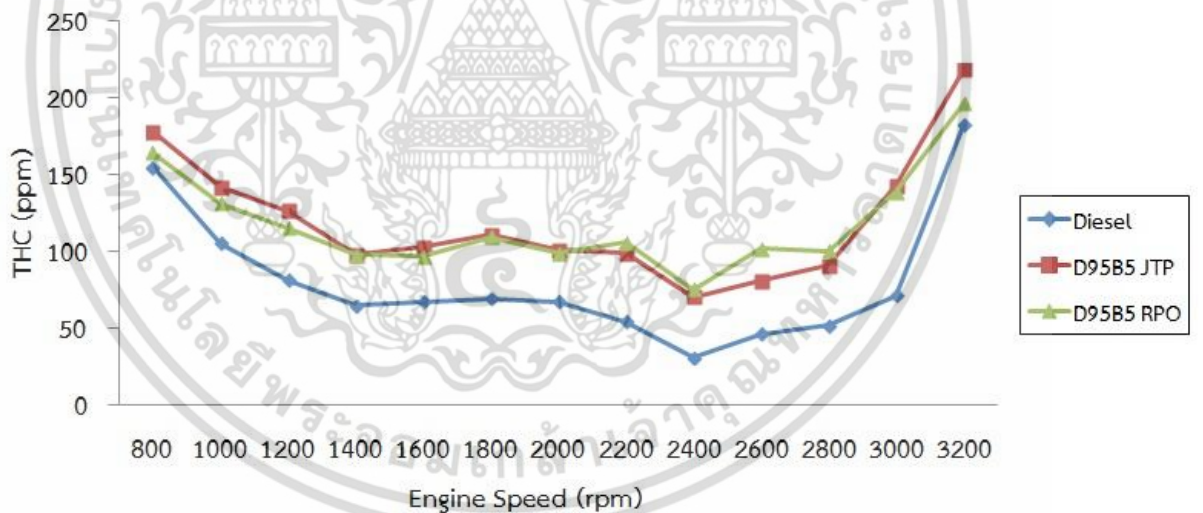
รูปที่ 5.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ ดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสมต่ำเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจาก ไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไขมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.39 พบว่าน้ำมันดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ D95E5B5RPO D95E5B5JTP และกลุ่มน้ำมันไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ D95B5RPO D95B5JTP ที่ผลิตจากพืชไขมันทั้งสองประเภทที่ใช้ในการทดลอง มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าการใช้ไขมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่าการใช้ไขมันดีเซลมาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่มีจำกัดในห้องเผาไหม้ที่เท่ากัน สาเหตุที่เชื้อเพลิงชีวภาพใช้เวลาในห้องเผาไหม้สั้นกว่าเนื่องจากการมีออกซิเจนอะตอมอยู่ในโมเลกุลของน้ำมันซึ่งนับว่าเป็นจุดเด่นของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่นำมาผลิตเพื่อใช้ในการทดลองนี้



รูปที่ 5.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง THC กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.40 พบว่ากลุ่มน้ำมันดีเซลที่ได้จากการทดลองมีการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มากกว่าการใช้น้ำมันดีเซลโดยมีค่าความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุอันเนื่องมาจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล

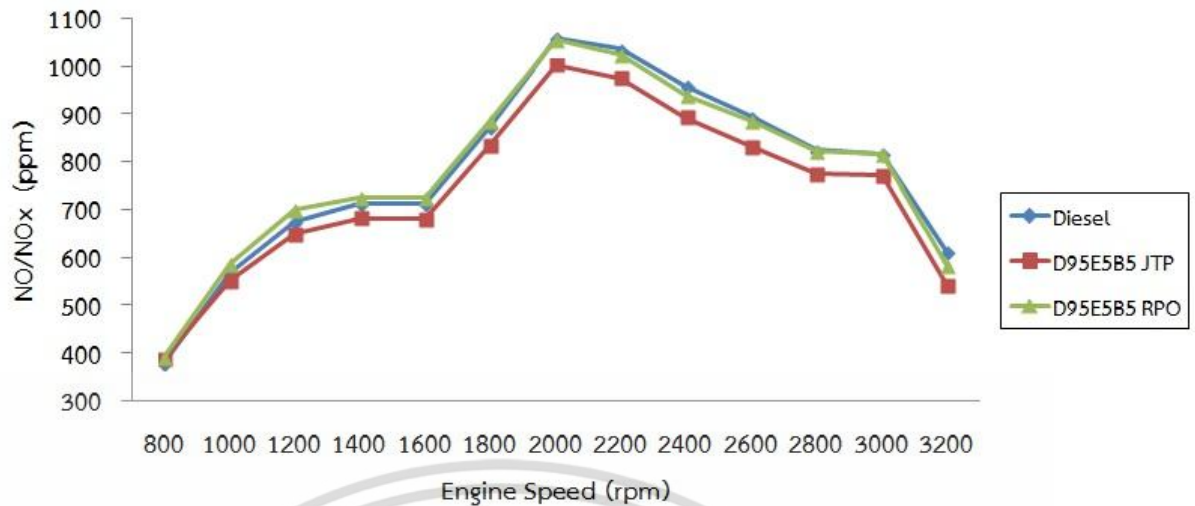


รูปที่ 5.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง THC กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.41 พบว่าไบโอดีเซลที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ได้จากการทดลองมีการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มากกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้อาจมีสาเหตุอันเนื่องมาจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล

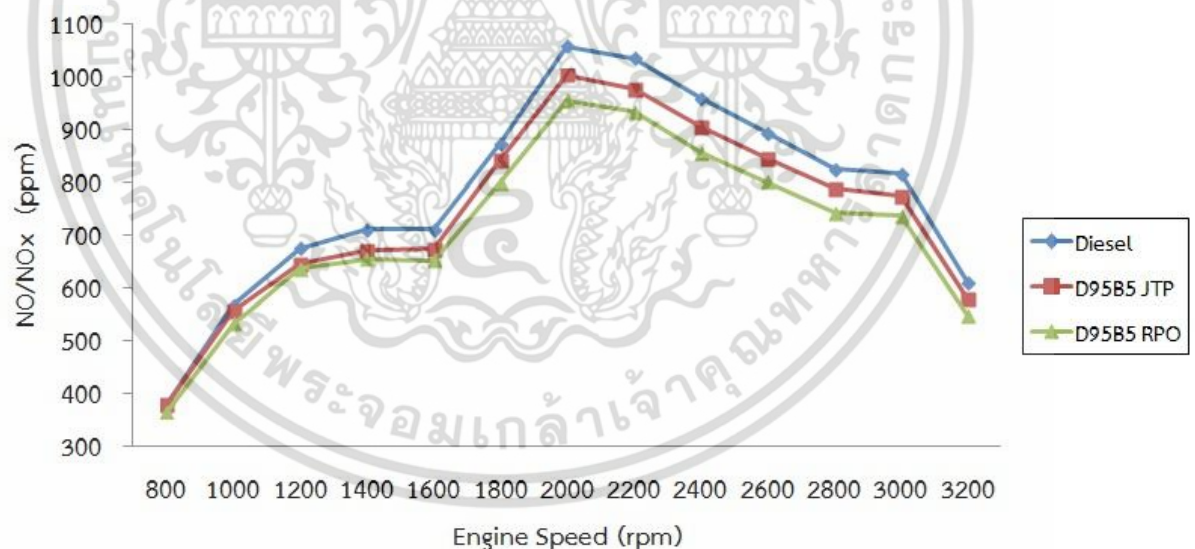
นอกเหนือจากนั้น ข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ ส่งผลให้ความหนืดส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจะส่งผลโดยตรงต่อการกระจายตัวของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NOx กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.42 พบว่าค่า NOx มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาไหม้ ดังนั้นน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันดีเซลไฮดรอกซีจึงมีการปล่อย NOx ในปริมาณที่สูงกว่า และเนื่องจากเชื้อเพลิงเอทานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Heat of Vapourization) ที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลนั่นเอง



รูปที่ 5.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NOx กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

จากผลการทดลองรูปที่ 5.43 พบว่า D95B5JTP และ D95B5RPO มีปริมาณการปล่อย NOx น้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลในทุกช่วงความเร็วรอบของการทดลอง เนื่องจากค่า NOx มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาไหม้ ดังนั้นน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ จึงมีการปล่อย NOx ในปริมาณที่สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลการทดลอง

#### 6.1.1 ผลการทดลองเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต

1. ที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 , 0.4% KOH (wt/vol) , อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที มีค่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงที่สุดคือ 82% โดยในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาทีจะเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์มากกว่าการทำปฏิกิริยาที่เวลา 30 นาที ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เท่ากับ 80% โดยมีค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การผลิตได้ที่ 2% ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกทำการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่เวลา 60 นาที โดยไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มในสัดส่วนการผลิตดังกล่าวมีผลทดสอบลักษณะและคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน

2. จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ 1 : 2 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ที่เปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาตรน้ำมันที่ 0.4%KOH(wt/vol) มีค่าเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับน้ำมันที่ใช้สูงที่สุดเท่ากับ 82% เมื่อเทียบกับที่เปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.2 และ 0.6%KOH(wt/vol) และจากผลการทดลองการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำพบว่าเปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ที่เปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาต่อมวลน้ำมัน %KOH (wt/vol) ที่ 0.8 ให้ค่าเปอร์เซ็นต์โดยมวลของผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับน้ำมันที่ใช้สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 71.04% ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้เปอร์เซ็นต์โดยมวลตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาตรน้ำมันที่ 0.8%(wt/vol)KOH

3. ในการกระบวนการล้างต่างออกจากน้ำมันเพื่อปรับสภาพเอสเทอร์ให้เป็นกลางไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำจะมีกระบวนการล้างที่ยากกว่าไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำมีการใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากกว่า โดยในการล้างต่างออกจากไบโอดีเซลจะใช้น้ำอุ่นอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในสัดส่วนโดยปริมาตร ไบโอดีเซล : น้ำ เท่ากับ 1 : 2 ทำการล้างโดยการกวนสารผสมใช้เวลาประมาณ 15 นาที จากนั้นรอให้ไบโอดีเซลแยกชั้น ทำการล้างซ้ำจนน้ำล้างมีค่า pH เท่ากับ 7 จากผลการทดลองไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์มีล้างซ้ำเท่ากับ 3 ครั้ง ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำมีการล้างซ้ำเท่ากับ 4 ครั้ง จากนั้นเติม  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ที่สัดส่วน 35% โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล เพื่อกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซลเพื่อให้มีปริมาณน้ำ ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 0.050 ตามมาตรฐานคุณลักษณะและคุณภาพมาตรฐานของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน ASTM D 2709

4. ที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 , 0.8% KOH (wt/vol) , อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที มีค่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงที่สุดคือ 71.04% โดยในการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาทีจะเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์มากกว่าการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาที่เวลา 30 นาที ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เท่ากับ 62.35% โดยมีค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การผลิตได้ที่ 8.69% ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่เวลา 60 นาที เนื่องจากมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญโดยไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มในสัดส่วนการผลิตดังกล่าวมีผลทดสอบลักษณะและคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน

5. จากผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 ที่ 0.4%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C รวมทั้งผลการทดสอบค่าความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 ที่ 0.8%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากพืชไขมันทั้งสองประเภทมีปริมาณ Monoglycerides Diglycerides Triglyceride Free Glycerin และ Total Glycerin ไม่เกินค่ามาตรฐานไบโอดีเซลที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ทำการผลิตที่สัดส่วนการผสมดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อทำการผลิตดีโซฮอลล์และไบดีเซลที่สัดส่วนการผสมต่ำในขั้นตอนต่อไป โดยปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันแสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ทั้งนี้เมื่อนำไบโอดีเซลที่สัดส่วนการผสมดังกล่าวมาทดสอบกับเครื่องยนต์ จะไม่ก่อให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด ระบายสูบ และวาล์วภายในเครื่องยนต์

6. ทั้งนี้ค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 : 2 ที่ 0.4%KOH(wt/vol) ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้คือ 97.75% จากเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดคือ 96.5% และค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากการทดลองที่สัดส่วนโดยปริมาตรเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 1 : 3 ที่ 0.8%KOH(wt/vol) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้คือ 98.38% จากเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดคือ 96.5%

7. จากการทดลองพบว่าที่เอทานอลค่าความบริสุทธิ์ที่ 99.9% อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตดีโซฮอลล์ที่ 25 °C และ 35 °C ได้สามารถผลิตดีโซฮอลล์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และดีโซฮอลล์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำได้ โดยไม่เกิดลักษณะการแยกชั้นของดีโซฮอลล์ที่ทำการผลิต เมื่อถูกเก็บไว้ในสภาวะควบคุมเป็นเวลา 6 เดือน

8. ในการเลือกใช้ไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากเพื่อต้องการรักษาสมดุลของตลาดไม่ให้เกิดภาวะล้นตลาด โดยไม่นำน้ำมันส่วนที่มีราคาสูงมาใช้ในการผลิต จากการทดลองเมื่อพิจารณาต้นทุนของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบพบว่าน้ำมันที่ใช้ในการทดลองในการผลิตไบโอดีเซลเลือกใช้ไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เนื่องจากในการผลิตไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ซึ่งนับเป็นพืชไขมันที่มีศักยภาพในการเป็นแหล่งวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซลในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากมีปริมาณการผลิตและผลผลิตต่อไร่สูงที่สุดในบรรดาพืชไขมันเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกและต้นทุนในการผลิตต่ำเนื่องจากเป็นพืชที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายภายในประเทศ ส่วนน้ำมันเมล็ดสบู่ดำเป็นน้ำมันที่ไม่ใช่เพื่อการบริโภค ทำให้มีจุดเด่นและมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานทดแทน โดยไม่ต้องเข้าไปแย่งพืชอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เลือกใช้ปฏิกิริยาที่ใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด ด้วยเหตุผลคือ เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้สภาวะในการผลิตที่อุณหภูมิและความดันต่ำ การใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้นกว่าการใช้กรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยา เป็นกระบวนการที่ให้ผลได้ หรือ yield สูง และควบคุมการผลิตได้ง่าย

10. อย่างไรก็ตามในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำจะต้องคำนึงถึงการทำให้ปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลได้สูงสุด และเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด นอกจากนั้นแล้วยังต้องให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานที่กำหนด เพื่อให้ต้นทุนในการผลิตต่ำสุดมีราคาที่สามารถแข่งขันได้ โดยปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผลได้ (yield) ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากการทดลองนี้ ได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา สัดส่วนระหว่างไขมันและแอลกอฮอล์ ชนิดและความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยาและความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น

### 6.1.2 ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

1. เมื่อมีการผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนการผสมที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในด้านการผลิตเป็นดีโซฮอล์ที่อัตราส่วนการผสมต่ำหรือการนำมาไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนการผสมต่ำ จะมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซล แต่มีค่าปริมาณพลังงานความร้อนโดยรวมที่ต่ำกว่า ความหนาแน่นของไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำมีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลประเภทกรมธุรกิจพลังงาน

2. จากผลการทดสอบความหนืดซึ่งเกี่ยวข้องกับการไหล การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีด ในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยละอองขนาดเล็กจะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบจากผลการทดลองดีโซฮอล์และไบโอดีเซลผสมที่อัตราส่วนการผสมต่างๆมีค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน โดยไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ผลิตได้มีค่าความหนืดเท่ากับ 4.62 cSt และไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขมันเมล็ดสบู่ดำที่ผลิตได้มีค่าความหนืดเท่ากับ 4.81 cSt ตามเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลที่กำหนดให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C ของไบโอดีเซลมีค่าอยู่ในช่วง 3.5-5 cSt ค่าความหนืดยังเป็นดัชนีแสดงการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซล อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกทางหนึ่ง จากผลการทดลองค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ผลิตจากไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ และน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ผลิตจากไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำ พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ยังคงมีค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่กำหนดไว้สูงสุดที่ 4.1 cSt ทั้งนี้กำหนดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C ตามลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วประเภทกรมธุรกิจพลังงานต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1 cSt ส่วนน้ำมันดีเซลหมุนช้าข้อกำหนดค่าความหนืดจะต้องไม่สูงกว่า 8.0 cSt

3. จุดวาบไฟเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอของน้ำมัน แล้วทำให้น้ำมันติดไฟ ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประเภทกรมธุรกิจพลังงาน ASTM D93 กำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 120 °C จากผลการทดลองไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ผลิตได้มีค่าจุดวาบไฟเท่ากับ 166 °C ซึ่งมากกว่า 120 °C และไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำที่ผลิตได้มีค่าจุดวาบไฟเท่ากับ 158 °C ซึ่งมากกว่า 120 °C โดยมีค่าเป็นไปตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกณฑ์มาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด จึงมีความสะดวกในการขนส่ง เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ สามารถจัดเก็บไปโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไว้ในที่เดียวกันกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน โดยไม่จำเป็นแยกพื้นที่ในการจัดเก็บ และจากผลการทดลองดีโซฮอล์ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆพบว่า น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากการทดลองมีค่าจุดวาบไฟต่ำกว่าจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ASTM D93 กำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟไม่ต่ำกว่า  $52^{\circ}\text{C}$  ได้แก่ดีโซฮอล์สูตร D95E5B5(RPO) D95E5B10(RPO) D95E10B5(RPO) D95E5B5(JTP) D95E5B10(JTP) D95E10B5(JTP) จึงจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการขนส่ง เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ ทั้งนี้เมื่อมีการผสมเอทานอลลงไปน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีผลทำให้จุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าลดลง จากผลการทดลองไปโอดีเซลที่อัตราส่วนการผสม D95B5(RPO) D95B10(RPO) D95B5(JTP) D95B10(JTP) มีค่าจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนด ได้แก่อุณหภูมิ  $58^{\circ}\text{C}$   $62^{\circ}\text{C}$   $57^{\circ}\text{C}$  และ  $61^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ กำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟไม่ต่ำกว่า  $52^{\circ}\text{C}$  ตามมาตรฐาน ASTM D93

4. คุณสมบัติการไหลได้ที่อุณหภูมิต่ำ เป็นการวัดความสามารถในการใช้งานเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำหรือในภูมิภาคที่มีอากาศหนาวเย็น สำหรับไปโอดีเซลที่มีจุดแข็งตัวสูง จะมีคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำไม่ดีเท่าน้ำมันดีเซล โดยจุดไหลเทของไปโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มีค่าจุดไหลเทอยู่ที่อุณหภูมิ  $16^{\circ}\text{C}$  จึงสามารถนำไปใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิที่ไม่ต่ำกว่า  $16^{\circ}\text{C}$  ส่วนจุดไหลเทของไปโอดีเซลบริสุทธิ์น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ มีค่าจุดไหลเทอยู่ที่อุณหภูมิ  $2^{\circ}\text{C}$  จึงสามารถนำไปใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่ไม่ต่ำกว่า  $2^{\circ}\text{C}$  ทั้งนี้ถ้าน้ำมันไปใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดไหลเท จะทำให้น้ำมันเกิดเป็นไขซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันตรงบริเวณท่อทางเดินน้ำมัน และไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงอุณหภูมิและภูมิภาคในพื้นที่ที่ใช้งานด้วย เพื่อไม่ให้ไปโอดีเซลที่ผลิตได้กลายเป็นของแข็งขณะการขนส่งและใช้งาน

5. ไปโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไปโอดีเซลบริสุทธิ์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ มีค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดงไม่สูงกว่าหมายเลข 1 ตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไปโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน โดยค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดง แสดงถึงการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ อันเนื่องมาจากปริมาณกรด จากผลการทดลองไปโอดีเซลบริสุทธิ์จากพีชน้ำมันทั้งสองชนิดสามารถนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลอันเนื่องมาจากการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ และไม่ก่อให้เกิดผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

6. ไปโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไปโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ D95B5(RPO) D95B5(JTP) D95B10(RPO) D95B10(JTP) มีความปลอดภัยในการเก็บรักษาโดยไม่จำเป็นต้องมีการแยกพื้นที่ในการเก็บรักษาตลอดจนการขนย้ายน้ำมันสามารถทำได้ปลอดภัยกว่าน้ำมันดีเซลอันเนื่องมาจากการมีค่าจุดวาบไฟที่สูง ส่วนดีโซฮอล์ผสมที่สัดส่วนการผสม D95E5B5(RPO) D95E5B5(JTP) D95E5B10(RPO) D95E5B10(JTP) มีค่าจุดวาบไฟที่ต่ำจำเป็นต้องมีการแยกพื้นที่ในการเก็บรักษาตลอดจนการจัดการด้านความปลอดภัยในการขนย้ายน้ำมัน ทั้งนี้จุดวาบไฟ คืออุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันระเหยเป็นไอ และเริ่มติดไฟโดยไปโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไปโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำมีอุณหภูมิจุดวาบไฟ และจุดติดไฟที่มากกว่าน้ำมันดีเซล โดยจากการทดลองพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนการผสมที่มากขึ้นจะเป็นการเพิ่มจุดวาบไฟ และจุดติดไฟของน้ำมันผสมให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น

7. จากผลการทดลองพบว่าเมื่อผสมไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำในสัดส่วนการผสมต่ำพบว่าค่าความร้อนมีค่าลดลงตามสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลที่เพิ่มมากขึ้น โดยจากผลการทดลองพบว่าไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ผลิตจากพืชไขมันทั้งสองชนิด มีค่าความร้อนสูงกว่าดีเซลที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ใช้ในการทดลอง โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลหรือไบโอดีเซลเข้าไปในน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนของดีเซลที่มีค่าลดลง

8. เนื่องจากรัฐบาลกำหนดให้มีปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลได้ไม่เกิน 0.05% โดยน้ำหนัก การลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลลงทำให้คุณสมบัติการหล่อลื่นโดยธรรมชาติของน้ำมันดีเซลลดลงไปมากส่งผลทำให้ปั๊มหัวฉีดสึกหรอและอุดตันได้ในระยะยาว คุณสมบัติในการหล่อลื่นสามารถทดสอบโดยวิธี High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ตามมาตรฐาน CEC-F-06-A-96 พบว่าไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์มีค่า Wear Scar เท่ากับ  $201 \mu\text{m}$  ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากไขมันเมล็ดสบู่ดำมีค่า Wear Scar เท่ากับ  $169 \mu\text{m}$  ดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ที่สัดส่วนการผสม D95E5B5(RPO) มีค่า Wear Scar เท่ากับ  $205 \mu\text{m}$  ดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสม D95EB5(RPO) มีค่า Wear Scar เท่ากับ  $205 \mu\text{m}$  ไบโอดีเซลผสมสูตร D95B5(RPO) จากไขมันปาล์มบริสุทธิ์ มีค่า Wear Scar เท่ากับ  $204 \mu\text{m}$  และไบโอดีเซลผสมสูตร D95B5(JTP) จากไขมันเมล็ดสบู่ดำ มีค่า Wear Scar เท่ากับ  $204 \mu\text{m}$  ทั้งนี้ น้ำมันเชื้อเพลิงทุกประเภทที่ได้จากการผลิตมีค่าการหล่อลื่นเป็นไปตามที่มาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานกำหนดโดยมีค่ารอยขีดข่วนไม่เกิน  $460 \mu\text{m}$  โดยน้ำมันทุกประเภทที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นในเครื่องยนต์ได้ดีกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี

### 6.1.3 ผลการทดลองเกี่ยวกับเครื่องยนต์และมลภาวะไอเสีย

1. จากผลการทดลองรูปที่ 5.29 ถึงรูปที่ 5.34 กลุ่มน้ำมันไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำให้ค่าทอร์คและกำลังเบรคมีค่าใกล้เคียงกันกับการใช้น้ำมันดีเซลรองลงมาได้แก่กลุ่มน้ำมันดีเซลที่มีผลจากการทดลองที่ไม่แตกต่างกันมากนัก จากผลการทดลองรูปที่ 5.35 พบว่ากลุ่มน้ำมันดีเซลที่มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมากกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ จากผลการทดลองพบว่ากลุ่มน้ำมันดีเซลที่มีค่าความร้อนที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณเอทานอลและไบโอดีเซลที่ใช้ในการผสม จึงส่งผลให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนลดต่ำลง จึงทำให้ต้องมีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อชดเชยให้มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ค่า bsfc มีค่าเพิ่มมากขึ้น และจากผลการทดลองรูปที่ 5.36 พบว่ากลุ่มน้ำมันไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคใกล้เคียงกันกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนการผสมต่ำ

2. จากผลการทดลองรูปที่ 5.37 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคเปรียบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะมีโหลดพบว่า ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของน้ำมันดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์และดีเซลจากไขมันเมล็ดสบู่ดำที่สัดส่วนการผสมต่ำมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งนับเป็นข้อดีของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน 5.38 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าเมื่อมีการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของกลุ่มน้ำมันไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำกว่าจากพืชน้ำมันทั้งสองประเภทพบว่า น้ำมันดีเซลจะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกที่มากที่สุด โดย D95B5RPO และ D95B5JTP จะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกเฉลี่ยที่ต่ำกว่าการใช้้ำมันดีเซล

3. จากผลการทดลองรูปที่ 5.39 พบว่าน้ำมันดีโซฮอล์ที่สัดส่วนการผสมต่ำ D95E5B5RPO D95E5B5JTP และกลุ่มน้ำมันไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ D95B5RPO D95B5JTP ที่ผลิตจากพืชน้ำมันทั้งสองประเภทที่ใช้ในการทดลอง มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าการใช้้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่าการใช้้ำมันดีเซลมาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่มีจำกัดในห้องเผาไหม้ที่เท่ากัน สาเหตุที่เชื้อเพลิงชีวภาพใช้เวลาในห้องเผาไหม้สั้นกว่าเนื่องจากการมีออกซิเจนอะตอมอยู่ในโมเลกุลของน้ำมันซึ่งนับว่าเป็นจุดเด่นของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่นำมาผลิตเพื่อใช้ในการทดลองนี้

4. จากผลการทดลองรูปที่ 5.40 พบว่ากลุ่มน้ำมันดีโซฮอล์ที่ได้จากการทดลองมีการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มากกว่าการใช้้ำมันดีเซลโดยมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุอันเนื่องมาจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล

5. จากผลการทดลองรูปที่ 5.41 พบว่าไบโอดีเซลที่สัดส่วนการผสมต่ำที่ได้จากการทดลองมีการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มากกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้อาจมีสาเหตุอันเนื่องมาจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล

นอกเหนือจากนั้น ข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ ส่งผลให้ความหนืดส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจะส่งผลโดยตรงต่อการกระจายตัวของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้

6. จากผลการทดลองรูปที่ 5.42 พบว่าค่า NO<sub>x</sub> มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาไหม้ ดังนั้นน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันดีโซฮอล์จึงมีการปล่อย NO<sub>x</sub> ในปริมาณที่สูงกว่า และเนื่องจากเชื้อเพลิงเอทานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Heat of Vapourization) ที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลนั่นเอง โดยจากผลการทดลองรูปที่ 5.43 พบว่า D95B5JTP และ D95B5RPO มีปริมาณการปล่อย NO<sub>x</sub> น้อยกว่าการใช้้ำมันดีเซลในทุกช่วงความเร็วรอบของการทดลอง เนื่องจากค่า NO<sub>x</sub> มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาไหม้ ดังนั้นน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมที่สัดส่วนการผสมต่ำ จึงมีการปล่อย NO<sub>x</sub> ในปริมาณที่สูงกว่า

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลควรมีการศึกษาเพื่อทำการคัดเลือกชนิดของน้ำมันพืชที่จะนำมาใช้ให้เหมาะสมโดยพิจารณาจากเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันค่อนข้างสูงสามารถบิบ และสกัดออกได้ด้วยวิธีทางกลอย่างง่าย มีปริมาณการผลิตมากหาได้ง่าย และมีราคาถูกจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยมีความเห็นว่า ใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำมีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลและเมื่อนำไบโอดีเซลจากใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำมาใช้ในการทดลองเพื่อผลิตเป็นดีโซฮอล์พบว่าไบโอดีเซลจากพืชน้ำมันทั้งสองชนิด สามารถใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ทำให้น้ำมันดีเซลและเอทานอลละลายอยู่ในรูปของอิมัลชันที่มีเสถียรภาพได้ ในส่วนของงานวิจัยที่นำจะทำต่อจากงานวิจัยนี้คือ การศึกษาถึงวิธีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซลและดีโซฮอล์ลง การศึกษาถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงให้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งมีการศึกษาถึงการใช้ไบโอดีเซลจากพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ ตลอดจนทำการศึกษากการท่ววิจัยเพื่อที่จะใช้ประโยชน์จาก ไบโอฟิวส์ (biofuels) ที่อยู่รูปของ เอทานอล เมทานอล ที่เกิดจากชีวมวล ให้ได้มากที่สุดตลอดจนเชื้อเพลิงทดแทนชนิดอื่นที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลและดีโซฮอล์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] เกียรติไกร อายุวัฒน์. 2527 “การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลโดยเมื่อนำน้ำมันมะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตธนบุรี.
- [2] โกวิท ศตาวุฒิ และอิทธิ ปานงาม “การวิจัยเพื่อนำแอลกอฮอล์หนักมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน.” สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527
- [3] ก่อเกียรติ ศุภพิมล. 2532 “การสันดาปของหยดน้ำมันพืช” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเขตธนบุรี.
- [4] จารุวัฒน์ และคณะ. “การศึกษาการใช้น้ำมันมะพร้าวเดินเครื่องยนต์ดีเซล” กรุงเทพมหานคร : กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, 2525.
- [5] พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล สุมาลัย ศรีกำไลทอง และ สรวารุช วรสุมนต์. 2524 “การใช้น้ำมันพืชทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล” สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- [6] พูลพร แสงบางปลา. “การใช้ Biodiesel กับเครื่องยนต์มีผลอย่างไร” เอกสารประกอบการสัมมนา 29 พฤษภาคม 2544
- [7] ปิยะภรณ์ วลัยกนก และ สุदारัตน์ วัฒนาวังจกุล. 2545 “การเตรียมและศึกษาสมบัติดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าวโดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมดีเซลชีวภาพจากน้ำมันมะพร้าว” ปรินญา นิพนธ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] มนตรี ทวารโจน . “การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แอลกอฮอล์ผสมน้ำมันดีเซลและน้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล.” วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2538.
- [9] ระพีพันธ์ และ คณะ 2525 “การใช้น้ำมันสบู่ดำเป็นพลังงานทดแทนเครื่องยนต์ดีเซล” กองเกษตร วิศวกรรม. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- [10] Queensland Government Environment Protect Agency. Diesohol for road transport.
- [11] สมศักดิ์ สิ้นประเสริฐ. “สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้เมทานอลและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.
- [12] Al.Widyan, M.I. and A.O. Al-Shyoukh. 2002. Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. Bioresource Technology 85 (3) : 253-256.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Antolín, G., F.V. Tinaut, Y. Briceño, V. Castaño, C. Pérez and A.I. Ramírez. 2002. Optimization of biodiesel production by sunflower oil transesterification. *Bioresource Technology* 83 (2): 111-114.
- [14] Basu, H.N. & Norris, M. E. "Process for Production of Esters for Use as a Diesel Fuel Substituted Using a Non-alkaline Catalyst." U.S. Patent 5,525,126,1996
- [15] Berchmans, J.H. and S. Hirata. 2008. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Biosource technology*. 99: 1716-1721.
- [16] Freedman B., E.H.Pryde and T.L.Mounts., 2545 "Variable Effecting the Yields of Fatty Esters from Transesterification Vegetable Oils." *J.Am.Oil Chem Soc.* 61(10) : 1638 – 1643 , 1984
- [17] Jones B. , Ready K. "Bioblended Fuel for Use in Light – Duty Compression Ignition Engines." PH.D. ,1998  
<http://www.biodiesel.org/reports/GEN-221.pdf>.
- [18] Crabbe. E. "Biodiesel Production from Palm Oil and Evaluation of Butanol Extraction and Fuel properties." *Process Biochemistry*. 37 (2001) : 65-71.
- [19] Darnoko, D. and M. Cheryan. 2000. Kinetic of palm oil transesterification in a batch reactor. *JAm Oil Chem Soc.* 77:1263-1267.
- [20] Galen, J.S., A.D. Mohanprasad, E.J. Doscocil, P.J. Mankidy and M.J. Goff. 2004. Tranesterification of soybean oil with zeolite and metal catalysts. *Applied Catalysis* (257): 213-223.
- [21] Gryglewicz, S. 1999. Rapeseed oil methyl esters preparation using heterogeneous catalysts. *Bioresource Technology* 70: 249-253.
- [22] He, H. and Zhang, R. "Preparation of ethanol-diesel fuel blends and exhausts emission characteristics in diesel engine." *Huan Jing Ke Xue*. 24 (4 Jul. 2003) : 1-6.
- [23] Kass, M. D. "Emissions from a 5.9 liter diesel engine fueled with ethanol diesel blends." *SAE Techniccal Paper*. 2001-01-2018 (SP-1632).
- [24] Keim, G.I. 1945. Treating fats and fatty oil. U.S. Patent 2: 383-601.
- [25] Kim, H.J., B.S. Kang, M.J. Kim, Y.M. Park and D.K. Kim. 2004. Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst. *Catalysis Today* 93: 315-320.

[26] Lin. C. Y. and Wang K. H. "The fuel propertied of three phase emulsion as an  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- alternatives fuel for diesel engines.” Fuel. 82 (2003) : 1367-1375.
- [27] Ma,F. and M.A, Hanna. 1999. Biodiesel production : a review. Bioresource Technology (70): 1-15.
- [28] Meher, L.C., V.S. Dharmagadda. and S.N. Naik. 2005. Optimization of alkali 4 catalyzed transesterification of Pongamia pinnata oil for production of biodiesel. Biores.Technol. 97: 1392-1397.
- [29] Foidl N., Foidl G., Sanchez M. and Hackel S. “Jatropha Circus L as a Source for the Production of Biodiesel in Nicaragua” , Biosource Technology,Vol. 58, pp. 77-82 , 1996.
- [30] Richard W. Heiden. “Analytical methodologies for the Determination of Biodiesel Ester Purity – Determination of the Total Methyl Esters.” PH.D. ,1996  
<http://www.biodiesel.org/reports/GEN-221.pdf>.
- [31] Takeda, Y., M. Okada, R. Pasbutch. 1981. Interim report on the study of Jatropha curcas oil as a substitute for diesel engine.
- [32] Turck, R. 2002. Method for producing fatty acid esters of monovalent alkyl alcohol and use there of. USP 0156305
- [33] Vicente, G., A. Coteron, M. Martinez and J. Aracil. 1998. Application of the factorial design of experiments and response surface methodology to optimize biodiesel production. Industrial Crops and Products 8 (1): 29-35.
- [34] Ali Y. Al. “Beef tallow as a biodiesel fuel.” PhD dissertation, Biological Systems Engineering, University of Nebras - Lincoln , 1995.
- [35] John B. Heywood. Internal Combustion Engine Fundamentals. By McGraw-Hill, Inc., 1998

## ภาคผนวก ก

**ตารางที่ 1** กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ 2548

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน\*

ที่	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ*	
1	เมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	ไม่น้อยกว่า และไม่น้อยกว่า 860 และ 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C	เซนติสโตกส์	ไม่น้อยกว่า และไม่น้อยกว่า 3.5 และ 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	ไม่น้อยกว่า 120	ASTM D 93
5	กำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน		ไม่น้อยกว่า 51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 0.02	ASTM D 874
9	น้ำ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 0.050	ASTM D 2709
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 0.0024	ASTM D 5452
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง		ไม่น้อยกว่า หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C	ชั่วโมง	ไม่น้อยกว่า 6	EN 14112
13	ค่าของกรด	มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม	ไม่น้อยกว่า 0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน	กรัมไอโอดีน/100 กรัม	ไม่น้อยกว่า 120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 12.0	EN 14103
16	เมทานอล	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 0.20	EN 14110
17	โมนอกลิเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 0.80	EN 14105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1 (ต่อ) กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ 2548**  
**ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน\***

ที่	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ*	
18	ไดกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105	
19	ไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105	
20	กลีเซอรินอิสระ ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.02	EN 14105	
21	กลีเซอรินทั้งหมด ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.25	EN 14105	
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ไม่สูงกว่า 5.0	EN 14108 และ EN 14109 EN 14538
	โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกเนเซียม)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ไม่สูงกว่า 5.0	
23	ฟอสฟอรัส ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 4951	
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

\*ราชกิจจานุเบกษา หน้า 12 เล่ม 122 ตอนพิเศษ 70 ง. วันที่ 24 สิงหาคม 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2547 ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน\*

ที่	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ*
			หมุนเร็ว	หมุนช้า	
1	ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 °C	ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า	0.81 0.87	- 0.920	ASTM D 1298
2	จำนวนซีเทน หรือดัชนีซีเทน	ไม่ต่ำกว่า	47	45	ASTM D 613 ASTM D 976
3	ความหนืด, เซนติสโตกส์ 3.1 ณ อุณหภูมิ 40 °C 3.2 ณ อุณหภูมิ 50 °C	ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า	1.8 4.1 - -	- 8.0 - 6.0	ASTM D 445
4	จุดไหลเท, °C	ไม่สูงกว่า	10	16	ASTM D 97
5	ปริมาณกำมะถัน, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.035	1.5	ASTM D 2622
6	การกัดกร่อน	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	-	ASTM D 130
7	ปริมาณกากถ่าน, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.05	-	ASTM D 189
8	ปริมาณน้ำและตะกอน, ร้อยละโดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า	0.05	0.3	ASTM D 2709
9	ปริมาณเถ้า, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.01	0.02	ASTM D 482
10	จุดวาบไฟ, °C	ไม่ต่ำกว่า	52	52	ASTM D 93
11	การกลั่น อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตร ในอัตรา ร้อยละ 90, °C	ไม่สูงกว่า	357	-	ASTM D 86
12	สี	ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า	- 4.0	4.5 7.5	ASTM D 1500
13	คุณสมบัติการหล่อลื่น ทดสอบโดยเครื่อง เอชเอฟอาร์อาร์, ไมโครเมตร	ไม่สูงกว่า	460	-	CEC F-06-A- 96
14	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจ พลังงาน			

\*ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 121 ตอนพิเศษ 8 ง. วันที่ 22 มกราคม พุทธศักราช 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิศวกรรมยานยนต์ ครั้งที่ 2 (สวท), ณ ห้องประชุมสารสนเทศ ชั้น 2 หอประชุมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 3 ตุลาคม พ.ศ.2545

2546 : กนกอร รจนากิจ และ จินดาเจริญพรพาณิชย์, การพัฒนาไบโอดีเซลจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด, วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 เดือนเมษายน พ.ศ 2546, หน้าที่ 1-6

2546 : กนกอร รจนากิจ และ จินดาเจริญพรพาณิชย์, "การนำเอทิลเอสเทอร์จากนํ้ามันมะพร้าวมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก", รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, ระหว่างวันที่ 15-17 ตุลาคม 2546, ณ โรงแรมทวาราวดี ปราจีนบุรี, หน้า 627-632

2546 : Kanok-on Rodjanakid, Emwajee kullavanit and Chinda Chalernpornpanich, "Using Methyl Ester of Refined Palm Oil Stearin for Compression Ignition Engine", The 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering, Motor Vehicles Towards Globalization, BITEC , Bangkok, Thailand, April 1-4, 2003.

2547 : กนกอร รจนากิจ และ จินดาเจริญพรพาณิชย์, "สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลจากไขนํ้ามันปาล์มบริสุทธิ์", รายงานการประชุมวิชาการเครือข่าย-วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, ระหว่างวันที่ 18-20 ตุลาคม 2547 ณ โรงแรมโซฟิเทล ราชาออร์คิดขอนแก่น

2547 : Kanok-on Rodjanakid and Chalernpornpanich C., "Performance of an Engine Using Biodiesel from Refined Palm Oil Stearin and Biodiesel from Crude Coconut Oil", Sustainable Energy and Environment, JGSEE and Kyoto University Joint International Conference, Hilton Resort&Spa, Hua-Hin, Thailand, vol.1, December 1-3, 2004, pp. 353-358.

2548 : กนกอร รจนากิจ และ จินดาเจริญพรพาณิชย์, "ผลกระทบจากการใช้นํ้ามันพืชดิบต่อสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์การเกษตร", รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, ณ โรงแรมเดอะรอยัลพาราไดส์ จังหวัดภูเก็ต, ระหว่างวันที่ 19-21 ตุลาคม 2548

2556 : Kanok-on Rodjanakid, Chinda Chalernpornpanich and Teerapatr Srinorakutara  
"Comparison of Lubricating properties of Biodiesel Developed from Refined  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Palm Oil Stearin and Biodiesel from Jatropha Seed Oil to Other Types of Fuel for A Compression Ignition Engine", The 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering, 16-18 October 2013 , Pattaya, Chonburi, Thailand.

2556 : Kanok-on Rodjanakid, Chinda Chalernpornpanich and Teerapatr Srinorakutara "Production of Biodiesel from Refined Palm Oil Stearin and Comparison of Its Lubricating Properties to Other Types of Fuel Used in A Compression Ignition Engine", The 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering, 16-18 October 2013 , Pattaya, Chonburi, Thailand.

2557 : Kanok-on Rodjanakid, Chinda Chalernpornpanich and Teerapatr Srinorakutara "Side Effect of Production of Biodiesel from Jatropha Seed Oil : A Case Study in Thailand", Advanced Materials Research (2014), volume 1051, pp 326-332

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวกนกอร รจนากิจ  
 วันเดือนปีเกิด 2 มกราคม 2516  
 ที่อยู่ หมู่บ้านเซนสิริทาวน์ 2 เลขที่ 204/401 หมู่ที่ 6 ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา  
 จังหวัดชลบุรี 20230  
 วุฒิการศึกษา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
 คุณทหารลาดกระบัง

### ประวัติการศึกษา

2540 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร  
 2546 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
 กเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### ประสบการณ์การทำงาน

อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ พ.ศ 2546 - 2550  
 อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร พ.ศ 2551 - 2555  
 อาจารย์คณะพาณิชยนาวิณานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา  
 พ.ศ 2556 ถึง ปัจจุบัน

### ผลงานวิจัยที่เคยได้รับการตีพิมพ์

- 2542 : กนกอร รจนากิจ และ จารุวัฒน์ เจริญสุข, "อิทธิพลของอุณหภูมิและความดันในการฉีดต่อ  
 การไหลของพลาสติกโพลีเอซีตัล", รายงานสัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย  
 ไทยครั้งที่ 13 (NMEC13th), เล่มที่ 1/2 , ระหว่างวันที่ 2-3 ธันวาคม พ.ศ. 2542, โรงแรม  
 รอยัลคิลิพิบิซริสอร์ท พัทยาใต้ ชลบุรี, หน้า 259-262
- 2545 : กนกอร รจนากิจ, พงษ์ศักดิ์ คำมูล และ จินดา เจริญพรพาณิชย์, "การทำไบโอดีเซลจาก ไข  
 น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด", รายงานการประชุม  
 วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, ณ โรงแรมกะตะบิซริสอร์ท,  
 ภูเก็ต, ระหว่างวันที่ 14-16 ตุลาคม 2545, หน้า 66-71
- 2545 : กนกอร รจนากิจ และ จินดา เจริญพรพาณิชย์, "การใช้เมทิลเอสเทอร์จากไขน้ำมันปาล์ม  
 บริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด", รายงานการประชุมสัมมนาวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้