

การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ขนาดเล็กเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ  
และน้ำมันปาล์มโอเลอิน



นายพงษ์ภัทร พุกะนัดด์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

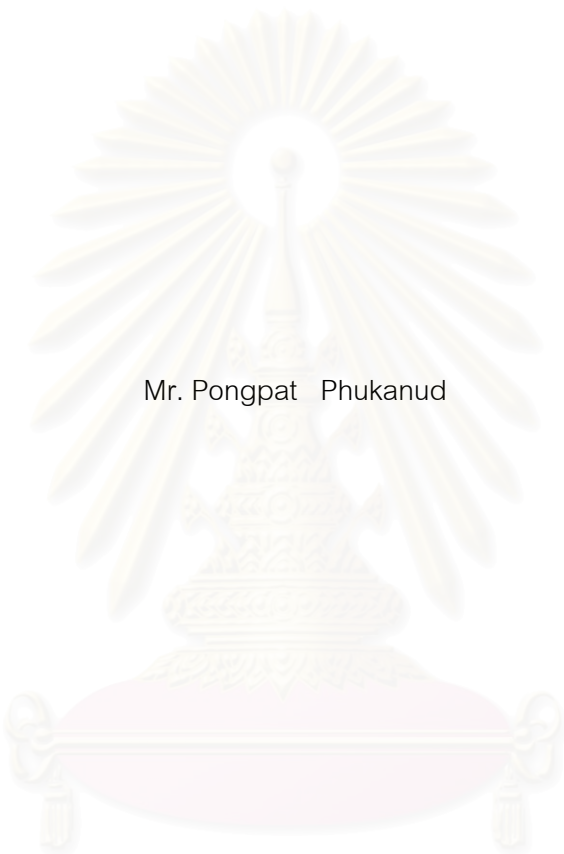
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECTS OF FUELING CRUDE PALM OIL  
AND PALM OLEIN ON A SMALL ENGINE



Mr. Pongpat Phukanud

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University



พงษ์ภัทร พุกะนัตต์ : การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ขนาดเล็กเมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน. (A COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECTS OF FUELING CRUDE PALM OIL AND PALM OLEIN ON A SMALL ENGINE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.คณิต วัฒนวิเชียร, 399 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ คิวบิค และความทนทานของเครื่องยนต์ เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบและเมื่อนำน้ำมันปาล์มโอเลอิน มาใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็ก อีกทั้งทำการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นและการเปลี่ยนแปลงของสารเจือปนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน โดยที่น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในงานวิจัยได้ผ่านการอุ่นให้ความร้อนให้มีอุณหภูมิ 45±5°C ตลอดทั้งงานวิจัยนี้

งานวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการทดสอบเครื่องยนต์เพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลด้านสมรรถนะ จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบและจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน กับการใช้น้ำมันดีเซล บนแท่นทดสอบ ที่สภาวะคงตัวและความเร็วคงที่ ซึ่งผลด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์จะพบว่า แรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบและจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในขณะที่ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ค่าอุณหภูมิไอเสียและควันท้า ที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ผลดังกล่าวของการใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดนี้มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนที่สองเป็นการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบกับ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินในระยะเวลา 320 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบผลในด้านการใช้งานในระยะยาวด้วยวัฏจักรภาระจำลอง พบว่าเมื่ออายุการทำงานของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินมีการตกลง โดยหลังเสร็จสิ้นการทดสอบ พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการตกลงเพียงเล็กน้อย ส่วนสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบมีการตกลงจากก่อนการทดสอบอยู่ในช่วง 10% - 20% ส่วนกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินสมรรถนะก็ตกลงกว่าก่อนการทดสอบความทนทานอยู่ในช่วง 5% - 14% นอกจากนั้นยังได้ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน ซึ่งพบการปนเปื้อนของปริมาณซิลิกอนในน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้พบปริมาณเหล็ก โครเมียม และอลูมิเนียมปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นสูงมีนัยสำคัญ จึงน่าจะเห็นว่าการสึกหรอที่รุนแรงมีนัยสำคัญเฉพาะสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเท่านั้น และยังพบคราบเขม่าติดตามหัวฉีดโดยที่ในกรณีน้ำมันดีเซลพบคราบเขม่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งน้อยกว่ากรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินและกรณีน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ ซึ่งจากคราบเขม่าเหนียวปริมาณมากของกรณีน้ำมันปาล์มดิบ อาจจะทำให้เกิดการชำรุดของเครื่องยนต์ได้ โดยเฉพาะชิ้นส่วนหัวฉีด

สรุปได้ว่า การนำน้ำมันปาล์มดิบไปใช้ในเครื่องยนต์ จะต้องทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการใช้งาน และต้องทำการบำรุงรักษาในช่วงเวลาที่สั้นกว่ากำหนดปกติของการใช้ดีเซล อาทิ การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นที่เร็วขึ้น หรือการถอดล้างชิ้นส่วนจำพวกหัวฉีดเมื่อใช้งานไปในระยะเวลาหนึ่งๆ ส่วนการนำน้ำมันปาล์มโอเลอินไปใช้งานสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ตามปกติทั่วไป

ภาควิชา .....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต..... พงษ์ภัทร พุกะนัตต์  
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....คณิต วัฒนวิเชียร  
 ปีการศึกษา.....2550.....



## 4970448021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: CRUDE PALM OIL / PALM OLEIN / PERFORMANCE / DURABILITY / OIL ANALYSIS

PONGPAT PHUKANUD: A COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECTS OF FUELING CRUDE PALM OIL AND PALM OLEIN ON A SMALL ENGINE. THESIS

PRINCIPAL ADVISOR : ASSC. PROF. KANIT WATTANAVICHIEEN, Ph.D., 399 pp.

The objectives of the study were comparing the engine performance, smoke emission, and engine durability when fueling with Crude Palm Oil (CPO) and Palm Olein on a small CI engine. Moreover, the study also monitored the changing of the lubricating oil conditions, contamination and metal wear conditions during the engine durability test. CPO in this study was heated to be  $45\pm 5$  °C.

The study was divided into two parts. The first part was comparing the engine performance, and smoke emission among using CPO, using Palm Olein, and using diesel. The performance study had found that the maximum torque of the engine using CPO and using Palm Olein were not significantly different from the maximum torque of engine using diesel while the specific fuel consumption, the exhaust temperature, and the smoke density of the engines using either CPO or Palm Olein were higher than diesel and not different to each other.

The second part, to compare the effects on long term usage using a model of working cycle, was engine durability testing, of 320 working hours, between the engine fueling with CPO and the engine fueling with Palm Olein. The study had found that more working hours made the dropping of engine performance of the engine fueling with these three types of fuel. After the durability test, the performance of the engine fueling with diesel was slightly drop while the performance of the tested engine fueling with CPO was drop from new engine by 10% to 20%. The performance of the tested engine fueling with Palm Olein was drop from new engine by 5% to 14%. In addition, results of lubricating oil monitoring (only in the engine fueling with CPO) had showed the high level of silicon contamination in the lubricating oil that would make abnormal level of iron, chromium, and aluminum contamination. However, the engine fueling with CPO might have some abnormal wear phenomena. Moreover, some soot that stuck on the injector was found. It was noted that there were small amount of the soot in the engine fueling with diesel but the higher amount with Palm Olein and the highest amount with CPO. Because of the large amount of sticky soot of the engine fueling with CPO, the engine could possible be broken down especially the injector.

The outcome of this study can be concluded that CPO needed to be heated before used. The engine fueling with CPO requires shorter maintenance duration from the typical diesel such as shorten the lubricating oil working hours or often clean the injector. In the other hand, the Palm Olein could be used as alternative fuel with more compatibility.

Department :...Mechanical Engineering.....

Student's signature : *Pongpat Phukanud*

Field of study : Mechanical Engineering....

Principal advisor's signature *Kanit Wattanaichien*

Academic year :..... 2007.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่  
ให้คำแนะนำ ร่วมติดตามการทดสอบอย่างใกล้ชิดในทุกขั้นตอนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง  
ไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัทสยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์  
อะไหล่ อุปกรณ์การทดสอบ และคำแนะนำ ที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ รุ่งพี เพื่อน และรุ่นน้องที่ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์สันดาปภายในทุกคนที่  
ช่วยติดตั้งเครื่องยนต์และทำการทดสอบเครื่องยนต์และให้การช่วยเหลืออื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับ  
งานวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในทุกด้าน ทั้งคำปรึกษา และ  
กำลังใจ จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ณ
สารบัญภาพ .....	พ
สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์ .....	ฉฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม</b> .....	<b>3</b>
2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine).....	3
2.1.1 ปรัชญาการณของการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด .....	3
2.1.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	6
2.1.3 แผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด .....	7
2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล .....	11
2.2.1 เลขซีเทน (Cetane Number) .....	11
2.2.2 ค่าการระเหย (Volatility).....	11
2.2.3 ความหนาแน่น (Density) .....	12
2.2.4 ความหนืด (Viscosity).....	13
2.2.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity).....	13
2.2.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล .....	13

## บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

2.2.8	ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content) .....	14
2.2.9	ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content) .....	15
2.2.10	ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content) .....	15
2.2.11	จุดวาบไฟ (Flash Point) .....	15
2.3	น้ำมันพืช .....	16
2.3.1	น้ำมันปาล์มดิบ และ น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	17
2.3.2	การเก็บรักษาน้ำมันปาล์ม .....	18
2.4	การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร .....	20
2.4.1	ประเภทของการเสื่อมสภาพ .....	21
2.4.1.1	การเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent degradation) .....	21
2.4.1.2	การเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent degradation) .....	21
2.4.2	การจำแนกกลไกการสึกหรอ .....	23
2.4.2.1	กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear) .....	24
2.4.2.2	การสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive wear) .....	24
2.4.2.3	การสึกหรอจากการล้าตัวของวัสดุ (Fatigue wear) .....	25
2.4.2.4	การสึกหรอแบบปฏิกิริยาไตรโบเคมี (Tribochemical reaction) .....	25
2.5	สารหล่อลื่น .....	26
2.5.1	คุณสมบัติที่สำคัญของสารหล่อลื่น .....	27
2.5.1.1	ความหนืด (Viscosity) .....	27
2.5.1.2	การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation resistance) .....	28
2.6	การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว .....	29
2.6.1	ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์ .....	29
2.6.2	การทดสอบหาค่าความหนืด .....	29
2.6.3	ค่าตัวเลขรวมความเป็นต่าง (TBN) .....	30
2.6.4	การวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรมิเตอร์ .....	31
2.6.5	การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์โรกราฟี (Ferrography) .....	31
2.6.5.1	การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ (Wear Particle Analysis) .....	33

**บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)**

2.6.5.2 การศึกษาอนุภาคการสึกหรอเชิงจุลภาค (Wear Particle Microscopic Examination) ..... 34

2.6.5.3 ชนิดของอนุภาคการสึกหรอ..... 34

2.6.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) ..... 39

2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ..... 43

**บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย ..... 48**

3.1 ภาพรวมในการดำเนินการวิจัย ..... 48

3.2 เชื้อเพลิงในการทดสอบ..... 49

3.2.1 เชื้อเพลิงดีเซล (Diesel)..... 49

3.2.2 น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil (CPO)) ..... 50

3.2.3 น้ำมันปาล์มโอเลอิน (Palm Olein Oil) ..... 53

3.2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงทดสอบ ..... 54

3.3 เครื่องยนต์ทดสอบ ..... 54

3.4 การทดสอบสมรรถนะ ..... 56

3.4.1 วิธีการทดสอบสมรรถนะ ..... 56

3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ..... 58

3.4.2.1 เครื่องยนต์..... 58

3.4.2.2 ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ..... 58

3.4.2.3 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง..... 59

3.4.2.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ..... 60

3.4.2.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ..... 61

3.4.2.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Conditions) ..... 62

3.4.2.7 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ (Smoke Meter) ..... 62

3.5 การทดสอบความทนทาน (Durability Test)..... 64

3.5.1 วิธีการทดสอบความทนทาน..... 65



**บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย (ต่อ)**

3.5.2	อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนทาน.....	66
3.5.2.1	เครื่องยนต์.....	66
3.5.2.2	ระบบป้อนน้ำ.....	66
3.5.2.3	อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ.....	68
3.5.2.4	อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงการทดสอบ ความทนทาน.....	70
3.5.2.5	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ.....	71
3.5.2.6	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Conditions) .....	71
3.5.2.7	อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์.....	71
3.5.2.8	อุปกรณ์วัดค่าควันดำ (Opacimeter).....	71
3.6	การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น.....	72
3.7	การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น.....	75

**บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล .....**

4.1	ผลการทดสอบสมรรถนะ.....	76
4.1.1	ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ.....	76
4.1.2	ผลของแรงบิดเบรก (Brake Torque) กับ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรก (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุด .....	76
4.1.3	ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion Efficiency) ที่สภาวะภาระสูงสุด.....	80
4.1.4	อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด.....	82
4.1.5	อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุด.....	84
4.1.6	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุด .....	86
4.1.7	ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุด.....	88
4.1.8	ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน.....	89
4.1.9	แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ.....	91

#### บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล (ต่อ)

4.1.10	ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน.....	94
4.1.11	แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก .....	96
4.1.12	อุณหภูมิไอเสีย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน.....	100
4.1.13	แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย.....	101
4.1.14	อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน.....	104
4.1.15	แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น .....	106
4.1.16	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน.....	109
4.1.17	แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น .....	110
4.1.18	ค่าวันดำที่ภาระบางส่วน.....	113
4.2	ผลการทดสอบความทนทาน .....	115
4.2.1	ความดันด้านจ่ายของระบบปั้มน้ำ .....	115
4.2.2	กำลังที่ได้ในช่วงการทดสอบความทนทาน .....	117
4.2.3	ผลด้านความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในการทดสอบความทนทาน .....	118
4.2.4	ชิ้นส่วนที่เกิดการเสียหายที่ช่วงชั่วโมงที่ 30-35 .....	122
4.2.5	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง.....	124
4.2.5.1	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบ...	126
4.2.5.2	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในกรณีการใช้น้ำมันปาล์ม โอเลอิน .....	128
4.2.5.3	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในกรณีการใช้น้ำมันดีเซล สำหรับอ้างอิง .....	128
4.2.5.4	วิเคราะห์และเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง .....	130
4.2.6	อุณหภูมิไอเสีย.....	131
4.2.6.1	อุณหภูมิไอเสียในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	131
4.2.6.2	อุณหภูมิไอเสียในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	134
4.2.6.3	อุณหภูมิไอเสียในกรณีการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับอ้างอิง .....	136

#### บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล (ต่อ)

4.2.6.4	วิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติไอเสีย.....	136
4.2.7	คุณหมื่อน้ำหล่อมันหล่อลื่น .....	137
4.2.7.1	คุณหมื่อน้ำหล่อมันหล่อลื่นในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	137
4.2.7.2	คุณหมื่อน้ำหล่อมันหล่อลื่นในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน. ....	141
4.2.7.3	คุณหมื่อน้ำหล่อมันหล่อลื่นในกรณีการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับ อ้างอิง.....	141
4.2.7.4	วิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณหมื่อน้ำหล่อมันหล่อลื่น .....	142
4.2.8	คุณหมื่อน้ำหล่อเย็น .....	142
4.2.8.1	คุณหมื่อน้ำหล่อเย็นในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบ.....	142
4.2.8.2	คุณหมื่อน้ำหล่อเย็นในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	146
4.2.8.3	คุณหมื่อน้ำหล่อเย็นในกรณีการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับอ้างอิง ...	146
4.2.8.4	เปรียบเทียบคุณหมื่อน้ำหล่อเย็น .....	147
4.2.9	ค่าควันดำ.....	147
4.2.10	สรุปและเปรียบเทียบผลการทดสอบความทนทาน .....	148
4.3	ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น .....	149
4.3.1	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น .....	150
4.3.1.1	ค่าความหนืด.....	150
4.3.1.2	ค่าออกซิเดชัน และไนเตรชัน.....	151
4.3.1.3	ค่าความเป็นกรดรวม (TAN) และค่าความเป็นด่างรวม (TBN) .	155
4.3.2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น .....	155
4.3.2.1	การปนเปื้อนของน้ำ.....	155
4.3.2.2	การปนเปื้อนของเขม่า.....	155
4.3.2.3	การปนเปื้อนของเชื้อเพลิง .....	159
4.3.2.4	การปนเปื้อนของไกลคอล.....	159
4.3.2.5	การปนเปื้อนของโซเดียมและซิลิกอน.....	159
4.3.3	ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารปรุงแต่ง .....	160
4.3.4	ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะจากการสึกหรอ .....	164
4.3.4.1	ปริมาณเหล็ก .....	164

#### บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล (ต่อ)

4.3.4.2 ปริมาณโครเมียม.....	165
4.3.4.3 ปริมาณตะกั่ว .....	165
4.3.4.4 ปริมาณทองแดง.....	165
4.3.4.5 ปริมาณดีบุก.....	173
4.3.4.6 ปริมาณอลูมิเนียม .....	173
4.3.4.7 ปริมาณนิกเกิล.....	173
4.3.4.8 ปริมาณเงิน.....	173
4.3.4.9 ปริมาณโมลิบดีนัม .....	173
4.3.5 ผลจากกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี.....	174
4.3.5.1 ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 .....	174
4.3.5.2 ชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 .....	179
4.3.5.3 ชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 .....	184
4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะภายหลังทดสอบความทนทาน.....	189
4.4.1 ผลของแรงบิดเบรก (Brake Torque) กับ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรก (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุด .....	189
4.4.2 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion Efficiency) ที่สภาวะภาระสูงสุด.....	189
4.4.3 อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด.....	192
4.4.4 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุด.....	192
4.4.5 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุด .....	195
4.4.6 ค่าวันด้าที่สภาวะภาระสูงสุด.....	195
4.4.7 ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ คงที่สภาวะภาระบางส่วน .....	198
4.4.8 แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ .....	201
4.4.9 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ที่ความเร็วรอบ เครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน.....	204
4.4.10 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก .....	206
4.4.11 อุณหภูมิไอเสีย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่สภาวะภาระบางส่วน.....	209

**บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล (ต่อ)**

4.4.12	แผนภูมิอุดมหมู่ไอเสีย.....	214
4.4.13	อุดมภูมิน้ำมันหล่อลื่น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่สภาวะภาระ บางส่วน.....	214
4.4.14	แผนภูมิอุดมภูมิน้ำมันหล่อลื่น .....	219
4.4.15	อุดมภูมิน้ำหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่สภาวะภาระ บางส่วน.....	219
4.4.16	แผนภูมิอุดมภูมิน้ำหล่อเย็น.....	224
4.4.17	ค่าวันดำที่ภาระบางส่วน.....	224
4.5	ผลการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง และการรั่วของหัวฉีด .....	227
4.6	ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วน.....	232
4.6.1	ฝาสูบ .....	232
4.6.2	ผนังกระบอกสูบ .....	234
4.6.3	ลูกสูบ .....	236
4.6.4	บ่าวาล์วไอดีและบ่าวาล์วไอเสียที่ฝาสูบ .....	241
4.6.5	วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย.....	245
4.6.6	ก้านวาล์วไอดีและก้านวาล์วไอเสีย.....	247
4.6.7	หัวฉีด .....	249
4.6.8	แบริ่งก้านสูบ.....	252
4.7	ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบ ความทนทาน .....	253
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>257</b>
5.1	สรุปผลการวิจัย .....	257
5.1.1	สรุปผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์ .....	257
5.1.2	สรุปผลการวิเคราะห์ควันทำของเครื่องยนต์.....	257
5.1.3	สรุปผลการทดสอบความทนทาน.....	258
5.2	ข้อเสนอแนะ .....	258
5.2.1	ข้อเสนอแนะสำหรับการนำน้ำมันปาล์มดิบไปใช้งาน.....	258



<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ (ต่อ)</b>	
5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำน้ำมันปาล์มโอเลอินไปใช้งาน .....	259
5.2.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป .....	259
<b>รายการอ้างอิง.....</b>	<b>260</b>
<b>บรรณานุกรม .....</b>	<b>263</b>
<b>ภาคผนวก .....</b>	<b>264</b>
ภาคผนวก ก .....	265
ภาคผนวก ข .....	279
ภาคผนวก ค .....	283
ภาคผนวก ง .....	332
ภาคผนวก จ .....	373
<b>ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....</b>	<b>399</b>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2-1	คุณลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบตามมอก. 288-2535.....	18
2-2	ปริมาณกรดไขมันอิสระในการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน ...	19
2-3	แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสึกหรอจากวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลหะ และ อโลหะ อสังฐาน .....	40
3-1	แสดงข้อมูลทางเทคนิคของฮีทเตอร์แบบสายไฟ .....	52
3-2	ข้อมูลที่สำคัญของฮีทเตอร์แบบแผ่นที่ใช้กับถังอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ .....	53
3-3	แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงทดสอบ .....	54
3-4	แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ทดสอบ .....	55
3-5	แสดงวัฏจักรที่ใช้ในการทดสอบ .....	65
3-6	แสดงข้อมูลเทคนิคของตราซังที่ใช้วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง.....	70
3-7	แสดงระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น.....	74
4-1	แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ .....	175
4-2	แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ .....	176
4-3	แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	177
4-4	แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	178
4-5	แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ .....	180
4-6	แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ .....	181
4-7	แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	182
4-8	แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	183

ตาราง	หน้า
4-9 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ .....	185
4-10 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ .....	186
4-11 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	187
4-12 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	188
4-13 แสดงข้อมูลความดันที่ใช้ในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มปาล์มโอเลอิน ก่อนและหลัง การทดสอบความทนทาน .....	227
4-14 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้ ก่อนและหลังการทดสอบ ความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	253
4-15 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีดก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ...	254
4-16 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิง ก่อนและหลังการทดสอบ ความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	255
4-17 แสดงผลการชั่งน้ำหนักวาล์วก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ...	255
4-18 แสดงผลของการวัดขนาดก้านวาล์วไอดี, ก้านวาล์วไอเสียก่อนและหลังการ ทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	256
ก-1 Numerical values for power adjustment.....	275
ข-1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออร์ฟิซโดยประมาณที่อัตราการไหลต่างๆ .....	280













ตาราง	หน้า
ค-46 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทาน ด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2000 rev/min.....	329
ค-47 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทาน ด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2200 rev/min.....	330
ค-48 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทาน ด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2400 rev/min.....	331
ง-1 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังปั๊มที่ ชั่วโมงที่ 1-33.....	333
ง-2 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังปั๊มที่ ชั่วโมงที่ 34-67.....	334
ง-3 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังปั๊มที่ ชั่วโมงที่ 68-101.....	335
ง-4 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังปั๊มที่ ชั่วโมงที่ 102-138.....	336
ง-5 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังปั๊มที่ ชั่วโมงที่ 140-172.....	337
ง-6 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังปั๊มที่ ชั่วโมงที่ 173-207.....	338
ง-7 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังปั๊มที่ ชั่วโมงที่ 208-242.....	339
ง-8 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังปั๊มที่ ชั่วโมงที่ 243-280.....	340
ง-9 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังปั๊มที่ ชั่วโมงที่ 281-315.....	341
ง-10 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังปั๊มที่ ชั่วโมงที่ 316-320.....	342







ตาราง	หน้า
ง-39 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 40-100 .....	368
ง-40 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 104-165 .....	369
ง-41 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 165-225 .....	370
ง-42 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 229-290 .....	371
ง-43 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 290-320 .....	372

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2-1 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและช่วงการเผาไหม้แบบต่างๆ.....	4
2-2 แสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 3 แบบ .....	5
2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง .....	7
2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง แบบ M .....	8
2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ล่วงหน้าที่มีการไหลวน .....	9
2-6 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีด โดยตรงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวนซึ่งเป็นฟังก์ชันของ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรือภาวะ.....	10
2-7 โค้งการกลั่น (Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป .....	12
2-8 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพตามเวลา.....	21
2-9 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา .....	22
2-10 แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ.....	22
2-11 แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค.....	23
2-12 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด.....	24
2-13 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบขูดขีด .....	24
2-14 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว .....	25
2-15 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน.....	27
2-16 แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445) .....	30
2-17 แสดงกระบวนการเฟอร์โรกราฟี .....	32
2-18 แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอร์โรแกรม .....	32
2-19 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ .....	35
2-20 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีรุนแรงในเครื่องจักร (Severe Sliding Wear Particle) .....	35
2-21 แสดงอนุภาคการสึกหรอแบบ Cutting Wear .....	36
2-22 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle).....	37
2-23 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle).....	38

ภาพประกอบ	หน้า
2-24 แสดงอนุภาคการสึกหรอของทองแดง.....	39
2-25 แสดงปริมาณการดูดซับรังสีอินฟราเรดในแต่ละช่วงความถี่ ของน้ำมันหล่อลื่น .....	40
2-26 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน .....	42
2-27 แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้ .....	43
3-1 แสดงแผนภูมิขั้นตอนภาพรวมการดำเนินการวิจัย .....	48
3-2 แสดงแผนภูมิขั้นตอนรายละเอียดการดำเนินการวิจัย .....	49
3-3 แสดงภาพน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิห้อง.....	50
3-4 แสดงความผลกระทบของอุณหภูมิต่อความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบ .....	50
3-5 แสดงหม้อต้มที่ใช้ในการทดสอบ.....	51
3-6 แสดงภาพถ้วยกรองเชื้อเพลิงที่ดัดแปลงสำหรับใช้น้ำมันปาล์มดิบ.....	52
3-7 แสดงถังสำหรับใช้อุ่นเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบ .....	53
3-8 แสดงน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	53
3-9 แสดงเครื่องยนต์ทดสอบ .....	54
3-10 แสดง matrix ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะที่ภาวะบางส่วน .....	57
3-11 แสดงแผนผังการทดสอบสมรรถนะ .....	58
3-12 แสดงชุดไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	59
3-13 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง .....	59
3-14 แสดงจุดที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในถังพักอากาศ.....	60
3-15 แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมัน เชื้อเพลิง .....	61
3-16 แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ท่อไอเสีย.....	61
3-17 แสดงถังพักอากาศและการติดตั้ง orifice plate .....	62
3-18 แสดง inclined manometer .....	62
3-19 แสดงภาพชุดเครื่องมือวัดค่าวันดำ .....	63
3-20 แสดงตัวอย่างกระดาษกรองที่ใช้ในการวัดค่าวันดำเปรียบเทียบกับ Bosch Unit Number.....	64
3-21 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดปั้มน้ำ.....	66
3-22 แสดงเครื่องยนต์ติดตั้งร่วมกับระบบปั้มน้ำในการทดสอบความทนทาน .....	67
3-23 แสดงประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ภาวะต่างๆ ความเร็วรอบคงที่ 1600 รอบต่อนาที .....	67

ภาพประกอบ	หน้า
3-24 แสดงฝ่ายวัดอัตราการไหลของน้ำ.....	68
3-25 แสดงอุปกรณ์การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง.....	70
3-26 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์.....	71
3-27 แสดงตัวเก็บตัวอย่างควันดำ .....	72
3-28 แสดงตัวอ่านค่าควันดำ BOSCH รุ่น BEA150-EU .....	72
3-29 แสดงอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น .....	73
4-1 แสดงแผนภูมิสมรรถนะอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) เมื่อน้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ .....	77
4-2 แสดงแผนภูมิสมรรถนะอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) เมื่อน้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโกลเด้น.....	77
4-3 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโกลเด้นที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	78
4-4 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล กับน้ำมันปาล์มดิบ ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	78
4-5 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล กับน้ำมันปาล์มโกลเด้น ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	79
4-6 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโกลเด้นที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	80
4-7 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันปาล์มดิบที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	81
4-8 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันปาล์มโกลเด้นที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	81



ภาพประกอบ	หน้า
4-9 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิไอเสียระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	83
4-10 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิไอเสียระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบ ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	83
4-11 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิไอเสียระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	84
4-12 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	85
4-13 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบ ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	85
4-14 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	86
4-15 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	87
4-16 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดและอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบ ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	87
4-17 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดและอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	88
4-18 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าควันทัน ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	89
4-19 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc (g/kW-hr)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบคงที่ต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	90
4-20 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล .....	92

ภาพประกอบ	หน้า
4-21 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ .....	92
4-22 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล.....	93
4-23 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	93
4-24 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ( $\eta_f$ (%)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	95
4-25 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล .....	97
4-26 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ.....	97
4-27 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล .....	98
4-28 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	98
4-29 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสีย (Exhaust T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	100
4-30 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล.....	102
4-31 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ .....	102
4-32 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล .....	103
4-33 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	103

ภาพประกอบ	หน้า
4-34 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น (Oil T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	105
4-35 แสดงแผนภูมิคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล .....	107
4-36 แสดงแผนภูมิคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ.....	107
4-37 แสดงแผนภูมิคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล .....	108
4-38 แสดงแผนภูมิคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	108
4-39 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำหล่อเย็น (Water T.(°C)) กับแรงบิด (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	109
4-40 แสดงแผนภูมิคุณสมบัติน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล .....	111
4-41 แสดงแผนภูมิคุณสมบัติน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ.....	111
4-42 แสดงแผนภูมิคุณสมบัติน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล.....	112
4-43 แสดงแผนภูมิคุณสมบัติน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	112
4-44 แสดงผลเปรียบเทียบค่าควันดำที่สภาวะภาวะบางส่วนเมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	114
4-45 แสดงความดันทางด้านจ่ายของระบบปั้มน้ำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของชุดปั้มน้ำสำหรับทดสอบน้ำมันปาล์มดิบ.....	116
4-46 แสดงความดันทางด้านจ่ายของระบบปั้มน้ำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของชุดปั้มน้ำสำหรับทดสอบน้ำมันปาล์มโอเลอิน....	116

ภาพประกอบ	หน้า
4-47 แสดงกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะ การทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	117
4-48 แสดงกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะ การทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	118
4-49 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะ การทำงานที่ 1 ( Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	120
4-50 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะ การทำงานที่ 2 ( 90% ของ Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	120
4-51 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะ การทำงานที่ 3 ( 80% ของ Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	120
4-52 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะ การทำงานที่ 1 ( Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	121
4-53 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะ การทำงานที่ 2 ( 90% ของ Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	121
4-54 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะ การทำงานที่ 3 ( 80% ของ Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	121
4-55 แสดงหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ชั่วโมงการทำงานที่ 30 ของการทดสอบความทนทาน .....	122
4-56 แสดงชิ้นส่วนภายในหัวฉีดที่ชั่วโมงที่ 30 ของการทดสอบความทนทาน .....	123
4-57 แสดงภาพลูกปืนของปั้มเชื้อเพลิงที่ชั่วโมงการทำงานที่ 35 ของการทดสอบ ความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ.....	123
4-58 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	125
4-59 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	125
4-60 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	127
4-61 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	127







ภาพประกอบ	หน้า
4-90 แสดงอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงาน ที่ 1 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	145
4-91 แสดงอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงาน ที่ 2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	145
4-92 แสดงอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงาน ที่ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	145
4-93 แสดงอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงาน ที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล .....	146
4-94 แสดงค่าวันดำ ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน ปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	147
4-95 แสดงค่าวันดำ ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน ดีเซล .....	148
4-96 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานตามอายุ การทำงานของเครื่องยนต์.....	152
4-97 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น (ค่าความหนืด และค่าความเป็นด่างรวม) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	153
4-98 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น (ค่าออกซิเดชัน และค่าไนเตรชัน) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	154
4-99 แสดงค่าปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการทำงานของเครื่องยนต์.....	156
4-100 แสดงค่าปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น (ปริมาณน้ำและปริมาณเขม่า) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	157
4-101 แสดงค่าปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น (ปริมาณโซเดียมและปริมาณซิลิกอน) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	158
4-102 แสดงค่าปริมาณสารปรุงแต่งของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการทำงานของเครื่องยนต์.....	160
4-103 แสดงค่าปริมาณสารปรุงแต่งของน้ำมันหล่อลื่น (แมกนีเซียม และแคลเซียม) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	161

ภาพประกอบ	หน้า
4-104 แสดงค่าปริมาณสารปรุงแต่งของน้ำมันหล่อลื่น (แบเรียม และฟอสฟอรัส) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	162
4-105 แสดงค่าปริมาณสารปรุงแต่งของน้ำมันหล่อลื่น (ปริมาณสังกะสี) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	163
4-106 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบ ความทนทานตามอายุการทำงานของเครื่องยนต์ .....	166
4-107 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบ ความทนทานตามอายุการทำงานของเครื่องยนต์ (ต่อ).....	167
4-108 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่น (เหล็กและโครเมียม) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	168
4-109 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่น (ตะกั่วและทองแดง) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	169
4-110 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่น (ดีบุกและอลูมิเนียม) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	170
4-111 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่น (นิกเกิลและเงิน) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	171
4-112 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่น (โมลิบดีนัม) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น.....	172
4-113 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และ หลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	190
4-114 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนการทดสอบความทนทาน และ หลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	190
4-115 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงาน เชื้อเพลิงเบรกกรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	191

ภาพประกอบ	หน้า
4-116 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงาน เชื้อเพลิงเบรกกรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอดีเอ็นก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	191
4-117 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิไอเสีย กรณีใช้เชื้อเพลิง น้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	193
4-118 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิไอเสีย กรณีใช้เชื้อเพลิง น้ำมันปาล์มโอดีเอ็นก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	193
4-119 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น กรณีใช้เชื้อเพลิง น้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	194
4-120 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น กรณีใช้เชื้อเพลิง น้ำมันปาล์มโอดีเอ็นก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	194
4-121 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น กรณีใช้เชื้อเพลิง น้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	196
4-122 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น กรณีใช้เชื้อเพลิง น้ำมันปาล์มโอดีเอ็นก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	196
4-123 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าวันดำ กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	197
4-124 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าวันดำ กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น ก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	197

ภาพประกอบ	หน้า
4-125 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc (g/kW-hr)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน.....	199
4-126 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc (g/kW-hr)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มโเลอินก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน.....	200
4-127 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วย น้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน .....	202
4-128 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วย น้ำมันปาล์มดิบหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง .....	202
4-129 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วย น้ำมันปาล์มโเลอินก่อนการทดสอบความทนทาน.....	203
4-130 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วย น้ำมันปาล์มโเลอินหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง.....	203
4-131 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ( $\eta_f$ (%)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน.....	204
4-132 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ( $\eta_f$ (%)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มโเลอินก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน.....	205
4-133 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน.....	207
4-134 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง.....	207
4-135 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน .....	208
4-136 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ของเครื่องยนต์ กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง .....	208



ภาพประกอบ	หน้า
4-137 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสีย (Exhaust T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน .....	210
4-138 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสีย (Exhaust T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน.....	211
4-139 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน.....	212
4-140 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง .....	212
4-141 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนการทดสอบความทนทาน.....	213
4-142 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอินหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง .....	213
4-143 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น (Oil T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน .....	215
4-144 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น (Oil T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน .....	216
4-145 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน .....	217
4-146 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง .....	217
4-147 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน.....	218
4-148 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง .....	218

ภาพประกอบ	หน้า
4-149 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติ น้ำหล่อเย็น (Water T.(°C)) กับแรงบิด (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน.....	220
4-150 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติ น้ำหล่อเย็น (Water T.(°C)) กับแรงบิด (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอดีก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน .....	221
4-151 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วย น้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน .....	222
4-152 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วย น้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง .....	222
4-153 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วย น้ำมันปาล์มโอดี ก่อนการทดสอบความทนทาน.....	223
4-154 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วย น้ำมันปาล์มโอดี หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง.....	223
4-155 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าควันดำ (Smoke (BSN)) กับแรงบิด (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ ก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน .....	225
4-156 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าควันดำ (Smoke (BSN)) กับแรงบิด (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอดี ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน .....	226
4-157 แสดงรูปของสเปร์ย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง ภายหลังจากการทดสอบความทนทาน 500 ชั่วโมงจากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล .....	228
4-158 แสดงรูปของสเปร์ย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง ภายหลังจากการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงจากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	229
4-159 แสดงรูปของสเปร์ย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง ภายหลังจากการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงจากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอดี .....	230

ภาพประกอบ	หน้า
4-160 แสดงรูปของสเปร์ย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง จากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่เสียที่ 30 ชั่วโมง ระหว่างการทดสอบความทนทาน.....	231
4-161 แสดงภาพถ่ายฝาสือบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	233
4-162 แสดงภาพถ่ายฝาสือบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	233
4-163 แสดงภาพถ่ายฝาสือบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน ของเครื่องยนต์ที่ ใช้น้ำมันดีเซล .....	234
4-164 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบหลัง ภายหลังจากการทดสอบความทนทานของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	235
4-165 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบหลัง ภายหลังจากการทดสอบความทนทานของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล .....	236
4-166 ภาพถ่ายลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ.....	237
4-167 ภาพถ่ายลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	237
4-168 ภาพถ่ายแสดงลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซล .....	238
4-169 ภาพถ่ายขยายส่วนหนึ่งของลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ในบริเวณที่มีรอยแตกของเขม่าที่ลูกสูบ .....	238
4-170 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบและภาพขยาย .....	239
4-171 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันโอเลอินและภาพขยาย.....	240
4-172 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและภาพขยาย.....	240
4-173 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล.....	241
4-174 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	242
4-175 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีเสียของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล.....	243
4-176 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีเสียเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	244
4-177 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	245
4-178 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	245

ภาพประกอบ	หน้า
4-179 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจากที่ใช้น้ำมันดีเซล.....	245
4-180 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ.....	246
4-181 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียที่ใช้น้ำมันโอเลอิน.....	246
4-182 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจากที่ใช้น้ำมันดีเซล .....	246
4-183 แสดงภาพถ่ายก้านวาล์วไอดีเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ทั้งสามเครื่องยนต์.....	247
4-184 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอเสียเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ทั้งสาม .....	248
4-185 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนถอดออกจากฝาสูบ .....	249
4-186 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนถอดออกจากฝาสูบ..	250
4-187 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ก่อนถอดออกจากฝาสูบ .....	250
4-188 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ .....	251
4-189 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน .....	251
4-190 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล.....	251
4-191 แสดงภาพถ่ายแบริ่งก้านสูบ ภายหลังการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	252
4-192 แสดงภาพถ่ายแบริ่งก้านสูบ ภายหลังการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน ดีเซล .....	252
ข-1 แสดงภาพการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยวิธี Air box method ภาพซ้ายแสดงการไหลของอากาศผ่านแผ่น Orifice plate ภาพขวาแสดงภาพ Orifice flow meter.....	280
จ-1 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นใหม่ที่ใช้ในการทดสอบความทนทาน .....	374
จ-2 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทาน ด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 0-25 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-25 ชั่วโมง.....	375
จ-3 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 0-25 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-25 ชั่วโมง.....	376
จ-4 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทาน ด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 50-100 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 50-100 ชั่วโมง.....	377







ภาพประกอบ	หน้า
จ-23 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอโรกราฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 210-260 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-50 ชั่วโมง.....	396
จ-24 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทาน ด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 285-320 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 75-110 ชั่วโมง.....	397
จ-25 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอโรกราฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 285-320 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-110 ชั่วโมง.....	398

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
abs	absorbance unit	
A/F	Air/fuel Ratio	kg air / kg fuel
(A/F) <sub>s</sub>	Air/fuel Ratio ที่ stoichiometric	kg air / kg fuel
bmep	Brake mean effective pressure	kPa
bsfc	Brake specific fuel consumption	g/kW-h
BDC	ตำแหน่งจุดศูนย์ตายล่าง	
BSN	Bosch Smoke Unit Number	
C <sub>Do</sub>	Discharge Coefficient ของ orifice plate	
C <sub>d</sub>	สัมประสิทธิ์การต้านทานการไหล	
CPO	Crude Palm Oil (น้ำมันปาล์มดิบ)	
C <sub>w</sub>	สัมประสิทธิ์ของฝาย	
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของ orifice plate	m
EOI	จุดสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง	
EP	end point	
FBP	final boiling point	
fmep	friction mean effective pressure	kPa
FTIR	fourier transform infrared spectroscopy	
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 9.807	m/s <sup>2</sup>
H	ความสูงของระดับน้ำเหนือฝาย	m
IBP	initial boiling point	
K	ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และเท่ากับ 2 สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	
L	ความกว้างของฝาย	m
$\dot{m}_a$	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ	kg/s
$\dot{m}_f$	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง	kg/s
m <sub>f</sub>	มวลเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ต่อ 1 cycle ต่อสูบ	kg
N	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	rev/min
N <sub>c</sub>	จำนวนกระบอกสูบของเครื่องยนต์	

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
$N_{min}$	ความเร็วรอบเครื่องยนตที่น้อยที่สุด	rev/min
$P$	ความสูงของสันฝายจากพื้น	m
$P_b$	กำลังเบรก	kW
ppm	part per million	
$Q$	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำ	$m^3/min$
$Q_{HV}$	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (heating value)	MJ/kg fuel
$r_c$	อัตราส่วนการอัด (compression ratio)	
SEM	scanning electron microscope	
SF	safety factor	
SOC	จุดสิ้นสุดการเผาไหม้	$^{\circ}CA$
SOI	จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง	$^{\circ}CA$
sfc	Specific fuel consumption	g/kW-hr
t	เวลา	s
$T_b$	แรงบิดเบรก	N-m
TBN	total base number	
TDC	ตำแหน่งจุดศูนย์ตายบน	
TPM	total particulate matter	
$v$	ความเร็ว	m/s
$V_b$	ปริมาตรถังพักอากาศที่เล็กที่สุด	$m^3$
$V_d$	Displaced volume	$dm^3$
$V_s$	ปริมาตรช่วงชักลูกสูบ	$m^3$
$\dot{V}$	อัตราการไหลโดยปริมาตร	ml/s
Z	ระดับความสูง	m
$\Delta h$	ผลต่าง Head ที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์	mm H <sub>2</sub> O
$\Delta p$	ผลต่างความดัน	kPa
$\phi$	Equivalent ratio	
$\gamma_{air}$	น้ำหนักจำเพาะของอากาศ	kg/m <sup>2</sup> -s <sup>2</sup>
$\eta_{fb}$	Brake Fuel conversion efficiency	

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
$\eta_v$	Volumetric efficiency	
$\lambda$	Relative air/fuel ratio	
$\rho_{a,i}$	ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์	$\text{kg/m}^3$
$\rho_{\text{air}}$	ความหนาแน่นของอากาศ	$\text{kg/m}^3$
$\rho_f$	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง	$\text{kg/m}^3$
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	ความหนาแน่นของอากาศ	$\text{kg/m}^3$
$\omega$	ความเร็วเชิงมุม	$\text{rad/s}$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในตลาดโลกมีราคาสูงมากยิ่งขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสองปีที่ผ่านมาราคาขายปลีกน้ำมันเชื้อเพลิงตามสถานีบริการน้ำมันต่างๆ มีการปรับราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และในชีวิตประจำวันในโลกยุคนี้ พลังงานโดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งในการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็นการประกอบอาชีพ หรือในการเดินทางต่างๆ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ภาคการเกษตรหรือเกษตรกรถือได้ว่าเป็นกลุ่มชนกลุ่มใหญ่ในประเทศ ซึ่งเมื่อราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงมากยิ่งขึ้น เช่นเช่นนี้ ทำให้ภาคการเกษตรได้รับผลกระทบเป็นอย่างมากเนื่องจากเกษตรกรส่วนมากใช้เครื่องยนต์ทางการเกษตรขนาดเล็กไม่ว่าจะในการไถนา ใช้เป็นต้นกำลังในการปั้มน้ำ เป็นต้น ดังนั้นการมีเชื้อเพลิงที่ราคาต่ำและสามารถใช้งานทดแทนน้ำมันดีเซล จึงเป็นทางออกของปัญหาราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น

ดังนั้นน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินจึงเป็นทางออกหนึ่งสำหรับภาคการเกษตรที่ใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันชนิดนี้นำมาทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากเครื่องยนต์ทางการเกษตรขนาดเล็กสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำกว่าน้ำมันดีเซลได้ในการใช้งานได้ อีกทั้งแนวโน้มของราคาน้ำมันปาล์มเหล่านี้จะมีโอกาสที่จะต่ำกว่าดีเซลได้ในอนาคตหากมีการปลูกปาล์มน้ำมันมากยิ่งขึ้น

### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในการเกษตรชนิดระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน
- 1.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบมลพิษ (ควันดำ) จากเครื่องยนต์ดีเซล ที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน
- 1.2.3 ศึกษาเปรียบเทียบผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน
- 1.2.4 หาแนวทางการแก้ไขและเสนอแนะ แนวทางการนำไปใช้อย่างเหมาะสม

### 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1.3.1 ศึกษาเปรียบเทียบค่าสมรรถนะ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและค่ามลภาวะ (ควันดำ) ที่จุดทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน
- 1.3.2 ศึกษาผลการทดสอบความทนทานระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยที่ติดตามผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นและสารเจือปนระหว่างการทดสอบความทนทาน
- 1.3.3 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน
- 1.3.4 เปรียบเทียบผลและวิเคราะห์ผลทั้งหมด

### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.4.1 ทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนเครื่องยนต์เป็นชิ้นส่วนใหม่
- 1.4.2 ทดสอบหาสมรรถนะ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าควันดำ ที่จุดทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์ Kubota RT140 (DI) โดยใช้ น้ำมันทั้งสามชนิด และสร้างกราฟสมรรถนะเพื่อการศึกษาศักยภาพโดยรวมของ น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
- 1.4.3 ทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ โดยใช้ Modified EMA Test เพื่อศึกษาผลกระทบระยะยาว แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น และปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระยะเวลาการทดสอบความทนทาน
- 1.4.4 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังผ่านการทดสอบความทนทาน
- 1.4.5 ทำการตรวจสอบสภาพการสึกหรอของชิ้นส่วน หลังการทดสอบความทนทาน

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทราบพฤติกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ และผลกระทบที่เกิดขึ้น จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์
- 1.5.2 เพื่อเป็นแนวทางประกอบการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำ น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ไปใช้กับเครื่องยนต์การเกษตรขนาดเล็กต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine)

หลักการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด คือ ที่ปลายจังหวะอัด เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ในจังหวะที่ลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งก่อนศูนย์ตายบนเล็กน้อย โดยเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปนั้นจะมีความดันสูงมากโดยผ่านออร์ฟิซก่อนที่จะผ่านปลายหัวฉีดแล้วแตกเป็นละอองเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ แล้วจะระเหยอย่างรวดเร็วและผสมกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความดันที่สูงภายในกระบอกสูบ หลังจากนั้นก็จะเกิดการจุดระเบิดเองของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศซึ่งอยู่ในอัตราส่วนที่สามารถติดไฟได้ เมื่อการเผาไหม้เริ่มขึ้น ความดันและอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ก็สูงขึ้นซึ่งจะช่วยให้เชื้อเพลิงในส่วนที่เหลือระเหยและผสมกับอากาศได้เร็วมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่เร็วและรุนแรงต่อเนื่องจนกระทั่งเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ถูกเผาไหม้จนหมด

จะเห็นได้ว่าหลักการการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดค่อนข้างซับซ้อน การเผาไหม้ที่ดีจะเกิดจากการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดี ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ กระบวนการแตกละอองเป็นฝอย (Atomization) การระเหย (Vaporization) การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Fuel-Air Mixing) และการเผาไหม้ (Combustion) ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้

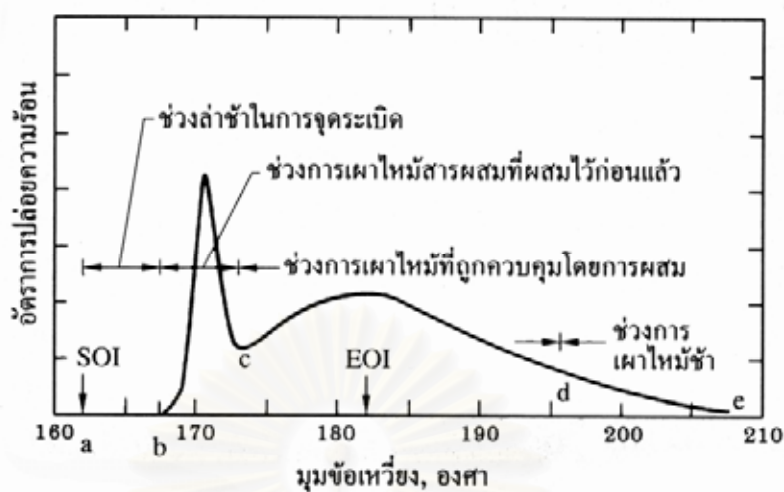
##### 2.1.1 ปรัชญาการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

อัตราการปล่อยความร้อน (Heat release rate) เป็นหลักการที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ของการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อนนี้คือพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงที่ปล่อยออกมาขณะเกิดการเผาไหม้ โดยสามารถแบ่งกระบวนการของอัตราการปล่อยความร้อนออกเป็น 4 ช่วง ซึ่งแต่ละช่วงจะถูกควบคุมโดยกระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีที่แตกต่างกัน แม้ว่าตัวแปรที่สำคัญที่มีผลในแต่ละช่วงก็คือระบบห้องเผาไหม้ที่ใช้และสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยทุกช่วงจะเกิดขึ้นเสมอในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ในเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (DI) แผนภูมิแสดงอัตราการปล่อยความร้อนแสดงในรูปที่ 2-1 โดยสามารถอธิบายกระบวนการทั้ง 4 ช่วงได้คือ

ช่วงล่าช้าการจุดระเบิด (Ignition delay, a-b) คือช่วงเวลาระหว่างเริ่มต้นฉีดเชื้อเพลิง (SOI, Start of injection) เข้าสู่ห้องเผาไหม้จนถึงระยะเวลาที่การเผาไหม้เริ่มต้น

ช่วงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมกันก่อนแล้ว (Premixed combustion phase, b-c) เป็นช่วงเวลาของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมกันแล้วในช่วงล่าช้าการจุดระเบิด ซึ่งจะเกิดการเผาไหม้อย่างพร้อมกันและรวดเร็วและทำให้มีค่าอัตราการปล่อยความร้อนที่สูง



รูปที่ 2-1 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและช่วงการเผาไหม้แบบต่างๆ (SOI:Start of injection, EOI:End of injection) [1]

ช่วงการเผาไหม้ที่ควบคุมโดยการผสม (Mixing combustion phase, c-d) เมื่อเชื้อเพลิงที่ผสมกันก่อนแล้วถูกเผาไหม้หมดอัตราการเผาไหม้จะถูกควบคุมโดยอัตราการเกิดของสารผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่พร้อมจะเผาไหม้ โดยจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นแต่อาจจะไม่สูงถึงค่าแรกและจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

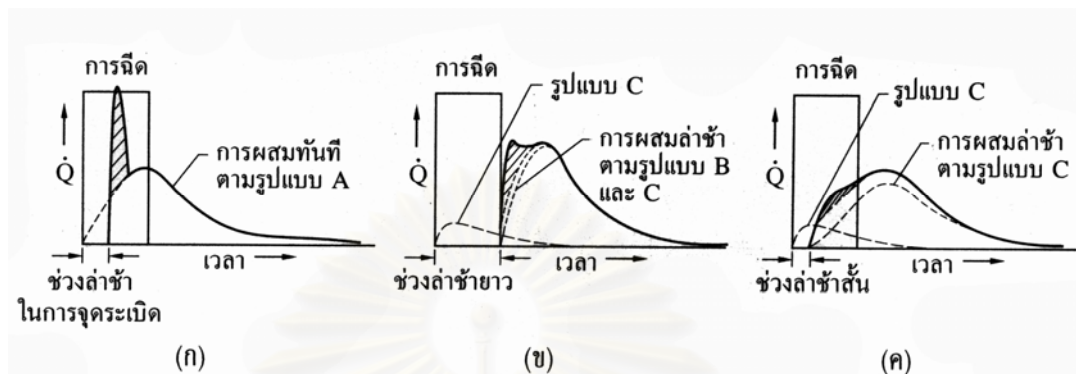
ช่วงการเผาไหม้ล่าช้า (Late combustion phase, d-e) เป็นช่วงที่การปล่อยความร้อนที่เกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำในจังหวะขยายตัว ซึ่งเป็นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่น้อยและเป็นการเผาไหม้ในส่วนของเขม่าไนท์ที่เกิดกับส่วนผสมที่หนาที่เกิดขึ้นก่อนช่วงการเผาไหม้นี้

แต่สำหรับในระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M และระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (IDI) นั้นการปล่อยความร้อนจะต่างกับอัตราการปล่อยความร้อนจากระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ตามรูปที่ 2-2 โดยจากการศึกษารูปแบบของการเผาไหม้ต่างๆ ได้มีการนำเสนอกลไกหรือรูปแบบการฉีดการผสมหรือการเผาไหม้ที่สำคัญในเครื่องยนต์ดีเซลไว้ 3 รูปแบบ คือ

รูปแบบ A เกิดจากการฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปทันทีโดยโมเมนตัมที่มากพอควร และเกิดการผสมทันทีของเชื้อเพลิงและเกิดส่วนผสมของการผสมกันล่วงหน้า (Premix)

รูปแบบ B เชื้อเพลิงจะไปเกาะที่ผนัง การผสมในช่วงล่าช้าเกือบจะไม่มีเนื่องจากการระเหยของเชื้อเพลิงถูกจำกัด แต่หลังจากการจุดระเบิด การระเหยจะรวดเร็วและจะถูกควบคุมโดยอัตราการเข้าถึงผิวของแก๊สร้อน (เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับผิวซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงระเหยเร็วขึ้น) และจะเกิดการผสมในแนวรัศมีจากแรงหนีศูนย์กลางที่ต่างกัน

รูปแบบ C เชื้อเพลิงถูกกระจายไปใกล้กับผนัง และมีการผสมเกิดในช่วงล่าช้าแต่ในอัตราที่น้อยกว่าแบบ A เมื่อเกิดการจุดระเบิดจะเกิดการผสมขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับรูปแบบ B



รูปที่ 2-2 แสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลทั้ง 3 แบบ [1]

(ก) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ใช้หัวฉีดแบบหลายรูติดไว้ตรงกลาง

(ข) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M ที่ฉีดเชื้อเพลิงเข้าผนัง

(ค) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ล่วงหน้าที่มีการไหลวน

จากรูปที่ 2-2 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนที่ต่างกันจากการเผาไหม้ของระบบการฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ใช้หัวฉีดแบบหลายรูติดตั้งไว้ตรงกลางรูปที่ 2-2 (ก) แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M รูปที่ 2-2 (ข) และเครื่องยนต์แบบฉีดโดยอ้อมที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบไหลวนรูปที่ 2-2 (ค) สำหรับเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงจะมีรูปแบบตามรูปแบบ A ส่วนระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M นั้นจะมีรูปแบบตามรูปแบบ B และ C ซึ่งจะช่วยให้อัตราการเผาไหม้ในช่วงแรกไม่สูงเกินไป ส่วนระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม ช่วงล่าช้าการจุดระเบิดจะสั้นหลังจากนั้นจะเป็นการผสมของรูปแบบ C



### 2.1.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้แก่ กำลังเบรก, แรงบิดเบรก และ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ฯลฯ

กำลังเบรกของเครื่องยนต์สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$P_b = T_b \omega = \frac{2\pi NT_b}{60000} \quad (2-1)$$

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Fuel Conversion Efficiency)

$$\eta_{f_b} = \frac{P_b}{\dot{m}_f Q_{HV}} \quad (2-2)$$

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption)

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (2-3)$$

ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (Brake Mean Effective Pressure) สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ คือ

$$bmep = \frac{4\pi T_b}{V_d} \quad (2-4)$$

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric Efficiency)

$$\eta_v = \frac{2\dot{m}_a \times 10^3}{60\rho_{a,i} V_d N} \quad (2-5)$$

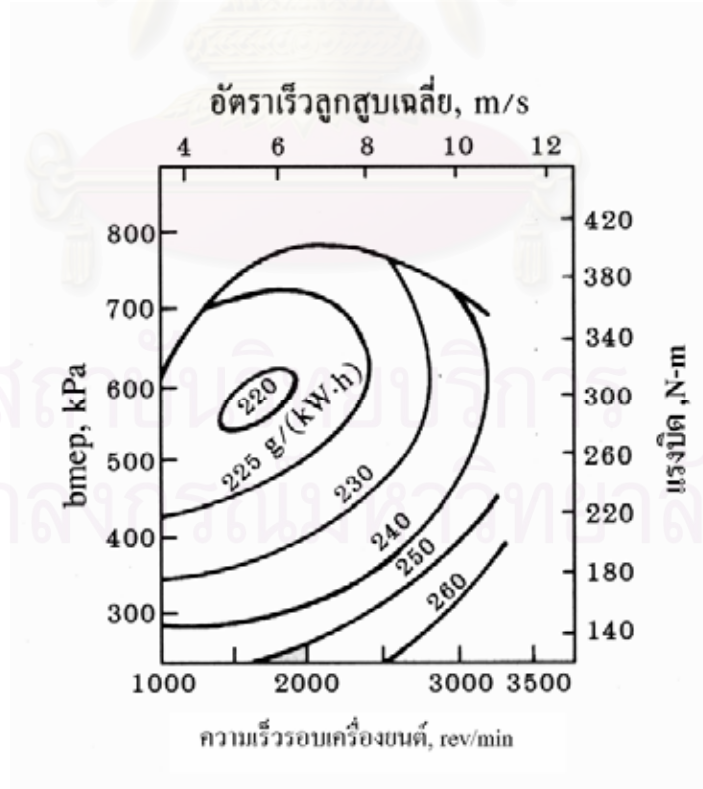
โดยที่	$P_b$	=	กำลังเบรก (kW)
	$T_b$	=	แรงบิดเบรก (N-m)
	bmep	=	Brake Mean Effective Pressure (kPa)
	N	=	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rev/min)
	$V_d$	=	Displacement Volume (dm <sup>3</sup> )
	$Q_{HV}$	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)
	$\dot{m}_f$	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (g/s)
	$\dot{m}_a$	=	อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่เครื่องยนต์ (g/s)
	$\rho_{a,i}$	=	ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ (kg/m <sup>3</sup> )
	bsfc	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (g/kW-hr)
	$\eta_{f_b}$	=	Brake Fuel Conversion Efficiency

### 2.1.3 แผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ตัวแปรในการทำงานที่สำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะและ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด คือ ภาวะและความเร็วรอบของเครื่องยนต์

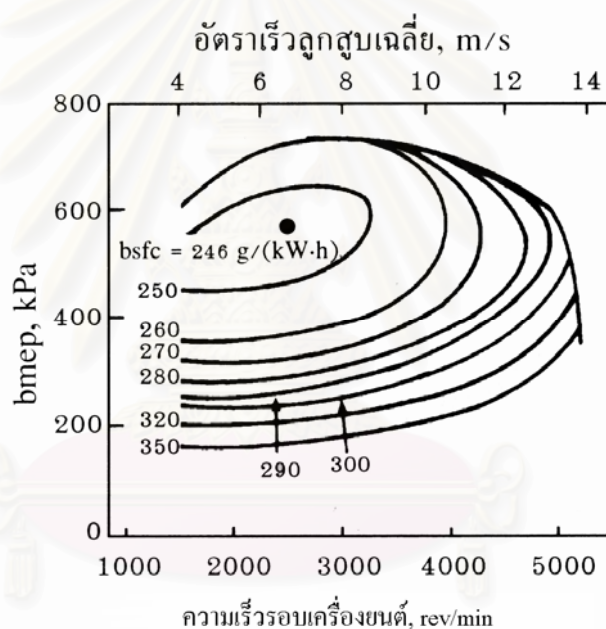
สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดที่ภาวะและความเร็วรอบต่างๆ จะแสดงเป็นแผนภูมิสมรรถนะดังตัวอย่างในรูปที่ 2-3 ซึ่งเป็นการแสดงค่า อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ที่เท่ากันบนกราฟของ ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (bmep) (หรือค่าแรงบิด) กับ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (หรือความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ)

รูปที่ 2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติมีการไหลวนปานกลาง สีจางหะ ระบายความร้อนด้วยอากาศ ปริมาตรกระจัด 6.54 ลูกบาศก์เดซิเมตร ให้กำลังสูงสุด 119 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 3200 รอบต่อนาที ค่าความดันยังผลเฉลี่ย (bmep) สูงสุด 784 kPa ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที และค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 220 g/kW-h เกิดที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที และที่ค่าความดันยังผลเฉลี่ย (bmep) เท่ากับ 580 kPa ซึ่งตรงกับประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกเท่ากับร้อยละ 38.5 และประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้มีค่าประมาณร้อยละ 48



รูปที่ 2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง [1]

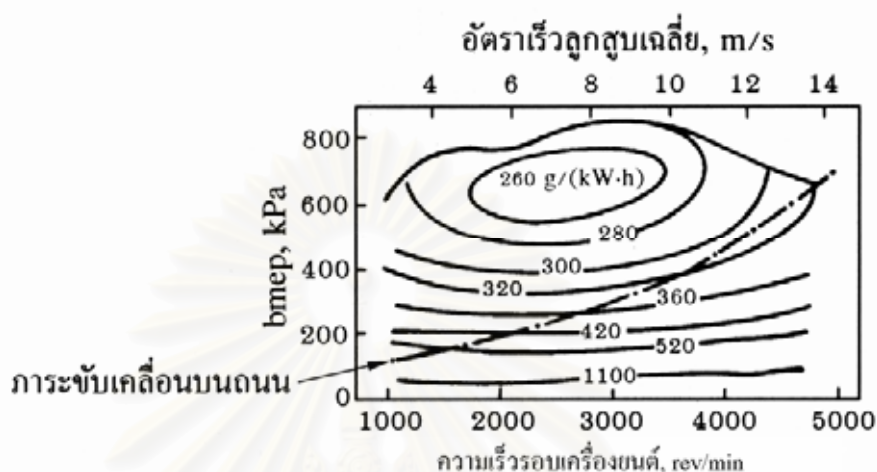
ในรูปที่ 2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง มีการไหลวนสูง ที่ใช้ระบบการเผาไหม้ แบบ M ซึ่งเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในแนวสัมผัสกับผนังของหลุมในลูกสูบไปในอากาศที่ไหลวน เนื่องจากความเร็วสูงกว่าและการไหลวนสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงในรูปที่ 2-3 ค่าความดันยังผลเฉลี่ย (bmep) สูงสุดของเครื่องในรูปที่ 2-4 จึงมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย และค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก (bsfc) ที่ดีที่สุดมีค่าสูงกว่าประมาณร้อยละ 10 เนื่องจาก fmp (Friction mean effective pressure) มีค่าสูงกว่า แต่ส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียความร้อนที่สูงกว่า เป็นผลมาจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่ไม่ดีของเครื่องยนต์ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบเล็กกว่า และการไหลวนสูง รวมถึงอัตราการปล่อยความร้อนที่ต่ำของระบบ M



รูปที่ 2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง แบบ M [1]

รูปที่ 2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม แบบห้องเผาไหม้ล่วงหน้าที่มีการไหลวน นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติ ค่าความดันยังผลเฉลี่ย (bmep) สูงสุดตามปกติจะสูงกว่าของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่มีขนาดเทียบเท่ากัน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดการไหลวนในช่วงกระบวนการดูด การกีดขวางโดยช่องไอดีและวาล์วไอดีน้อยกว่า และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงกว่า และเนื่องจากเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมสามารถทำงานที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าโดยค่าควันท่ำน้อยกว่า ค่าอัตราการ

สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ที่ดีที่สุดตามปกติจะสูงกว่าค่าทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่เทียบเท่ากันประมาณร้อยละ 15 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ดีที่สุดของเครื่องยนต์จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 32.5 ตามรูปที่ 2-5

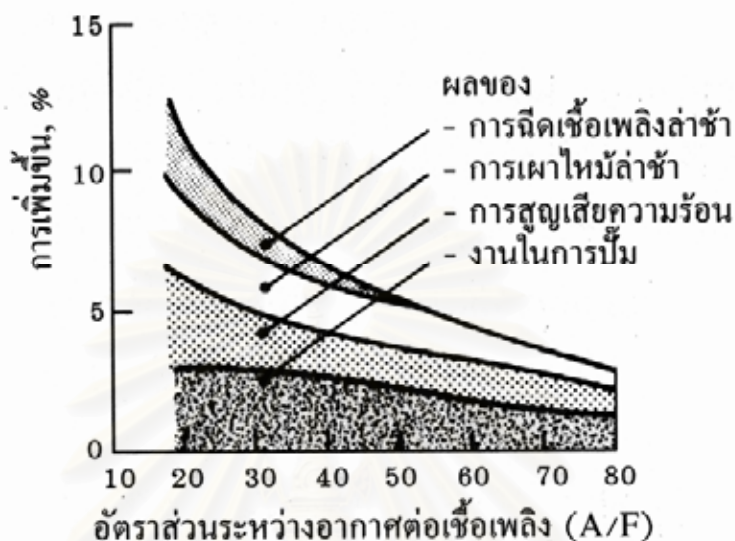


รูปที่ 2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ลว่งหน้าที่มีการไหลวน [1]

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมที่นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติที่มีการออกแบบและขนาดใกล้เคียงกันแล้วจะเห็นว่าเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง จะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าเสมอ ซึ่งประสิทธิภาพที่สูงกว่านี้จะแปรผันกับภาระ โดยที่ภาระสูงสุดความแตกต่างของค่าอัตราการผลิตสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ของเครื่องยนต์ทั้งสองแบบจะสูงถึงร้อยละ 20 และที่ภาระบางส่วนค่าความแตกต่างจะน้อยลง เหลือประมาณร้อยละ 10

รูปที่ 2-6 แสดงปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม ซึ่งจะพบว่าที่ภาระสูงสุด (อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เท่ากับ 18 ถึง 20) เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะมีประสิทธิภาพบ่งชี้ต่ำกว่าประมาณร้อยละ 15 ถึง 17 ซึ่งเป็นผลมาจากการฉีดเชื้อเพลิงที่ล่าช้า การเผาไหม้ที่ยาวและล่าช้า การสูญเสียความร้อน ที่ภาระบางส่วนเมื่อค่าความดันยังผลเฉลี่ย (bmep) มีค่าประมาณ 300 kPa (อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 50) เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะมีประสิทธิภาพบ่งชี้ต่ำกว่าประมาณร้อยละ 5 ถึง 7 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการสูญเสียความร้อนที่สูงกว่าเนื่องจากพื้นที่ผิวที่ใหญ่กว่า และความเร็วในการไหลผ่านช่องที่ต่อระหว่างห้องเผา

ใหม่หลักกับห้องเผาไหม้ลว่งหน้าที่สูงกว่า รวมทั้งเป็นผลมาจากการสูญเสียความดันในการอัดอากาศระหว่างห้องเผาไหม้หลักและห้องเผาไหม้ลว่งหน้า



รูปที่ 2-6 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวนซึ่งเป็นฟังก์ชันของ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรือภาวะ [1]

แผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลทุกแบบโดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้ายกัน และเมื่อเขียนแทนด้วยความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ ก็จะมีค่าสมมูลกัน การเพิ่มขึ้นของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) จากค่าต่ำสุดเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นที่ภาวะคงตัวจะเป็นผลมาจากการเพิ่มของ friction mean effective pressure แต่ส่วนหนึ่งจะถูกชดเชยโดยผลจากการลดความสำคัญของการสูญเสียความร้อนต่อวัฏจักรลง การเพิ่มขึ้นของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) กับภาวะที่ลดลงที่ความเร็วคงตัวจะเป็นผลมาจากการลดลงของประสิทธิภาพเชิงกลเมื่อความดันยังผลเฉลี่ย (bmep) ลดลงเป็นหลัก แต่ส่วนหนึ่งจะถูกชดเชยด้วยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้ที่เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศลดลง

การเพิ่มของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) จากค่าต่ำสุดจะไม่มากนักเมื่อภาวะเพิ่มขึ้นที่ความเร็วคงตัวและเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นที่ภาวะคงตัวโดยจะเป็นผลสุทธิของ

1. การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเชิงกลและการลดลงของประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้เมื่อภาวะมากขึ้น



2. การลดลงของประสิทธิภาพปองซึ่งเนื่องจากการทวีความสำคัญของการสูญเสียความร้อนและการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงกลเนื่องจากความเร็วลดลง

## 2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และผลกระทบต่อสมรรถนะและการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซลประกอบด้วย

### 2.2.1 เลขซีเทน (Cetane Number)

การวัดคุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือเลขซีเทน การกำหนดค่าของเลขซีเทนถูกนิยามโดยการผสมกันของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์อ้างอิง 2 ชนิด ดังสมการที่ (2-6) ซึ่งได้แก่ cetane (n-hexadecane) ที่มีคุณสมบัติการจุดระเบิดสูงให้มีเลขซีเทนเป็น 100 และ isocetane หรือ heptamethyl nonane เป็น paraffin ที่มีกิ่งสาขามาก มีคุณสมบัติการจุดระเบิดต่ำ กำหนดให้มีเลขซีเทนเป็น 15 โดยใช้มาตรฐาน ASTM D613 ในการทดสอบ

$$\text{cetane number} = \% \text{ n-cetane} + 0.15 (\% \text{ heptamethyl nonane}) \quad (2-6)$$

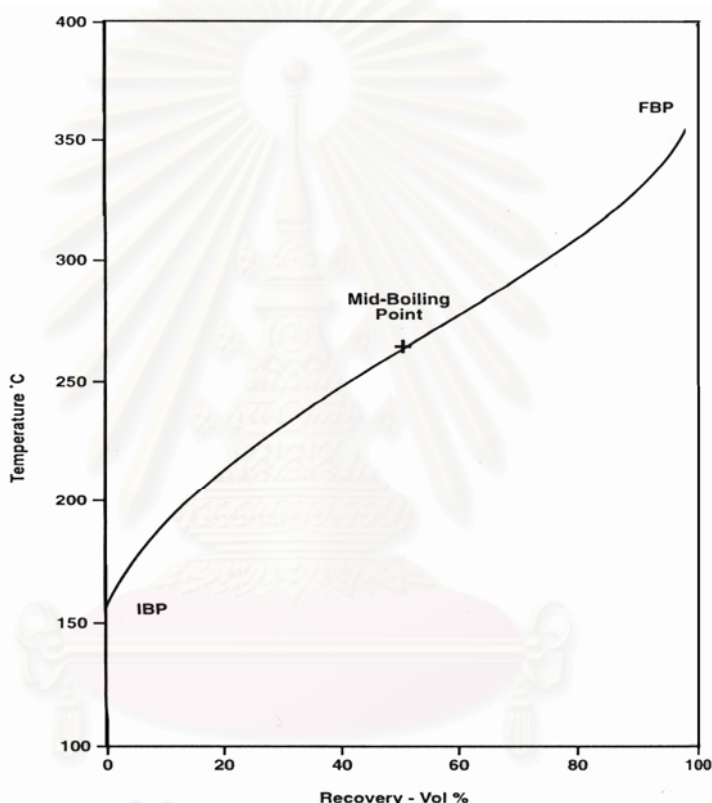
เลขซีเทนนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิง เช่น คุณสมบัติการติดเครื่องยนต์, มลภาวะ, ความดันในห้องเผาไหม้สูงสุด และเสียงของเครื่องยนต์ เป็นต้น ผลดีของการที่เชื้อเพลิงมีเลขซีเทนสูงได้แก่ เครื่องยนต์มีสมรรถนะสูง, เพิ่มคุณสมบัติการติดเครื่องยนต์ในขณะเย็น, ลดควันดำในช่วงการอุ่นเครื่องยนต์, ลดเสียงดัง, ลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษ แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบเพื่อหาค่าเลขซีเทนนั้นสูงจึงได้มีการคำนวณ cetane index (CCI) ขึ้นมาเพื่อประมาณค่าคุณสมบัติการจุดระเบิดแทน โดยใช้ค่า API gravity และ mid-boiling temperature (50 % evaporated) ตามมาตรฐาน ASTM D976

### 2.2.2 ค่าการระเหย (Volatility)

รายละเอียดที่ได้ระหว่างการกลั่นเชื้อเพลิง ได้แก่ Initial Boiling Point (IBP), End Point (EP) หรือ final boiling point (FBP), percent of condensate recovered และ percent residue of nonvolatile matter ซึ่งโค้งการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปแสดงในรูปที่ 2-7

ค่าการระเหย (การกลั่น หรือช่วงการเดือดของเชื้อเพลิง) มีผลต่อคุณสมบัติอื่นๆ รวมถึงความหนาแน่น, จุดวาบไฟ, อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเอง, ความหนืด และเลขซีเทน โดยค่าการระเหยที่สูงจะทำให้เกิด vapor lock และจุดวาบไฟที่ต่ำลงและ vapor lock จะทำให้เครื่องยนต์ misfire หรือเกิดความล้มเหลวในการติดเครื่องยนต์ใหม่หลังจากดับเครื่องยนต์ลงในช่วงเวลาสั้นใน

สภาวะร้อน แต่อย่างไรก็ตาม ค่าการระเหย ที่สูงก็ยิ่งทำให้เชื้อเพลิงระเหยได้อย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ แต่ผลที่ตามมาคือส่วนที่มีจุดเดือดสูงอาจเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการสะสมรวมตัวในเครื่องยนต์และเพิ่มระดับควัน อีกทั้งอย่างไรก็ตาม ภายในช่วง 350°C ถึง 400°C ผลของ volatility ที่ต่ำต่อไอเสียจะมีค่าน้อย คุณสมบัติที่กลั่นตัวไปแล้ว 50% (mid-volatility) ของเชื้อเพลิงดีเซลมีผลอย่างชัดเจนต่อแนวโน้มของควันโดยผ่านทางผลต่อการฉีดและการผสมของเชื้อเพลิง และใช้สำหรับการคำนวณ cetane index ตามมาตรฐาน ASTM D976



รูปที่ 2-7 โค้งการกลั่น (Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป [2]

ส่วนที่ค่าการระเหยสูงซึ่งอยู่ที่จุดต่ำสุดในโค้งในรูปที่ 2-7 ช่วยปรับปรุงการติดเครื่องขณะเย็น และการอุ่นเครื่อง ในขณะที่ส่วนที่ ค่าการระเหยต่ำที่ปลายด้านสูงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการสะสมรวมตัว, ควัน และการสึกหรอ เนื่องจากเชื้อเพลิงระเหยยาก ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

### 2.2.3 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซลให้ประโยชน์ในการบ่งชี้องค์ประกอบ และคุณลักษณะที่สัมพันธ์กับสมรรถนะ เช่น คุณภาพการจุดระเบิด กำลัง การประหยัดเชื้อเพลิง คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ และแนวโน้มของควัน บางครั้งอาจแสดงความหนาแน่นเป็นความถ่วงจำเพาะ หรือ

API gravity ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นต่างๆ โดยประมาณแสดงดังต่อไปนี้ [2]

Straight-run distilled	805 – 870 kg/m <sup>3</sup>
Hydrocracked gas oil	815 – 840 kg/m <sup>3</sup>
Thermally cracked gas oil	835 – 875 kg/m <sup>3</sup>
Catalytically cracked gas oil	930 – 965 kg/m <sup>3</sup>

#### 2.2.4 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของของไหลบ่งบอกถึงความต้านทานการไหลของของไหลซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงดีเซลเนื่องมาจากมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของอุปกรณ์ฉีดเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นมุมกรวยสเปรย์ของหัวฉีดจะลดลง การกระจายเชื้อเพลิง และการพุ่งของสเปรย์ (spray penetration) จะลดลงไปด้วย ในขณะที่ขนาดของหยดเชื้อเพลิง (droplet) ใหญ่ขึ้น ดังนั้นความหนืดจะมีผลต่อ injection timing ที่เหมาะสมสำหรับรูปร่างหัวฉีดและความดันการฉีดเชื้อเพลิงหนึ่งๆ นอกจากนี้ความหนืดจะมีอิทธิพลต่อปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดด้วย

เชื้อเพลิงดีเซลมักจะมีการกำหนดคุณสมบัติขอบเขตบนของความหนืดเพื่อให้แน่ใจว่ามีการไหลของเชื้อเพลิงที่เพียงพอสำหรับการติดเครื่องขณะเย็นและยังมีการกำหนดความหนืดต่ำสุดเพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังที่อุณหภูมิสูงด้วย เนื่องจากหากว่าเชื้อเพลิงมีค่าความหนืดต่ำมากเกินไปจะทำให้ การพุ่งของสเปรย์ยาวเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการเปียกที่ผนังห้องเผาไหม้ทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ได้

#### 2.2.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity)

คุณสมบัติการหล่อลื่นของเชื้อเพลิงดีเซล โดยการทดสอบด้วยวิธี high frequency reciprocating rig (HFRR) ตามวิธีการทดสอบของ CEC F-06-A-96 ซึ่งจะทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมัน คุณสมบัติการหล่อลื่นนี้จะช่วยลดการสึกหรอที่เกิดจากการใช้งานในชิ้นส่วนที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงโดยตรง

#### 2.2.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล

เชื้อเพลิงดีเซล อาจประกอบด้วย heavy paraffinic hydrocarbons ซึ่งมีความสามารถในการละลายที่จำกัดในเชื้อเพลิง Paraffins จะสะสมรวมตัวกันเป็นไข (wax) เมื่ออยู่ในสภาวะที่เย็นเพียงพอ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดในระบบเชื้อเพลิงในยานพาหนะซึ่งเป็นแหล่งของปัญหาในการทำงานต่างๆ เช่นทำให้เกิดการอุดตันในระบบเชื้อเพลิง

### 2.2.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเชื้อเพลิงคือ ความมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลาระหว่างการผลิต การใช้งานในเครื่องยนต์ และการก่อกองตัวของตะกอนระหว่างการจัดเก็บเชื้อเพลิงดีเซลในระยะยาว ในโตรเจนและสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบมักจะเกี่ยวข้องกับอย่างมากในกระบวนการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิง เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นตะกอนเชื้อเพลิง กลไกการเผาไหม้ของไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นในหลายขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการเริ่มเกิดโซ่ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระ เมื่ออนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนก่อตัวขึ้น มันจะสามารถรวมตัวกับออกซิเจนเพื่อก่อให้เกิดอนุมูลเปอร์ออกไซด์ ซึ่งในทางกลับกันก็สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนอื่นโดยอาศัยการกำเนิดอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนอื่น และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้จึงไม่สูญสลายไปได้ด้วยตัวเอง อนุมูลอิสระยังสามารถเป็นเหตุให้เกิดโพลีเมอร์ไรเซชันและปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อก่อให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งสามารถสะสมรวมตัวในระบบเชื้อเพลิง และในขั้นตอนสุดท้ายคือ chain termination เมื่อ antioxidant หายไป เป็นปฏิกิริยาซึ่งนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ไร้อนุมูลอิสระ

ความสามารถของเชื้อเพลิงในการรักษาเสถียรภาพในถังเก็บขึ้นอยู่กับตัวแปรซึ่งควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเอง อาทิ oxidation ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเองที่ซับซ้อนปรากฏออกมาโดยทั่วไปมี 2 ชนิด ได้แก่ soluble gum ซึ่งเป็นพวก nonvolatile และ insoluble gum ซึ่งมักถูกเรียกว่าเป็นตะกอน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่อันตรายที่สุดของการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงในถังเก็บ การเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพในระบบเชื้อเพลิงสังเกตเห็นได้จากการอุดตันที่ไส้กรอง และการสะสมรวมตัวของสารเหนียว (gum) ในระบบจุดระเบิดและหัวฉีด สาเหตุหลักของปัญหาการทำงานเหล่านี้ อาจเป็นเพราะความจริงที่ว่าเชื้อเพลิงดีเซลทำหน้าที่เป็นสารหล่อเย็นหัวฉีด ซึ่งเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิสูง ในส่วนของถังเชื้อเพลิงเมื่อเชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงและให้ความร้อนอีกครั้ง การเกิดวัฏจักรการให้ความร้อนและการทำให้เย็นต่อเนื่องกันอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน

### 2.2.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content)

วิธีหนึ่งในการลดระดับไอเสียทั้งหมดของ Particulate Matter (PM) จากเครื่องยนต์ดีเซลคือ การใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่มีกำมะถันต่ำ (น้อยกว่า 0.05% โดยน้ำหนัก) ระหว่างกระบวนการเผาไหม้ กำมะถันส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็น sulphur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) ซึ่งส่วนมากถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม อาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพิ่มเติมนำไปสู่มลภาวะทางอากาศ  $\text{SO}_2$  ที่เหลือจะถูกเผาไหม้ในไอเสียดีเซลที่มีออกซิเจนหนา และเกิดเป็น sulphur trioxide ( $\text{SO}_3$ ) อุณหภูมิไอเสียดีเซลที่

สูงจะรักษา  $\text{SO}_3$  ไว้ในสภาวะไอ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับน้ำ โดยปฏิกิริยาคายความร้อนนำไปสู่การก่อตัวของละอองกรดกำมะถันในอากาศ ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำโดยพันธะทางเคมีจะถูกปล่อยออกมาเป็น particulate matter

ประโยชน์อื่นของการลดระดับกำมะถันในเชื้อเพลิงดีเซลคือ การลดการกัดกร่อน เป็นที่รู้กันว่าระดับกำมะถันที่สูงในเชื้อเพลิงทำให้เกิดการกัดกร่อนที่แหวนลูกสูบและ liners ของกระบอกสูบ การที่กำมะถันทำให้เกิดการกัดกร่อน ขึ้นอยู่กับระดับกำมะถันของเชื้อเพลิงและสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง

สำหรับในประเทศไทยค่ามากที่สุดของกำมะถันในดีเซลถูกกำหนดไว้คือ 0.05% ในการผลิตเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันน้อยกว่า 50 ppm และปริมาณ aromatic 5% โดยปริมาตร (ตามที่ระบุสำหรับเชื้อเพลิงดีเซล class 1) จำเป็นที่จะต้องใช้สภาวะ hydro-processing ที่รุนแรงขึ้นหรือเทคโนโลยี hydro-processing ที่แตกต่างกันออกไป

### 2.2.9 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content)

ส่วนประกอบอะโรมาติกในเชื้อเพลิงดีเซลเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะว่าทำให้เกิดการปล่อย particulate emission แต่อย่างไรก็ตามอะโรมาติกมีส่วนช่วยในการหล่อลื่นของเชื้อเพลิง ดังนั้นการกำจัดสารเหล่านี้จะทำให้เกิดอัตราการสึกหรอของปั๊มหัวฉีดสูงอย่างผิดปกติ

### 2.2.10 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content)

การกำจัดน้ำออกจากเชื้อเพลิงดีเซลให้หมดไปได้ เนื่องจากขั้นตอนแรกที่มีน้ำเข้ามาคือระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากนั้นยังมีความเสี่ยงของการมีน้ำปะปนมาระหว่างการขนส่งและการเก็บในถัง การเกิดขึ้นของน้ำในถังเก็บอาจทำให้เกิดการเติบโตของราและแบคทีเรีย การปนเปื้อนจุลินทรีย์ทำให้เกิดปัญหาสำคัญกับเครื่องยนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบเชื้อเพลิง เช่น เกิดการอุดตันที่ไส้กรอง

ตะกอนที่พบในเชื้อเพลิงดีเซลส่วนใหญ่เป็นอนินทรีย์โดยกำเนิด เช่น สนิม อนุภาคโลหะและฝุ่นละออง บางส่วนสามารถเป็นสารอินทรีย์จากการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบเชื้อเพลิงที่ไม่เสถียร การกระทำของแบคทีเรียที่รอยต่อของน้ำมันกับน้ำ หรือ ไชจากเชื้อเพลิง

ตะกอนสามารถนำไปสู่การอุดตันไส้กรองในยานพาหนะ และน้ำยังช่วยเพิ่มสภาวะกรดทำให้เกิดปัญหาเนื่องมาจากการกัดกร่อนและความสึกหรอในเครื่องยนต์และระบบฉีดเชื้อเพลิง

### 2.2.11 จุดวาบไฟ (Flash Point)

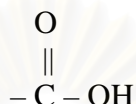
จุดวาบไฟคือการวัดอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดซึ่งเชื้อเพลิงจะเกิดการลุกไหม้ได้จากแหล่งกำเนิดประกายไฟภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐาน จุดวาบไฟนี้จะมีผลต่อเชื้อเพลิงในการ



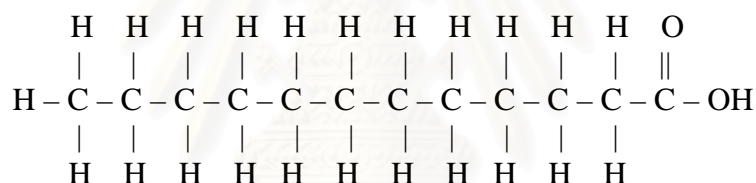
พิจารณาด้านการขนส่ง รูปแบบการจัดเก็บ และการระมัดระวังดูแลรักษา โดยจุดวาบไฟจะมีความสำคัญในการพิจารณาถึงความปลอดภัยของเชื้อเพลิงนี้ทางหนึ่ง

### 2.3 น้ำมันพืช [3]

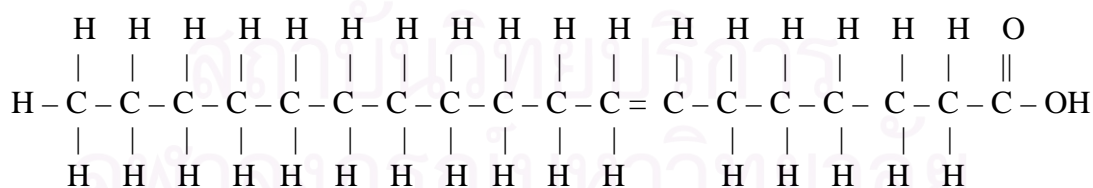
ส่วนประกอบพื้นฐานของน้ำมันพืชประกอบไปด้วยกรดไขมัน กรดไขมันมีลักษณะเหมือนกรดอินทรีย์อื่นๆ คือจะมีกลุ่มคาร์บอกซิล ซึ่งมีสูตรทางเคมีดังนี้



โดยจะมีจำนวนของคาร์บอนต่อกันหลายๆ อะตอม จำนวนของคาร์บอนที่ต่างกันทำให้เกิดกรดไขมันที่มีสมบัติต่างกัน กรดไขมันที่มีในธรรมชาติส่วนมากจะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 6 ถึง 20 อะตอมโดยกรดไขมันอิ่มตัว หมายถึง กรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมทุกตัวจับกันด้วยพันธะเดี่ยวมีสูตรทั่วไปคือ  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$  ดังตัวอย่างเป็นโครงสร้างทางเคมีของ กรดลอริก



ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว หมายถึง กรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมบางตัวจับกันด้วยพันธะคู่ เช่น กรดโอเลอิก ซึ่งน้ำมันพืชส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นลักษณะของกรดไขมันที่มีในน้ำมันพืชที่อยู่กลุ่มน้ำมันโอเลอีน และเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งในงานวิจัยนี้ก็คือน้ำมันในกลุ่มน้ำมันโอเลอีนดังกล่าว ซึ่งคือน้ำมันปาล์มโอเลอีน ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของโอเลอิก แสดงได้ดังนี้



น้ำมันพืชในธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ ไตรกลีเซอไรด์ ถ้ากรดไขมันเป็นชนิดเดียวกันหมด เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์แบบง่าย ถ้ากรดไขมันต่างชนิดกัน เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์แบบผสมซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำมันพืช

### 2.3.1 น้ำมันปาล์มดิบ และ น้ำมันปาล์มโอเลอิน

น้ำมันปาล์ม หมายถึง น้ำมันที่ได้จากเนื้อ (mesocarp) ของผลปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis*) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค และน้ำมันปาล์มสำหรับอุตสาหกรรม โดยน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภคสามารถแบ่งย่อยได้เป็นอีก 2 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มธรรมชาติ (Virgin oil) และน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (Refined oil) หรือที่เรียกกันว่า น้ำมันปาล์มโอเลอิน

น้ำมันปาล์มธรรมชาติ หมายถึง น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภคที่ได้จากการบีบ อัด หรือการใช้ความร้อน อาจทำให้สะอาดโดยการล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรองและการหมุนเหวี่ยง (centrifuse) เท่านั้น

ส่วนน้ำมันปาล์มรีไฟน์หรือน้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธี หมายถึงน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภคที่อย่างน้อยต้องผ่านกรรมวิธีการกำจัดกรด

น้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ชนิดหนึ่งเป็นน้ำมันปาล์มธรรมชาติหรือน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) ซึ่งได้จากการสกัดผลปาล์มสด (Fresh fruit Bunch) โดยที่น้ำมันปาล์มดิบเป็นน้ำมันจากเส้นใยของผลปาล์มมีลักษณะเป็นน้ำมันข้น มีสีส้มขุ่น หน อุดหนุมิปกติ เมื่ออุ่นด้วยความร้อนน้ำมันจะใสและมีสีส้มอมแดง ส่วนน้ำมันปาล์มอีกตัวหนึ่งที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (Refined oil) หรือน้ำมันปาล์มโอเลอิน (Palm Olein Oil) ซึ่งเป็นการนำน้ำมันปาล์มดิบไปผ่านกรรมวิธีดังกล่าวข้างต้น

สารเจือปนที่พบในน้ำมันปาล์มแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic) ประกอบด้วยความชื้น สิ่งสกปรกกรดไขมันอิสระ กลีเซอไรด์ และเอนไซม์ต่างๆ
2. กลุ่มออกซิเดทีฟ (Oxidative) ประกอบด้วยเศษผงโลหะ สารออกซิเดชันต่างๆ เม็ดสีโทโคเฟอรอล (Tocopherols) และฟอสฟาไทด์ (Phosphatide)
3. สารที่เป็นตัวเร่งให้เกิดสารพิษ ได้แก่ สารประกอบพวกไนโตรเจน กำมะถัน และเฮโลเจน ตลอดจนฟอสฟาไทด์ และสารออกซิเดชันต่างๆด้วย

น้ำมันปาล์มดิบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจากผลปาล์มสดซึ่งจัดเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตมากที่สุดสำหรับในประเทศไทย ตามนิยามใน มอก. 288-2535 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค น้ำมันปาล์มดิบมีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบตามมอก. 288-2535 [4]

คุณลักษณะ	วิธีการทดสอบ	ข้อกำหนด
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) ที่ 50/20 °C	CAC/RM9	0.891-0.899
ดัชนีหักเห (Refractive Index) ที่ $n_D$ 50 °C	IUPAC(1979)	1.455-1.456
น้ำและสารระเหยได้ที่อุณหภูมิ 105 °C (%wt)	IUPAC(1979)	≤ 0.2
สิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (Insoluble impurities) (%wt)	IUPAC(1979)	≤0.05
ค่าไอโอดีนแบบวิจิส (Iodine value, Wijis)	IUPAC(1979)	50-55
ค่าสะaponนิฟิเคชัน (Saponification value) มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม	IUPAC(1979)	190-209
สารที่สะaponนิฟิเคชันไม่ได้ (Unsaponifiable matter) กรัมต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม	IUPAC(1979)	≤12
ค่าของกรด (Acid value) มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม	IUPAC(1979)	≤4
ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กก.	IUPAC(1979)	≤10
บีตาแคโรทีน (Beta carotene) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	AOAC(1984)	500-2000

น้ำมันปาล์มดิบที่ทางโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผลิตได้ ส่วนใหญ่จำหน่ายให้กับโรงงานทำสบู่ มาการีนและกลั่นเป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ แต่จากความไม่แน่นอนของสถานการณ์ตลาดปาล์ม น้ำมันในประเทศที่มีผลทำให้ระดับราคาผลปาล์มสดและน้ำมันปาล์มดิบ มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งบางช่วงของปีราคาน้ำมันปาล์มดิบจะต่ำลง และบางช่วงของปีราคาน้ำมันปาล์มดิบก็จะสูงขึ้น และนั่นเองราคาของน้ำมันปาล์มโเลอื่นก็เปลี่ยนแปลงไปตามราคาของน้ำมันปาล์มดิบ เนื่องจากน้ำมันปาล์มโเลอื่นก็เป็นผลผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบเช่นกัน

### 2.3.2 การเก็บรักษาน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมัน ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็งก็ได้ องค์ประกอบทางเคมีของไขมัน ได้แก่ เอสเทอร์ ซึ่งไขมันจากพืชเหล่านี้จะมีคุณสมบัติต่างจากไขมันสัตว์หรือไขมันประเภทอื่น กล่าวคือ ในไขมันพืชจะประกอบด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ และโมเลกุลแอลกอฮอล์ที่มีสายยาว ส่วนกรดไขมันในพืชส่วนใหญ่จะเป็นไขมันประเภทไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันเหล่านี้สามารถรวมตัวกับกลีเซอรอล เพื่อเกิดเป็นสารประเภทโมโนกลีเซอไรด์ หรือ ไดกลีเซอไรด์ได้เมื่อกลุ่มไฮดรอกซี จำนวน 1-2 กลุ่มนี้ถูกแทนที่ไป

อย่างไรก็ตามเมื่อมีอนุโมลอิสระของกรดไขมันที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยามากกว่า 1 กลุ่มขึ้นไป อนุโมลอิสระเหล่านี้ก็จะสามารถรวมตัวกันกลายเป็นไตรกลีเซอไรด์ได้ ซึ่งกรดไขมันประเภทหลังนี้จะพบมากในไขมันจากพืช กรดไขมันเหล่านั้นจะประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอนทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และการมีโครงสร้างดังกล่าวนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สำคัญขึ้นดังนี้

### (ก) ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (Hydrolysis)

ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส จะเกิดขึ้นเสมอในน้ำมันปาล์ม และจะมีผลทำให้สารประกอบ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และ ไตรกลีเซอไรด์ กลายเป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) มากขึ้น มีผลทำให้คุณภาพน้ำมันปาล์มลดลง ซึ่งสาเหตุการเกิด ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสนั้น มาจากการมีน้ำเจือปน การมีฝุ่นละอองและโลหะหนักปนเปื้อน และผลของการทำลายจากเอ็นไซม์ ดังนั้นเพื่อป้องกันน้ำมันปาล์มเสื่อมสภาพอันด้วยสาเหตุเนื่องมาจากปริมาณน้ำและสิ่งปนเปื้อนสามารถทำได้โดยลดปริมาณน้ำและสิ่งปนเปื้อนในน้ำมัน เช่น ฝุ่นให้น้อยที่สุด

ในกรณีที่เอ็นไซม์ก่อให้เกิดปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) นั้นได้มีผู้ศึกษาแล้วพบว่า ถ้าเก็บผลปาล์มสดจากต้นจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพียงร้อยละ 0.1 (ส่วนใหญ่เป็น Palmitic acid) แต่ถ้าผลปาล์มสดนั้นผ่านกระบวนการสกัด การบด ก็จะทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงขึ้นถึงร้อยละ 50 ในเวลาเพียง 2-3 ชั่วโมง แต่ถ้ามีการนำผลปาล์มมาให้ความร้อนก่อนประมาณ 90-100 °C จะทำให้การเพิ่มปริมาณของกรดไขมันอิสระน้อยลง ได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับผลของปริมาณน้ำและอุณหภูมิต่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มเมื่อเวลาต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ปริมาณกรดไขมันอิสระในการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน [5]

เวลาและอุณหภูมิของการทดลอง	ร้อยละของกรดไขมันอิสระ ในรูปของกรด Palmitic	
	น้ำมันผสมน้ำร้อยละ 0.25	น้ำมันชนิดเดียวกันและผสมน้ำเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 5
เริ่มต้นการทดลอง	2.8	2.8
หลังจาก 62 วัน ณ 18 °C	3.3	3.3
หลังจาก 55 วัน ณ 55 °C	3.5	4.1
หลังจาก 36 วัน ณ 75 °C	4.6	9.7

จากผลการศึกษาพบว่า การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่ำประมาณ  $18^{\circ}\text{C}$  ปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มสูงขึ้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิสูงขึ้น เช่นที่อุณหภูมิ  $55^{\circ}\text{C}$  และที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  แม้ว่าระยะเวลาการเก็บรักษานานถึง 62 วันและน้ำมันปาล์มที่เก็บรักษาถ้ามีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.25 เป็นร้อยละ 5 จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้น

ขณะเดียวกันก็ยังมีผู้ศึกษาอีกว่า ปริมาณของเชื้อประเภทย่อยสลายไขมัน (Lipolytic micro-organisms) ในน้ำมันจะมีผลต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระด้วย เชื้อดังกล่าวนี้ได้แก่ เชื้อราย่อยสลายไขมัน (Lipolytic Fungi) ซึ่งได้แก่เชื้อที่มีชื่อเรียกสปีชีส์ (Species) *Paecilomyces*, *Aspergillus*, *Rhizopus* และ *Torula* เป็นต้น นั่นคือ การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบที่ดีที่สุดคือ ควรให้น้ำมันปาล์มดิบนั้นมีปริมาณน้ำต่ำสุด (คือน้อยกว่าร้อยละ 0.1) ให้มีฝุ่นน้อยที่สุด และอยู่ในสภาวะที่เชื้อโรคไม่สามารถเติบโตได้ก็จะช่วยรักษาคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบได้

#### (ข) ปฏิกริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

เนื่องจากไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มนั้นเป็นประเภทไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันได้ ณ ตำแหน่งพันธะคู่ ได้ผลออกมาเป็นสารประเภทไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxides) ซึ่งจะทำให้ไขมันมีกลิ่นเหม็นหืน การป้องกันให้ปฏิกริยาเหล่านี้เกิดขึ้นน้อยลงคือ ไม่ควรให้ถูกกับออกซิเจนในอากาศ และอย่าให้ถูกแสงเพราะแสงจะเป็นตัวเร่งปฏิกริยาได้ อย่างไรก็ตามธรรมชาติได้มีกระบวนการป้องกันการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันไว้แล้ว นั่นคือในไขมันที่ได้จากพืชส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) ซึ่งในพืชประเภทนี้จะมีสารประกอบพวกวิตามินอี ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant) อยู่แล้ว ในปาล์มน้ำมันจะมีวิตามินอีประมาณ 10-130 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แม้วิตามินอีเหล่านี้จะมีอยู่ในธรรมชาติ แต่เมื่อทำการเก็บเกี่ยวผลปาล์มเพื่อจะมาเข้าสู่กระบวนการผลิตวิตามินอีก็จะสลายไป จึงได้มีการเติมสารประเภทโทโคฟีรอล (Tocopherols) ลงไปในน้ำมันพืชเหล่านี้เพื่อป้องกันการเหม็นหืน

สรุปได้ว่า ในการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มจะต้องให้มีน้ำ ฝุ่นละอองและโลหะหนัก เจือปนน้อยที่สุดและหากนำผลปาล์มดิบผ่านความร้อนก่อนสกัดก็จะช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้นอกจากนี้ควรเก็บในอุณหภูมิต่ำและอยู่ในสภาวะที่เชื้อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้ อีกทั้งการเติมสารประเภทโทโคฟีรอลจะป้องกันการเหม็นหืนจากการออกซิเดชันได้

## 2.4 การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร [6]

เมื่อมีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน ในชิ้นส่วนหนึ่งสัมผัสกับอีกชิ้นส่วนหนึ่งจะเกิดความเสียดทานขึ้นไม่ว่าจะเป็นความเสียดทานจากการลื่นไถลหรือความเสียดทานแบบกึ่งตัว แม้จะมีการลด

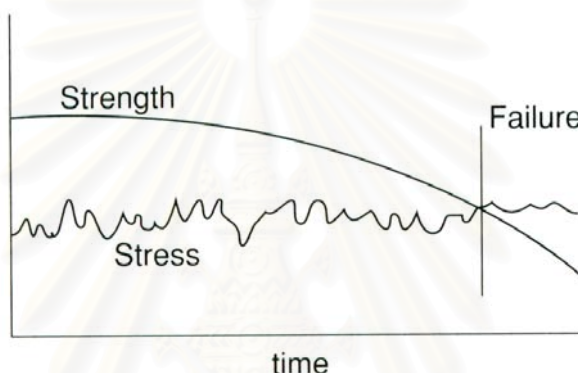


ความเสียหายเหล่านี้ได้ด้วยการใช้สารหล่อลื่น ซึ่งจะส่งผลให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำลงและลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากความเสียหาย แต่สุดท้ายตามกฎเกณฑ์ของธรรมชาติ สิ่งของต่างๆ ยังคงเกิดการสึกหรอและเสื่อมสภาพ เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะของการเสื่อมสภาพและสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพเพื่อทำการแก้ไข จึงต้องศึกษาทราบถึงประเภทของการเสื่อมสภาพและกลไกของการสึกหรอโดยสังเขปดังนี้

#### 2.4.1 ประเภทของการเสื่อมสภาพ

ประเภทของการเสื่อมสภาพอาจแบ่งได้ตามลักษณะของการชำรุด ดังนี้

##### 2.4.1.1 การเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent degradation)



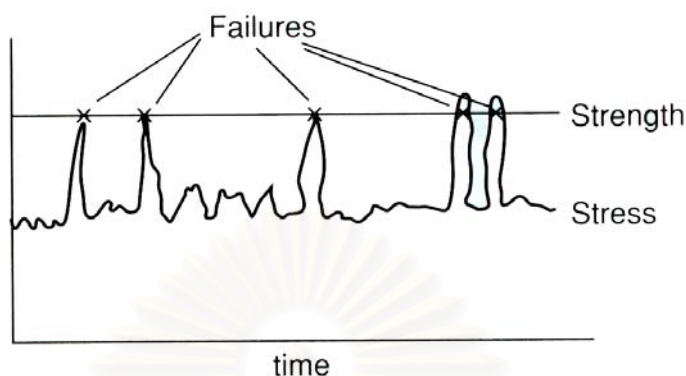
รูปที่ 2-8 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพตามเวลา

ลักษณะของกราฟในรูปที่ 2-8 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเสื่อมสภาพ (การสึกหรอของวัสดุ) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ตามระยะเวลาการใช้งาน ซึ่งมีผลทำให้มิติ หรือขนาดของชิ้นส่วนเปลี่ยนแปลงไป มีผลทำให้ความแข็งแรง (Strength) ของชิ้นส่วนดังกล่าวมีค่าลดลงไปตามเวลาใช้งาน และสุดท้ายเมื่อค่าความแข็งแรงมีค่าลดลงจนใกล้ หรือต่ำกว่าค่าภาระใช้งาน ก็จะเป็นจุดที่เส้นกราฟ 2 เส้นนี้มาบรรจบกัน ซึ่งเป็นจุดที่ชิ้นส่วนจะชำรุด หรือแตกหักเสียหาย

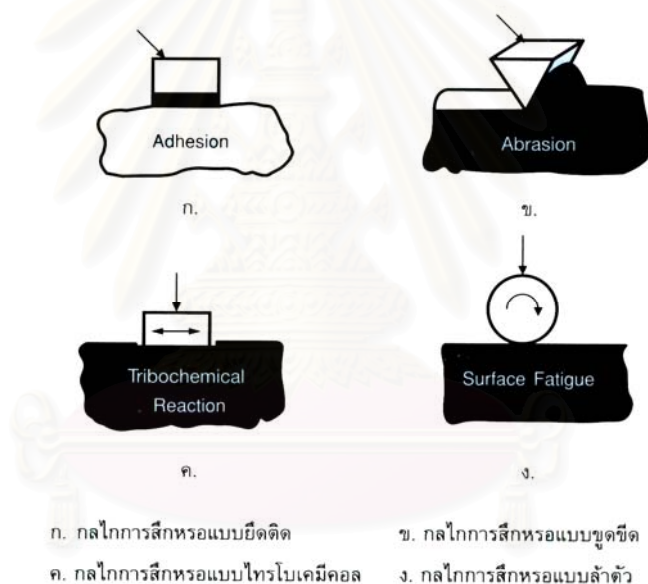
##### 2.4.1.2 การเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent degradation)

ในการเสื่อมสภาพจนชำรุดในลักษณะนี้เป็นการชำรุดโดยไม่เกี่ยวข้องกับช่วงระยะเวลาใช้งานอาจจะเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ก็มีผลทำให้เกิดการชำรุดได้ (การชำรุดแบบ “แบบทันทีทันใด”) ซึ่งกรณีนี้ตรงกันข้ามกับกรณีแรก (กรณีแรกเป็นแบบการชำรุด “แบบค่อยเป็นค่อยไป”) หากดูจากกราฟในรูปที่ 2-9 จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความแข็งแรงวัสดุต่อภาระใช้งานซึ่งเรียกว่า “ปัจจัยความปลอดภัย” (Safety Factor : SF) โดยทั่วไปวิศวกรออกแบบมักกำหนดให้มีค่ามากกว่า 1 หากแต่เมื่อใดที่มีการใช้เครื่องจักรผิดวิธี หรือการเกิดภาวะกระแทกหรือช็อค (Shock or Impact load) ที่อาจเกิดจากอุบัติเหตุหรือใช้เครื่องจักรผิดวิธี ก็จะทำให้ภาระ

ที่กระทำต่อชิ้นส่วนดังกล่าวพุ่งขึ้นสูงมากจนไปบรรจบกับค่าความแข็งแรงของวัสดุ จนทำให้วัสดุทนการะดังกล่าวไม่ได้ และเกิดการชำรุดหรือแตกหักในที่สุด



รูปที่ 2-9 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา



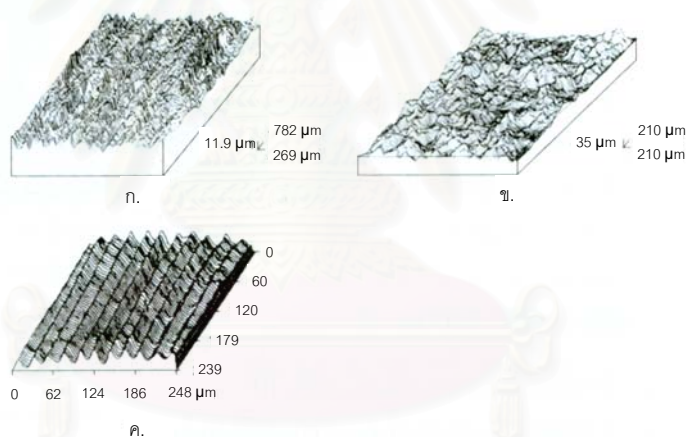
รูปที่ 2-10 แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ

จากทั้งสองหัวข้อ คือ การชำรุดหรือการเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent) มักจะเกี่ยวข้องกับการสึกหรอ (Wear) ส่วนการชำรุดแบบไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent) จะเกี่ยวข้องกับการแตกหัก ในการป้องกันการสึกหรอจำเป็นที่วิศวกรบำรุงรักษาต้องเข้าใจเสียก่อนว่าการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรมีรูปแบบหรือกลไกการสึกหรอ (Wear mechanisms) อย่างไรบ้าง แล้วจึงสามารถหาแนวทางดำเนินการในการป้องกันการเสื่อมสภาพได้ ตามมาตรฐานด้านอุตสาหกรรมของประเทศเยอรมันหมายเลข 50320 (DIN 50320) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าแบ่งกลไกการสึกหรอไว้อย่างเหมาะสม 4 รูปแบบ ดังรูปที่ 2-10

## 2.4.2 การจำแนกกลไกการสึกหรอ

ก่อนที่จะกล่าวถึงกลไกการสึกหรอ (Wear mechanisms) จะอธิบายโดยสังเขปว่า เพราะเหตุใดจึงเกิดการสึกหรอขึ้น ทั้ง ๆ ที่มีการแย้งว่าเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรไม่ควรเกิดการสึกหรอเพราะไม่ได้ใช้งานให้ภาระหรือความเค้น (Stress) ที่มากเกินไปกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) ซึ่งก็คือ วิศวกรออกแบบไว้ให้มีค่าปัจจัยความปลอดภัย (ความแข็งแรงต่อความเค้นมากกว่า 1) แต่สุดท้ายชิ้นส่วนก็ยังสึกหรอและแตกหักตามระยะเวลา เหตุผลที่สามารถอธิบายได้คือ การที่วิศวกรออกแบบคำนวณค่าความเค้น (Stress) ไว้คือ อัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำต่อพื้นที่รับแรงกระทำ

โดยที่พื้นที่รับแรงกระทำที่ใช้จะเป็นการใช้ค่าพื้นที่รับแรงกระทำที่เรามองเห็นหรือวัดได้ (Apparent area of contact) แต่ที่จริงแล้วพื้นที่รับแรงดังกล่าวอยู่บนสมมติฐานว่า พื้นผิวชิ้นงานมีความเรียบ และรับภาระเต็มหน้าสัมผัส หากทว่าในระดับจุลภาคแล้วมนุษย์ยังไม่สามารถทำให้เกิดความเรียบของผิวดังกล่าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-11



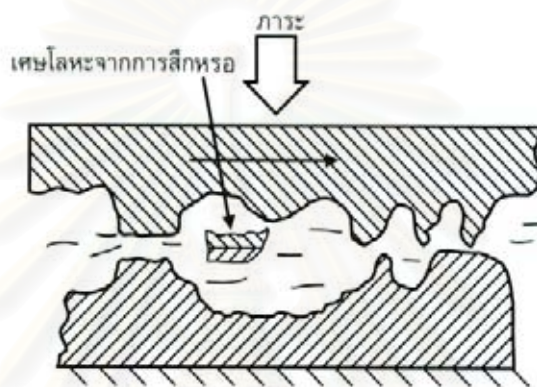
รูปที่ 2-11 แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค

จะเห็นได้ว่าเมื่อหาค่าความเค้นในระดับจุลภาคแล้ว จะทำให้ค่าความเค้นจริงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมากเกินค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Yield strength) โดยที่ยอดแหลมที่เห็นจากภาพถ่ายของผิวงานถูกเรียกกันว่า “Asperities” เมื่อมีการสัมผัสกันของชิ้นงานจุดที่จะรับภาระจริง ในระดับจุลภาค คือ Asperities ซึ่งมีพื้นที่เล็กและเมื่อค่าภาระสูงเกิดค่าความแข็งแรง Asperities เหล่านี้ จะเสียรูปหรือยุบตัวโดยถาวรในขณะที่ชิ้นส่วนเหล่านี้หยุดนิ่ง เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนที่ Asperities ที่เสียรูปโดยถาวรดังกล่าวจะถูกเข็นตัวออกไป และกลายเป็นเศษโลหะจากการสึกหรอที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น ดังนั้นไม่ว่าจะใช้ภาระต่ำหรือสูง ก็จะทำให้เกิดการสึกหรอเสมอ โดยทั่วไปเราสามารถจำแนกกลไกการสึกหรอได้เป็น 4 กลไก คือ

### 2.4.2.1 กลไกการสึกหรอบีบติด (Adhesive wear)

เป็นกลไกที่เกิดขึ้นจากการที่มีการเกิดพันธะยึดติดกันของ Asperities และมีการฉีกขาดตัวออกไปของพันธะที่เกิดขึ้นที่ในขณะที่ชิ้นงานมีการเคลื่อนที่ พันธะที่เกิดการ “เชื่อมติด” หรือ “เชื่อมติดกัน” ของ Asperities นี้เรียกกันว่า “การเชื่อมเย็น” (Cold-welded) ลักษณะการเกิดการสึกหรอบีบติดแสดงในรูปที่ 2-12

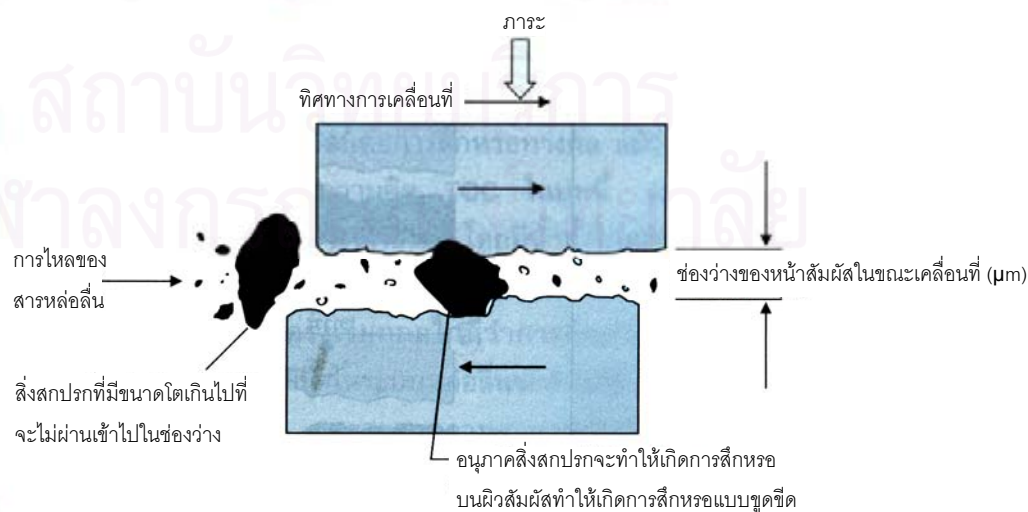
โดยที่สาเหตุที่เร่งให้เกิดการสึกหรอบีบติด คือ สารหล่อลื่นมีความหนืดน้อยเกินไป ภาวะมีค่าสูงมากเกินไปจนสารหล่อลื่นรับไม่ได้หรือใช้ความเร็วต่ำเกินไป



รูปที่ 2-12 แสดงลักษณะการสึกหรอบีบติด

### 2.4.2.2 การสึกหรอบแบบขูดขีด (Abrasive wear)

เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการที่เนื้อวัสดุ ถูกฉีกออกไปจากการถูกขูดขีดโดยสสารที่มีความแข็งสูงมาก เช่น ฝุ่นละออง เม็ดทราย หรือกากเพชร เป็นต้น ลักษณะของการสึกหรอประเภทนี้ดังรูปที่ 2-13



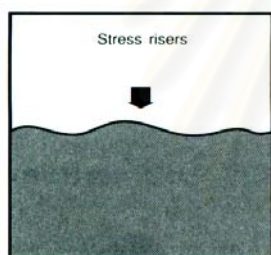
รูปที่ 2-13 แสดงลักษณะการสึกหรอบแบบขูดขีด



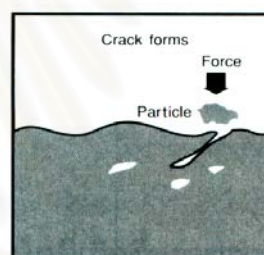
การเร่งให้เกิดการสึกหรอประเภทนี้ คือ การใช้สารหล่อลื่นที่สกปรก การชุบแข็งผิวสัมผัสที่มีความแข็ง (Hardness) แตกต่างกันไป

### 2.4.2.3 การสึกหรอจากการล้าตัวของวัสดุ (Fatigue wear)

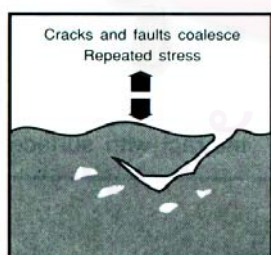
เป็นการล้าตัวและเกิดรอยแตกหรือหลุมบนผิวหน้าวัสดุบริเวณที่มีการล้าตัว ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าชิ้นงานมีการรับภาระเป็นวงรอบ (Stress cycles) การล้าตัวของวัสดุจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมากหากชิ้นงานรับภาระเพียงการกด (Compressive stress) หรือการดึง (Tensile stress) เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งแต่จะมีโอกาสเกิดการล้าตัวได้เร็วมาก หากมีการรับภาระสลับกันไปมาระหว่างการกดกับการดึง หรือการรับภาระแบบเป็นวงรอบ ท้ายที่สุดจะส่งผลให้ผิววัสดุหลุดร่อนออกไปและทำให้มีรอยสึกหลงเหลือไว้บนผิวชิ้นงาน ลักษณะการเกิดการล้าตัวอีกแบบหนึ่งเกิดจากการมีสิ่งสกปรกในสารหล่อลื่นและทำให้เกิดรอยกด (Dents) ขึ้นบนผิวชิ้นงานก่อนและเมื่อใช้งานไปนานๆ รอยกดจะค่อยๆ แพร่กระจายออกไปเป็นรอยแตก (Crack) เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปอยู่ในรอยกดนั้นๆ ครึ่งแล้วครึ่งเล่า และเกิดเป็นหลุมในที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2-14



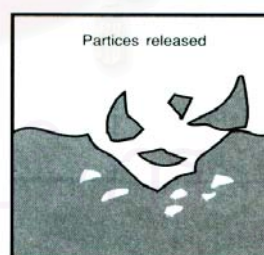
1. First, stresses at component surface develop and lead to elastic deformation and plastic flow of material.



2. Then, small surface micro cracks develop and or just beneath the solid surface during component use.



3. The faults then join to form larger voids undermining component surface



4. surface material then breaks away.

รูปที่ 2-14 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว

### 2.4.2.4 การสึกหรอแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี (Tribochemical reaction)

บางครั้งถูกเรียกว่าการสึกหรอแบบไปๆ กลับๆ หรือเฟล็ตติ้ง (Fretting wear) จากชื่อ Tribochemical reaction มีความหมายเบื้องต้น คือ การที่ชิ้นงานต้องมีการขัดสี (Tribo) และเกิดผลพวงจากปฏิกิริยาเคมี (Reaction) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ปฏิกิริยาออกซิเดชัน” สามารถ



อธิบาย จากการเกิดไทรโบเคมีคออริแอคชั่นที่ข้อต่อโซ่ จะมีผลทำให้บริเวณข้อต่อโซ่ดังกล่าวมีการสึกหรอบแบบยึดติด (Adhesive) เมื่อมีการใช้งาน จะทำให้บริเวณข้อต่อโซ่มีการขัดสีกัน (Tribo) ก่อให้เกิดเศษเหล็กตรงจุดนั้น ผนวกเข้ากับเกิดความร้อนจากการขัดสี ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) โดยที่ผงเหล็กที่เกิดขึ้นก็เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเช่นกัน เพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว (Surface area) ให้ออกซิเจนในอากาศ สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น เมื่อมีองค์ประกอบหลักคือเศษเหล็ก ความร้อน ความชื้น (หรือไอน้ำในอากาศ) กับออกซิเจนก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะก่อให้เกิดเป็นสนิมเหล็ก (Rusty wear powder) และสนิมเหล็กจะมีคุณสมบัติคล้ายกับฝุ่นละออง คือ มีความแข็งแต่เปราะและจะทำให้เกิดการขูดขีด (abrasive) ตรงบริเวณข้อต่อโซ่ตามมาจนทำให้ข้อต่อโซ่ลดขนาดลงและทนภาระไม่ได้ในที่สุดก็จะขาดชำรุดไป นอกจากข้อต่อโซ่แล้ว อาจจะมีเกิดกลไกการสึกหรอชนิดนี้ได้กับเพลลา เฟืองแบบเลื่อนได้ (Spline) แหนบรถยนต์ และผิวนอกของแบริ่งที่สัมผัสกับตัวเรือน เป็นต้น

## 2.5 สารหล่อลื่น [6]

องค์ประกอบซึ่งเป็นหน้าที่หลักประการสำคัญของสารหล่อลื่นคือ ลดแรงเสียดทาน (Reduces Friction) ซึ่งมีผลต่อเนื่องคือ เป็นการลดการสึกหรอ (Reduces Wear) ประหยัดพลังงาน (Saves Power) ลดความร้อน (Reduces Heat) และเป็นการช่วยให้เกิดฟิล์มน้ำมันที่รองรับภาระที่ใช้งาน (Load-Carrying Lubricant Film)

หน้าที่ที่สำคัญของสารหล่อลื่นยังรวมไปถึง

1. ทำหน้าที่เสมือนสารหล่อเย็นที่นำพาความร้อนออกไป (Carries Away Heat) จากชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่
2. ทำหน้าที่เสมือนซีล (Sealing) ป้องกันสิ่งสกปรกเข้าไปสู่ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เช่น ในกรณีของจาร์บี
3. ป้องกันการกัดกร่อนและสนิม (Preventing Corrosion and Rust) ของผิวชิ้นงานที่เป็นเหล็ก
4. ในบางกรณีก็จะทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังเช่นน้ำมันไฮดรอลิก

และเนื่องจากว่าสารหล่อลื่นที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น และสำคัญ สิ่งที่สำคัญสูงสุดนั้นคือ สารหล่อลื่นต้องถูกออกแบบให้ใช้งานในช่วงการทำงานของเครื่องจักรโดยที่มีการเสื้อมหรือสึกหรอ และการสูญเสียคุณสมบัติของสารหล่อลื่นให้น้อยที่สุด

### 2.5.1 คุณสมบัติที่สำคัญของสารหล่อลื่น

คุณสมบัติที่สำคัญของสารหล่อลื่นประกอบด้วย ค่าความหนืด จุดไหลเท การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน แต่คุณสมบัติที่จะนำมากล่าวถึงในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย คุณสมบัติทางความหนืด และ คุณสมบัติในการต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน

#### 2.5.1.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดถูกให้ความหมายว่า “เป็นการต้านทานต่อการไหล” ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่น ยิ่งน้ำมันหล่อลื่นมีความสามารถในการต้านทานการไหลมากเท่าใดก็จะมีค่าความหนืดมากเท่านั้น สามารถกล่าวได้ว่าค่าความหนืดเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการไหล (Flowability) ซึ่งโดยเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นปิโตรเลียม ค่าความหนืดจะแปรเปลี่ยนไปตามค่าอุณหภูมิ ยิ่งค่าอุณหภูมิสูงค่าความหนืดจะยิ่งน้อยลง และค่าความสามารถในการไหลจะยิ่งมากขึ้น วิธีการที่ใช้ในการวัดค่าความหนืดในห้องทดลองนั้นใช้วิธีการตามมาตรฐานขององค์การระหว่างประเทศที่เกิดขึ้นโดยความร่วมมือของ ASTM (American Society for Testing and Materials) และ STLE (Society of Tribologists and Lubrication Engineers) จนปัจจุบันใช้กันโดยทั่วไปในหน่วยของ SI ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวัดค่าความหนืดในหน่วยเซนติสโตค (cSt.) ที่อุณหภูมิ 40°C

น้ำมันหล่อลื่นที่หนืดมากจะถูกใช้กับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ช้า ภายใต้ภาระสูง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นจะทนทานต่อการถูกบีบดันออกไปจากผิวสัมผัส ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดน้อยจะถูกนำมาใช้กับชิ้นงานที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงที่ค่าภาระต่ำ ดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน

### 2.5.1.2 การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation resistance)

น้ำมันหล่อลื่นเป็นส่วนผสมที่ซับซ้อนระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับคาร์บอน (ไฮโดรคาร์บอน) เรียกว่า ส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอน ส่วนใหญ่แล้วแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ แบบพาราฟินิก แนพทาสิก และอะโรมาติก ซึ่งแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน นักเคมีมักเรียกน้ำมันปิโตรเลียมฐานแร่ซึ่งส่วนใหญ่เป็น 2 ส่วนหลัก คือ พาราฟินิก และแนพทาสิก ว่า “สารหล่อลื่นอิ่มตัว” (Saturated) และสำหรับ อะโรมาติกว่าเป็น “สารหล่อลื่นไม่อิ่มตัว” (Unsaturated)

สารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในชั้นหรือระดับเดียวกันจะมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปเป็นอย่างมาก ในแต่ละกลุ่มอาจจะมีสภาวะที่เป็นของแข็งของเหลวและก๊าซได้ สภาวะที่เป็นของเหลวเป็นส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดและสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปอย่างมากในสภาวะต่างๆ อาจมีผลต่อสมรรถนะในการหล่อลื่น โดยที่ไม่ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นที่จะถูกใช้งานในอนาคต ความร้อนและออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เกิดองค์ประกอบที่ไม่ดีต่อน้ำมันหล่อลื่น กระบวนการดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสารประกอบที่ไม่ดีดังกล่าวเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ออกซิเดชันจะเกิดขึ้นช้าๆ อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น อย่างไรก็ตาม การเกิดการปั่นกววนจนเกิดฟอง การฉีดพ่น และการที่เกิดมีอุณหภูมิสูงๆ โดยเฉพาะจุดที่มีความร้อนสูงเพียงจุดเล็ก ๆ จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันยิ่งเกิดเร็วขึ้น ทำให้เกิดสารประกอบที่เป็นกรดและทำให้เกิดตะกอนและคราบเหนียว

โดยความเป็นจริงแล้วทุกๆ  $10^{\circ}\text{C}$  ( $18^{\circ}\text{F}$ ) ที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่เกินกว่า  $70^{\circ}\text{C}$  อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า การที่จะลดปฏิกิริยาออกซิเดชันลงต้องพยายามควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง  $60^{\circ}\text{C}$  ถึง  $70^{\circ}\text{C}$  ( $140^{\circ}\text{F}$  ถึง  $150^{\circ}\text{F}$ ) ดังนั้นจึงเป็นข้อแนะนำให้ใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความสามารถในการต่อต้านออกซิเดชันกับเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์จและระบบการไหลเวียนน้ำมันหล่อลื่นขนาดใหญ่ๆ ทั้งนี้เพราะว่าน้ำมันหล่อลื่นจะสามารถทนได้กับระดับอุณหภูมิสูงๆ ภายในช่วงเวลายาวนานกว่าการใช้ น้ำมันแบบธรรมดา น้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวมักมีราคาแพง ทั้งนี้เนื่องจากว่าต้องถูกกลั่นด้วยกรรมวิธีพิเศษและเติมด้วยสารปรุงแต่งที่รู้จักกันในชื่อ Oxidation Inhibitor เพื่อเพิ่มความสามารถในการต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

น้ำมันหล่อลื่นที่มีความสามารถในการต่อต้านออกซิเดชันต่ำนั้น ควรถูกเลือกใช้กับการหล่อลื่นในช่วงสั้นๆ เช่น กรณีการหล่อลื่นแบบใช้แล้วทิ้งไป หรือเมื่อมีการเติมน้ำมันหล่อลื่นลงไปบ่อยๆ ปกติแล้ว Additive Packages นี้มักรวมอยู่ในน้ำมันที่มี R&O Inhibitor อยู่แล้ว

## 2.6 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว [6]

สารหล่อลื่นที่ใช้ในเครื่องยนต์หรือในที่นี้จะเรียกว่า น้ำมันหล่อลื่น จากการวิเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วและน้ำมันหล่อลื่นที่อยู่ระหว่างการใช้งาน จะทำให้ทราบว่า น้ำมันหล่อลื่นยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้หรือไม่ และจะทำให้ทราบถึงช่วงเวลาในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ผลการวิจัยจะบ่งถึงสภาวะที่น่าจะทำให้เกิดอันตรายแก่เครื่องยนต์ รวมทั้งระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนถ่าย และทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาของความเสียหายที่เกิดขึ้นและทำให้แก้ปัญหาและป้องกันได้อย่างถูกต้อง

### 2.6.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์ [7]

แบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

#### 1. ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์

การสุ่มตัวอย่างจะต้องกระทำขณะเครื่องยนต์ทำงาน และมีอุณหภูมิถึงระดับ อุณหภูมิการใช้งานของเครื่องยนต์ เพื่อให้ น้ำมันหล่อลื่นมีการขโมยเข้ากับส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องยนต์และไหลเวียนไปที่ระบบหล่อลื่น ส่วนขวดพลาสติกที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่าง น้ำมันหล่อลื่นควรจะใช้ชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันหล่อลื่น แห้งและสะอาด ฝาปิดขวด จะต้องทำด้วยวัสดุที่ไม่หลุดร่อน (Non shedding material) การเก็บน้ำมันหล่อลื่นลงในขวดพลาสติกจะต้องไม่เก็บจนเต็มขวด เนื่องจากจะต้องมีช่องว่างให้น้ำมันหล่อลื่นไหลผสมตัวของ น้ำมันหล่อลื่นเองได้

#### 2. วิธีการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้น เช่น สี กลิ่น ความหนืดและปริมาณน้ำที่ปนในน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธีการทดสอบเบื้องต้นในภาคสนาม

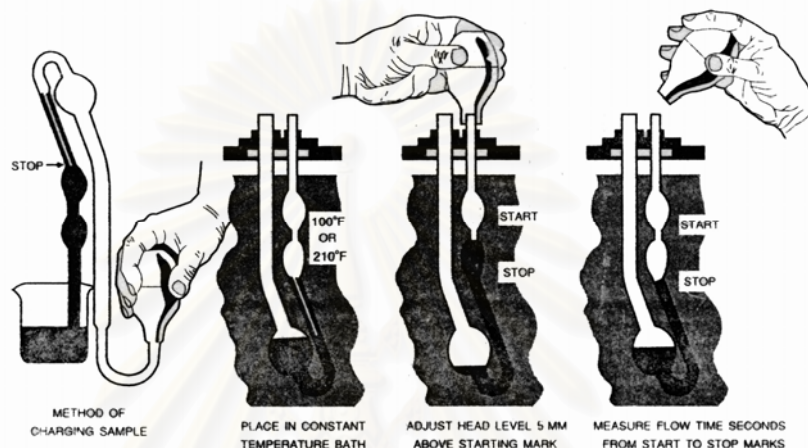
#### 3. ขั้นตอนในการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่า

- a. คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น (Oil Condition)
- b. ปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น (Contamination)
- c. ปริมาณสารปรุงแต่ง (Additive)
- d. ปริมาณโลหะจากการสึกหรอ (Wear Conditon)
- e. หาลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาคเหล็กโดยเทคนิคเฟอร์โรกราฟี

### 2.6.2 การทดสอบหาค่าความหนืด

ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น คือการวัดความต้านทานในการไหลของน้ำมันหล่อลื่น สำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์จะมีข้อกำหนดจำเพาะมาตรฐานระหว่างประเทศอยู่หลายมาตรฐาน ซึ่งอาจจะต้องทำการวัดค่าความหนืดคิเนเมติกเพิ่มเติมอีกหลายช่วงอุณหภูมิ เช่นที่

20°C, -10°C และ 100°C (เช่น กรณีของการกำหนดเกรดน้ำมันของ SAE: Society of Automotive Engineers) แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว สำหรับเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลทั่วไปนั้นก็จะทำเฉพาะที่ 40° C และ 100°C เท่านั้น ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนไปนั้นก็มีผลมาจากหลายองค์ประกอบ ซึ่งอาจจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ตัวอย่างเครื่องมือวัดความหนืดน้ำมันหล่อลื่นแสดงดังรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-16 แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445)

ในกรณีน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ เมื่อมีคราบสิ่งสกปรกหรือสารประกอบที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้น หากมีการปะปนเข้ามาด้วยสิ่งสกปรกแขวนลอยที่เป็นของแข็งในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ก็จะเป็นเหตุให้ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มสูงขึ้น เช่น ของแข็งแขวนลอยที่มีปริมาณเกินกว่า 5% โดยน้ำหนัก ในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลจะทำให้้ำมันมีความหนืดสูงมากและทำให้เกิดปัญหาในการสตาร์ท การอุดตันในไส้กรองและส่งผลต่อการขาดสารหล่อลื่นจนทำให้เครื่องยนต์ชำรุดได้

ในกรณีของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์หากมีการเจือจางด้วยน้ำมันเชื้อเพลิง จะทำให้มีการลดค่าความหนืดของน้ำมันลงเป็นอย่างมาก หรือการเกิดการตัดเชือนตัวของสายใยโพลีเมอร์ในน้ำมันหล่อลื่นชนิดเกรดรวมในกรณีการใช้งานของเครื่องยนต์หนัก ก็จะมีผลในการที่ทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลงได้เช่นเดียวกัน

### 2.6.3 ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN)

ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่างรวม (TBN = Total Base Number) (ASTM D664 D2896, IP177, IP276) ค่า TBN เป็นการวัดค่าความเป็นด่างที่ยังคงมีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เช่น น้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมันเครื่อง ควรถูกตรวจสอบและติดตาม



ต่อเนื่องสำหรับค่า TBN โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรือเดินทะเลและเครื่องยนต์ เมื่อมีความสงสัยว่า คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซธรรมชาติมีคุณภาพไม่ดี หากใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่มี ค่าปริมาณกำมะถันสูงจะทำให้ค่าความเป็นด่างของน้ำมันถูกทำลายลงไปและจะเป็นอันตรายต่อ เครื่องยนต์เมื่อน้ำมันหล่อลื่นไม่มีความสามารถในการต่อต้านกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ สันดาปภายใน ในกรณีของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ค่าความเป็นด่างรวม ระหว่างการใช้งานจะมีการลดระดับลงแสดงให้เห็นว่าน้ำมันมีความเป็นกรดสูงขึ้นซึ่งจะทำให้สามารถคาดคะเนได้ว่าควร จะทำการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องยนต์เมื่อใด

#### 2.6.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์

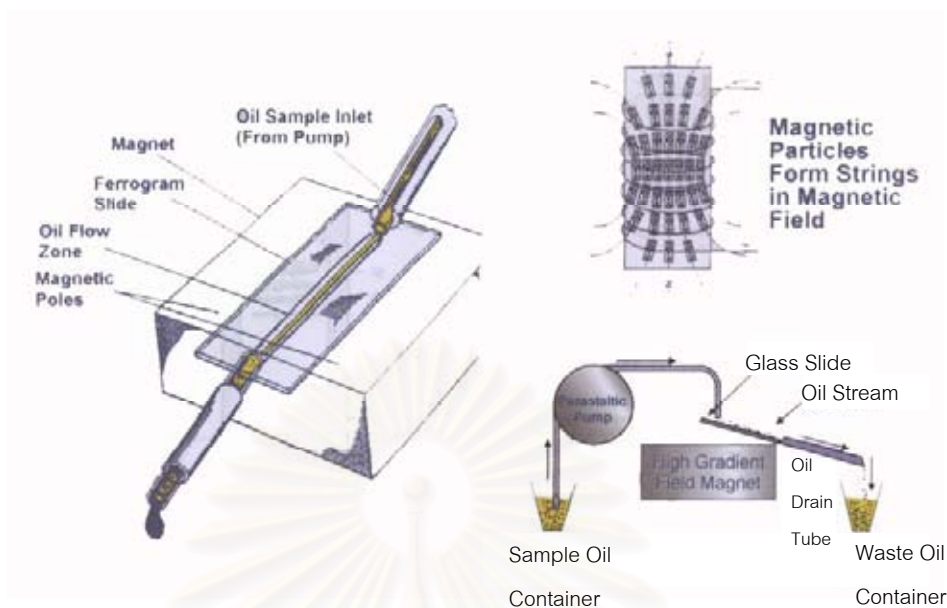
ในการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์จะสามารถหาธาตุในน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่ง จะทำให้ได้ค่าความแม่นยำอยู่ที่ระดับ  $\pm 10\%$  ของค่าที่ระบุเอาไว้ในการทดสอบ ซึ่งจะเป็นค่าที่ ยอมรับได้สำหรับในการทดสอบโดยทั่วไป

สเปกโตรมิเตอร์จะถูกนำไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาค่าโลหะจากสารปรุงแต่ง (Additives) ได้แก่ แบริยม แคลเซียม สังกะสี ฟอสฟอรัสและโบรอน และโลหะหรือธาตุที่มาจาก การสึกหรอ (Wear Metals) จะสามารถวิเคราะห์หาค่าธาตุ ซึ่งธาตุเหล่านั้นได้แก่ เหล็ก อลูมิเนียม และทองแดง ซึ่งการสรุปความหมายจากปริมาณที่วิเคราะห์ได้มีดังนี้

หากพบปริมาณเหล็กในระดับสูง ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของแหวนลูกสูบ และปลอกแหวนและหากมีระดับของค่าเหล็กมีค่าสูงเกินกว่า 600 ppm ซึ่งจะทำให้เกิดอันตราย ต่อชิ้นส่วนในระดับการทำงานปกติ หากพบปริมาณอลูมิเนียมในระดับสูง ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามี ระดับการสึกหรอของลูกสูบและหากมีค่าของอลูมิเนียมเกินกว่า 75 ppm จะทำให้เกิดอันตรายต่อ ชิ้นส่วนในระดับการทำงานปกติ หากพบปริมาณทองแดงในระดับสูง ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีระดับ การสึกหรอของแบร้งที่มีส่วนผสมของทองแดงและตะกั่ว และหากมีค่าของทองแดงและตะกั่วที่สูง กว่า 75 ppm ถือได้ว่าการสึกหรออยู่ในระดับค่อนข้างที่จะเป็นอันตรายต่อชิ้นส่วน ส่วนปริมาณ ของตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ดีเซลควรจะมีค่าต่ำกว่า 25 ppm

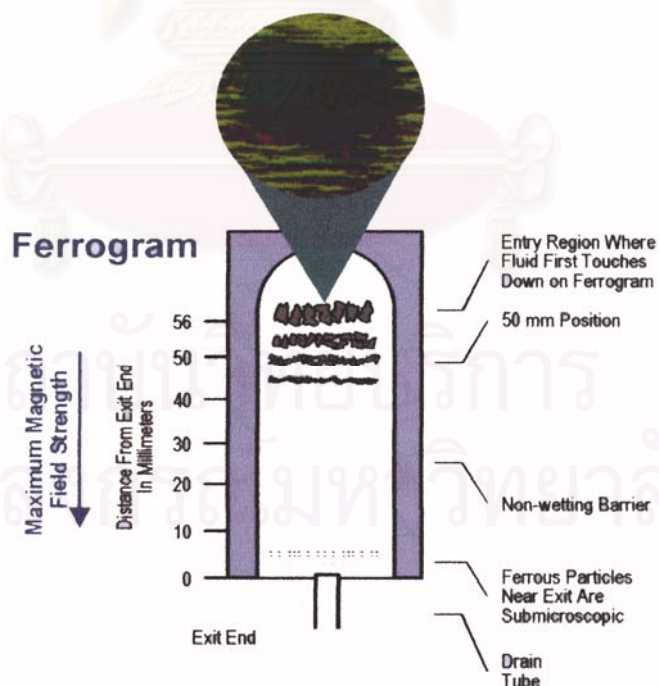
#### 2.6.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์โรกราฟี (Ferrogaphy)

เทคนิคเฟอร์โรกราฟี เป็นหลักในการวิเคราะห์เศษโลหะ (โดยเฉพาะที่เป็นเหล็กหรือวัสดุ ที่แม่เหล็กดูดได้) ที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น วิธีการนี้สามารถใช้เพื่อระบุ แยกแยะ และวิเคราะห์ เศษโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยหลักการของการใช้อำนาจสนามแม่เหล็กดูด เศษเหล็กจากลำการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ไหลผ่านสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 แสดงกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี [8]

โดยเศษเหล็กจะถูกแยกออกด้วยสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะเรียงตัวตามขนาดใหญ่ไปหาเล็ก และมีแนวโน้มการวางตัวตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก ซึ่งเศษโลหะที่มีขนาดใหญ่จะเกาะติดบนแผ่นสไลด์ก่อนและได้เรียงขนาดจนถึงขนาดเล็กที่สุดตรงปลายของแผ่นสไลด์ดังแสดงในรูปที่ 2-18



รูปที่ 2-18 แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอร์โรแกรม [8]

การวิเคราะห์ขั้นต่อไปคือการนำแผ่นสไลด์ มาส่องโดยกล้องจุลทรรศน์เพื่อการศึกษาถึงขนาดและรูปร่างของเศษโลหะ ทำให้ทราบถึงระดับความรุนแรงของการสึกหรอจากขนาดของอนุภาคและกลไกการสึกหรอ เช่น การสึกหรอแบบยึดติด แบบขูดขีด แบบล้าตัว หรือแบบการกัดกร่อน เป็นต้น

เฟอโรโกราฟีเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ย่างและรวดเร็วในการแยกเอาเศษอนุภาคการสึกหรอออกจากน้ำมันหล่อลื่น อนุภาคการสึกหรอจากกลไกการสึกหรอชนิดต่างๆ จะมีคุณลักษณะหรือรูปร่างเฉพาะตัวจึงสามารถที่จะระบุได้ว่าเป็นกลไกการสึกหรอประเภทใด เช่น

1. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการขัดถูหรือการยึดติด (Rubbing and Adhesive wear) จะมีลักษณะรูปร่างเป็นแผ่นๆ ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าเป็นสภาวะปกติของเครื่องยนต์
2. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอจากการมีกลไกการขูดขีดแบบเป็นร่องหรือการขูดตัด (Abrasive or cutting wear) จะทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่มีรูปร่างเป็นขีดหรือเส้นเหมือนเส้นด้าย ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าเป็นสภาวะของการสึกหรอของเครื่องยนต์
3. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอจากลักษณะของเศษโลหะที่มีรูปร่างเป็นเส้นด้ายเพิ่มขึ้นมากๆก็แสดงว่าเครื่องยนต์จะมีโอกาสชำรุดใกล้เข้ามาแล้ว

#### 2.6.5.1 การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ (Wear Particle Analysis)

การตรวจสอบอนุภาคจากการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

##### 1. ตรวจสอบขนาดของอนุภาค

อนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นเนื่องจากกลไกการสึกหรอต่างชนิดกัน จะมีขนาดที่แตกต่างกันไป ขนาดที่แตกต่างกันนี้เพียงพอที่จะนำมาเป็นข้อวินิจฉัยในการประเมินสภาพของเครื่องยนต์ได้

##### 2. ตรวจสอบรูปร่างของอนุภาค

รูปร่างของอนุภาคการสึกหรอจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการบ่งชี้ให้เห็นถึงกลไกการสึกหรอ ซึ่งกลไกการสึกหรอที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่แตกต่างกันไป

##### 3. ตรวจสอบการกระจายทางสถิติของขนาดของอนุภาคการสึกหรอ

การศึกษาถึงลักษณะของ Particle Size Distribution ซึ่งถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาอนุภาคการสึกหรอ และการกระจายตัวของ

ขนาดของอนุภาคการสึกหรอ ก็ถือได้ว่าเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

#### 4. ตรวจสอบองค์ประกอบของอนุภาค

การตรวจสอบองค์ประกอบของอนุภาคการสึกหรอนั้นนับได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่ทำให้ได้ทราบว่าคุณสมบัติหรือชิ้นส่วนใดของเครื่องยนต์สึกหรอบ้าง

### 2.6.5.2 การศึกษาอนุภาคการสึกหรอเชิงจุลภาค (Wear Particle Microscopic Examination)

แบ่งประเภทของการศึกษาออกเป็น 3 ประเภทตามวิธีการศึกษาดังนี้

1. การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) ใช้ในการตรวจตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอที่เก็บตัวอย่างสารหล่อลื่นที่สู่มมาจากเครื่องยนต์
2. การศึกษาด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) เหตุผลที่ใช้กล้องชนิดนี้มาแทนกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดา เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์โดยทั่วไปจะมีจุดด้อยตรงที่ไม่สามารถให้กำลังขยายที่สูงมากๆได้ และยังไม่สามารถที่จะขยายภาพเพื่อศึกษา ณ จุดใดๆที่ต้องการได้อย่างชัดเจนเท่าที่ต้องการ
3. การศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) ซึ่งนับได้ว่าการศึกษานี้เป็นการรวมเอาเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีด้านการใช้กล้องจุลทรรศน์เข้าด้วยกัน เช่นตรวจตัวอย่างอนุภาคการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์และจะถ่ายทอดสัญญาณภาพไปยังคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมในการวิเคราะห์ผล

### 2.6.5.3 ชนิดของอนุภาคการสึกหรอ

ชนิดอนุภาคการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิดดังนี้

#### 1. การเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ (Rubbing Wear Particle)

อนุภาคจะมีลักษณะอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความหนาที่มีค่าสูง ซึ่งถือได้ว่าเป็นการสึกหรอที่น้อยมาก อนุภาคโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่า 15 ไมครอน หากระบบหล่อลื่นเกิดความสกปรกจะทำให้เกิดการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะโดยจะทำให้อัตราการเกิดเพิ่มอย่างทันทีทันใด อาจจะมีอยู่ในรูปของขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้นในบางครั้งอนุภาคที่โตกว่า 100 ไมครอนซึ่งถือได้ว่าเป็นอนุภาค

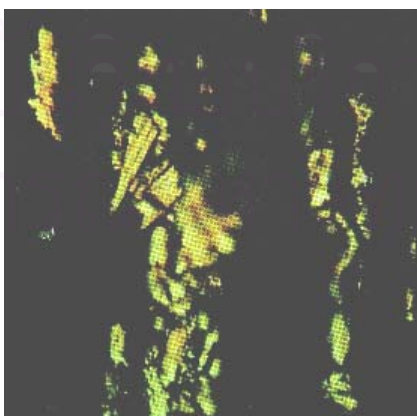
การสึกหรอชนิดที่เกิดขึ้นสำหรับเครื่องจักรที่มีการหล่อลื่นด้วย น้ำมันหล่อลื่นดัง  
รูปที่ 2-19



รูปที่ 2-19 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ

## 2. การสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีรุนแรงในเครื่องจักร (Severe Sliding Wear Particle)

ดังรูปที่ 2-20 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้ภาระที่สูงเกินไป การใช้ความเร็วที่สูงเกินไป การขาดสารหล่อลื่น จะมีผลทำให้เกิดการยึดติดของวัสดุ อนุภาคการสึกหรอแบบนี้จะมีขนาดโตกว่า 100 ไมครอน หากเครื่องจักรทำงานภายใต้สภาวะที่รับภาระมากเกินไป ความเร็วในการเสียดสีเพิ่มขึ้น และหากระบบการหล่อลื่นที่ไม่ดี อนุภาคจะมีขนาดโตกว่าอนุภาคของการเสียดสีของโลหะกับโลหะ ซึ่งมีขนาดโตกว่า 20 ไมครอน อนุภาคที่เกิดขึ้นจะเป็นสีน้ำเงิน สีน้ำตาล สาเหตุที่เกิดเป็นสีน้ำเงินและสีน้ำตาลเนื่องมาจากความร้อนที่มากเกินไปจึงทำให้สีของอนุภาคจะเริ่มเปลี่ยนจากสีฟางข้าวไปเป็นสีน้ำตาลและกลายเป็นสีน้ำเงิน

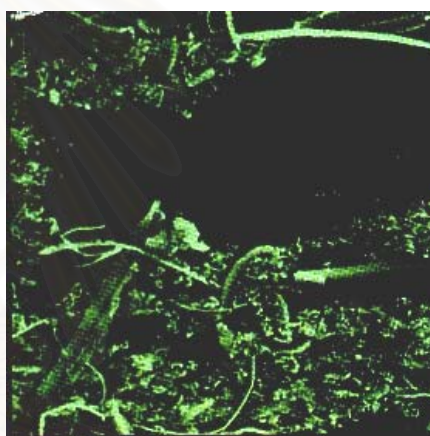


รูปที่ 2-20 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีรุนแรงในเครื่องจักร (Severe Sliding Wear Particle)



### 3. อนุภาคการสึกหรอจากการขีดข่วนของเศษโลหะ (Cutting Wear Particles)

เป็นผลสืบเนื่องมาจากที่มีการสึกหรอแบบ Abrasive ซึ่งทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่มีลักษณะเป็นเส้นคล้ายเศษเหล็ก เกิดจากผิวถูกการทะลุผ่าน การถูด้วยวัสดุคล้ายคันไถหรืออาจถูกตัดด้วยสิ่งหนึ่งทำให้เกิดค่าความแข็งที่แตกต่างกัน อนุภาคจะมีความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 5 ไมครอนจนถึงความยาวมากกว่า 100 ไมครอน และมีความกว้างเฉลี่ยตั้งแต่ 2 ไมครอนจนถึง 15 ไมครอน ดังรูปที่ 2-21 อนุภาคจะมีสีที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน สีที่เกิดได้แก่ น้ำเงิน แดงและสีฟ้า ซึ่งอนุภาคชนิดนี้จะเป็นสิ่งที่จะบ่งบอกถึงอนุภาคที่ไม่ปกติ และสามารถที่จะบ่งบอกถึงสภาพการชำรุดของเครื่องจักรว่าจะถึงเวลาที่ชำรุดแล้ว



รูปที่ 2-21 แสดงอนุภาคการสึกหรอแบบ Cutting Wear

### 4. อนุภาคการสึกหรอจากการล้าที่เกิดกับเฟืองและพื้นที่สัมผัสของตลับลูกปืน (Ferro Fatigue Particle)

- a. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle) ดังรูปที่ 2-22 แบ่งออกเป็นการกลิ้งและการถูไปบนผิวของฟันเฟือง ซึ่งในตอนแรกอนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นผิวเรียบ รูปร่างของอนุภาคจะมีลักษณะที่ผิดปกติ โดยมีขอบที่คม และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาประมาณ 10:1 หากความเค้น (Stress) บนผิวสัมผัสเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของความยาวต่อความหนาก็จะลดลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการเกิดก้อนอนุภาคลดลงด้วย ซึ่งอนุภาคจะมีขนาดเล็ก

มากและเป็นการยากที่จะทำการหาจุดโฟกัส ในการดูอนุภาคที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์

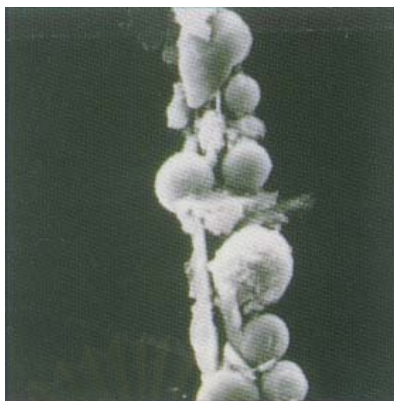


รูปที่ 2-22 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle)

- b. อนุภาคสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle) ดังรูปที่ 2-23 การล้าตัวของวัสดุจะมีการหลุดร่อนออกมาเป็นอนุภาคการสึกหรอเช่นการเกิดการล้าตัวของเม็ดลูกปืนหรือรางในของเสื่อตลับลูกปืน ซึ่งโดยปกติจะมีขนาดโตกว่า 75 ไมครอน และจะมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างไปจากอนุภาคสึกหรอที่ได้กล่าวมาแล้ว

อนุภาคที่เกิดขึ้นในลักษณะที่แตกต่างกันเช่นอนุภาคทรงกลม อนุภาคที่เป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งอนุภาคที่เป็นทรงกลมจะเกิดมาจากความล้าที่เกิดขึ้นภายในตลับลูกปืน แล้วจึงเกิดการแตกออกมาเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งมีขนาดของอนุภาคประมาณ 1 ถึง 10 ไมครอน และจะทำให้ปริมาณของอนุภาคมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน ซึ่งจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกให้รู้ว่าจะเกิดการเสียหายขึ้นในไม่ช้า อนุภาคที่เป็นทรงกลมเกิดขึ้นได้จากการกัดกร่อนเป็นโพรง (Cavitations Erosion) กระบวนการเชื่อม กระบวนการขบกันของเฟือง ซึ่งขนาดของอนุภาคที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการดังที่ได้กล่าวมาแล้วจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10 ถึง 100 ไมครอน อนุภาคการล้าที่มีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ จะหลุดแยกตัวออกมาจากผิวที่เป็นหลุมนั้น จะมีขนาดค่อนข้างโตถึงประมาณ 100 ไมครอน

อนุภาคที่เป็นแผ่นบางๆจะเกิดมาจากช่องว่างระหว่างผิวในของแบร็ริง จะมีขนาดของอนุภาคประมาณไม่เกิน 70 ไมครอน และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาประมาณ 40:1



รูปที่ 2-23 แสดงอนุภาคสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle)

#### 5. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของระบบเกียร์ (Combined Rolling and Sliding Wear Particles)

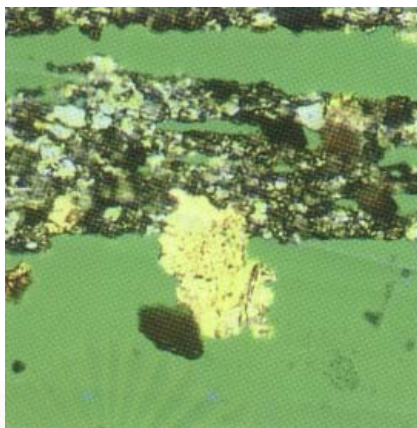
การที่อนุภาคการสึกหรอแบบนี้มีความแตกต่างจากอนุภาคการสึกหรอแบบอื่นๆ เนื่องจากเกียร์มีการเคลื่อนที่ทั้งแบบไถล และแบบหมุน (Both Sliding and Rolling Mode)

#### 6. อนุภาคของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

ลักษณะการเกิดอนุภาคการสึกหรอจากโลหะที่ไม่ใช่เหล็กนั้น บ่อยครั้งที่มีลักษณะพิเศษคล้ายกับการเกิดอนุภาคของโลหะที่เป็นเหล็ก เช่นการสังเกตเห็นลักษณะเด่นของ Rubbing Wear, Cutting Wear และการเสียดสีกันภายใต้ความเค้นสูง (High Stress Sliding) แต่สิ่งหนึ่งที่สามารถทำการแยกแยะให้เห็นได้อย่างชัดเจนสำหรับอนุภาคของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก คือสีของอนุภาค

a. อนุภาคของทองแดง แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคของทองแดงจะเป็นสีชมพู ซึ่งขนาดของอนุภาคจะอยู่ในช่วง 2 ถึง 100 ไมครอน และรูปร่างของอนุภาคการสึกหรอจะขึ้นอยู่กับวิธีการเกิดอนุภาค ดังรูปที่ 2-24 ในบางครั้งอนุภาคของทองแดงจะพบว่าเชื่อมติดกับวัสดุทั้งสองที่สัมผัสกัน

b. อนุภาคของทองเหลือง หรืออาจเรียกว่าทองสัมฤทธิ์ (Bronze) แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคทองเหลืองจะเป็นสีเหลืองทอง ส่วนอนุภาคของทองสัมฤทธิ์ สีจะมีดกว่าเป็นสีเหลือง – ชมพู



รูปที่ 2-24 แสดงอนุภาคการสึกหรอของทองแดง

c. **อนุภาคโครเมียม** แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคจะเป็นสีเงิน โดยปกติแล้วอนุภาคที่เกิดขึ้นจะมีผิวเรียบ และจะมีขนาดของอนุภาคที่ต่ำกว่า 50 ไมครอน

d. **อนุภาคของนิเกิล** จะมีลักษณะคล้ายกับอนุภาคของโครเมียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคจะมีสีเงิน แต่เนื่องจากอนุภาคของนิเกิลมีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก ฉะนั้นเราจึงพบอนุภาคของนิเกิลในวงแหวนของแปรง

e. **อนุภาคของอลูมิเนียม** แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาค จะมีสีเทาเงิน อนุภาคจะมีผิวที่หยาบ และขนาดของอนุภาคไม่อาจจะระบุได้ โดยปกติแล้วจะมีขนาดใหญ่ประมาณ 25 ถึง 500 ไมครอน

#### 7. อนุภาคการสึกหรอจากวัสดุอื่นๆ

อนุภาคการสึกหรอจากวัสดุอื่นๆ เช่นออกไซด์ของโลหะผลึกที่ไม่ใช่โลหะ และอโลหะอสัณฐาน ซึ่งคุณสมบัติและลักษณะอนุภาคได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-3

#### 2.6.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) [9]

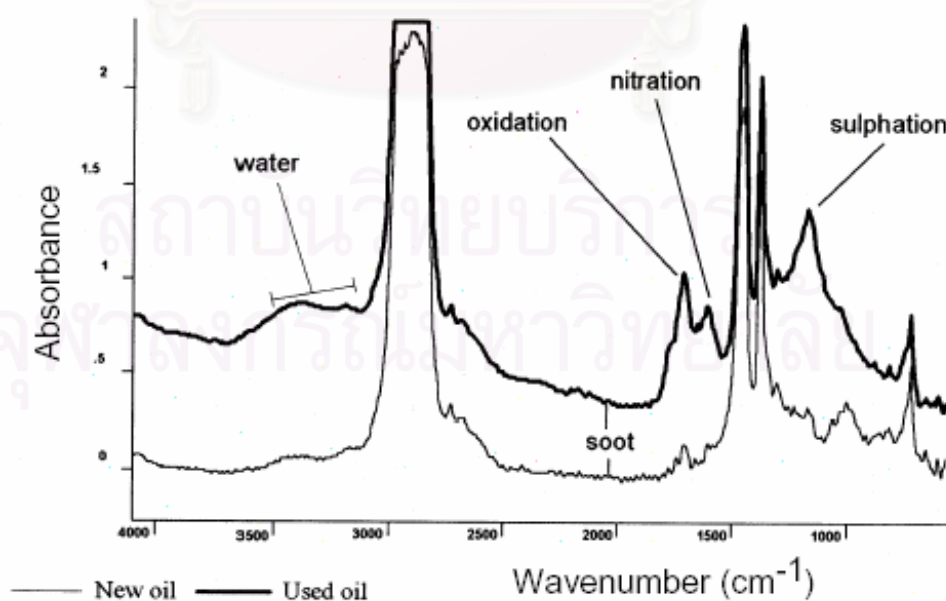
การวิเคราะห์ FTIR เป็นการวิเคราะห์ในระดับโมเลกุล เป็นวิธีการที่ใช้หาปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็วเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพน้ำมันหลัก สภาพสารเคมีเพิ่มคุณภาพ และสิ่งสกปรกปนเปื้อน โดยให้ค่าที่แม่นยำและเชื่อถือได้ หลักการในการวัดจะทำการผ่านรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.00008 เซนติเมตรถึง 0.04 เซนติเมตร ไปยังน้ำมันหล่อลื่นที่จะทำการทดสอบ ส่วนประกอบของน้ำมันที่เป็นสารประกอบต่างๆ จะดูดซับปริมาณรังสีในช่วงความถี่จำเพาะที่ต่างกันไว้ เนื่องจากแต่ละพันธะในโมเลกุลจะดูด



ซึบรังสีในช่วงความถี่ที่ต่างกัน ผลที่ได้จะแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซึบรังสี (Abs) กับส่วนกลับของความยาวคลื่น (Wave Number , $\text{cm}^{-1}$ ) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณและองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2-25

ตารางที่ 2-3 แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสึกหรอจากวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลหะ และ โลหะ  
 มาตรฐาน [7]

ชนิดของอนุภาค	ผลจากแสงสะท้อนของอนุภาค	การกระจายแสงบนฉากรองรับสีเทา	การกระจายแสงบนฉากรองรับสีดำ
ออกไซด์ (เหล็ก)	แสงสะท้อนเป็นสีน้ำตาลบนฉากรองรับสีขาว	เกิดสีส้ม - น้ำตาลบนฉากรองรับสีเทา	แสงสว่างสีส้ม-น้ำตาลบนฉากรองรับสีดำ
ผลึกของโลหะ (ซิลิกา [silica])	แสงสะท้อนเป็นสีเทาบนฉากรองรับสีขาว	เกิดสีขาว/เงินบนฉากรองรับสีเทา	เกิดสีขาว/เงินบนฉากรองรับสีดำ
วัสดุโพลิเมอร์ (Polymer Material)	แสงสะท้อนเป็นสีครีม/น้ำตาลบนฉากรองรับสีขาว	เกิดสีอย่างขนสัตว์บนฉากรองรับสีเทา	แสงสีขนสัตว์บนฉากรองรับสีดำ



รูปที่ 2-25 แสดงปริมาณการดูดซึบรังสีอินฟราเรดในแต่ละช่วงความถี่ ของน้ำมันหล่อลื่น [9]



ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR

- ค่าออกซิเดชัน

ในระบบหล่อลื่น สารอินทรีย์จะเกิดการแยกตัวที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูง ประกอบกับการมีออกซิเจนอยู่บริเวณรอบ ในกระบวนการ FTIR จะหาค่าออกซิเดชันจากพันธะคาร์บอนิล (Carbonyl) ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดระหว่าง 1,800 ถึง 1,670 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

- ค่าไนเตรชัน

ลักษณะการเกิดไนเตรชัน จะเกิดที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูงเช่นเดียวกับการเกิดออกซิเดชัน ประกอบกับการมีไนโตรเจนและออกซิเจนอยู่บริเวณรอบ โดยทั่วไปการเกิดไนเตรชันจะอยู่ในรูปของ NO, NO<sub>2</sub> และ N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดระหว่าง 1,650 ถึง 1,600 เซนติเมตร<sup>-1</sup> การเกิดไนเตรชันเป็นสาเหตุทำให้เกิดคราบยางเหนียวและ Lacquer สาเหตุของการเกิดไนเตรชันมาจาก การปรับอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่ออากาศที่ไม่ถูกต้อง การปรับจังหวะการจุดระเบิดที่ไม่เหมาะสม หรือมาจากสภาวะการทำงานที่ภาระสูง ซึ่งจะทำให้เกิดอุณหภูมิการทำงานและปริมาณ Blow – by ที่สูงตามไปด้วย

- ค่าซัลเฟชัน

เกิดจากกำมะถัน (Sulphur) ซึ่งพบได้ในน้ำมันเชื้อเพลิง และอาจพบได้ในสารเติมแต่งบางชนิดในน้ำมันหล่อลื่น การเกิดซัลเฟชันจะอยู่ในรูปของ SO<sub>3</sub> และ SO<sub>2</sub> ซึ่งช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรด อยู่ระหว่าง 1,180 ถึง 1,120 เซนติเมตร<sup>-1</sup> การเกิดซัลเฟชันจะทำให้เกิด คราบยางเหนียว กากตะกอน และทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพลง นอกจากนี้สารประกอบที่เกิดขึ้นยังสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งเกิดระหว่างการเผาไหม้ กลายเป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งจะทำลายการรวมตัวของสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น

- ปริมาณเขม่า

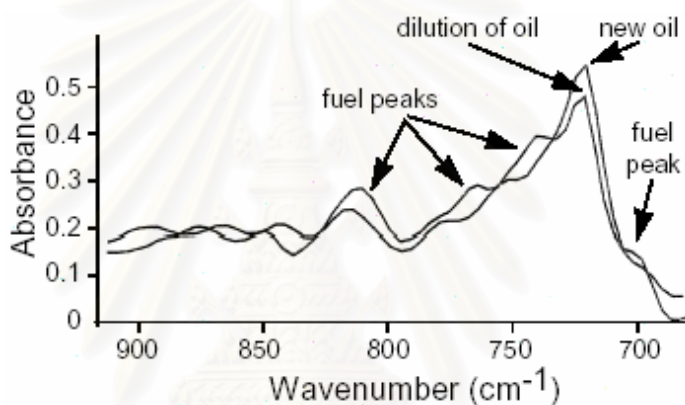
เขม่า เกิดจากอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมีค่าสูง การเพิ่มปริมาณของเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นแสดงให้เห็นถึงปัญหาจากการเผาไหม้ หรือช่วงเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องและไส้กรองที่นานเกินไป ปริมาณเขม่าที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดและทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรอง และอ่างน้ำมันหล่อลื่น

การวิเคราะห์ปริมาณเขม่าจะต่างจากวิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้นซึ่งใช้เทคนิคการหาพื้นที่ใต้กราฟ เนื่องจากเขม่าจะไม่มีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดที่แน่นอน ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการวัด จึงทำการวัดปริมาณการดูดซับที่ความถี่ 2,000 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

- ปริมาณเชื้อเพลิง

ปริมาณเชื้อเพลิงที่พบในน้ำมันหล่อลื่นมีสาเหตุมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากเชื้อเพลิงทั่วไป จะประกอบด้วยโมเลกุลของของสารประกอบมากมาย ทั้งสารประกอบ แอลิฟาติก เช่น ออกเทน และสารประกอบอะโรมาติก เช่น เบนซีน และอื่นๆ รวมกันเพื่อใช้ในการ ปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อเพลิงที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธี FTIR สามารถทำได้โดย หาช่วงความถี่ของการดูดซับในแต่ละส่วนประกอบของเชื้อเพลิง แล้วนำช่วงความถี่ที่ได้มาเปรียบเทียบกับในช่วงการดูดซับของน้ำมันหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2-26 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า น้ำมันเชื้อเพลิงมีหลายช่วงความถี่ตามสารประกอบมากมายที่พบในน้ำมันเชื้อเพลิง

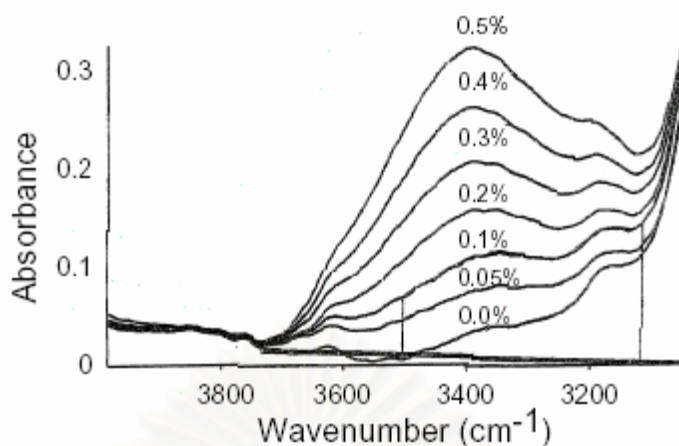


รูปที่ 2-26 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน [9]

- ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำที่พบในน้ำมันหล่อลื่นใช้ในการตรวจสอบการรั่วของน้ำจากระบบหล่อเย็น โดยน้ำจะดูดซับรังสีอินฟราเรดในปริมาณที่มาก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการตรวจพบ ดังแสดงในรูปที่ 2-27 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ช่วงความถี่ของน้ำที่ดูดซับรังสีอินฟราเรด เป็นช่วงที่มีปริมาณการดูดซับรังสีของน้ำมันหล่อลื่นน้อย

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR สามารถ แสดงผลออกมาเป็น Absorbance Unit (Abs) ยกเว้นค่า การปนเปื้อนของน้ำ ไกลคอล เชื้อเพลิง และเขม่า ซึ่งแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อน



รูปที่ 2-27 แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้ [9]

## 2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

การศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน สืบเนื่องมาจากปริมาณที่น้อยลงและราคาที่สูงขึ้นของน้ำมันดีเซล วิธีที่จะนำน้ำมันพืชมาใช้นั้นมีหลายรูปแบบ โดยวิธีหลักที่นิยมใช้ซึ่งกล่าวโดย Yusuf Ali & Hanna [10] มี 4 วิธี ประกอบด้วย การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง การลดความหนืดของน้ำมันพืชโดยการผสมตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ เอทานอล (Micro-emulsification) การแปลงโมเลกุลของไขมันในน้ำมันพืชให้เป็นให้เป็นเอสเตอร์ (Transesterification) และ การทำให้โมเลกุลแตกตัวเพื่อให้อัตราการเผาไหม้ดีขึ้น โดยการให้ความร้อนหรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Cracking or Pyrolysis) เป็นต้น การนำมาใช้อาจจะใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมดหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลเพียงบางส่วน (Diesel Extender or Blending)

ชนิดของพืชน้ำมันที่นำมาใช้ในการศึกษานั้นจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพืชเศรษฐกิจที่เป็นพืชน้ำมันของแต่ละท้องถิ่น ภูมิภาค เช่น

การใช้น้ำมันจากถั่วเหลืองในสหรัฐอเมริกา เช่น งานวิจัยของ Pryor et al. [11] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะทั้งในช่วงระยะเวลาน้ำมัน และระยะเวลาวิ่งในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก จากการใช้น้ำมันถั่วเหลือง 100%

การใช้น้ำมันจากเมล็ดเรปในประเทศทางแถบยุโรป เช่น งานวิจัยของ Norbert Hemmerlein et al. [12] จากศูนย์วิจัยและพัฒนาเพอร์เซ่ได้ทำการวิจัยถึงสมรรถนะ มลภาวะ และการทดสอบความทนทาน กับเครื่องยนต์ดีเซล 6 เครื่องในแต่ละชนิดและขนาด โดยการใช้น้ำมันจากเมล็ดเรป 100%

ในขณะที่ประเทศทางเขตร้อนรวมทั้งประเทศไทยนิยมนำน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวมาใช้ในการศึกษา เป็นต้น เช่นในงานของประเทศมาเลเซียโดย M.A. Kalam และ H.H. Masjuki [13] ในปี 2547 ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับมลภาวะ และ deposit ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการอุ่นให้ความร้อนก่อนแล้ว โดยทดสอบน้ำมันปาล์มดิบที่ผสมกับน้ำในสัดส่วนปริมาณน้ำ 0% 1% 2% และ 3% และทำการทดสอบในช่วงการทำงาน 100 ชั่วโมงการทดสอบที่ความเร็วรอบ 2700 รอบต่อนาที และแรงบิด 5.5 N-m. พบว่ามี deposit ของคาร์บอนเกาะติดที่ลูกสูบและฝาสูบ เป็นต้น

นอกจากนี้ในบางที่ยังมีการนำน้ำมันจากสัตว์ เช่นน้ำมันจากปลา โดยนำไปผสมกับน้ำมันดีเซล 50% ในรัฐอลาสก้า ประเทศสหรัฐอเมริกา [14] น้ำมันที่เหลือจากการประกอบอาหาร เช่นในประเทศญี่ปุ่น โดย Yu et al. [15] ได้นำน้ำมันใช้แล้วจากโรงงานผลิตเส้นบะหมี่มาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่มีการนำน้ำมันมาผ่านกระบวนการเพิ่มเติม

การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนคือใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมด (น้ำมันพืช 100%) แต่ปัญหาที่พบถูกรวบรวมโดย Sam Jones และ Charles L. [16] ประกอบด้วยการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดเขม่าและคราบทำให้หัวฉีดเกิดการอุดตัน แหวนลูกสูบติดเนื่องมาจากคราบและไข (Wax and Gum) หลังวาล์วและปาวาล์วมีปริมาณคาร์บอนตกค้างเป็นจำนวนมากทำให้เกิดปัญหาวาล์วรั่วทำให้กำลังอัดของเครื่องยนต์ลดลง และยังเกิดปัญหาคราบของน้ำมันพืชที่เกิดการออกซิเดชันซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องยนต์ได้

การทดสอบถึงความทนทานของการนำน้ำมันพืชมาใช้ในการนำน้ำมันพืชมาใช้ได้มีการวิจัยไว้ โดยผสมน้ำมันพืชเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่นในงานวิจัยของ Mariuse Ziejewski และ Hans J.[17] ได้นำน้ำมัน high oleic sunflower 25% มาผสมกับน้ำมันดีเซล 75% และ น้ำมัน high oleic sunflower 25% ผสมกับน้ำมันดีเซล 75% มาใช้กับเครื่องยนต์ Petter AC2 แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง โดยทดสอบความทนทานตามมาตรฐาน EMA เป็นระยะเวลา 200 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนตกค้างภายหลังการทดสอบที่ 200 ชั่วโมงและวัดปริมาณมลภาวะระหว่างทดสอบความทนทานซึ่งไม่พบการเพิ่มขึ้นของค่ามลภาวะตลอดการทดสอบ และไม่พบความแตกต่างที่สำคัญของคราบคาร์บอนตกค้างในเครื่องยนต์ของทั้งสองเชื้อเพลิง เมื่อเทียบกับปริมาณที่พบจากการใช้น้ำมันดีเซล

และในงานวิจัยของ Engelman et al. [18] ได้นำน้ำมันถั่วเหลืองตั้งแต่ 10% ถึง 50% มาผสมกับน้ำมันดีเซล โดยหลังจากทดสอบที่ 50 ชั่วโมงพบคาร์บอนตกค้างในห้องเผาไหม้เล็กน้อย ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค และกำลังที่ได้ต่างจากการใช้น้ำมันดีเซล 100% เล็กน้อย และพบว่าเมื่อผสมน้ำมันถั่วเหลืองที่สูงกว่า 60% เครื่องยนต์จะเกิดอาการสะดุดเดินไม่เรียบ ซึ่งมี

สาเหตุมาจากไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการอุดตัน จากรายงานของ Sam Jones และ Charles L. [16] สรุปได้ว่า จากงานวิจัยส่วนมาก การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดปัญหาการทดสอบที่ระยะเวลานาน และพบว่าการผสมน้ำมันพืชในอัตราส่วนที่ไม่เกิน 20% สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยไม่เกิดปัญหาการทดสอบที่ระยะเวลานาน

ส่วนการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้ นั้นพบมากในประเทศมาเลเซีย โดยในปี 2544 ได้มีรายงานผลการวิจัยการใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันก๊าดในประเทศมาเลเซีย โดย T.H. Lim [19] ได้นำน้ำมันปาล์มดิบเก้าสิบเปอร์เซ็นต์ผสมกับน้ำมันก๊าดสิบเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเพื่อลดปัญหาเรื่องค่าความหนืดของเชื้อเพลิง โดยการผสมน้ำมันก๊าดเข้ากับน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เพื่อเป็นการละลายอนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ ผลการวิจัยพบว่าสมรรถนะของน้ำมันผสมมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่พบว่ามีคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล 43% และไนตริกออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล 7% นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันที่ถูกผสมมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าและสมรรถนะที่ดีกว่าน้ำมันปาล์มดิบ 100% และค่ามลพิษที่ปล่อยออกมาดีกว่า โดยมีค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำกว่า 19% และค่าไนตริกออกไซด์ต่ำกว่า 19%

นอกจากนั้น S. Bari, T.H. Lim และ C.W. Yu [20] ได้ทำการทดลองโดยทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบผสมให้ร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันของระบบจ่ายน้ำมัน ซึ่งการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบให้มีอุณหภูมิสูงถึง 100 °C โดยนักวิจัยกลุ่มนี้ได้รายงานว่าการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ได้ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์และไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีขึ้นกว่าเดิม เพียงแต่ช่วยให้น้ำมันในระบบไหลดีขึ้นไม่มีการติดขัดเมื่อทำการอุ่นที่อุณหภูมิ 60 °C ขึ้นไป และไม่ควรเกิน 97 °C ซึ่งเป็นจุดที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดฟองอากาศ ซึ่งนักวิจัยกลุ่มดังกล่าว [21] ยังได้ทำการศึกษาต่อไปโดยการเดินเครื่องยนต์เป็นเวลา 500 ชั่วโมงโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ถูกอุ่นที่อุณหภูมิ 92 °C เป็นเชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ยี่ห้อรุ่น L60AE-D พบว่าหลังการทดสอบค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ลดลงไปถึง 20% และค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 26% นอกจากนี้ยังได้มีการถอดเครื่องยนต์ออกเพื่อทำการตรวจสอบ พบว่ามีถ่านเกาะอยู่ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นจำนวนมาก และคราบของถ่านเกาะที่วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย และนอกจากนี้ยังพบร่องรอยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับ แหวนของลูกสูบ, เข็มในหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและวาล์วส่งน้ำมันในปั๊มเชื้อเพลิง นักวิจัยได้ทำการหาสาเหตุของการที่สมรรถนะของเครื่องยนต์ตกลง โดยการนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่มีปัญหาไปใส่ในเครื่องยนต์ใหม่ที่ละส่วน และพบว่าการที่มีถ่านเกาะที่ก้านและป่าของวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียทำให้วาล์วเกิดการติดขัด เป็นสาเหตุให้เกิดการรั่วในระหว่างช่วงจังหวะอัดและจังหวะระเบิด



ด้วยปัจจัยนี้เพียงอย่างเดียวส่งผลทำให้กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ลดลงถึง 18% และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 23%

ส่วนงานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นมีทั้งที่นำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงและแบบที่ผสมเป็นบางส่วนเข้ากับน้ำมันดีเซล ตัวอย่างของพืชน้ำมันที่มีการศึกษาได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น น้ำมันพืชที่นำมาใช้นั้นมีทั้งแบบที่เป็นน้ำมันพืชดิบ น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการผลิต เช่นการกรองหรือการสกัด รวมถึงน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงให้เป็นเอสเตอร์ งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เป็นการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงนั้นจะเป็นการทดสอบกับเครื่องยนต์การเกษตรที่มีขนาดเล็กและใช้งานที่ความเร็วรอบต่ำ โดยเฉพาะในช่วงปี 2544-2546 ซึ่งเป็นช่วงที่ผลผลิตทางการเกษตรมีราคาถูกลง ได้มีการเร่งพัฒนาการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยมีรายละเอียดโดยสังเขปของโครงการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ปี 2544 ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ [22] ได้ทดสอบเดินเครื่องยนต์การเกษตรแบบสูบเดียว โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบอุณหภูมิ 60°C ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 0:100 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 , 70:30 , 80:20 , 90:10 , 100:0 ผลการทดสอบพบว่า สามารถติดเครื่องยนต์ได้เช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับน้ำมันดีเซล เกิดควันดำน้อยลงในขณะเร่งเครื่องยนต์ สามารถทำงานได้ทุกส่วนผสม ในปีเดียวกัน ทางสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ป.ต.ท. [23] ได้ดำเนินงานวิจัยกับเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับการเกษตรกรรมโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกัน ในงานวิจัยมีการหาสูตรของน้ำมันผสมที่มีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่มีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์ โดยที่ไม่ต้องปรับแต่งการทำงานใดๆ จากการทดสอบสมรรถนะพบว่า มีสูตรน้ำมันที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ 2 สูตร (แต่ไม่ปรากฏรายละเอียดวิธีการผสม) คือ สูตรที่ 1 ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 10 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 90 กับสูตรที่ 2 ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 20 น้ำมันดีเซลร้อยละ 75 และน้ำมันก๊าดร้อยละ 5 ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านกำลังของเครื่องยนต์ตลอดจนการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าควันดำ ความเร็วรอบการทำงานของเครื่องยนต์และค่าอุณหภูมิของไอเสีย เป็นต้น

ในปี 2545 งานวิจัยของกรมวิชาการเกษตร [24] ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่กรองไขมันออกแล้วแทนที่น้ำมันดีเซลทั้งหมดกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบ 8-15 แรงม้าแบบสูบเดียว พบว่าสามารถจะติดเครื่องยนต์ได้ในระยะแรกประมาณ 3-4 วัน หลังจากนั้นจะมีตะกอนไขมันสะสมที่กรองน้ำมันและหัวฉีดทำให้เกิดการอุดตันและเครื่องยนต์ติดยาก ซึ่งปัญหานี้ทางกรมฯ ได้เสนอให้ใช้อัตราส่วนผสมน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำมันดีเซลให้น้อยลงเป็น 1:9 และ 2:8 ซึ่งผลการทดสอบพบว่า

เครื่องยนต์สามารถทำงานได้เช่นเดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปกติ แต่ต้องมีการล้างกรองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นระยะเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของตะกอนไขมันที่ยังมีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้ทางกรมฯ ยังเสนอว่าการใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงจะมีผลดีกว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบเนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีส่วนผสมของน้ำ ไขมันและกรด ซึ่งจะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์เมื่อใช้งานในระยะยาว

ในปี 2546 ทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ [25] ได้ศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ในเครื่องยนต์ทางทะเลเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล พบว่า ที่ภาระ 75% ความเร็วรอบ 2200 รอบต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ช่วงโหมงการใช้งาน 1000 ชั่วโมงแรกของน้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล 15-20% ส่วนควันดำไม่แตกต่างกัน และการสึกหรอในส่วนต่างๆ ก็ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นที่แหวนอัดของเครื่องยนต์น้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์มีการสึกหรอที่สูงกว่า

และในปี 2546 พิชญ์ ปริญาจารย์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [26] ได้ทำการศึกษาผลของการใช้น้ำมันปาล์มดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็กที่ใช้ในการเกษตร โดยเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้แบบหมุนวน โดยส่วนแรกได้เสนอส่วนผสมที่เหมาะสมในการผสมระหว่างดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเสนอส่วนผสมอยู่ที่ น้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำมันดีเซล 10:90 จากนั้นได้ทดสอบสมรรถนะและความทนทานจำนวน 320 ชั่วโมงพร้อมกับเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นนำมาวิเคราะห์ พบว่าปริมาณเหล็กและตะกั่วมีปริมาณสูงมากเมื่อใช้งานเกินอายุน้ำมันหล่อลื่น พบการสึกหรอในแบร็งก์้านสูบ เขม่าจับตัวหนาที่ปลายหัวฉีด และพบตะกอนในกระบอกใส่กรองน้ำมันเชื้อเพลิง

และในปี 2547 เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [27] ได้ทำการศึกษาเช่นเดียวกันกับพิชญ์ ปริญาจารย์ [26] แต่ใช้ในรถกระบะขนาดเล็กและทดสอบความทนทานเช่นกันในระยะเวลา 225 ชั่วโมง พบว่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นและการสึกหรอก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน และพบตะกอนยางเหนียวบริเวณร่องแหวน และหัวลูกสูบเป็นจำนวนมาก

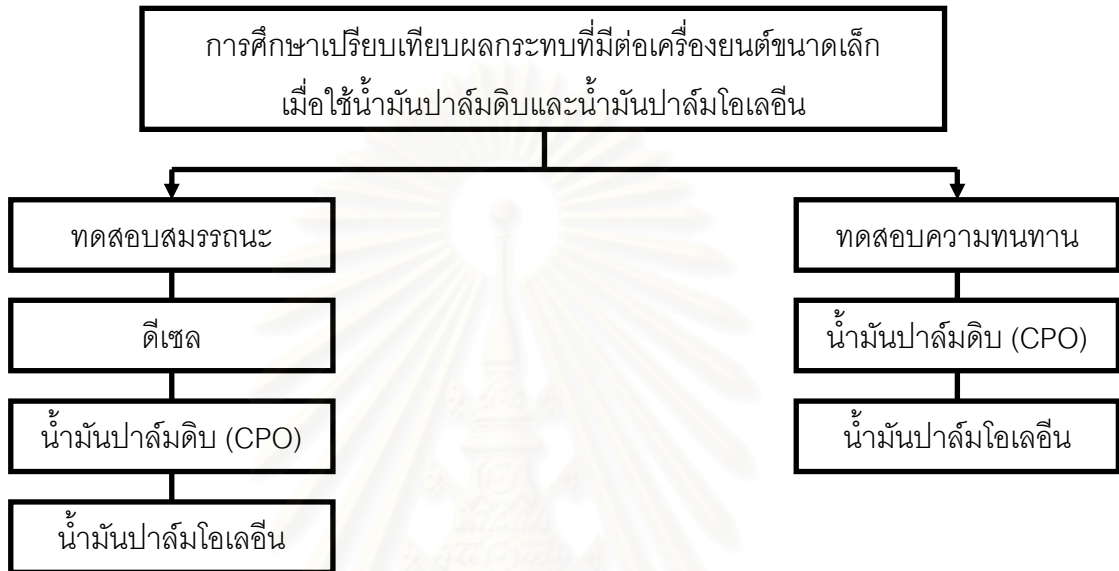
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ภาพรวมในการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการทำวิจัยออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน ตามแผนภาพในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แสดงแผนภูมิขั้นตอนภาพรวมการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบสมรรถนะ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน

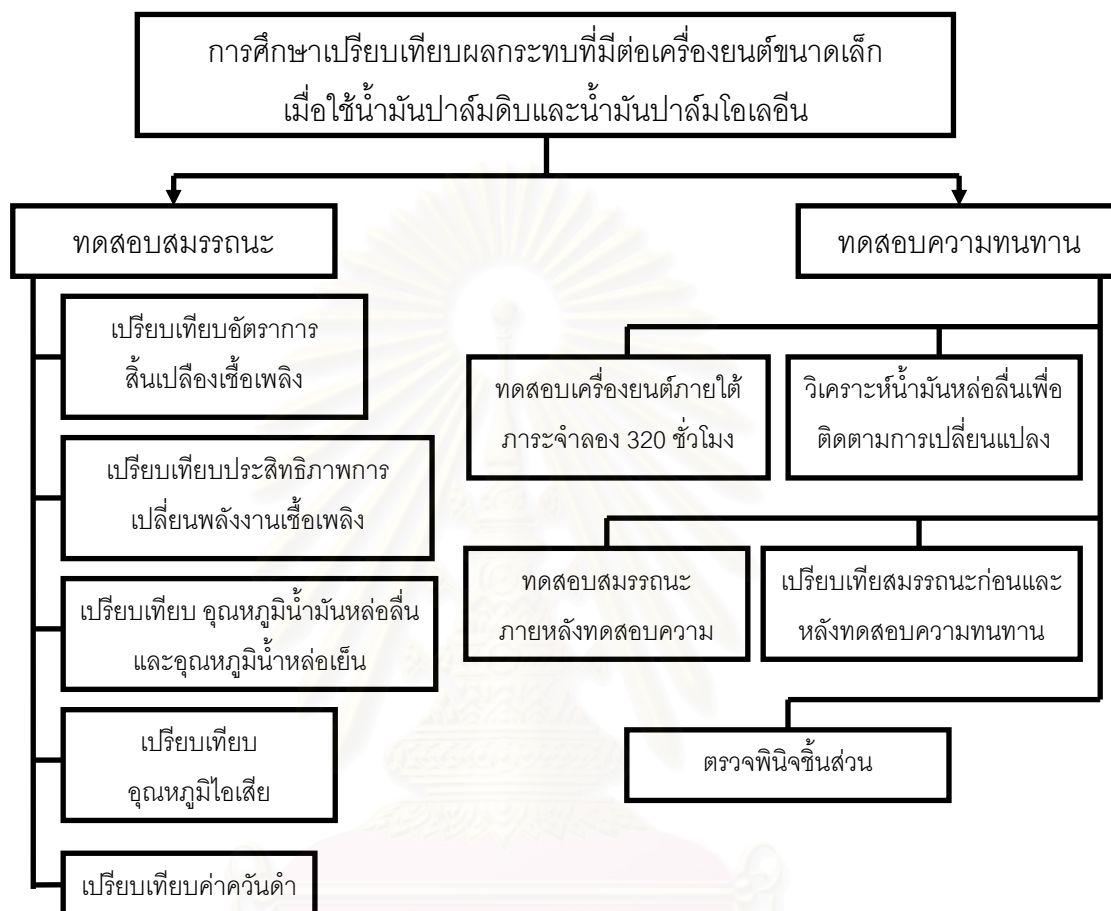
ขั้นตอนที่สองเป็นการทดสอบความทนทาน โดยใช้การทดสอบที่ดัดแปลงมาจากวัฏจักรการทดสอบตามมาตรฐาน EMA Test เพื่อศึกษาผลของการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีต่อความทนทานของเครื่องยนต์

โดยรายละเอียดในการทดสอบแต่ละส่วนทั้งส่วนการทดสอบสมรรถนะ และส่วนการทดสอบความทนทานมีรายละเอียดดังแผนภาพในรูปที่ 3-2

ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะจะทำการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง ค่าอุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และค่าควันดำ

และทำการทดสอบความทนทานโดยทำการทดสอบความทนทานด้วยภาระจำลองในระยะเวลาทดสอบ 320 ชั่วโมง ระหว่างการทดสอบได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นและทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน

จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะภายหลังจากทดสอบความทนทานเปรียบเทียบค่าต่างๆ กับที่ได้เก็บข้อมูลในตอนแรกไว้แล้ว จากนั้นทำการถอดชิ้นส่วนเพื่อทำการตรวจพินิจชิ้นส่วนแต่ละชิ้นต่อไป



รูปที่ 3-2 แสดงแผนภูมิขั้นตอนรายละเอียดการดำเนินการวิจัย

### 3.2 เชื้อเพลิงในการทดสอบ

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบมี 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอดีเอส

#### 3.2.1 เชื้อเพลิงดีเซล (Diesel)

ใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่มีโดยทั่วไปตามท้องตลาดในประเทศไทย เพื่อเป็นตัวแทนของดีเซลทั่วไปที่จะพบได้ในการใช้งานจริง

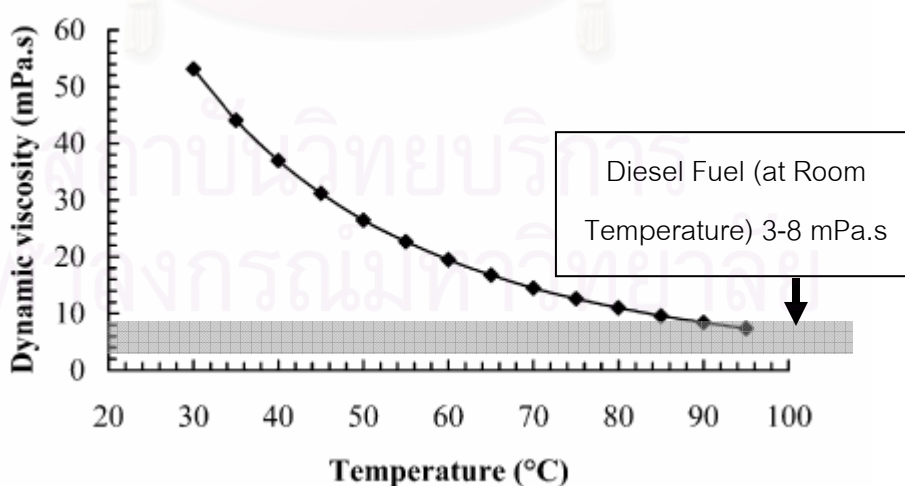
### 3.2.2 น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil (CPO))

น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) ได้มาจากการสกัดผลปาล์มสด (Fresh fruit bunch) มีลักษณะเป็นน้ำมันข้น มีสีส้มขุ่น หน อุดหนุมิปกติ ดังรูปที่ 3-3 ภาพซ้าย และเมื่ออุ่นด้วยความร้อน น้ำมันจะใสและมีสีส้มอมแดง ดังรูปที่ 3-3 (ภาพขวา)



รูปที่ 3-3 แสดงภาพน้ำมันปาล์มดิบที่อุดหนุมิห้อง (ภาพซ้าย) และภาพผลปาล์มและน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการอุ่นให้ความร้อน (ภาพขวา)

เนื่องจากที่อุดหนุมิห้องน้ำมันปาล์มดิบมีสภาพลักษณะขุ่นข้น และมีความหนืดสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 3-4 ซึ่งเส้นกราฟแสดงผลกระทบจากอุดหนุมิต่อความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบ และแรงเงาเป็นความหนืดของดีเซลที่อุดหนุมิห้อง ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในเครื่องยนต์ จะทำให้เกิดการอุดตันในกรองน้ำมันเชื้อเพลิงทันทีที่นำมาใช้งาน ดังนั้นการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้จึงต้องทำการอุ่นให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบก่อน



รูปที่ 3-4 แสดงความผลกระทบของอุดหนุมิต่อความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบ [20]



ในการทดสอบนี้ได้ทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบให้มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 45°C เพื่อลดความหนืดของน้ำมันให้เหมาะสมต่อการทดสอบ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นได้มาจากการทดสอบอย่างง่ายโดยการวัดอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มดิบโดยติดตั้งระบบให้น้ำมันปาล์มดิบไหลผ่านกรองเชื้อเพลิงปกติ และวัดอัตราการไหลที่อุณหภูมิต่างๆ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบสมรรถนะอย่างง่ายเช่นกัน โดยต้องการอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มดิบต้องมีมากกว่าปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งที่เครื่องยนต์ได้กำลังสูงสุดคือ 14 แรงม้า ที่ 2400 รอบต่อนาที ที่ถูกกำหนดมาโดยผู้ผลิต ทำให้ได้อุณหภูมิอย่างน้อยที่ทำให้ น้ำมันปาล์มดิบสามารถใช้งานในเครื่องยนต์ที่จะทำการทดสอบได้

สาเหตุที่ต้องเลือกอุณหภูมิที่ไม่สูงมากเนื่องจากคำนึงถึงการนำไปประยุกต์ใช้ เพราะหากกำหนดอุณหภูมิในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่สูงจะทำให้ต้องใช้ความร้อนในการอุ่นจำนวนมาก ซึ่งในการออกแบบให้เหมาะสม ควรดึงความร้อนในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบมาจากความร้อนที่ออกจากเครื่องยนต์ ซึ่งหากทำการใช้ความร้อนดังกล่าวมากเกินไปจะเกิดการสูญเสียความร้อนของเครื่องยนต์เกินจำเป็น ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกอุณหภูมิทางด้านต่ำมาเป็นหลักในการทดสอบ

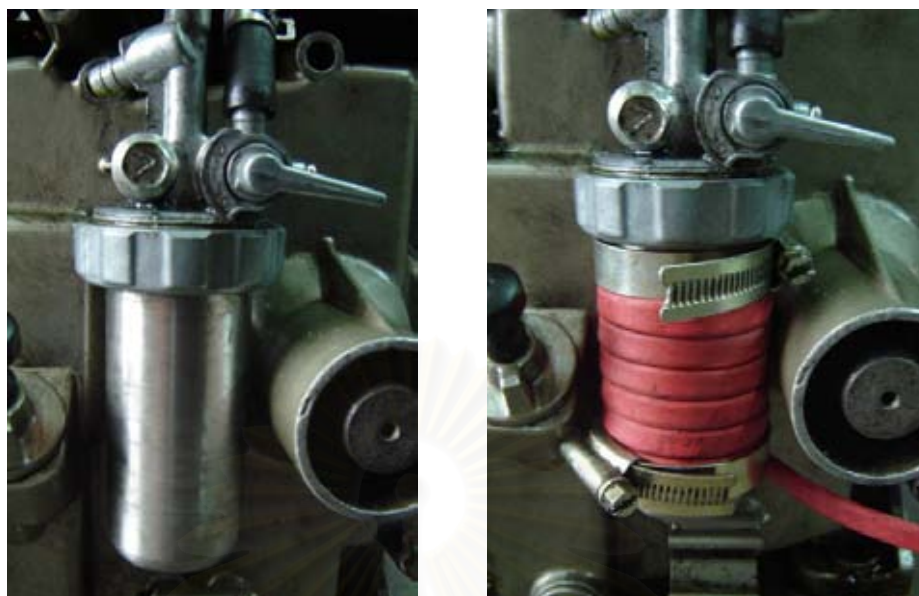
อุปกรณ์ที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบตลอดการทดสอบในงานวิจัยนี้มีดังนี้

- **หม้อต้ม** ใช้อุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนเติมใส่ถังน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อให้สามารถเทน้ำมันปาล์มดิบให้สามารถไหลผ่านกรองหยابที่ตัวถังน้ำมันได้ หม้อต้มนี้สามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิได้ หม้อต้มดังกล่าวได้แสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 แสดงหม้อต้มที่ใช้ในการทดสอบ

- **ฮีตเตอร์แบบสาย** ใช้อุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่ถ้วยกรองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ดัดแปลงให้เป็นหลักดังแสดงในรูปที่ 3-6 เพื่อกันการแข็งตัวเกาะที่ไส้กรอง ฮีตเตอร์ได้แสดงข้อมูลทางเทคนิคดังตารางที่ 3-1



รูปที่ 3-6 แสดงภาพถ้วยกรองเชื้อเพลิงที่ดัดแปลงสำหรับใช้น้ำมันปาล์มดิบ (ภาพซ้าย) และภาพถ้วยกรองเชื้อเพลิงที่ติดตั้งฮีตเตอร์แบบสายแล้ว (ภาพขวา)

ตารางที่ 3-1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของฮีตเตอร์แบบสายไฟ [28]

เอาต์พุตที่ 10°C	22 W/m
อินพุต	230 V AC
อุณหภูมิของสายไฟสูงสุด	65 °C
อุณหภูมิสายไฟสูงสุดที่ตัดการจ่ายไฟ	85 °C
ขนาด	8.5×3.9 มม.
ความยาวในการตัดสูงสุด	124 ม.
+5 °C	0.130 A/m
0°C	0.141 A/m
-20 °C	0.181 A/m

- ถังเชื้อเพลิงสำหรับอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ เป็นถังที่ทำขึ้นเพื่อใช้สำหรับอุ่นน้ำมันปาล์มดิบในการทดสอบเพื่อให้ น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดสอบมีอุณหภูมิเหมาะสมตลอดการทดสอบทั้งทดสอบสมรรถนะและทดสอบความทนทานที่กินเวลานาน ดังแสดงในรูปที่ 3-7 โดยถังทำด้วยเหล็ก และด้านล่างติดตั้งฮีตเตอร์แบบแผ่นโดยมีข้อมูลดังตารางที่ 3-2 ซึ่งจากถังดังกล่าวจะทำให้สามารถคง

อุณหภูมิให้น้ำมันปาล์มดิบที่ทดสอบมีอุณหภูมิสูงเพียงพอตั้งที่ได้กล่าวไปแล้ว  
ตอนต้นได้



รูปที่ 3-7 แสดงถังสำหรับใช้อุ่นเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลที่สำคัญของฮีทเตอร์แบบแผ่นที่ใช้กับถังอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ[28]

Model	ST 30433
ขนาด	40x200x10 mm
อินพุต	220 VAC
เอาต์พุต	160 Watt

### 3.2.3 น้ำมันปาล์มโอเลอิน (Palm Olein Oil)

น้ำมันปาล์มโอเลอิน (Palm Olein Oil) หรือน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (Refined oil) เป็นน้ำมันพืช  
ที่ใช้สำหรับบริโภค มีลักษณะเป็นน้ำมันสีเหลืองใส ดังรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 แสดงน้ำมันปาล์มโอเลอิน

สำหรับน้ำมันปาล์มโอเลอินไม่ต้องทำการอุ่นเพื่อลดความหนืดเช่นเดียวกับน้ำมันปาล์มดิบแม้ว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีความหนืดสูงกว่าดีเซลก็ตาม

### 3.2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงทดสอบ

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงทดสอบตลอดทั้งการทดสอบสมรรถนะและการทดสอบความทนทานในงานวิจัยนี้ได้ควบคุมเชื้อเพลิงให้เป็นเชื้อเพลิงจากชุดการผลิต (Batch) เดียวกันตลอดการทดสอบ โดยคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงทดสอบ

Properties	Test Method	Diesel	CPO	Palm Olein
Heating Value, MJ/kg	ASTM D611	45.41	38.77±0.08	39.23±0.11
Carbon residue, %wt	ASTM D92	0.14	0.23	0.21
Viscosity at 40°C, mm <sup>2</sup> /s	ASTM D227	3.60	73.78±0.49	40.09±0.05
Specific density, g/cm <sup>3</sup>	ASTM D1298	0.832	มากกว่า 0.940	0.916
Cetane number	ASTM D976	52	49	42
Flash Point, °C	ASTM D92 (Open Cup)	98	267±1.0	สูงกว่า 300

### 3.3 เครื่องยนต์ทดสอบ

เครื่องยนต์ทดสอบเป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดชนิดฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ยี่ห้อ Kubota รุ่น RT-140 ดังแสดงในรูปที่ 3-9 โดยแสดงข้อมูลทางเทคนิคในตารางที่ 3-4



รูปที่ 3-9 แสดงเครื่องยนต์ทดสอบ



ตารางที่ 3-4 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ทดสอบ

เครื่องยนต์	Kubota
รุ่น	RT140
แบบ	เครื่องยนต์ดีเซลแบบสูบนอน 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ
จำนวนลูกสูบ	1
ขนาดกระบอกสูบ	97 mm. (bore)
ช่วงชัก	96 mm. (stroke)
ปริมาตรกระบอกสูบ	709 cc.
กำลังเครื่องยนต์สูงสุด	14 hp / 2400 rpm
แรงบิดสูงสุด	5.0 kg-m / 1600 rpm
ระบบห้องเผาไหม้	ฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง
อัตราส่วนกำลังอัด	18 : 1
หัวฉีด	ประเภท: Bosch KBAL type ความดัน: 215 kg/cm <sup>2</sup>
ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	ประเภท: Bosch PFR.M type ความดัน: 600 kg/cm <sup>2</sup>
ระบบหล่อลื่น	ขับเคลื่อนน้ำมันหล่อลื่นโดยปั๊มไทรคอยด์ใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE 40 API CF, SAE 30 API CF ความจุ 2.8 ลิตร
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำแบบรังผึ้ง ระบายความร้อนแบบ Natural Convection ความจุ 2.2 ลิตร
หม้อกรองอากาศ	แบบเปียก

ในการทดสอบจะใช้เครื่องยนต์รุ่นดังกล่าวจำนวน 2 เครื่องยนต์เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบตลอดงานวิจัยนี้ โดยเครื่องหนึ่งสำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ และอีกเครื่องหนึ่งสำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยเครื่องยนต์ทั้งสองได้ทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ทั้งหมด (overhaul) เพื่อควบคุมให้เครื่องยนต์ทั้งสองมีลักษณะเริ่มต้นเหมือนกันทั้งสองเครื่องยนต์ จากนั้นได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้งสองด้วยน้ำมันดีเซลเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้งสองให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด



### 3.4 การทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ เป็นการศึกษาระดับเบื้องต้นถึงสมรรถนะและอุณหภูมิการทำงานที่ได้จากเครื่องยนต์รุ่นเดียวกันเมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอสลิน การทดสอบได้ดำเนินการทั้งที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) และที่สภาวะภาระบางส่วน (Part Load) ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงในรูปแบบภูมิสมรรถนะ (Performance Map)

#### 3.4.1 วิธีการทดสอบสมรรถนะ

วิธีการทดสอบสมรรถนะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

##### 1. การ Run in

หลังจากการเปลี่ยนชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ใหม่ จะต้องทำการ run-in เครื่องยนต์โดยใช้วัฏจักรภาระตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ สำหรับเครื่องยนต์ KUBOTA (DI) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ไม่มีภาระ (No load) ความเร็วรอบ 2,400 rev/min เวลา 30 นาที
2. ภาระ 50% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 rev/min เวลา 30 นาที
3. ภาระ 100% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 rev/min เวลา 20 ชั่วโมง

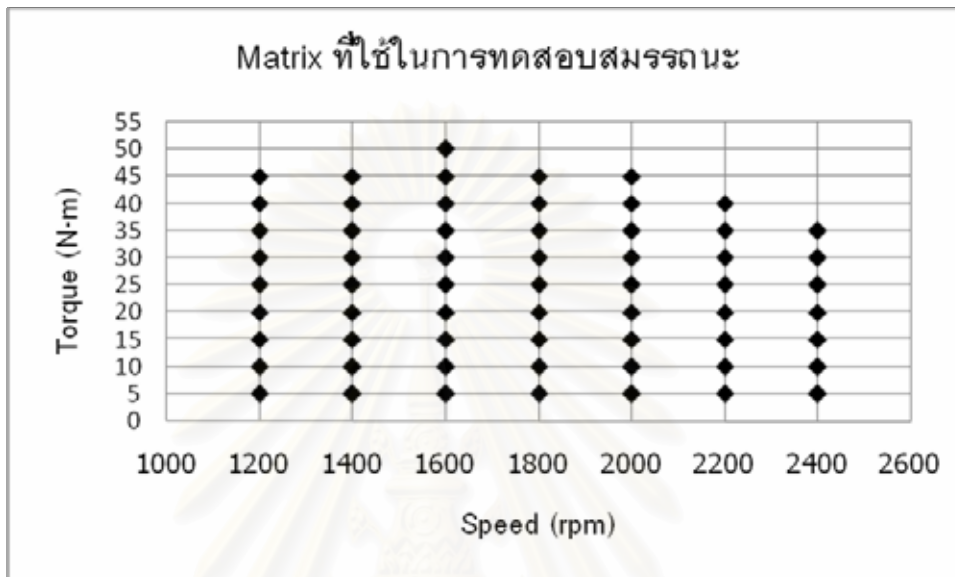
ภายหลังจากเสร็จสิ้นการ run in ได้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่ก่อนเริ่มทำการทดสอบ การทดสอบสมรรถนะเริ่มจากการใช้น้ำมันดีเซล ตามด้วยน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอสลิน การทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องก่อนและเดินเครื่องยนต์ช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อเป็นการไล่น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดก่อนหน้า

##### 2. การทดสอบที่ภาระสูงสุด (Full Load Performance Test)

ก่อนทำการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด จะต้องอุ่นเครื่องยนต์จนระบบน้ำหล่อเย็นอยู่ในอุณหภูมิทำงาน คือไม่ต่ำกว่า 60 °C จากนั้นเริ่มทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าแรงบิดกับความเร็วรอบ ที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) เริ่มจากเพิ่มคันเร่งให้เครื่องยนต์หมุนเปล่าโดยไม่มีภาระจนความเร็วรอบอยู่ที่ 2550 รอบต่อนาที จัดให้เป็นตำแหน่งที่คันเร่งเปิดสุด (ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต) จากนั้นเริ่มใส่ภาระให้กับเครื่องยนต์จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2400 รอบต่อนาที รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว แล้วจึงบันทึกผลค่าแรงบิด, อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง, ค่าอุณหภูมิและความดันต่างๆ และค่าควันดำ จากนั้นเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2200 รอบต่อนาที รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวแล้วจึงบันทึกค่า และกระทำเช่นเดียวกันที่ความเร็วรอบ 2000, 1800, 1600, 1400, 1200 และความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load)

### 3. การทดสอบที่ภาระบางส่วน (Part Load Performance Test)

จากความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างภาระสูงสุดและความเร็วรอบที่ได้จากการทดสอบภาระสูงสุดจะถูกนำมากำหนดจุดในการทดสอบ (Matrix) ที่ความเร็วรอบและที่แรงบิดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-10



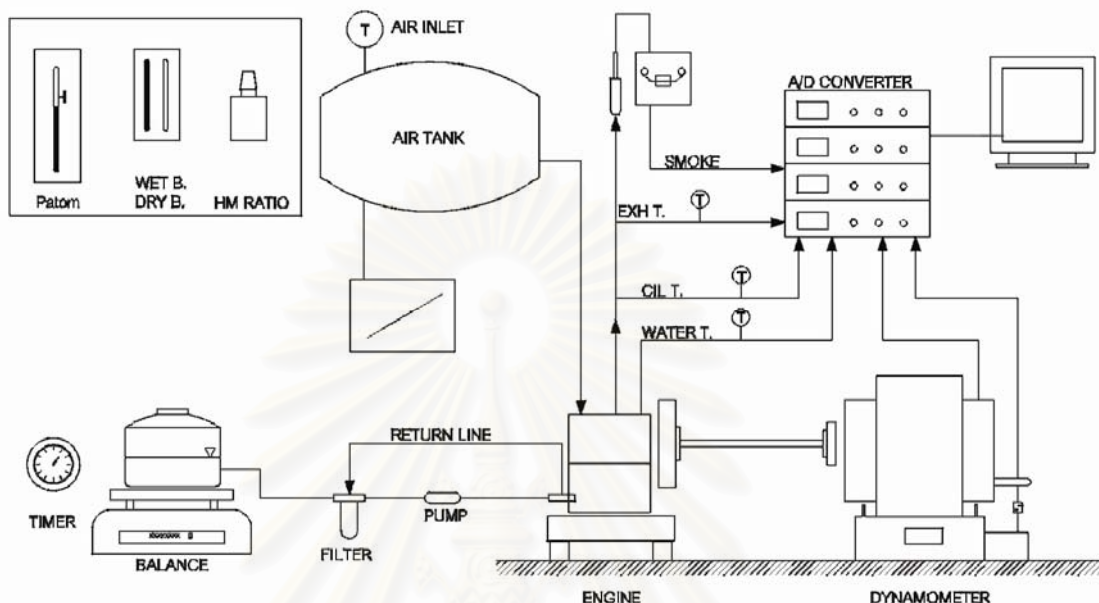
รูปที่ 3-10 แสดง matrix ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะที่ภาระบางส่วน

จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะ ณ จุดทำงานตามจุดทดสอบบน Matrix ที่กำหนดในรูปที่ 3-10 (อาจกล่าวได้ว่าเป็นการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน (Part Load) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่) เริ่มจากความเร็วรอบสูง โดยปรับชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์ให้ทำงานที่สภาวะแรงบิดคงที่ดังที่กำหนดไว้ แล้วปรับคันเร่งให้ได้ความเร็วรอบตามที่ต้องการ

การทดสอบจะทำตามจุดทดสอบที่กำหนดในรูปที่ 3-10 เริ่มที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที ที่ค่าแรงบิด 5 นิวตัน-เมตร เมื่อปรับเครื่องยนต์จนตรงตามจุดทำงานที่ต้องการแล้ว รอให้เครื่องยนต์อยู่ที่สภาวะคงตัว จึงเริ่มทำการวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง พร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิ, ความดันต่างๆ และค่าควันดำ จากนั้นจะเปลี่ยนจุดทดสอบโดยปรับชุดควบคุมเพื่อเพิ่มแรงบิด (เพิ่มทีละ 5 N-m) จนถึงค่าแรงบิดสูงสุด และปรับคันเร่งให้ได้ความเร็วรอบตามต้องการ (2400 รอบต่อนาทีและลดลงจนถึง 1200 รอบต่อนาที) กระทำเช่นเดียวกันจนครบตามจุดทดสอบที่ได้กำหนด นำค่าแรงบิดและอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงไปคำนวณปรับค่าที่สภาวะอากาศมาตรฐาน (ภาคผนวก ก.) แล้วนำค่าที่ปรับแล้วมาแสดงในรูปแผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด ความเร็วรอบ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

### 3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

จากวิธีการทดสอบสมรรถนะดังกล่าวจึงได้จัดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบสมรรถนะ แสดงได้ในแผนผังดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 แสดงแผนผังการทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบสมรรถนะ ทำการทดสอบบนแท่นทดสอบเครื่องยนต์ ร่วมกับไดนาโมมิเตอร์ในการทดสอบ โดยให้ห้องทดลองของบริษัทสยามคูโบต้าอุตสาหกรรมจำกัดโดยมีรายละเอียดอุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะ ดังนี้

#### 3.4.2.1 เครื่องยนต์

ใช้เครื่องยนต์รุ่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวไปแล้ว ที่ผ่านการเปลี่ยนชิ้นส่วนและ run-in เครื่องยนต์ใหม่ทั้งหมด

#### 3.4.2.2 ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer)

ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นไดนาโมมิเตอร์ชนิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ยี่ห้อ Tokyokoki Schenck รุ่น W - 40 กำลังสูงสุด 60 PS อัตราเร็วสูงสุด 17000 รอบต่อนาที ควบคุมการทำงานโดยชุดควบคุมของ Tokyokoki Schenck รุ่น LEC - 20 ความแม่นยำในการวัดแรงบิด  $\pm 0.002$  kgf-m ดังแสดงในรูปที่ 3-12 เครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบจะถูกนำมาต่อเข้ากับไดนาโมมิเตอร์โดยใช้เพลานในการเชื่อมต่อกับ Universal Joint 2 ชุด ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ วัดได้จาก เซ็นเซอร์วัดความเร็วที่ไดนาโมมิเตอร์ ความแม่นยำในการวัดอัตราเร็วแบบดิจิตอลคือ  $\pm 1$  รอบต่อนาที ต่อ  $\pm 1$  ความเร็วรอบ



รูปที่ 3-12 แสดงชุดไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ (ภาพซ้าย) แสดงไดนาโมมิเตอร์ ยี่ห้อ Tokyokoki Schenck รุ่น W – 40 และ (ภาพขวา) แสดงชุดควบคุม ยี่ห้อ Tokyokoki Schenck

### 3.4.2.3 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการทดสอบสมรรถนะใช้ เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ยี่ห้อ NAGATA รุ่น FATH-12V ดังรูปที่ 3-13 ความสามารถในการรับน้ำหนัก 60 กิโลกรัม ความละเอียดในการวัด 0.2 กรัม คู่กับการจับเวลาน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ลดลงของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบและนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



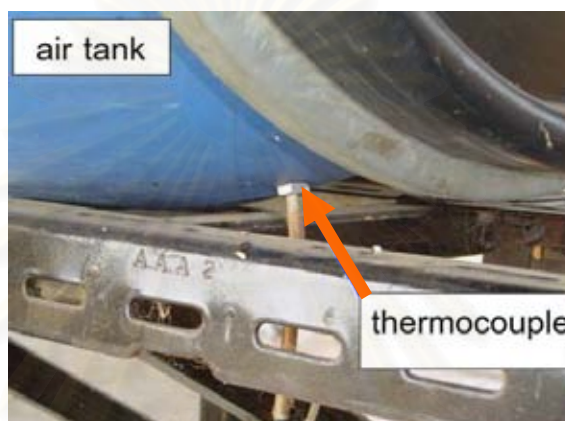
รูปที่ 3-13 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

### 3.4.2.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด type K (Chromel-Alumel, CA) โดยต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับตัวอ่านค่าเพื่ออ่านค่าและเก็บข้อมูล

ตัวแปรอุณหภูมิการทำงานที่ทำการวัดมีดังนี้

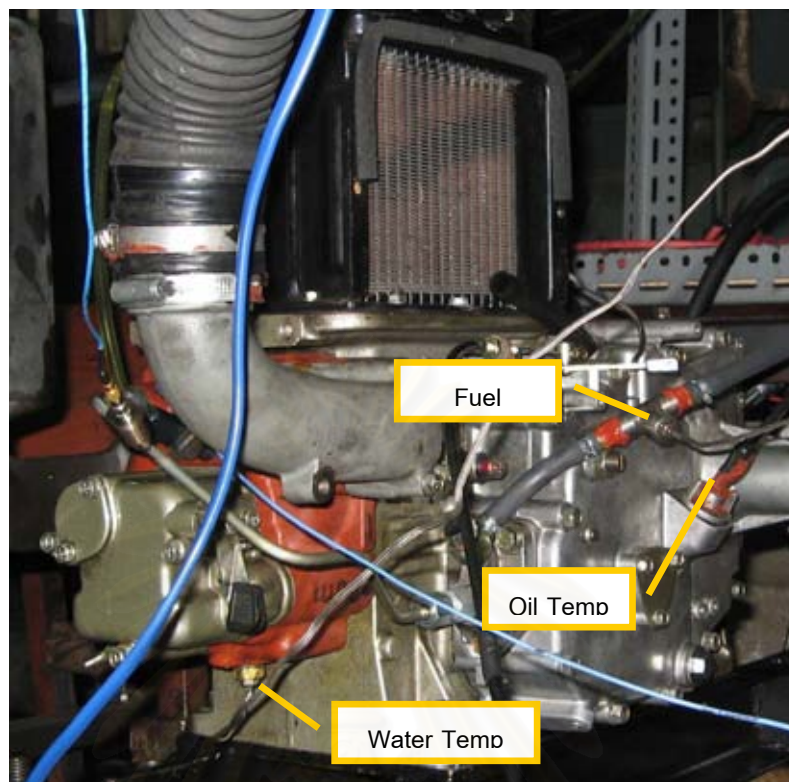
- **อุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าท่อไอดี ก่อนเข้าห้องเผาไหม้** ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ภายในถังพักอากาศ ช่วงระหว่าง orifice plate กับกรองอากาศ ดังรูปที่ 3-14



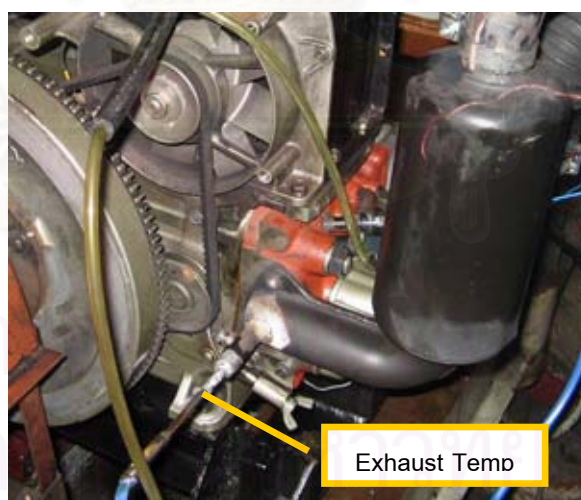
รูปที่ 3-14 แสดงจุดที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในถังพักอากาศ

- **อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น** ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ที่ปลั๊กถ่ายน้ำหล่อเย็นที่อยู่ด้านล่างของฝาสูบ ดังรูปที่ 3-15
- **อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น** ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลแทนที่ก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น โดยให้หัววัดแช่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นตลอดเวลา และไม่สัมผัสกับผิวของเสื้อสูบที่เป็นอ่างน้ำมันหล่อลื่น ดังรูปที่ 3-15
- **อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง** ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ท่อน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าปั๊มเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 3-15
- **อุณหภูมิไอเสีย** ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ที่ท่อไอเสีย โดยให้หัววัดเข้าไปถึงบริเวณจุดศูนย์กลางของหน้าตัดวงกลมของท่อไอเสีย ดังรูปที่ 3-16





รูปที่ 3-15 แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น น้ำมันหล่อลื่น และ น้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 3-16 แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ท่อไอเสีย

#### 3.4.2.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ จะวัดด้วย orifice ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณทางเข้าถังพักอากาศ ดังรูปที่ 3-17 โดยถังพักอากาศจะช่วยลดการกระเพื่อมของอากาศที่ไหลผ่าน orifice อันเนื่องมาจากจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ และวัดค่าความดันตกคร่อม

orifice plate เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้ inclined manometer ดังรูปที่ 3-18 โดยรายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข



รูปที่ 3-17 แสดงถึงพักอากาศและการติดตั้ง orifice plate



รูปที่ 3-18 แสดง inclined manometer

#### 3.4.2.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Conditions)

ระหว่างการทดสอบสมรรถนะได้ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของบรรยากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งแบบปรอทตามลำดับ ส่วนความดันบรรยากาศ วัดโดยใช้บารอมิเตอร์

#### 3.4.2.7 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ (Smoke Meter)

เครื่องมือวัดค่าควันดำเป็นแบบกระดาษกรอง ยี่ห้อ BOSCH ดังแสดงในรูปที่ 3-19 ประกอบด้วย

1. หัวดูดไอเสีย ยี่ห้อ Sokken เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างค่าควันดำจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลตามมาตรฐานการเก็บตัวอย่างไอเสียของ Bosch ซึ่งภายในตัวปั๊มจะประกอบด้วย

- I. ครอบปั๊ม ภายในมีลูกสูบที่มีปลายช่องสำหรับใส่กระดาษกรอง
- II. สปริงคั่นชักรัดจากลูกสูบ (ตัวสปริงถูกหุ้มด้วยปลอกยาง)
- III. ลูกยางบีบ มีท่อต่อลมเข้ากับตัวลิ้นคสปริง ที่หัวครอบปั๊ม
- IV. หัวดูดไอเสีย (Exhaust – Sample Pickup) ประกอบด้วยอุปกรณ์ยึดติดกับท่อไอเสีย และท่อลมสำหรับแก๊สไอเสียผ่านเข้าครอบสูบ



รูปที่ 3-19 แสดงภาพชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ (ภาพซ้าย) ปั๊มดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00 (ภาพขวา) เครื่องอ่านค่าควันดำ ยี่ห้อ Sokken รุ่น GSM – 3DPM

2. เครื่องอ่านค่าควันดำ ยี่ห้อ Sokken รุ่น GSM – 3DPM เป็นเครื่องอ่านค่าความเข้มของเขม่าดำบนกระดาษกรอง แสดงค่าด้วยตัวเลขดิจิทัลเรืองแสง มีสเกลอยู่ระหว่าง 0 – 10 Bosch Unit Number ความละเอียด 0.02 ตัวเลข 0 แสดงค่าผิววัตถุที่ทดสอบขาวบริสุทธิ์ ตัวเลขแสดงค่า 10 หมายความว่าผิววัตถุที่ทดสอบนั้น ดำสนิท หรือมีความดำ 100% ในหัวอ่านค่าควันดำ ภายในจะประกอบด้วย Photo Element รูปวงแหวนตรงกลางมีหลอดไฟ และมีสายสัญญาณส่งเข้าเครื่องอ่านค่า หลักการทำงานคือเมื่อกดสวิทช์อ่านค่า หลอดไฟจะติด แสงที่พุ่งออกไปเมื่อกระทบกับผิววัตถุ (กระดาษกรอง) จะมีการสะท้อนกลับ Photo Element จะรับแสงสะท้อนนั้นแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านตามสายไฟฟ้าไปยังตัวอ่านค่าควันดำและแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขเรืองแสง ในกรณีที่กระดาษกรองขาวบริสุทธิ์ แสงจะสะท้อนกลับมาทั้งหมด Photo Element จะส่งสัญญาณเป็นกระแสไฟเต็มที่ ตัวเลขจะแสดงค่า 0 แต่ถ้ากระดาษกรองดำสนิทจะดูดกลืน



แสงไว้ทั้งหมด ไม่มีการสะท้อนกลับ จึงไม่มีสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังเครื่องวัด ตัวเลขจะแสดงค่า 10 ดังแสดงในรูปที่ 3-20



รูปที่ 3-20 แสดงตัวอย่างกระดาษกรองที่ใช้ในการวัดค่าควันดำเปรียบเทียบกับ Bosch Unit Number

### 3.5 การทดสอบความทนทาน (Durability Test)

การทดสอบความทนทาน เป็นการทดสอบเพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ เมื่อนำเครื่องยนต์ไปใช้งานจริงภายใต้ภาระจำลองในระยะเวลาที่กำหนด ในการทดสอบความทนทานนี้ ใช้ปั้มน้ำเป็นอุปกรณ์สร้างภาระให้กับเครื่องยนต์ตลอดการทดสอบความทนทาน

ก่อนการทดสอบความทนทานได้ทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ทดแทนชิ้นส่วนเดิมของเครื่องยนต์ ได้แก่ ลูกสูบ แหวนสูบ สลักลูกสูบ แบร็ริงก้านสูบ วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย ชุดหัวฉีด ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง และทำการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วน พร้อมกับถ่ายภาพสภาพฝาสูบ บ่าวาล์ว ผนังกระบอกสูบ เพื่อใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน นอกจากนี้ยังทำการทดสอบความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดใหม่ก่อนการทดสอบอีกด้วย

ระหว่างการทดสอบความทนทานจะทำการบันทึกข้อมูลสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ได้แก่ อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่กรองอากาศ อุณหภูมิเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบก่อนเข้าปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิและความดันอากาศภายนอก อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าควันดำ และบันทึกข้อมูลภาระเครื่องยนต์จากชุดปั้มน้ำ ประกอบด้วย ความดันทางด้านส่งของระบบสูบน้ำ และอัตราการไหลของน้ำ พร้อมทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบของเครื่องยนต์ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติและตรวจหาโลหะตกค้างในน้ำมันหล่อลื่น

### 3.5.1 วิธีการทดสอบความทนทาน

ก่อนการทดสอบได้ทำการกำหนดวัฏจักรจำลองการทำงานที่ใช้ในการทดสอบ โดยวัฏจักรที่ออกแบบโดยดัดแปลงจาก EMA Test โดยกำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานที่กำลังบ่งชี้ สลับกับการทำงานที่ภาระบางส่วน เพื่อเป็นการลดภาระในการทำงานของเครื่องยนต์และเพื่อให้กลไกการทำงานของปั๊มเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนตำแหน่งสลับไปมาอยู่เสมอ วัฏจักรจำลองที่กำหนดขึ้นแสดงในตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 แสดงวัฏจักรที่ใช้ในการทดสอบ

สภาวะการทำงาน	ภาระ	ความเร็ว(รอบต่อนาที)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1.	กำลังบ่งชี้	2,400	3
2.	90 % ของกำลังบ่งชี้	2,400	1
3.	80 % ของกำลังบ่งชี้	2,400	1
4.	ไม่มีภาระ	1,000	15 (นาที)

จากตารางที่ 3-5 ใน 1 วัฏจักร ใช้เวลาทดสอบรวม 5 ชั่วโมง โดยในหนึ่งวันทำการทดสอบ 3 วัฏจักรรวมเป็นเวลาในการทดสอบ 15 ชั่วโมงต่อวัน โดยเวลาที่เหลือ 9 ชั่วโมงจะเป็นช่วงการหยุดเพื่อตรวจสอบสภาพและพักเครื่องยนต์

ก่อนเริ่มทดสอบในแต่ละวันจะทำการตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์ ตรวจสอบระดับน้ำหล่อเย็น ระดับน้ำมันหล่อลื่น ความตึงสายพาน จากนั้นทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ และอุ่นเครื่องยนต์ที่ไม่มีภาระให้กับเครื่องยนต์เป็นเวลา 30 นาที จนได้อุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์ จากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบตามวัฏจักรการทดสอบความทนทานโดยเริ่มจากสภาวะการทำงานที่ 1 เรียงลำดับไปจนครบทั้งสามวัฏจักร และทำการจดค่าระหว่างการทดสอบความทนทานทุก 1 ชั่วโมง

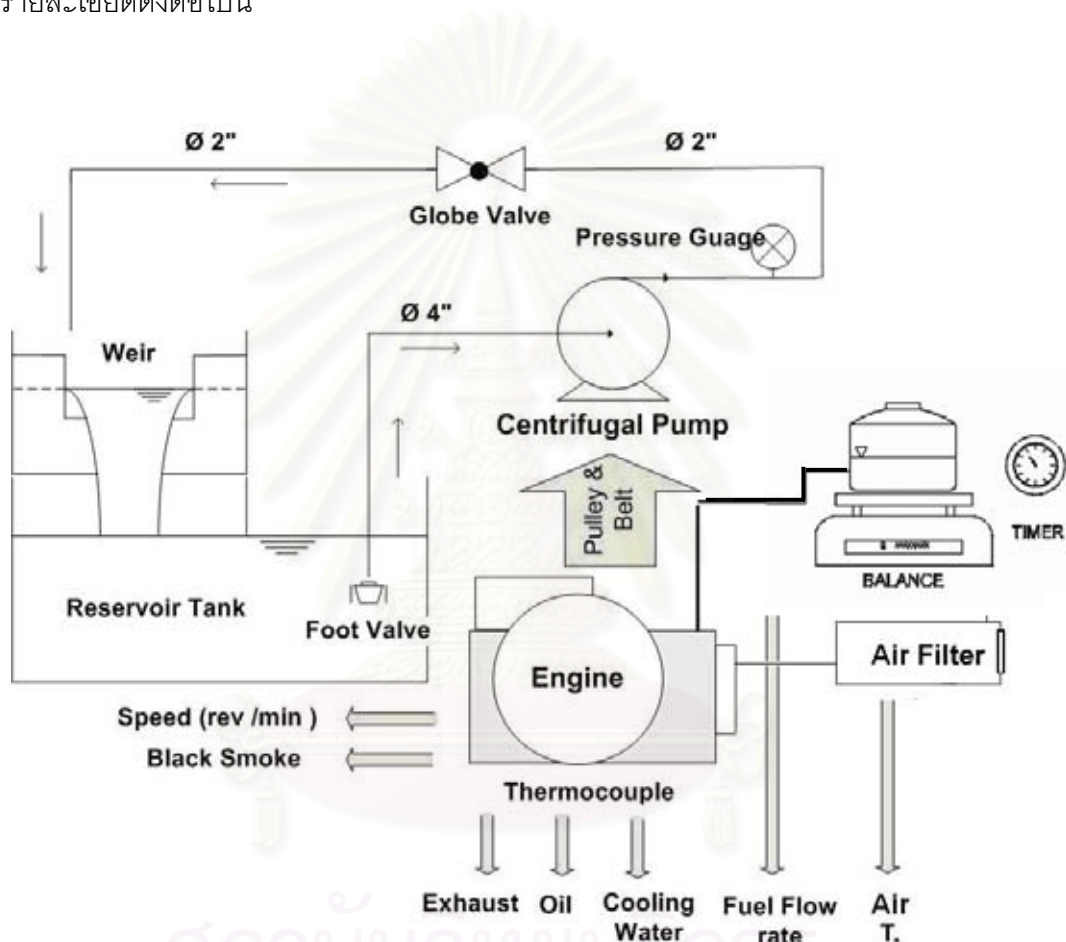
ระหว่างการทดสอบความทนทานจะทำการสูบลวอย่างน้ำมันหล่อลื่นทุกระยะเวลาชั่วโมงการทำงานที่กำหนด พร้อมจัดให้มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นตามระยะเวลาที่ผู้ผลิตกำหนด จนถึงสิ้นสุดการทดสอบ พร้อมจัดให้มีการวัดค่าควันดำ โดยจะทำการวัดเฉพาะสภาวะการทำงานที่ 1 เริ่มจากชั่วโมงการทำงานที่ 1 และทำการวัดทุก 10 ชั่วโมงการทำงานจนถึงสิ้นสุดการทดสอบความทนทาน

หลังการทดสอบความทนทานครบ 320 ชั่วโมงทำงาน นำเครื่องยนต์มาทดสอบสมรรถนะหลังผ่านการใช้งาน โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบสมรรถนะหลังการทดสอบความทนทานของแต่ละเครื่องยนต์ ทำการวัดค่าแรงบิด อุณหภูมิการใช้งาน และค่าควันดำด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบสมรรถนะในตอนต้นตามลำดับ



### 3.5.2 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนทาน

ในการทดสอบความทนทานนี้จะใช้ชุดปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์สร้างภาระจำลองตามวัฏจักรดัดแปลงจาก EMA Test ดังตารางที่ 3-5 ให้กับเครื่องยนต์ตลอดช่วงเวลากการทดสอบ โดยทั้งสองเครื่องยนต์ได้ทำการทดสอบพร้อมกัน และจัดอุปกรณ์เหมือนกันทั้ง 2 ชุดการทดสอบ แผนผังแสดงการติดตั้งเครื่องยนต์ และชุดปั๊มน้ำแสดงในรูปที่ 3-21 โดยแต่ละอุปกรณ์ของชุดทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3-21 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดปั๊มน้ำ

#### 3.5.2.1 เครื่องยนต์

ใช้เครื่องยนต์เดียวกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

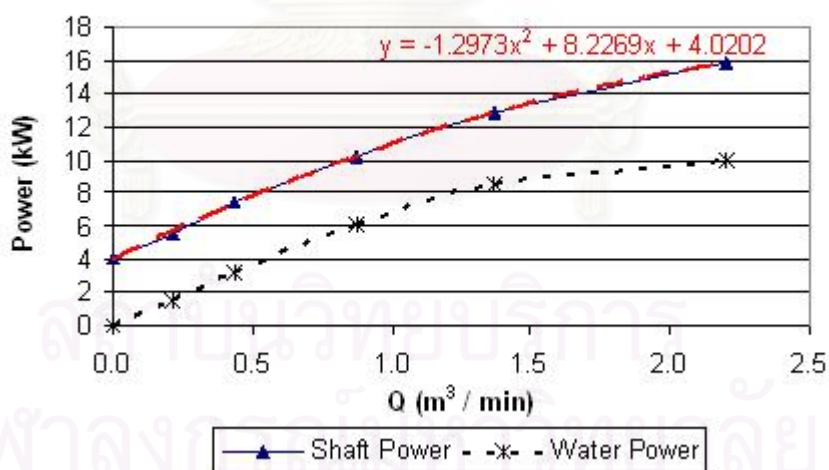
#### 3.5.2.2 ระบบปั๊มน้ำ

ในการสร้างภาระให้กับเครื่องยนต์ทั้งสอง ใช้ระบบปั๊มน้ำเป็นตัวสร้างภาระให้กับเครื่องยนต์ทั้งสอง โดยแต่ละเครื่องยนต์จะทำการติดตั้งระบบปั๊มน้ำ 1 ชุดซึ่งมีลักษณะของแต่ละชุดเหมือนกันดังนี้



รูปที่ 3-22 แสดงเครื่องยนต์ติดตั้งร่วมกับระบบปั้มน้ำในการทดสอบความทนทาน

Pump Performance Curve



รูปที่ 3-23 แสดงประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ภาวะต่างๆ ความเร็วรอบคงที่ 1600 รอบต่อนาที

ปั้มน้ำที่ใช้เป็นแบบปั้มหอยโข่ง ยี่ห้อ KAWAMOTO รุ่น GEM-80X655-4M11 ขนาดท่อทางดูด 80 มิลลิเมตร ขนาดท่อทางส่ง 65 มิลลิเมตร ความเร็ว 1600 รอบต่อนาที อัตราการไหล 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หัวน้ำสูง 36 เมตร กำลัง 11 กิโลวัตต์ เชื่อมต่อกับเครื่องยนต์ด้วย สายพาน และมู่เล่ โดยมู่เล่ที่เครื่องยนต์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว มู่เล่ที่ปั้มมีขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3-22 โดยขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุดที่ 2,400 รอบต่อนาที ปั๊มน้ำจะทำงานที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที โดยประสิทธิภาพของปั๊มที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาทีแสดงดังรูปที่ 3-23

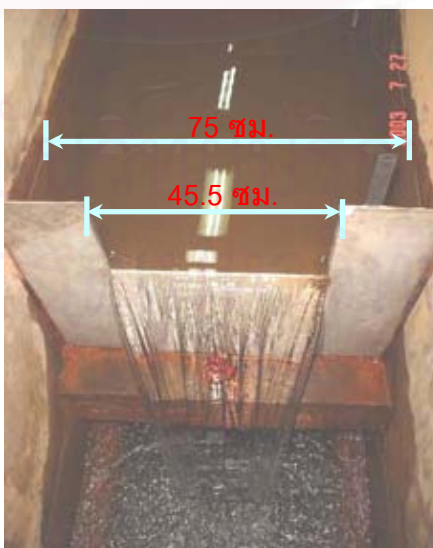
ระบบท่อส่งน้ำประกอบด้วย ท่อทางดูดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ปลายท่อติดตั้ง Foot Valve จุ่มในถังพักน้ำ (Reservoir Tank) ความยาวของท่อทางดูดจะมีความยาว 13 เมตร จนถึงตำแหน่งหน้าปั๊มจะลดขนาดท่อเหลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ก่อนเข้าปั๊ม ระบบท่อทางส่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีการติดตั้งเกจวัดความดัน และวาล์วปรับอัตราการไหลติดตั้งอยู่ตามรูปที่ 3-22 ระบบท่อทางส่งจะมีความยาว 20 เมตร

จากปั๊มน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นภาระให้กับเครื่องยนต์ การปรับตั้งขนาดของภาระที่ปั๊มน้ำให้แก่เครื่องยนต์นั้นใช้การวัดอัตราการไหลของน้ำจากปั๊มเป็นตัวชี้วัดถึงกำลังที่ปั๊มน้ำและกำลังที่เครื่องยนต์ในสถานะที่กำหนดต่างๆ ได้ โดยอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลของน้ำเป็นดังต่อไปนี้

### 3.5.2.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ

ฝายถูกนำมาใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำตลอดการทดสอบนี้ ฝายเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำในร่องน้ำเปิด จากลักษณะของน้ำที่ไหลผ่านสันฝาย ทำให้สามารถวัดอัตราการไหลได้จากระดับความสูงของน้ำที่อยู่เหนือสันฝาย โดยตำแหน่งที่วัดระดับความสูงต้องอยู่ห่างไปทางต้นน้ำอย่างน้อย 4 เท่า ของระดับความสูงของน้ำเหนือฝาย

ฝายที่ใช้เป็นฝายสี่เหลี่ยม มีขนาดความกว้าง 45.5 เซนติเมตร ความกว้างร่องน้ำเท่ากับ 75 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3-24 ลักษณะของสันฝายเป็นแบบสันคม ขอบฝายทางด้านต้นน้ำทำมุมเป็นมุมฉาก ส่วนขอบทางด้านปลายน้ำเป็นมุมป้าน



รูปที่ 3-24 แสดงฝายวัดอัตราการไหลของน้ำ

อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-1)

$$Q = C_w LH^{3/2} \quad (3-1)$$

เมื่อ  $C_w$  = สัมประสิทธิ์ของฝายมีค่าเท่ากับ  $C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{2g}$

$$\text{และ} \quad C_d = 0.605 + \frac{1}{305H} + 0.08 \frac{H}{P} \quad (3-2)$$

โดยที่  $L$  คือ ความกว้างของสันฝาย , เมตร (= 0.455 เมตร)

$H$  คือ ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย , เมตร

$P$  คือ ความสูงของสันฝายจากพื้น , เมตร

เนื่องจากฝายที่ใช้เป็นฝายที่มีขนาดเล็กกว่าความกว้างของลำน้ำ เมื่อน้ำไหลผ่านฝายจะเกิดคอคอดตามแนวขวางขึ้น ดังนั้นความกว้างของลำน้ำที่ไหลผ่านก็จะแคบกว่ารอยบาก  $L$  ของฝาย ดังนั้นในการหาอัตราการไหลของการไหลลักษณะนี้จะต้องแทนค่า  $L$  ในสมการ (3-1) ด้วย  $(L-0.1nH)$  เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนของด้านที่เกิดการคอคอดตัว ปกติแล้วจะมีค่าเท่ากับสอง แต่บางครั้งมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับในการงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 2

จากรูปที่ 3-23 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล กับ กำลังที่เพลาดังสมการที่ (3-3)

$$y = -1.2973x^2 + 8.2269x + 4.0202 \quad (3-3)$$

โดยที่  $y$  คือ กำลังที่เพล่า, กิโลวัตต์

$X$  คือ อัตราการไหลของน้ำ, ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

เมื่อนำค่าอัตราการไหลที่ได้จากสมการ (3-1) แทนค่าลงในสมการ (3-3) จะได้กำลังที่เพล่าออกมา ทำให้เราทราบกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ ณ จุดที่ทำการทดสอบ

นอกเหนือจากการคำนวณดังกล่าวเพื่อให้ได้อัตราไหลของน้ำที่ต้องการสำหรับการสร้างภาระทั้งสามสถานะแล้ว ในงานวิจัยนี้การปรับตั้งภาระทั้งสามสถานะได้ทำการปรับอย่างละเอียดด้วยการปรับตั้งหระดับความสูงน้ำ  $H$  เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การคำนวณอีกด้วย

การปรับตั้งภาระของเครื่องยนต์ของทั้งสองเครื่องยนต์ทำโดยการ เดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันดีเซล แล้วเปิดวาล์วจนระดับน้ำได้สูงตามที่ได้คำนวณไว้แล้ว และทำการปรับคันเร่งจนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ได้เท่ากับ 2400 รอบต่อนาที จากนั้นวัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และอุณหภูมิไอเสีย แล้วทำการเปรียบเทียบกับผลสมรรถนะที่ได้ทดสอบไปแล้วบนไดนาโมมิเตอร์ หากค่าทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกันก็ทำการจดค่าระดับความสูงน้ำไว้ หากค่าทั้งสองไม่ใกล้เคียงกันจะทำการปรับวาล์วใหม่ และตั้งคันเร่งใหม่ จนค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับผลสมรรถนะ แล้วจึงบันทึกค่าความสูงของระดับน้ำเหนือฝายนั้น และกระทำเช่นนี้สำหรับทุกสถานะ



การทดสอบของทั้งสองเครื่องยนต์ ในการปรับตั้งภาระในแต่ละสภาวะการทดสอบความทนทานจะใช้ค่าความสูงระดับน้ำนี้ในการอ้างอิง โดยปรับวาล์วจนระดับความสูงได้ดังที่จุดไว้ และปรับคันเร่งจนได้ความเร็ว 2400 รอบต่อนาที

### 3.5.2.4 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงการทดสอบความทนทาน

การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง จะนำถังก้ำมันเชื้อเพลิงวางไว้บนตาชั่ง ซึ่งตาชั่งสามารถรับน้ำหนักได้ 60 กิโลกรัม มีความละเอียด 2 กรัม และใช้นาฬิกาจับเวลาของน้ำหนักเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 3-25 และรายละเอียดของตาชั่งดังแสดงในตารางที่ 3-6



รูปที่ 3-25 แสดงอุปกรณ์การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 3-6 แสดงข้อมูลเทคนิคของตาชั่งที่ใช้วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

Model	JADEVER JWA - 60K
Capacity	60 kg
Resolution	2 g
Internal Resolution	1/600000
Sensitivity Drift	20 ppm / °C (5 – 35 °C )
Operating Temperature	-5 °C – 40 °C
Display	LCD with backlight, 7 digits
Power	110, 120, 220, 240VAC±10%



### 3.5.2.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด type K (Chromel-Alumel, CA) ชุดเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ โดยใช้งานร่วมกับตัวอ่านค่ายี่ห้อ DIGICON รุ่น IS-7 โดยตัวแปรอุณหภูมิการทำงาน ที่ทำการวัดมีดังนี้

- อุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าท่อไอเสียบริเวณก่อนเข้ากรองอากาศ
- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น
- อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น
- อุณหภูมิไอเสีย
- อุณหภูมิเชื้อเพลิง (เฉพาะสำหรับน้ำมันปาล์มดิบ)

### 3.5.2.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Conditions)

ระหว่างการทดสอบสมรรถนะได้ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของบรรยากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งแบบปรอทตามลำดับ ส่วนความดันบรรยากาศ วัดโดยใช้บารอมิเตอร์ เช่นเดียวกับการทดสอบสมรรถนะ

### 3.5.2.7 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์

การวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ใช้อุปกรณ์วัดความเร็วรอบแบบสัมผัส ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DT-250TP ยานการวัดอยู่ที่ความเร็วรอบ 0.5-19,999 รอบต่อนาที ความละเอียดอยู่ที่ 0.1 รอบต่อนาที เมื่อยานการวัดน้อยกว่า 1,000 รอบต่อนาที และ ความละเอียดอยู่ที่ 1.0 รอบต่อนาทีเมื่อยานการวัดมากกว่า 1,000 รอบต่อนาที ความเที่ยงตรงอยู่ที่ ร้อยละ 0.05 ดังแสดงในรูปที่ 3-26



รูปที่ 3-26 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์

### 3.5.2.8 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ (Opacimeter)

ในการทดสอบความทันทานได้ใช้ Opacimeter ในการวัดค่าควันดำโดยอุปกรณ์นี้มีส่วนประกอบสองส่วนหลัก คือ

- I. ตัวเก็บตัวอย่างควันดำ (Collector) เป็นของยี่ห้อ BOSCH รุ่น RTM430 ดังแสดงในรูปที่ 3-27 สำหรับดูดควันเข้าไปเพื่อทำการส่องแสงผ่านเพื่อให้ได้ค่า

การดูดกลืนแสงในอากาศที่ผสมกับควันดำนั้นแล้วส่งค่าออกไปยังตัวอ่านค่าต่อไป

- II. ตัวอ่านค่าควันดำ (Reader) เป็นของยี่ห้อ BOSCH รุ่น BEA150-EU ดังแสดงในรูปที่ 3-28 แสดงผลเป็นค่า k หรือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับแสง (Coefficient of light absorption,  $m^{-1}$ ) ซึ่งสามารถแปลงเป็นค่า BOSCH SMOKE NUMBER ได้



รูปที่ 3-27 แสดงตัวเก็บตัวอย่างควันดำ (ภาพถ่าย) แสดง BOSCH รุ่น RTM430 และ (ภาพขวา) แสดงหัวดูดควันดำของ BOSCH รุ่น RTM430

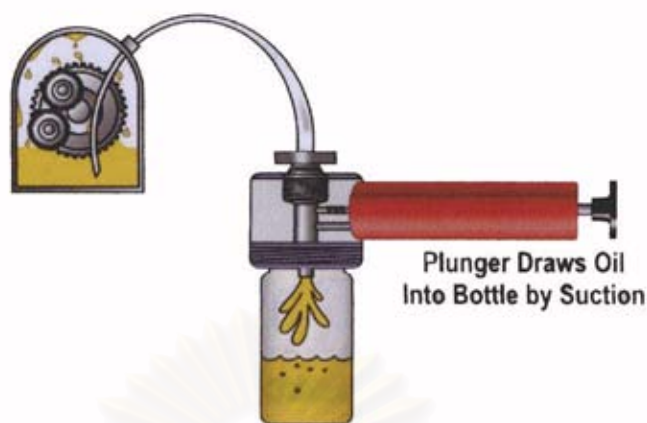


รูปที่ 3-28 แสดงตัวอ่านค่าควันดำ BOSCH รุ่น BEA150-EU

### 3.6 การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ถูกควบคุมคุณภาพโดยนำมาจากการผลิตครั้งเดียวกัน เพื่อควบคุมตัวแปรที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำมันหล่อลื่น พร้อมทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใหม่เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเปรียบเทียบ

การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น จะทำการสุ่มตัวอย่างโดยการดูดจากอ่างน้ำมันหล่อลื่นผ่านทางช่องเสียบก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น ด้วยอุปกรณ์เฉพาะทาง ดังแสดงในรูปที่ 3-29 การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจะทำในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบเดินเบา (ประมาณ 1000 รอบต่อนาที) ที่อุณหภูมิการทำงานปกติของเครื่องยนต์



รูปที่ 3-29 แสดงอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

โดยในแต่ละครั้งจะทำการดูดตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากการสูมน้ำมันจะทำการเติมน้ำมันใหม่กลับคืนในปริมาณที่เท่ากับการสูม

การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นจะทำการเปลี่ยนถ่าย 5 ครั้ง ที่หลังจากผ่านการ Run-in เป็นเวลา 20 ชั่วโมง หลังการทดสอบสมรรถนะ หลังผ่านการใช้งาน 100 ชั่วโมง (ชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง) หลังจากการผ่านใช้งาน 210 ชั่วโมง (อายุน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง) และ หลังจากการผ่านใช้งาน 320 ชั่วโมง (อายุน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง)

ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นทุกครั้งได้ทำการถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่เข้าไปในอ่างน้ำมันเครื่อง แล้วทำการเดินเครื่องยนต์ประมาณ 5 นาทีไม่มีภาระ แล้วทำการถ่ายน้ำมันดังกล่าวออก เพื่อทำการทำความสะอาดอ่างน้ำมันหล่อลื่นไม่ให้มีอนุภาคโลหะจากการสึกหรอของชุดน้ำมันหล่อลื่นเดิมหลงเหลืออยู่ เพื่อให้การสูมตัวอย่างในการตรวจวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นไม่เกิดผลกระทบจากช่วงการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นก่อนหน้า

โดยการถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่เข้าไปแล้วถ่ายออกดังกล่าวได้กระทำจำนวน 2 ครั้งในแต่ละการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น แล้วจึงทำการใส่น้ำมันหล่อลื่นใหม่เข้าไปสู่อ่างน้ำมันหล่อลื่นอีกครั้งหนึ่ง

ช่วงเวลาในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นและช่วงเวลาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นได้แสดงในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 แสดงระยะเวลาในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

ลำดับที่	ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ (ชั่วโมง)	ชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น (ชั่วโมง)	ครั้งที่สูมตัวอย่าง	หมายเหตุ
1.	-20	0	1.	ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นใหม่
2.	0	20	2.	
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
3.	0	0	3.	
4.	10	10	4.	
5.	25	25	5.	
6.	50	50	6.	
7.	75	75	7.	
8.	100	100	8.	
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
9.	100	0	9.	
10.	125	25	10.	
11.	150	50	11.	
12.	175	75	12.	
13.	200	100	13.	
14.	210	110	14.	เกินอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น*
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
15.	210	0	15.	
16.	235	25	16.	
17.	260	50	17.	
18.	285	75	18.	
19.	310	100	19.	
20.	320	110	20.	เกินอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น*

\* ตามข้อแนะนำของผู้ผลิต แนะนำให้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นทุก 100 ชั่วโมงทำงานของเครื่องยนต์

### 3.7 การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการวัดจากก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น (Dip-Stick Method หรือ Level-Top-Up Method) [29] เป็นการวัดระดับของน้ำมันหล่อลื่นด้วยก้านวัดระดับน้ำมัน ขณะที่เครื่องยนต์หยุดทำงานเป็นเวลานาน เพื่อให้ให้น้ำมันที่อยู่บนผนังห้องเผาไหม้และส่วนต่างๆ ไหลกลับมารวมที่อ่างน้ำมันหล่อลื่น และอุณหภูมิในการวัดต้องอยู่ที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติ

เมื่อเครื่องยนต์ผ่านการใช้งานระดับน้ำมันหล่อลื่นลดลงจากตำแหน่งที่อ้างอิงที่กำหนดไว้ จึงได้ทำการเติมน้ำมันหล่อลื่นให้ระดับน้ำมันกลับมาอยู่ตรงกับระดับอ้างอิงที่กำหนดไว้ ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่เติมเข้าไปคือปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่สูญเสียไป





## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะ

ผลจากการทดสอบสมรรถนะบนไดนาโมมิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระหว่างค่าแรงบิดเบรก อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกภายหลังทำการปรับแก้ไขค่าสำหรับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐาน อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและค่าวันดำ โดยผลการทดสอบดังกล่าวได้กระทำในกรณีที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง กรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง และกรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิง ตามวิธีทำการทดสอบที่ได้กล่าวมา ทำให้สามารถเสนอผลทางด้านสมรรถนะได้ดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

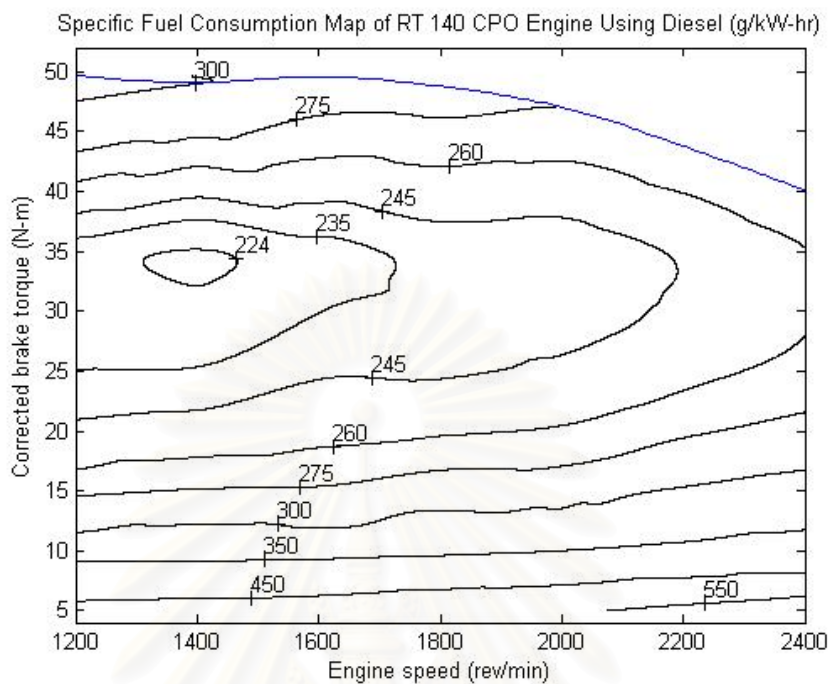
เพื่อเป็นการเปรียบเทียบลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องยนต์ทั้งสองที่ใช้ในการทดสอบสำหรับเชื้อเพลิงทางเลือกทั้งสองชนิด ให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันตลอดการทดสอบทั้งการทดสอบสมรรถนะและการทดสอบความทนทานจึงได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้งสองด้วยน้ำมันดีเซล ทำให้ได้แผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 4-1 และรูปที่ 4-2

จากแผนภูมิสมรรถนะดังแสดงในรูปที่ 4-1 และรูปที่ 4-2 จะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) ที่ค่าแรงบิดเบรกและความเร็วรอบต่างๆ กันนั้นของเครื่องยนต์ทั้งสองมีความใกล้เคียงกันทั้งลักษณะและค่าที่ได้ อาทิ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ต่ำที่สุดของทั้งสองเครื่องยนต์คือ 224 และ 225 ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่มาก อีกทั้งแรงบิดสูงสุดที่ได้ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาทีก็เท่ากันคือประมาณ 40 N-m ซึ่งจะทำให้ได้กำลังสูงสุดที่ 2400 รอบต่อนาทีเท่ากับ 14 แรงม้า หรือ 10.3 กิโลวัตต์ ตามที่ผู้ผลิตได้ระบุไว้

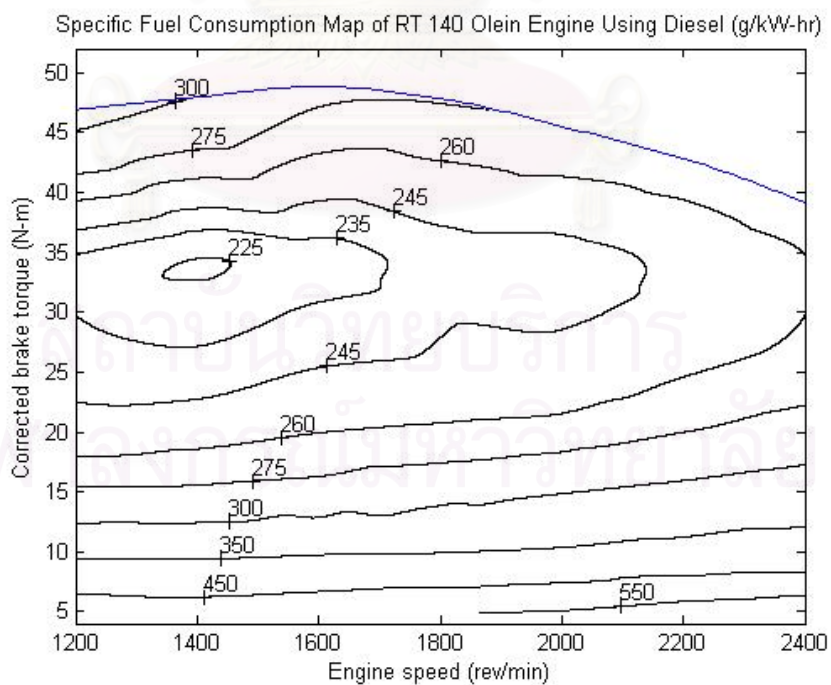
จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ทั้งสองเครื่องยนต์ที่จะนำมาทดสอบมีความใกล้เคียงกัน และนำมาเปรียบเทียบกันได้ ซึ่งจะแสดงผลด้านสมรรถนะที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อไป

##### 4.1.2 ผลของแรงบิดเบรก (Brake Torque) กับ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุด

ผลของแรงบิดเบรก (Brake Torque) กับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินเปรียบเทียบกัน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-3

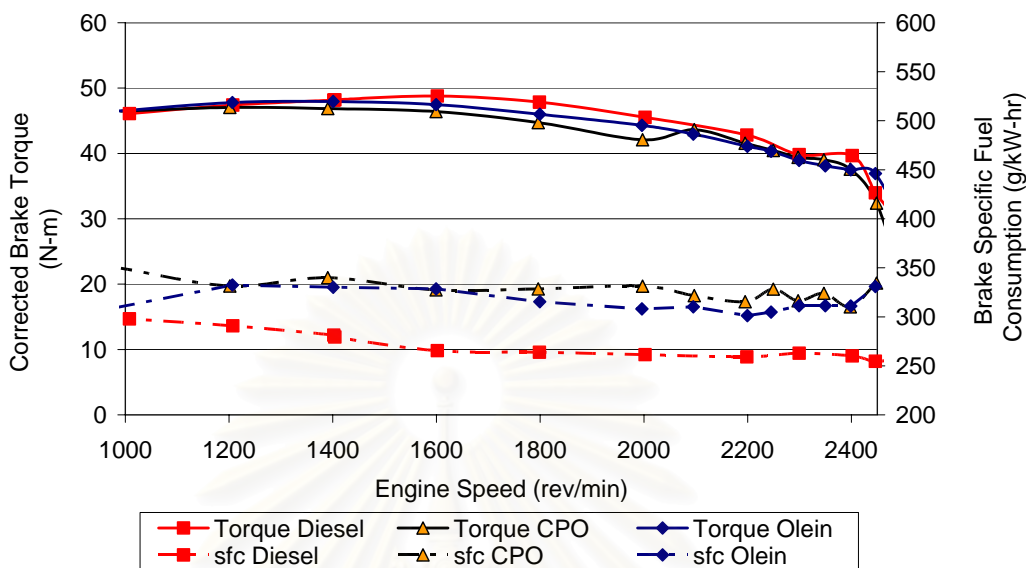


รูปที่ 4-1 แสดงแผนภูมิสมรรถนะอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) เมื่อใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ



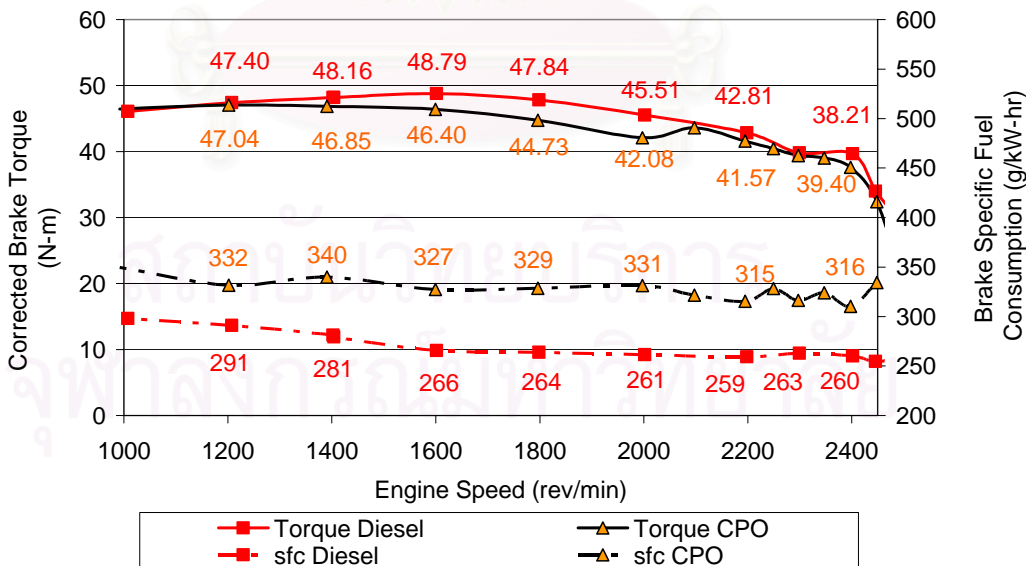
รูปที่ 4-2 แสดงแผนภูมิสมรรถนะอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) เมื่อใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีอิน

Full Load Curve of Torque and sfc with Engine Speed



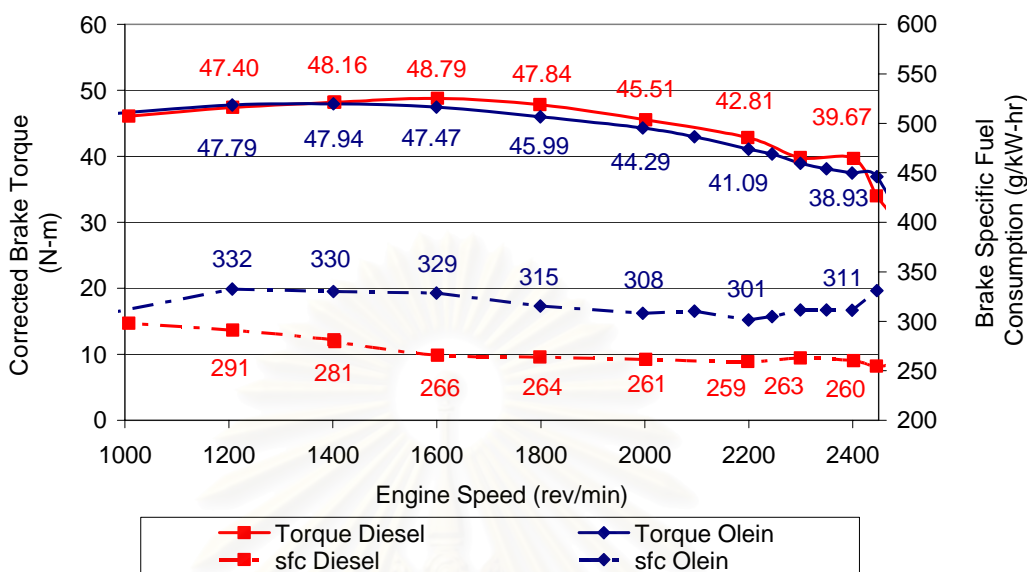
รูปที่ 4-3 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

Full Load Curve of Torque and sfc with Engine Speed



รูปที่ 4-4 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล กับน้ำมันปาล์มดิบ ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

Full Load Curve of Torque and sfc with Engine Speed



รูปที่ 4-5 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล กับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุด ที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากรูปที่ 4-3 รูปที่ 4-4 และรูปที่ 4-5 แสดงให้เห็นว่าแรงบิดเบรกที่ภาระสูงสุดที่ได้จากเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักโดยเฉพาะค่าแรงบิดเบรกที่ภาระสูงสุดที่ได้เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินกับค่าแรงบิดเบรกที่ภาระสูงสุดที่ได้จากดีเซลมีค่าเกือบเท่ากันตลอดทุกความเร็วรอบ สำหรับแรงบิดเบรกที่ภาระสูงสุดที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบจะเห็นได้ว่าในช่วงความเร็ว 1600 รอบต่อนาที ถึง 2000 รอบต่อนาที มีค่าแรงบิดเบรกที่ภาระสูงสุดนั้นต่ำกว่ากรณีใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มโอเลอิน เล็กน้อย

โดยที่ตำแหน่งแรงบิดเบรกสูงสุดที่ได้จากกรณีใช้น้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบและกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินจะเห็นได้ว่า แรงบิดเบรกสูงสุดที่น้ำมันดีเซลสามารถทำได้คือ 48.79 N-m น้ำมันปาล์มโอเลอินสามารถทำแรงบิดเบรกสูงสุดได้ 47.94 N-m ซึ่งใกล้เคียงกับดีเซลแตกต่างกันประมาณ 1.7% และสำหรับน้ำมันปาล์มดิบแรงบิดเบรกสูงสุดที่ได้คือ 47.04 N-m ซึ่งต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 3.6% แต่ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที ที่เป็นตำแหน่งกำลังสูงสุดน้ำมันทั้งสามชนิดสามารถสร้างแรงบิดเบรกได้ใกล้เคียงกันนั่นคือ น้ำมันทั้งสามสามารถให้กำลังสูงสุดได้เท่ากับที่ผู้ผลิตระบุไว้

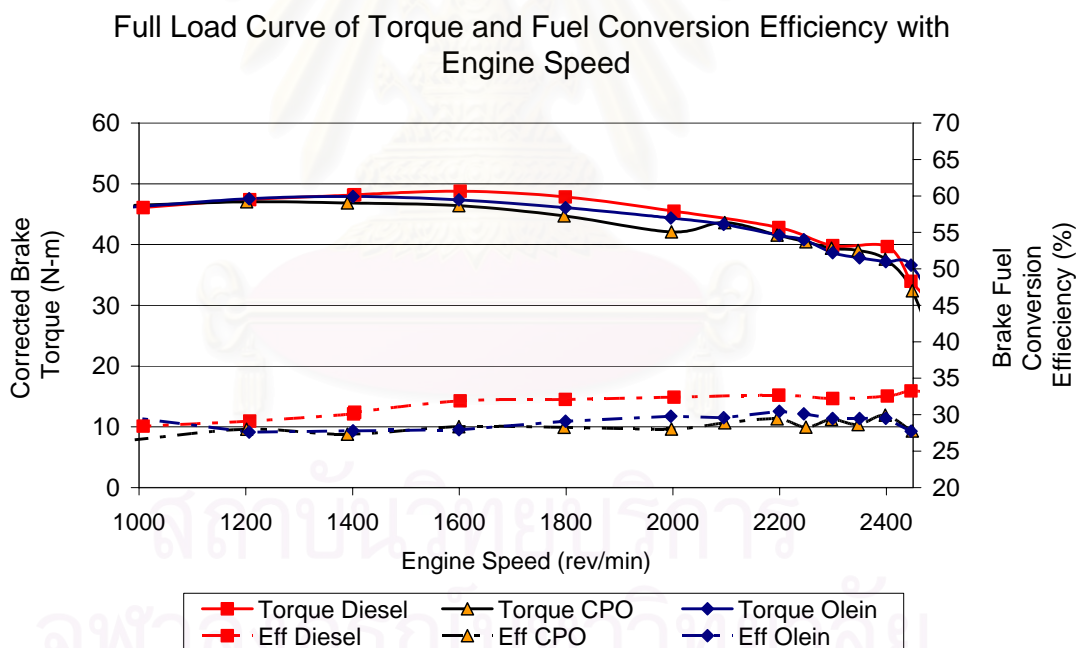
สำหรับค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าใกล้เคียงกันและจะมีค่าสูงกว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของ

กรณีการใช้ดีเซลอยู่ในช่วงประมาณ 14% ถึง 24% โดยที่อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำที่สุดอยู่ที่ความเร็วรอบ 2200 รอบต่อนาทีที่มีความแตกต่างจากดีเซลอยู่ 21.6% สำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบ และแตกต่างจากดีเซลอยู่ 16.2% สำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอเลอิน

การที่เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มทั้งสองมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่สูงกว่าดังกล่าวมาจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ต่ำกว่าของน้ำมันดีเซล ดังแสดงไว้ในบทที่ 3

#### 4.1.3 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion Efficiency) ที่สภาวะภาระสูงสุด

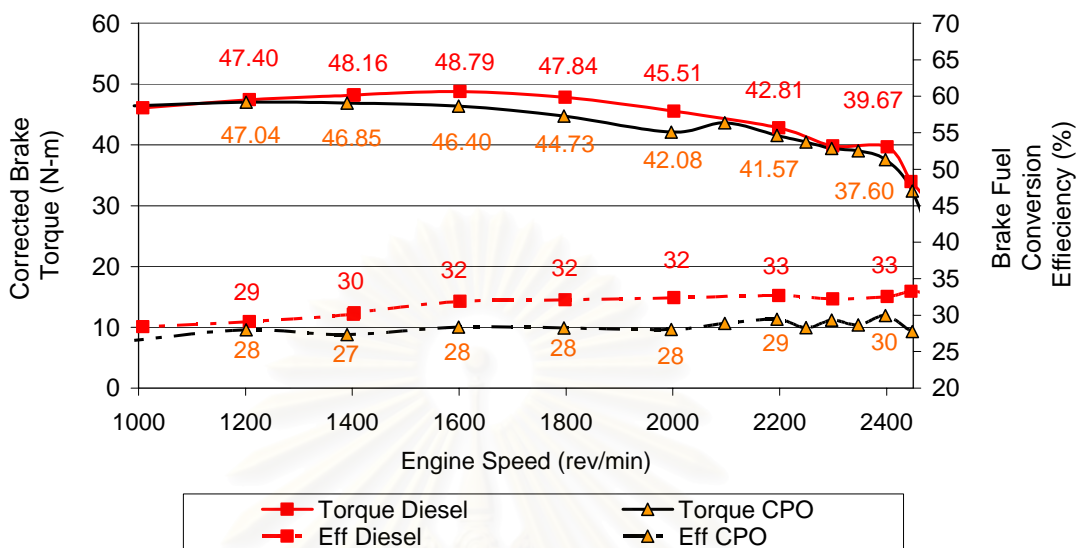
ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกเป็นค่าประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูปของพลังงานจากพลังงานที่อยู่ในตัวเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานที่ได้ออกมา ซึ่งการเปรียบเทียบค่าดังกล่าวที่ภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

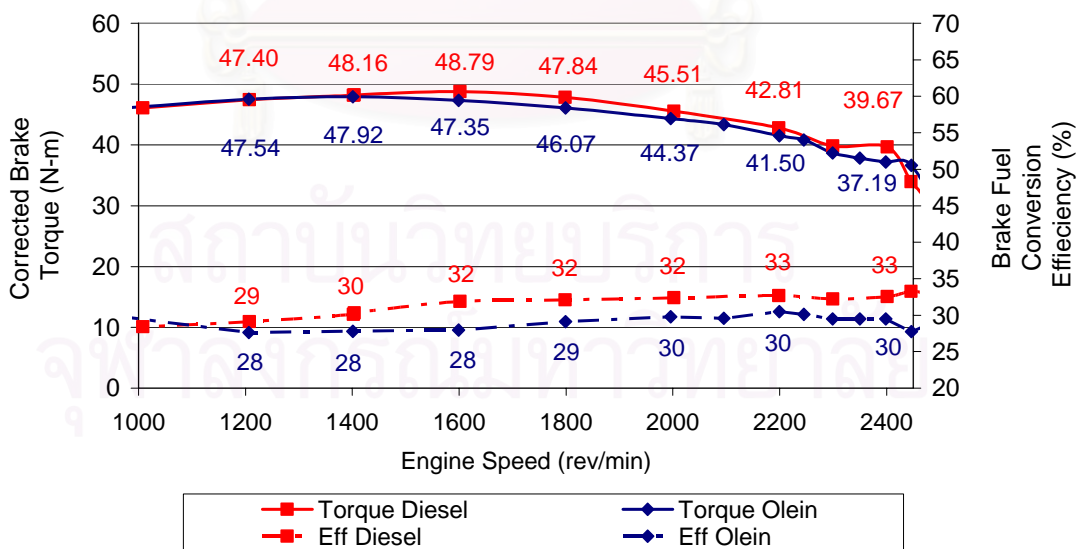


Full Load Curve of Torque and Fuel Conversion Efficiency with Engine Speed



รูปที่ 4-7 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันปาล์มดิบ ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

Full Load Curve of Torque and Fuel Conversion Efficiency with Engine Speed



รูปที่ 4-8 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากรูปที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเชื้อเพลิงกลุ่มน้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดนั้นมีลักษณะและค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าประมาณไม่เกิน 30% โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับความเร็วรอบนั้น ประสิทธิภาพจะสูงขึ้นในช่วงความเร็วรอบที่สูงขึ้นเหมือนกันทั้งสามเชื้อเพลิง แต่สำหรับดีเซลมีการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น อยู่ในอัตราที่มากกว่าอีกสองเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 4-7 และรูปที่ 4-8 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ กัน จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเชื้อเพลิงดีเซลที่ภาระสูงสุดอยู่ระหว่าง 29% ถึง 33% โดยมากกว่า 32% ตั้งแต่ความเร็วรอบที่สูงกว่า 1600 รอบต่อนาทีเป็นต้นไป

สำหรับค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของน้ำมันปาล์มดิบประมาณ 27% ถึง 30% และค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของน้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ประมาณ 28% ถึง 30% เช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สูงที่สุดนั้นต่ำกว่าของดีเซลอยู่ประมาณ 3%

ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าดีเซลนี้เกิดจากคุณสมบัติบางประการของเชื้อเพลิงกลุ่มน้ำมันพืชนี้ อาทิ ค่าความหนืดที่สูงกว่า ทำให้ละอองของเชื้อเพลิงภายหลังการฉีดไม่ดีเท่ากับดีเซล ซึ่งทำให้กระบวนการเผาไหม้แย่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกลดลง

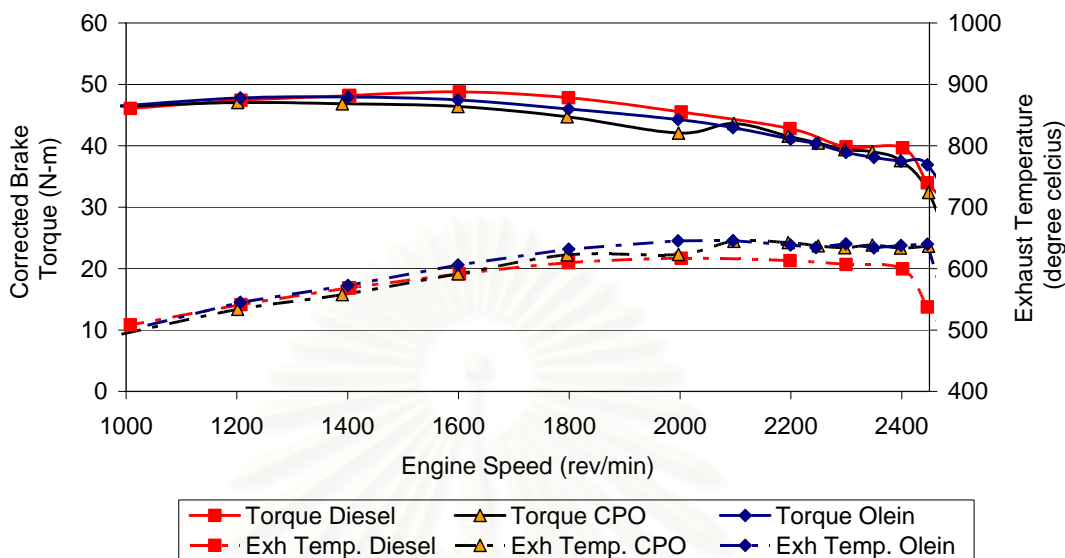
เมื่อพิจารณาร่วมกันกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่แตกต่างจากของดีเซลประมาณ 14% ถึง 24% นั้นนอกจากเกิดจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่แตกต่างแล้ว อัตราการสิ้นเปลืองดังกล่าวก็จะมาจากค่าประสิทธิภาพที่แตกต่างนี้ด้วยเช่นกัน

#### 4.1.4 อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด

อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง และ กรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 4-9

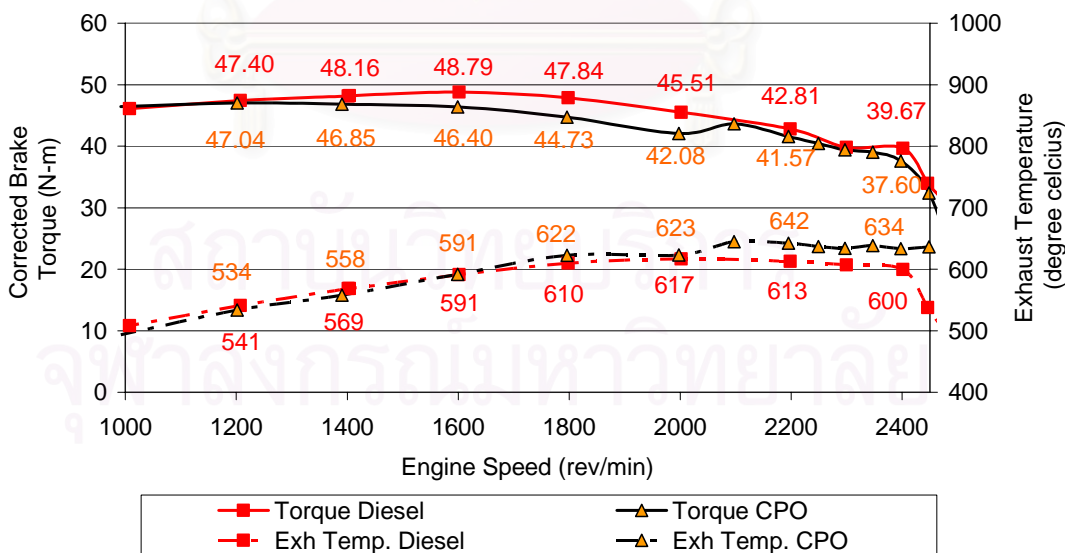
จากรูปที่ 4-9 รูปที่ 4-10 และรูปที่ 4-11 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดในช่วงความเร็วรอบต่ำประมาณไม่เกินช่วง 1600 รอบต่อนาที อุณหภูมิไอเสียดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ในช่วงความเร็วรอบที่สูงกว่าช่วงดังกล่าวพบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิมียุทธศาสตร์ของความแตกต่างที่แตกต่างกันมากขึ้น เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นแม้ว่าแรงบิดจะใกล้เคียงกันก็ตาม

Full Load Curve of Torque and Exhaust Temperature with Engine Speed

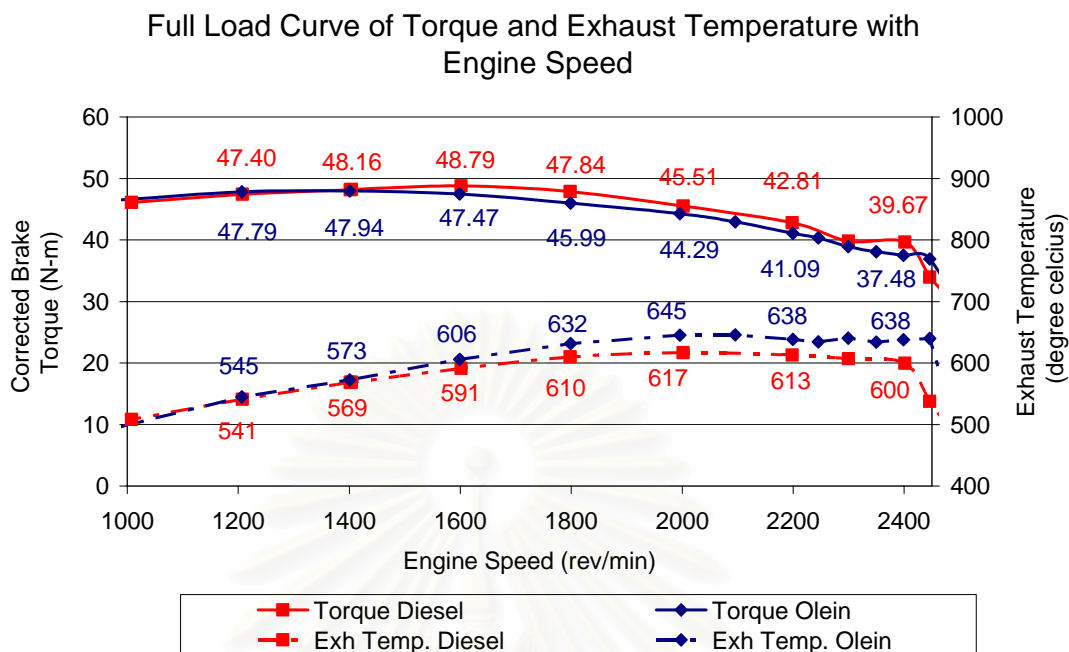


รูปที่ 4-9 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิไอเสียระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

Full Load Curve of Torque and Exhaust Temperature with Engine Speed



รูปที่ 4-10 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิไอเสียระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบ ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 4-11 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิไอเสียระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

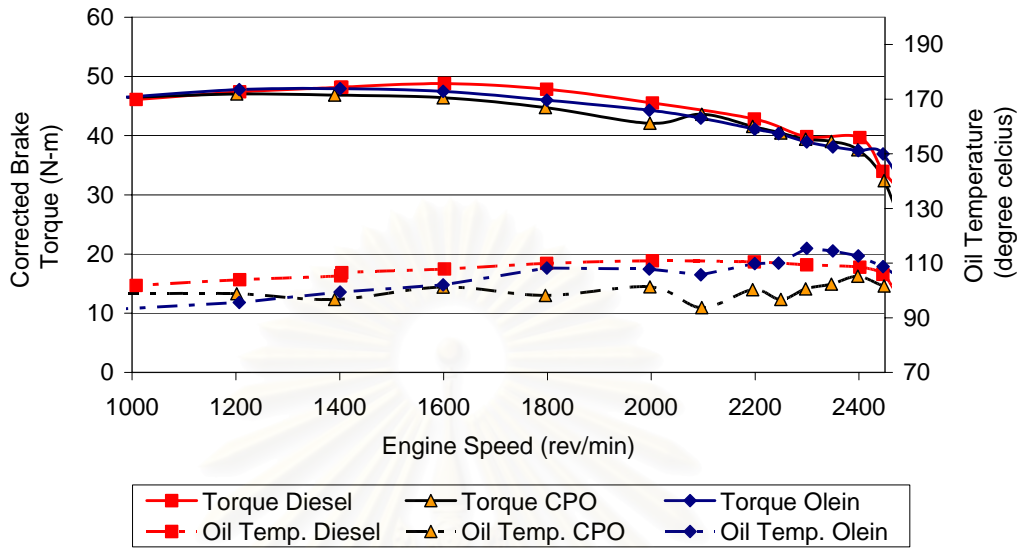
ที่ตำแหน่งที่ได้กำลังสูงสุดตามข้อกำหนดของผู้ผลิตเครื่องยนต์ โดยอุณหภูมิไอเสียของการใช้เชื้อเพลิงดีเซลมีค่าอยู่ที่ 600 °C ส่วนอุณหภูมิไอเสียของการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบและการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่า 634 °C และ 638 °C ตามลำดับซึ่งทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน และสูงกว่าของดีเซลอยู่ประมาณ 35-40 °C

สำหรับการที่อุณหภูมิไอเสียของน้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดนี้สูงกว่าอุณหภูมิไอเสียของดีเซลเมื่อแรงบิดและความเร็วรอบเท่ากันนั้น คาดว่าเกิดจากความหนืดของเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มทั้งสองมีค่าที่สูงกว่าดีเซล ซึ่งทำให้กระบวนการกลายเป็นละอองฝอยเมื่อเชื้อเพลิงถูกฉีดของการใช้น้ำมันปาล์มดิบและการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินกลายเป็นละอองที่แยกว่า ดังนั้นจึงเกิดการเผาไหม้ที่ท่อไอเสียร่วมด้วยทำให้อุณหภูมิไอเสียสูงกว่า และทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า

#### 4.1.5 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุด

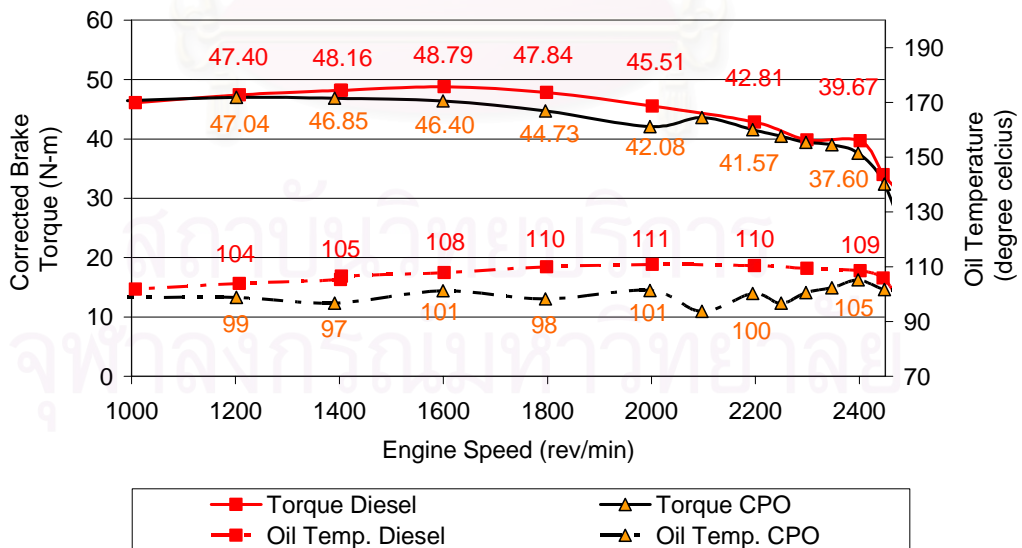
อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุดที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบและเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิง แสดงไว้ในรูปที่

Full Load Curve of Torque and Lubrication Oil Temperature with Engine Speed



รูปที่ 4-12 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

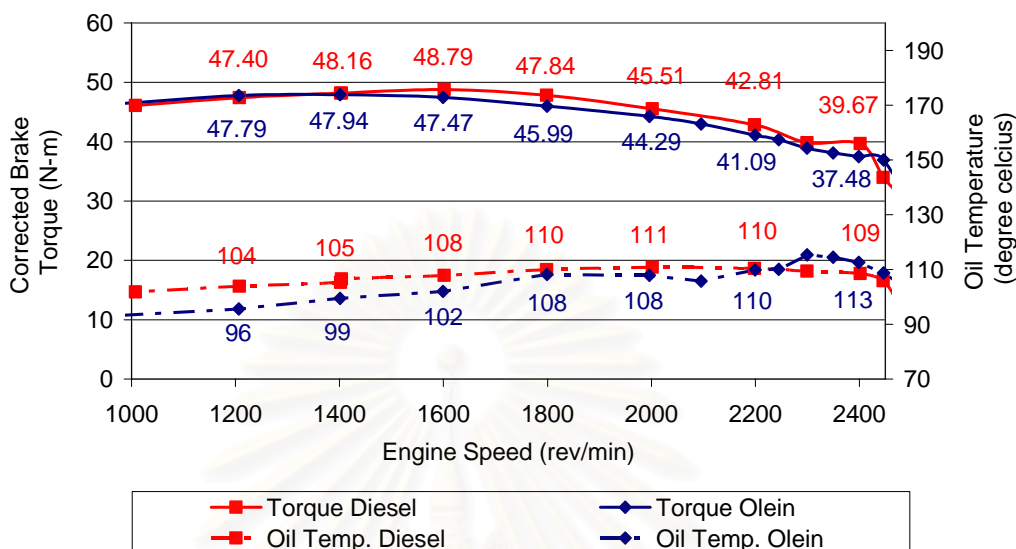
Full Load Curve of Torque and Lubrication Oil Temperature with Engine Speed



รูปที่ 4-13 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบ ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ



Full Load Curve of Torque and Lubrication Oil Temperature with Engine Speed



รูปที่ 4-14 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากรูปที่ 4-12 รูปที่ 4-13 และรูปที่ 4-14 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุดของกรณีใช้เชื้อเพลิงต่างๆ ทั้งสามชนิดแทบจะไม่มี ความแตกต่างกันของอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ  $100^{\circ}\text{C}$  ถึง  $110^{\circ}\text{C}$  และการเปลี่ยนแปลงก็เพิ่มขึ้นเมื่อกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเป็นแนวโน้มเดียวกันทั้งสามเชื้อเพลิง

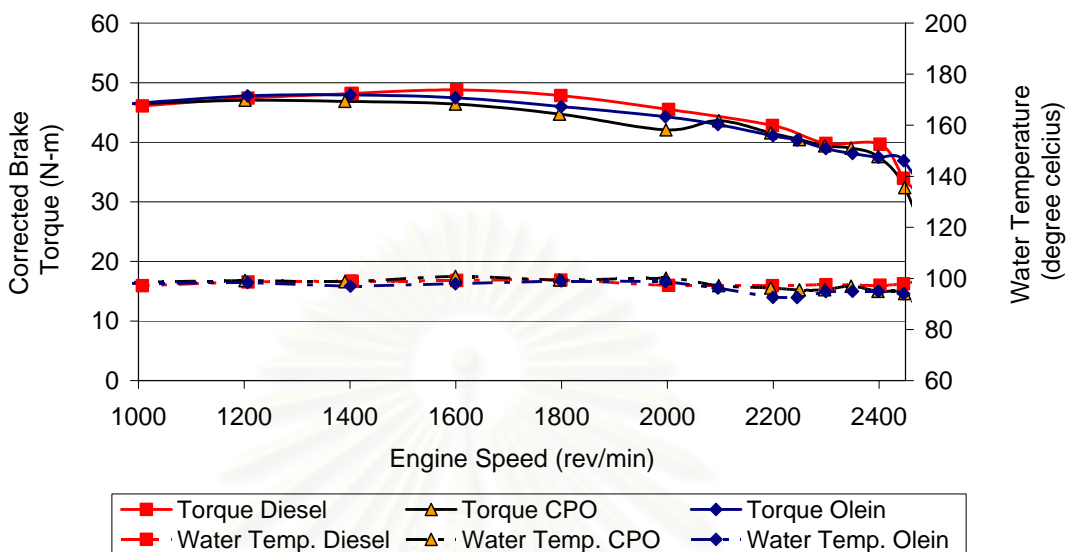
#### 4.1.6 อุณหภูมิหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุด

อุณหภูมิหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุดที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบและเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิง แสดงไว้ในรูปที่ 4-15

จาก รูปที่ 4-15 รูปที่ 4-16 และรูปที่ 4-17 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิหล่อเย็น ที่สภาวะภาระสูงสุดของกรณีใช้เชื้อเพลิงต่างๆ ทั้งสามชนิดไม่มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิเลย ซึ่งอยู่ในช่วง  $97^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ตลอดทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์

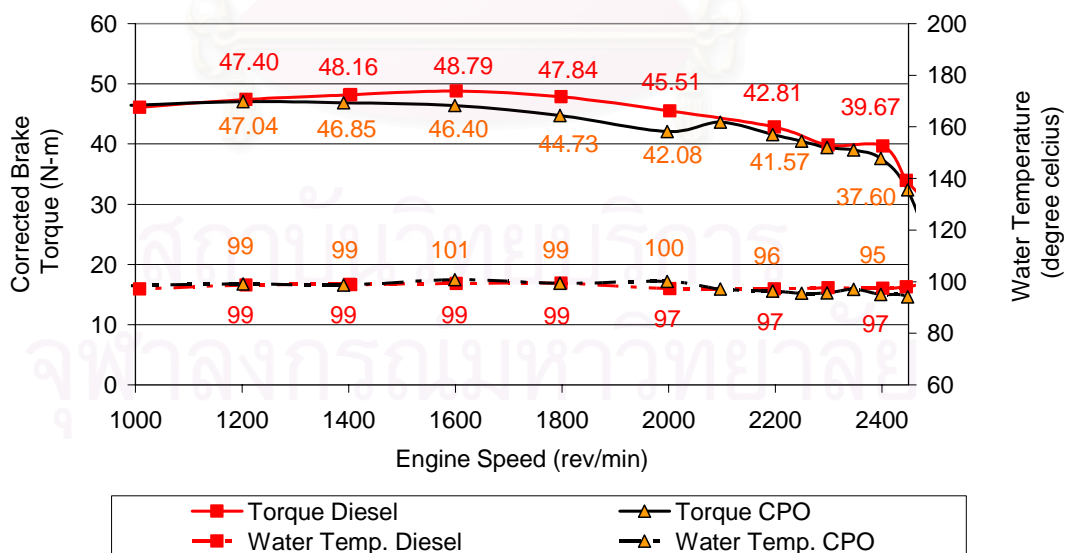
ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิของเครื่องยนต์มากนัก เนื่องจากอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นและน้ำหล่อเย็นยังใกล้เคียงกัน แสดงว่าการระบายความร้อนของเครื่องยนต์ยังสามารถควบคุมได้ปกติ

Full Load Curve of Torque and Cooling Water Temperature with Engine Speed



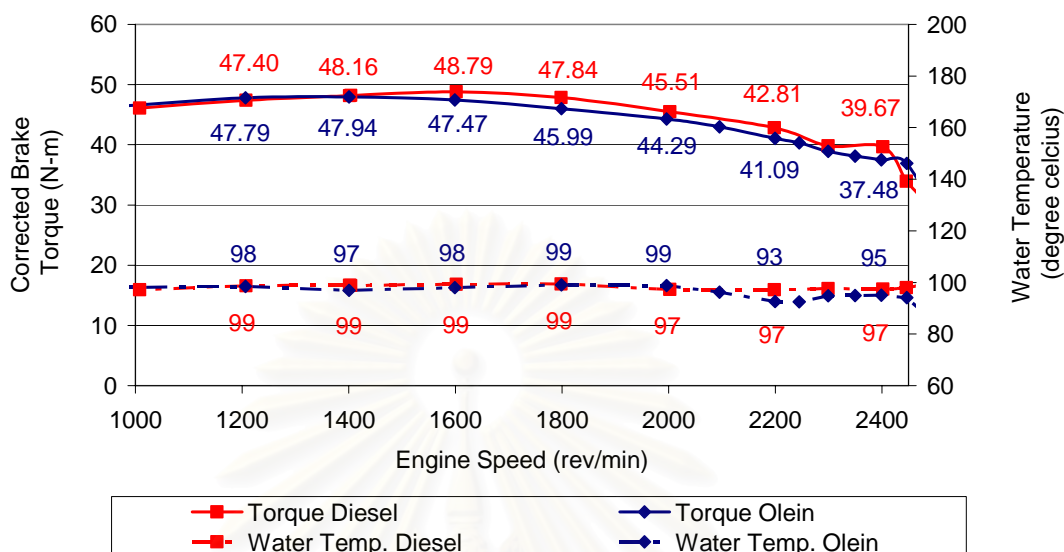
รูปที่ 4-15 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรคและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

Full Load Curve of Torque and Cooling Water Temperature with Engine Speed



รูปที่ 4-16 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบ ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

Full Load Curve of Torque and Cooling Water Temperature with Engine Speed



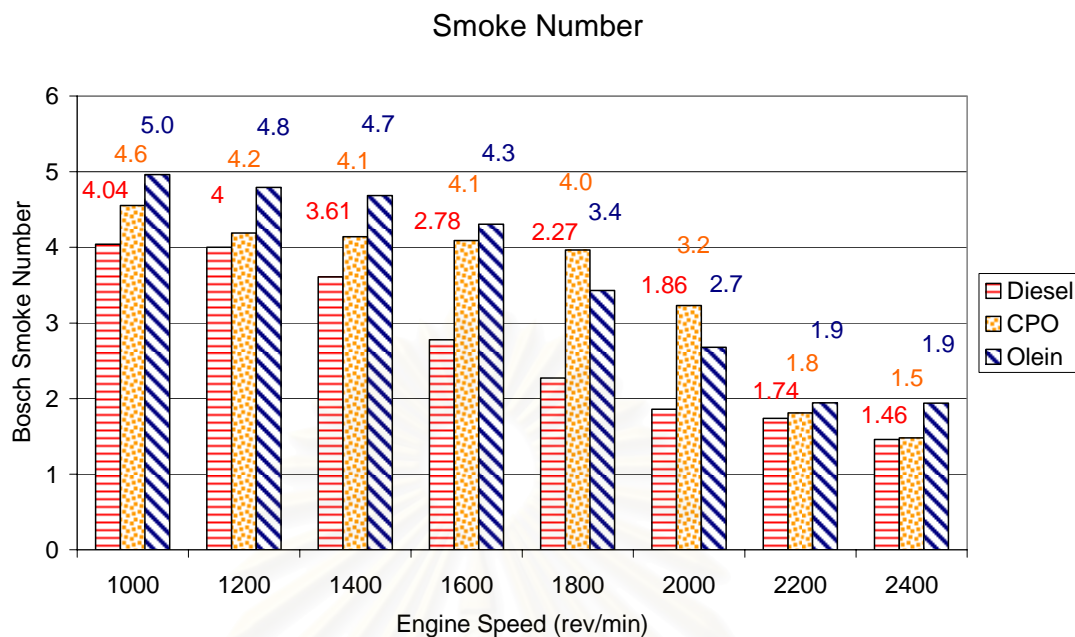
รูปที่ 4-17 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

#### 4.1.7 ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุด

ผลการวัดค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน เป็นเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 4-18

จากรูปที่ 4-18 จะเห็นได้ว่าค่าควันดำของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบ และกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่าสูงกว่ากรณีใช้ดีเซล ในทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ โดยค่าควันดำสูงที่ความเร็วรอบต่ำและค่อยๆ ลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น เป็นแนวโน้มเดียวกันทั้งสามเชื้อเพลิง โดยค่าควันดำของน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าสูงที่สุดในสามชนิดของเชื้อเพลิง ยกเว้นช่วงความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที และ 2000 รอบต่อนาที ที่ต่ำกว่าน้ำมันปาล์มดิบ

จากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ได้กล่าวไปแล้ว จะพบได้ว่าเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน มี Percent Carbon Residue สูงกว่าดีเซลซึ่งทำให้การเผาไหม้เกิดเขม่ามากกว่าทำให้ค่าควันดำที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าการใช้ดีเซล ส่วนสำหรับการเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันปาล์มโอเลอินนั้น จะพบว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงมีความใกล้เคียงกันมาก โดยค่า Percent Carbon Residue ของน้ำมันปาล์มดิบจะสูงกว่าของน้ำมันปาล์มโอเลอินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 4-18 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าควันดำ ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

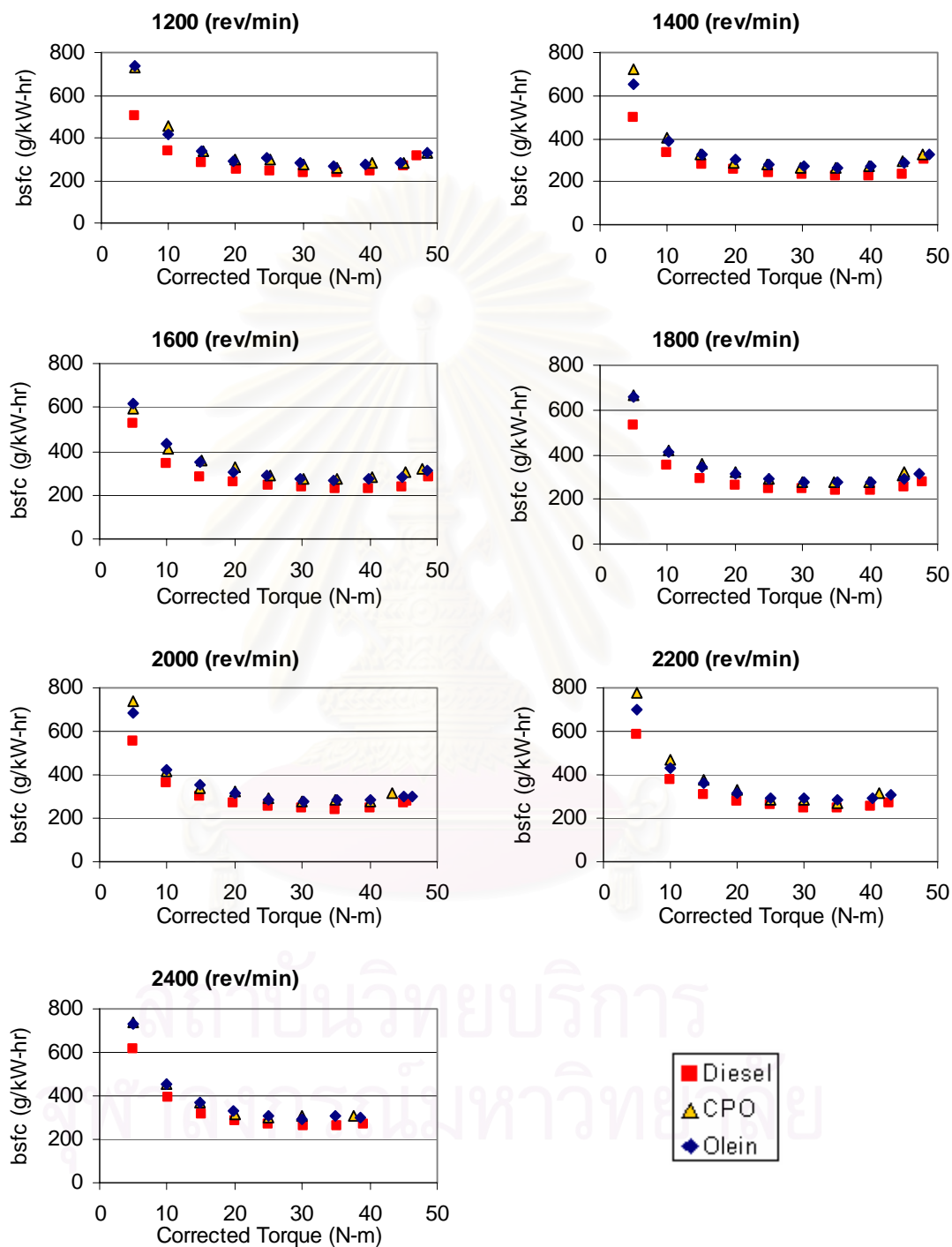
อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าค่าควันดำมีค่าสูงกว่าดีเซล แต่ก็ยังไม่เกินกว่าข้อกำหนดของผู้ผลิตในการกำหนดค่าควันดำของเครื่องยนต์ใหม่ ซึ่งต้องไม่เกิน 5 นั่นคือการเปลี่ยนเชื้อเพลิงมาเป็นน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินก็สามารถใช้ทดแทนดีเซลได้โดยไม่มีปัญหาในเรื่องข้อกำหนดควันดำ

#### 4.1.8 ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน

อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกในสภาวะบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิง ในแต่ละความเร็วรอบ โดยความสัมพันธ์ที่แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเปรียบเทียบกับแรงบิดเบรก ในแต่ละความเร็วรอบคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4-19

จากรูปที่ 4-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับแรงบิด ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็น ดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบและจากการใช้

น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่าสูงกว่าค่าจากการใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจนในทุกๆ ความเร็วรอบและแรงบิด



รูปที่ 4-19 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc (g/kW-hr)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบคงที่ต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน



ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบมีค่าประมาณ 261 g/kW-hr เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1400 รอบต่อนาที ที่แรงบิดเบรกประมาณ 35 N-m ส่วนค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าประมาณ 262 g/kW-hr เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1400 รอบต่อนาที ที่แรงบิดเบรกประมาณ 35 N-m ซึ่งค่าทั้งสองมีความใกล้เคียงกันอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สำหรับดีเซลค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมีค่าประมาณ 226 g/kW-hr เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1400 รอบต่อนาที ที่แรงบิดเบรกประมาณ 40 N-m

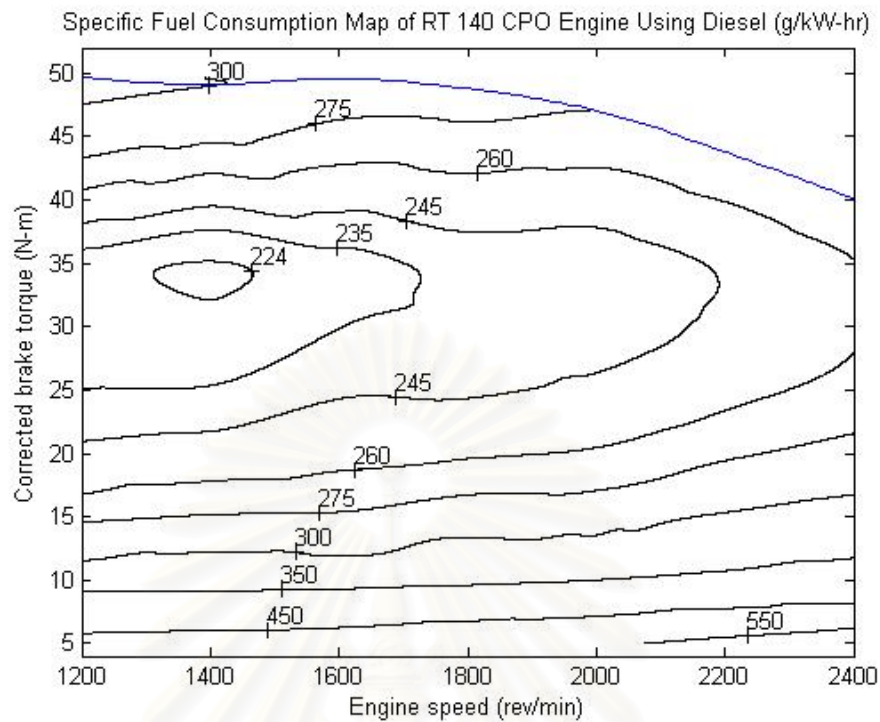
น้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดมีค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดสูงกว่าของดีเซลประมาณ 16 % ส่วนค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกในแต่ละจุดทดสอบอื่นๆ พบว่ามีแนวโน้มเดียวกันทั้งหมดคือน้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดมีค่าสูงกว่าดีเซลอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5% ถึง 45% เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบ และแรงบิดเดียวกัน โดยความแตกต่างของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่มีความแตกต่างมากถึง 45 % นั้นเป็นค่าที่เกิดในช่วงแรงบิดเบรกต่ำช่วง 0-10 N-m ซึ่งหากตัดข้อมูลส่วนดังกล่าวออกไป ความแตกต่างของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเมื่อเปรียบเทียบกับดีเซล จะอยู่ในช่วงประมาณ 5% ถึง 25% เท่านั้น และเป็นแนวโน้มเดียวกันทั้งน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน

#### 4.1.9 แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

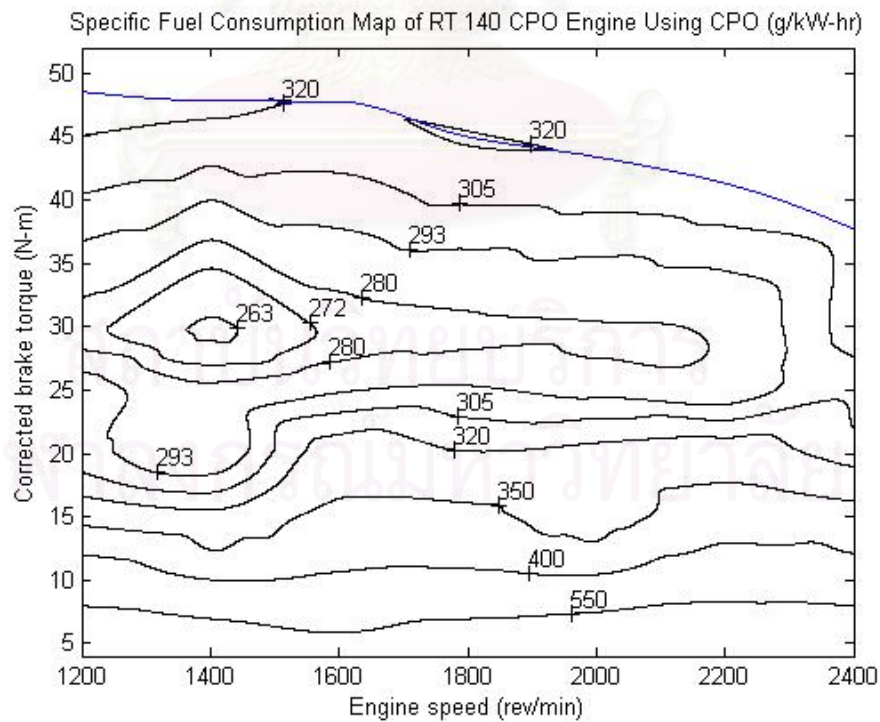
จากค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ภาวะสูงสุด และที่ภาวะบางส่วนทำให้สามารถนำมาสร้างแผนภูมิสมรรถนะของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของการใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน แต่ละชนิดออกมาได้

โดยรูปที่ 4-20 และรูปที่ 4-21 แสดงแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ

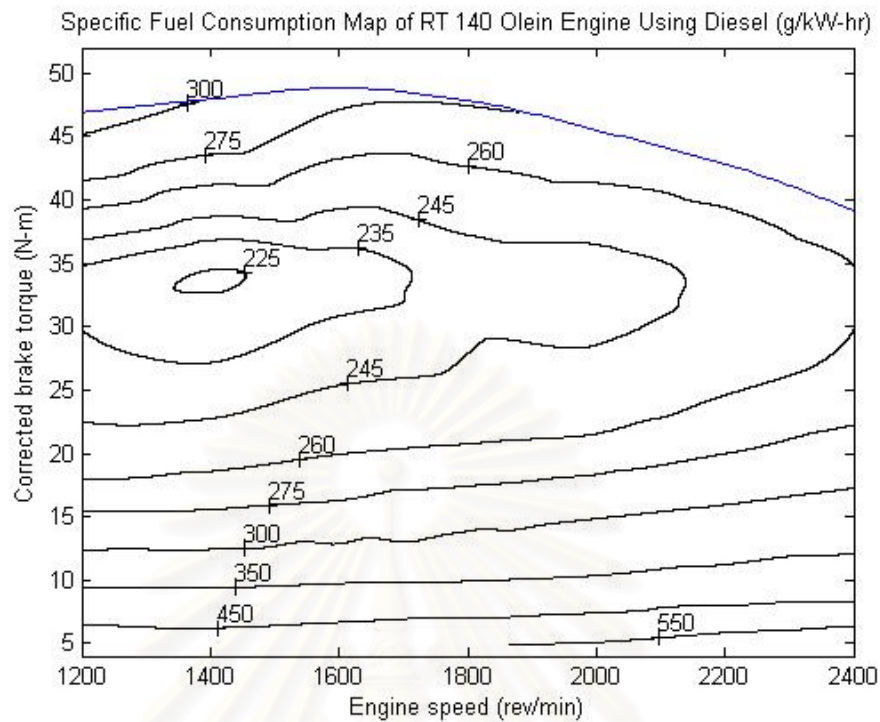
ส่วนรูปที่ 4-22 และรูปที่ 4-23 แสดงแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ตามลำดับ



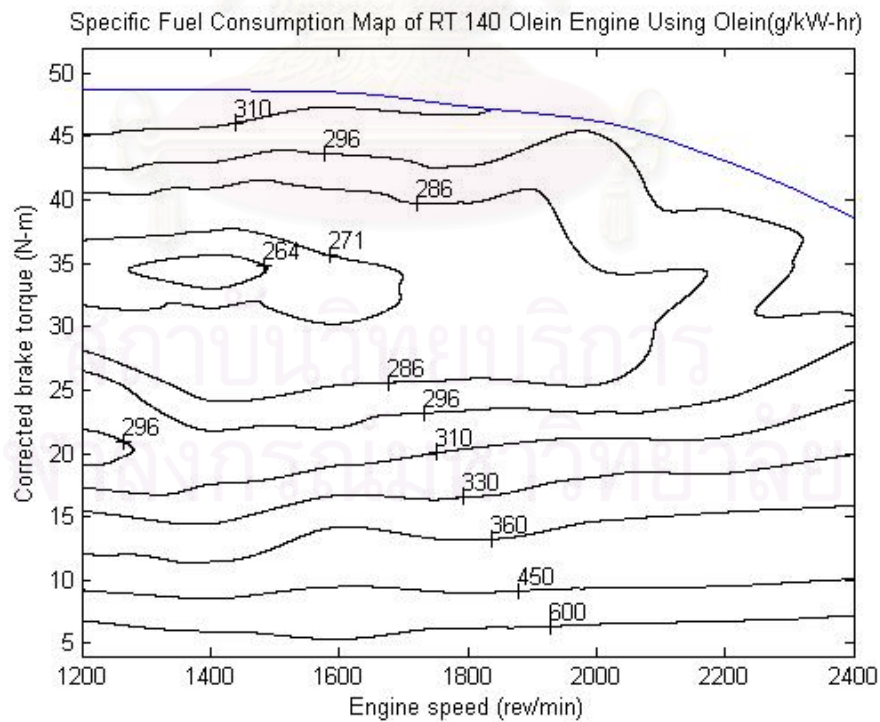
รูปที่ 4-20 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบ ความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล



รูปที่ 4-21 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบ ความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-22 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล



รูปที่ 4-23 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น

จากแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะในรูปที่ 4-20 และรูปที่ 4-21 จะเห็นความแตกต่างของผลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ เปรียบเทียบกับการใช้ดีเซล โดยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ต่ำที่สุดอยู่ในย่านความเร็ว 1400 รอบต่อนาทีที่แรงบิดอยู่ในช่วง 30-35 N-m สำหรับการใช้ดีเซล และสำหรับการใช้น้ำมันปาล์มดิบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ต่ำที่สุดอยู่ในย่านความเร็ว 1400 รอบต่อนาที ที่แรงบิดช่วง 30 N-m โดยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุดของสมรรถนะจากการใช้น้ำมันดีเซลเป็น 224 g/kW-hr และจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็น 263 g/kW-hr ที่ตำแหน่งดังกล่าว โดยแตกต่างกันอยู่ประมาณ 17% โดยลักษณะการเพิ่มขึ้นเป็นในแนวโน้มออกจากจุดต่ำสุดเป็นวงออกไปคล้ายคลึงกันทั้งของดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบ

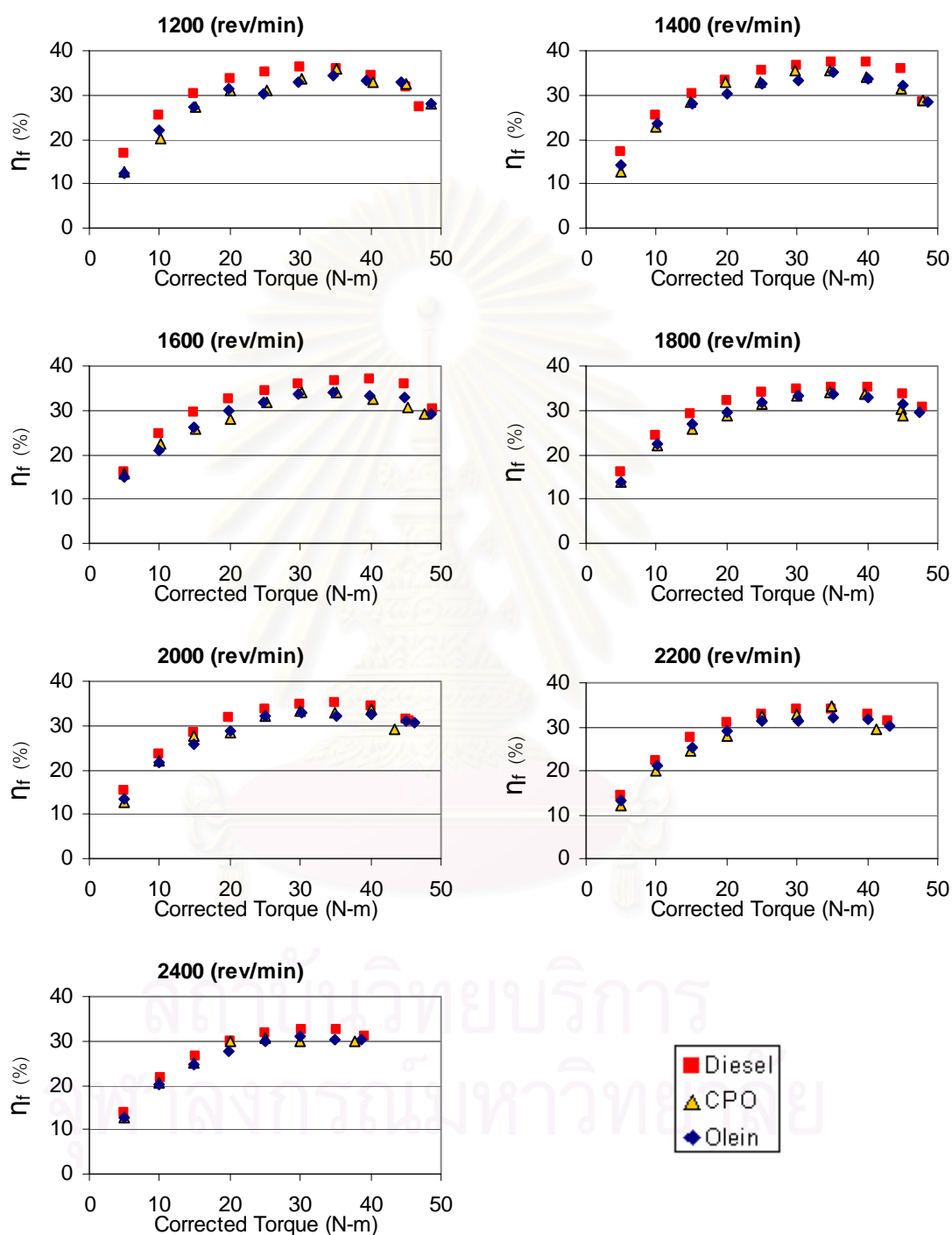
จากแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะในรูปที่ 4-22 และรูปที่ 4-23 จะเห็นความแตกต่างของผลจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบกับการใช้ดีเซล โดยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ต่ำที่สุดอยู่ในย่านความเร็ว 1400 รอบต่อนาทีที่แรงบิดอยู่ในช่วง 30 - 35 N-m ซึ่งเหมือนกันทั้งของดีเซลและน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยอัตราสิ้นเปลืองจำเพาะต่ำสุดของสมรรถนะจากการใช้น้ำมันดีเซลเป็น 225 g/kW-hr และจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็น 264 g/kW-hr โดยแตกต่างกันอยู่ประมาณ 17% โดยลักษณะการเพิ่มขึ้นเป็นในแนวโน้มออกจากจุดต่ำสุดเป็นวงออกไปคล้ายคลึงกันทั้งของดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน เช่นกันกับน้ำมันปาล์มดิบ

จากแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะในรูปที่ 4-21 และรูปที่ 4-23 จะเห็นความคล้ายคลึงและความแตกต่างของผลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน ได้โดยลักษณะของแผนภูมิที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากคือ มีจุดต่ำสุดของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและเพิ่มขึ้นออกไปเป็นวง โดยที่ช่วงแรงบิดต่ำลงมาเล็กน้อยจากตำแหน่งวงต่ำสุดที่ความเร็ว 1400 รอบต่อนาทีที่มีลักษณะของวงในแผนภูมิเว้าลงมาคล้ายคลึงกัน แม้ว่าของน้ำมันปาล์มโอเลอินจะเห็นได้ไม่ชัดเจนเท่าก็ตาม ซึ่งแสดงให้เห็นลักษณะเฉพาะของแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของการใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองได้ อีกทั้งค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะก็มีค่าใกล้เคียงกันคือ 263 g/kW-hr และ 264 g/kW-hr สำหรับน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินตามลำดับ ส่วนในความแตกต่างระหว่างน้ำมันปาล์มทั้งสองคือตำแหน่งอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุดอยู่ที่ความเร็วเดียวกันคือ 1400 รอบต่อนาที แต่คนละย่านแรงบิดคือ ย่าน 30 N-m สำหรับน้ำมันปาล์มดิบ และ ย่าน 30 – 35 N-m สำหรับน้ำมันปาล์มโอเลอิน

#### 4.1.10 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ คงที่ สภาวะภาระบางส่วน

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกในสภาวะบางส่วนเปรียบเทียบกับระหว่าง  
การใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิง ในแต่ละความเร็วรอบ

โดยความสัมพันธ์ที่แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง  
เบรกเปรียบเทียบกับแรงบิดเบรก ในแต่ละความเร็วรอบคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4-24



รูปที่ 4-24 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ( $\eta_f$  (%)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน



จากรูปที่ 4-24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกกับแรงบิดเบรก ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็น ดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินเปรียบเทียบกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกจากการใช้น้ำมันดีเซล มีค่าสูงกว่าค่าจากการใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองชนิด อย่างชัดเจนในทุกๆ ความเร็วรอบและแรงบิด

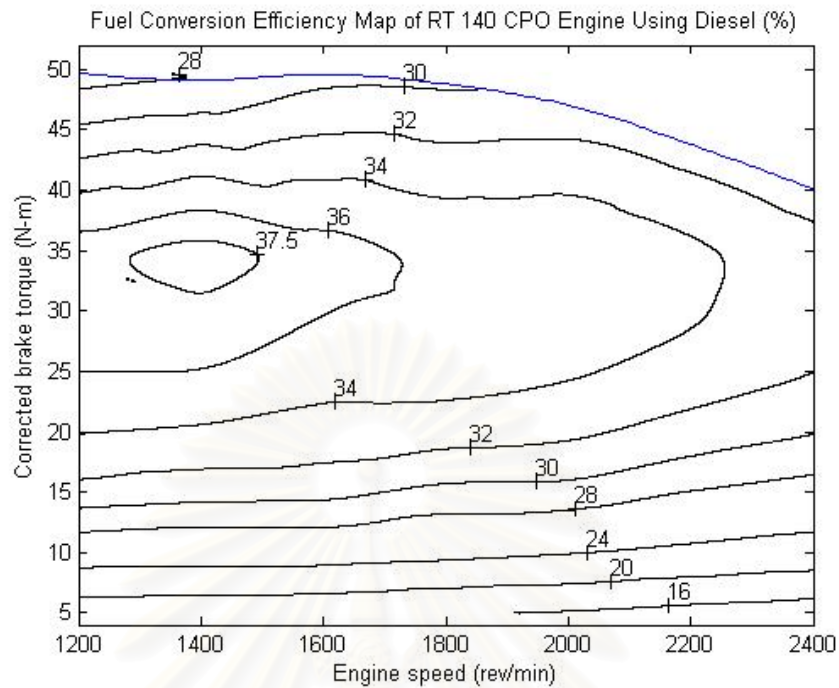
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบมีค่าประมาณ 35.5% เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1200 รอบต่อนาที และที่ 1400 รอบต่อนาที ที่แรงบิดเดียวกันคือประมาณ 35 N-m ส่วนประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าประมาณ 35% เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1400 รอบต่อนาที ที่แรงบิดประมาณ 35 N-m ซึ่งค่าทั้งสองมีความใกล้เคียงกันอย่างมาก ทั้งตำแหน่งที่เกิดและค่าประสิทธิภาพ เนื่องจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงทั้งคู่ ไม่ว่าจะเป็นค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกันและค่าความหนืดที่สูง จึงทำให้ประสิทธิภาพและอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจึงใกล้เคียงกัน สำหรับดีเซลประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดมีค่าประมาณ 37.5% เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1400 รอบต่อนาที ที่แรงบิดประมาณ 30-35 N-m

น้ำมันปาล์มทั้งสองประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สูงสุดต่ำกว่าของดีเซลประมาณ 2% ส่วนประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกในแต่ละจุดทดสอบอื่นๆ พบว่ามีแนวโน้มเดียวกันทั้งหมดคือน้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดมีค่าต่ำกว่าดีเซลอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1% ถึง 5% โดยความแตกต่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่มีความแตกต่างมากถึง 5% นั้นเป็นค่าที่เกิดในช่วงแรงบิดต่ำช่วง 0-10 N-m ซึ่งหากตัดข้อมูลส่วนดังกล่าวออกไป ความแตกต่างของประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกเมื่อเปรียบเทียบกับดีเซล จะอยู่ในช่วง 0.1% ถึง 3% เท่านั้น และเป็นแนวโน้มเดียวกันทั้งน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน

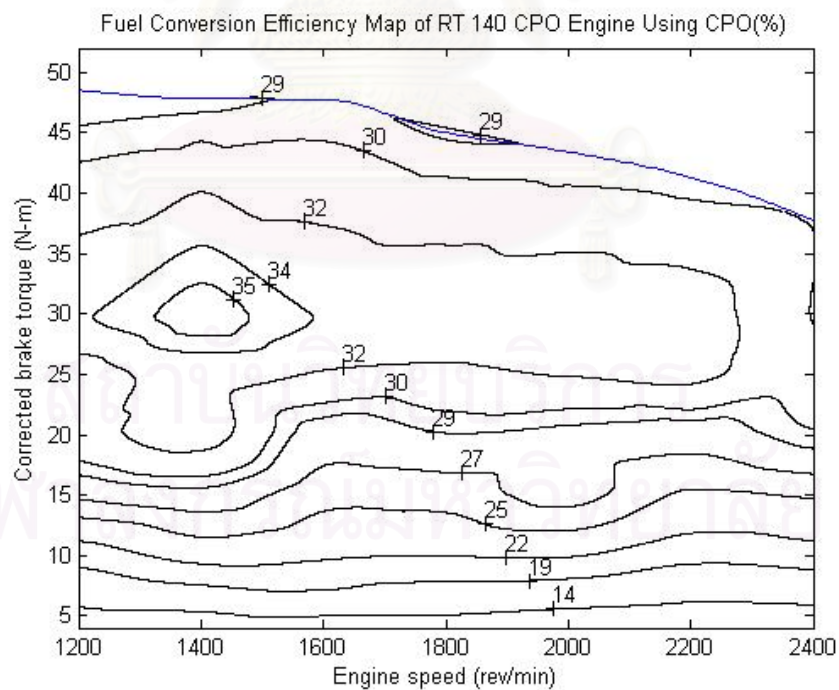
#### 4.1.11 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก

จากประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ภาระสูงสุด และที่ภาระบางส่วนทำให้สามารถนำมาสร้างแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของการใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน แต่ละชนิดออกมาได้

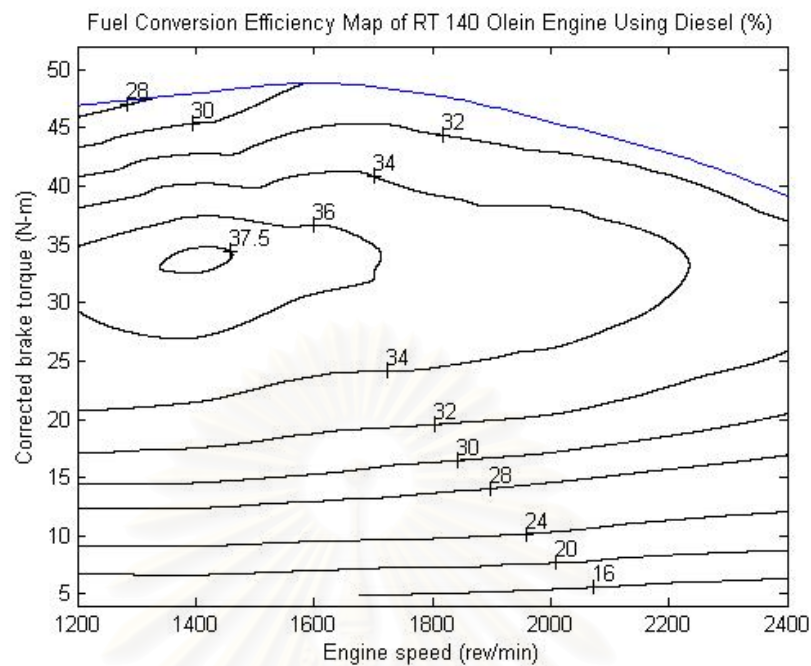
โดยรูปที่ 4-25 และรูปที่ 4-26 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ



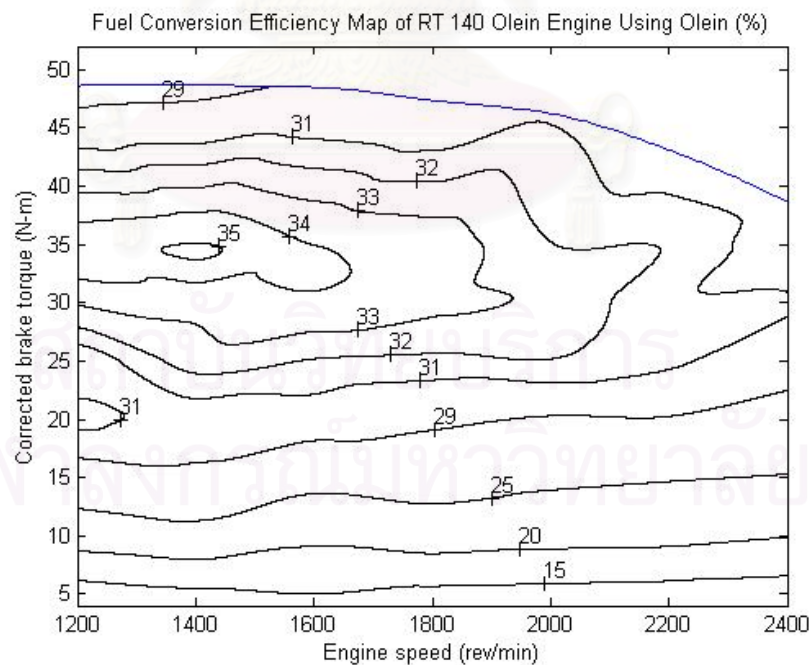
รูปที่ 4-25 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล



รูปที่ 4-26 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-27 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล



รูปที่ 4-28 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ส่วนรูปที่ 4-27 และรูปที่ 4-28 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ตามลำดับ

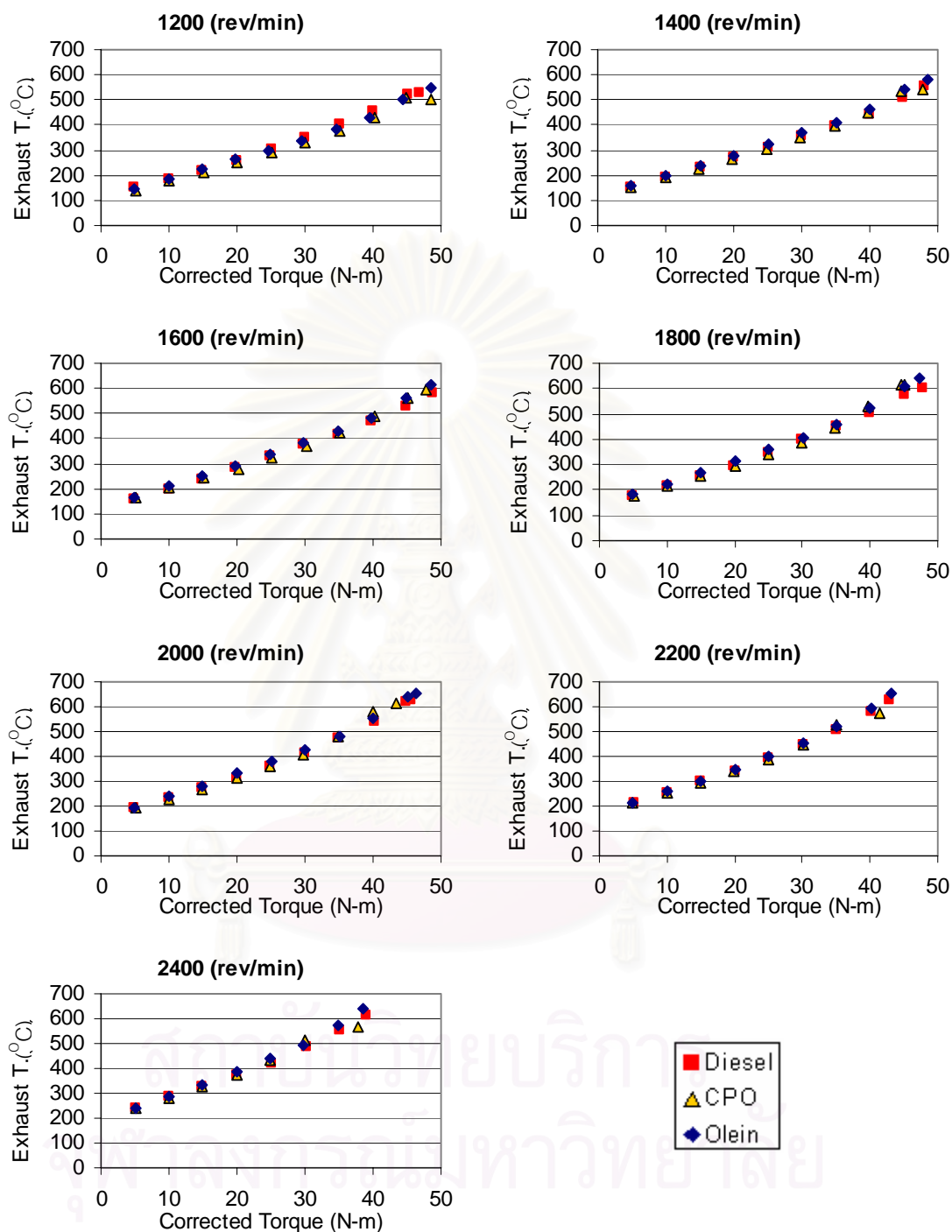
จากแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกในรูปที่ 4-25 และรูปที่ 4-26 จะเห็นความแตกต่างของผลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบเปรียบเทียบกับการใช้ดีเซล โดยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดอยู่ในย่านความเร็ว 1400 รอบต่อนาทีที่แรงบิดอยู่ในช่วง 30 - 35 N-m ซึ่งเหมือนกันทั้งของดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบ โดยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดจากการใช้น้ำมันดีเซลเป็น 37.5% และจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็น 35% โดยลักษณะการเพิ่มขึ้นเป็นในแนวโน้มออกจากจุดต่ำสุดเป็นวงออกไปคล้ายคลึงกันทั้งของดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบ

จากแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกในรูปที่ 4-27 และรูปที่ 4-28 จะเห็นความแตกต่างของผลจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบกับการใช้ดีเซล โดยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สูงสุดอยู่ในย่านความเร็ว 1400 รอบต่อนาทีที่แรงบิดอยู่ในช่วง 35 N-m สำหรับการใช้ดีเซลและสำหรับการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดจากการใช้น้ำมันดีเซลเป็น 37.5% และจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็น 35% ที่ตำแหน่งดังกล่าว โดยลักษณะการเพิ่มขึ้นเป็นในแนวโน้มออกจากจุดต่ำสุดเป็นวงออกไปคล้ายคลึงกันทั้งของดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน เช่นเดียวกันกับกรณีน้ำมันปาล์มดิบ

จากแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกในรูปที่ 4-26 และรูปที่ 4-28 จะเห็นความคล้ายคลึงและความแตกต่างของผลจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันปาล์มดิบ ได้โดยลักษณะของแผนภูมิที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากคือ มีจุดประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกและเพิ่มขึ้นออกไปเป็นวง โดยที่ช่วงแรงบิดต่ำลงมาเล็กน้อยจากตำแหน่งประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็ว 1400 รอบต่อนาที มีลักษณะของวงในแผนภูมิเว้าลงมาคล้ายคลึงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นลักษณะเฉพาะของแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของการใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองได้ อีกทั้งทั้งประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดก็ใกล้เคียงกันประมาณ 35% สำหรับน้ำมันปาล์มโอเลอิน และ น้ำมันปาล์มดิบ

ส่วนในความแตกต่างของแผนภูมินี้ระหว่างน้ำมันปาล์มทั้งสองคือตำแหน่งประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดอยู่ที่ความเร็วเดียวกันคือ 1400 รอบต่อนาที แต่คนละย่านแรงบิดคือ ย่าน 35 N-m สำหรับน้ำมันปาล์มโอเลอิน และ ย่าน 30-33 N-m สำหรับน้ำมันปาล์มดิบ

#### 4.1.12 อุณหภูมิไอเสีย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่สภาวะภาระบางส่วน



รูปที่ 4-29 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสีย ( $T_{ex}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน



อุณหภูมิไอเสียในสภาวะบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิง ในแต่ละความเร็วรอบ โดยความสัมพันธ์ที่แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิไอเสียเปรียบเทียบกับแรงบิดเบรก ในแต่ละความเร็วรอบคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4-29

จากรูปที่ 4-29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียกับแรงบิดเบรก ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็น ดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิไอเสียจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบและจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ในช่วงภาระบางส่วนนั้น บางช่วงภาระจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิจากการใช้น้ำมันดีเซล และในบางช่วงภาระจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซล

ในช่วงความเร็วต่ำ 1200 รอบต่อนาที และ 1400 รอบต่อนาทีอุณหภูมิไอเสียจากน้ำมันทั้งสามชนิดมีค่าใกล้เคียงกันในตลอดทุกช่วงแรงบิด ส่วนในช่วงความเร็วที่สูงขึ้นอุณหภูมิไอเสียในช่วงแรงบิดสูงของน้ำมันปาล์มดิบ และของน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิไอเสียของน้ำมันดีเซล โดยจะเห็นได้ชัดตั้งแต่ช่วงแรงบิดสูงคือ 40 N-m ขึ้นไป

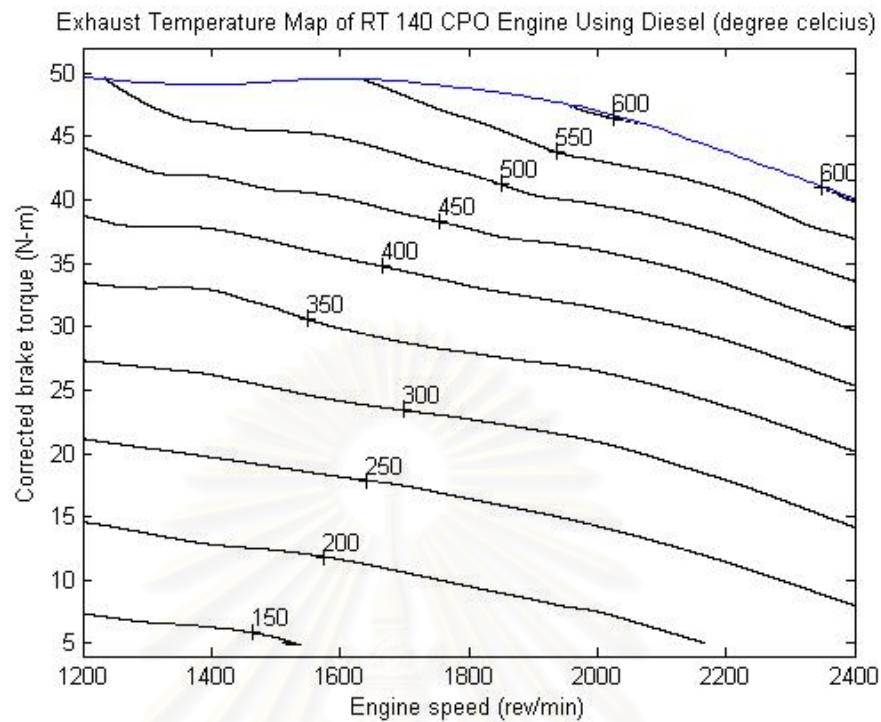
อุณหภูมิไอเสียที่สูงที่สุดของกรณีใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเท่ากับ  $629^{\circ}\text{C}$  ที่ความเร็ว 2200 รอบต่อนาที แรงบิดประมาณ 43 N-m ส่วนอุณหภูมิไอเสียที่สูงที่สุดของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงเท่ากับ  $614^{\circ}\text{C}$  ที่ความเร็ว 1800 รอบต่อนาที แรงบิดประมาณ 45 N-m อุณหภูมิไอเสียที่สูงที่สุดของกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิงเท่ากับ  $656^{\circ}\text{C}$  ที่ความเร็ว 2200 รอบต่อนาที แรงบิดประมาณ 43 N-m ตำแหน่งเดียวกันกับน้ำมันดีเซล

ส่วนต่างที่มากที่สุดของอุณหภูมิไอเสียสำหรับภาระบางส่วนอยู่ที่ 1800 รอบต่อนาทีที่แรงบิดประมาณ 45 N-m ซึ่งน้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิไอเสียเท่ากับ  $574^{\circ}\text{C}$  น้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิไอเสียอยู่ประมาณ  $614^{\circ}\text{C}$  และน้ำมันปาล์มโอเลอินมีอุณหภูมิไอเสียอยู่ประมาณ  $607^{\circ}\text{C}$  โดยส่วนต่างระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มดิบมีส่วนต่างถึง  $40^{\circ}\text{C}$  คิดเป็น 7% และส่วนต่างระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มโอเลอินมีส่วนต่างถึง  $33^{\circ}\text{C}$  คิดเป็น 5.75%

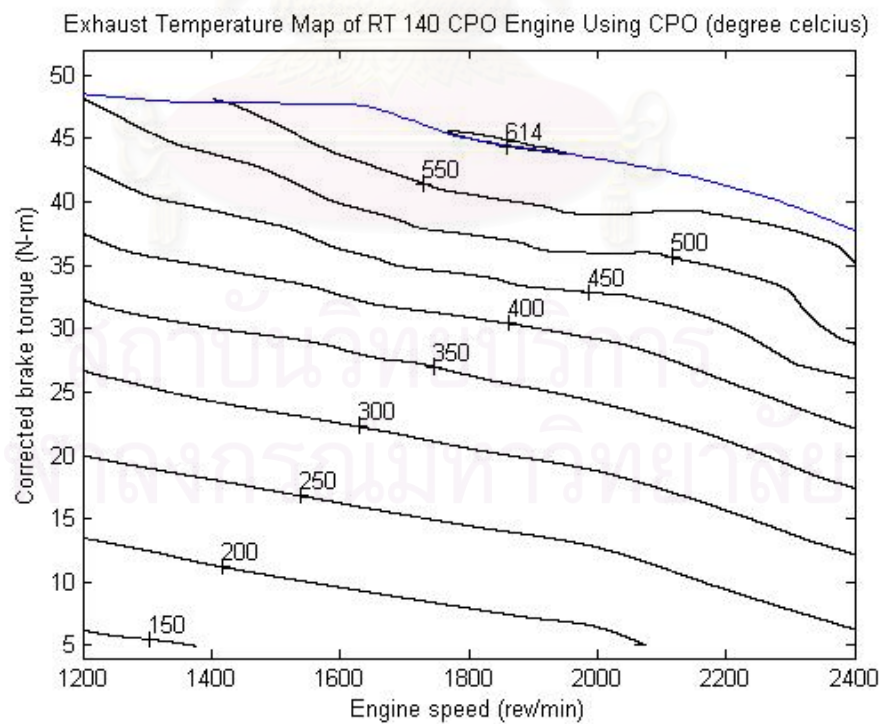
แนวโน้มของอุณหภูมิไอเสียจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินจึงเป็นแนวโน้มที่อุณหภูมิไอเสียจะสูงกว่าดีเซล เนื่องด้วยเหตุผลเกี่ยวกับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงในด้านความหนืดที่มีผลต่อการฉีดเชื้อเพลิงเช่นเดียวกันกับกรณีภาระสูงสุด

#### 4.1.13 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย

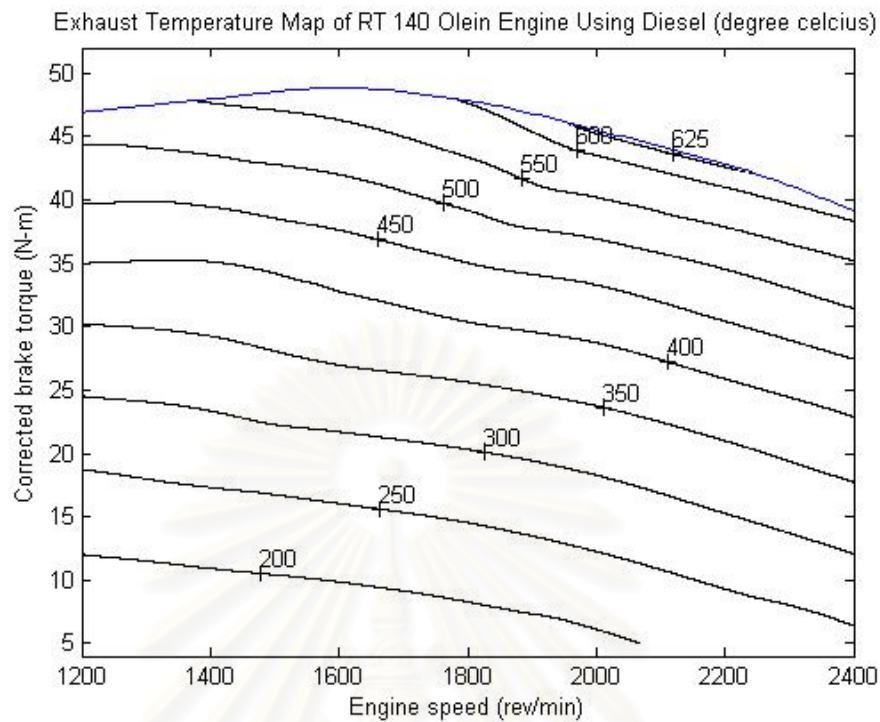
จากค่าอุณหภูมิไอเสียที่ภาระสูงสุด และที่ภาระบางส่วนทำให้สามารถนำมาสร้างแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของการใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ออกมาได้



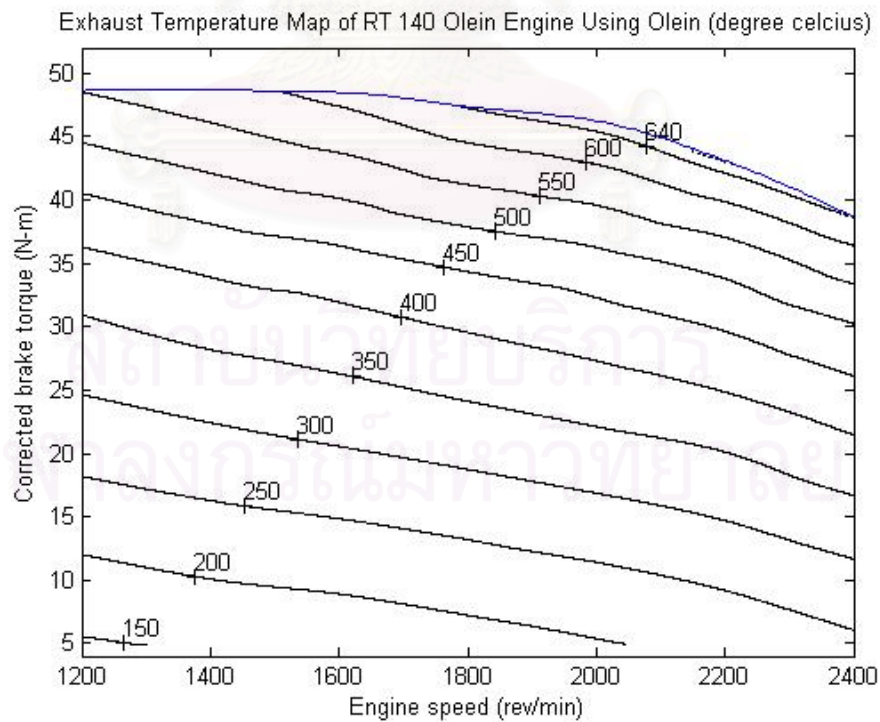
รูปที่ 4-30 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล



รูปที่ 4-31 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-32 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล



รูปที่ 4-33 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

โดยรูปที่ 4-30 และรูปที่ 4-31 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบตามลำดับ

ส่วนรูปที่ 4-32 และรูปที่ 4-33 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอินตามลำดับ

จากแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ทั้งสี่แผนภูมิจะเห็นได้ว่า แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไอเสียนั้น มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันทั้งหมด นั่นคือเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อแรงบิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเช่นกัน

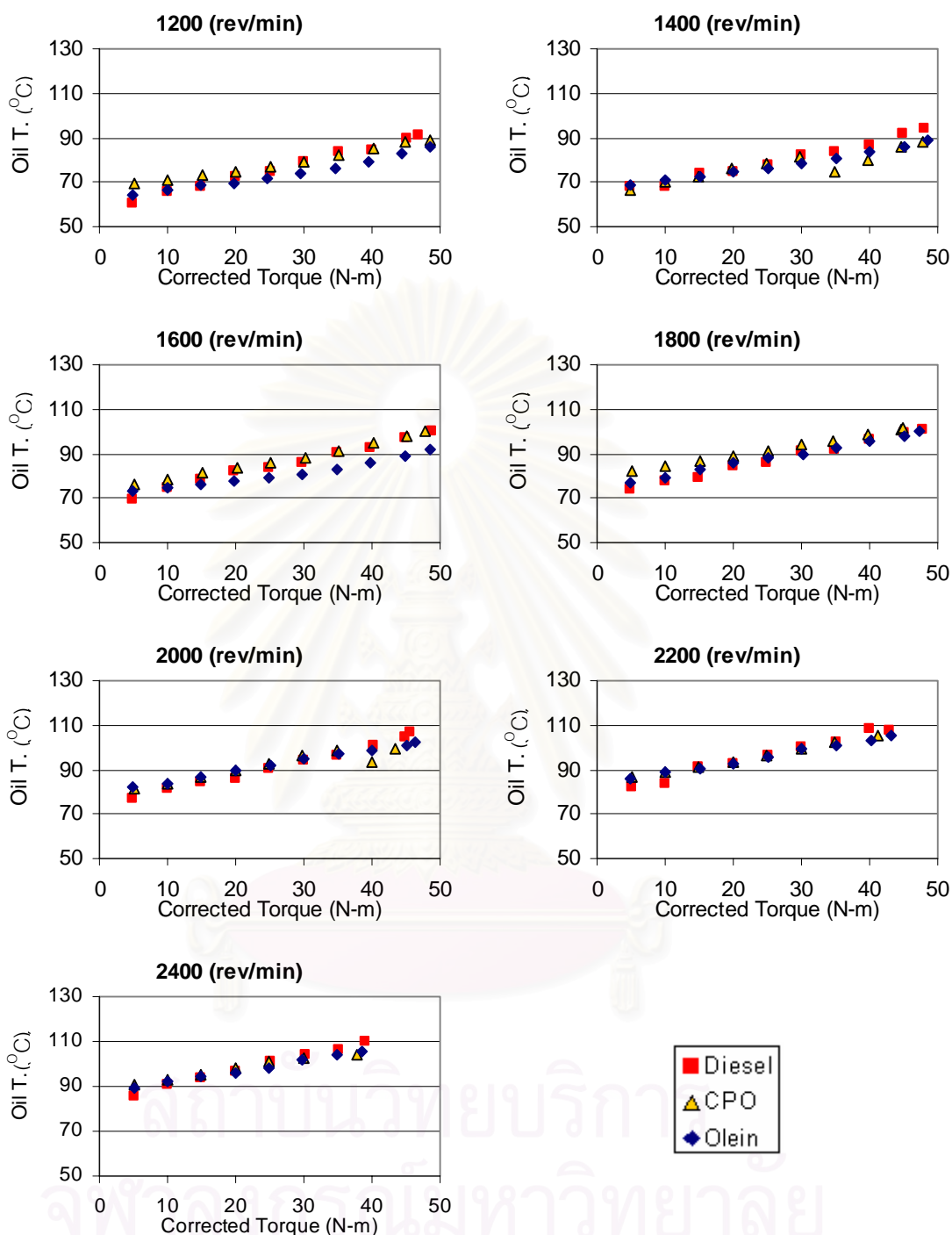
ความแตกต่างที่เห็นได้จากแผนภูมิดังกล่าวคืออุณหภูมิไอเสียช่วงที่ภาระสูงๆ เมื่อทำการใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองคือจะมีค่าสูงกว่าดีเซล โดยเฉพาะน้ำมันปาล์มโอเลอินมีอุณหภูมิไอเสียสูงถึง  $640^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก แต่หากพิจารณาที่แรงบิดและความเร็วรอบเดียวกันแล้วจะพบว่ากรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบก็ใกล้เคียงกับกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินเช่นกัน

#### 4.1.14 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่สภาวะภาระบางส่วน

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในสภาวะบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิง ในแต่ละความเร็วรอบ โดยความสัมพันธ์ที่แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นเปรียบเทียบกับแรงบิดเบรก ในแต่ละความเร็วรอบคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4-34

จากรูปที่ 4-34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นกับแรงบิดเบรก ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็น ดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบและจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินในช่วงภาระบางส่วนนั้น มีใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลแทบทั้งหมด

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดมีแนวโน้มแบบเดียวกันคือ เพิ่มขึ้นเมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้น หรือ ความเร็วเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุด  $110^{\circ}\text{C}$  ในกรณีใช้น้ำมันดีเซล อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ที่  $105^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ที่  $105^{\circ}\text{C}$  ทั้งสามกรณีเกิดที่ความเร็วรอบและแรงบิดเดียวกันคือ ความเร็ว 2400 รอบต่อนาที และแรงบิดประมาณ 38.5-39 N-m นั่นคือไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 4-34 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น (Oil T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากการที่อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเชื้อเพลิงทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับกรณีใช้ดีเซล ในขณะที่อุณหภูมิไอเสียสูงกว่า และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกวานั้นแสดงให้เห็นได้ว่า ได้



เกิดการเผาไหม้ซ้ำจนเผาไหม้ต่อในท่อไอเสีย อุณหภูมิไอเสียจึงสูง แต่สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่า ทั้งที่อุณหภูมิเครื่องยนต์เท่ากันและได้กำลังเท่ากันอีกด้วย

#### 4.1.15 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

จากค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ภาวะสูงสุด และที่ภาวะบางส่วนทำให้สามารถนำมาสร้างแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของการใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินออกมาได้

โดยรูปที่ 4-35 และรูปที่ 4-36 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบตามลำดับ

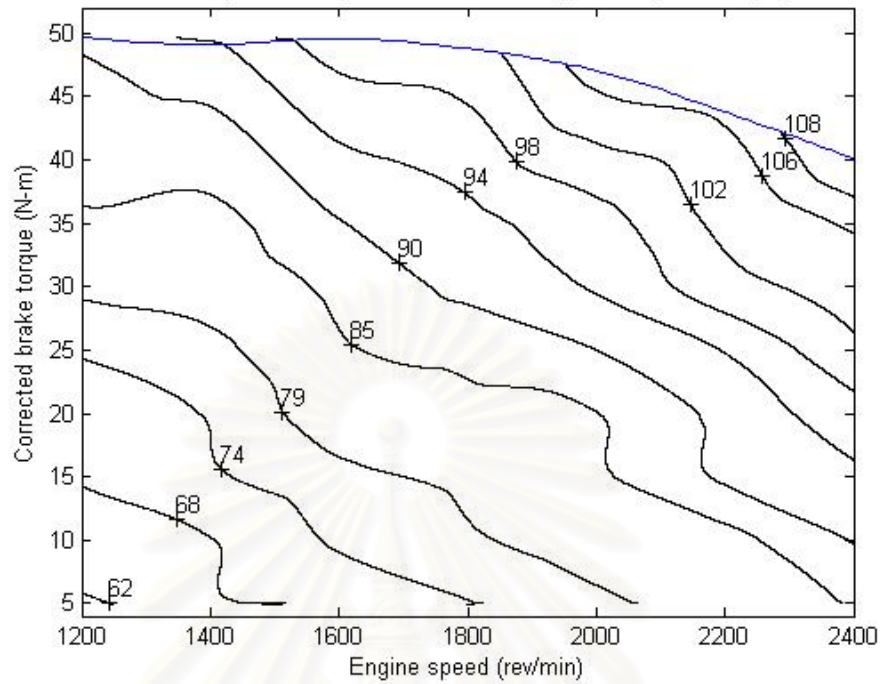
ส่วนรูปที่ 4-37 และรูปที่ 4-38 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ตามลำดับ

จากแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นนั้น มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันทั้งหมด นั่นคือเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อแรงบิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเช่นกัน และความชันของทั้งกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบ กรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน และกรณีใช้น้ำมันดีเซลมีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งสามกรณี

จากแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในรูปที่ 4-35 และรูปที่ 4-36 จะเห็นความใกล้เคียงกันของผลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ เปรียบเทียบกับการใช้ดีเซล โดยอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดของสมรรถนะจากการใช้น้ำมันดีเซลอยู่ที่ประมาณ  $108^{\circ}\text{C}$  และจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ประมาณ  $104^{\circ}\text{C}$  นั้นแสดงว่าเครื่องยนต์กรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบใกล้เคียงกับกรณีใช้น้ำมันดีเซล

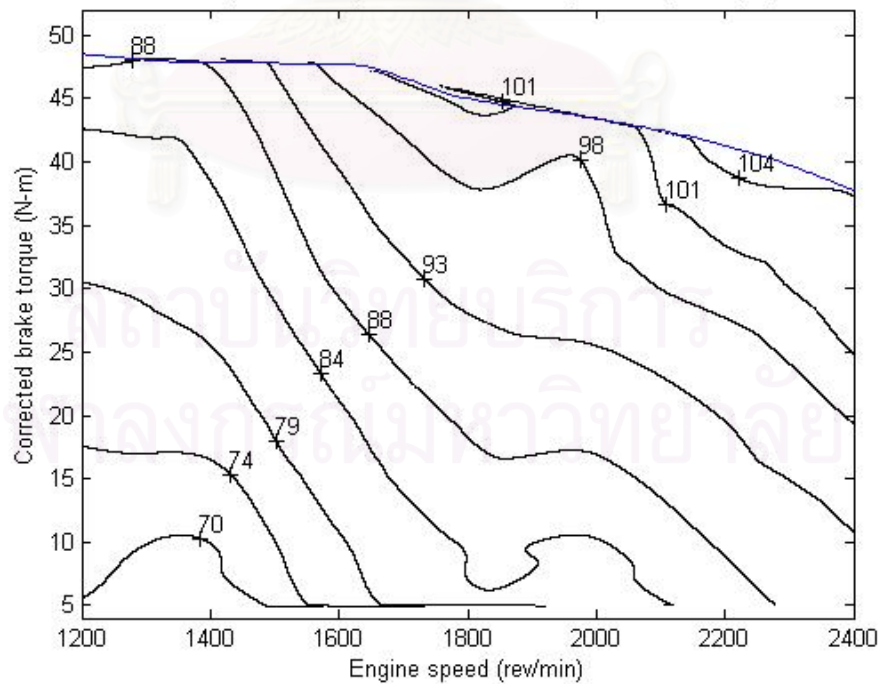
และจากแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในรูปที่ 4-37 และ รูปที่ 4-38 จะเห็นความใกล้เคียงกันของผลจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบกับการใช้ดีเซล โดยอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดของสมรรถนะจากการใช้น้ำมันดีเซลอยู่ที่ประมาณ  $108^{\circ}\text{C}$  และจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ที่ประมาณ  $104^{\circ}\text{C}$  นั้นแสดงว่าเครื่องยนต์กรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับดีเซลไม่แตกต่างกันเท่าใดนัก และเครื่องยนต์กรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบด้วย คือทั้งหมดแตกต่างกันไม่เกิน  $5^{\circ}\text{C}$  เท่านั้น

Lubrication Oil Temperature Map of RT 140 CPO Engine Using Diesel (degree celcius)



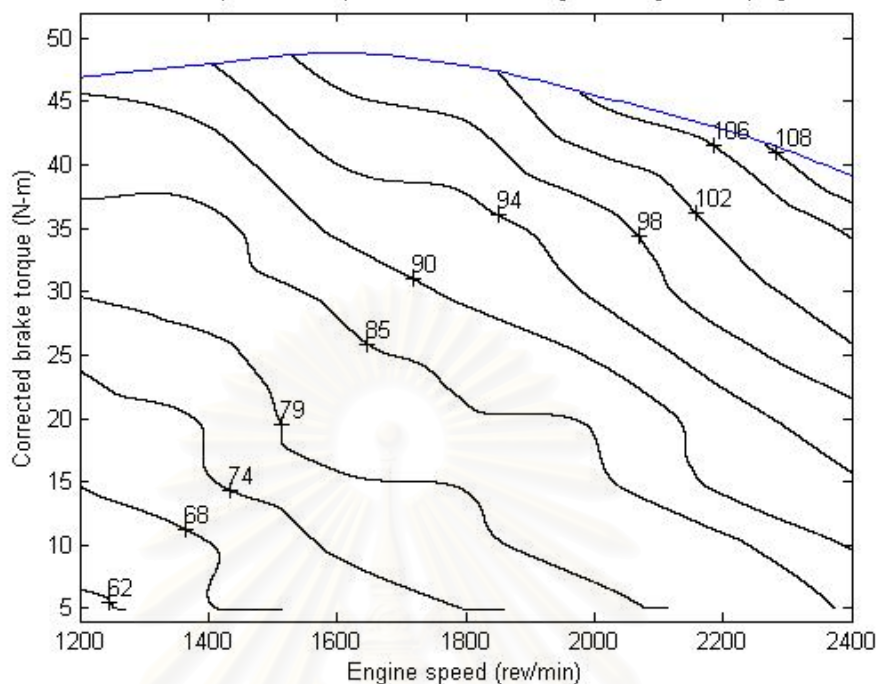
รูปที่ 4-35 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล

Lubrication Oil Temperature Map of RT 140 CPO Engine Using CPO (degree celcius)



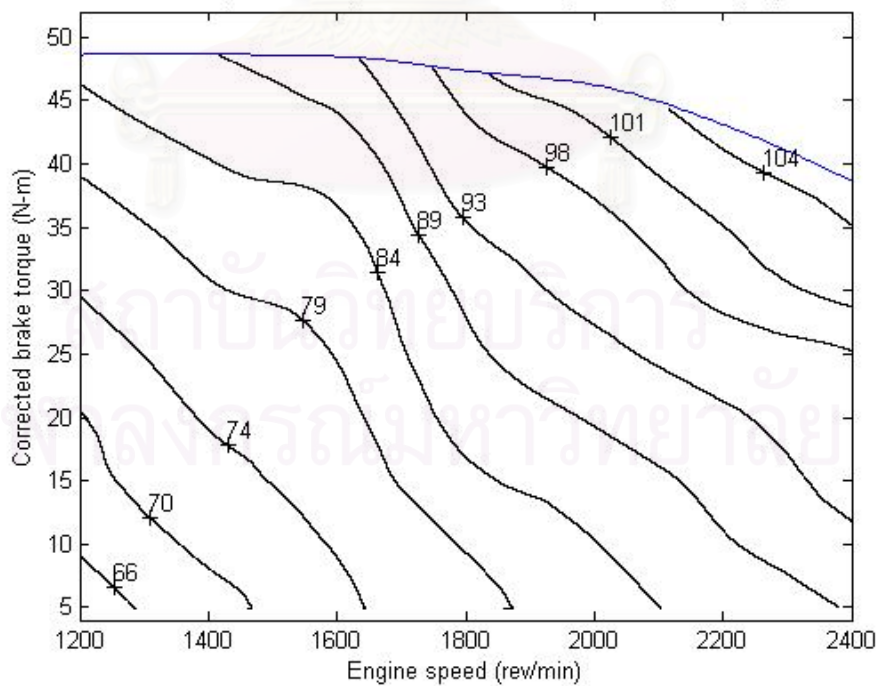
รูปที่ 4-36 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

Lubrication Oil Temperature Map of RT 140 Olein Engine Using Diesel (degree celcius)



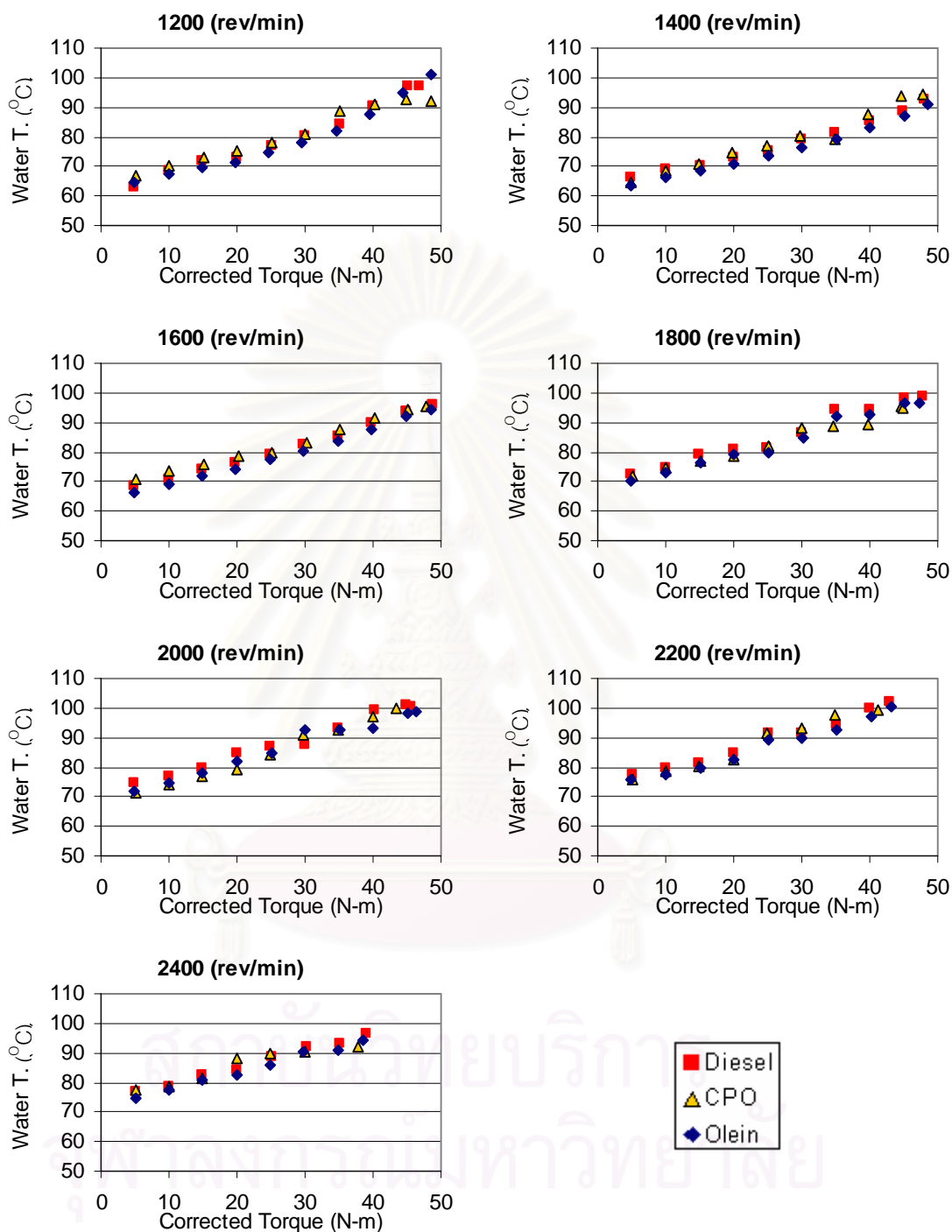
รูปที่ 4-37 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล

Lubrication Oil Temperature Map of RT 140 Olein Engine Using Olein (degree celcius)



รูปที่ 4-38 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น

#### 4.1.16 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่สภาวะภาระบางส่วน



รูปที่ 4-39 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (Water T.(°C)) กับแรงบิด (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอดีอิน

อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นในสภาวะบางส่วนเปรียบเทียบกับระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิง ในแต่ละความเร็วรอบ โดยความสัมพันธ์ที่แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นเปรียบเทียบกับแรงบิด ในแต่ละความเร็วรอบคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4-39

จากรูปที่ 4-39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นกับแรงบิด ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็น ดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบและจากการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ในช่วงภาวะบางส่วนนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน และสูงกว่าอุณหภูมิที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลแทบทุกภาวะที่เกิดขึ้น

อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดมีแนวโน้มแบบเดียวกันคือ เพิ่มขึ้นเมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้น หรือ ความเร็วเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นสูงสุด  $102^{\circ}\text{C}$  ในกรณีใช้น้ำมันดีเซล ที่ประมาณความเร็วรอบ 2200 รอบต่อนาที แรงบิด 43 N-m ส่วนอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นสูงสุดกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ที่ประมาณ  $99.6^{\circ}\text{C}$  ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที แรงบิด 43 N-m และอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นสูงสุดกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ที่  $101^{\circ}\text{C}$  ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที แรงบิด 48 N-m โดยอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของการใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดอยู่ประมาณที่  $100^{\circ}\text{C}$  ซึ่งไม่แตกต่างกับดีเซลมากนัก

จากการที่อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของเชื้อเพลิงทั้งสามมีค่าใกล้เคียงกันนั้นแสดงให้เห็นได้ว่า อุณหภูมิ ของเครื่องยนต์มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นเช่นเดียวกับกรณีของ น้ำมันหล่อลื่นนั่นเอง

#### 4.1.17 แผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น

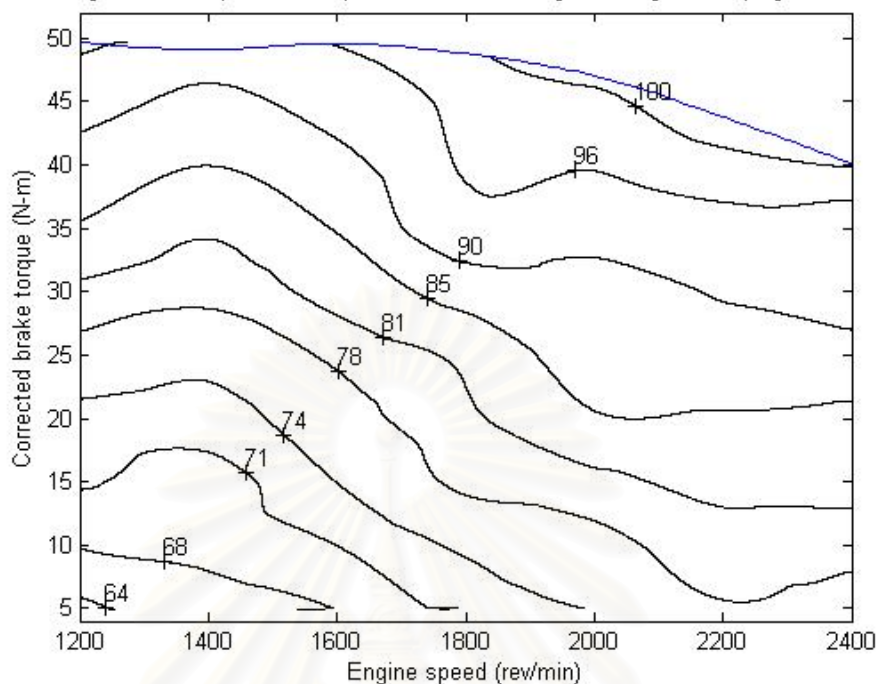
จากค่าอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นที่ภาวะสูงสุด และที่ภาวะบางส่วนทำให้สามารถนำมาสร้างแผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของการใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินออกมาได้

โดยรูปที่ 4-40 และรูปที่ 4-41 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบตามลำดับ

ส่วนรูปที่ 4-42 และรูปที่ 4-43 แสดงแผนภูมิแผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ตามลำดับ

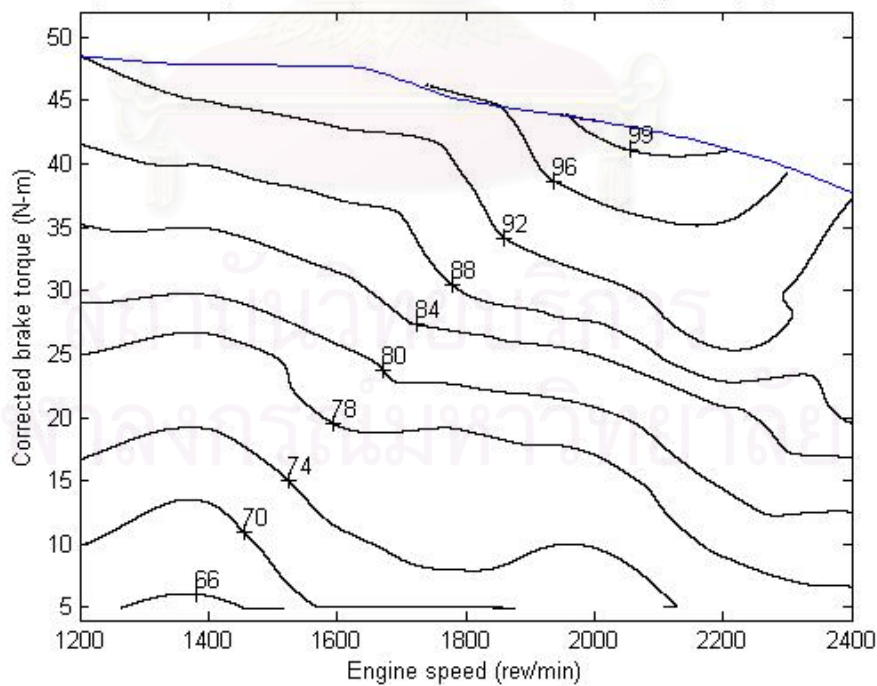


Cooling Water Temperature Map of RT 140 CPO Engine Using Diesel (degree celcius)



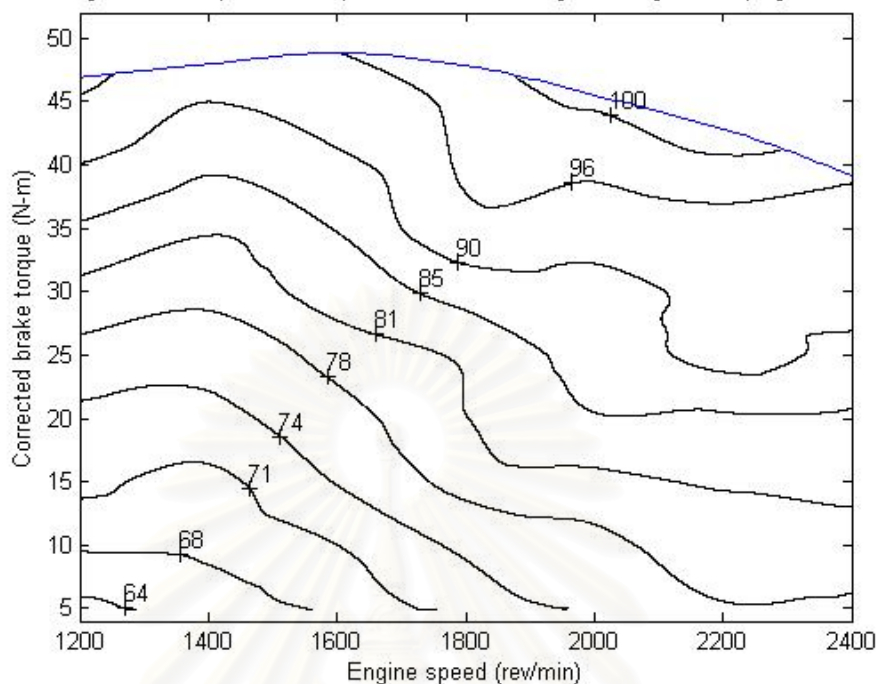
รูปที่ 4-40 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล

Cooling Water Temperature Map of RT 140 CPO Engine Using CPO (degree celcius)



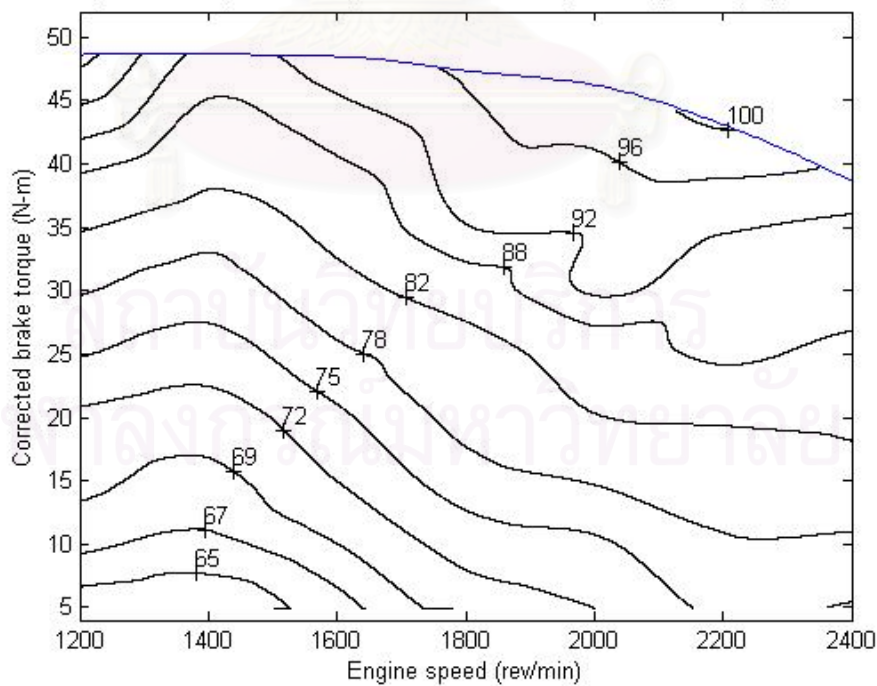
รูปที่ 4-41 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

Cooling Water Temperature Map of RT 140 Olein Engine Using Diesel (degree celcius)



รูปที่ 4-42 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล

Cooling Water Temperature Map of RT 140 Olein Engine Using Olein (degree celcius)



รูปที่ 4-43 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากแผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ ทั้งสี่แผนภูมิจะเห็นได้ว่า แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันทั้งหมด นั่นคือเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อแรงบิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเช่นกัน

#### 4.1.18 ค่าควันท่ำที่ภาระบางส่วน

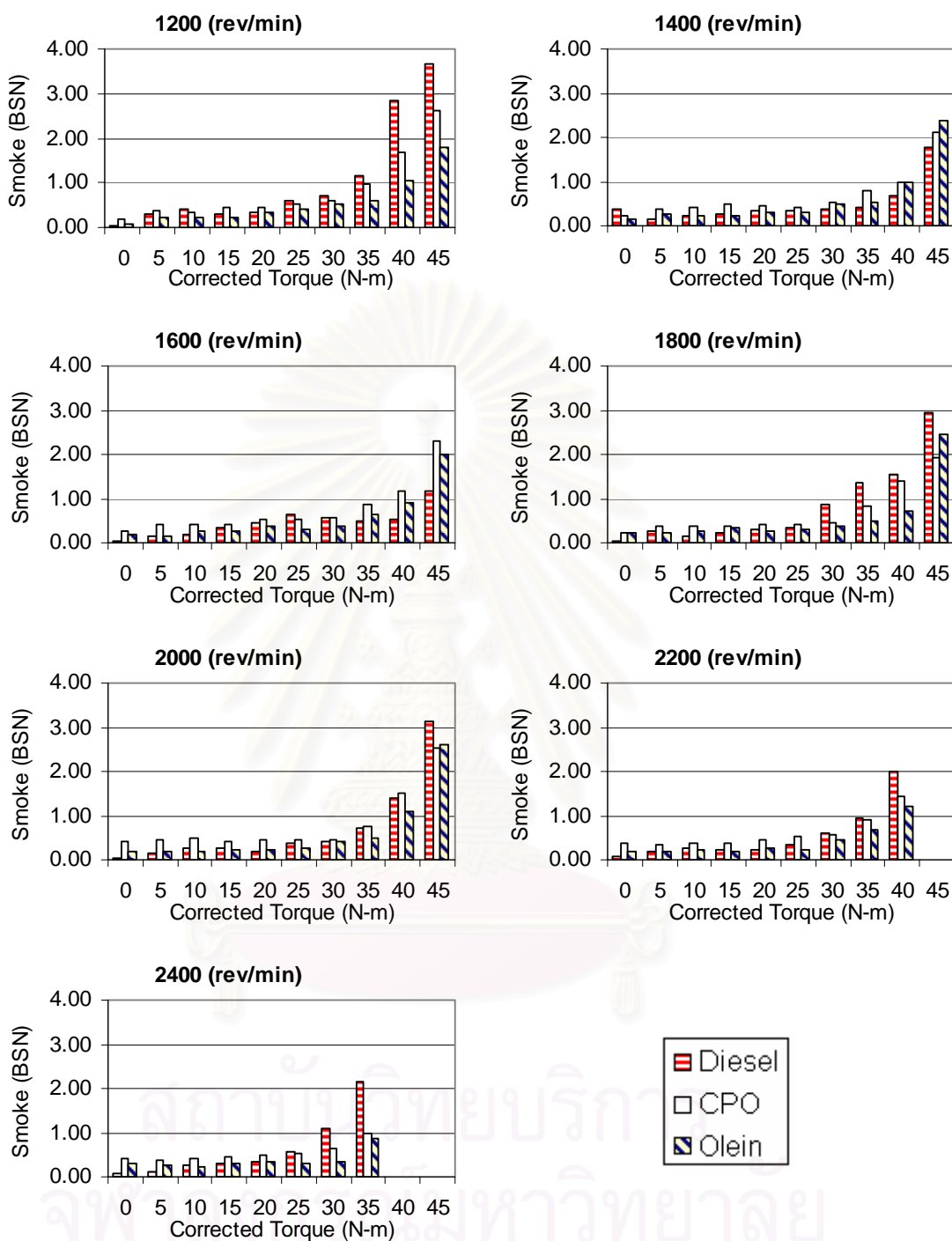
จากการวัดค่าควันท่ำที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน สามารถนำมาเปรียบเทียบและแสดงไว้ในรูปที่ 4-44

พบว่าค่าควันท่ำในช่วงความเร็วรอบต่ำที่ภาระบางส่วนของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าใกล้เคียง ส่วนมากจะมีลักษณะที่กรณีน้ำมันปาล์มดิบมีค่าควันท่ำสูงกว่ากรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินเล็กน้อยและควันท่ำจากน้ำมันปาล์มทั้งสองสูงกว่ากรณีใช้ดีเซลทั้งหมด

และที่ภาระหรือแรงบิดที่สูงสุดดีเซลจะมีค่าควันท่ำสูงกว่ากรณีน้ำมันปาล์มดิบและสูงกว่ากรณีน้ำมันปาล์มโอเลอิน ยกเว้นที่ความเร็ว 1400 รอบต่อนาที และ 1600 รอบต่อนาที ซึ่งจะสอดคล้องกับประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่ความเร็ว 1400 รอบต่อนาทีและ 1600 รอบต่อนาทีสำหรับที่แรงบิดสูง กรณีน้ำมันปาล์มดิบและกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง ต่ำกว่าดีเซลอยู่ประมาณ 3.5%-5% นั้นหมายความว่าพลังงานส่วนหนึ่งในช่วงดังกล่าวกลายมาเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดเป็นควันท่ำจึงมีประสิทธิภาพต่ำกว่ากรณีดีเซลนั่นเอง

แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีภาระสูงสุดแล้วควันท่ำของน้ำมันปาล์มทั้งสองกลับสูงกว่า อาจมาจากที่ภาระสูงสุดมีการปรับคันเร่งมากที่สุดจากระบบการควบคุมปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงด้วยปั๊ม ทำให้มวลน้ำมันเข้าไปมากกว่าในปริมาตรที่ใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากความหนาแน่นของเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มทั้งสองสูงกว่า และประสิทธิภาพของการใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองไม่ดีเท่าดีเซล ทำให้กลายเป็นควันท่ำที่มากกว่า

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-44 แสดงผลเปรียบเทียบค่าควันดำที่สภาวะภาระบางส่วนเมื่อนำน้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน

## 4.2 ผลการทดสอบความทนทาน

ผลจากการทดสอบความทนทานโดยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ด้วยการนำไปขับเคลื่อนชุดปั้มน้ำและทำการทดสอบตามวัฏจักรภาระจำลอง เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอดีเป็นเชื้อเพลิง ในกรณีการนำมาใช้งานอย่างต่อเนื่อง ในการทดสอบดังกล่าวได้ตรวจวัดค่าต่างๆ เพื่อทั้งใช้ในการควบคุมการภาระการทำงานของเครื่องยนต์ ให้เป็นไปตามวัฏจักรจำลองที่กำหนด และเพื่อเฝ้าดูการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทดสอบเป็นระยะ ตลอดจนการทดสอบความทนทานนี้ โดยค่าที่ทำการเก็บได้แก่ ความดันด้านจ่ายของระบบปั้มน้ำ ระดับความสูงน้ำในฝาย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ เวลาในการใช้เชื้อเพลิงจำนวนหนึ่งๆ อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิอากาศเข้าสู่กรองอากาศ และอุณหภูมิน้ำมันปาล์มดิบก่อนเข้าปั้มเชื้อเพลิง อีกทั้งค่าวันดำเก็บค่าในทุกๆ 10 ชั่วโมงอีกด้วย

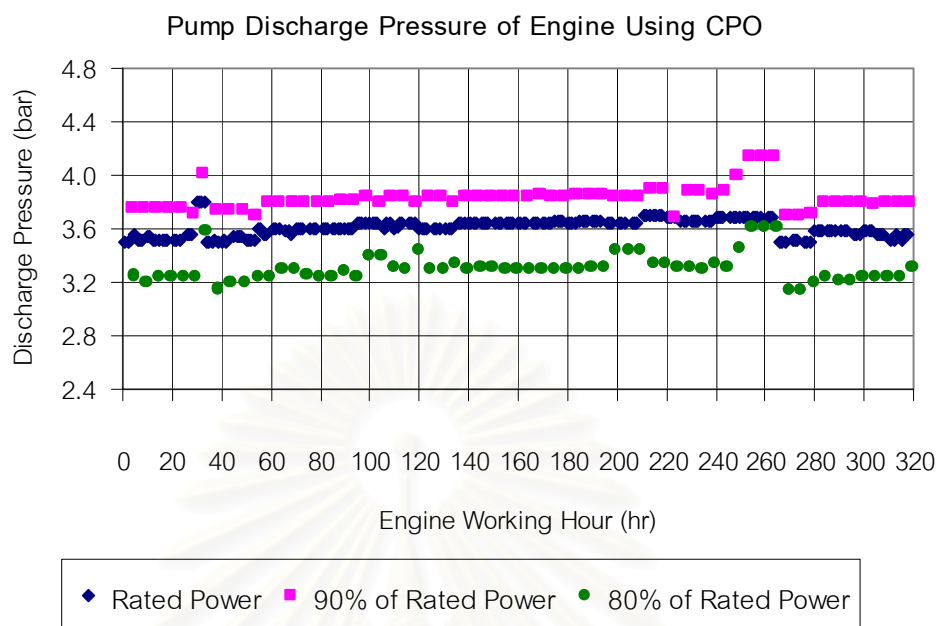
จากค่าที่เก็บดังกล่าวนำมาอ้างอิงถึงสภาวะการทำงานในแต่ละช่วงซึ่งสามารถแปลงออกมาได้เป็นกำลังของเครื่องยนต์ที่ภาระต่างๆ และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เพื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิอากาศเข้าสู่กรองอากาศ ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลของการทดสอบความทนทานของดีเซลได้ดังแสดงต่อไปนี้

### 4.2.1 ความดันด้านจ่ายของระบบปั้มน้ำ

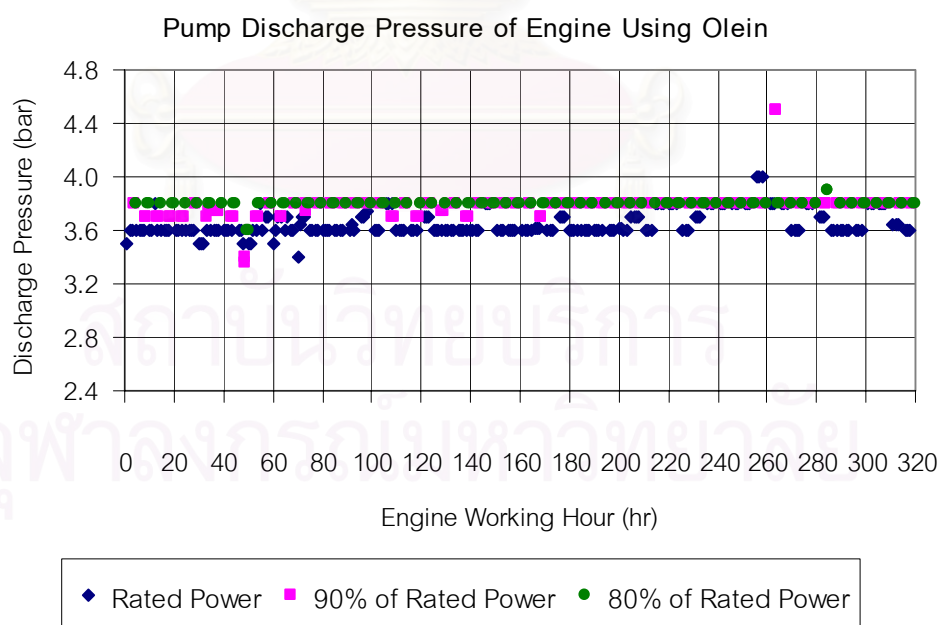
เพื่อให้แน่ใจว่าการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เป็นไปตามสภาพการทำงานเดียวกันตลอดช่วงการทดสอบจึงได้ทำการวัดค่าความดันทางด้านจ่ายระบบปั้มน้ำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4-45 ของชุดปั้มน้ำสำหรับทดสอบน้ำมันปาล์มดิบ และในรูปที่ 4-46 ของชุดปั้มน้ำสำหรับทดสอบน้ำมันปาล์มโอดี

จากผลของค่าความดันทางด้านจ่ายน้ำของชุดปั้มน้ำทั้งจากรูปที่ 4-45 และรูปที่ 4-46 ได้แสดงให้เห็นว่าสถานะของเครื่องยนต์ในแต่ละสภาวะมีค่าที่ใกล้เคียงกันตลอดการทดสอบ





รูปที่ 4-45 แสดงความดันทางด้านจ่ายของระบบปั้มน้ำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของชุดปั้มน้ำสำหรับทดสอบน้ำมันปาล์มดิบ

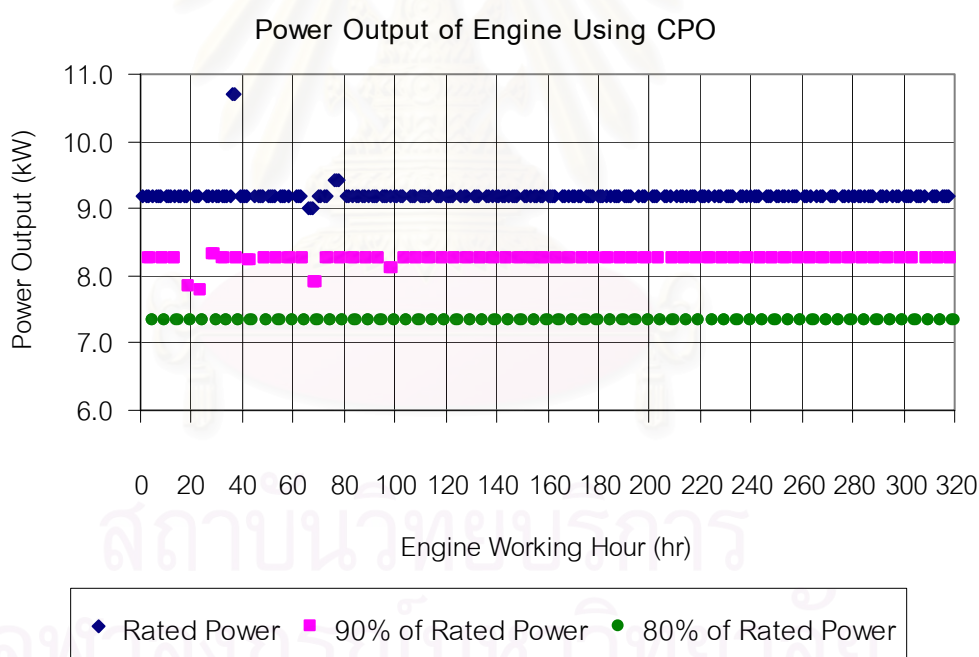


รูปที่ 4-46 แสดงความดันทางด้านจ่ายของระบบปั้มน้ำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของชุดปั้มน้ำสำหรับทดสอบน้ำมันปาล์มโอเลอิน

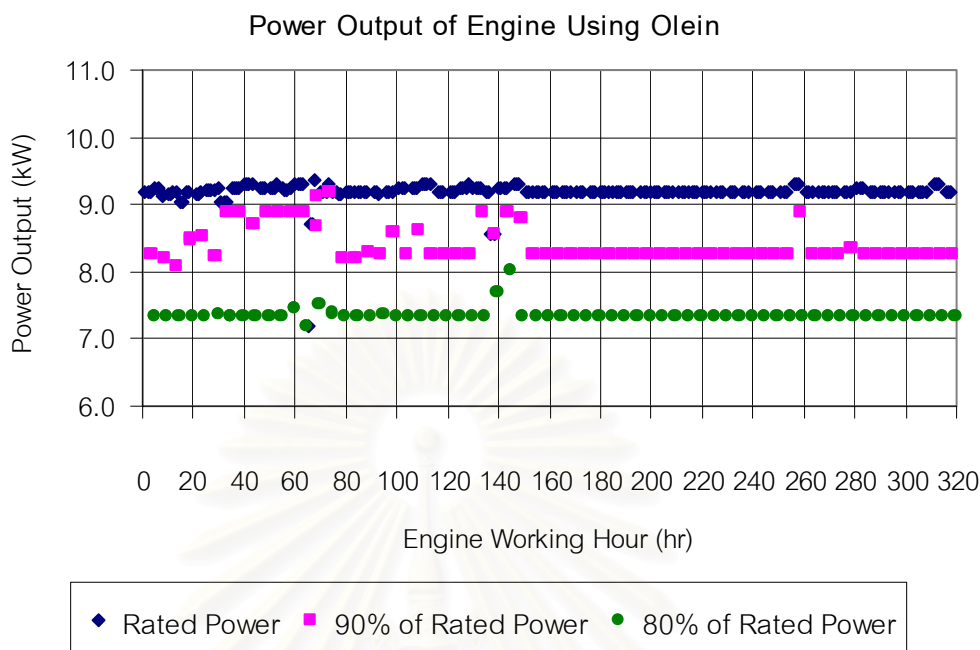
#### 4.2.2 กำลังที่ได้ในช่วงการทดสอบความทนทาน

กำลังที่ได้ตลอดช่วงเวลาการทดสอบความทนทานที่ สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 ทั้งสามสภาวะนั้นกำลังจะเป็นตัวควบคุมการปรับตั้งภาระการทำงานของเครื่องยนต์ที่ต้องควบคุมให้เป็นไปตามวัฏจักรที่กำหนดไว้ โดยค่ากำลังดังกล่าวได้จากการคำนวณจากระดับความสูงของน้ำในฝายให้กลายออกมาเป็นกำลังขาออกของปั้มน้ำ นั่นคือระหว่างการทำทดสอบในแต่ละสภาวะการทำงานนั้น ระดับความสูงของน้ำในฝายจะถูกทำการปรับตั้งให้ใกล้เคียงกันในแต่ละสภาวะการทำงานตลอดช่วงเวลาทดสอบ

จากรูปที่ 4-47 และรูปที่ 4-48 แสดงให้เห็นถึงการปรับภาระให้กับเครื่องยนต์ทั้งสองเครื่องยนต์ในแต่ละสภาวะการทำงานได้ว่า สามารถควบคุมให้กำลังเป็นไปตามสภาวะการทำงานทั้งสามตามที่กำหนดไว้ในวัฏจักรการทำงานได้ แม้ว่าจะมีบางตำแหน่งที่การปรับภาระผิดพลาดไปบ้างเท่านั้น และเครื่องยนต์ทั้งสองตลอดการทดสอบความทนทานก็สามารถทำงานให้กำลังออกมาได้ตามที่กำหนดไว้ตลอดการทดสอบ 320 ชั่วโมง



รูปที่ 4-47 แสดงกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-48 แสดงกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากรูปที่ 4-47 และรูปที่ 4-48 พบว่าสภาวะการทำงานที่ 1 กำลังที่ได้อยู่ที่ประมาณ 9.19 kW ซึ่งเทียบเท่ากับ 12.5 แรงม้า นั่นคือเท่ากับกำลังบ่งชี้ที่ผู้ผลิตเครื่องยนต์กำหนดทั้งสองเครื่องยนต์ สภาวะการทำงานที่ 2 กำลังที่ได้อยู่ที่ประมาณ 8.27 kW คือประมาณ 90% ของสภาวะการทำงานที่ 1 และในสภาวะการทำงานที่ 3 กำลังที่ได้อยู่ที่ประมาณ 7.35 kW คือประมาณ 80 % ของสภาวะการทำงานที่ 1 เช่นเดียวกันทั้งสองเครื่องยนต์

จากการทดสอบความทนทานพบว่า ถึงแม้ว่าการควบคุมภาระให้กับเครื่องยนต์จะสามารถทำการควบคุมให้กำลังใกล้เคียงกันเองได้ในแต่ละสภาวะการทำงาน ตลอดช่วงการทดสอบก็ตาม แต่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ปรากฏพบว่าการเปลี่ยนแปลง ซึ่งความเร็วรอบของเครื่องยนต์นี้เองจะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของเครื่องยนต์ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน เนื่องจากเพื่อให้สามารถให้กำลังขาออกได้ตามต้องการในขณะที่เครื่องยนต์จะมีการเสื่อมสภาพลง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์จึงลดลง เพื่อเปลี่ยนจุดการทำงานของเครื่องยนต์ที่สามารถให้กำลังออกมาได้เท่าเดิมนั่นเอง ดังจะแสดงในหัวข้อต่อไป

#### 4.2.3 ผลด้านความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในการทดสอบความทนทาน

ในการทดสอบความทนทาน แต่ละสภาวะการทดสอบนอกเหนือจากได้กำหนดกำลังเป็นตัวควบคุมแล้ว ยังกำหนดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้อยู่ที่ 2400 รอบต่อนาที ดังที่ได้กล่าว

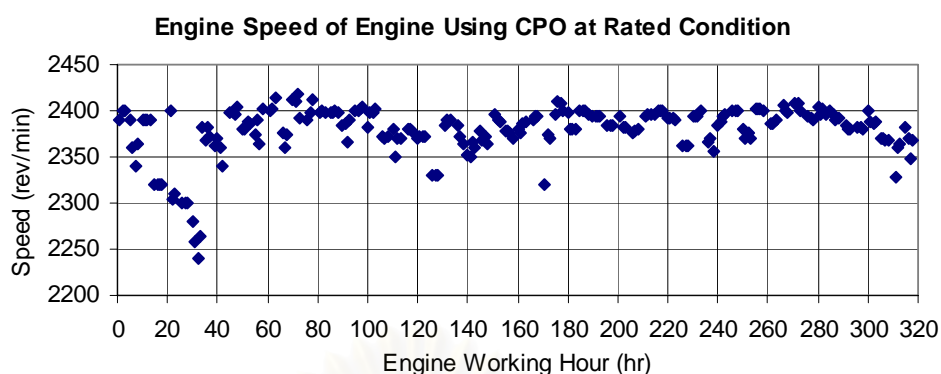
มาแล้วในบทก่อนหน้า แต่จากการทดสอบเมื่อเครื่องยนต์ได้ทำงานไปช่วงเวลาหนึ่ง จะเกิดการเสื่อมสภาพของเครื่องยนต์ขึ้น ซึ่งการเสื่อมสภาพจะทำให้เครื่องยนต์เกิดอาการต่างๆ ทั้งอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น คว้นดำที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถทำได้ก็ลดต่ำลง ดังนั้นจากการทดสอบความทนทานเมื่อเครื่องยนต์เสื่อมสภาพลงหากต้องการให้คงกำลังไว้ได้ เครื่องยนต์ก็จะไม่สามารถทำความเร็วรอบได้เท่าเดิม

เมื่อไม่สามารถคงความเร็วรอบไว้เท่าเดิมได้ การปรับตั้งในการทดสอบความทนทาน นอกเหนือจากการพยายามปรับได้เครื่องยนต์ได้กำลังเท่ากับกำหนดแล้ว ก็จะต้องปรับความเร็วรอบให้สูงใกล้เคียงกับความเร็วรอบที่กำหนดไว้ให้มากที่สุด คือให้ใกล้เคียงกับ 2400 รอบต่อนาทีให้มากที่สุดเท่าที่เครื่องยนต์จะสามารถทำได้ ทั้งนี้เนื่องจากการวัดความเร็วรอบสามารถกระทำได้ดีกว่าการวัดกำลังของเครื่องยนต์จากฝ่ายซึ่งเห็นการเปลี่ยนแปลงยากกว่า และในการใช้งานจริงของเครื่องยนต์ประเภทนี้สิ่งที่ต้องการคือกำลังขาออกให้ได้กำลังเท่าเดิม มากกว่าการได้ความเร็วรอบเท่าเดิมแม้กำลังได้ต่ำลงนั่นเอง

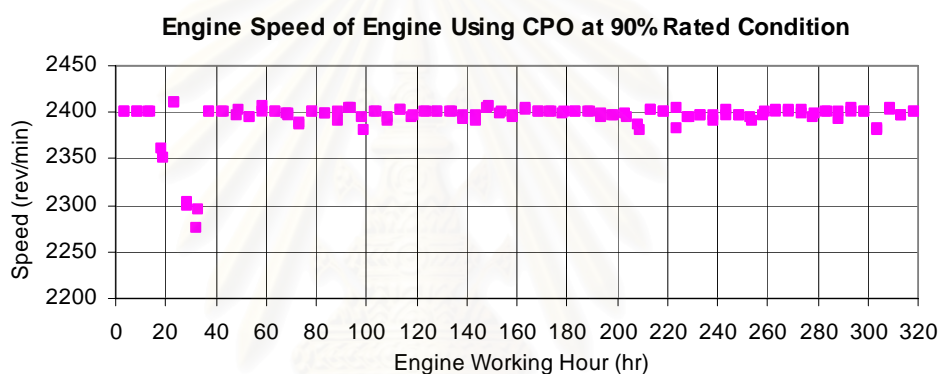
ความเร็วรอบดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นตัวบ่งชี้ตัวหนึ่งถึงสภาพของเครื่องยนต์ในช่วงการทำงานต่างๆ ได้ระดับหนึ่ง โดยได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-49 ถึงรูปที่ 4-51 สำหรับความเร็วรอบที่เกิดขึ้นในการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง และในรูปที่ 4-52 ถึงรูปที่ 4-54 เป็นความเร็วรอบที่เกิดขึ้นเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 4-49 และรูปที่ 4-50 จะเห็นได้ว่าในช่วงชั่วโมงที่ 20 ถึงชั่วโมงที่ 35 ของน้ำมันปาล์มดิบนั้น โดยเฉพาะในสภาวะการทำงานที่ 1 หรือที่กำลังบ่งชี้ขึ้น ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตกลงอย่างมาก ซึ่งจากการทดสอบความทนทานนั้น ในช่วงชั่วโมงที่ 30 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเกิดปัญหาขึ้น คือหัวฉีดเชื้อเพลิงเกิดการอุดตันขึ้น ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ต่อไป

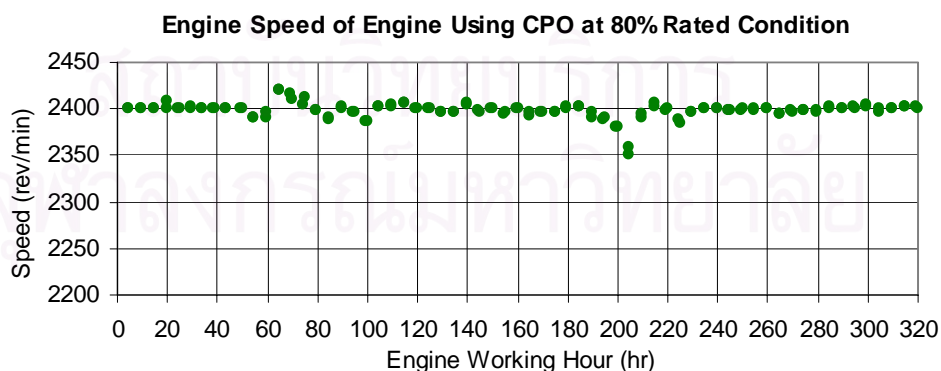
หลังจากชั่วโมงที่ 30 จึงได้ทำการถอดหัวฉีดเพื่อตรวจพินิจชิ้นส่วนดังกล่าว และทำการถ่ายภาพเก็บข้อมูลไว้ดังจะแสดงต่อไป อีกทั้งการล้างหัวฉีดนี้จึงได้กระทำกับเครื่องยนต์ที่ทดสอบความทนทานของน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมไปด้วย เพื่อควบคุมสภาวะให้ใกล้เคียงกันต่อ ภายหลังจากการถอดล้างหัวฉีด เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบจึงสามารถทำงานต่อได้อีก 5 ชั่วโมงหรือหนึ่งวัฏจักร จากนั้นก็เกิดอาการเครื่องยนต์ไม่สามารถทำงานได้ต่ออีกครั้ง จึงได้ตรวจสอบแล้วพบว่าปั๊มเชื้อเพลิงไม่สามารถสร้างความดันจนสามารถทำให้หัวฉีดฉีดได้ จึงทำการเปลี่ยนชุดปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงใหม่สำหรับเครื่องยนต์ที่ทดสอบความทนทานของน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งพบว่าชิ้นส่วนของปั๊มเชื้อเพลิงดังกล่าวเกิดสนิมขึ้นทำให้ไม่สามารถสร้างแรงดันได้ตามกำหนด



รูปที่ 4-49 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 ( Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ

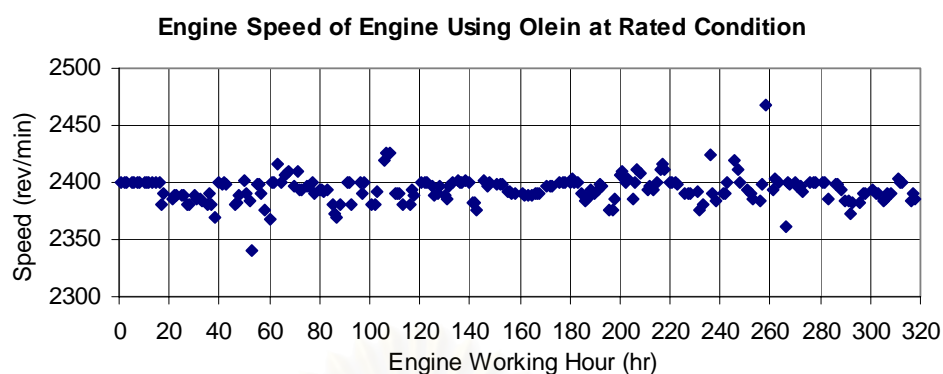


รูปที่ 4-50 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 ( 90% ของ Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ

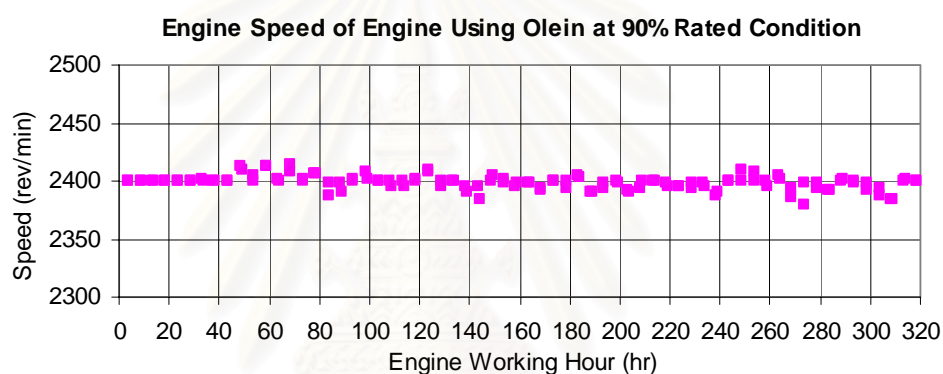


รูปที่ 4-51 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 ( 80% ของ Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ

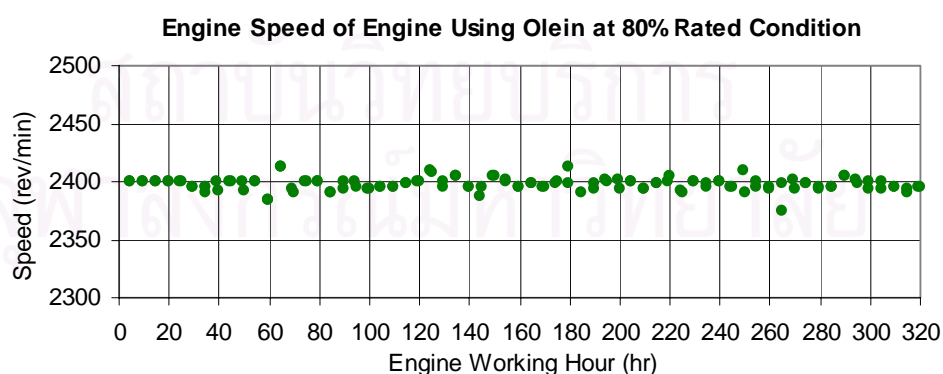




รูปที่ 4-52 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 ( Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-53 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 ( 90% ของ Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-54 แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 ( 80% ของ Rated ) ของการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

แต่จากรูปที่ 4-52 ถึงรูปที่ 4-54 จะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์ที่ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอินสามารถควบคุมให้สร้างกำลังได้ตามกำหนด และควบคุมความเร็วรอบให้อยู่ที่ 2400 รอบต่อนาทีได้อีกด้วย แม้ว่าหลังจากเกิน 200 ชั่วโมงไปแล้วนั้นจะพบว่าความเร็วรอบจะไม่สามารถทำได้ที่ 2400 รอบต่อนาทีได้ตลอด แต่ก็ความเร็วรอบที่สามารถทำได้ก็ตกลงมาจาก 2400 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น นั่นแสดงว่าเครื่องยนต์เริ่มมีอาการสร้างกำลังได้ต่ำกว่าที่ต้องการแล้ว

#### 4.2.4 ชิ้นส่วนที่เกิดการเสียหายที่ช่วงชั่วโมงที่ 30-35

จากที่ได้กล่าวมาก่อนหน้า ในชั่วโมงที่ 30 เกิดความผิดปกติขึ้นกับเครื่องยนต์ที่ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบจนทำให้เครื่องยนต์ไม่สามารถทำงานต่อไปได้ ซึ่งจากการตรวจสอบจะพบว่าเกิดความผิดปกติขึ้นที่หัวฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งหัวฉีดเชื้อเพลิงไม่สามารถฉีดเชื้อเพลิงออกมาได้ พบได้จากการทดสอบโดยการให้หัวฉีดทำการฉีดที่ภายนอกห้องเผาไหม้ แล้วตรวจสอบพบว่าไม่เกิดการฉีดเชื้อเพลิง จึงได้ทำการตรวจสอบ ซึ่งพบดังรูปที่ 4-55 เปรียบเทียบลักษณะของหัวฉีดที่ผ่านการทดสอบความทนทานมาแล้วจำนวน 30 ชั่วโมง (หรืออายุเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานกับเชื้อเพลิงนั้นๆ รวมประมาณ 50 ชั่วโมง เนื่องจากมีการทดสอบสมรรถนะก่อนการทดสอบความทนทาน)



รูปที่ 4-55 แสดงหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ชั่วโมงการทำงานที่ 30 ของการทดสอบความทนทาน (ภาพซ้าย) แสดงหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ (ภาพขวา) แสดงหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

จะเห็นได้ว่าหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบมีคราบยางเหนียวเกาะติดอยู่รอบๆ หัวฉีดโดยเฉพาะที่บริเวณรูหัวฉีด ส่วนเมื่อพิจารณาหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน จะพบว่าไม่มีเขม่าสีดำที่สามารถหลุดออกได้ เกาะอยู่อย่างหนาแน่นที่รอบๆ บริเวณรูหัวฉีดแทน ซึ่ง

ทำให้พบว่า การเสียหายที่เกิดขึ้นจนเครื่องยนต์น้ำมันปาล์มดิบไม่สามารถทำงานได้ต่อ นั่นคือเกิดการตันขึ้นที่หัวฉีดด้วยคราบยางเหนียวที่ไม่สามารถหลุดได้เอง

นอกเหนือจากการพบการอุดตันที่หัวฉีด ยังพบว่าชิ้นส่วนภายในหัวฉีดเกิดการกัดกร่อนหรือสนิม ขึ้นที่ชิ้นส่วนหลายชิ้นภายในหัวฉีดดังรูปที่ 4-56 พบว่าในชิ้นส่วนที่อยู่ด้านล่างที่เป็นชิ้นส่วนที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบจะมีการเปลี่ยนสีของโลหะเป็นสีน้ำตาลเข้มเป็นวง ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงการกัดกร่อนของโลหะ หรือ สนิม



รูปที่ 4-56 แสดงชิ้นส่วนภายในหัวฉีดที่ชั่วโมงที่ 30 ของการทดสอบความทนทาน (ชิ้นส่วนบน) ชิ้นส่วนภายในหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน (ชิ้นส่วนล่าง) ชิ้นส่วนภายในหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

นอกเหนือจากหัวฉีดแล้วเมื่อถึงชั่วโมงที่ 35 เครื่องยนต์ที่ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบก็พบว่าเกิดปัญหากับปั๊มเชื้อเพลิงอีก ซึ่งปัญหาที่พบคือปั๊มเชื้อเพลิงไม่สามารถสร้างความดันจนสามารถชนะความดันในการเปิดของหัวฉีดได้ และได้ทำการตรวจสอบสภาพหลังจากพบปัญหาแล้วพบว่าชิ้นส่วนภายในเกิดการกัดกร่อนคล้ายกับกรณีหัวฉีดคือโลหะเกิดการเปลี่ยนสีน้ำตาลดำดังรูปที่ 4-57



รูปที่ 4-57 แสดงภาพลูกปั๊มของปั๊มเชื้อเพลิงที่ชั่วโมงการทำงานที่ 35 ของการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

ดังนั้นสำหรับการเกิดความผิดปกติของเครื่องยนต์ในช่วงการทดสอบความทนทานของน้ำมันปาล์มดิบนั้นเกิดความผิดปกติที่หัวฉีดคือเกิดการอุดตันของหัวฉีด ซึ่งคาดว่ามาจากกรณีที่ปั๊มเชื้อเพลิงไม่สามารถสร้างความดันได้สูงแล้ว ร่วมไปกับการเสื่อมสภาพของหัวฉีดที่มีความดันเริ่มแรกในการฉีดลดลง (แสดงในหัวข้อ 4.5) คือเหลือแค่  $195\text{-}205\text{ kg/cm}^2$  ซึ่งเดิมควรจะเป็นที่  $245\text{-}250\text{ kg/cm}^2$  ซึ่งทำให้เกิดหยดของเชื้อเพลิงเกิดที่รูหัวฉีด เมื่อเกิดการเผาไหม้ของหยดเชื้อเพลิงนี้ทำให้เกิดคราบยางเหนียวขึ้นที่ปลายหัวฉีดดังที่ได้กล่าวในตอนต้น

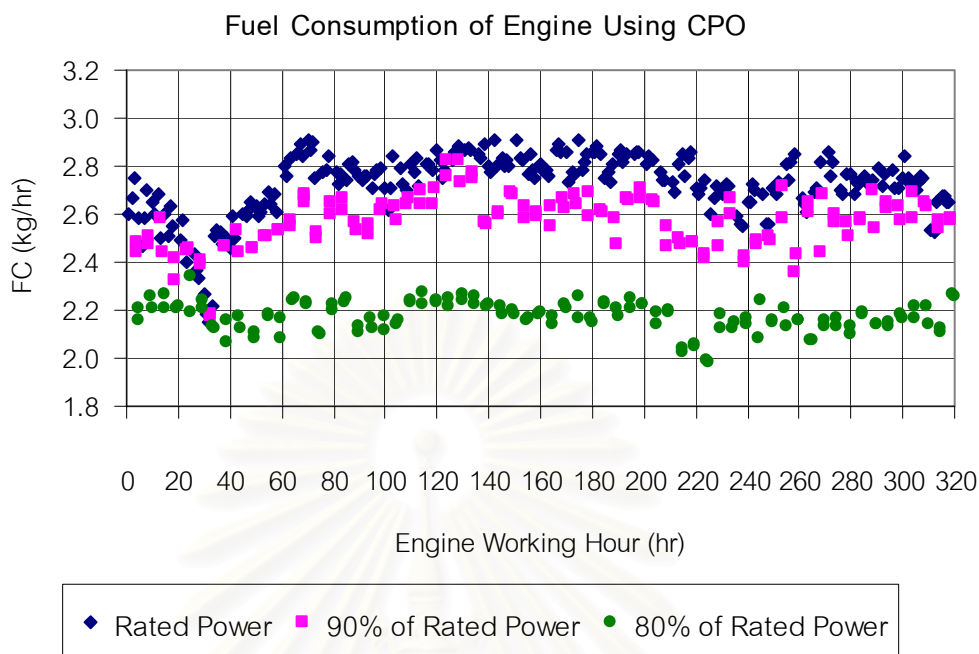
จากการที่เกิดความเสียหายดังกล่าว ทำให้ได้ทำการเปลี่ยนหัวฉีด และปั๊มเชื้อเพลิงใหม่สำหรับเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานของน้ำมันปาล์มดิบ และทำการนับชั่วโมงการทำงานของหัวฉีดและปั๊มเชื้อเพลิงใหม่ อีกทั้งได้ทำการล้างหัวฉีดของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานของน้ำมันปาล์มโอเลอินด้วยเพื่อควบคุมอายุของหัวฉีดให้เป็นไปในทางเดียวกันเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้ ดังนั้นชั่วโมงการทำงานของหัวฉีด จะพิจารณาให้น้อยกว่าชั่วโมงการทำงาน of เครื่องยนต์อยู่ 30 ชั่วโมง

สำหรับชิ้นส่วนอื่นๆ อาทิเช่น กระจอกสูบ ลูกสูบ ฝาสูบ วาล์ว ฯลฯ จะไม่มีการเปลี่ยนใหม่เพื่อให้สามารถนับอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเหล่านั้นได้ต่อตามปกติเพื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบของเชื้อเพลิงต่อชิ้นส่วนเหล่านั้นต่อไป

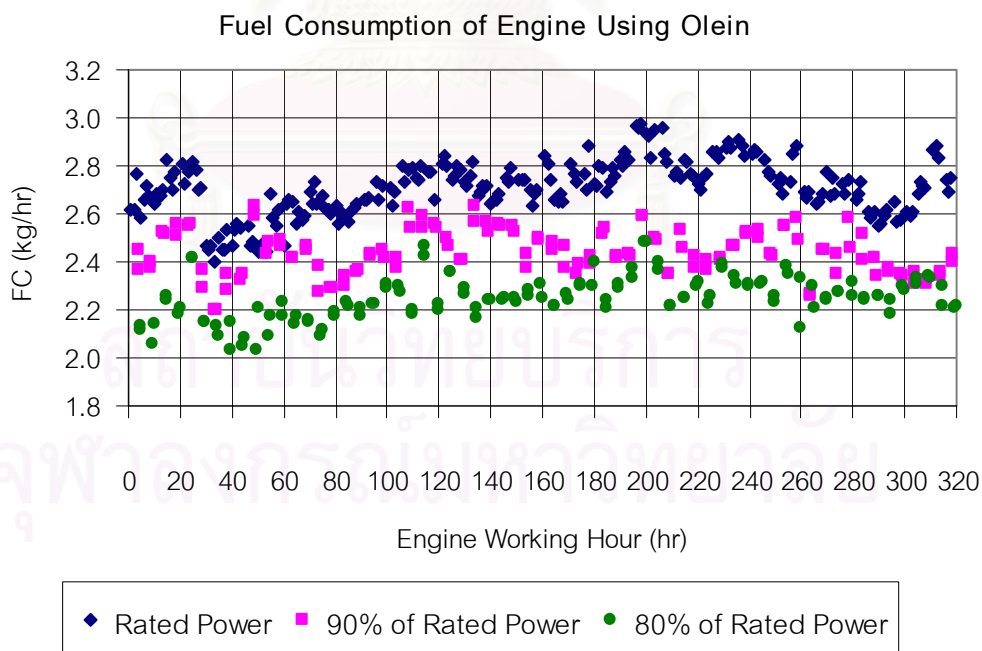
#### 4.2.5 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงตลอดช่วงเวลากการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงในรูปที่ 4-58 สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และในรูปที่ 4-59 สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากรูปที่ 4-58 และรูปที่ 4-59 แสดงให้เห็นแนวโน้มของอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงว่าเมื่อชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์สูงขึ้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ช้าลงเมื่อชั่วโมงการทำงานเพิ่มมากยิ่งขึ้น โดยสำหรับน้ำมันปาล์มดิบ และสำหรับน้ำมันปาล์มโอเลอิน จะเห็นได้ว่าในช่วงที่หัวฉีดของน้ำมันปาล์มดิบมีการอุดตันแล้วทำการล้างหัวฉีดทั้งสองเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก็ได้ลดลงมาทั้งสองเครื่องยนต์แล้วจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา



รูปที่ 4-58 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-59 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน



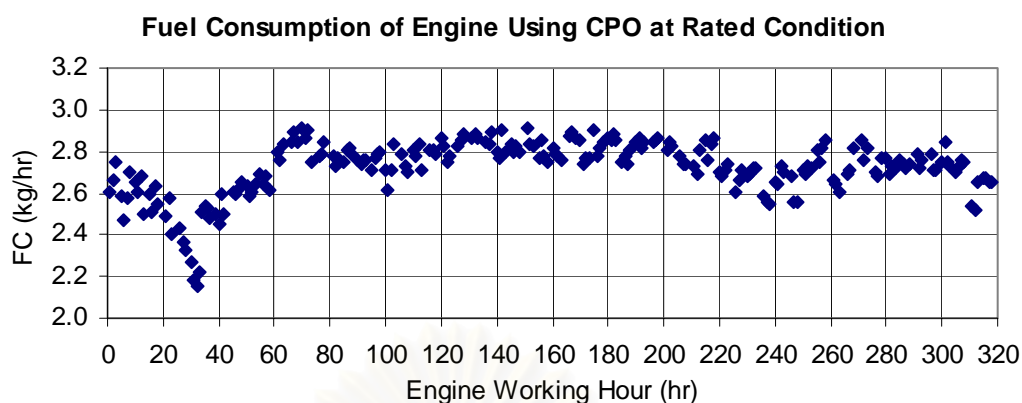
#### 4.2.5.1 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงตลอดการทดสอบความทนทานในกรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มดิบ แสดงได้ในรูปที่ 4-60 รูปที่ 4-61 และรูปที่ 4-62

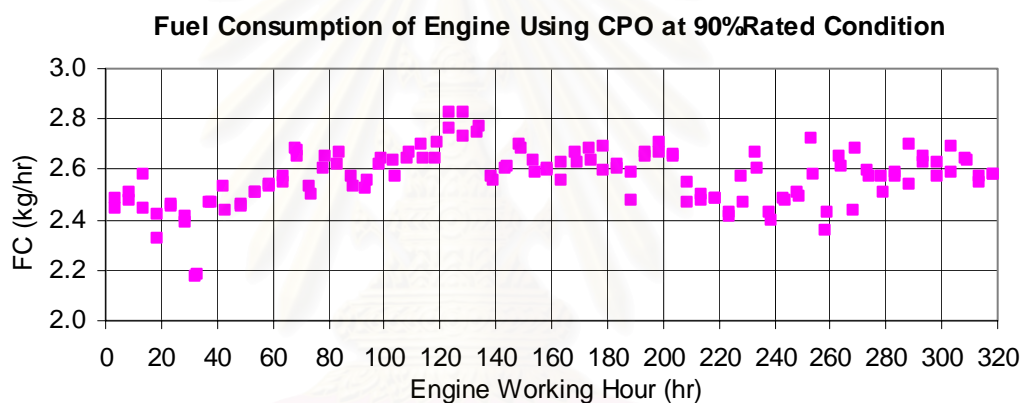
จากรูปที่ 4-60 จะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบจะอยู่ที่ประมาณ 2.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปเป็นประมาณ 2.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมงโดยในช่วงที่หัวฉีดเกิดการอุดตันก็จะเห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก็ลดลง นั่นอาจเป็นเพราะผลของการเสื่อมสภาพของปั๊มเชื้อเพลิงที่เสื่อมสภาพลงไปพร้อมกันด้วยทำให้ไม่สามารถจ่ายน้ำมันปาล์มดิบไปตามปริมาณที่ต้องการ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจึงลดลงไปพร้อมๆ กับการลดลงของความเร็รรอบที่ทำงานได้ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งเมื่อทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนจึงเห็นได้ว่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจึงกลับมาที่ประมาณ 2.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อีกครั้งและค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนประมาณชั่วโมงที่ 70 หรือประมาณอายุปั๊มเชื้อเพลิงและหัวฉีดที่ 30 ชั่วโมง การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจึงกลายเป็นประมาณ 2.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมงอีกครั้งหนึ่งและการเพิ่มขึ้นจึงเพิ่มในอัตราที่ช้าลง แม้ว่าเครื่องยนต์จะทำงานต่อได้แต่ก็เห็นได้ว่า ในช่วง 30-50 ชั่วโมงจะทำให้อุปกรณ์จำพวกหัวฉีดเริ่มการเสื่อมสภาพอีกครั้งแล้ว

นอกจากที่สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้้อตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะประมาณ 2.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเปลี่ยนแปลงดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จากรูปที่ 4-61 ที่สภาวะการทำงานที่ 2 ที่ 90% ของกำลังบ่งชี้้อตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะอยู่ที่ 2.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและค่าจะเพิ่มเป็นประมาณ 2.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แนวโน้มเดียวกับสภาวะที่ 1

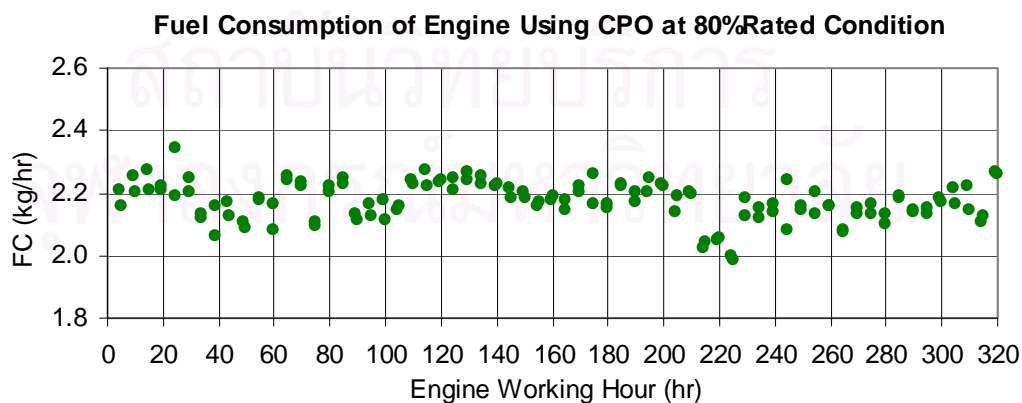
และเช่นกันจากรูปที่ 4-62 กับสภาวะที่ 3 ที่ 80% ของกำลังบ่งชี้้อตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอยู่ที่ 2.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าการทำงานอยู่ที่ 80% ของกำลังบ่งชี้จะยังสามารถทำงานได้ตามปกติซึ่งการที่การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่จุดทำงานนี้ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเนื่องจากเดิมต้องการเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าจุดอื่นๆ อยู่แล้ว เมื่อต้องฉีดเชื้อเพลิงน้อยกว่าทำให้เชื้อเพลิงที่ฉีดแม้ว่าจะเป็นละอองฝอยได้ไม่ดีเท่าเดิมแต่ก็ยังสามารถระเหยผสมกับอากาศได้เพียงพออยู่จึงไม่ต้องการการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4-60 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-61 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-62 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ

#### 4.2.5.2 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงตลอดการทดสอบความทนทานในกรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอิน แสดงได้ในรูปที่ 4-63 รูปที่ 4-64 และรูปที่ 4-65

จากรูปที่ 4-63 จะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอินจะอยู่ที่ประมาณ 2.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปเป็นประมาณ 2.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมงดังเช่นการใช้น้ำมันปาล์มดิบ เพียงแต่การเพิ่มขึ้นจะเกิดการเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบมาก นั่นคือ การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเริ่มอยู่ที่ 2.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมงก็เมื่อเกิน 100 ชั่วโมงขึ้นไปแล้ว หรือถ้าเทียบเป็นอายุหัวฉีดก็จะอยู่ประมาณ 70-100 ชั่วโมง เพราะได้ทำการถอดล้างที่ 30 ชั่วโมงดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

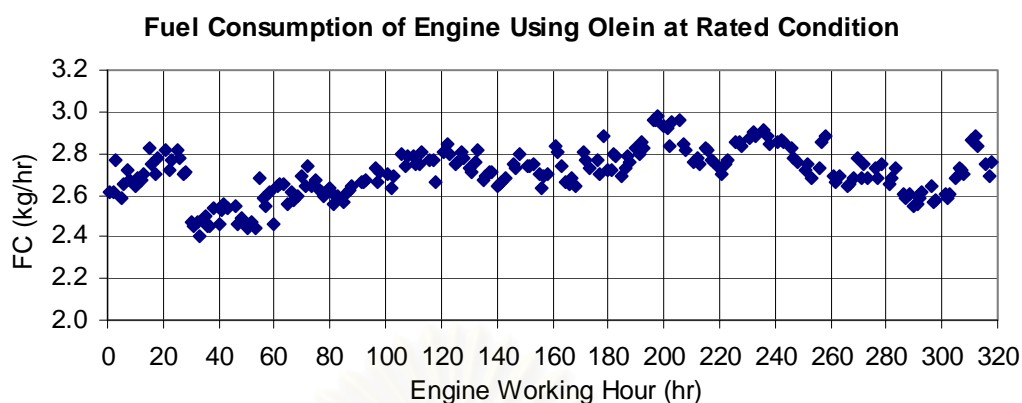
นอกจากที่สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะประมาณ 2.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเปลี่ยนแปลงดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จากรูปที่ 4-64 ที่สภาวะการทำงานที่ 2 ที่ 90% ของกำลังบ่งชี้ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะอยู่ที่ 2.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและค่าจะเพิ่มเป็นประมาณ 2.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แนวโน้มเดียวกับสภาวะที่ 1

และเช่นกันจากรูปที่ 4-65 กับสภาวะที่ 3 ที่ 80% ของกำลังบ่งชี้ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะอยู่ที่ 2.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและค่าจะเพิ่มเป็นประมาณ 2.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แนวโน้มเดียวกับสภาวะที่ 1 และสภาวะที่ 2

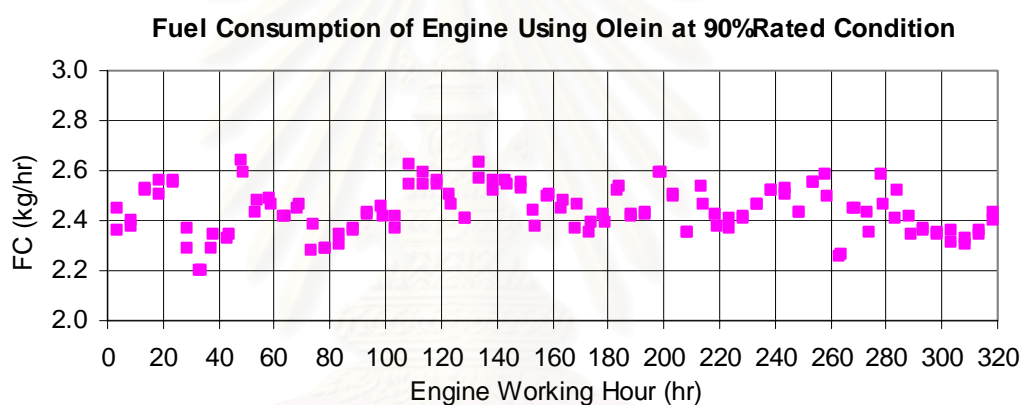
#### 4.2.5.3 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในกรณีการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับอ้างอิง

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับกรณีใช้น้ำมันดีเซล อ้างอิงจากการทดสอบความทนทานก่อนหน้า [30] ตลอดช่วงเวลา 320 ชั่วโมง ที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงในรูปที่ 4-66

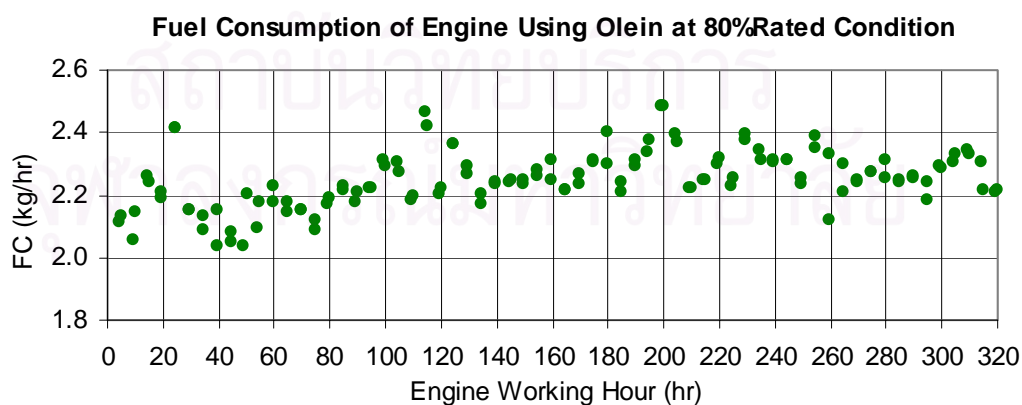
จากรูปที่ 4-66 จะเห็นได้ว่าในตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมงของดีเซลที่ได้ทำการทดสอบที่วัฏจักรเดียวกัน เห็นได้ว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอยู่ที่ประมาณ 2.9 ลิตรต่อชั่วโมงที่ กำลังบ่งชี้ (Rated) ซึ่งเท่ากับประมาณ 2.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนที่ กำลัง 90% ของกำลังบ่งชี้ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอยู่ที่ประมาณ 2.65 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเท่ากับประมาณ 2.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ ที่กำลัง 80% ของกำลังบ่งชี้ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอยู่ที่ประมาณ 2.4 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเท่ากับประมาณ 2.0 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยทั้งสามสภาวะการทำงานในตลอดช่วงทดสอบ 320 ชั่วโมงดังกล่าวอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเท่าใดนัก



รูปที่ 4-63 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-64 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-65 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ( FC ) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-66 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (FC) ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล [30]

#### 4.2.5.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 4-60 ถึงรูปที่ 4-65 จะเห็นได้ชัดว่าการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบความทนทานของน้ำมันปาล์มดิบจะเกิดเร็วกว่าการเสื่อมสภาพของน้ำมันปาล์มโอเลอินเกือบเท่าตัว เนื่องจากอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สภาวะการทำงานที่กำลังบ่งชี้ขึ้นเพิ่มเป็น 2.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมงของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบเกิดขึ้นที่อายุการทำงานของเครื่องยนต์ที่ประมาณ 70 ชั่วโมงหรืออายุหัวฉีดประมาณ 30-50 ชั่วโมงเท่านั้น และของกรณีที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินเกิดที่อายุการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 100 ชั่วโมง หรืออายุการทำงานของหัวฉีดที่ 70-100 ชั่วโมง ดังกล่าวเป็นตัวบ่งบอกให้เห็นว่าต้องการใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นเพื่อให้สามารถทำงานที่กำลังเท่าเดิมได้ แสดงว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้ลดลง ซึ่งแสดงถึงการเสื่อมสภาพของเครื่องยนต์ได้ทางหนึ่ง

นอกเหนือจากเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินแล้ว หากเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ น้ำมันดีเซลตามปกติที่นำมาอ้างอิงนั้นจะพบว่า ในช่วง 320 ชั่วโมงในการทดสอบ น้ำมันดีเซลไม่แสดงอาการให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพของเครื่องยนต์มากเท่ากับการใช้น้ำมันปาล์มดิบ หรือ น้ำมันปาล์มโอเลอินโดยพิจารณาจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ถ้าพิจารณากรณีในสภาวะการทำงานที่กำลังบ่งชี้จะเห็นได้ว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นจาก 2.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เป็น 2.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็น 7.7% ของอัตราสิ้นเปลืองในตอนแรก การเพิ่มขึ้นนี้เองที่ไม่พบในการใช้งานจากดีเซลเลยในช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง



#### 4.2.6 อุณหภูมิไอเสีย

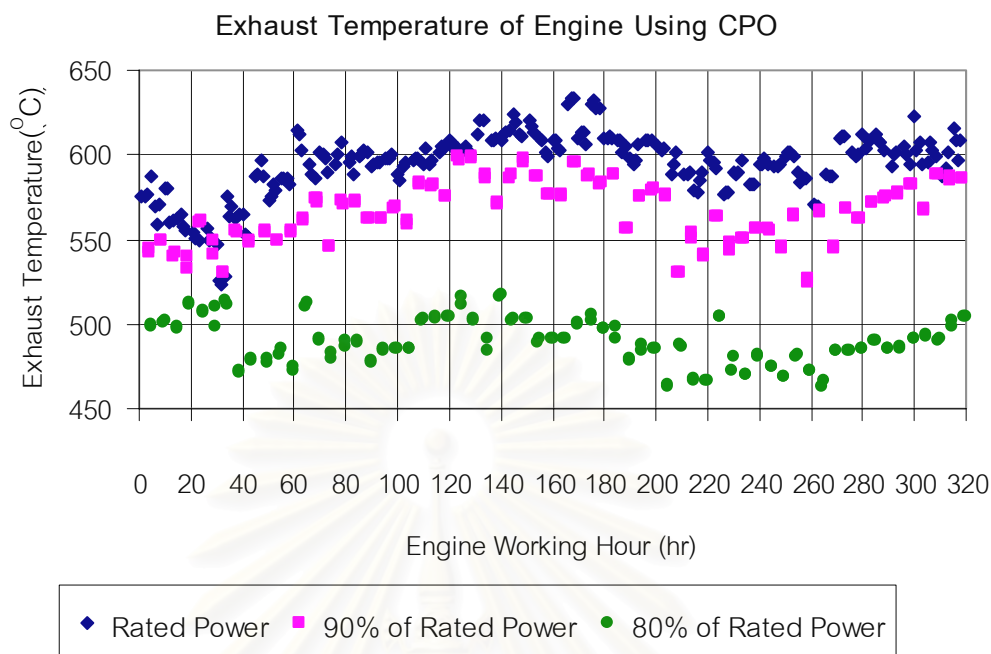
อุณหภูมิไอเสียตลอดช่วงเวลาการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงในรูปที่ 4-67 สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และในรูปที่ 4-68 สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากรูปที่ 4-67 และรูปที่ 4-68 แสดงให้เห็นแนวโน้มของอุณหภูมิไอเสีย ว่าเมื่อชั่วโมงการใช้งานของเครื่องยนต์สูงขึ้นอุณหภูมิไอเสียก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นในอัตราที่เร็วในช่วงแรก และเพิ่มในอัตราที่ต่ำลงเรื่อยๆ จนกระทั่งใกล้เคียงจะคงที่ที่ค่าหนึ่งโดยสำหรับน้ำมันปาล์มดิบ และสำหรับน้ำมันปาล์มโอเลอิน จะเห็นได้ว่าที่ช่วงที่ได้ทำการล้างหัวฉีดทั้งสองเครื่องยนต์ ทำให้อุณหภูมิไอเสียลดลงมาก่อนทั้งสองเครื่องยนต์แล้วจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไอเสียในกรณีน้ำมันปาล์มดิบจะมีการเพิ่มขึ้นที่เร็วและมากกว่าในกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอิน

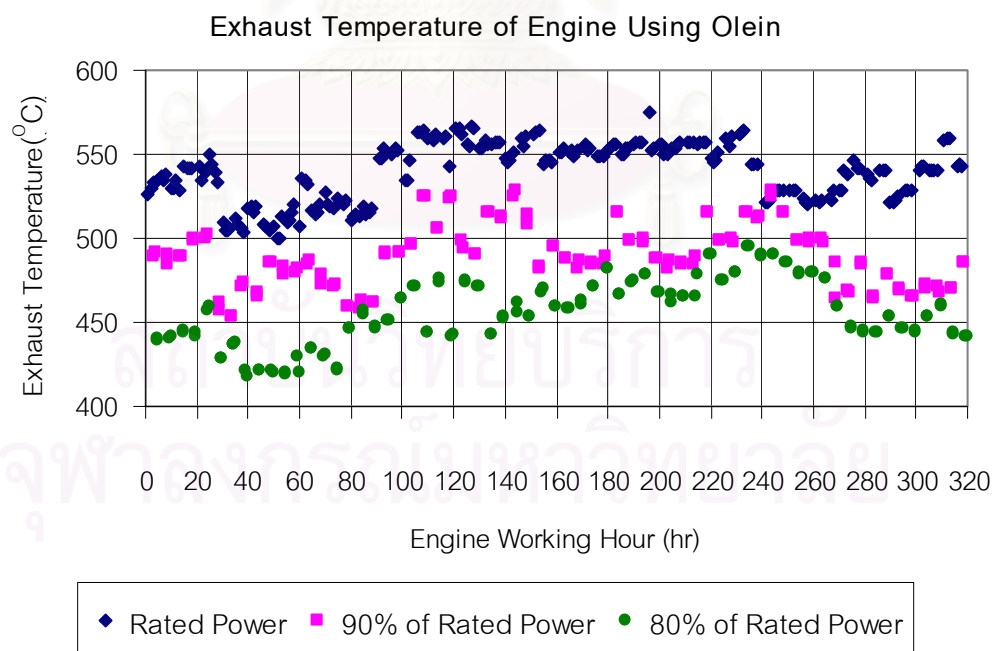
##### 4.2.6.1 อุณหภูมิไอเสียในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

อุณหภูมิไอเสียตลอดการทดสอบความทนทานในกรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มดิบ แสดงได้ในรูปที่ 4-69 รูปที่ 4-70 และรูปที่ 4-71

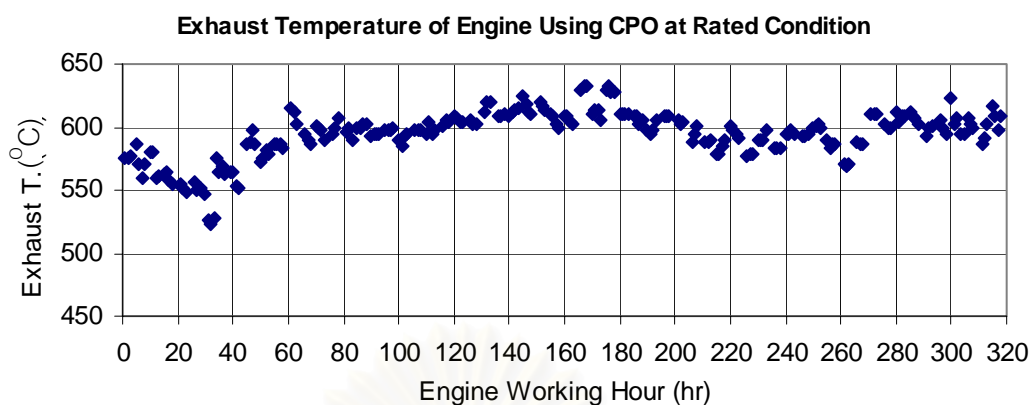
จากรูปที่ 4-69 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิไอเสียในสภาวะการทำงานที่ 1 กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบจะอยู่ที่ประมาณ  $550^{\circ}\text{C}$  และค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปเป็นประมาณ  $600^{\circ}\text{C}$  ซึ่งแนวโน้มจะเริ่มมากกว่า  $600^{\circ}\text{C}$  ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 100 เป็นต้นไป และจะเพิ่มและลดลงตามภาระที่เกิดขึ้น เช่นในบางกรณีที่มีความเร็วรอบตกลงต่ำกว่า 2400 รอบต่อนาทีอุณหภูมิไอเสียก็จะตกลงตามไปด้วย ในการเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นไปโดยที่อุณหภูมียังอยู่ใกล้เคียงกับช่วง  $600^{\circ}\text{C}$  ถึง  $620^{\circ}\text{C}$  และเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4-31 ที่แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียก่อนการทดสอบจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิไอเสียที่ภาระเทียบเท่ากับสภาวะที่ 1 หรือ กำลังบ่งชี้ คือเท่ากับแรงบิด 35 N-m อุณหภูมิไอเสียนี้อยู่ที่  $550^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจากจุดนั้นเมื่อทำการทดสอบความทนทานผ่านไป 320 ชั่วโมงอุณหภูมิไอเสียก็เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ  $610^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสูงขึ้นถึง  $60^{\circ}\text{C}$  คิดเป็นประมาณ 11% ของอุณหภูมิไอเสียตอนเริ่มต้น



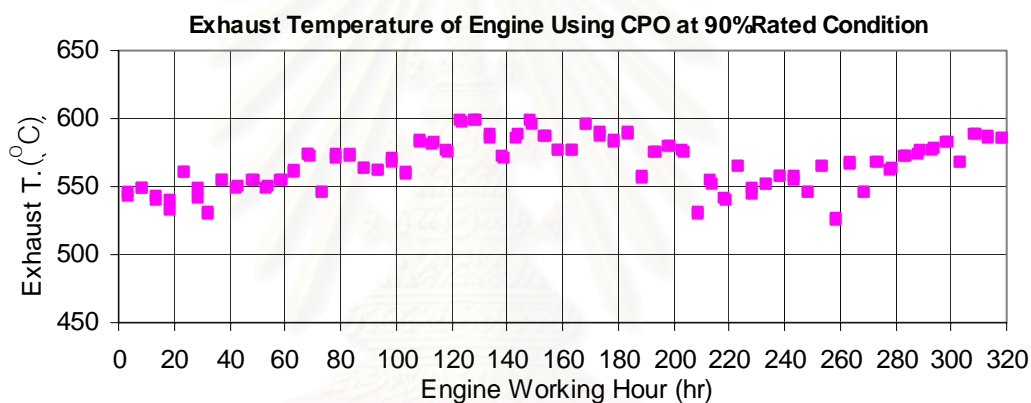
รูปที่ 4-67 แสดงอุณหภูมิไอเสีย ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



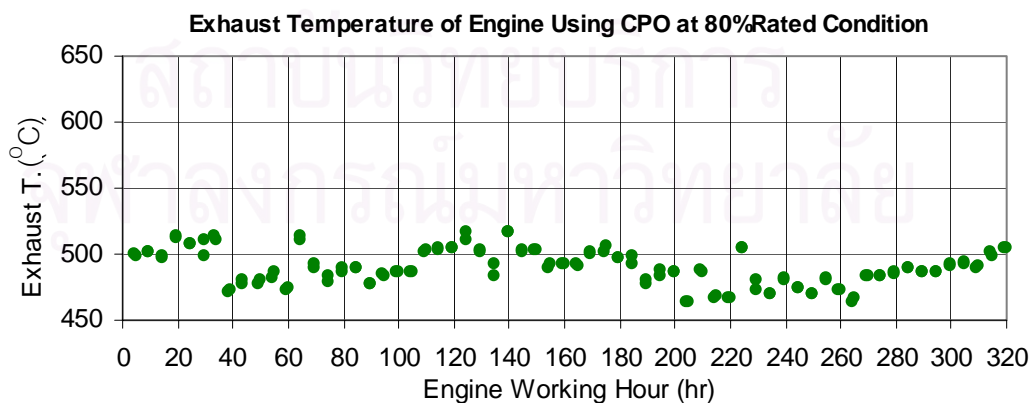
รูปที่ 4-68 แสดงอุณหภูมิไอเสีย ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-69 แสดงอุณหภูมิไอเสีย ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-70 แสดงอุณหภูมิไอเสีย ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-71 แสดงอุณหภูมิไอเสีย ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

จากรูปที่ 4-70 ที่ภาระ 90% ของกำลังบ่งชี้ อุณหภูมิไอเสียเปลี่ยนแปลงจากประมาณไม่ถึง  $550^{\circ}\text{C}$  ไปเป็นประมาณ  $580^{\circ}\text{C}$  ที่ชั่วโมงที่ประมาณ 100 จากนั้นจึงเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงประมาณ  $550^{\circ}\text{C}$  ถึง  $600^{\circ}\text{C}$

และจากรูปที่ 4-71 ที่ภาระ 80% ของกำลังบ่งชี้ อุณหภูมิไอเสียค่อนข้างคงที่อยู่ที่  $500^{\circ}\text{C}$  และเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องมาจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ได้กล่าวไปแล้วมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นดังนั้นเมื่อเชื้อเพลิงที่ต้องการเท่าเดิมดังนั้นอุณหภูมิไอเสียจึงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก

เมื่อเปรียบเทียบร่วมกันระหว่างรูปที่ 4-69 รูปที่ 4-70 และรูปที่ 4-71 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 2 และ 3 นั้นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไอเสียไม่มากและเร็วเท่ากับสภาวะการทำงานที่ 1 และก็เป็นแนวโน้มเดียวกันกับกรณีที่ใช้ น้ำมันเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินดังแสดงต่อไป

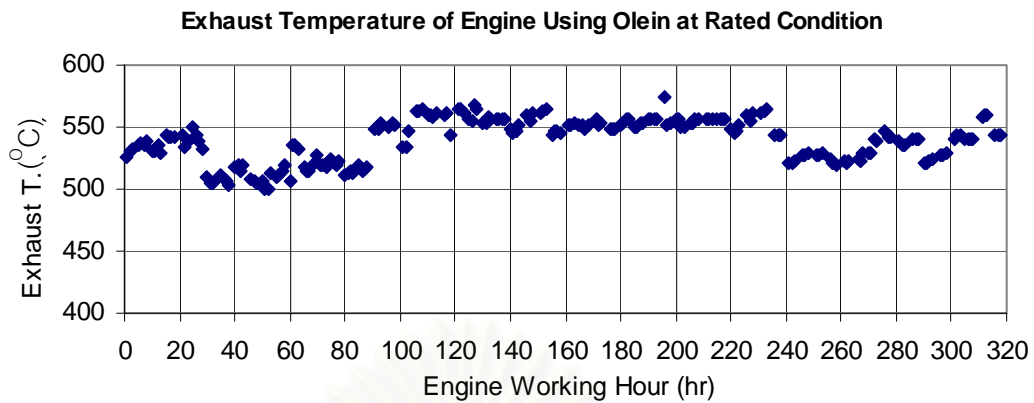
#### 4.2.6.2 อุณหภูมิไอเสียในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

อุณหภูมิไอเสียตลอดการทดสอบความทนทานในกรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอิน แสดงได้ในรูปที่ 4-72 รูปที่ 4-73 และรูปที่ 4-74

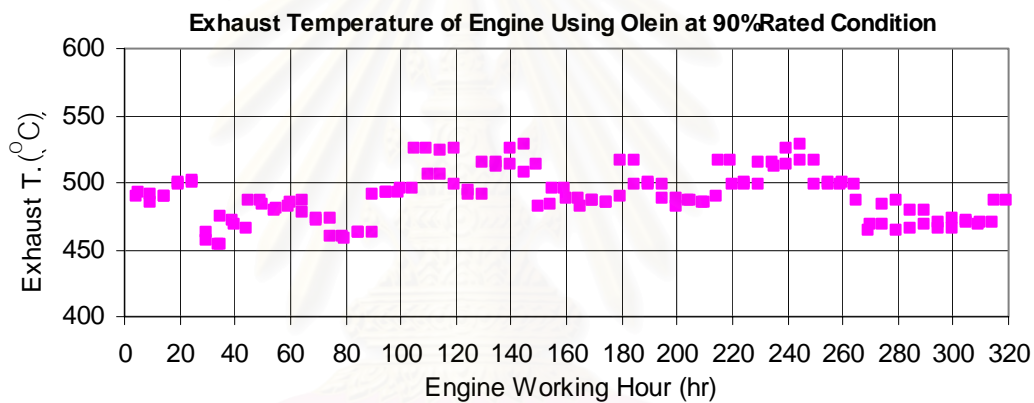
จากรูปที่ 4-72 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 1 อุณหภูมิไอเสียกรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน จะอยู่ที่ประมาณ  $525^{\circ}\text{C}$  และค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปเป็นประมาณ  $550^{\circ}\text{C}$  ซึ่งแนวโน้มจะเริ่มมากกว่า  $550^{\circ}\text{C}$  ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 110 เป็นต้นไปและจะเพิ่มและลดลงตามปริมาณเชื้อเพลิงที่ให้กับเครื่องยนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4-33 ที่แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียก่อนการทดสอบจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิไอเสียที่ภาระเทียบเท่ากับสภาวะที่ 1 หรือ กำลังบ่งชี้ คือเท่ากับแรงบิด 35 N-m นี้อยู่ที่ น้อยกว่า  $550^{\circ}\text{C}$  เล็กน้อย ซึ่งจากจุดนั้นเมื่อทำการทดสอบความทนทานผ่านไป 320 ชั่วโมงอุณหภูมิไอเสียก็เพิ่มขึ้นสูงกว่า  $550^{\circ}\text{C}$  เล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งแนวโน้มเป็นไปด้วยกันทั้งสามสภาวะการทำงาน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิไอเสียมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากเกินไปนักแสดงให้เห็นถึงสภาพของหัวฉีดและความสามารถในการฉีดเป็นละอองฝอยที่ยังดีอยู่ ทำให้ไม่เกิดการเผาไหม้ต่อในท่อไอเสียมากเกินไป ทำให้อุณหภูมิไอเสียจึงไม่สูงขึ้นอีก

สำหรับที่สภาวะการทำงานที่ 2 ที่ 90% ของกำลังบ่งชี้ ดังรูปที่ 4-73 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิไอเสียอยู่ที่ประมาณ  $490^{\circ}\text{C}$  และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนอยู่ประมาณ  $500^{\circ}\text{C}$  ถึง  $510^{\circ}\text{C}$  และเปลี่ยนแปลงเป็นแนวโน้มเดียวกันกับสภาวะการทำงานที่ 1

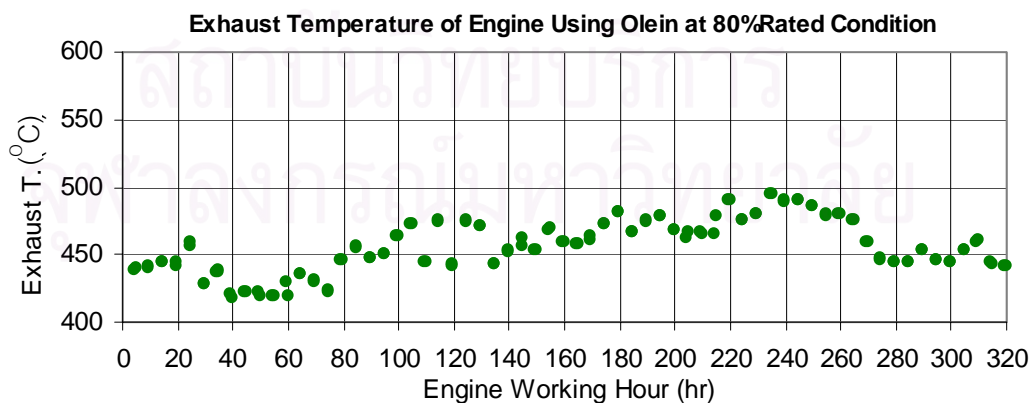
สำหรับที่สภาวะการทำงานที่ 3 ที่ 80% ของกำลังบ่งชี้ ดังรูปที่ 4-74 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิไอเสียอยู่ที่ประมาณ  $440^{\circ}\text{C}$  และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนอยู่ประมาณ  $470^{\circ}\text{C}$  และเปลี่ยนแปลงเป็นแนวโน้มเดียวกันกับสภาวะการทำงานที่ 1 และ 2



รูปที่ 4-72 แสดงอุณหภูมิไอเสีย ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-73 แสดงอุณหภูมิไอเสีย ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



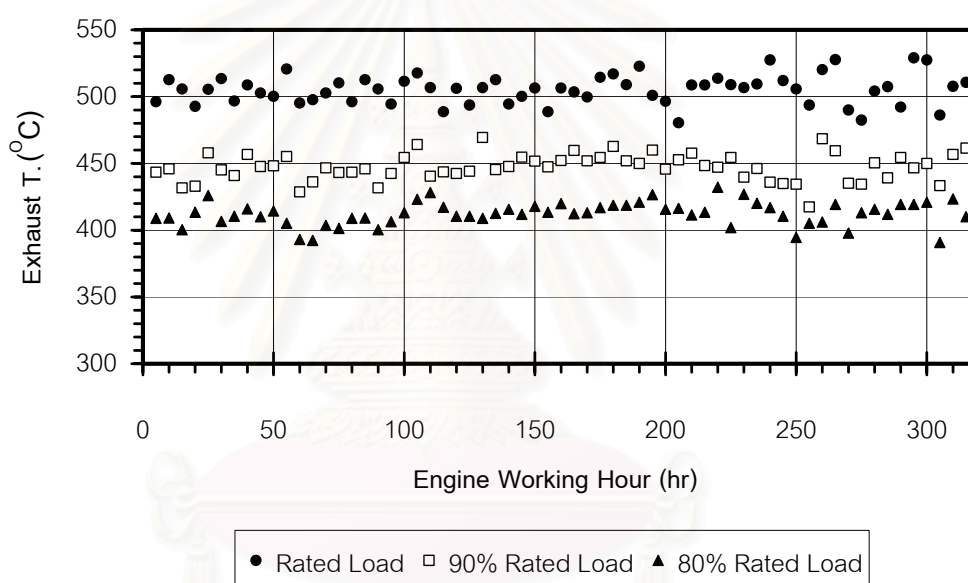
รูปที่ 4-74 แสดงอุณหภูมิไอเสีย ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



#### 4.2.6.3 อุณหภูมิไอเสียในกรณีการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับอ้างอิง

อุณหภูมิไอเสียสำหรับกรณีใช้น้ำมันดีเซล อ้างอิงจากการทดสอบความทนทาน ก่อนหน้า [30] ตลอดช่วงเวลา 320 ชั่วโมง ที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และ สภาวะการทำงานที่ 3 แสดงในรูปที่ 4-75

จากรูปที่ 4-75 จะเห็นได้ว่าในตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมงของดีเซลที่ได้ทำการทดสอบที่วัฏจักรเดียวกัน เห็นได้ว่าอุณหภูมิไอเสียอยู่ที่ประมาณ 500 °C ที่กำลังบ่งชี้ (Rated) ส่วนที่กำลัง 90% ของกำลังบ่งชี้ อุณหภูมิไอเสียอยู่ที่ประมาณ 450 °C และ ที่กำลัง 80% ของกำลังบ่งชี้ อุณหภูมิไอเสียอยู่ที่ 410 °C โดยทั้งสามสภาวะการทำงานในตลอดช่วงทดสอบ 320 ชั่วโมง ดังกล่าวอุณหภูมิไอเสียไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเท่าใดนัก



รูปที่ 4-75 แสดงอุณหภูมิไอเสีย ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล [30]

#### 4.2.6.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสีย

จากรูปที่ 4-67 ถึงรูปที่ 4-75 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ และอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอดีอื่น มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้ดีเซล ตลอดทุกช่วงสภาวะการทำงานดังเช่นการทดสอบสมรรถนะ และตลอดทุกชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์

อีกทั้งค่าอุณหภูมิไอเสียของกรณีใช้น้ำมันดีเซลไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง แต่สำหรับค่าอุณหภูมิไอเสียของน้ำมันปาล์มดิบ และอุณหภูมิไอเสียของน้ำมันปาล์มโอดีอื่นกลับมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าเดิมเมื่อทำงานมากกว่า 100 ชั่วโมงเป็นต้นไป และหากเปรียบเทียบแนวโน้มเฉพาะของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอดีอื่นจะเห็นว่าการ

เพิ่มขึ้นของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบจะมีการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่ากรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยเฉพาะในช่วงที่กำลังสูง (โดยเฉพาะที่กำลังบ่งชี้) เนื่องจากต้องการเชื้อเพลิงเข้าไปมากกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการระเหยกลายเป็นละอองฝอยของเชื้อเพลิงที่แยกกว่าในกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบเมื่อใช้งานไป ทำให้อุณหภูมิลดลงเปลี่ยนแปลงมากกว่านั่นเอง

#### 4.2.7 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

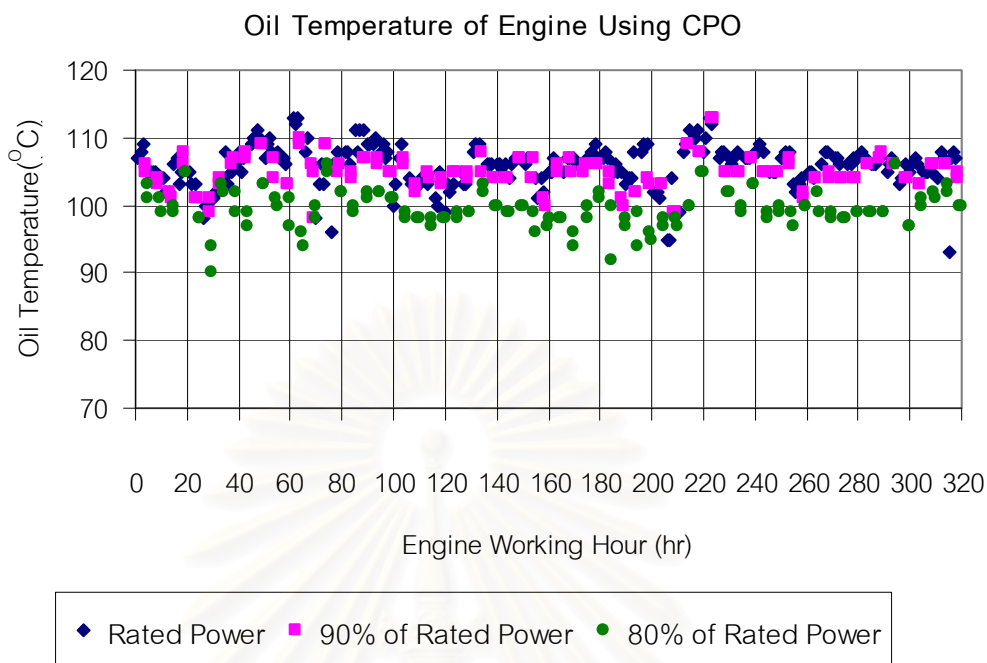
อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงระยะเวลาการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงในรูปที่ 4-76 สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และในรูปที่ 4-77 สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากรูปที่ 4-76 และรูปที่ 4-77 แสดงให้เห็นแนวโน้มของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีแนวโน้มที่ไม่ค่อยเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน โดยจะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 1 จะมีค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงกว่า สภาวะการทำงานที่ 2 และ ที่สภาวะการทำงานที่ 2 มีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงกว่าสภาวะการทำงานที่ 3 และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน

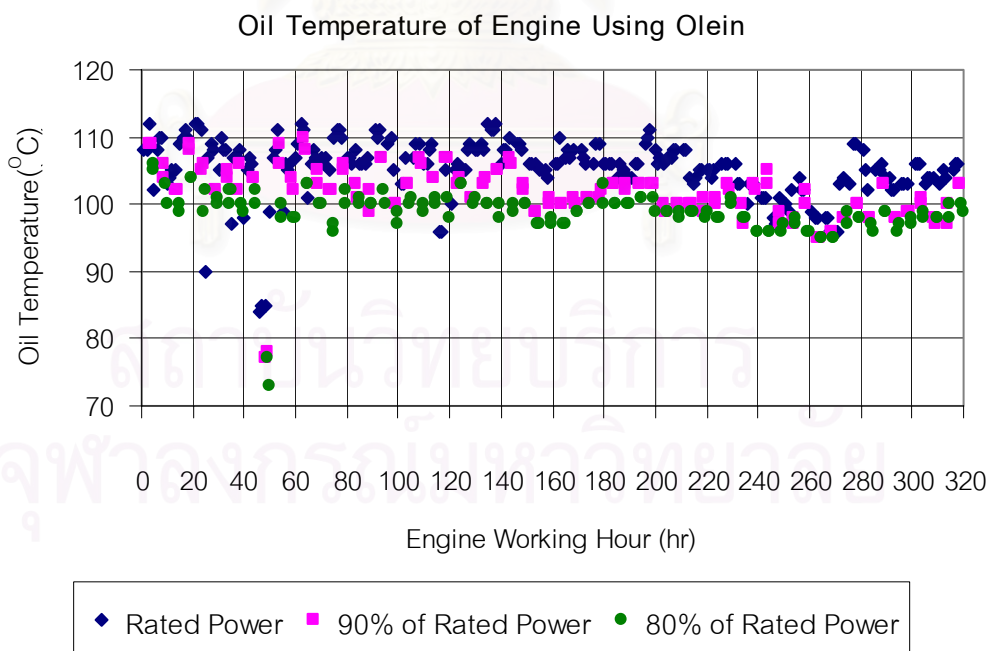
##### 4.2.7.1 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดการทดสอบความทนทานในกรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มดิบ แสดงได้ในรูปที่ 4-78 รูปที่ 4-79 และรูปที่ 4-80

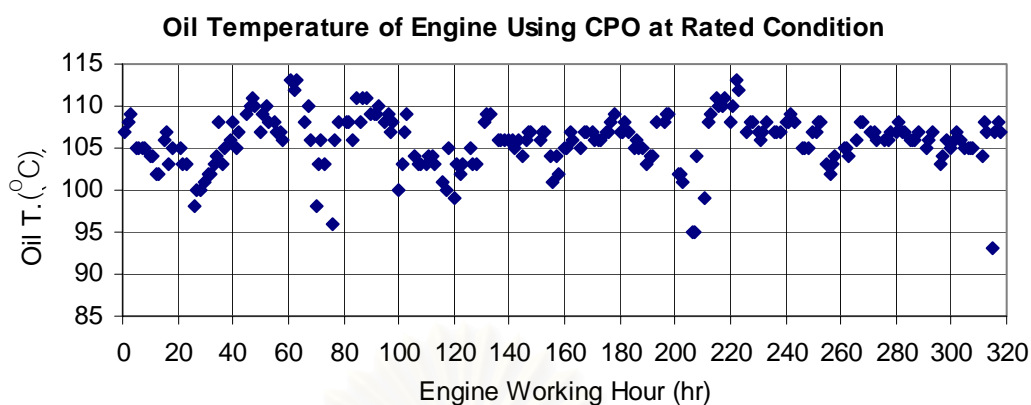
จากรูปที่ 4-78 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 1 หรือที่กำลังบ่งชี้ อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นอยู่ประมาณระหว่าง  $105^{\circ}\text{C}$  ถึง  $110^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง จากรูปที่ 4-79 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 2 หรือที่ 90% ของกำลังบ่งชี้ อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นอยู่ประมาณ  $105^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง และจากรูปที่ 4-80 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 3 หรือที่ 80% ของกำลังบ่งชี้ อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นอยู่ประมาณ  $100^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง



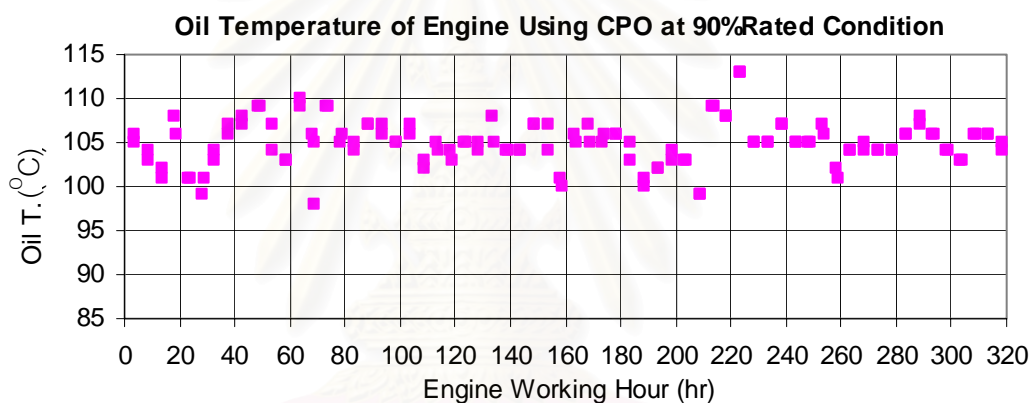
รูปที่ 4-76 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ



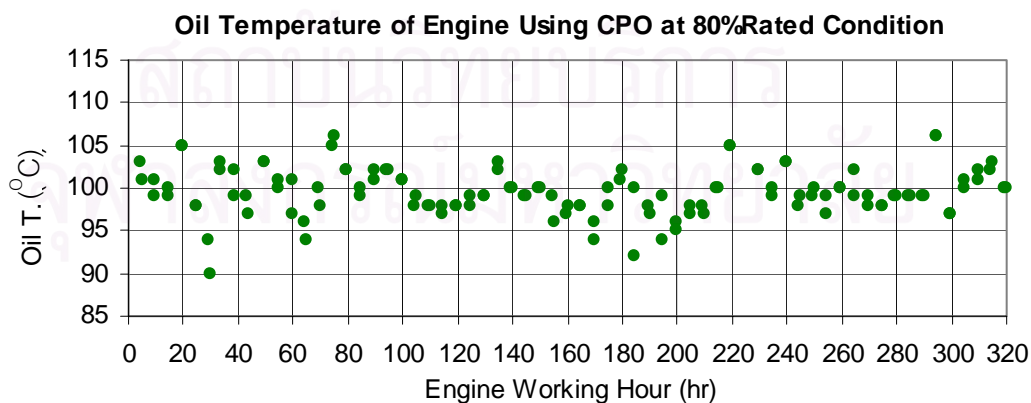
รูปที่ 4-77 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน



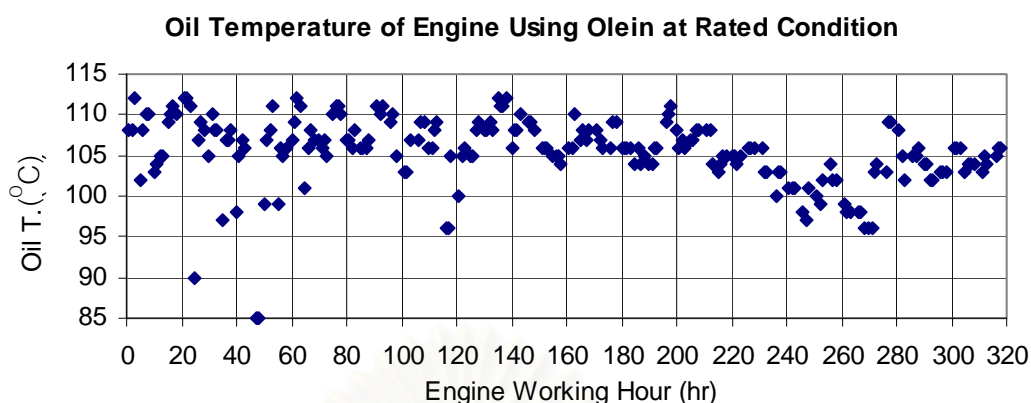
รูปที่ 4-78 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ



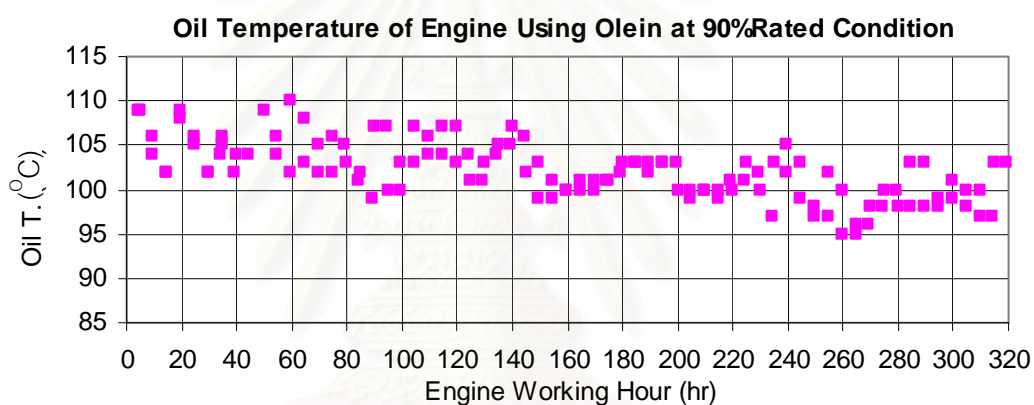
รูปที่ 4-79 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ



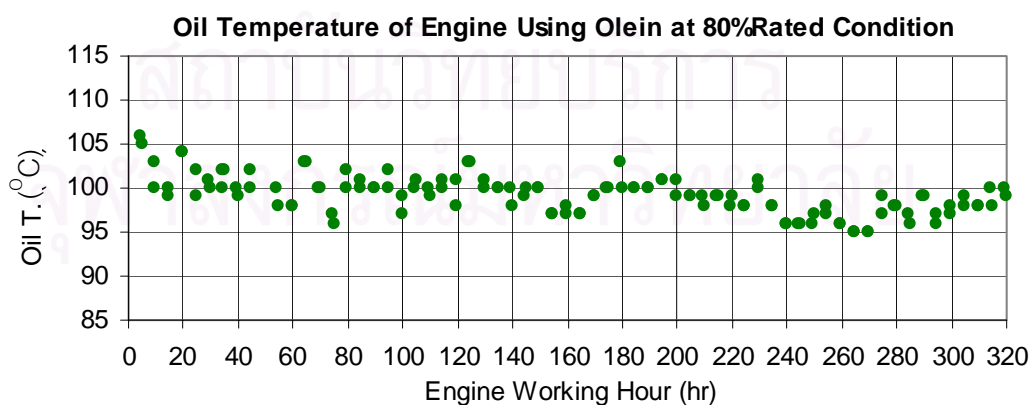
รูปที่ 4-80 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-81 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-82 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-83 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน



#### 4.2.7.2 คุณหมมิน้ำมันหล่อลื่นในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

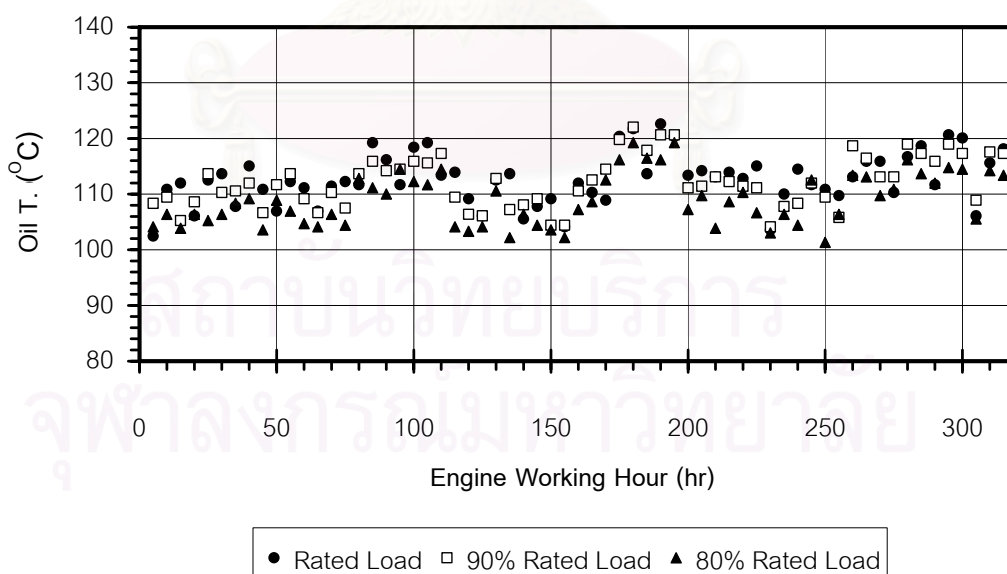
คุณหมมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดจนการทดสอบความทนทานในกรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอิน แสดงได้ในรูปที่ 4-81 รูปที่ 4-82 และรูปที่ 4-83

จากรูปที่ 4-81 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 1 หรือที่กำลังบ่งชี้คุณหมมิน้ำมันหล่อลื่นอยู่ประมาณระหว่าง  $105^{\circ}\text{C}$  ถึง  $110^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง จากรูปที่ 4-82 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 2 หรือที่ 90% ของกำลังบ่งชี้ คุณหมมิน้ำมันหล่อลื่นอยู่ประมาณระหว่าง  $100^{\circ}\text{C}$  ถึง  $105^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง และจากรูปที่ 4-83 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 3 หรือที่ 80% ของกำลังบ่งชี้ คุณหมมิน้ำมันหล่อลื่นอยู่ประมาณ  $100^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง

#### 4.2.7.3 คุณหมมิน้ำมันหล่อลื่นในกรณีการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับอ้างอิง

คุณหมมิน้ำมันหล่อลื่นสำหรับกรณีใช้น้ำมันดีเซล อ้างอิงจากการทดสอบความทนทานก่อนหน้า [30] ตลอดช่วงเวลา 320 ชั่วโมง ที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงในรูปที่ 4-84

จากรูปที่ 4-84 จะเห็นได้ว่าในตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมงของดีเซลที่ได้ทำการทดสอบที่วัฏจักรเดียวกัน เห็นได้ว่าคุณหมมิน้ำมันหล่อลื่นอยู่ที่ประมาณ  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$  ทั้งสามสภาวะการทำงานใกล้เคียงกันทั้งหมด



รูปที่ 4-84 แสดงคุณหมมิน้ำมันหล่อลื่น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล [30]

#### 4.2.7.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

จากรูปที่ 4-76 ถึงรูปที่ 4-84 สามารถกล่าวได้ว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของทั้งกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบ กรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน และกรณีใช้ดีเซล ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทาน

#### 4.2.8 อุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็น

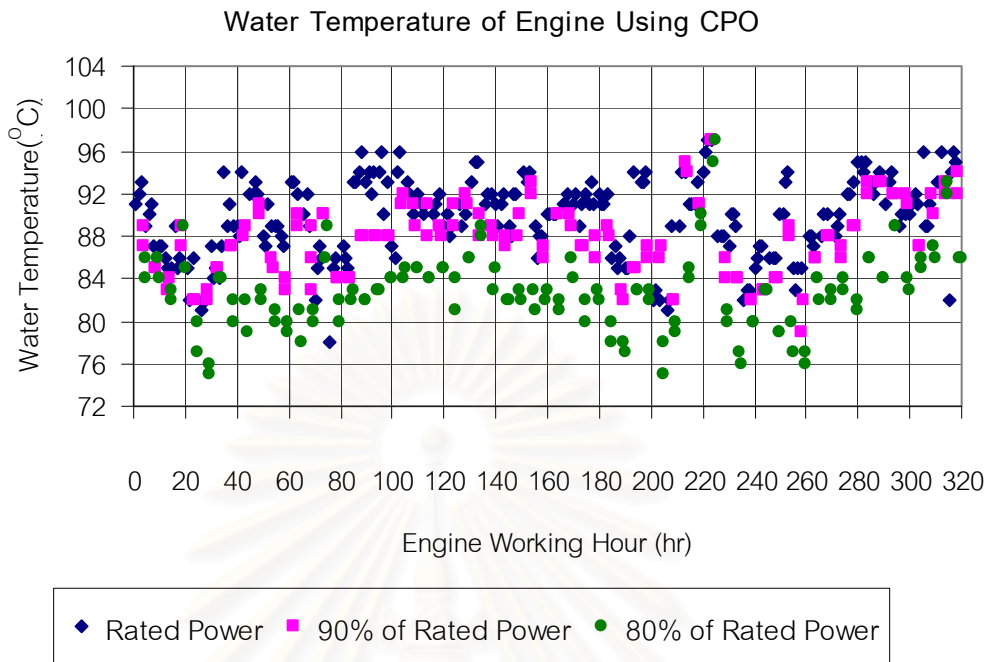
อุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นตลอดการทดสอบความทนทานในสภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงในรูปที่ 4-85 สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และในรูปที่ 4-86 สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

จากรูปที่ 4-85 และรูปที่ 4-86 แสดงให้เห็นแนวโน้มของอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นมีแนวโน้มที่ไม่ค่อยเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการทดสอบความทนทานเช่นเดียวกันกับอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น โดยจะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 1 จะมีค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นสูงกว่า สภาวะการทำงานที่ 2 และ ที่สภาวะการทำงานที่ 2 มีอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นสูงกว่าสภาวะการทำงานที่ 3 และการเปลี่ยนแปลงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงไม่เกิน  $\pm 5^{\circ}\text{C}$

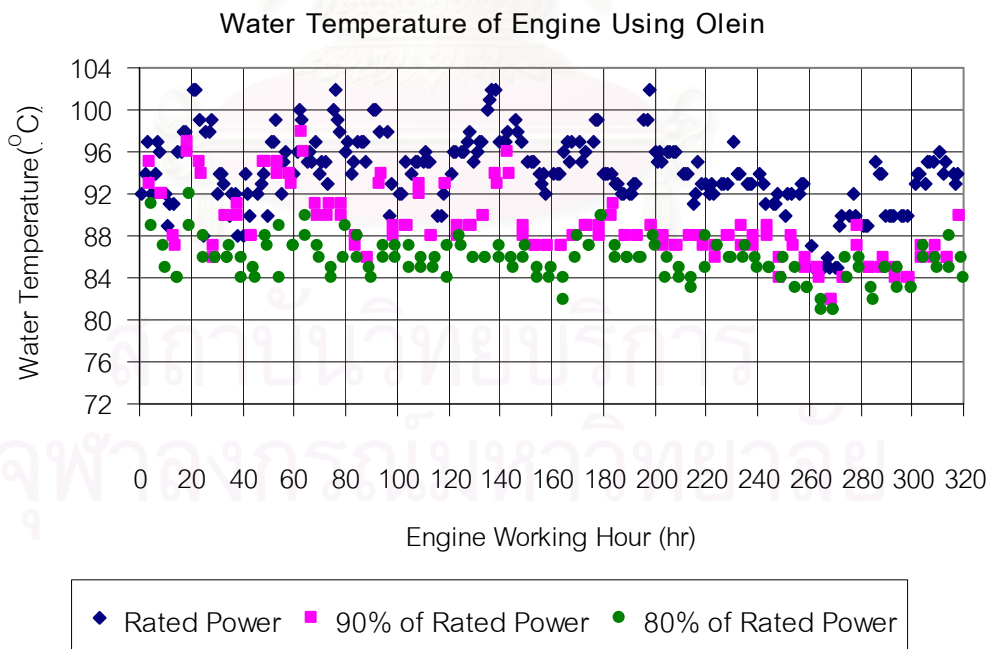
##### 4.2.8.1 อุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

อุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็น ตลอดการทดสอบความทนทานในกรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มดิบ แสดงได้ในรูปที่ 4-87 รูปที่ 4-88 และรูปที่ 4-89

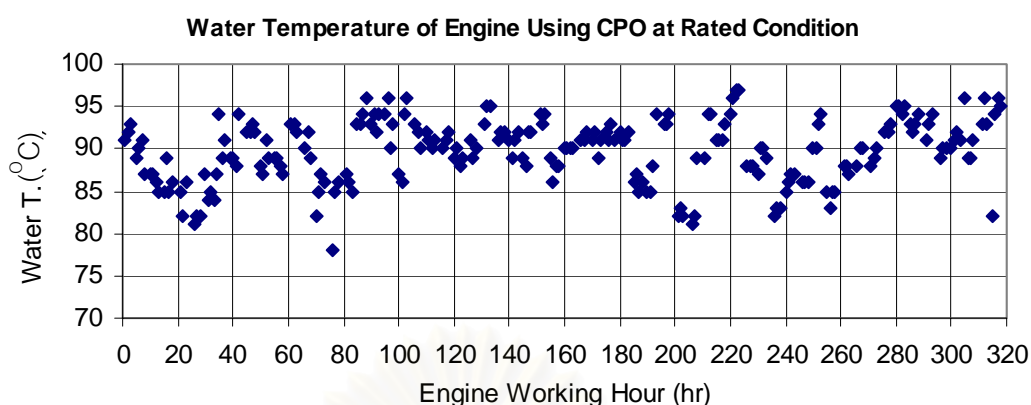
จากรูปที่ 4-87 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 1 หรือที่ กำลังบ่งชี้ อุณหภูมิ น้ำมันหล่อเย็นอยู่ประมาณ  $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง จากรูปที่ 4-88 จะเห็นได้ว่าที่ สภาวะการทำงานที่ 2 หรือที่ 90% ของกำลังบ่งชี้ อุณหภูมิ น้ำมันหล่อเย็นอยู่ประมาณ  $87 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง และจากรูปที่ 4-89 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 3 หรือที่ 80% ของกำลังบ่งชี้ อุณหภูมิ น้ำมันหล่อเย็นอยู่ประมาณ  $82 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง โดยในทั้ง 3 ช่วงการทดสอบ อุณหภูมิ น้ำมันหล่อเย็นผันแปรเพิ่มขึ้นสลับลดลง ในช่วงอุณหภูมิ ดังกล่าวตลอดทั้งช่วงการทดสอบความทนทาน



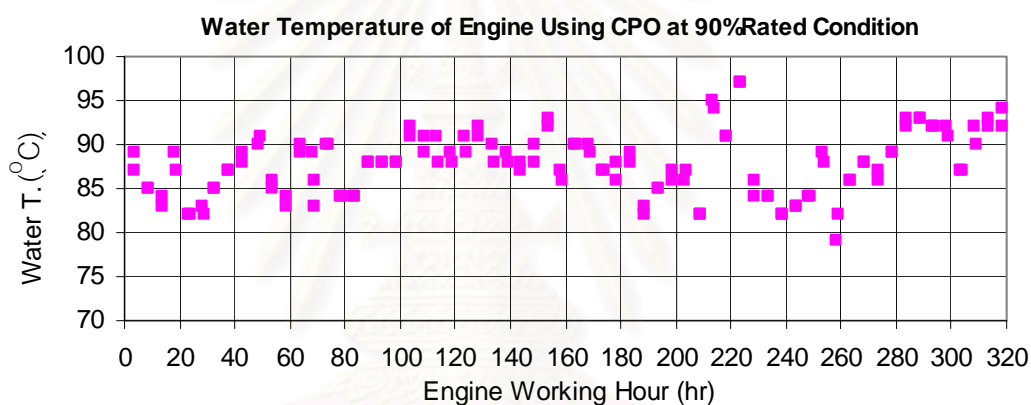
รูปที่ 4-85 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ



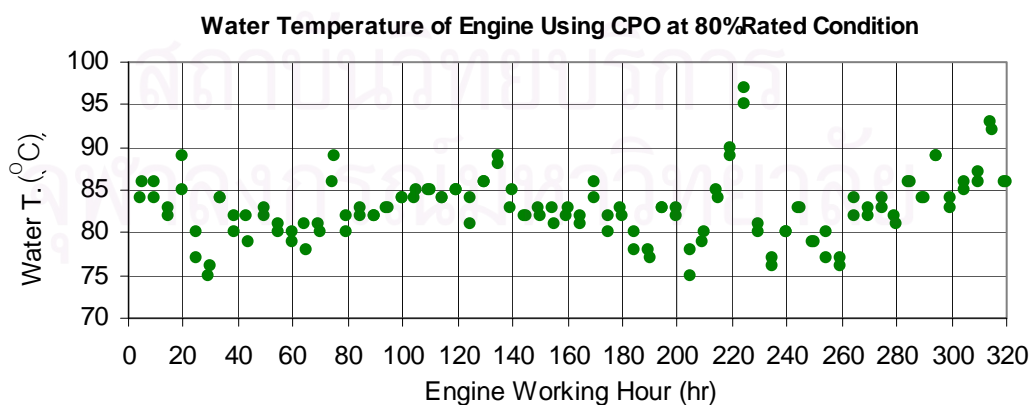
รูปที่ 4-86 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน



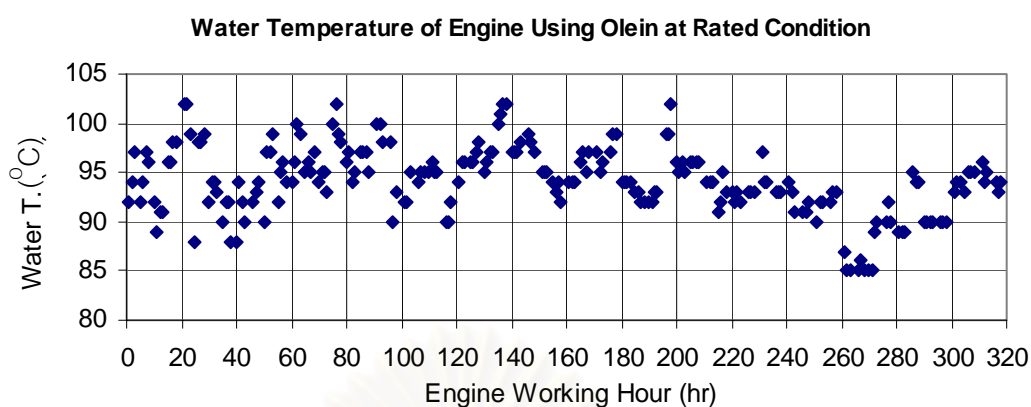
รูปที่ 4-87 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



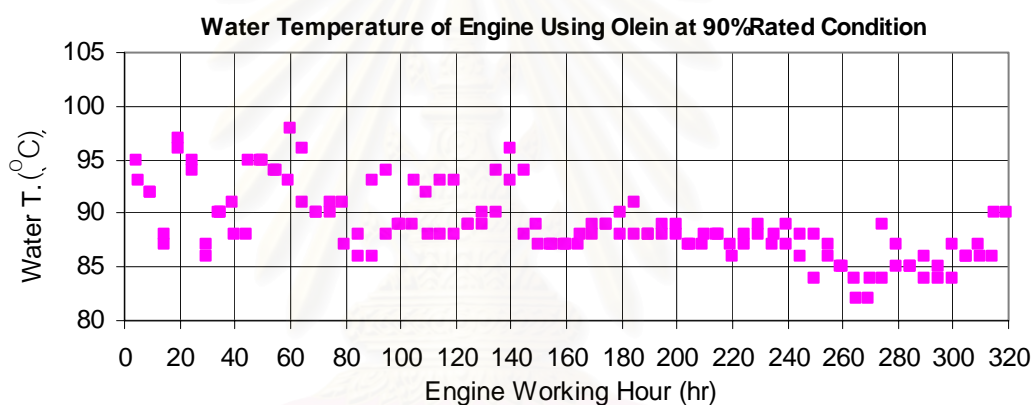
รูปที่ 4-88 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



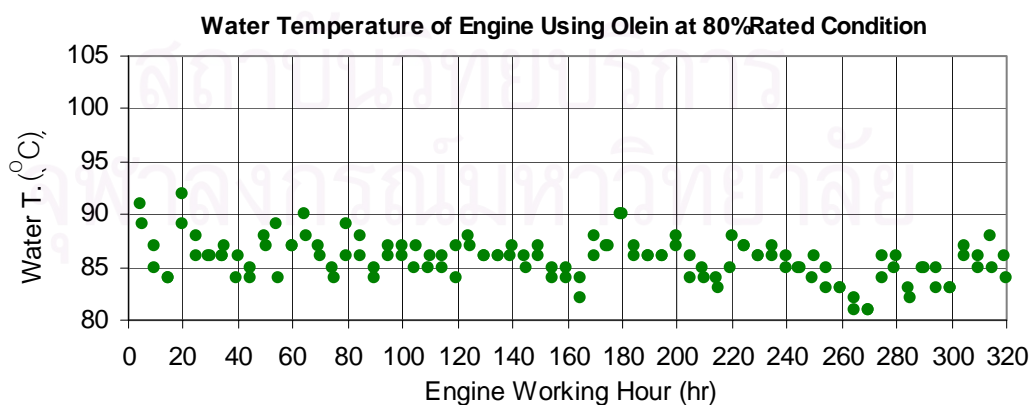
รูปที่ 4-89 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-90 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-91 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-92 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



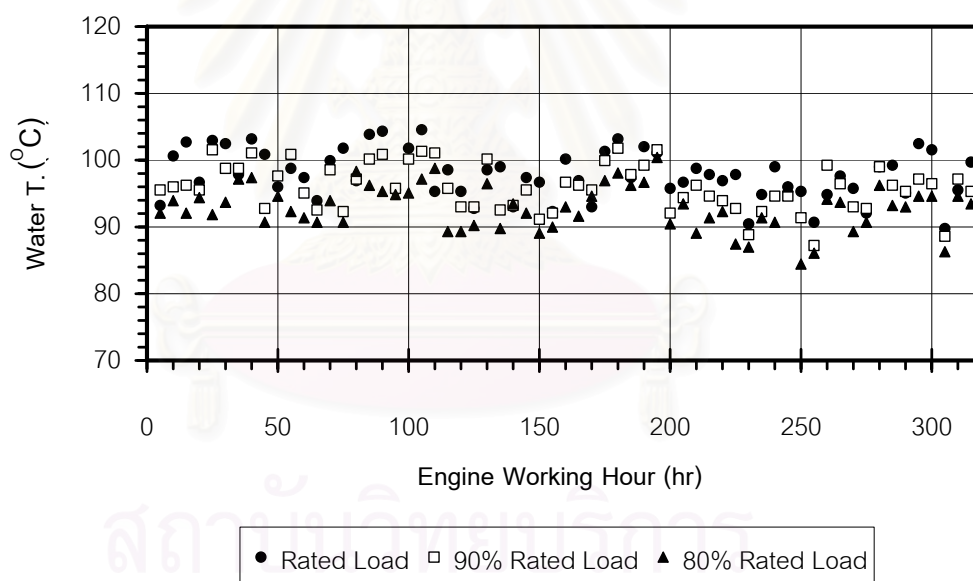
#### 4.2.8.2 คุณหมุมน้ำหล่อเย็นในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

คุณหมุมน้ำหล่อเย็น ตลอดการทดสอบความทนทานในกรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอิน แสดงได้ในรูปที่ 4-90 รูปที่ 4-91 และรูปที่ 4-92

จากรูปที่ 4-90 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 1 หรือที่ กำลังบ่งชี้คุณหมุมน้ำหล่อเย็นอยู่ประมาณ  $90^{\circ}\text{C}$  ถึง  $100^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง จากรูปที่ 4-91 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 2 หรือที่ 90% ของกำลังบ่งชี้ คุณหมุมน้ำหล่อเย็นอยู่ประมาณ  $88\pm 5^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง และจากรูปที่ 4-92 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่ 3 หรือที่ 80% ของกำลังบ่งชี้ คุณหมุมน้ำหล่อเย็นอยู่ประมาณ  $87\pm 3^{\circ}\text{C}$  ตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมง

#### 4.2.8.3 คุณหมุมน้ำหล่อเย็นในกรณีการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับอ้างอิง

คุณหมุมน้ำหล่อเย็นสำหรับกรณีใช้น้ำมันดีเซล อ้างอิงจากการทดสอบความทนทานก่อนหน้า [30] ตลอดช่วงเวลา 320 ชั่วโมง ที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงในรูปที่ 4-93



รูปที่ 4-93 แสดงคุณหมุมน้ำหล่อเย็น ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล [30]

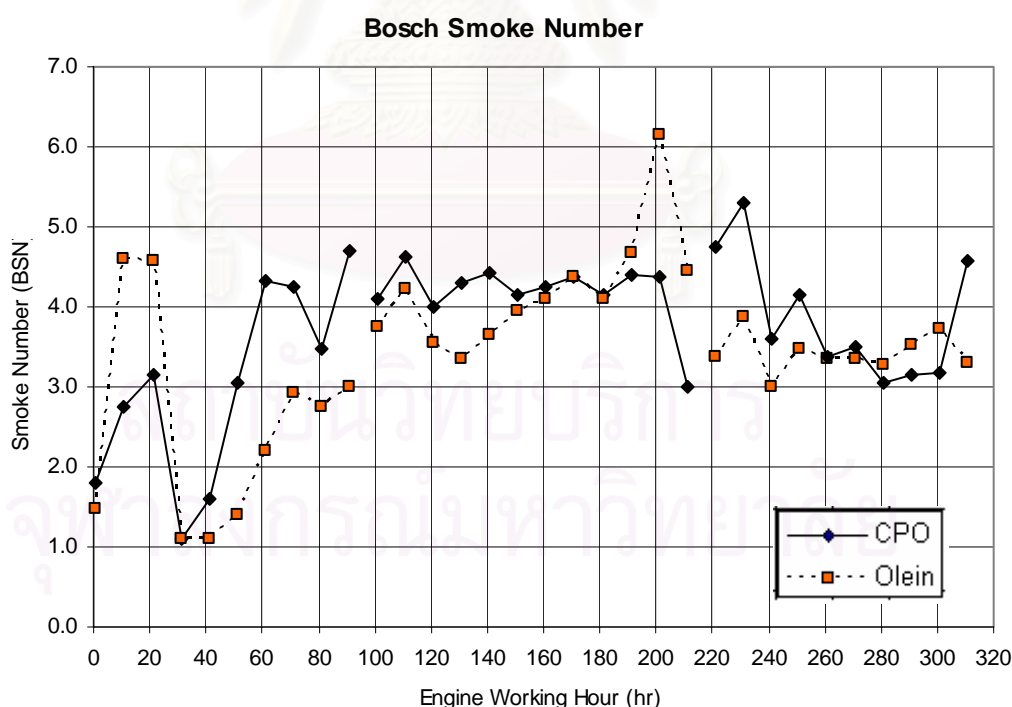
จากรูปที่ 4-93 จะเห็นได้ว่าในตลอดช่วงการทำงาน 320 ชั่วโมงของดีเซลที่ได้ทำการทดสอบที่วัฏจักรเดียวกัน เห็นได้ว่าคุณหมุมน้ำมันหล่อเย็นอยู่ที่ประมาณ  $97^{\circ}\text{C}$  ทั้งสามสภาวะการทำงานใกล้เคียงกันทั้งหมด

#### 4.2.8.4 เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

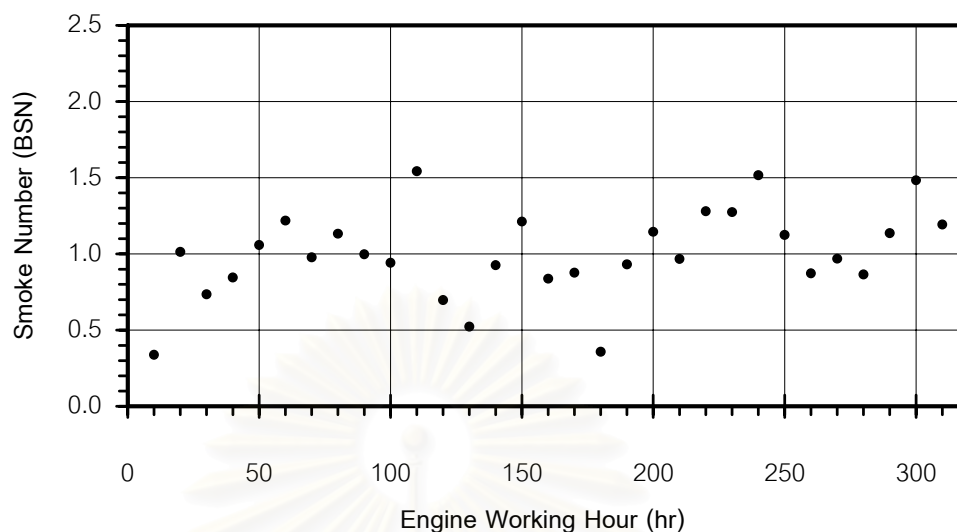
จากรูปที่ 4-85 ถึงรูปที่ 4-93 สามารถกล่าวได้ว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของทั้งกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบ กรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน และกรณีใช้ดีเซล ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการทดสอบความทนทาน

#### 4.2.9 ค่าควันดำ

ค่าควันดำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบและเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน แสดงดังรูปที่ 4-94 พบว่าค่าควันดำมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โดยในช่วงแรกก่อนการล้างหัวฉีดจะเห็นได้ว่า ค่าควันดำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะกับกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งช่วงดังกล่าวไม่เป็นไปตามแนวโน้มในภายหลัง โดยภายหลังล้างหัวฉีดค่าควันดำจึงตกลงมาอยู่ที่ต่ำกว่าเดิมมากและแนวโน้มจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นโดยกรณีน้ำมันปาล์มดิบมีการเพิ่มขึ้นเร็วกว่าในช่วงแรก จนกระทั่งประมาณชั่วโมงที่ 180 แนวโน้มของน้ำมันปาล์มโอเลอินจะสูงกว่าแนวโน้มของน้ำมันปาล์มดิบ เพียงช่วงเดียวเท่านั้น ภายหลังการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นที่ชั่วโมงที่ 210 ค่าควันดำจึงกลับมาเป็นแนวโน้มเดิม คือของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบมีค่าควันดำสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินตลอด



รูปที่ 4-94 แสดงค่าควันดำ ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-95 แสดงค่าควันดำ ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล [30]

สิ่งที่สังเกตได้จากรูปที่ 4-94 คือ เมื่อทำการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นเช่นที่ชั่วโมงที่ 100 ขึ้นไป จะเห็นได้ว่าค่าควันดำจะเริ่มคงที่โดยเฉพาะน้ำมันปาล์มดิบ ส่วนน้ำมันปาล์มโพลีเอสเตอร์จะคงที่จน ชั่วโมงที่ 180 จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อชั่วโมงที่มากกว่า 210 ซึ่งได้ทำการเปลี่ยนถ่าย น้ำมันหล่อลื่นอีกครั้ง ค่าควันดำก็ลดลงด้วยโดยเฉพาะน้ำมันปาล์มโพลีเอสเตอร์ที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4-95 ที่เป็นค่าควันดำกรณีน้ำมันดีเซล [30] จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของดีเซลจะเป็นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนชั่วโมงการทำงาน แต่สำหรับน้ำมันปาล์มทั้งสองจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและค่อนข้างคงที่มากกว่าในเวลาต่อมา ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกับอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเริ่มคงที่ในเวลาต่อมา

#### 4.2.10 สรุปและเปรียบเทียบผลการทดสอบความทนทาน

เมื่อพิจารณาในหัวข้อการทดสอบความทนทานทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้สามารถสรุปได้ว่า

สำหรับการใช้น้ำมันปาล์มดิบ หัวฉีดจะเกิดการอุดตันขึ้นได้ในชั่วโมงอายุของหัวฉีดตั้งแต่ 30-50 ชั่วโมงขึ้นไป ซึ่งทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้น และเมื่อถึงจุดหนึ่งอัตราสิ้นเปลืองนี้จะค่อนข้างคงที่ ซึ่งหากปั๊มเชื้อเพลิงสามารถทำงานได้ตามปกติอยู่ก็ยังสามารถทำให้เครื่องยนต์ทำงานต่อได้ แต่หากปั๊มเชื้อเพลิงเริ่มไม่สามารถทำงานได้ตามปกติจะทำให้เกิดยางเหนียวขึ้นที่หัวฉีด ซึ่งจะมีผลให้เกิดการอุดตันได้ง่ายยิ่งขึ้น

สำหรับการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ตลอด 320 ชั่วโมงจะยังใช้งานได้ตลอดโดยเกิดปัญหาน้อยมาก แต่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก็จะสูงขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มเปลี่ยนแปลงน้อยลงตั้งแต่อายุการทำงานของเครื่องยนต์ 100 ชั่วโมงขึ้นไป

เมื่อเปรียบเทียบกับดีเซลจะพบว่าในช่วง 320 ชั่วโมง ดีเซลจะยังไม่เกิดปัญหาใดๆ โดยเฉพาะเรื่องอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น

และจากอุณหภูมิไอเสียที่ทั้งสองเครื่องยนต์สูงกว่าดีเซล และสูงขึ้นเรื่อยๆ ด้วยนั้นทำให้สามารถทำนายได้ว่าการใช้งานต่อไป ส่วนที่อาจเกิดการเสียหายได้ก็คือ บ่าวาล์วไอเสียจะทรมานเร็วกว่าการใช้น้ำมันดีเซล เป็นผลให้เกิดการรั่วก๊าซในของห้องเผาไหม้ต่อไป

### 4.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

ผลจากการวิเคราะห์สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่สองเป็นผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่สามแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารปรุงแต่งในน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งทั้งสามส่วนใช้ในการตรวจสอบสภาพและอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น และส่วนที่สี่แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะจากการสึกหรอ ซึ่งจะครอบคลุมถึงผลจากกระบวนการเฟอร์โรกราฟีเพื่อใช้ศึกษาถึงลักษณะ รูปร่างและขนาดของโลหะ โดยช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นสามารถแบ่งเป็น 4 ช่วง ตามระยะการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น คือ

- ชั่วโมงที่ -20 ถึง 0 คือ ช่วงของการรันอินเครื่องยนต์ (ใช้น้ำมันดีเซล)
- ชั่วโมงที่ 0 ถึง 100 (ใช้น้ำมันปาล์มดิบและใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน)
- ชั่วโมงที่ 100 ถึง 210 (ใช้น้ำมันปาล์มดิบและใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน)
- ชั่วโมงที่ 210 ถึง 320 (ใช้น้ำมันปาล์มดิบและใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน)

ในการวิเคราะห์จะนำเสนอเป็น 2 รูปแบบคือ แสดงค่าตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 320 (working hours) โดยที่ไม่นำผลจากช่วงรันอินเครื่องยนต์มาวิเคราะห์ เนื่องจากกระบวนการรันอินในเครื่องยนต์ทั้งหมดที่ทดสอบได้กระทำกระบวนการเดียวกัน และไม่ได้ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มอีกด้วย และการวิเคราะห์รูปแบบที่สองคือ แสดงค่าตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น (oil hours) เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบและศึกษาแนวโน้มต่างๆ ในการวิเคราะห์

ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่สุ่มได้ในแต่ละครั้งได้มีการเปรียบเทียบกับค่าขอบเขตการเตือนสิ่งผิดปกติซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระดับ (แสดงในใบรายงานผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น ดังแสดงในภาคผนวก ๑) คือ ระดับ "C" หรือ Caution ซึ่งเป็นระดับเตือนขั้นเริ่มต้น

ถึงความผิดปกติต่อน้ำมันหล่อลื่นที่ควรเริ่มติดตามและเอาใจใส่ และระดับ “A” หรือ Abnormal (Action หรือ Critical) ซึ่งเป็นระดับการเตือนขั้นวิกฤตซึ่งแสดงถึงสภาพน้ำมันหล่อลื่นหรือการสึกหรอของเครื่องจักรอยู่ในขอบเขตที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรได้ ควรทำการแก้ไขและปรับปรุง อาทิเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น ขอบเขตการเตือนสิ่งผิดปกติทั้งสองระดับนี้ อ้างอิงและกำหนดจากหลักสถิติที่สะสมจากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ลักษณะเดียวกันเป็นจำนวนมาก

#### 4.3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นอันมีผลต่อความสามารถในการหล่อลื่นและสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่สนใจจะติดตามผลในช่วงการทดสอบความทนทาน ประกอบด้วย ผลของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C และ 100°C ค่าความเป็นกรดรวม (TAN) ค่าความเป็นด่างรวม (TBN) ค่าออกซิเดชัน และ ค่าไนเตรชัน แสดงในรูปที่ 4-96 รูปที่ 4-97 และรูปที่ 4-98

##### 4.3.1.1 ค่าความหนืด

ค่าความหนืดที่ 40°C จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความหนืดที่ 40°C ทั้งกรณีน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินมีการเปลี่ยนแปลงของความหนืดไปในทางเดียวกันโดยจะสังเกตเห็นได้ว่าแนวโน้มของความหนืดของกรณีน้ำมันปาล์มดิบมีการลดลงที่เร็วกว่ากรณีน้ำมันปาล์มโอเลอิน ทุกช่วงของการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น

ค่าความหนืดที่ 100 °C จากการวิเคราะห์พบว่าความหนืดที่ 100 °C สำหรับกรณีน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันกับกรณีความหนืดที่ 40 °C คือมีการลดลงของความหนืดอย่างเห็นได้ชัด และการลดลงของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบ มีการลดลงที่เร็วกว่ากรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ทั้งนี้คาดว่าเกิดเนื่องมาจากการเจือจางลงของน้ำมันหล่อลื่นจากการปนเปื้อนด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงจากที่ออกมาพร้อมกับก๊าซโบล์วบาย (Blow By Gas) ถึงแม้ว่าผลปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ปนเปื้อนจะมีค่าคงที่ (ดังแสดงในหัวข้อ 4.3.2.3) แต่เพราะว่าเป็นการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงคนละชนิดกัน จึงเป็นไปได้ทีเดียวที่จะไม่ตรวจพบน้ำมันเชื้อเพลิงกลุ่มน้ำมันพีซในน้ำมันหล่อลื่นจากวิธีการตรวจนี้ จะไม่สามารถพบเชื้อเพลิงที่แตกต่างจากดีเซลได้ และเหตุผลที่คาดว่า เป็นผลจากการเจือจางด้วยเชื้อเพลิงเพราะว่าปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ต้องทำการเติมเพื่อรักษาระดับน้ำมันหล่อลื่นให้คงที่ในทุกวันของการทดสอบ (Top Up) ใช้นั้น สำหรับกรณีเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดนั้น ไม่มีการต้องเติมเลยตลอดการทดสอบ จึงเป็นไปได้ว่ามีการเจือจางของน้ำมันหล่อลื่นขึ้นทำให้ความหนืดลดลง



ช่วงชั่วโมงที่ 0-100 ค่าความหนืดต่ำถึงระดับการเตือนขั้นต้นสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มดิบที่ 100 ชั่วโมงของอายุน้ำมันหล่อลื่นพอดี และได้ทำการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่

ช่วงชั่วโมงที่ 100-210 ค่าความหนืดต่ำเกินระดับการเตือนขั้นต้นสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มดิบหลังการสูมน้ำมันหล่อลื่นที่ชั่วโมงที่ 200 แต่ค่าของกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินไม่เกินค่าเตือนภัยขั้นต้น

ช่วงชั่วโมงที่ 210-320 ค่าความหนืดเกินระดับการเตือนขั้นต้นของกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อายุของน้ำมันหล่อลื่น ประมาณ 110 ชั่วโมง ซึ่งเกินอายุของน้ำมันหล่อลื่นแล้ว

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกรณีใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจะพบว่าดีเซลมีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดเขม่า และตรวจพบได้จากค่าเขม่าที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งดีเซลไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงในน้ำมันหล่อลื่น

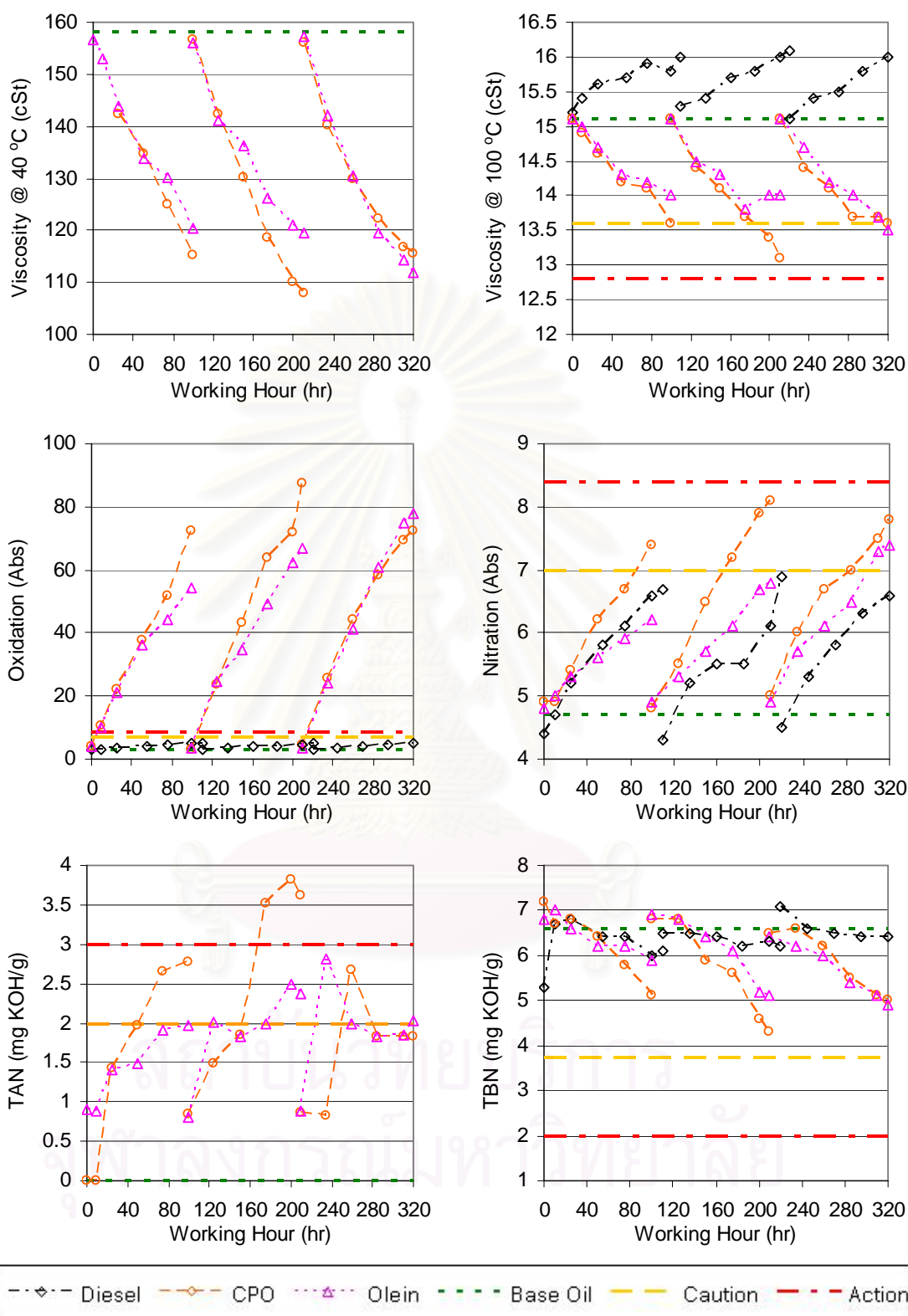
#### 4.3.1.2 ค่าออกซิเดชัน และไนเตรชัน

ค่าออกซิเดชัน ของกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบและกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีการออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่นสูงขึ้นมากทั้งสองชนิดและสูงขึ้นเร็วกว่ากรณีดีเซลมาก และทั้งสองกรณีเกินกว่าขีดระดับเตือนขั้นวิกฤตตั้งแต่อายุการใช้งานช่วงต้นของน้ำมันหล่อลื่น

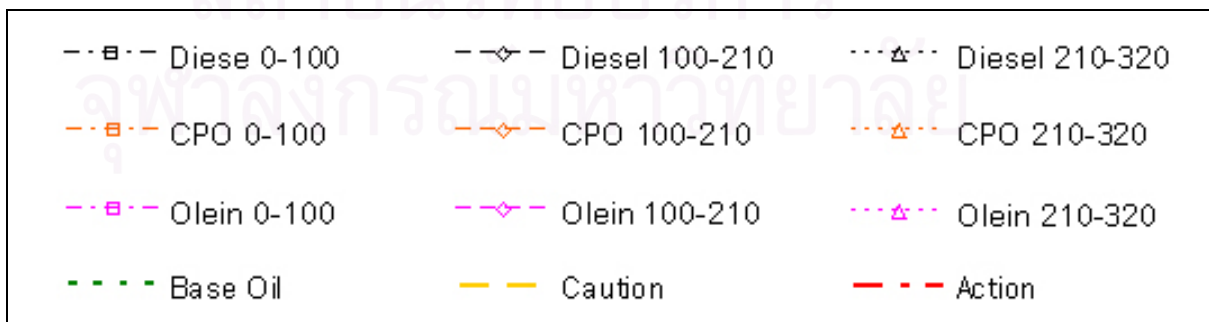
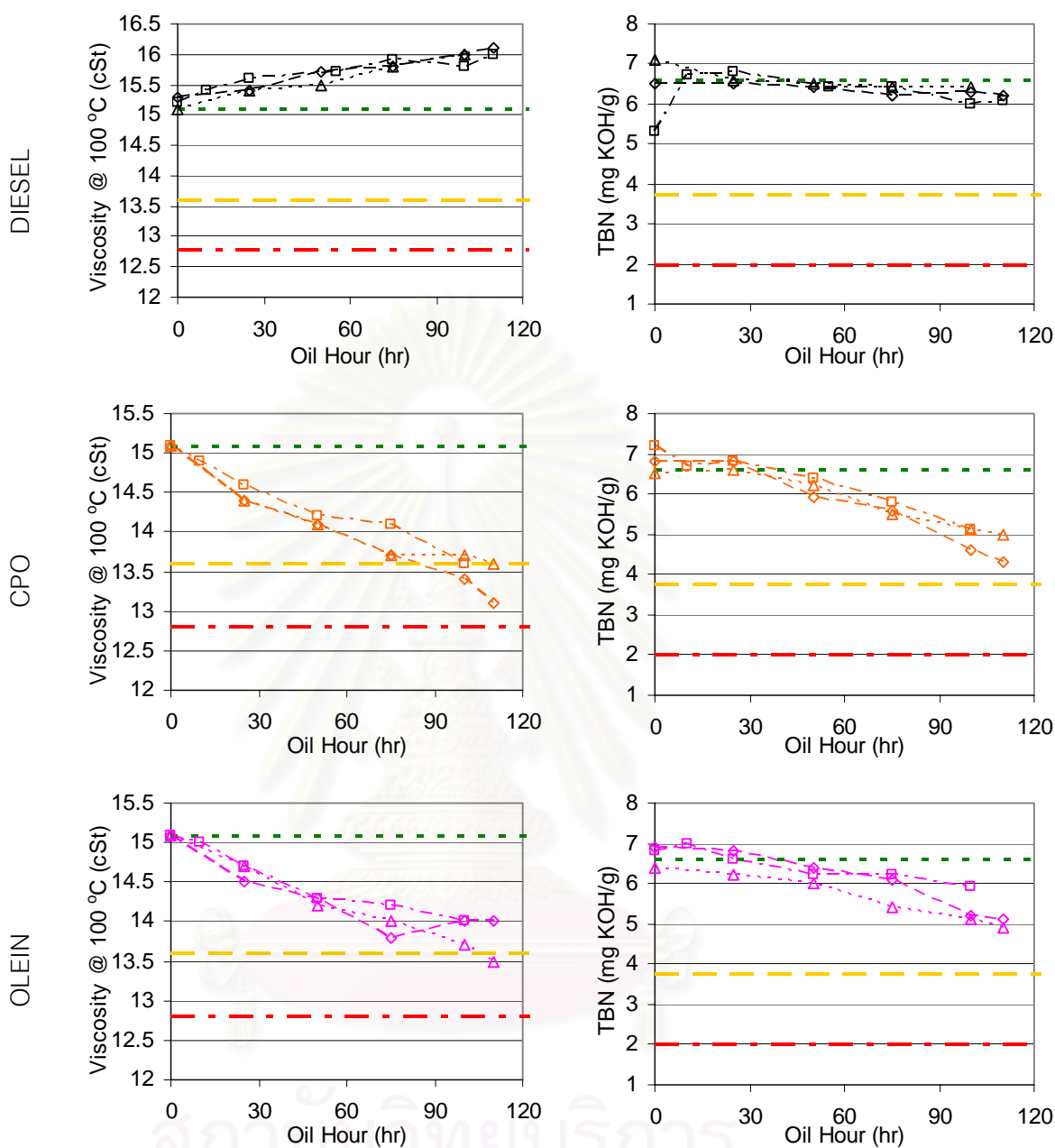
ค่าไนเตรชันมีการเพิ่มขึ้นเร็วกว่ากรณีดีเซลเล็กน้อยแต่ไปในทิศทางเดียวกัน และสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูงกว่าระดับเตือนภัยขั้นต้นช่วงชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นตั้งแต่ประมาณอายุน้ำมันหล่อลื่นที่ 75 ชั่วโมงทุกช่วงการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น และสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินจะเริ่มเกินระดับเตือนภัยขั้นต้นตั้งแต่ประมาณชั่วโมงที่ 100 ของอายุน้ำมันหล่อลื่นเฉพาะในช่วง 210-320 ชั่วโมงของการทำงานของเครื่องยนต์ แต่สำหรับกรณีดีเซลจะไม่มีเกินค่าเตือนภัยเลยแม้ว่าจะมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นเกินอายุตามที่ถูกผลิตกำหนดไว้ก็ตาม

ค่าการเกิดออกซิเดชันและไนเตรชันเป็นค่าที่เป็นไปในแนวทางเดียวกันทั้งสองค่านั้นคือถ้าเพิ่มขึ้นก็มักจะเพิ่มขึ้นทั้งคู่ในแนวทางเดียวกัน

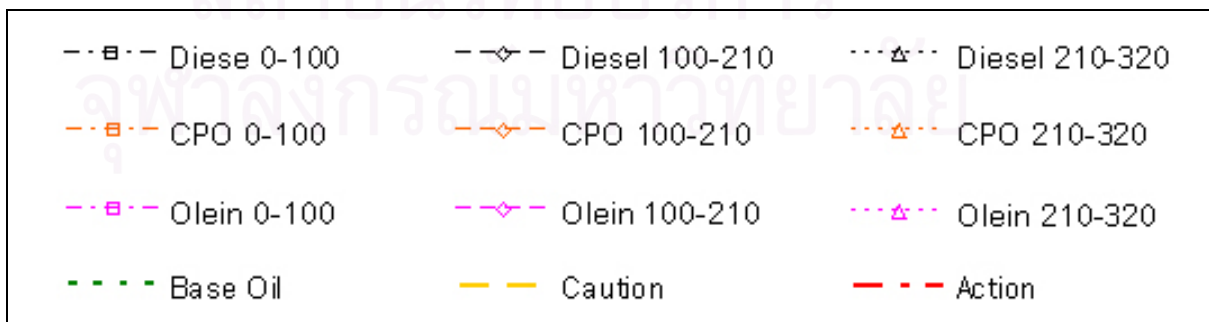
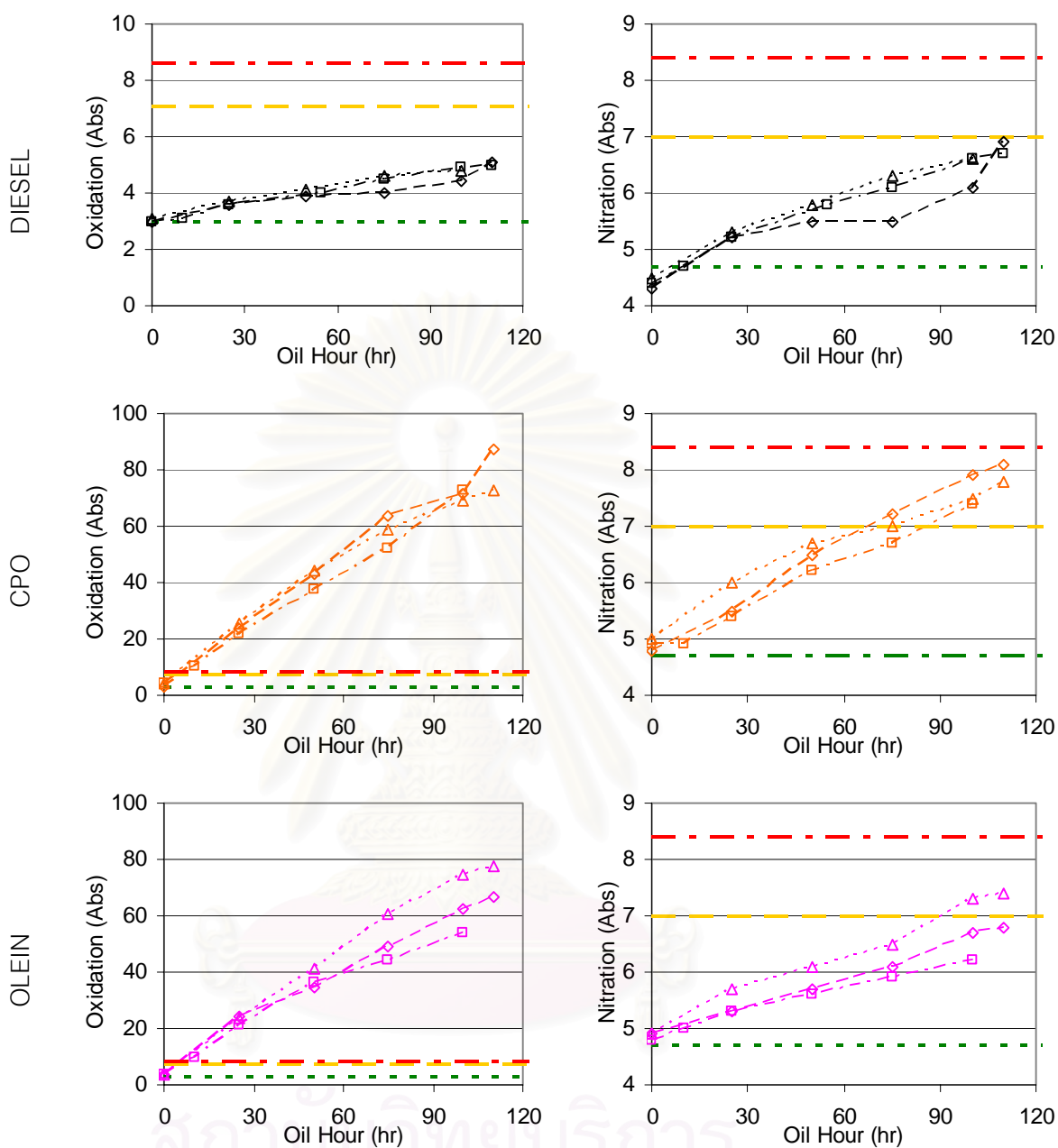
ค่าออกซิเดชันและไนเตรชันที่มากขึ้นเช่นนี้เกิดจากการที่มีปริมาณน้ำที่มากกว่ากรณีน้ำมันดีเซล ซึ่งน้ำเป็นหนึ่งในตัวที่ทำให้เกิดการออกซิเดชันเมื่อมีปริมาณน้ำสูงขึ้นก็เป็นตัวเร่งให้เกิดการออกซิเดชันได้ด้วย อีกทั้งสาเหตุถัดมาคือก๊าซโบล์วบาย (Blow By Gas) ซึ่งเป็นก๊าซที่ถูกความดันจากการเผาไหม้ลงไปสู่อ่างน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งก๊าซนี้มีส่วนผสมของสารที่เป็นสารชีวภาพเนื่องจากเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบและเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งโดยปกติจะมีค่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สูงด้วย อีกทั้งค่าความเป็นกรดรวมที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าออกซิเดชันที่ผิดปกติได้ด้วย



รูปที่ 4-96 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานตามอายุการ  
ทำงานของเครื่องยนต์



รูปที่ 4-97 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น (ค่าความหนืด และค่าความเป็นด่างรวม) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 4-98 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น (ค่าออกซิเดชัน และค่าไนเตรชัน)ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น

#### 4.3.1.3 ค่าความเป็นกรดรวม (TAN) และค่าความเป็นด่างรวม (TBN)

ค่าความเป็นกรดรวม (TAN) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินทั้งสองกรณี ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงทั้งสองมีลักษณะของเชื้อเพลิงที่สามารถเกิดกรดได้นั้นคือเกิดเป็นกรดไขมัน (Fatty Acid) ซึ่งหากมีการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงค่าความเป็นกรดรวมก็ควรมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมีความสอดคล้องกับที่พิจารณาเรื่องสาเหตุของความหนืดและเรื่องสาเหตุของการเกิดออกซิเดชัน

ค่าความเป็นด่างรวม (TBN) จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความเป็นด่างรวมมีแนวโน้มลดลงตามสภาพการเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันหล่อลื่นเนื่องมาจากการใช้งานด้วย โดยแนวโน้มการลดลงมีค่าแตกต่างกันไม่มากเท่าใดนักของทั้งกรณีน้ำมันปาล์มดิบและกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินและมีค่าสูงกว่ากรณีน้ำมันดีเซลเล็กน้อยในช่วงอายุของน้ำมันหล่อลื่นมากกว่า 50 ชั่วโมงขึ้นไป

#### 4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น

ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น ที่สนใจจะติดตามผลในช่วงการทดสอบความทนทานประกอบด้วย การปนเปื้อนของ ซิลิกอน โซเดียม น้ำ เหม่า และน้ำมันเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 4-99 รูปที่ 4-100 และรูปที่ 4-101 โดยจำแนกตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ และอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตามลำดับ ดังต่อไปนี้

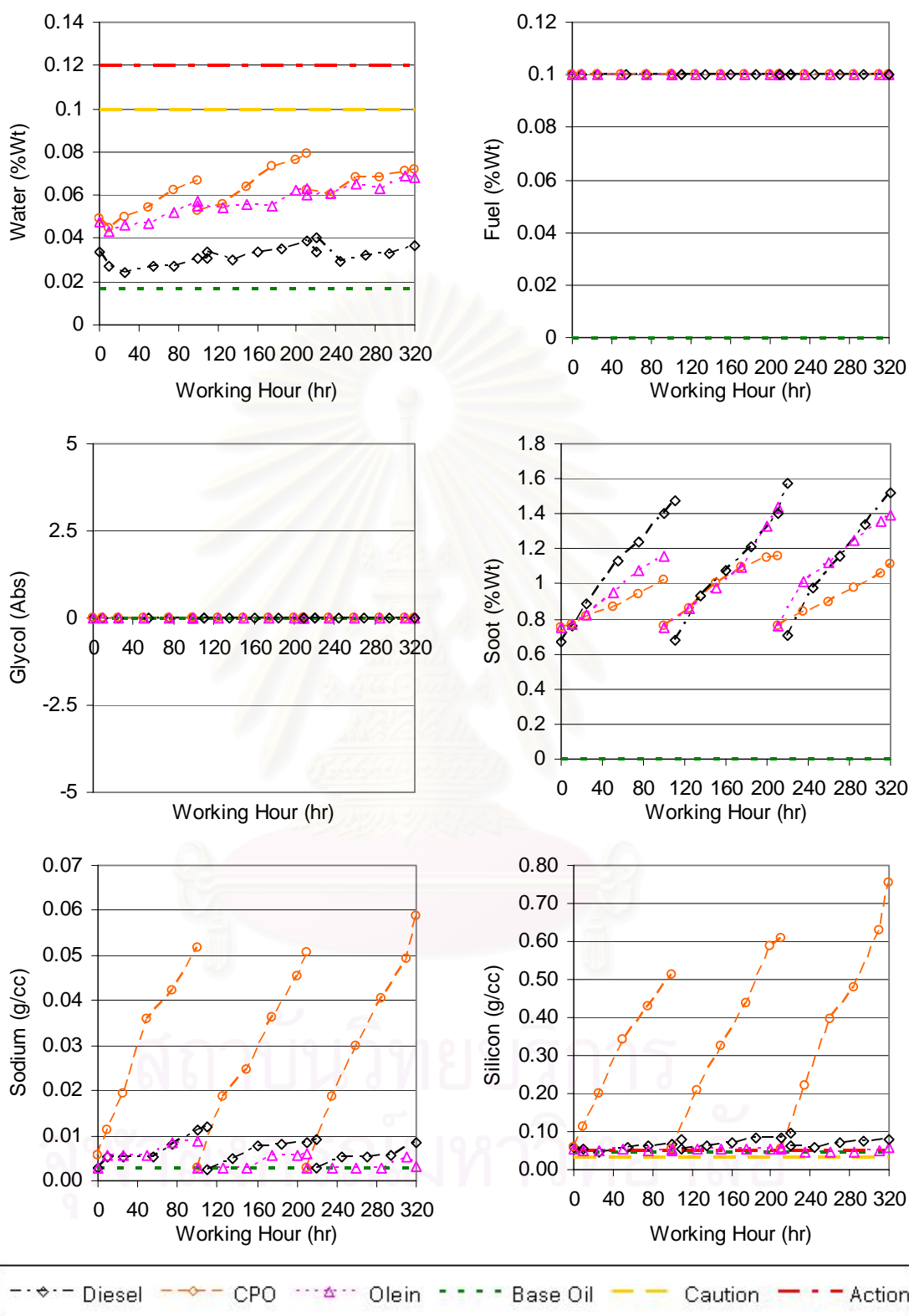
##### 4.3.2.1 การปนเปื้อนของน้ำ

จากการวิเคราะห์พบว่าทั้งเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันทั้งสองชนิดมีปริมาณการปนเปื้อนของน้ำ ต่ำกว่าระดับเตือนภัยทั้งสองระดับ แต่ก็ยังสูงกว่าการปนเปื้อนของน้ำในกรณีดีเซลอยู่ไม่เกิน 1 เท่าตัวของกรณีดีเซล และการปนเปื้อนของกรณีน้ำมันปาล์มทั้งสองมีลักษณะใกล้เคียงกัน ในลักษณะที่กรณีน้ำมันปาล์มดิบมีการปนเปื้อนของน้ำมากกว่าเล็กน้อย

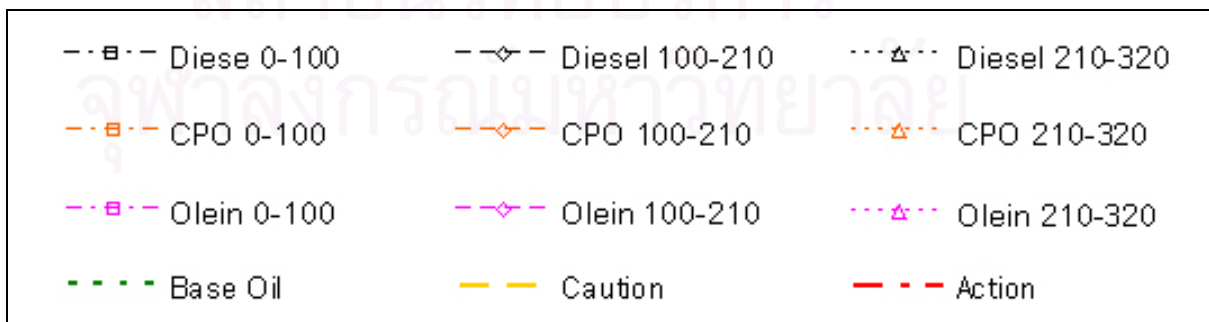
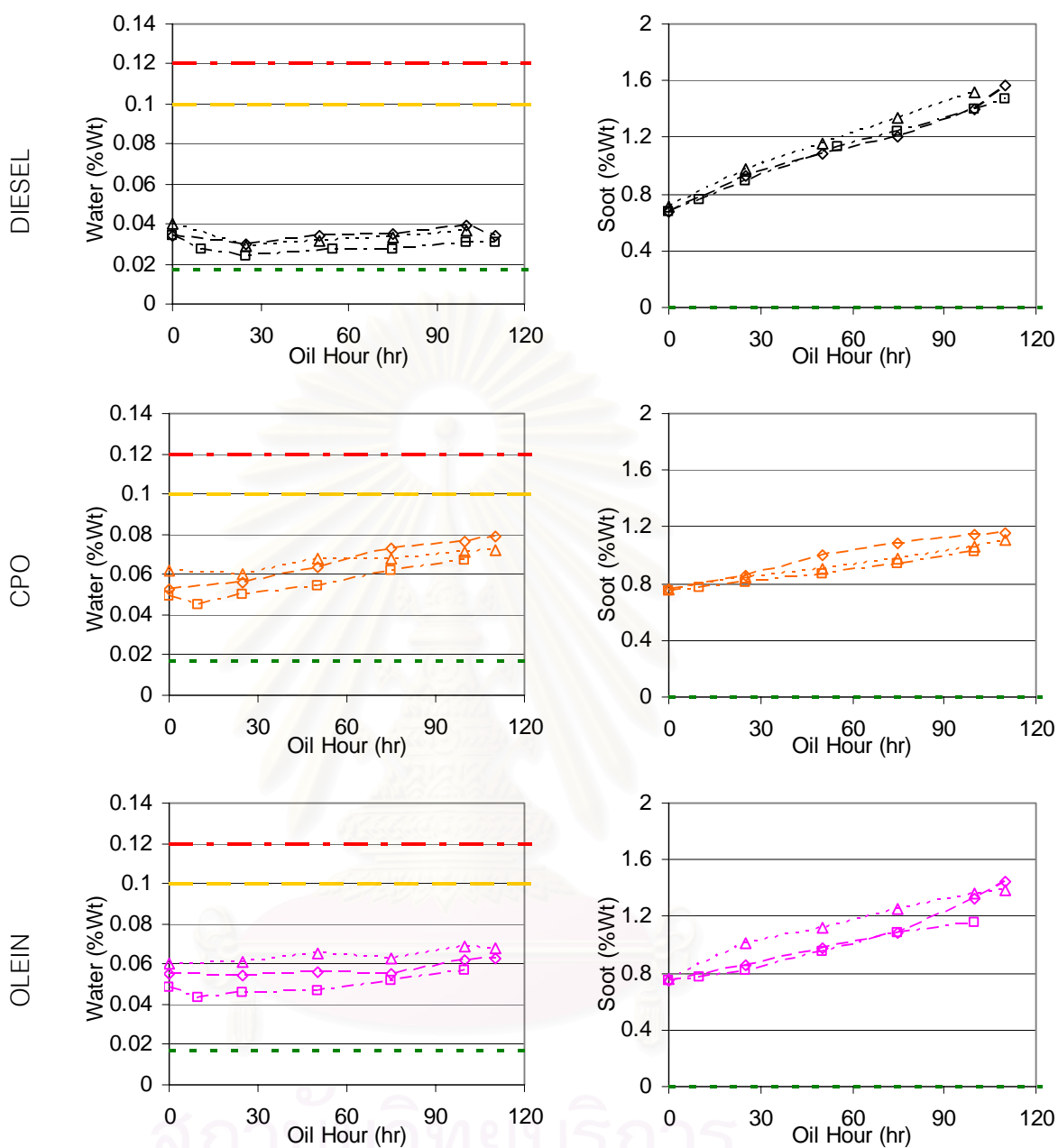
##### 4.3.2.2 การปนเปื้อนของเหม่า

การปนเปื้อนของเหม่าของกรณีน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการปนเปื้อนของเหม่ากรณีน้ำมันดีเซล แต่สำหรับน้ำมันปาล์มดิบจะมีการปนเปื้อนของเหม่า น้อยกว่าดีเซลในทุกช่วงอายุของการทำงาน ส่วนสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอิน จะมีการปนเปื้อนของเหม่าในปริมาณที่สูงกว่ากรณีน้ำมันปาล์มดิบแต่น้อยกว่ากรณีดีเซล ซึ่งการปนเปื้อนของเหม่านี้เองสอดคล้องกับที่ความหนืดของดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากปริมาณเหม่าที่สูงกว่าปนเปื้อนลงไป และยังไม่พบการเจือจางของเชื้อเพลิงในน้ำมันหล่อลื่นอีกด้วย ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ขณะที่กรณีน้ำมันปาล์มทั้งสองไม่มีการเพิ่มขึ้นของความหนืดเนื่องจากเหม่าเลย เพราะเกิดการเจือจางของน้ำมันหล่อลื่นที่มากกว่าทำให้ความหนืดลดลง

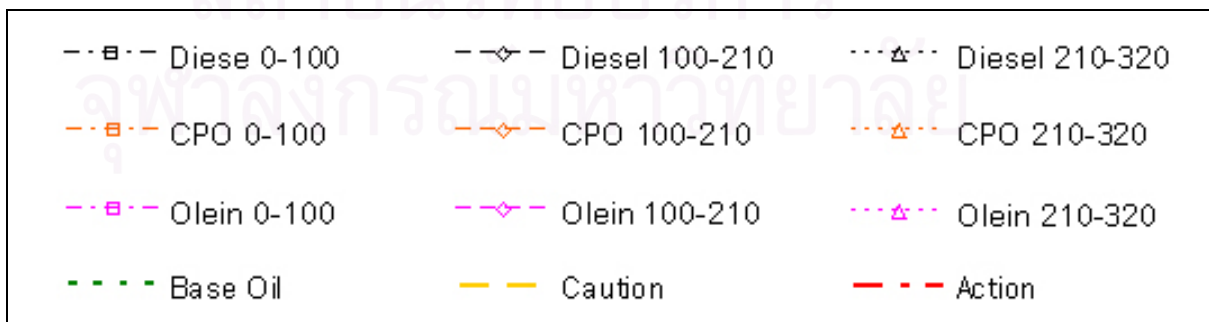
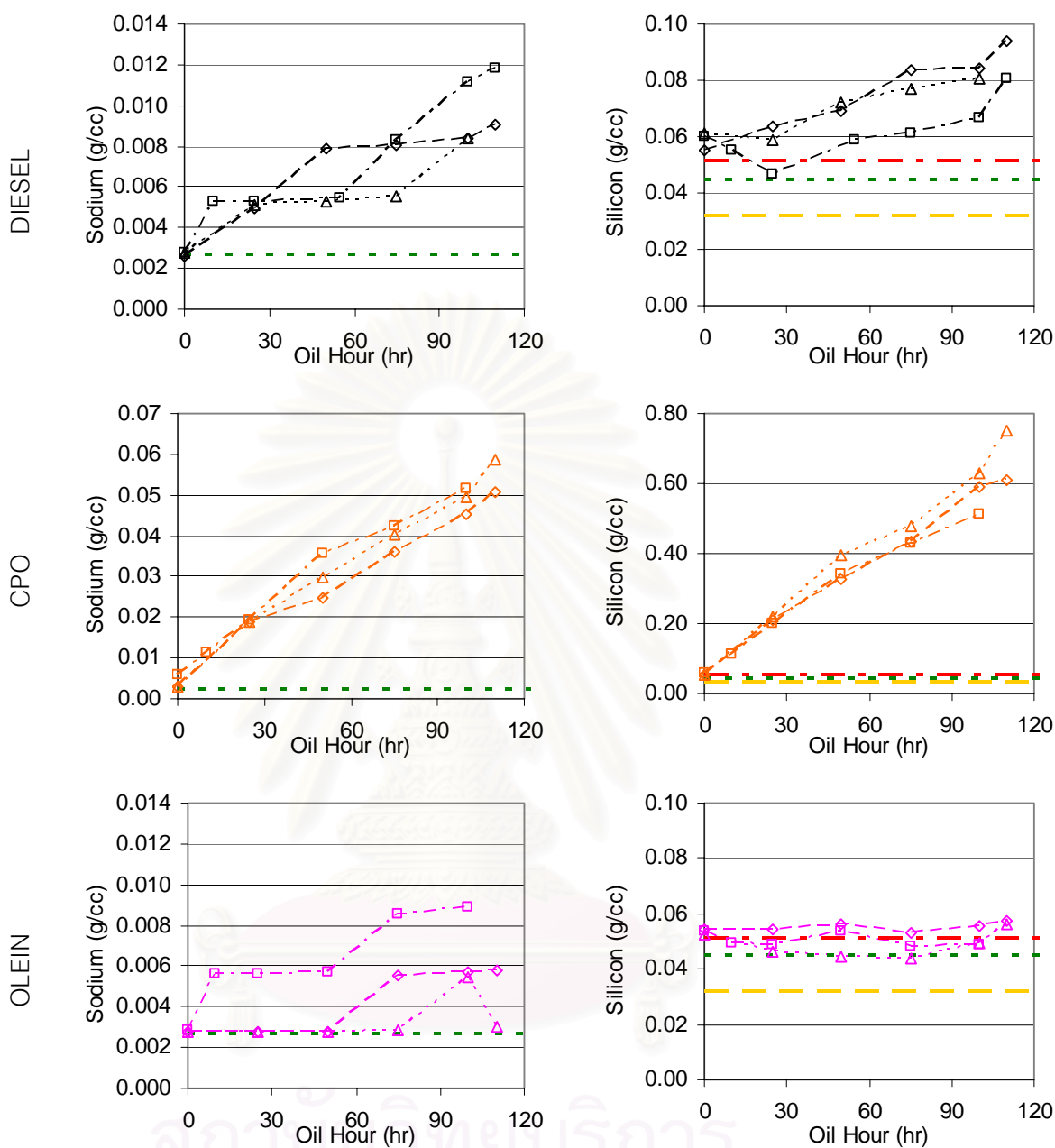




รูปที่ 4-99 แสดงค่าปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานตามอายุการทำงานของเครื่องยนต์



รูปที่ 4-100 แสดงค่าปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น (ปริมาณน้ำและปริมาณเขม่า) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 4-101 แสดงค่าปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น (ปริมาณโซเดียมและปริมาณซิลิกอน) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น

#### 4.3.2.3 การปนเปื้อนของเชื้อเพลิง

ไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงและการเปลี่ยนแปลงในด้านการปนเปื้อนของเชื้อเพลิง ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ทั้งนี้สำหรับกรณีน้ำมันปาล์มดิบ และกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินเนื่องจากตัวเชื้อเพลิงไม่เหมือนกับดีเซลซึ่งจากการทดสอบการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงนี้ จะไม่สามารถตรวจพบได้ว่าการปนเปื้อนของน้ำมันปาล์มดิบ หรือน้ำมันปาล์มโอเลอินในน้ำมันหล่อลื่นได้โดยกระบวนการวัดแบบ Surface Acoustic Wave (SAW) Spectrum Analyser

จากปริมาณการเติมน้ำมันหล่อลื่นเพื่อรักษาระดับของการใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองกรณีจะไม่พบปริมาณที่ต้องเติมน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มลงไปเพื่อให้ระดับน้ำมันหล่อลื่นคงที่ในแต่ละวัน ดังนั้นอาจจะมีการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงลงไปผสมในน้ำมันหล่อลื่นได้

#### 4.3.2.4 การปนเปื้อนของไกลคอล

ไม่พบการปนเปื้อนของไกลคอลและการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในด้านนี้ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน สำหรับกรณีน้ำมันปาล์มดิบ กรณีน้ำมันปาล์มโอเลอิน และกรณีดีเซล

#### 4.3.2.5 การปนเปื้อนของโซเดียมและซิลิกอน

จากการวิเคราะห์พบว่าความสัมพันธ์การปนเปื้อนของ ซิลิกอนและโซเดียม ต้องมีแนวโน้มเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของทั้งปริมาณซิลิกอนและโซเดียมสาเหตุหลักมาจาก ฟูล์นละออง จากภายนอก จากการทดสอบความทนทานที่ไม่สามารถควบคุมปริมาณของฟูล์นละอองได้ จึงทำให้การปนเปื้อนของซิลิกอนและโซเดียม โดยมีค่าสูงเกินกว่าระดับค่าเตือนทั้งสองระดับ ตั้งแต่แรกเริ่มของการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นทั้งการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสามกรณี

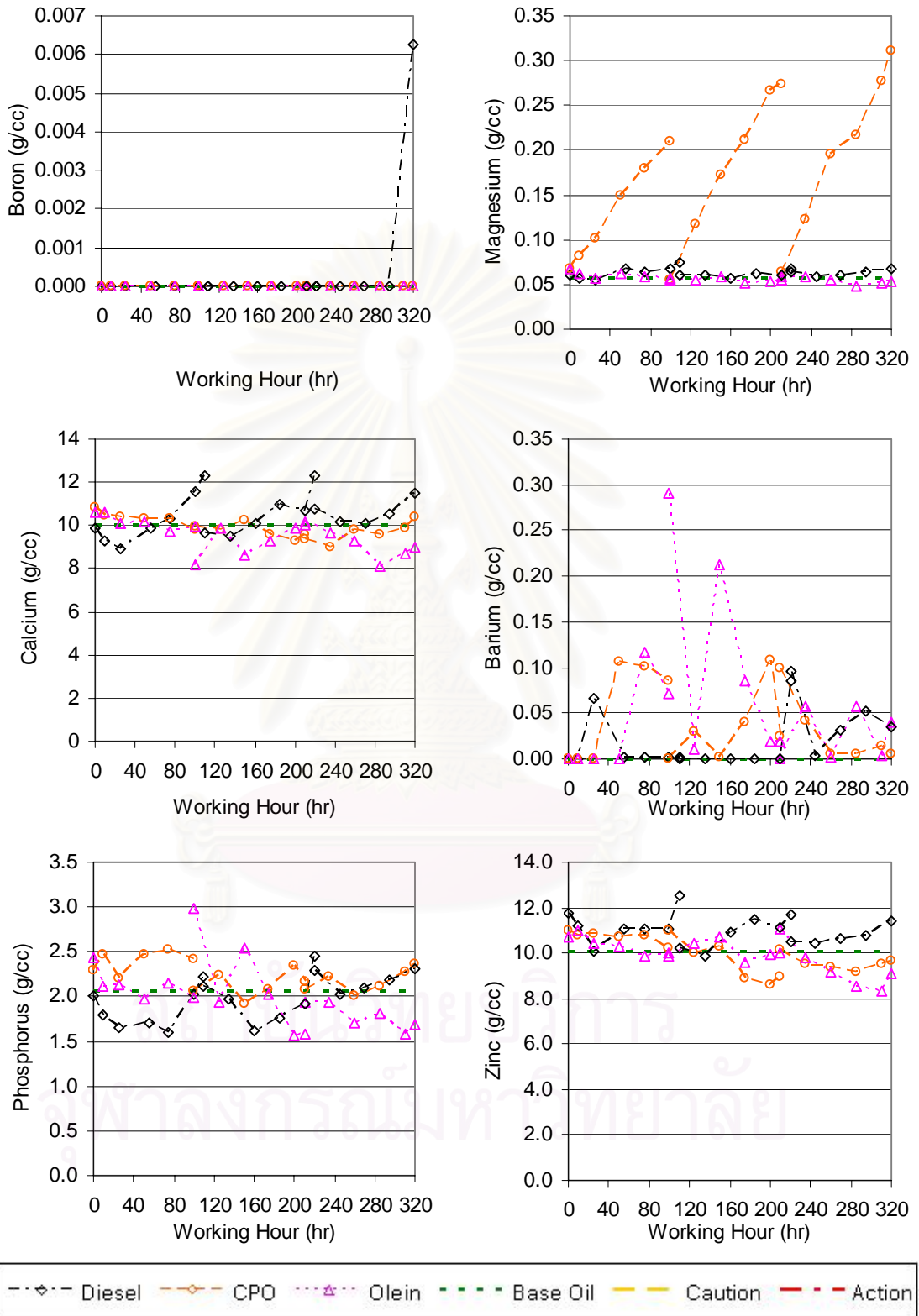
สำหรับการเพิ่มขึ้นของซิลิกอนและโซเดียมในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูงมากกว่าอีกสองกรณี ซึ่งหากพิจารณาว่าปริมาณฟูล์นละอองมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก การใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินจะต้องเกิดปริมาณที่มากขึ้นในแนวโน้มเดียวกันด้วย เนื่องจากได้ทำการทดสอบความทนทานในบริเวณเดียวกัน สิ่งแวดล้อมเดียวกันในช่วงเวลาเดียวกัน แต่กลับไม่พบความผิดปกติมากเช่นเดียวกับกรณีการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

ดังนั้นแสดงว่าปริมาณฟูล์นละอองนี้คาดว่ามาจากเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบที่มีความสะอาดต่ำ สังเกตได้จากการอุดตันของกรองหยาบที่อุดตันเร็วมาก ซึ่งอุณหภูมิที่ผ่านกรองหยาบและกรองละเอียดไปได้บ้างนั้นก็เลยระดับฟูล์นละอองนั่นเอง

สำหรับอีกสองกรณีคือ กรณีน้ำมันดีเซล และกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอิน มีการเพิ่มขึ้นของทั้งโซเดียมและซิลิกอนใกล้เคียงกัน

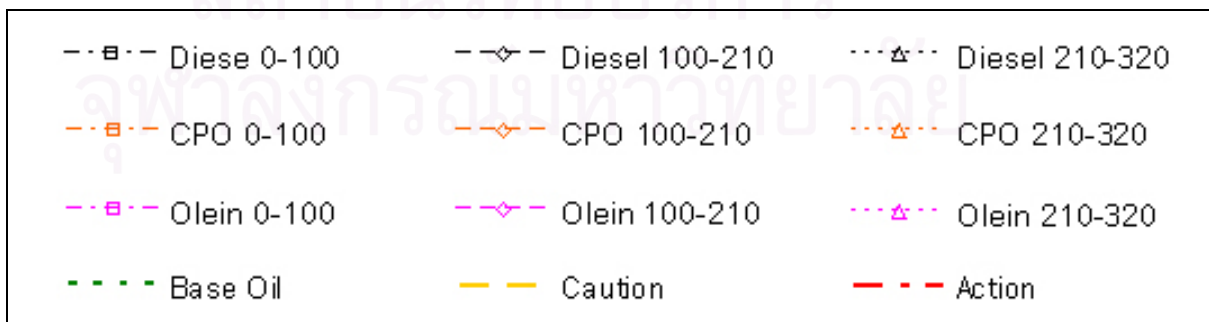
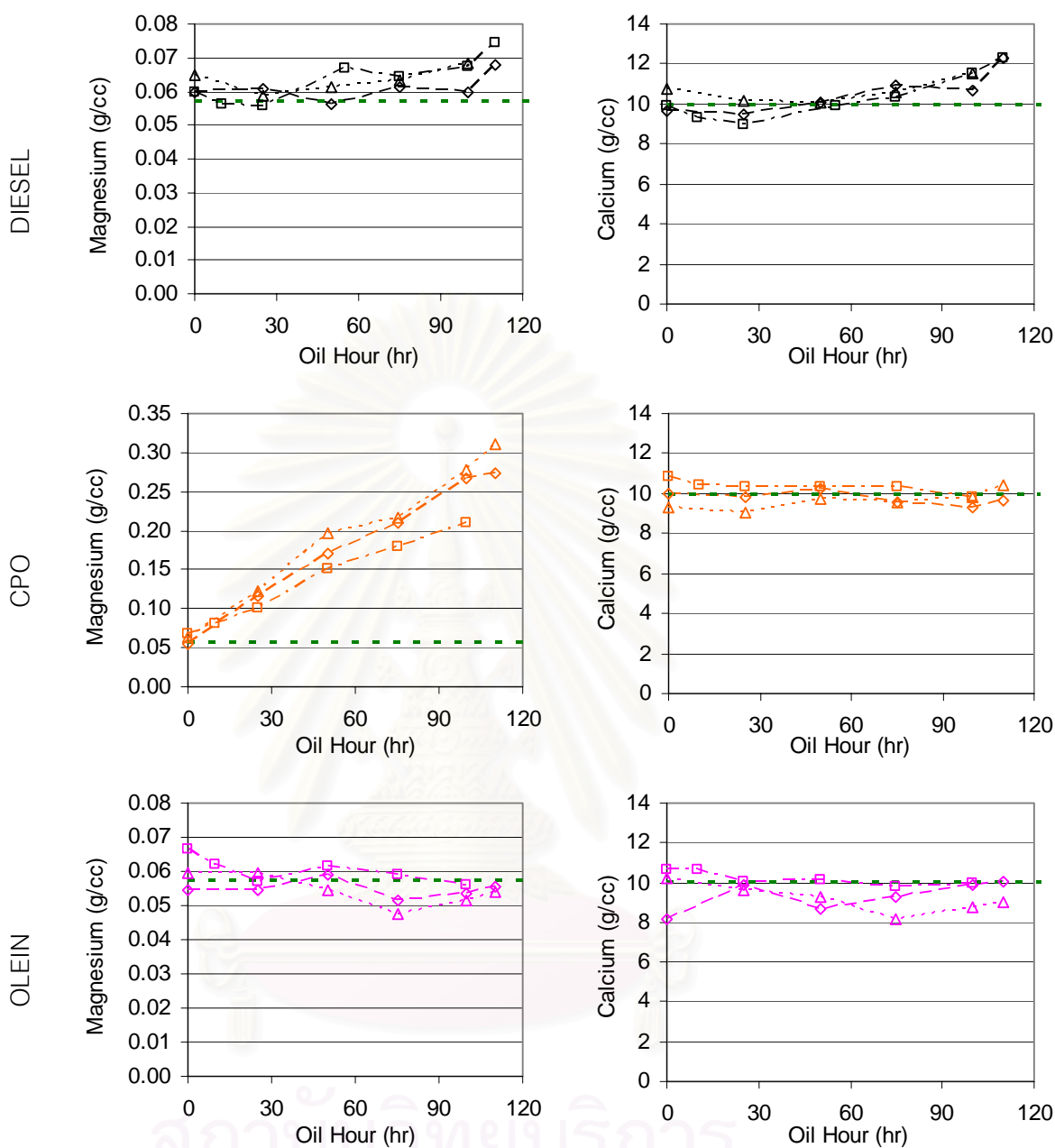
การมีซิลิกอนมากนี้เองอาจเป็นสาเหตุต่อไปของการเกิดการสึกหรอที่มากกว่าผิดปกติของน้ำมันปาล์มดิบดังจะกล่าวต่อไป

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารปรุงแต่ง

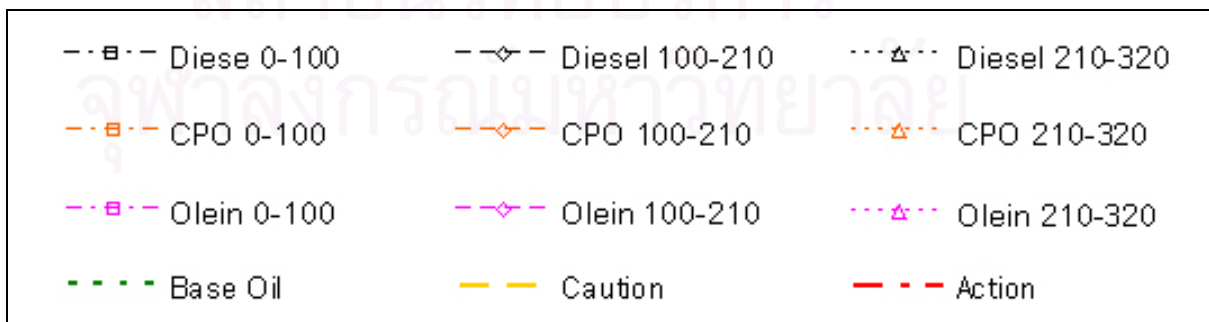
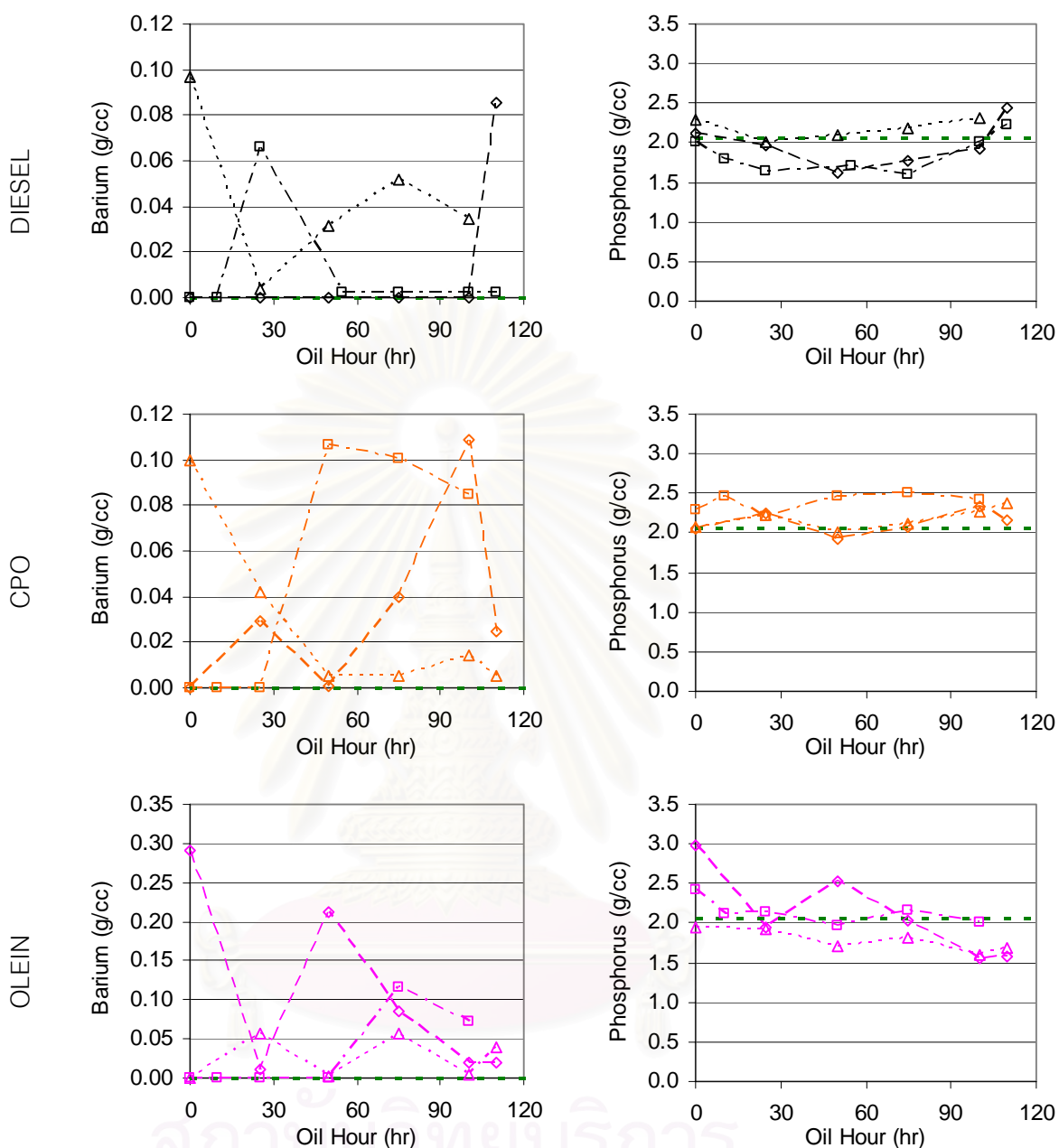


รูปที่ 4-102 แสดงค่าปริมาณสารปรุงแต่งของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานตามอายุการทำงานของเครื่องยนต์

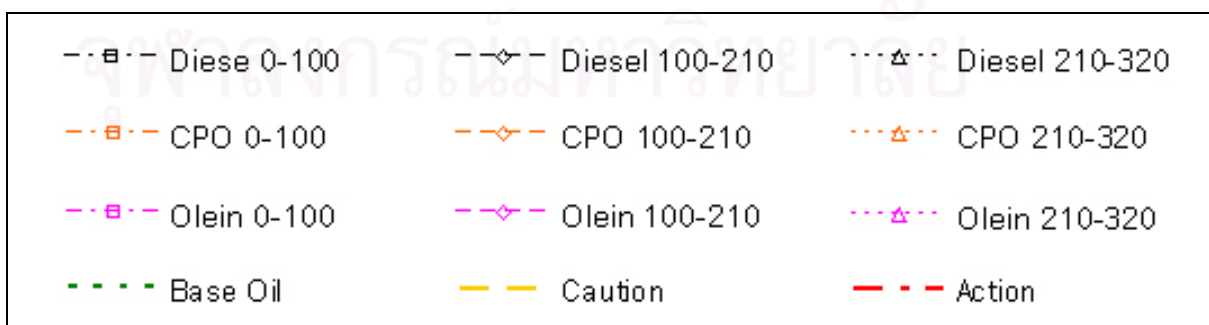
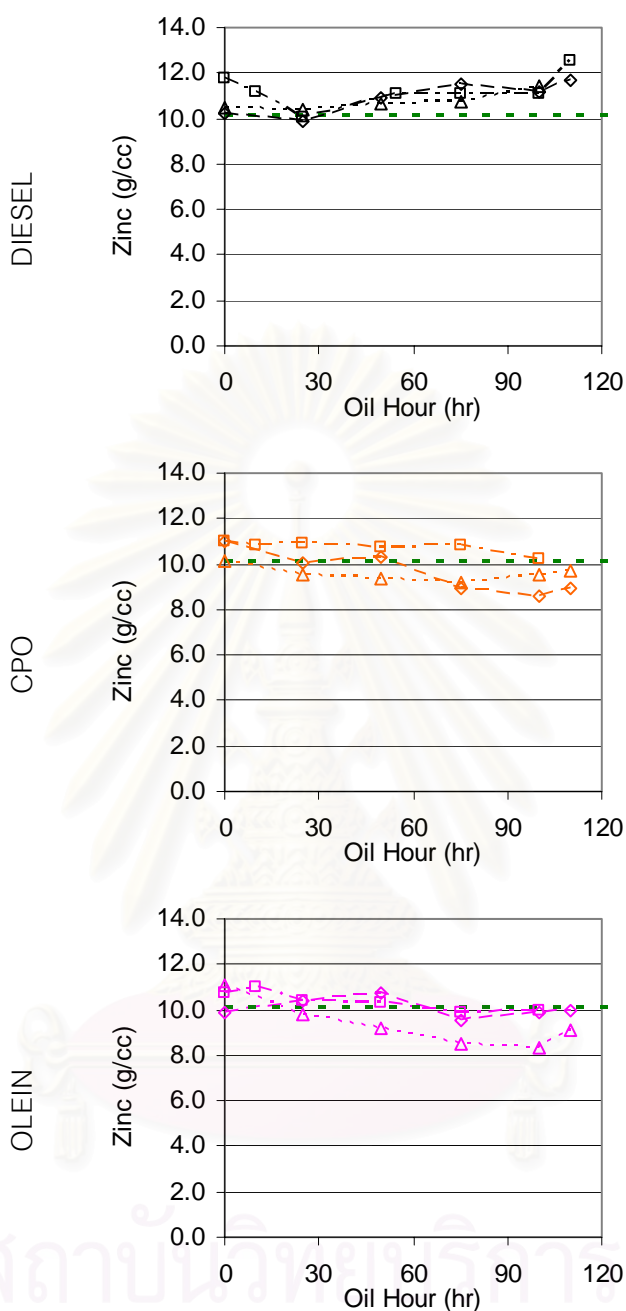




รูปที่ 4-103 แสดงค่าปริมาณสารปรุงแต่งของน้ำมันหล่อลื่น (แมกนีเซียม และแคลเซียม) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 4-104 แสดงค่าปริมาณสารปรุงแต่งของน้ำมันหล่อลื่น (แบเรียม และฟอสฟอรัส) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 4-105 แสดงค่าปริมาณสารปรุงแต่งของน้ำมันหล่อลื่น (ปริมาณสังกะสี) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น

ปริมาณสารปรุงแต่งของน้ำมันหล่อลื่น ที่สนใจจะติดตามผลในช่วงการทดสอบความทนทานประกอบด้วย แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม โบรอน แบริียม ฟอสฟอรัส และสังกะสี แสดงในรูปที่ 4-102 รูปที่ 4-103 รูปที่ 4-104 และรูปที่ 4-105

พบว่าปริมาณสะสมสารปรุงแต่งน้ำมันหล่อลื่น มีค่าแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ ยกเว้นจากที่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบทุกชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งพบค่าปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเป็นแนวโน้มเดียวกัน ซึ่งยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามาจากการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงหรือมาจากสาเหตุใด

สำหรับค่าอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญของปริมาณสารปรุงแต่ง แม้ว่าโบรอนของกรณีใช้ดีเซลจะมีค่าสูงกว่าค่าอื่นที่ชั่วโมงที่ 320 ก็ตามก็ยังมีค่าถือว่าแค่ 0.006 – 0.007 กรัมต่อซีซี ซึ่งถือได้ว่ามีความแตกต่างแบบไม่มีนัยสำคัญ

#### 4.3.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะจากการสึกหรอ

โลหะที่เกิดจากการสึกหรอในเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากชิ้นส่วนและที่มาที่ต่างกัน ดังนี้

เหล็ก	- กระบอกสูบ แหวนลูกสูบ ลูกสูบ (เป็นส่วนผสมระหว่างเหล็กกับอลูมิเนียม) เฟลาข้อเหวี่ยง ก้านสูบ เฟลาลูกเบี้ยว วาล์ว
โครเมียม	- เคลือบผิวแหวนอัดตัวที่ 1 และแหวนน้ำมัน
ตะกั่ว	- แบร็งก้านสูบ บุชก้านสูบ
ทองแดง	- แบร็งก้านสูบ บุชก้านสูบ
อลูมิเนียม	- ลูกสูบ
นิกเกิล	- ก้านวาล์ว บ่าวาล์ว

ผลของปริมาณเหล็ก โครเมียม ตะกั่ว ทองแดง ดีบุก อลูมิเนียม นิกเกิล เงิน และโมลิบดีนัม ในน้ำมันหล่อลื่นในหน่วยกรัมต่อซีซี แสดงในรูปที่ 4-106 ถึงรูปที่ 4-112 พบว่า

##### 4.3.4.1 ปริมาณเหล็ก

จากรูปที่ 4-106 และรูปที่ 4-108 การวิเคราะห์พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ปริมาณเหล็กมีอัตราการเพิ่มสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างมากและเห็นได้ชัด อีกทั้งยังเกินระดับเตือนภัยขั้นวิกฤติตั้งแต่ชั่วโมงแรกๆ ของอายุน้ำมันหล่อลื่น

ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินกลับพบการปริมาณเหล็กต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย และไม่เกินค่าระดับเตือนภัยใดๆ จนประมาณชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นที่ 50 จึงเริ่มมีการเกินระดับเตือนภัยขั้นแรก และจะเกินระดับเตือนภัยขั้น

วิกฤติ เมื่อเกินชั่วโมงที่ประมาณ 75 โดยที่กรณีน้ำมันดีเซลนั้นจะเกินระดับดังกล่าวก่อนกรณีการใช้ น้ำมันโอเลอีน

สาเหตุของปริมาณเหล็กที่มากเกินไปของกรณีน้ำมันปาล์มดิบนั้น คาดว่าอาจมาจากปริมาณซิลิกอนที่มากกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่งฝุ่นละอองเหล่านี้เป็นตัวเร่งอย่างดีให้เกิดการสึกหรอต่อชิ้นส่วนโลหะ ทั้งนี้เนื่องจากฝุ่นละอองพวกซิลิกอนมีความแข็งมากกว่าเหล็ก ซึ่งทำให้เกิดการสึกหรอได้มากกว่าการสึกหรอแบบปกติ

เหล็กที่พบคาดว่ามาจากกระบอกสูบเนื่องจากพบโครเมียม และอลูมิเนียมอีกด้วย ซึ่งทั้งสองอย่างเป็นแหล่งที่มาจากชิ้นส่วนที่สัมผัสกันคือ แหวนและลูกสูบ

#### 4.3.4.2 ปริมาณโครเมียม

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณโครเมียม มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับปริมาณเหล็กที่เกิดขึ้นคือกรณีของน้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณเหล็กสูงมากกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่งโครเมียมก็พบในลักษณะเดียวกัน คือสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มดิบมีค่าปริมาณโครเมียมเกินระดับเตือนภัยขั้นวิกฤติ ตั้งแต่ช่วงชั่วโมงการทำงานแรกๆ แสดงให้เห็นได้ว่าปริมาณเหล็กที่เกิดขึ้น เกิดมาจากการสึกหรอจากการเสียดสีกับแหวนและสิ่งสกปรก ซึ่งทำให้ปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้น อีกทั้งในชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 280 ชั่วโมง พบการเพิ่มของโครเมียมและเหล็กในอัตราที่สูงมากแสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพของเครื่องยนต์ ณ อายุการใช้งานดังกล่าวได้อีกทางหนึ่ง

#### 4.3.4.3 ปริมาณตะกั่ว

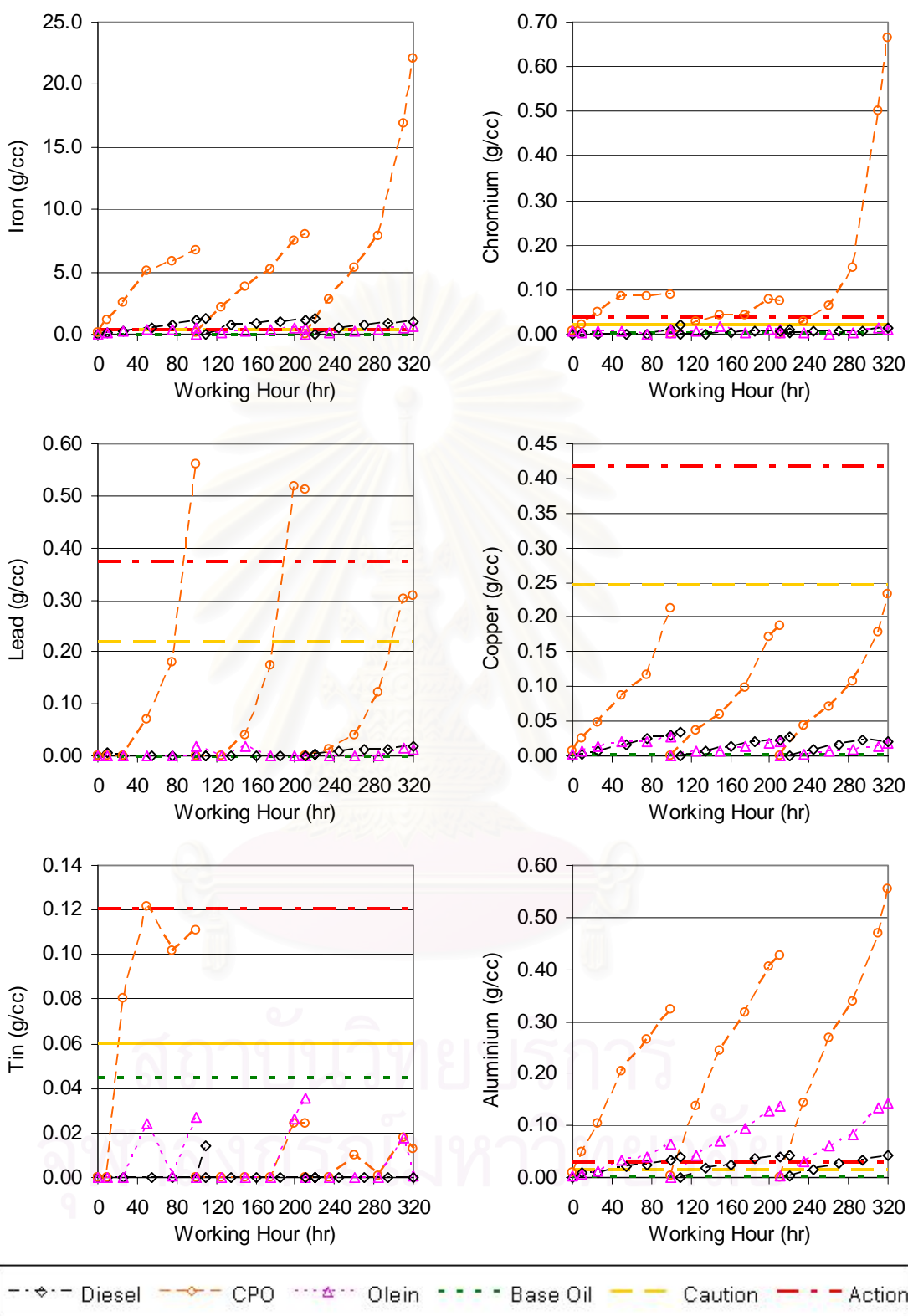
จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณตะกั่ว เพียงเล็กน้อย โดยปริมาณตะกั่วสะสมยังไม่เกินค่าการเตือนทั้งสองระดับสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอีน และน้ำมันดีเซล ส่วนกรณีน้ำมันปาล์มดิบ แม้จะมีค่าปริมาณตะกั่วเกินค่าระดับเตือนภัยขั้นวิกฤติมาเมื่อชั่วโมงอายุน้ำมันหล่อลื่นเกินประมาณ 100 ชั่วโมง แต่นั่นเป็นกรณีการเกินอายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นแล้ว

ปริมาณตะกั่วที่เพิ่มขึ้นคาดว่าป็นสารที่เคลือบอยู่บนผิวของแบร็ง และ บุช การพบปริมาณตะกั่วในปริมาณที่ไม่มากแสดงถึง มีการหล่อลื่นอย่างเพียงพอในเครื่องยนต์ ส่วนที่มีมากกว่าในกรณีน้ำมันปาล์มดิบนั้น ก็คาดว่ามาจากปริมาณฝุ่นที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่มากกว่าปกตินั่นเอง

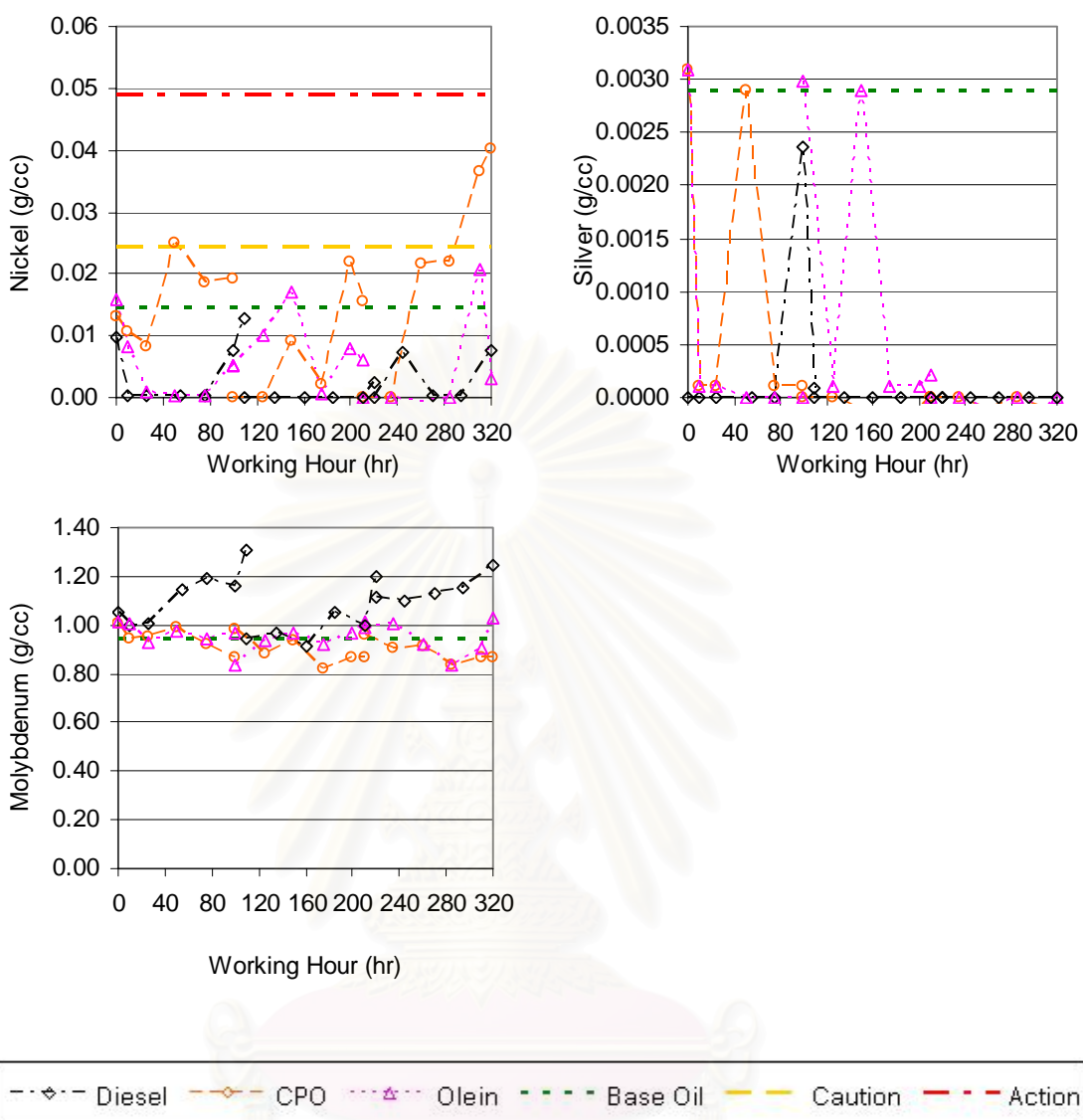
#### 4.3.4.4 ปริมาณทองแดง

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณทองแดง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นมีค่ามากขึ้น โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มโอเลอีน ทั้งนี้ปริมาณทองแดงของทั้งเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มทั้งสองมีค่าสะสมยังไม่เกินค่าการเตือนทั้งสองระดับ



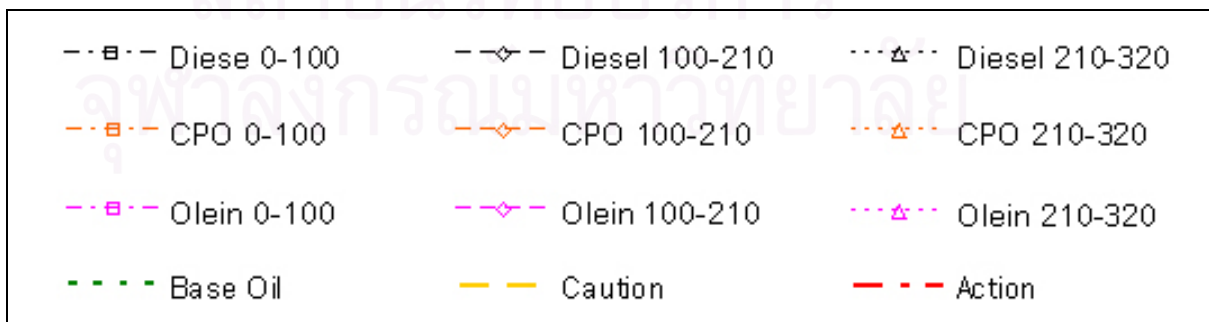
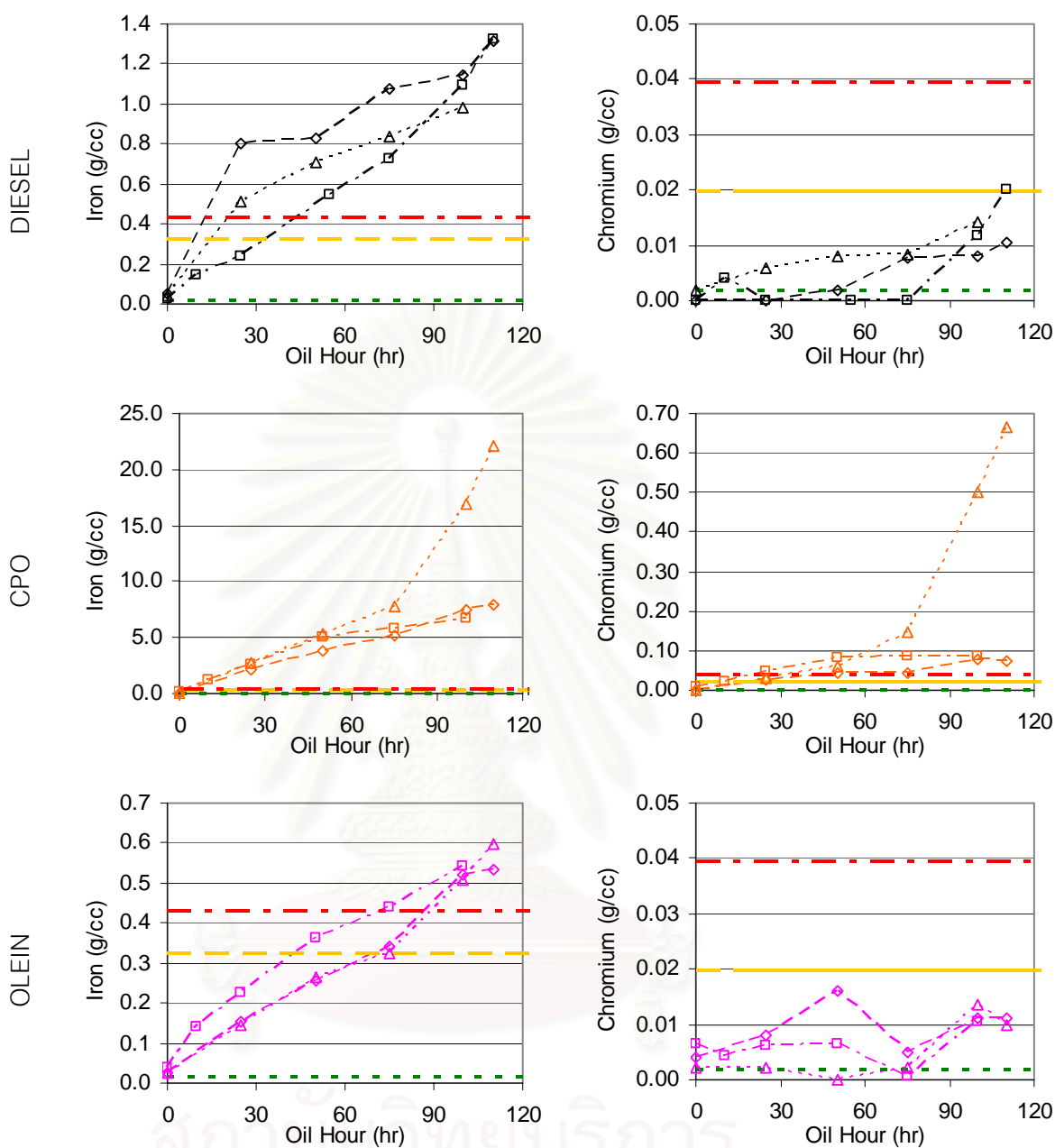


รูปที่ 4-106 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานตามอายุการทำงานของเครื่องยนต์

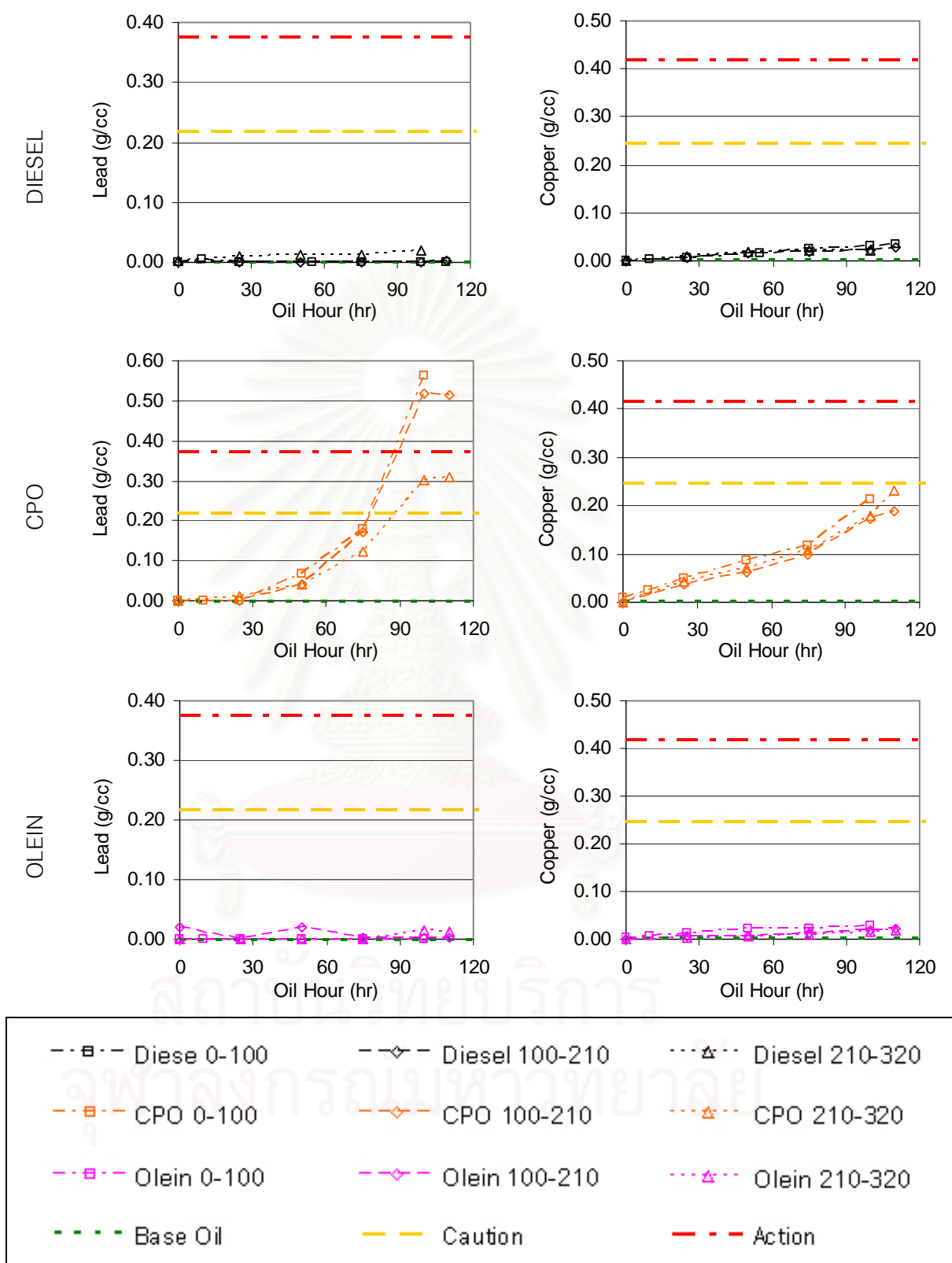


รูปที่ 4-107 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานตามอายุการทำงานของเครื่องยนต์ (ต่อ)

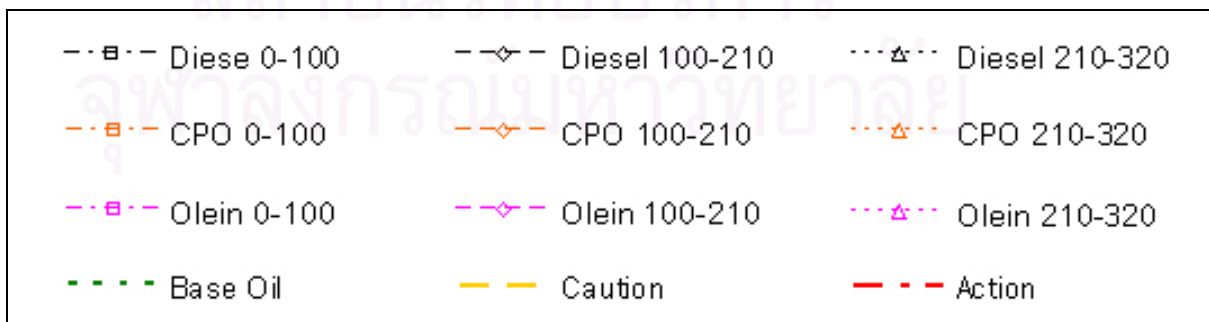
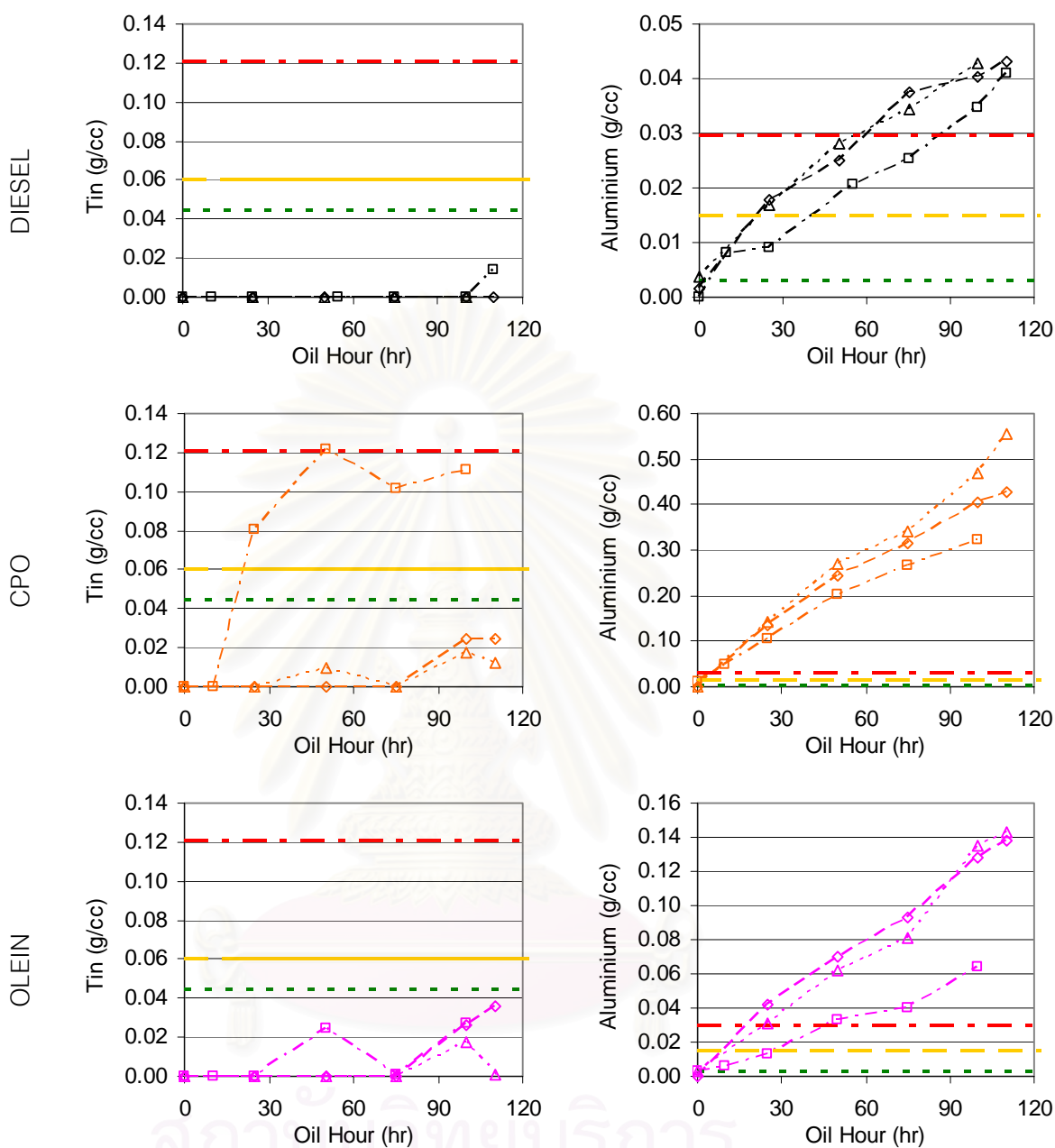
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-108 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่น (เหล็กและโครเมียม) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น

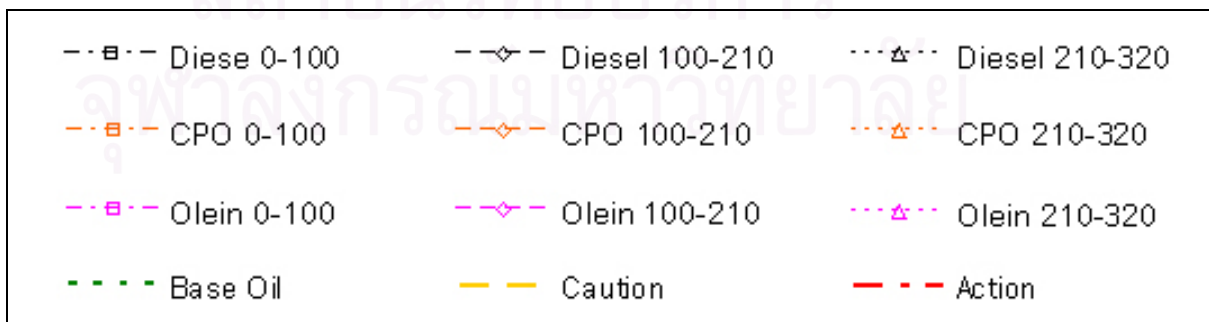
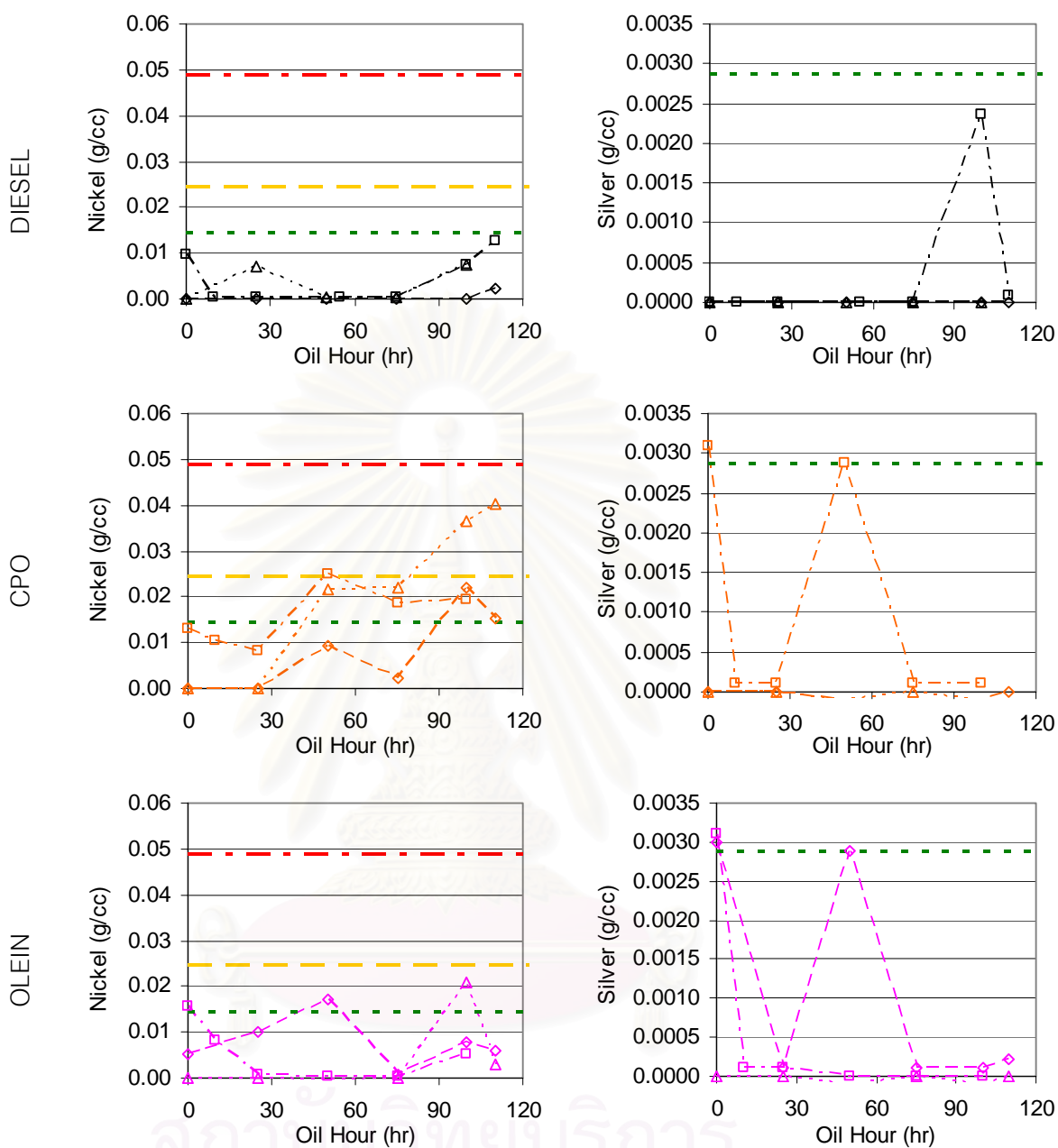


รูปที่ 4-109 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่น (ตะกั่วและทองแดง) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น

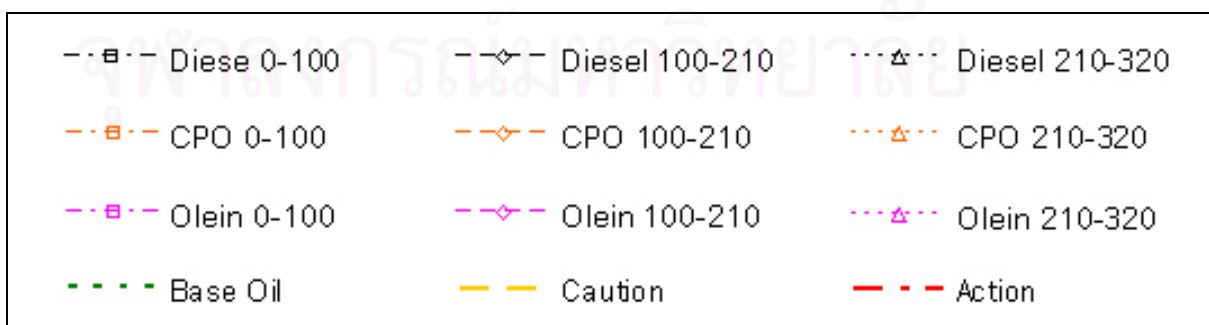
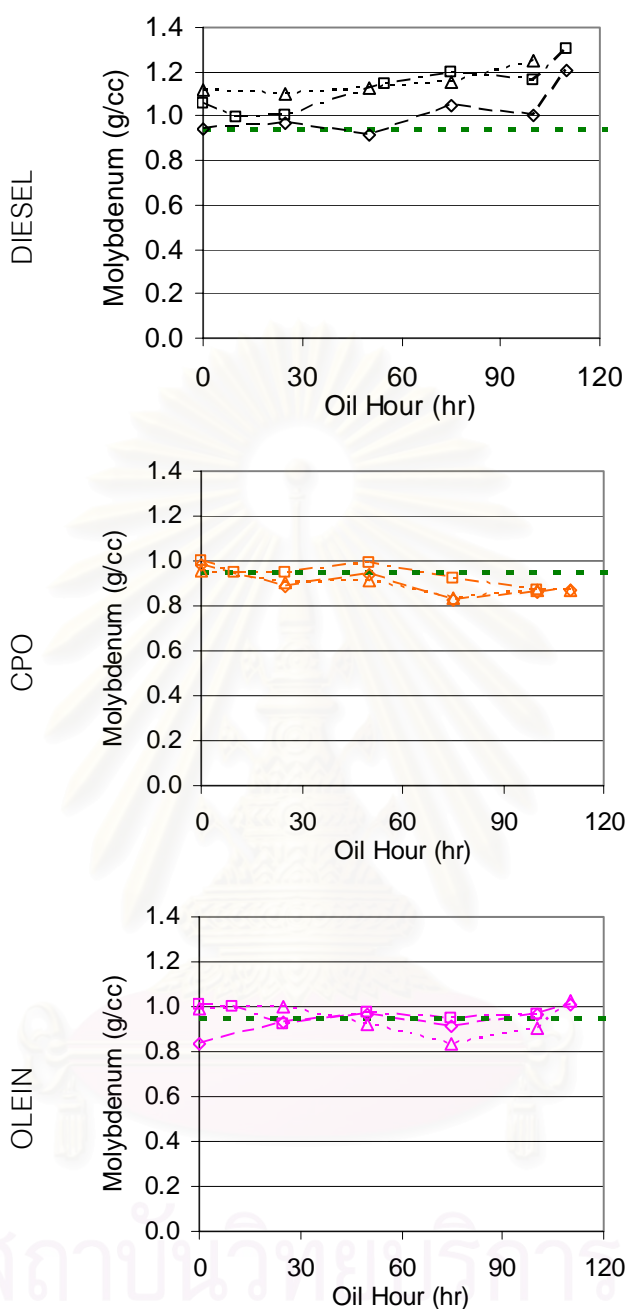


รูปที่ 4-110 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่น (ดีบุกและอลูมิเนียม) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น





รูปที่ 4-111 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่น (นิกเกิลและเงิน) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 4-112 แสดงค่าปริมาณโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่น (โมลิบดีนัม) ระหว่างทดสอบความทนทาน ตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น

#### 4.3.4.5 ปริมาณดีบุก

ไม่ค่อยพบปริมาณดีบุกในน้ำมันหล่อลื่น ทั้งกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอิน และกรณีน้ำมันดีเซล แม้ว่าจะพบในช่วงแรกสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มดิบก็ตามแต่พบว่าเป็นปริมาณที่ไม่มีนัยสำคัญต่อการพิจารณา

#### 4.3.4.6 ปริมาณอลูมิเนียม

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณอลูมิเนียม มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มของปริมาณเหล็กทั้งสามการใช้เชื้อเพลิง

ปริมาณอลูมิเนียมสะสมยังเกินค่าการเตือนภัยทั้งสองระดับทุกช่วงในการทดสอบทุกกรณีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยที่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอย่างมาก และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก็จะมีอัตราการเพิ่มที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลด้วย

ทั้งนี้ปริมาณอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นคาดว่ามาจาก 2 สาเหตุ สาเหตุแรกคือการที่แวนอด 1 ที่เกิดการสัมผัสแรงดันในทุกวัฏจักรการทำงานทำให้เกิดการสึกหรอขึ้นทั้งแวน 1 และลูกสูบ อันเป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนของโครเมียม และอลูมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่นตามลำดับ สาเหตุที่ 2 มาจากการสึกหรอที่ด้านข้างหัวลูกสูบจากการเสียดสีกับปลอกสูบ อันเป็นสาเหตุการเพิ่มขึ้นของการปนเปื้อนของเหล็ก และอลูมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่น

อีกทั้งกรณีน้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณซิลิกอนมากกว่าปกติยิ่งทำให้เจอการสึกหรอของชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้มากกว่าอีกด้วย

#### 4.3.4.7 ปริมาณนิกเกิล

การตรวจพบพบนิกเกิล พบว่ามีค่าที่ไม่คงที่ และมีค่าการปนเปื้อนน้อย ไม่เกินค่าการเตือนทั้งสองระดับ ยกเว้นน้ำมันปาล์มดิบที่ช่วงชั่วโมงที่ 210-320 ชั่วโมง ที่อายุของน้ำมันหล่อลื่นอายุเกิน 75 ชั่วโมงขึ้นไปจะเกินระดับเตือนภัยขั้นแรกเท่านั้น

#### 4.3.4.8 ปริมาณเงิน

การตรวจปริมาณเงิน ไม่พบว่ามีค่าการปนเปื้อน ไม่เกินค่าการเตือนทั้งสองระดับ และมีค่าไม่แตกต่างกันของทั้งสามเครื่องยนต์

#### 4.3.4.9 ปริมาณโมลิบดีนัม

การตรวจพบพบโมลิบดีนัม พบว่าเมื่ออายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าสูงขึ้นพบปริมาณโมลิบดีนัมที่มากขึ้น แต่ปริมาณโมลิบดีนัมมีค่าที่ไม่คงที่ และมีค่าการปนเปื้อนน้อย และมีค่าไม่แตกต่างกันของทั้งสามเครื่องยนต์อย่างไม่มีนัยสำคัญ

จากผลของการวิเคราะห์ปริมาณโลหะที่สะสมในน้ำมันหล่อลื่น จะเห็นได้ว่าปริมาณเหล็ก อลูมิเนียม และโครเมียมมีค่าสะสมมีปริมาณที่สูงเกินค่าการเตือนขั้นวิกฤต โดยเฉพาะกรณีน้ำมัน

ปาล์มดิบ ซึ่งพิจารณาว่าเกิดมาจากความสะอาดของเชื้อเพลิงทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีปริมาณซิลิกอนมากเกินไป ซึ่งเป็นตัวเร่งในการเกิดการสึกหรอที่สูงกว่าปกติ

#### 4.3.5 ผลจากกระบวนการเฟอโรโรกราฟฟี

เนื่องจากปริมาณอนุภาคเหล็กของการสึกหรอ ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบและปาล์มโอเลอิน มีปริมาณโลหะเพิ่มขึ้นสูงมากผิดปกติ จึงได้นำกระบวนการเฟอโรโรกราฟฟีมาใช้ร่วมในการวิเคราะห์ผลข้อมูล ตลอดจนการทดสอบความทนทาน

การวิเคราะห์เฟอโรโรแกรมเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ด้วยการศึกษาลักษณะ รูปร่าง ขนาดของเศษอนุภาคเหล็กที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์ในเชิงปริมาณและค่าตัวเลขในการตัดสินใจได้

โดยในการเก็บตัวอย่างของน้ำมันหล่อลื่น ได้กระทำตามช่วงเวลาทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้

- ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 คือ ช่วงของการรันอินเครื่องยนต์ (ใช้น้ำมันดีเซล)
- ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 (ใช้น้ำมันปาล์มดิบและใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน)
- ชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 (ใช้น้ำมันปาล์มดิบและใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน)
- ชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 (ใช้น้ำมันปาล์มดิบและใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน)

ในการพิจารณาจะพิจารณาในส่วนที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ และส่วนที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินเท่านั้น เนื่องจากเป็นส่วนที่มีความแตกต่างกันซึ่งทำให้เห็นถึงผลกระทบของการเปลี่ยนเชื้อเพลิงได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

##### 4.3.5.1 ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรโรแกรมดังตารางที่ 4-1 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรโรแกรมดังตารางที่ 4-2

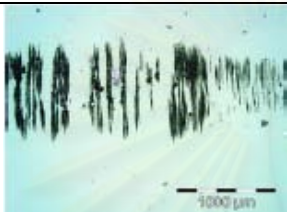
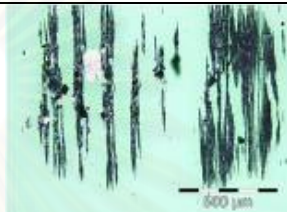

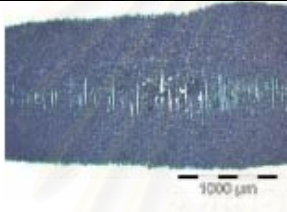
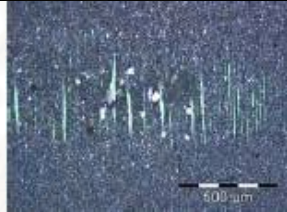
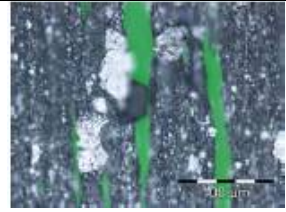

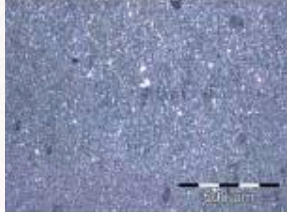




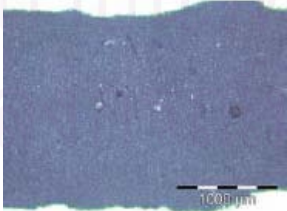
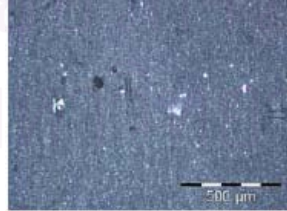


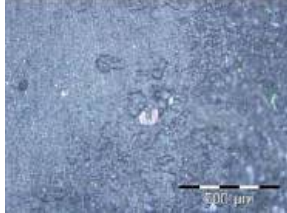
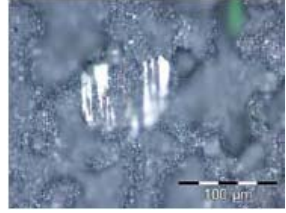
สำหรับชั่วโมงที่ 0 ในกรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบพบการสึกหรอจากการขัดสี (Abrasive Wear) เป็นหลัก ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากฝุ่นละออง ซึ่งยังพบปริมาณโลหะแบล็กออกไซด์ และการสึกหรอจากความล้าอีกด้วย

สำหรับชั่วโมงที่ 10 - 100 ในกรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบพบการสึกหรอจากการขัดสี (Abrasive Wear) เป็นหลัก ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากฝุ่นละอองจำนวนมากอีกด้วย และยังพบปริมาณโลหะแบล็กออกไซด์ และการสึกหรอจากความล้าด้วย



จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามการวิเคราะห์ในส่วนแรกว่าปริมาณเหล็กที่พบ เกิดจากฝุ่นละอองที่มีจำนวนมากที่ทำให้เกิดการสึกหรอเป็นหลัก

ตารางที่ 4-1 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

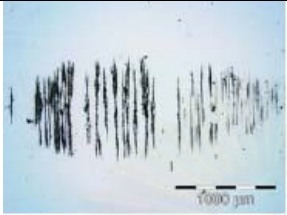
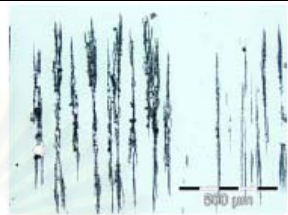
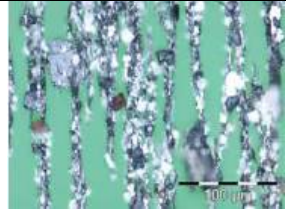
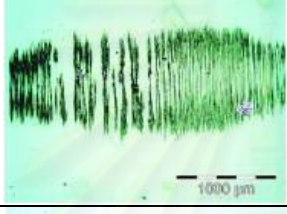
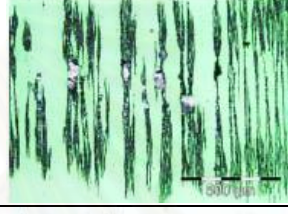
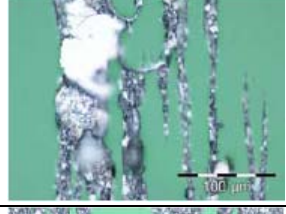
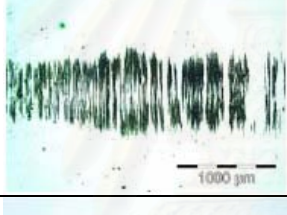
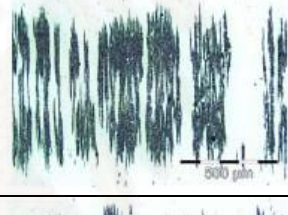
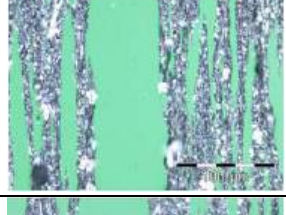
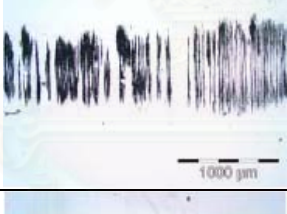
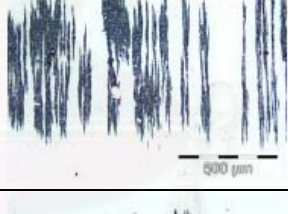
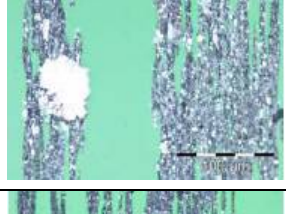
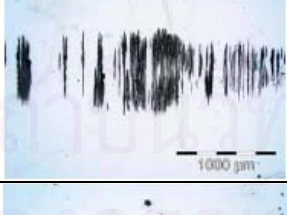
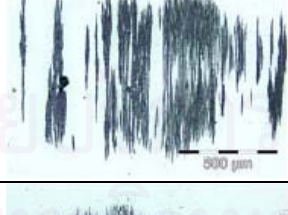
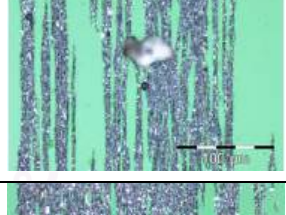
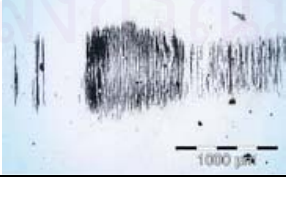
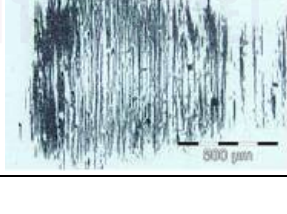
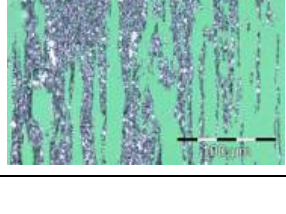
Oil hour	Working hour	กำลังขยาย 50 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 500 เท่า
0	0			
10	10			
25	25			
50	50			
75	75			
100	100			



ตารางที่ 4-2 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอริโรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นตัวโม่งการ  
ทำงานที่ 0 ถึง 100 ชั่วโมงเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

Working (hr)	0			10			25		
Oil Hour (hr)	0			10			25		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	60	2-3	F	50	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear	20	10-30	F	20	20-50	F	5	10-30	F
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	10	10-20	F	10	10-30	F	5	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-80	C	20	10-100	C	20	10-50	C
Working (hr)	50			75			100		
Oil Hour (hr)	50			75			100		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	60	2-3	F	70	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear	10	20-50	F	5	10-30	F	5	20-80	F
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	10	10-20	F	5	10-20	F	5	10-20	F
Dirt and Dust	20	10-80	C	20	10-100	C	20	10-100	C

ตารางที่ 4-3 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น

Oil hour	Working hour	กำลังขยาย 50 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 500 เท่า
0	0			
10	10			
25	25			
50	50			
75	75			
100	100			

ตารางที่ 4-4 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรโรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นชีวโม่งการ  
ทำงานที่ 0 ถึง 100 ชั่วโมงเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ

Working (hr)	0			10			25		
Oil Hour (hr)	0			10			25		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	85	2-3	F	50	2-3	F	60	2-3	F
Fatigue Wear	5	10-20	F	10	20-50	F	10	10-30	F
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	10	20-50	F	-	-	-
Black Oxides	5	5-10	F	10	20-30	F	10	10-20	F
Dirt and Dust	5	10-20	C	20	10-50	C	20	10-50	C
Working (hr)	50			75			100		
Oil Hour (hr)	50			75			100		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	80	2-3	F	90	2-3	F
Fatigue Wear	10	20-50	F	-	-	-	-	-	-
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	5	10-20	F	-	-	-	-	-	-
Dirt and Dust	15	10-50	C	20	20-50	C	10	10-20	C

และผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรโรแกรมดังตารางที่ 4-3 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรโรแกรมดังตารางที่ 4-4

สำหรับชั่วโมงที่ 0 ของกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินพบการสึกหรอแบบเสียดสีปกติเป็นหลัก

สำหรับชั่วโมงที่ 10 ของกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินพบการสึกหรอจากการขัดสี (Abrasive Wear) เป็นหลัก ซึ่งฝุ่นละอองที่พบจะเป็นสาเหตุของการสึกหรอแบบนี้ และยังพบการสึกหรอแบบ Cutting Wear ที่เป็นการเกิดมาจากการสึกหรอแบบขัดสี

สำหรับชั่วโมงที่ 25-75 ของกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินพบการสึกหรอจากการขัดสี (Abrasive Wear) เป็นหลัก ซึ่งฝุ่นละอองที่พบจะเป็นสาเหตุของการสึกหรอแบบนี้ สำหรับชั่วโมงที่ 100 ของพบการสึกหรอแบบเสียดสีปกติเป็นหลัก

#### 4.3.5.2 ชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรโรแกรมดังตารางที่ 4-5 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรโรแกรมดังตารางที่ 4-6

ในกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 100 และอายุของน้ำมันหล่อลื่นที่ 0 ชั่วโมง พบ Sliding Wear ซึ่งเกิดจากความเร็วหรือภาระที่สูงเกินไปที่จุดสัมผัส

สำหรับชั่วโมงที่ 125-210 ในกรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบพบการสึกหรอจากการขัดสี (Abrasive Wear) เป็นหลัก ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากฝุ่นละอองจำนวนมากอีกด้วย ซึ่งยังพบปริมาณโลหะแบล็กออกไซด์ และการสึกหรอจากความล้าด้วย

จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามการวิเคราะห์ในส่วนแรกว่าปริมาณเหล็กที่พบก็เกิดจากฝุ่นละอองที่มีจำนวนมากที่ทำให้เกิดการสึกหรอเป็นหลัก

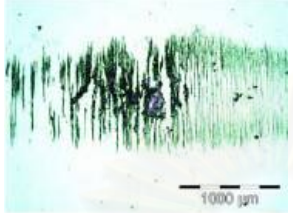
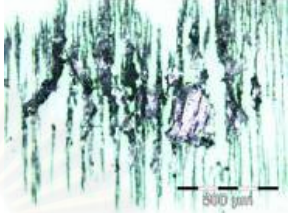

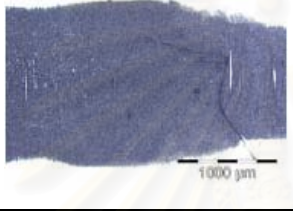

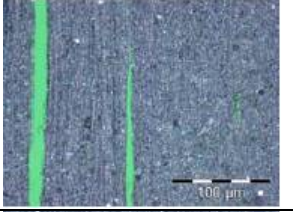









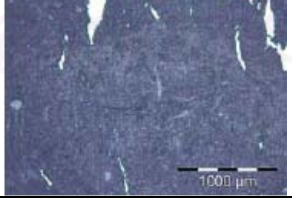
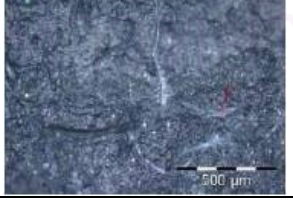
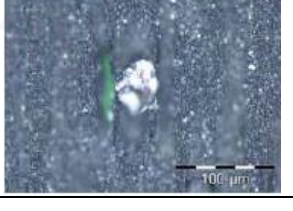
และผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรโรแกรมดังตารางที่ 4-7 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรโรแกรมดังตารางที่ 4-8

สำหรับชั่วโมงที่ 100-210 ของกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินพบการสึกหรอแบบเสียดสีปกติเป็นหลัก และยังพบแบล็กออกไซด์ และการสึกหรอจากความล้าบ้าง

เฉพาะชั่วโมงที่ 200 ของกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินพบการสึกหรอแบบเสียดสีปกติเป็นหลัก และยังพบทองแดงที่เกิดจากความล้าอีกด้วย



ตารางที่ 4-5 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโกราฟีจากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโงมการทำงานที่ 100 ถึง 210 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ




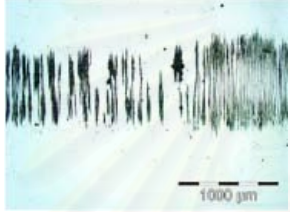
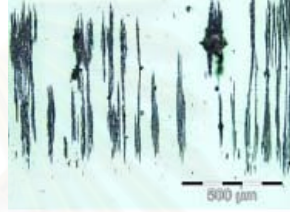
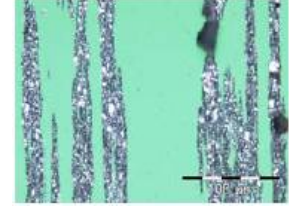
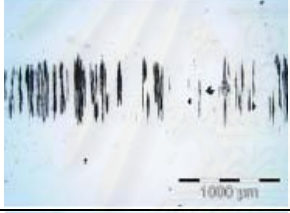
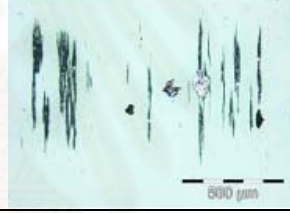
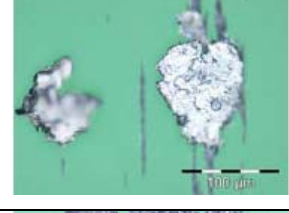
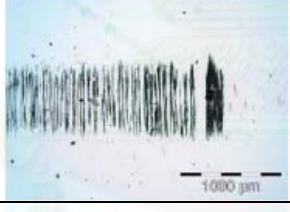

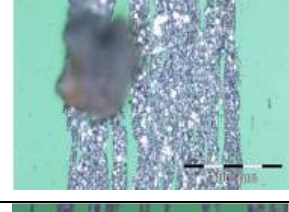

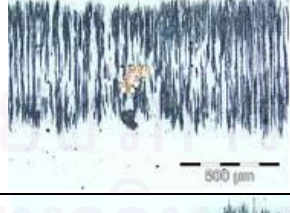
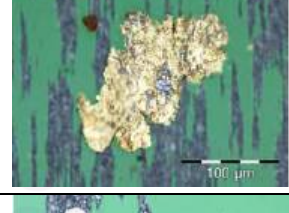



Oil hour	Working hour	กำลังขยาย 50 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 500 เท่า
0	100			
25	125			
50	150			
75	175			
100	200			
110	210			



ตารางที่ 4-6 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอริโรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นตัวโม่งการ  
ทำงานที่ 100 ถึง 210 ชั่วโมงเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

Working (hr)	100			125			150		
Oil Hour (hr)	0			25			50		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	30	2-3	F	80	2-3	F	80	2-3	F
Fatigue Wear	20	20-100	F	-	-	-	5	10-20	F
Sliding Wear	20	20-100	F	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	20	10-200	F	-	-	-	5	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-50	C	20	10-50	C	20	20-50	C
Working (hr)	175			200			210		
Oil Hour (hr)	75			100			110		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	80	2-3	F	70	2-3	F	60	2-3	F
Fatigue Wear	10	20-50	F	-	-	F	-	-	-
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	10	10-20	F	-	-	-	-	-	-
Dirt and Dust	20	20-50	C	30	20-200	C	40	>100	C

ตารางที่ 4-7 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอส

Oil hour	Working hour	กำลังขยาย 50 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 500 เท่า
0	100			
25	125			
50	150			
75	175			
100	200			
110	210			

ตารางที่ 4-8 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอริโรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นตัวโม่งการ  
ทำงานที่ 100 ถึง 210 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น

Working (hr)	100			125			150		
Oil Hour (hr)	0			25			50		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	90	2-3	F	80	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear	-	-	-	-	-	-	10	20-80	F
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	-	-	-	-	-	-	5	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-20	C	20	10-20	C	15	10-20	C
Working (hr)	175			200			210		
Oil Hour (hr)	75			100			110		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	80	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear	10	10-20	F	-	-	-	10	10-20	F
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	10	10-20	F	5	10-20	F	10	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-20	C	10	10-20	C	10	10-20	C
Copper	-	-	-	5	100	N	-	-	-

#### 4.3.5.3 ชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ ชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 4-9 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 4-10

ในกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบ ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 210 และอายุของน้ำมันหล่อลื่นที่ 0 พบการสึกหรอบแบบเสียดสีปกติเป็นหลัก

สำหรับชั่วโมงที่ 235 ในกรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบพบการสึกหรอจากการขัดสี (Abrasive Wear) เป็นหลัก ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากฝุ่นละอองจำนวนมากอีกด้วย

สำหรับชั่วโมงที่ 260 ในกรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบพบการสึกหรอจากการขัดสี (Abrasive Wear) เป็นหลัก ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากฝุ่นละอองจำนวนมากอีกด้วย และยังพบแบคทีเรียออกไซด์และการสึกหรอจากความล้าออกมาอีกด้วย

สำหรับชั่วโมงที่ 285-320 ในกรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบพบการสึกหรอจากการขัดสี (Abrasive Wear) เป็นหลัก ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากฝุ่นละอองจำนวนมาก

และจะเห็นได้ว่าเป็นไปตามการวิเคราะห์ในตอนแรกว่าปริมาณเหล็กที่พบก็เกิดจากฝุ่นละอองที่มีจำนวนมากที่ทำให้เกิดการสึกหรอเป็นหลัก

สำหรับผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอดีอื่น ชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 4-11 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 4-12

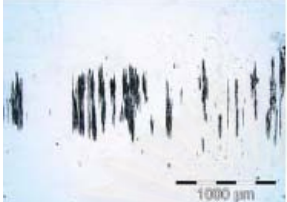
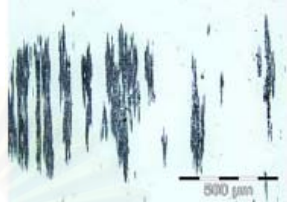

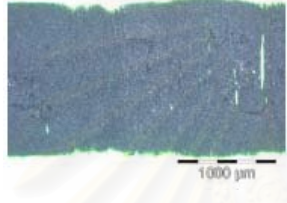
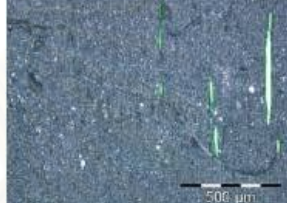
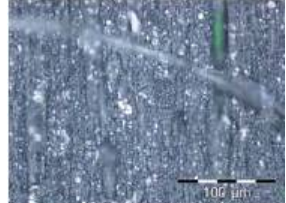
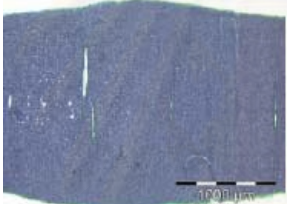

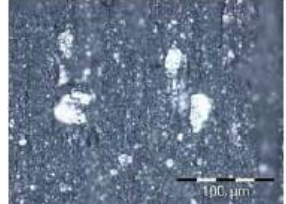
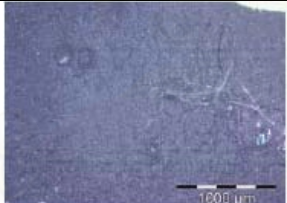




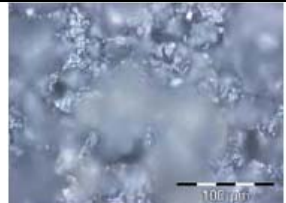
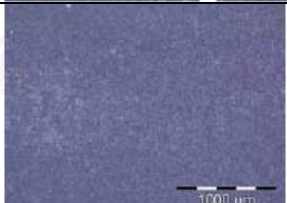

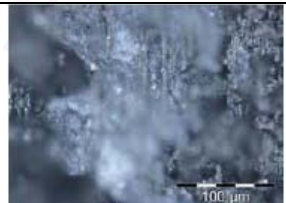
สำหรับชั่วโมงที่ 210 ของกรณีน้ำมันปาล์มโอดีอื่นพบการสึกหรอบแบบแบคทีเรียออกไซด์และการสึกหรอจากการล้าตัวเล็กน้อยซึ่งไม่พบว่าเป็นปัญหากับเครื่องยนต์

สำหรับชั่วโมงที่ 235-285 ของกรณีน้ำมันปาล์มโอดีอื่นพบการสึกหรอบแบบเสียดสีปกติเป็นหลัก และยังพบแบคทีเรียออกไซด์ และการสึกหรอจากความล้าบ้าง

สำหรับชั่วโมงที่ 310-320 ของกรณีน้ำมันปาล์มโอดีอื่นพบฝุ่นละอองซึ่งมีผลทำให้เกิดการสึกหรอจากการขัดสี (Abrasive Wear)



ตารางที่ 4-9 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ



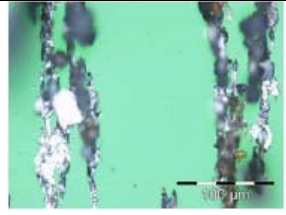
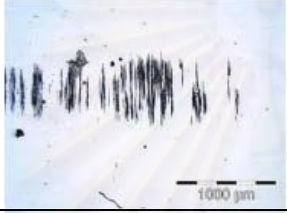
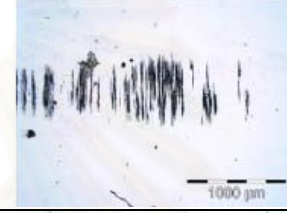
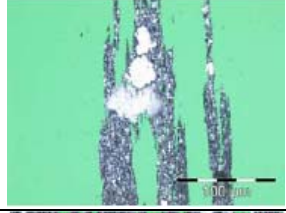
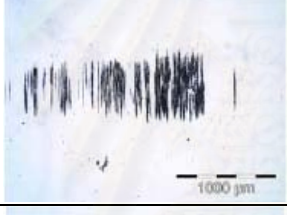
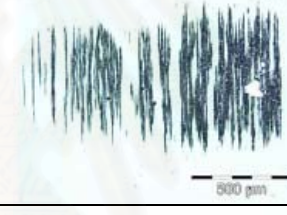

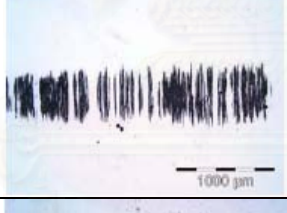
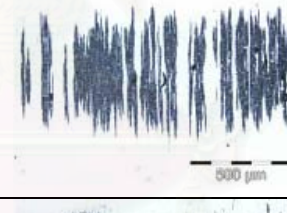
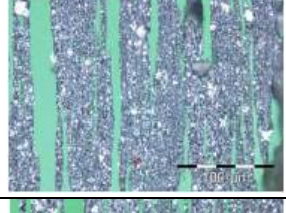
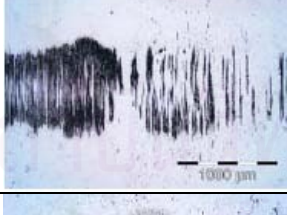
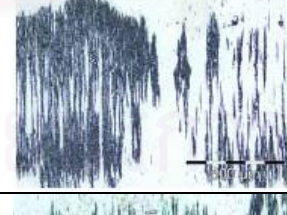
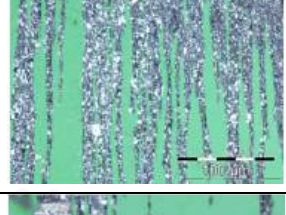
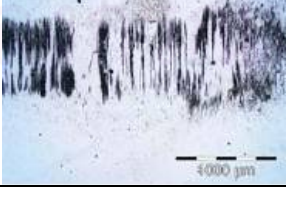
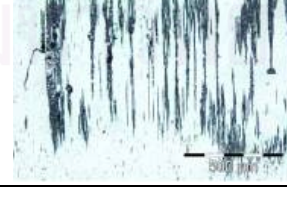
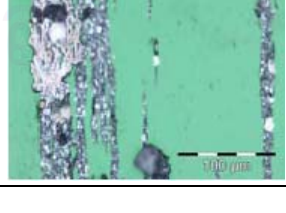
Oil hour	Working hour	กำลังขยาย 50 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 500 เท่า
0	210			
25	235			
50	260			
75	285			
100	310			
110	320			



ตารางที่ 4-10 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นตัวโม่งการ  
ทำงานที่ 100 ถึง 210 ชั่วโมงเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

Working (hr)	210			235			260		
Oil Hour (hr)	0			25			50		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	90	2-3	F	80	2-3	F	60	2-3	F
Fatigue Wear	-	-	-	-	-	-	10	10-20	F
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	-	-	-	-	-	-	10	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-20	C	20	20-100	C	10	10-50	C
Working (hr)	175			200			320		
Oil Hour (hr)	75			100			110		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	70	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dirt and Dust	30	>100	C	30	>100	C	30	>100	C

ตารางที่ 4-11 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรโกรมจากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น

Oil hour	Working hour	กำลังขยาย 50 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 500 เท่า
0	210			
25	235			
50	260			
75	285			
100	310			
110	320			

ตารางที่ 4-12 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรโรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นตัวโม่งการ  
ทำงานที่ 210 ถึง 320 กรณีเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีเอ็น

Working (hr)	210			235			260		
Oil Hour (hr)	0			25			50		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	40	2-3	F	80	2-3	F	75	2-3	F
Fatigue Wear	20	20-50	F	5	10-20	F	10	10-50	F
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	30	20-30	F	5	10-20	F	5	5-10	F
Dirt and Dust	10	10-50	C	10	10-30	C	10	10-20	C
Working (hr)	285			310			320		
Oil Hour (hr)	75			100			110		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	80	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear	10	10-20	F	-	-	-	10	10-50	F
Sliding Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Black Oxides	10	5-10	F	-	-	-	10	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-30	C	20	10-20	C	10	10-50	C

#### 4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะภายหลังทดสอบความทนทาน

ผลจากการทดสอบสมรรถนะภายหลังผ่านการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เปรียบเทียบระหว่างค่าแรงบิดเบรก อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงรวมจำเพาะเบรก ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก หลังทำการปรับแก้ไขค่าสำหรับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐาน อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและค่าควันดำ ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ และใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่ความเร็วรอบคงที่และสภาวะคงตัวบนแท่นทดสอบเครื่องยนต์ นำเสนอออกเป็นผลที่สภาวะภาระสูงสุด และที่สภาวะภาระบางส่วน ดังนี้

##### 4.4.1 ผลของแรงบิดเบรก (Brake Torque) กับ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุด

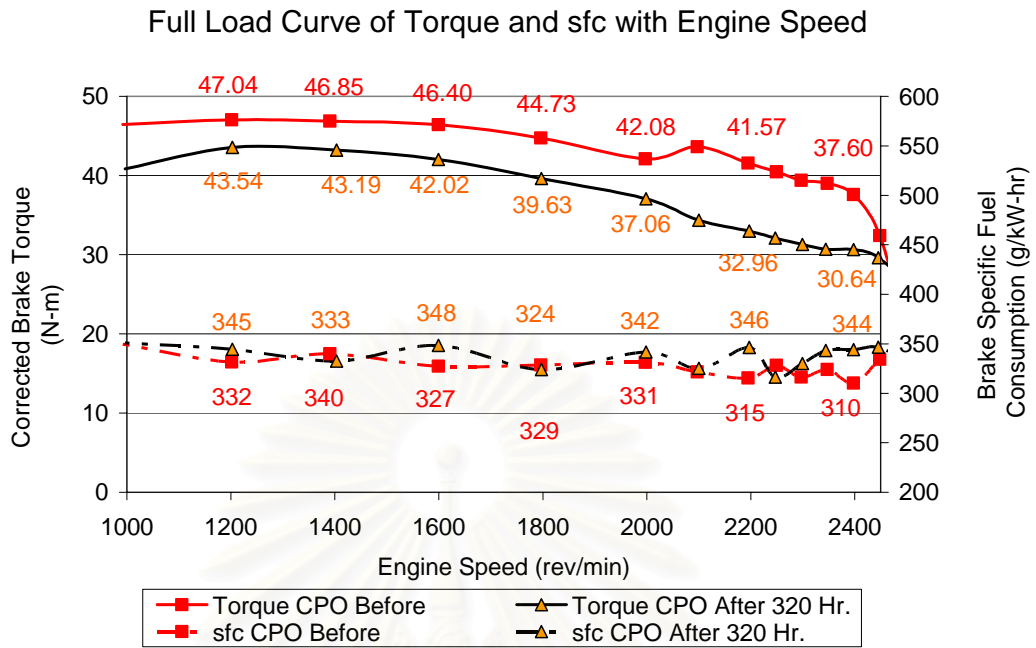
ผลของแรงบิดเบรก (Brake Torque) กับอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-113 และรูปที่ 4-114 ตามลำดับ

พบว่าค่าแรงบิดเบรกสูงสุดมีค่าลดลงทั้งการใช้น้ำมันปาล์มดิบและการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบมีการลดลงของแรงบิดอยู่ประมาณ 10%-20% ส่วนสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินมีการลดลงของแรงบิดอยู่ 5%-14% แต่ปริมาณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกกลับมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับที่สภาวะภาระสูงสุด

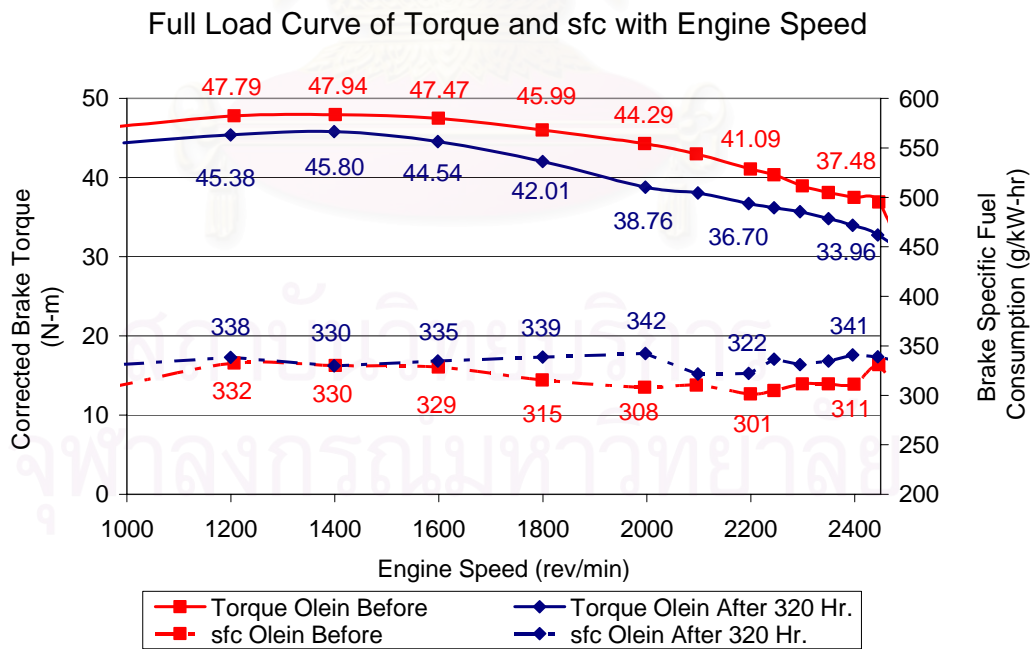
##### 4.4.2 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion Efficiency) ที่สภาวะภาระสูงสุด

ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-115 และรูปที่ 4-116 ตามลำดับ

พบว่าค่าประสิทธิภาพมีค่าต่ำลงทั้งสองกรณีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงโดยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกลดลงอยู่ประมาณ 1% ทั้งสองกรณี

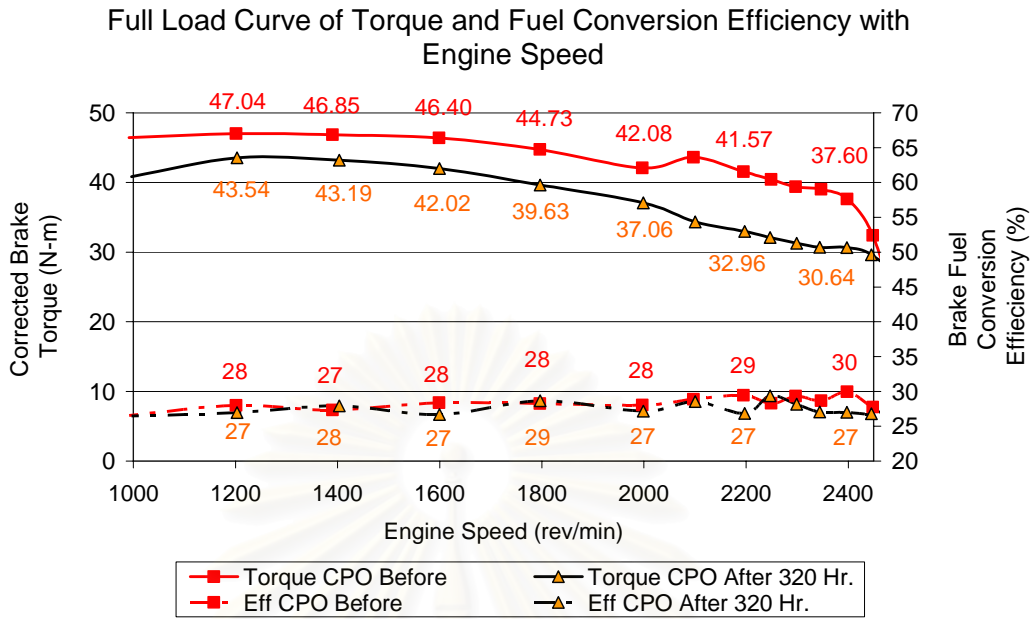


รูปที่ 4-113 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

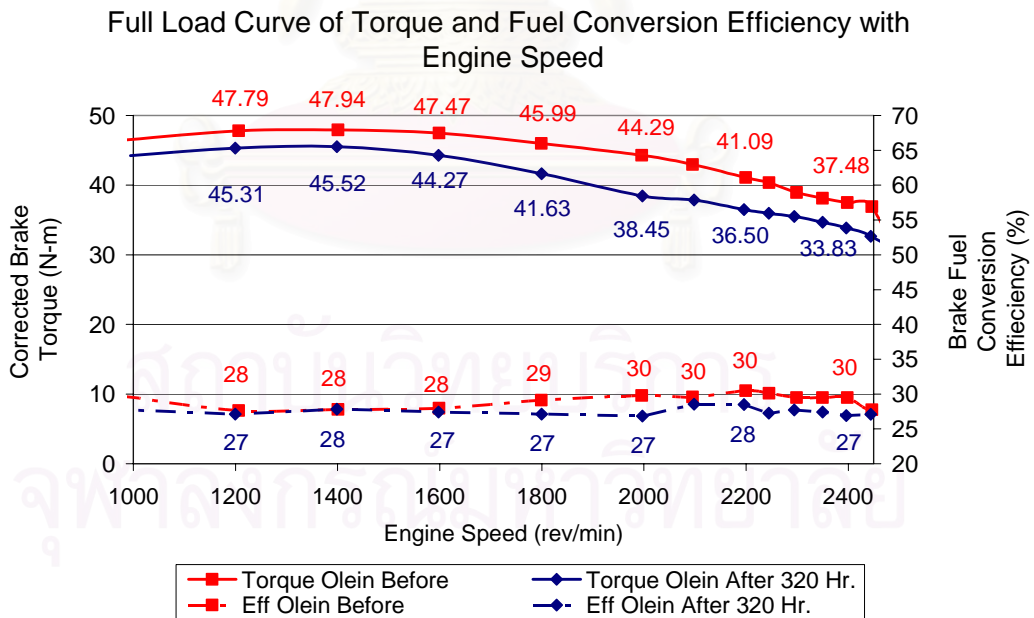


รูปที่ 4-114 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอดีอินก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ





รูปที่ 4-115 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกกรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 4-116 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกกรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอดีอินก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

#### 4.4.3 คุณหมุมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด

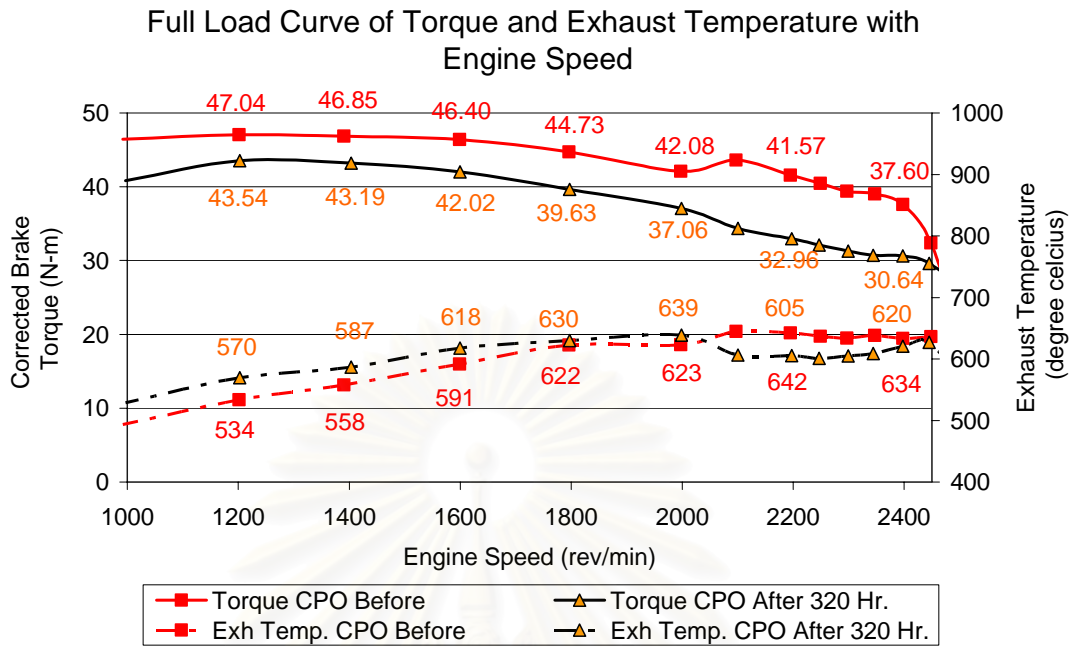
คุณหมุมิไอเสีย ที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-117 และรูปที่ 4-118 ตามลำดับ

พบว่าสำหรับคุณหมุมิไอเสียของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าเพิ่มขึ้นในบางช่วงความเร็วรอบ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ที่แย่งจากละอองฝอยของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมาแย่ง ส่วนสำหรับบางช่วงความเร็วรอบของกรณีน้ำมันปาล์มดิบและทุกช่วงความเร็วรอบของน้ำมันปาล์มโอเลอินกลับมีค่าที่ต่ำลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแรงบิดสูงสุดที่ลดลงทำให้ภาระของเครื่องยนต์ลดลงแล้วจึงทำให้คุณหมุมิไอเสียต่ำลงด้วย

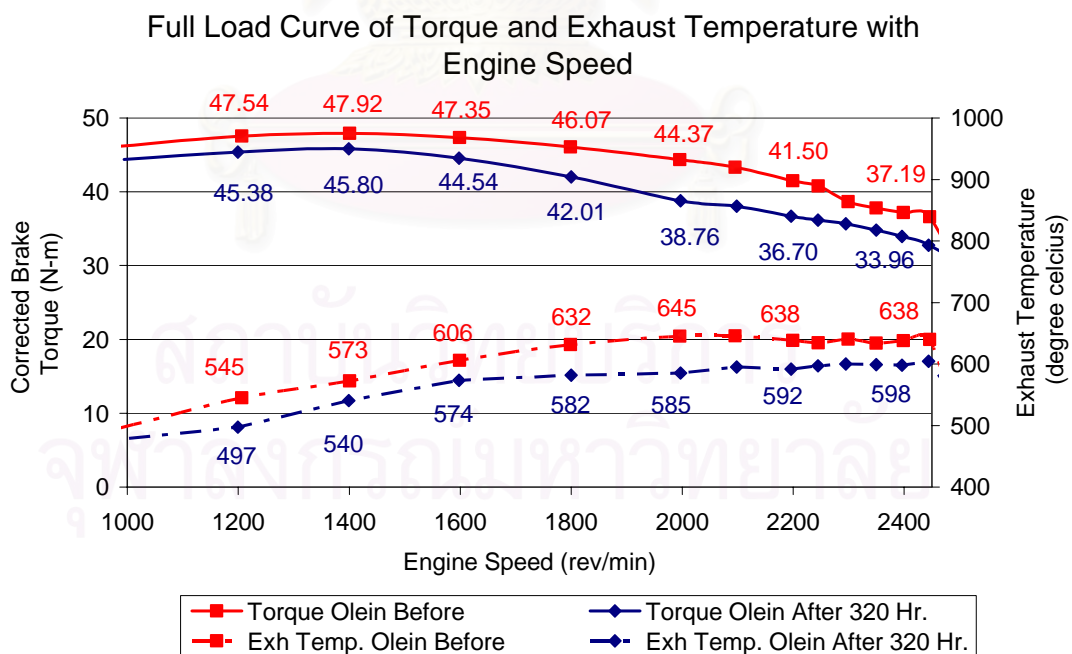
#### 4.4.4 คุณหมุมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุด

คุณหมุมิน้ำมันหล่อลื่น ที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-119 และรูปที่ 4-120 ตามลำดับ

พบว่าคุณหมุมิน้ำมันหล่อลื่นของก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทานของทั้งการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทุกช่วงความเร็ว

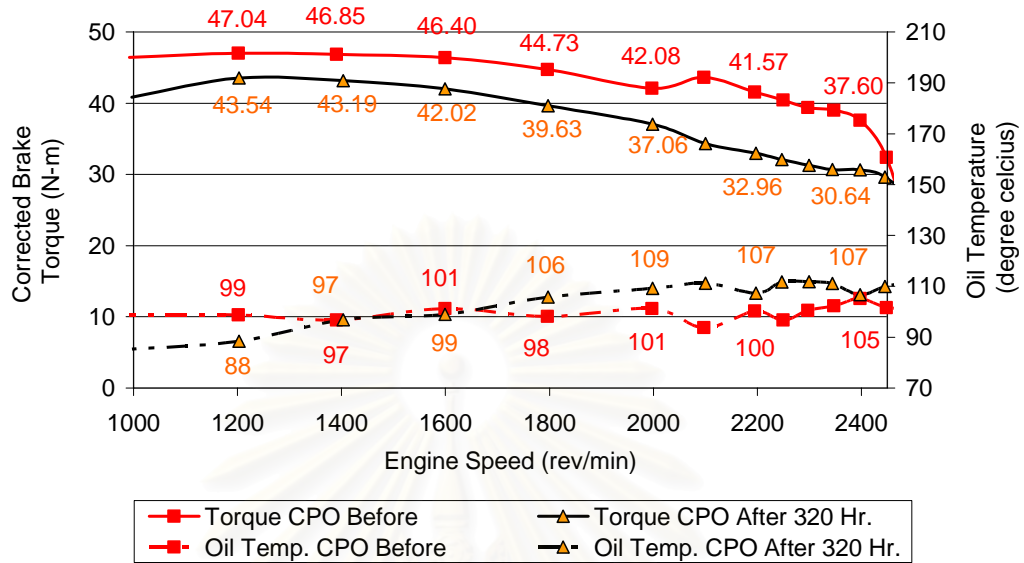


รูปที่ 4-117 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิไอเสีย กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ



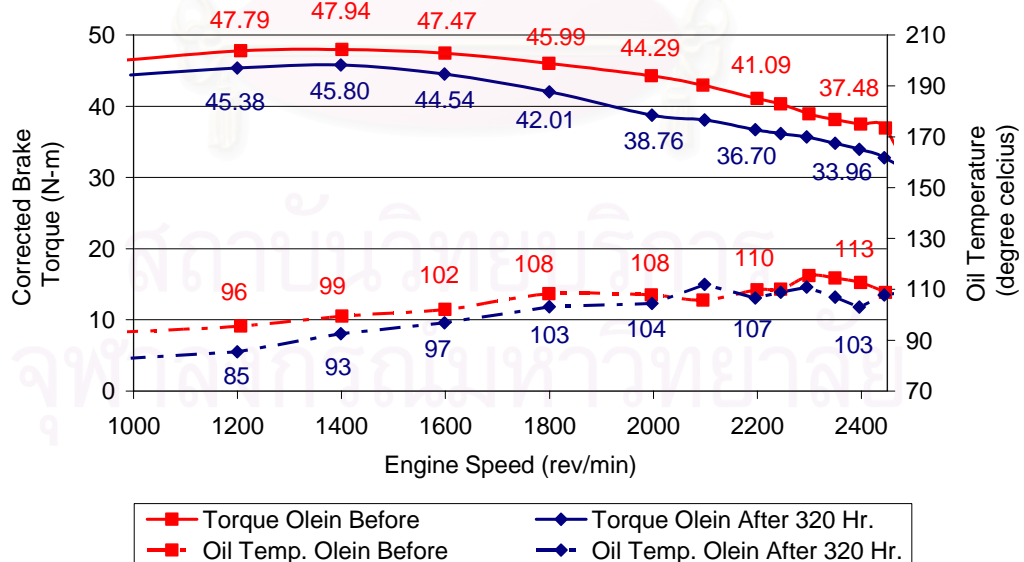
รูปที่ 4-118 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิไอเสีย กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

Full Load Curve of Torque and Lubrication Oil Temperature with Engine Speed



รูปที่ 4-119 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

Full Load Curve of Torque and Lubrication Oil Temperature with Engine Speed



รูปที่ 4-120 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดเบรกและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอดีเอ็นก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

#### 4.4.5 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุด

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ได้แสดงไว้ใน รูปที่ 4-121 และรูปที่ 4-122 ตามลำดับ

พบว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทานของทั้งการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทุกช่วงความเร็ว

#### 4.4.6 ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุด

ค่าควันดำ ที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-123 และรูปที่ 4-124 ตามลำดับ

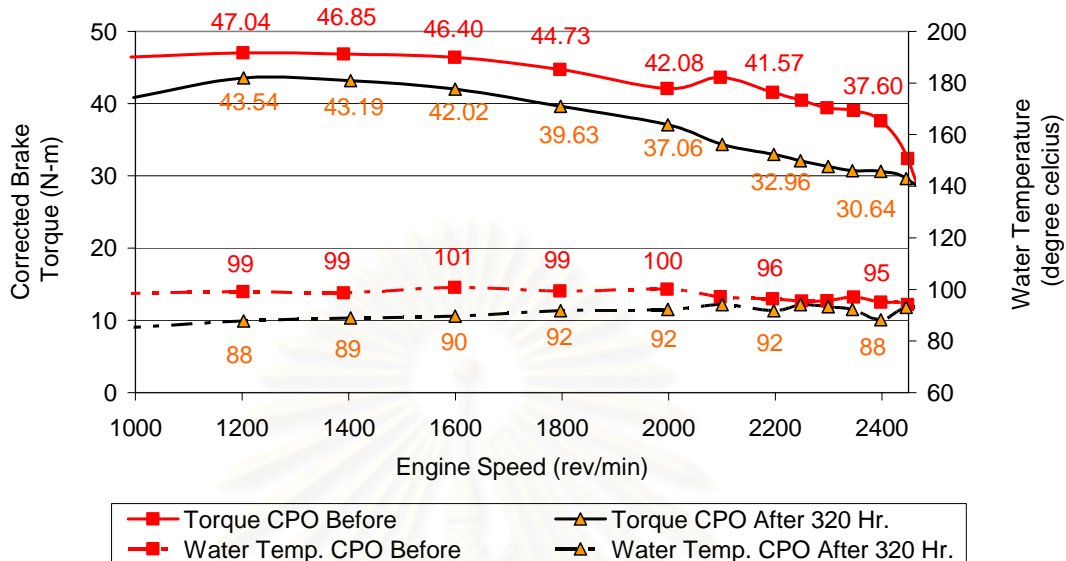
พบว่าค่าควันดำของกรณีน้ำมันปาล์มดิบทั้งหมดทุกความเร็วรอบที่ภาระสูงสุดมีค่าลดลงกว่าก่อนการทดสอบความทนทาน ซึ่งมาจากปริมาณแรงบิดที่ออกมาที่ลดลง

ส่วนค่าควันดำของกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินในช่วงความเร็วรอบต่ำมีค่าควันดำต่ำกว่าก่อนการทดสอบความทนทานเช่นเดียวกับกับกรณีน้ำมันปาล์มดิบ และกลับมีค่ามากกว่าเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นตามลำดับ

การที่ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดมีค่าต่ำลง ทั้งๆ ที่จากผลการทดสอบความทนทาน ค่าควันดำมีการเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่สภาวะสูงสุดดังกล่าวเป็นการทดสอบที่ตำแหน่งคันเร่งสูงสุดซึ่งที่ผลการทดสอบพบว่าแรงบิดที่ตำแหน่งคันเร่งสูงสุดนี้ภายหลังการทดสอบความทนทานมีค่าต่ำกว่าก่อนการทดสอบความทนทาน ซึ่งเมื่อมีแรงบิดที่ต่ำกว่านั้นคือจุดทำงานเปลี่ยนไปดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ค่าควันดำมีค่าต่ำลงได้

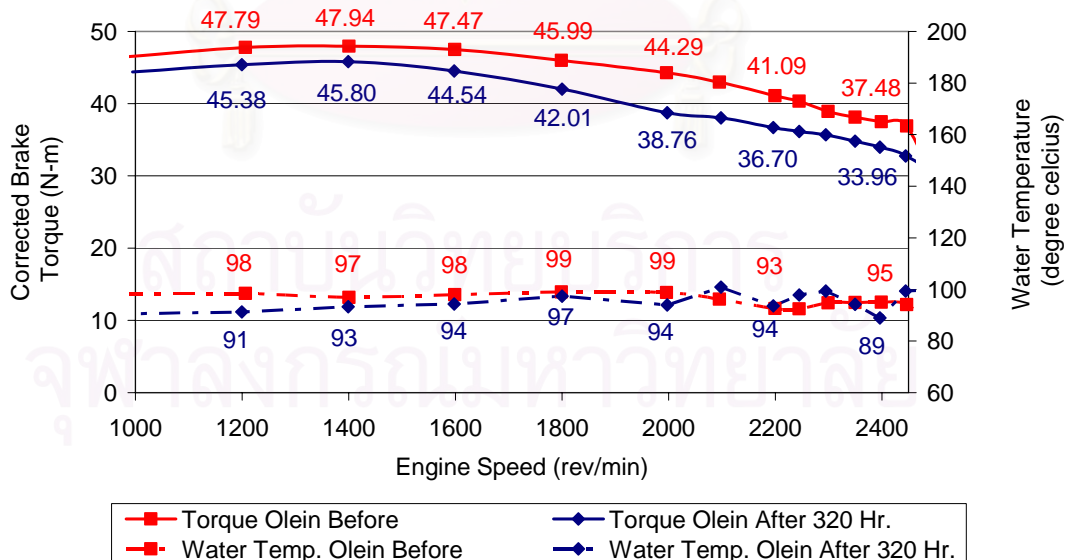


Full Load Curve of Torque and Cooling Water Temperature with Engine Speed

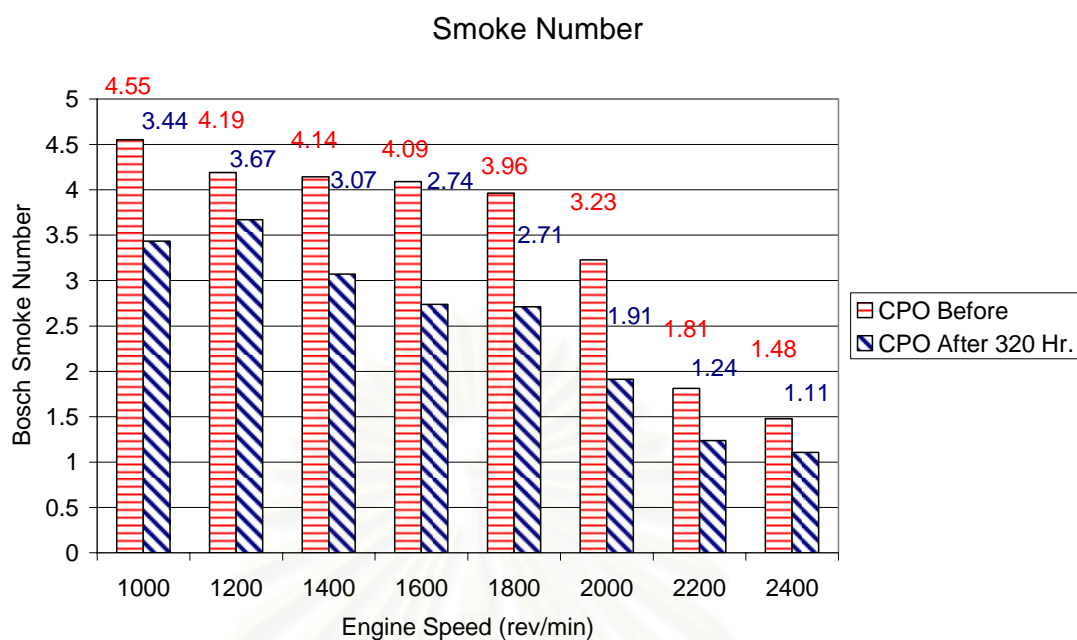


รูปที่ 4-121 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

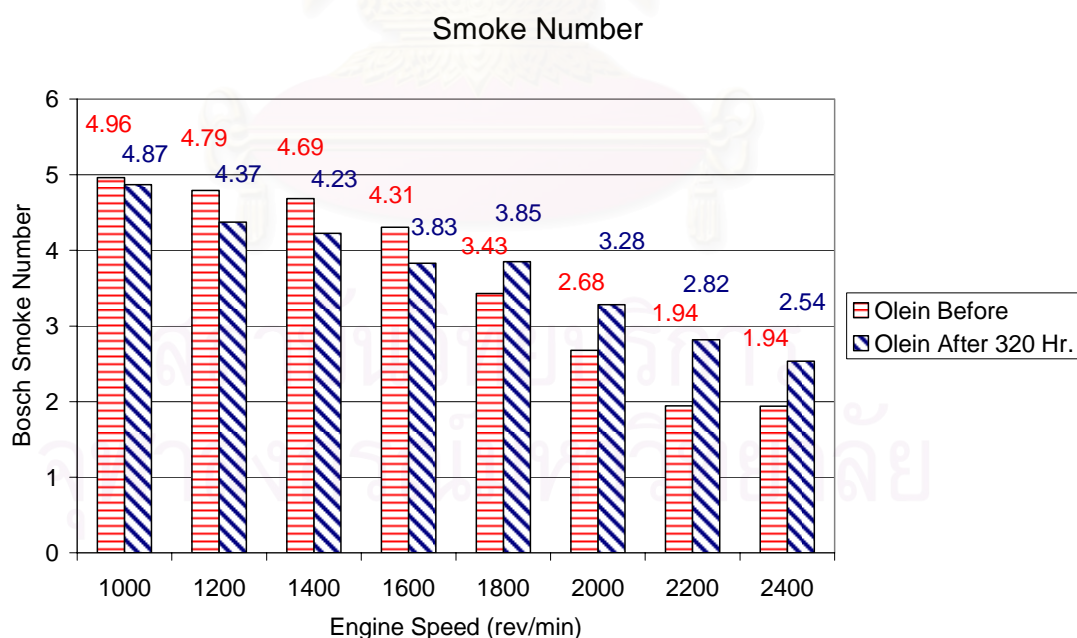
Full Load Curve of Torque and Cooling Water Temperature with Engine Speed



รูปที่ 4-122 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงบิดและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอดีนก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 4-123 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าควันดำ กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ



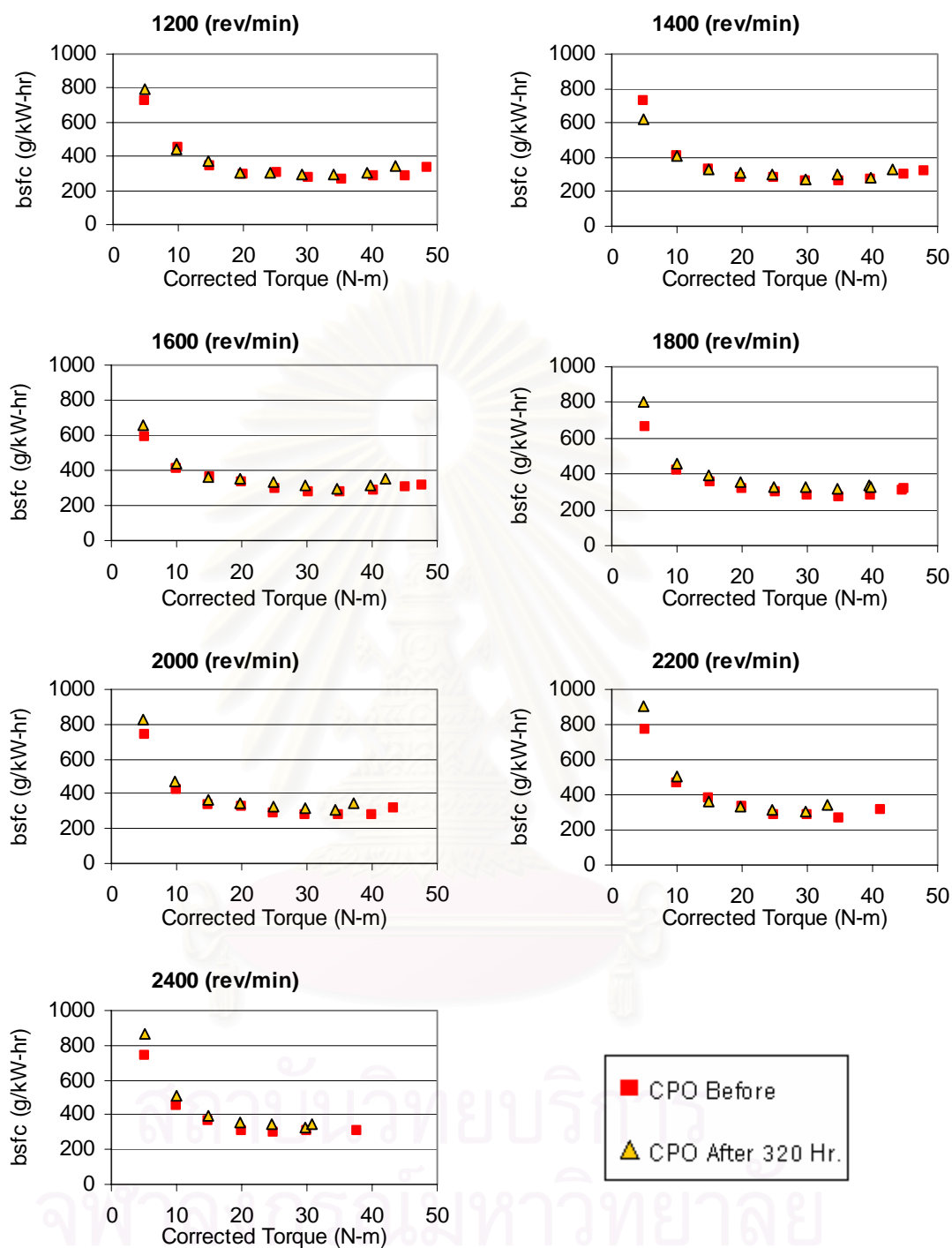
รูปที่ 4-124 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าควันดำ กรณีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอดีนก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ

#### 4.4.7 ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน

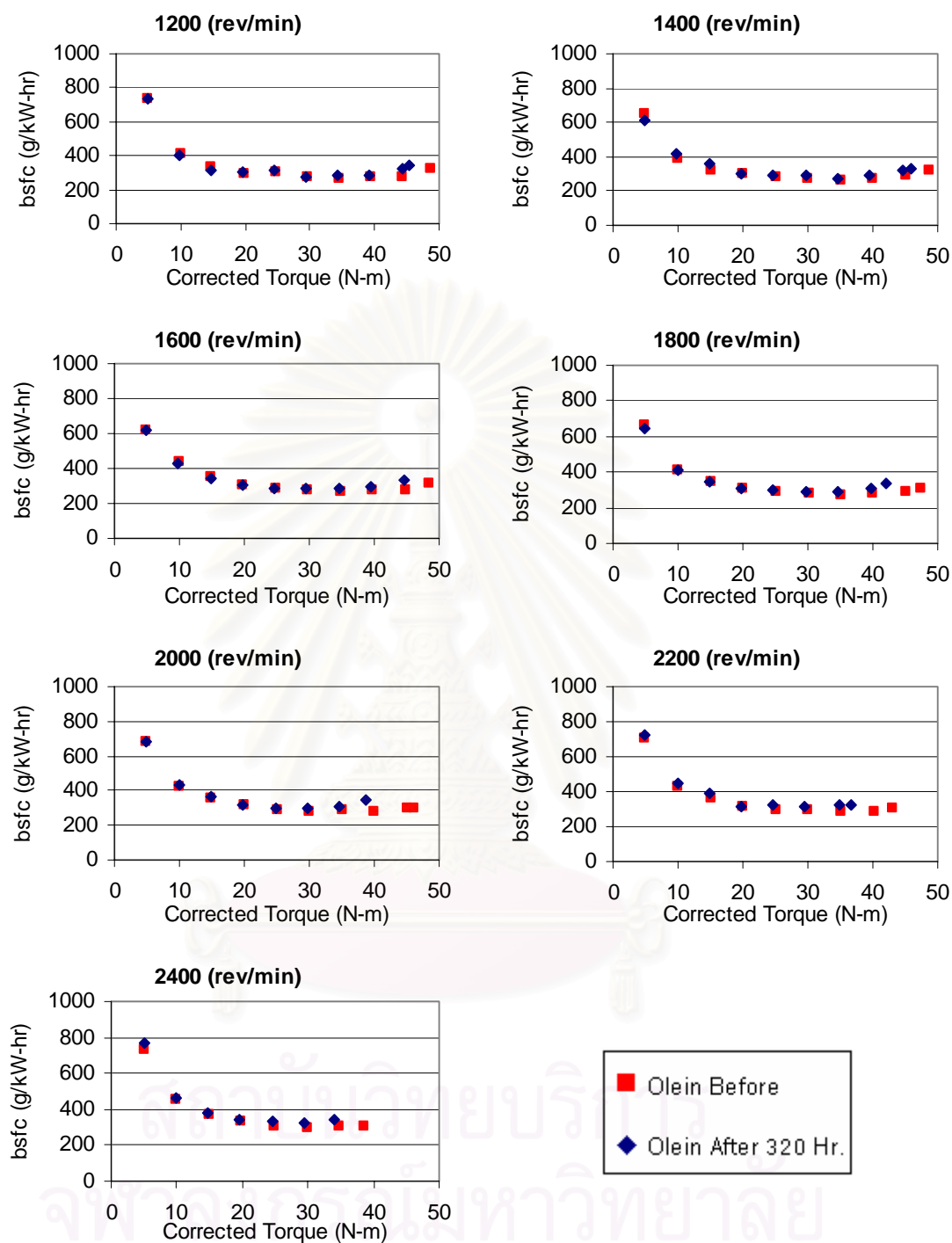
อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกในสภาวะบางส่วนของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบและกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน ในแต่ละความเร็วรอบ ดังแสดงในรูปที่ 4-125 และรูปที่ 4-126

จากรูปที่ 4-125 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับแรงบิด ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบ เปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ก่อนการทดสอบความทนทานส่วนใหญ่สำหรับเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบจะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย

จากรูปที่ 4-126 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับแรงบิด ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกก่อนการทดสอบความทนทานส่วนใหญ่สำหรับเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเช่นเดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-125 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc (g/kW-hr)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 4-126 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc (g/kW-hr)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน



#### 4.4.8 แผนภูมิอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ

จากค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ภาวะสูงสุด และที่ภาวะบางส่วนทำให้สามารถนำมาสร้างแผนภูมิสมรรถนะของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทานออกมาได้

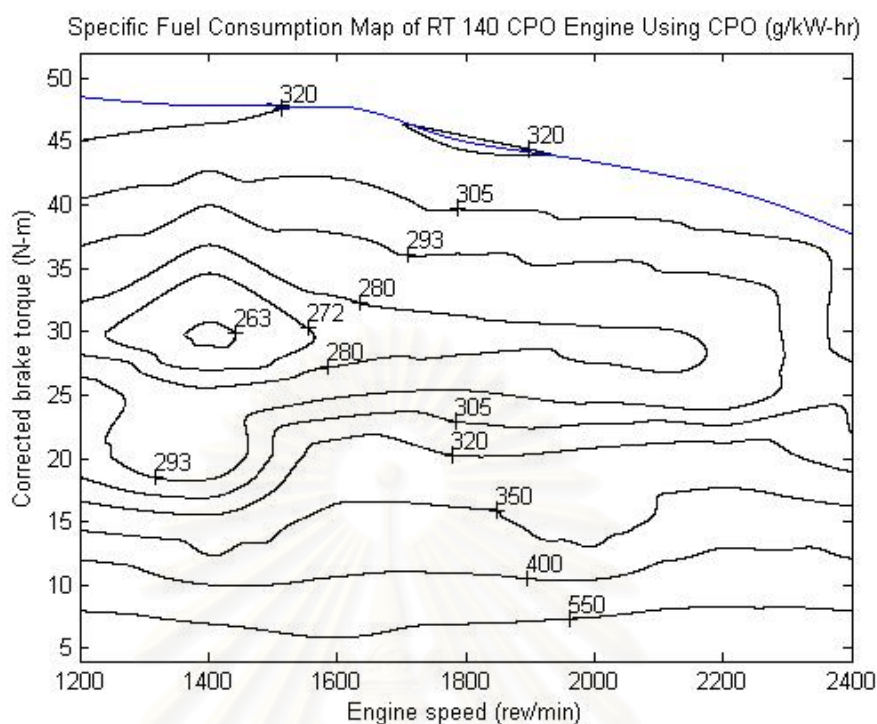
โดย รูปที่ 4-127 และ รูปที่ 4-128 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ตามลำดับ

ส่วน รูปที่ 4-129 และ รูปที่ 4-130 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่จะนำไปทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยทำงานด้วยน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ตามลำดับ

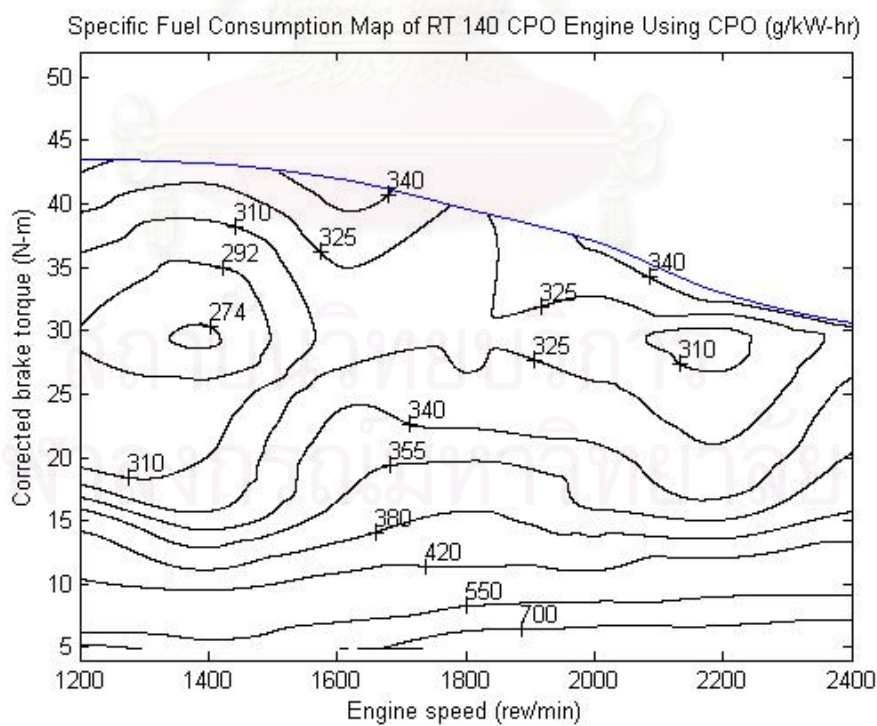
จากแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ จะเห็นความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน ของทั้งสองเชื้อเพลิง โดยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ต่ำที่สุดอยู่ในย่านความเร็ว 1400 รอบต่อนาทีที่แรงบิดอยู่ในช่วง 30 N-m สำหรับการใช้น้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน โดยมีค่าอยู่เท่ากับ 263 g/kW-hr และ 274 g/kW-hr ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 4% แต่ในวงถัดมาของก่อนและหลังการทดสอบความทนทานมีค่า 272 g/kW-hr และ 292 g/kW-hr ตามลำดับในช่วงความเร็ว 1200 ถึง 1600 รอบต่อนาที แรงบิด 25 ถึง 35 N-m ทั้งก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน ซึ่งพบว่าในวงดังกล่าว ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เพิ่มขึ้นจากก่อนการทดสอบความทนทานถึง 7.4%

สำหรับการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ต่ำที่สุดก่อนการทดสอบความทนทานอยู่ในย่านความเร็ว 1400 รอบต่อนาที อยู่ที่แรงบิดช่วง 35 N-m โดยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุดเป็น 264 g/kW-hr และ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ต่ำที่สุดหลังการทดสอบความทนทานอยู่ในย่านความเร็ว 1400 รอบต่อนาที อยู่ที่แรงบิดช่วง 28 N-m โดยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุดเป็น 282 g/kW-hr โดยเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 7%

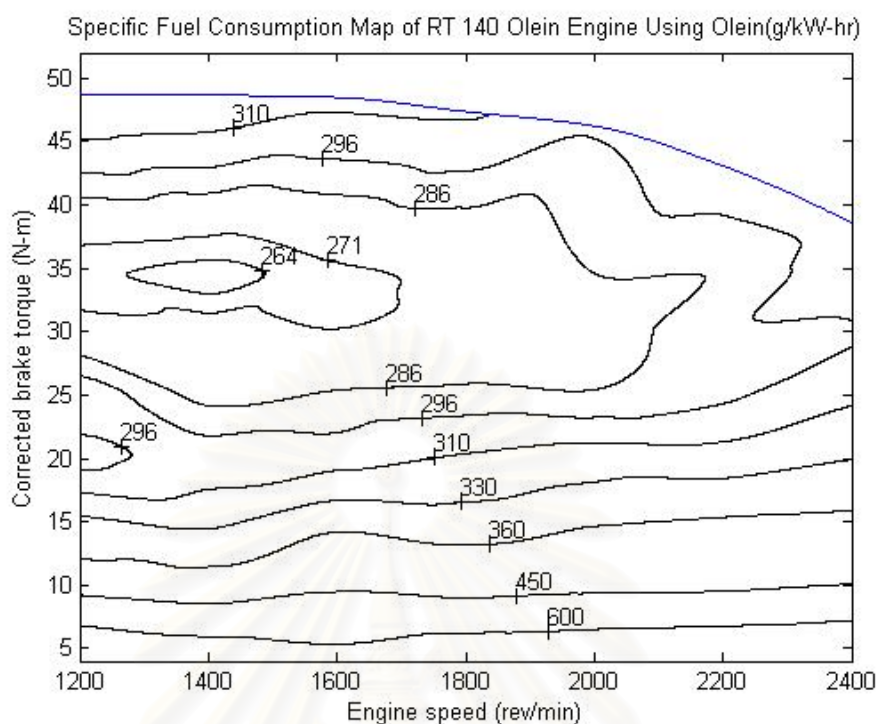
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



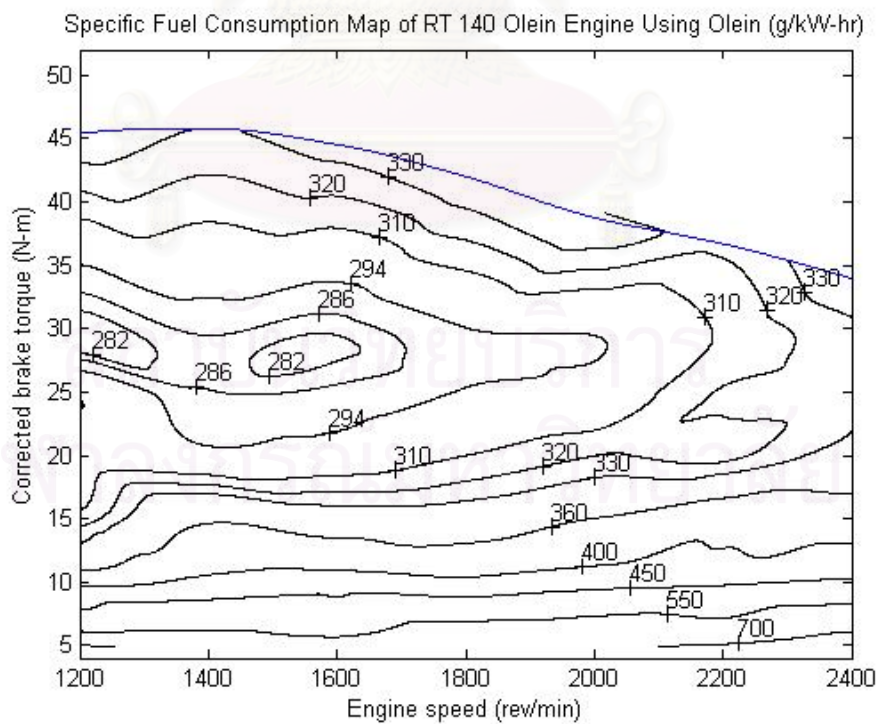
รูปที่ 4-127 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 4-128 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

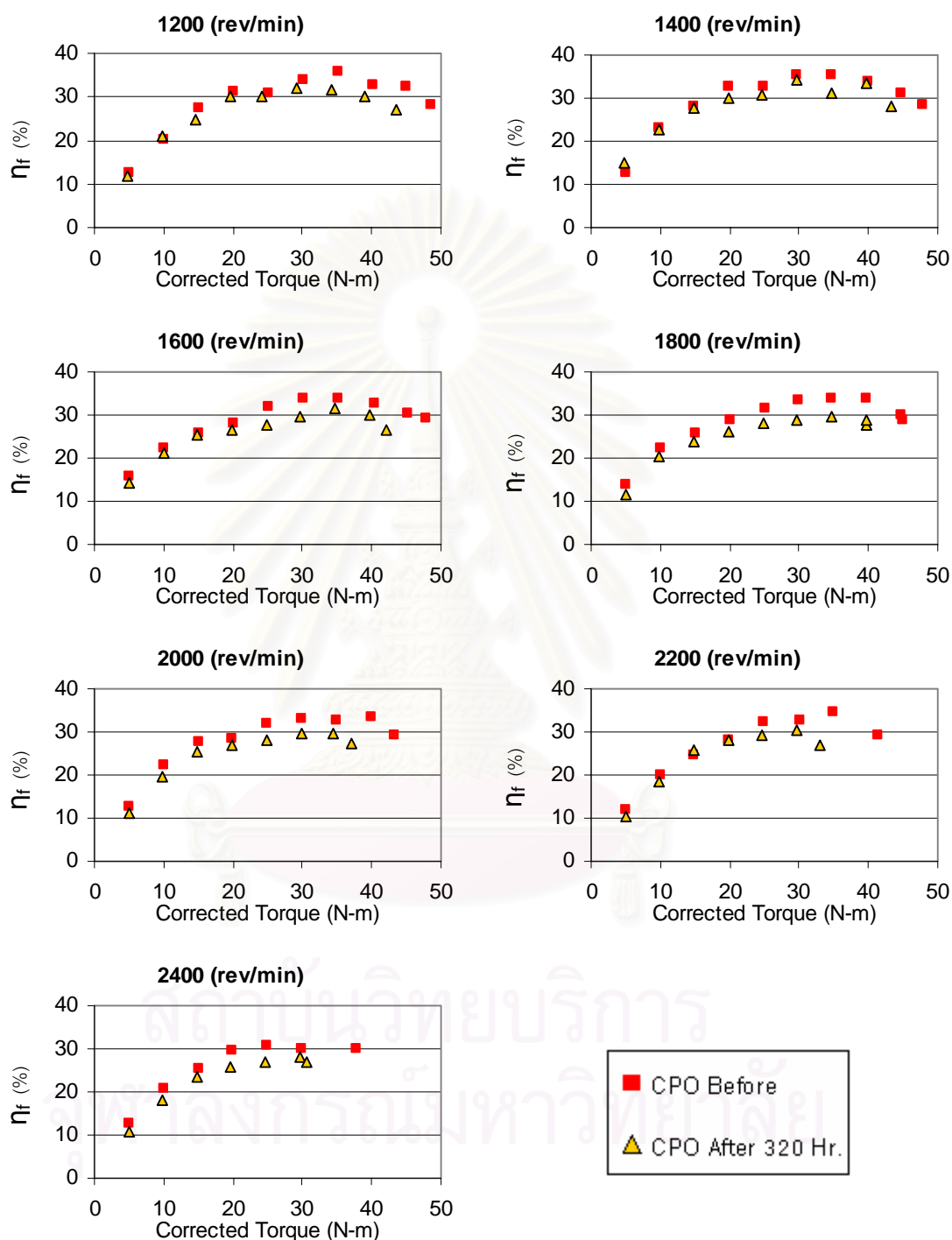


รูปที่ 4-129 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนการทดสอบความทนทาน

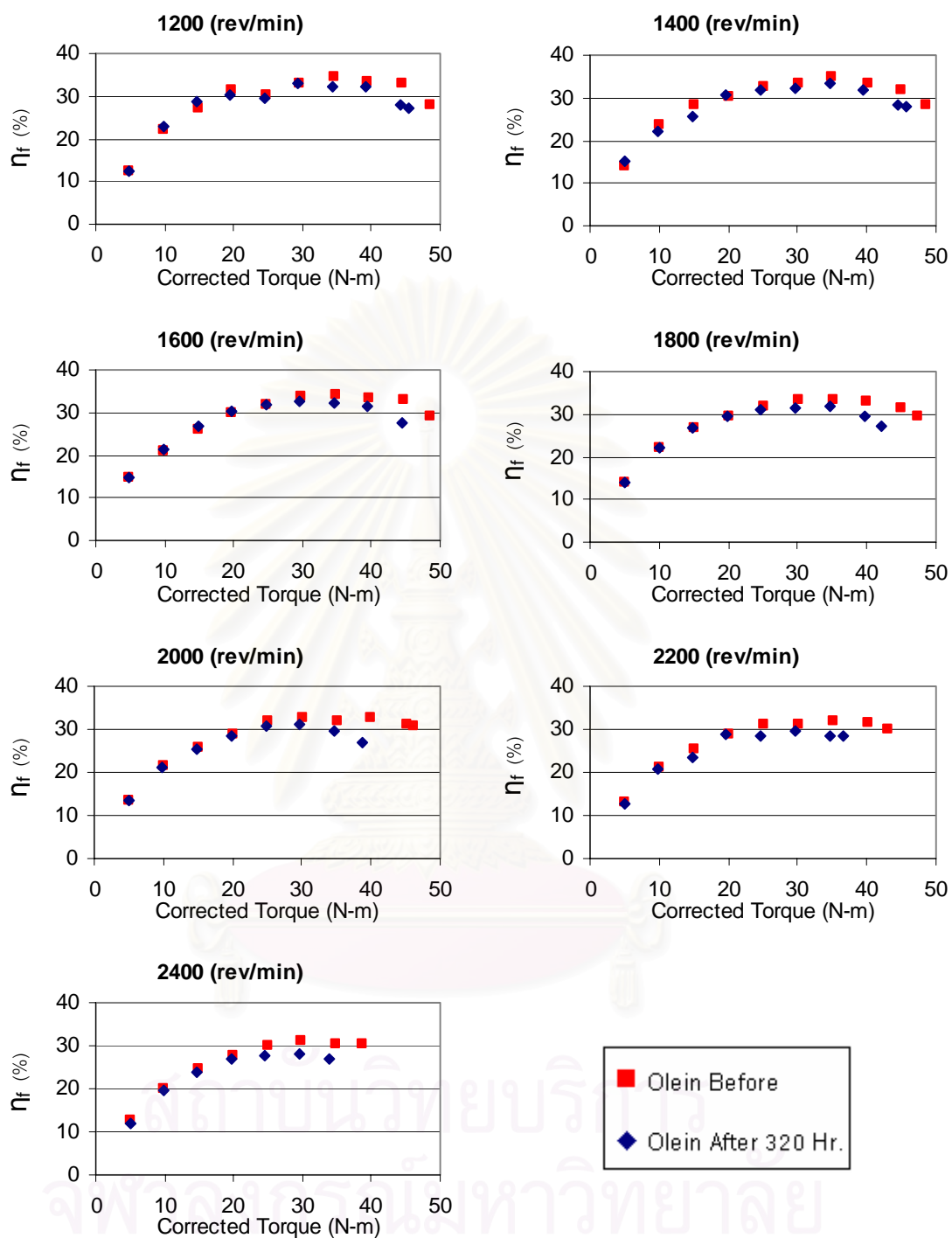


รูปที่ 4-130 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอินหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

#### 4.4.9 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน



รูปที่ 4-131 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ( $\eta_f$  (%)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 4-132 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ( $\eta_f$  (%)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน



ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกในสภาวะบางส่วนของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบและกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน ในแต่ละความเร็วรอบ ดังแสดงในรูปที่ 4-131 และรูปที่ 4-132

จากรูปที่ 4-131 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะกับแรงบิด ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบ เปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพมีการลดลงอยู่ประมาณ 3%-5% จากก่อนการทดสอบความทนทาน

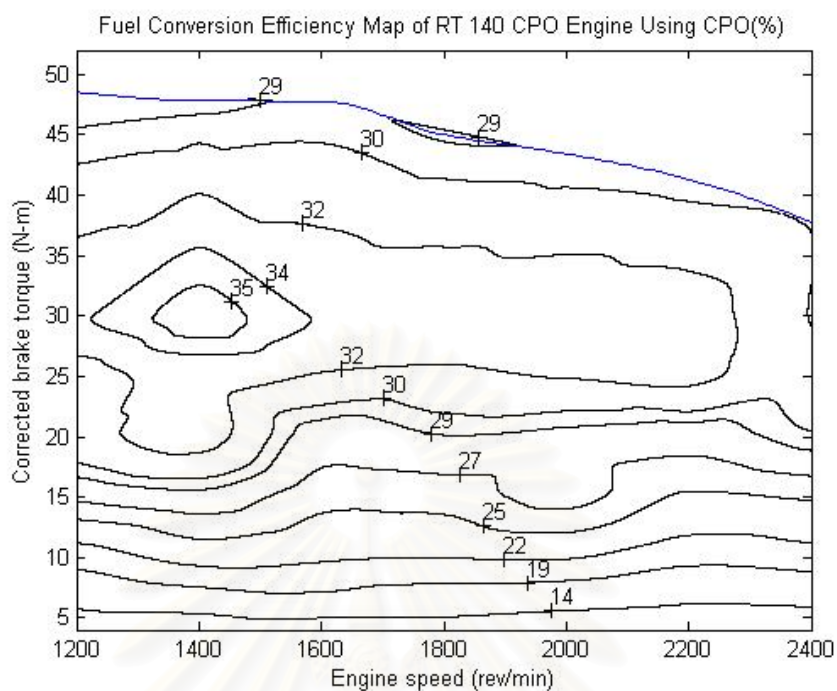
จากรูปที่ 4-132 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะกับแรงบิด ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพมีการลดลงอยู่ประมาณ 3.5% จากก่อนการทดสอบความทนทาน

#### 4.4.10 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก

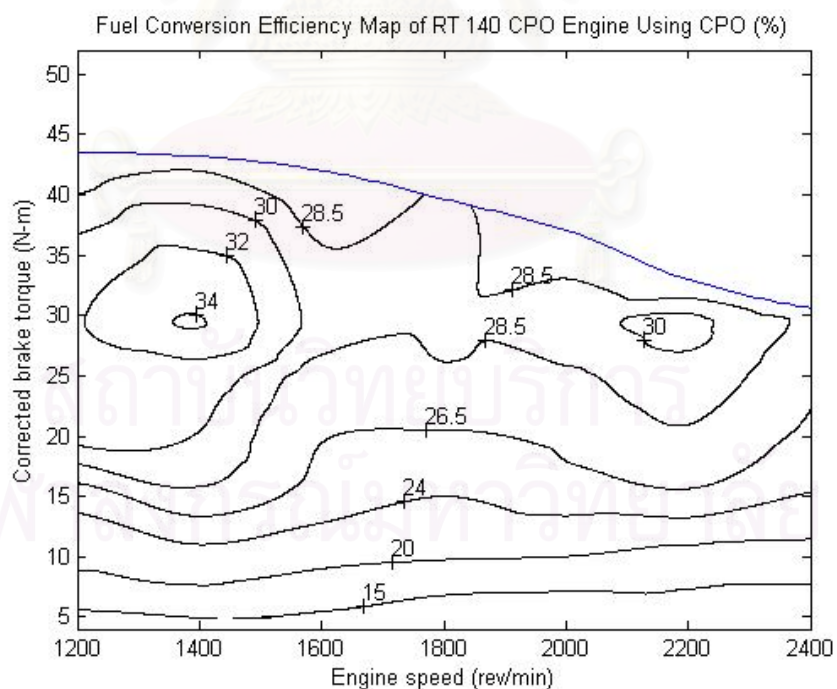
จากค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ภาวะสูงสุด และที่ภาวะบางส่วน ทำให้สามารถนำมาสร้างแผนภูมิสมรรถนะของประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทานออกมาได้

โดยรูปที่ 4-133 และรูปที่ 4-134 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ตามลำดับ

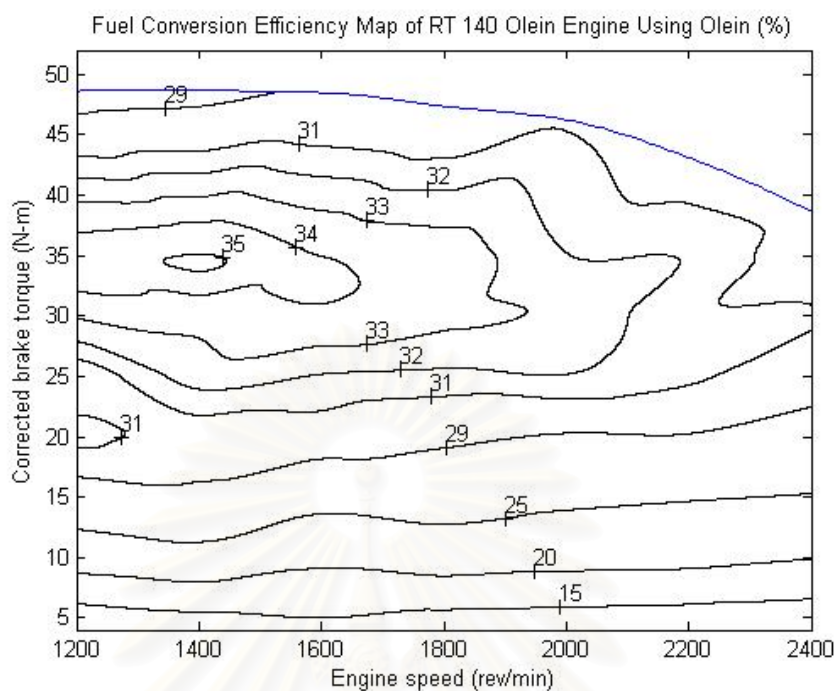
ส่วนรูปที่ 4-135 และรูปที่ 4-136 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ตามลำดับ



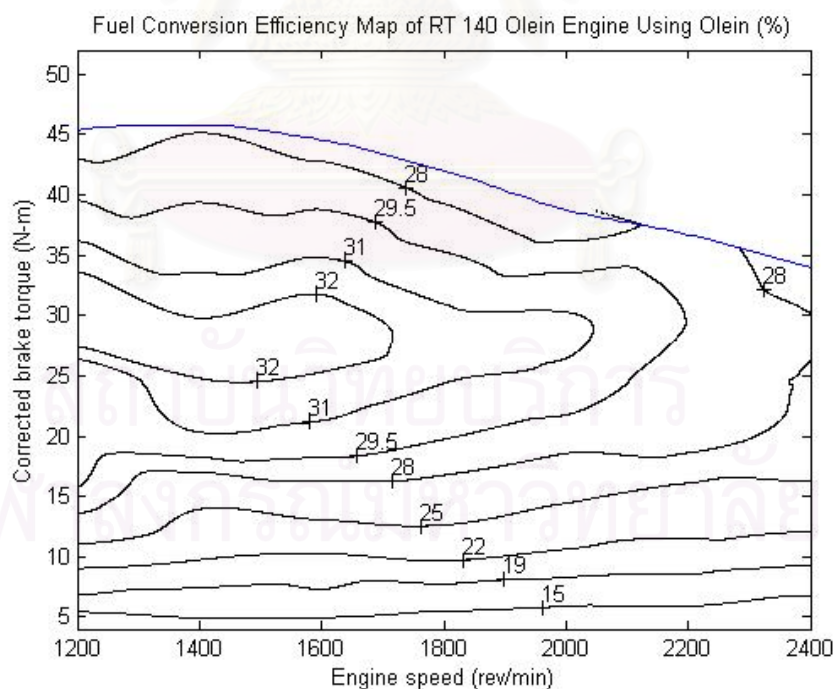
รูปที่ 4-133 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์  
กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 4-134 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์  
กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง



รูปที่ 4-135 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์  
กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 4-136 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ของเครื่องยนต์  
กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

จากแผนภูมิดังแสดงจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคสูงสุดของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบมีลักษณะวงเล็กลง แต่สำหรับเปรียบเทียบกับก่อนการทดสอบความทนทานในวงที่เท่ากันโดยพิจารณาที่วงถัดจากวงของประสิทธิภาพสูงสุดนั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงคือประสิทธิภาพลดลงจาก 34% เป็น 32%

และสำหรับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคสูงสุดของกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีลักษณะไม่เป็นวงอีกต่อไป แต่สำหรับเปรียบเทียบกับก่อนการทดสอบความทนทานในวงที่ลักษณะใกล้เคียงกัน นั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงคือประสิทธิภาพสูงสุดลดลงจาก 34% เป็น 32% เช่นกันกับกรณีน้ำมันปาล์มดิบ

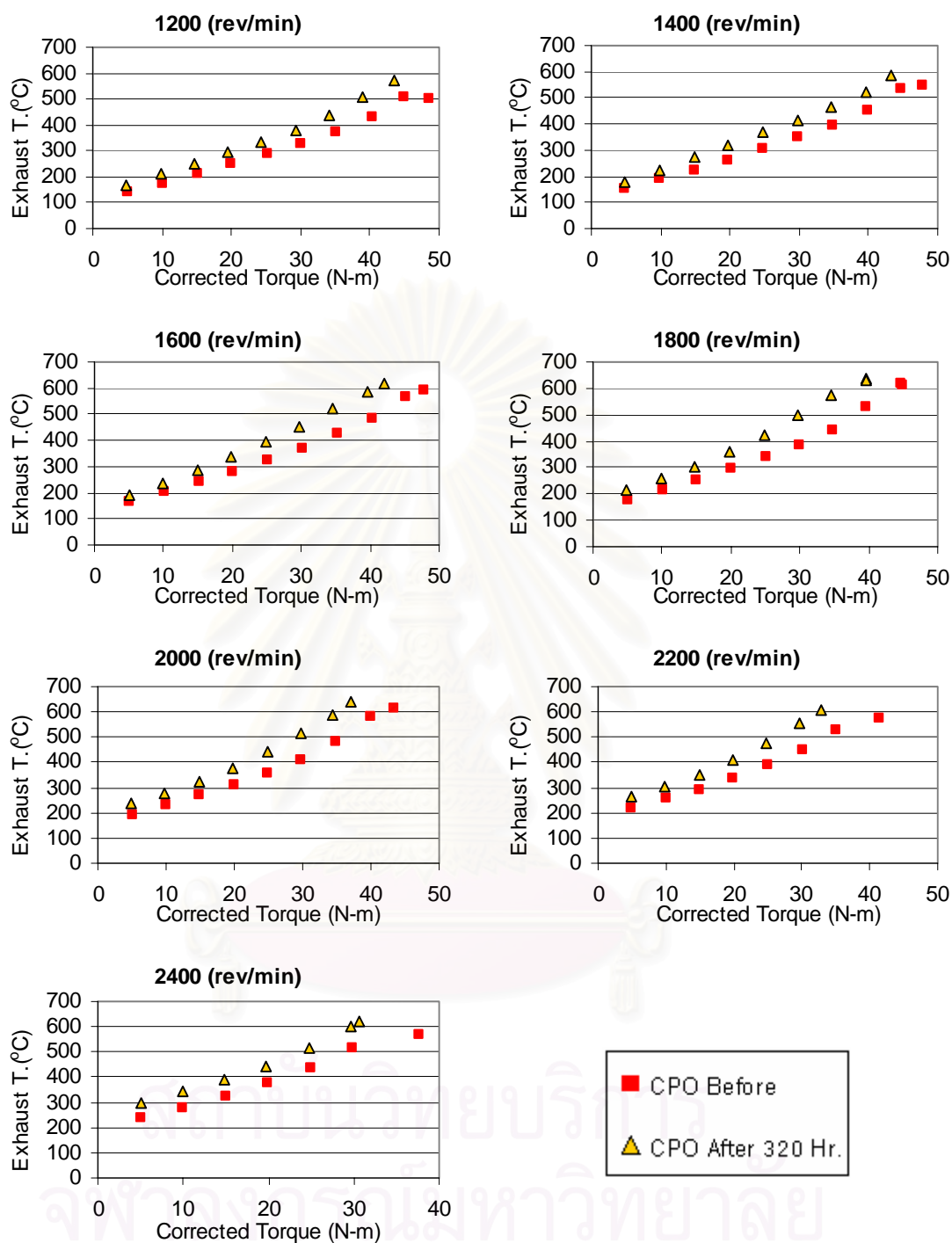
#### 4.4.11 อุณหภูมิไอเสีย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่สภาวะภาระบางส่วน

อุณหภูมิไอเสียในสภาวะบางส่วนของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบและกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน ในแต่ละความเร็วรอบ ดังแสดงในรูปที่ 4-137 และ รูปที่ 4-138

จากรูปที่ 4-137 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียกับแรงบิด ที่ค่าความเร็วคงที่ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบ เปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงขึ้นในทุกความเร็วรอบและแรงบิด โดยอุณหภูมิไอเสียหลังการทดสอบความทนทานที่แตกต่างกับก่อนการทดสอบมากที่สุดอยู่ที่ 100°C ที่ความเร็ว 1800 รอบต่อนาที แรงบิด 40 N-m

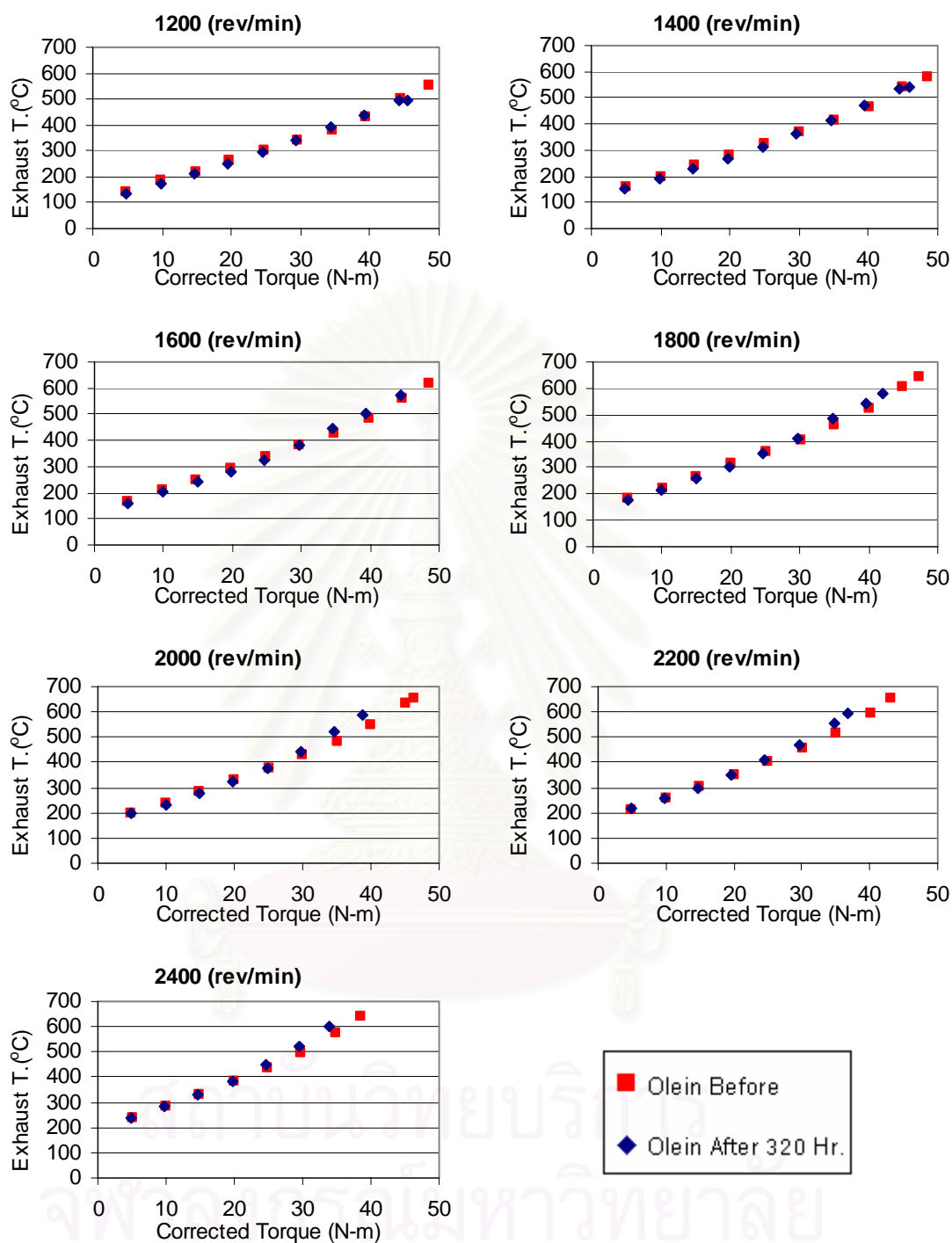
จากรูปที่ 4-138 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียกับแรงบิด ที่ค่าความเร็วคงที่ตั้งแต่ 1200 1400 1600 1800 2000 2200 และ 2400 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงขึ้นในทุกความเร็วรอบและแรงบิด โดยอุณหภูมิไอเสียหลังการทดสอบความทนทานที่แตกต่างกับก่อนการทดสอบมากที่สุดประมาณ 35°C ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที แรงบิด 40 N-m

เมื่อเครื่องยนต์ไม่สามารถสร้างแรงบิดได้เท่าเดิม แต่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่าเดิมนั้นคือมีการใช้เชื้อเพลิงปริมาณเท่าเดิมแต่ได้ผลลัพธ์ออกมาน้อยลง ซึ่งส่วนที่หายไปนี้จะเห็นได้ว่าปรากฏอยู่ในอุณหภูมิไอเสียที่เพิ่มสูงขึ้น และการเพิ่มของอุณหภูมิไอเสียก็เนื่องมาจากการกลายเป็นละอองฝอยที่แย่งดังจะแสดงต่อไปในหัวข้อการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงและการรั่วของหัวฉีด (หัวข้อที่ 4.5)

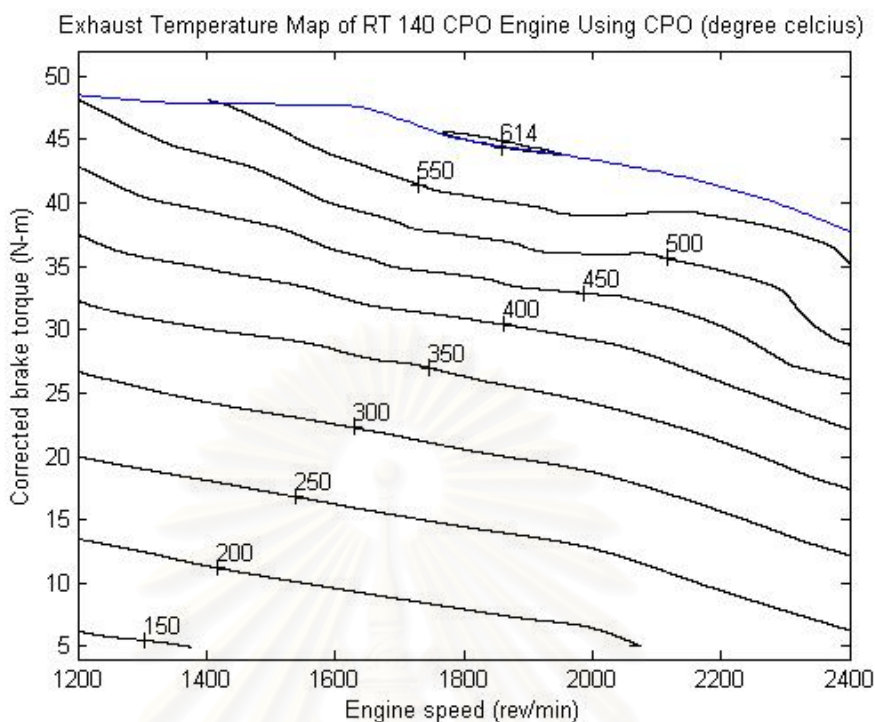


รูปที่ 4-137 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสีย (Exhaust T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

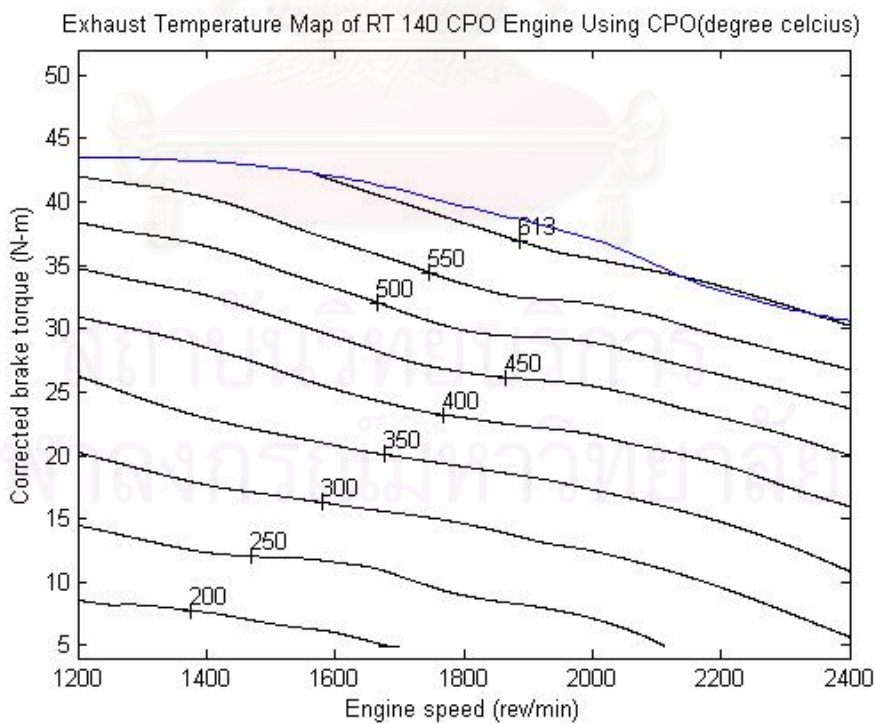




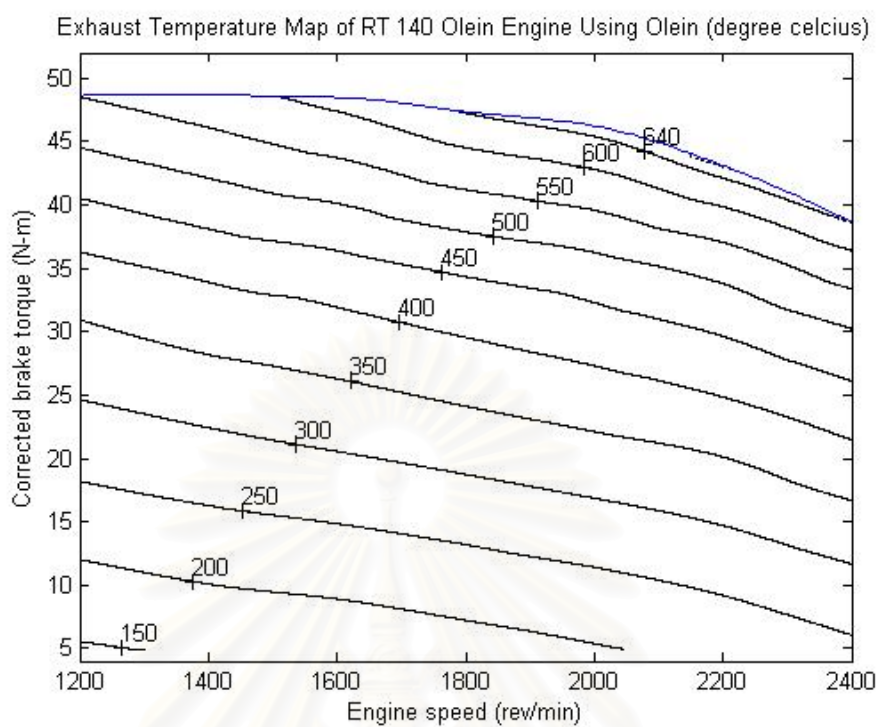
รูปที่ 4-138 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสีย (Exhaust T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน



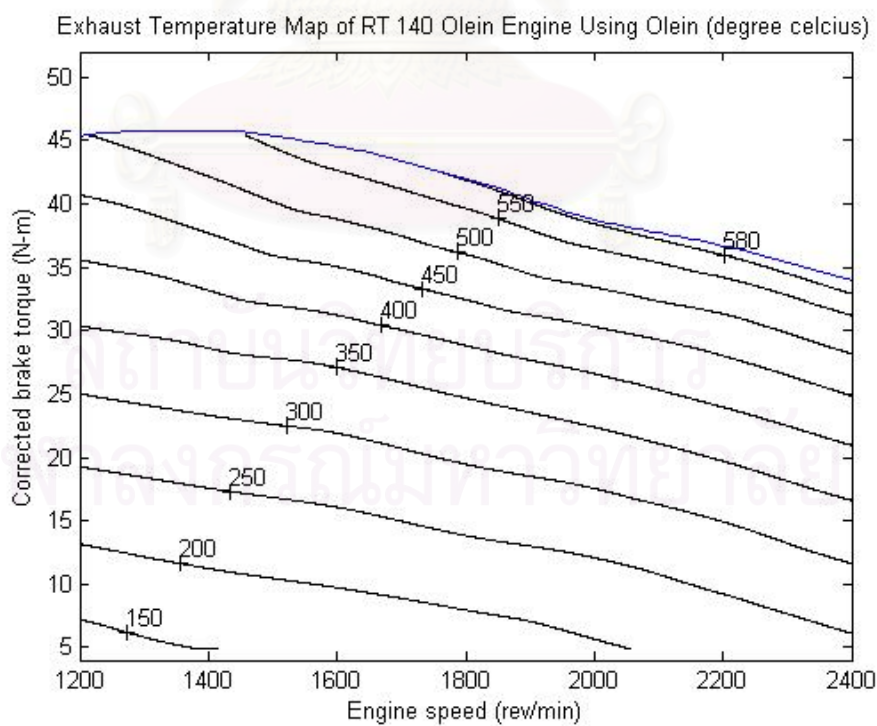
รูปที่ 4-139 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 4-140 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง



รูปที่ 4-141 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์ม  
โอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 4-142 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์ม  
โอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

#### 4.4.12 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย

จากค่าอุณหภูมิไอเสียที่ภาวะสูงสุด และที่ภาวะบางส่วนทำให้สามารถนำมาสร้างแผนภูมิสมรรถนะของอุณหภูมิไอเสียของการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทานออกมาได้

โดยรูปที่ 4-139 และรูปที่ 4-140 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ตามลำดับ

ส่วนรูปที่ 4-141 และรูปที่ 4-142 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงตามลำดับ

จากแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ทั้งสี่แผนภูมิจะเห็นได้ว่า แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไอเสีย นั้น มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันทั้งหมด นั่นคือเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อแรงบิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเช่นกัน

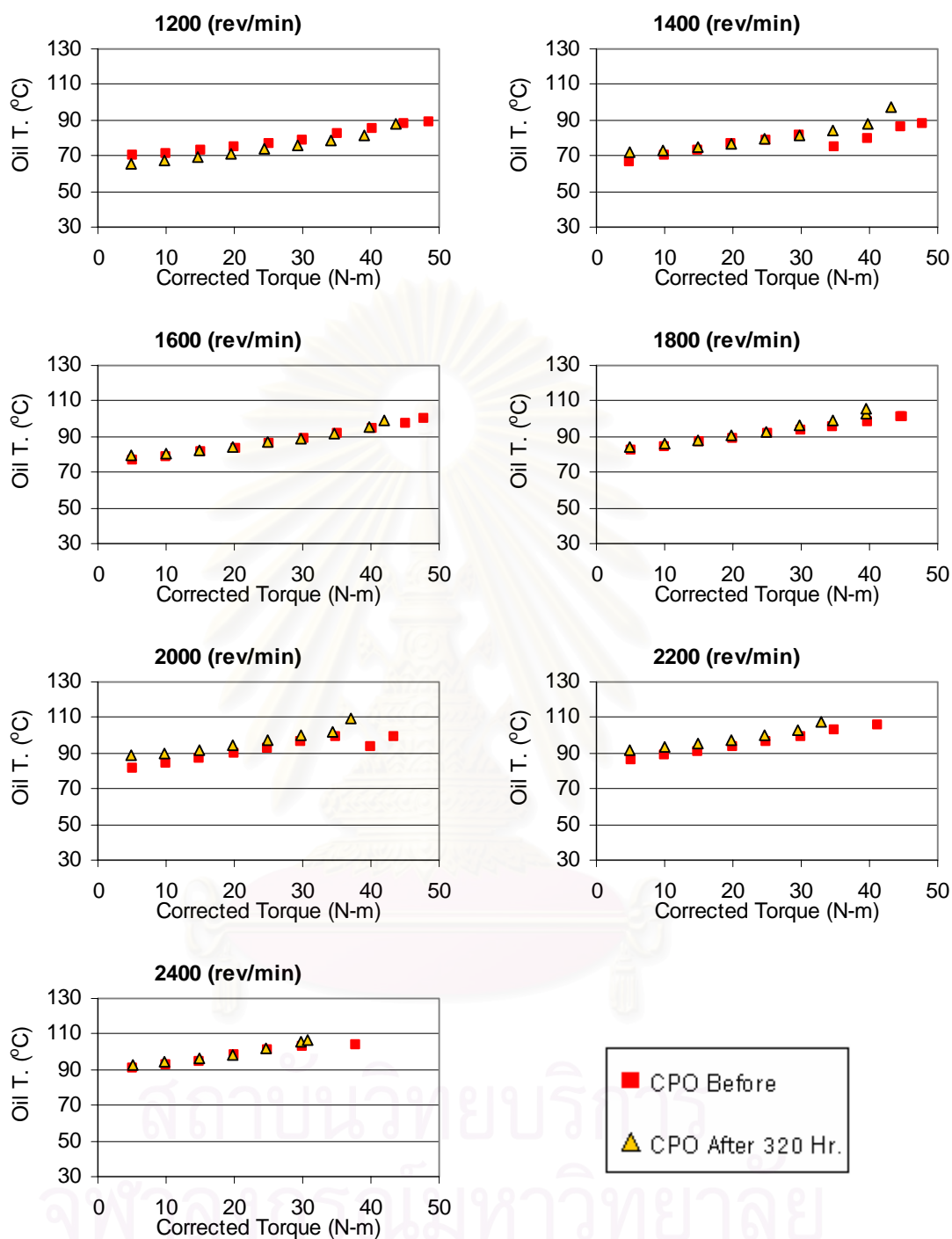
แม้ว่าจะเห็นว่ารูปร่างของแผนภูมิมีความคล้ายคลึงกันก็ตามแต่หากพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบเท่ากัน และที่แรงบิดเท่ากัน ภายหลังการทดสอบความทนทานจะมีอุณหภูมิไอเสียที่สูงกว่าก่อนการทดสอบความทนทานทั้งกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบ และใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

#### 4.4.13 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่สภาวะภาวะบางส่วน

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในสภาวะบางส่วนของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบและกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน ในแต่ละความเร็วรอบ ดังแสดงในรูปที่ 4-143 และรูปที่ 4-144

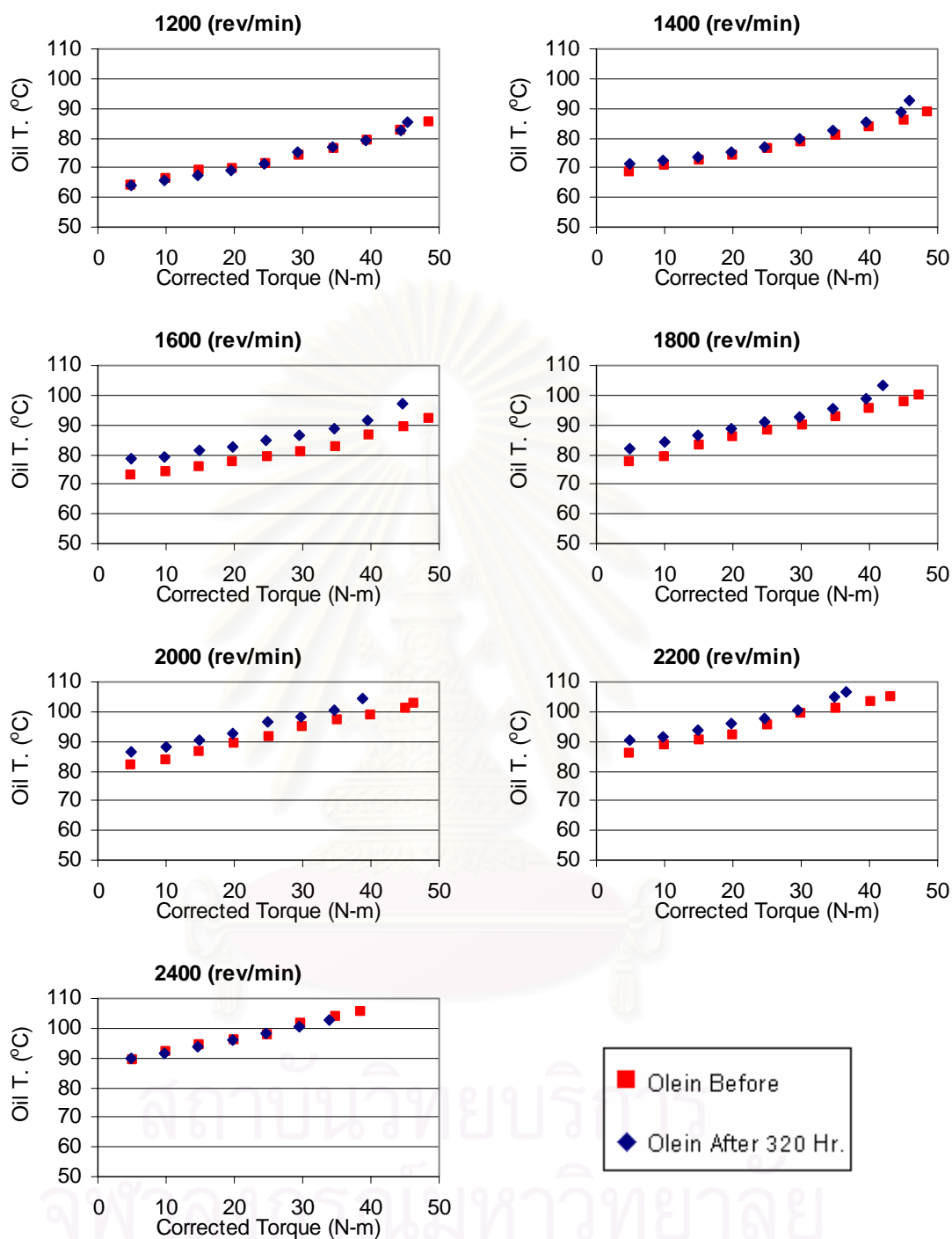
พบว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นทั้งก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทานมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งในกรณีของน้ำมันปาล์มดิบและของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

เมื่ออุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่แรงบิดและความเร็วรอบที่เท่ากัน มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิของเครื่องยนต์ที่จุดทำงานเดียวกันใกล้เคียงกันทั้งก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน



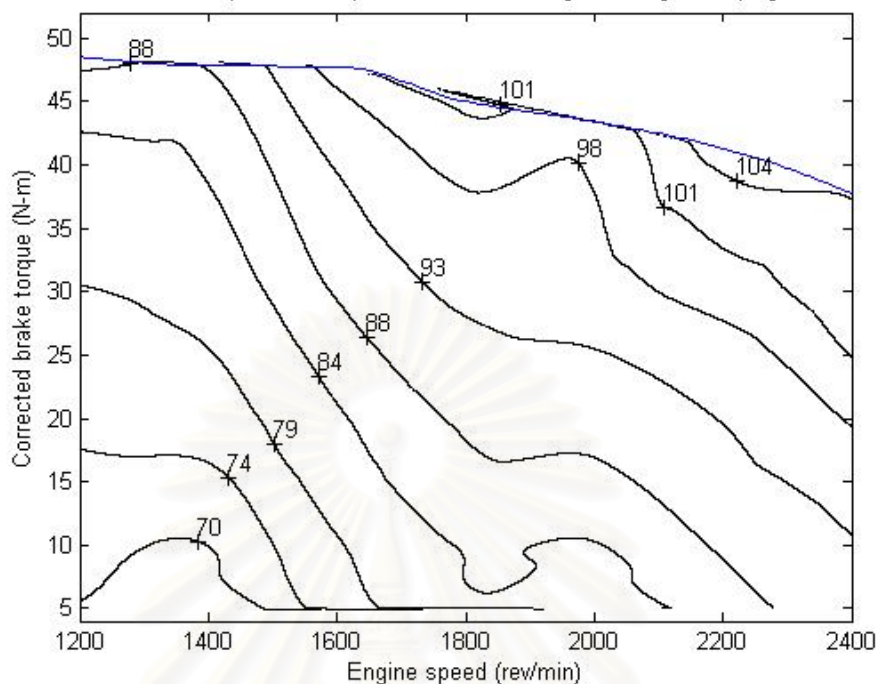
รูปที่ 4-143 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น (Oil T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน





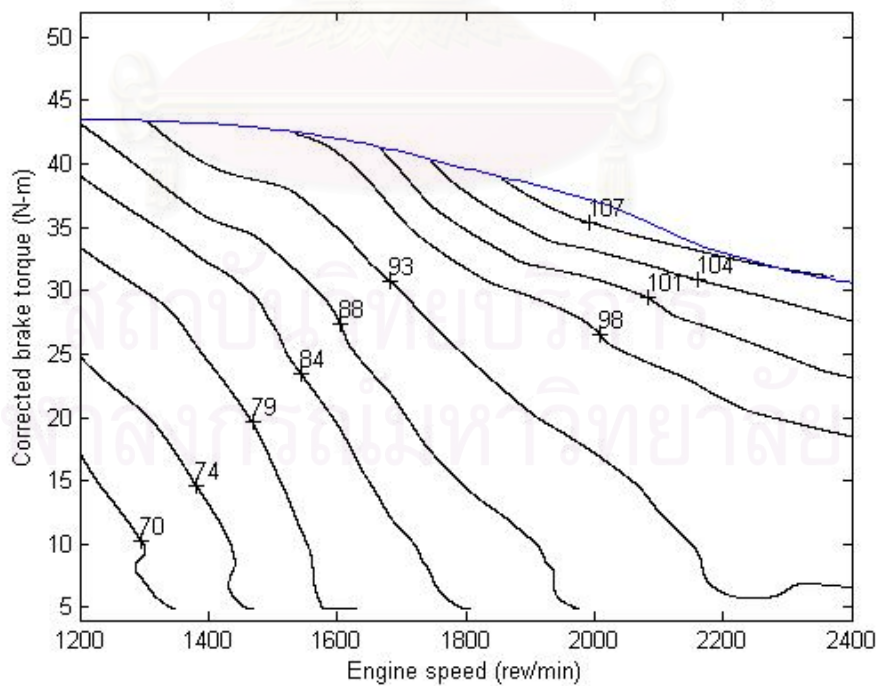
รูปที่ 4-144 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น (Oil T.(°C)) กับแรงบิดเบรก (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

Lubrication Oil Temperature Map of RT 140 CPO Engine Using CPO (degree celcius)



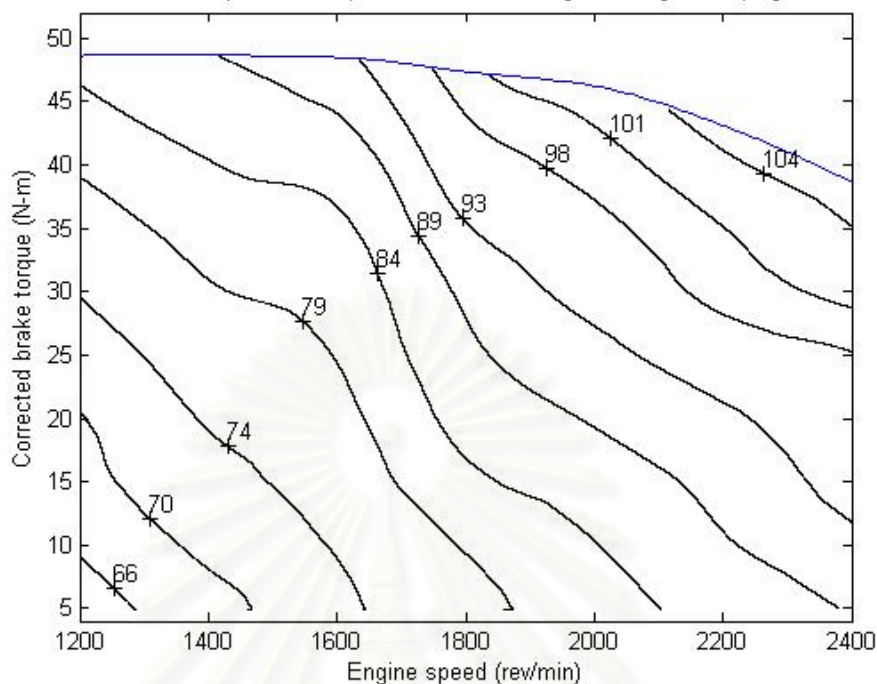
รูปที่ 4-145 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมัน  
ปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน

Lubrication Oil Temperature Map of RT 140 CPO Engine Using CPO (degree celcius)



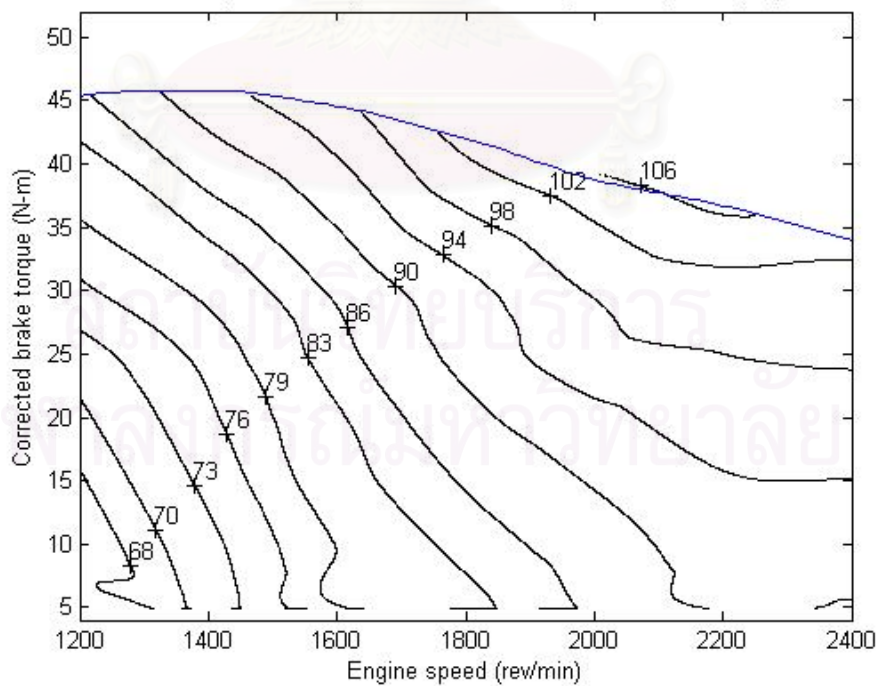
รูปที่ 4-146 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมัน  
ปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

Lubrication Oil Temperature Map of RT 140 Olein Engine Using Olein (degree celcius)



รูปที่ 4-147 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมัน  
ปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน

Lubrication Oil Temperature Map of RT 140 Olein Engine Using Olein (degree celcius)



รูปที่ 4-148 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมัน  
ปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

#### 4.4.14 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

จากค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ภาระสูงสุด และที่ภาระบางส่วนทำให้สามารถนำมาสร้างแผนภูมิสมรรถนะของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทานออกมาได้

โดยรูปที่ 4-145 และ รูปที่ 4-146 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงตามลำดับ

ส่วนรูปที่ 4-147 และ รูปที่ 4-148 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงตามลำดับ

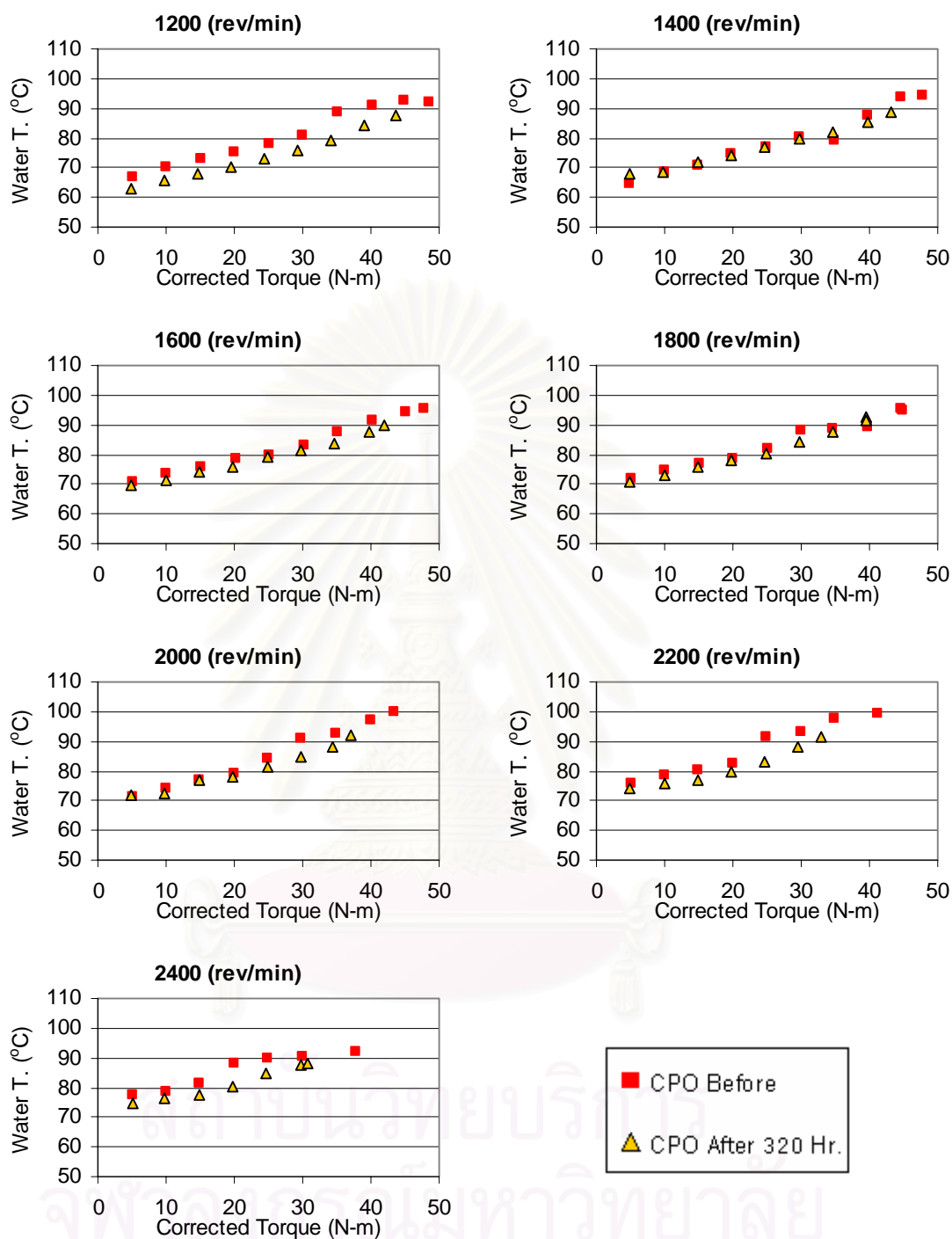
พบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในด้านอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน

#### 4.4.15 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่สภาวะภาระบางส่วน

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นในสภาวะบางส่วนของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบและกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน ในแต่ละความเร็วรอบ ดังแสดงในรูปที่ 4-149 และรูปที่ 4-150

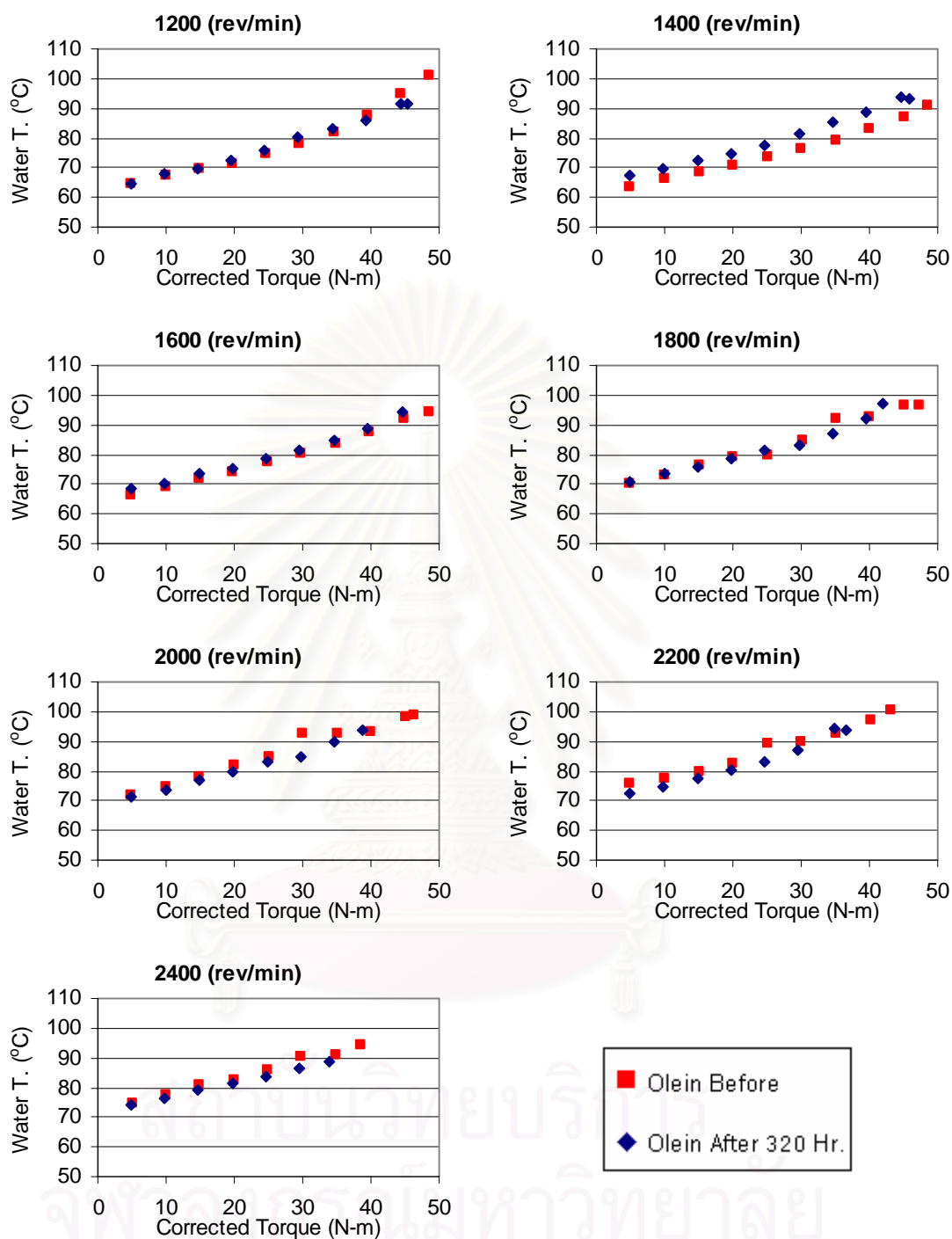
พบว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นทั้งก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทานมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งในกรณีของน้ำมันปาล์มดิบและของน้ำมันปาล์มโอเลอิน แม้ว่าจะมีในบางความเร็วรอบเช่น 1200 รอบต่อนาทีของน้ำมันปาล์มดิบที่ต่ำกว่าก็ตาม แต่ก็ถือได้ว่าโดยรวมมีค่าใกล้เคียงกัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



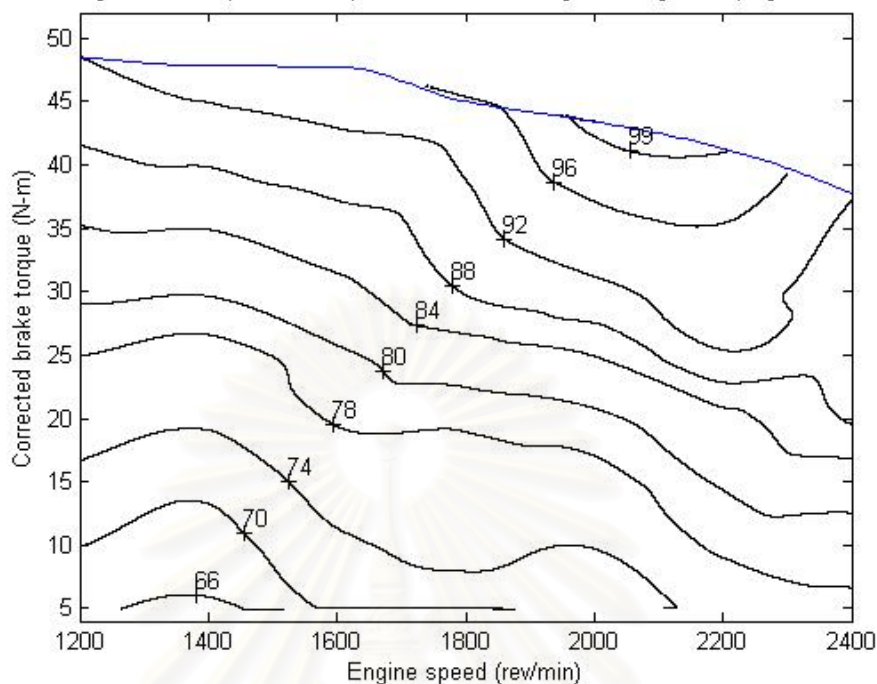
รูปที่ 4-149 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (Water T.(°C)) กับแรงบิด (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน





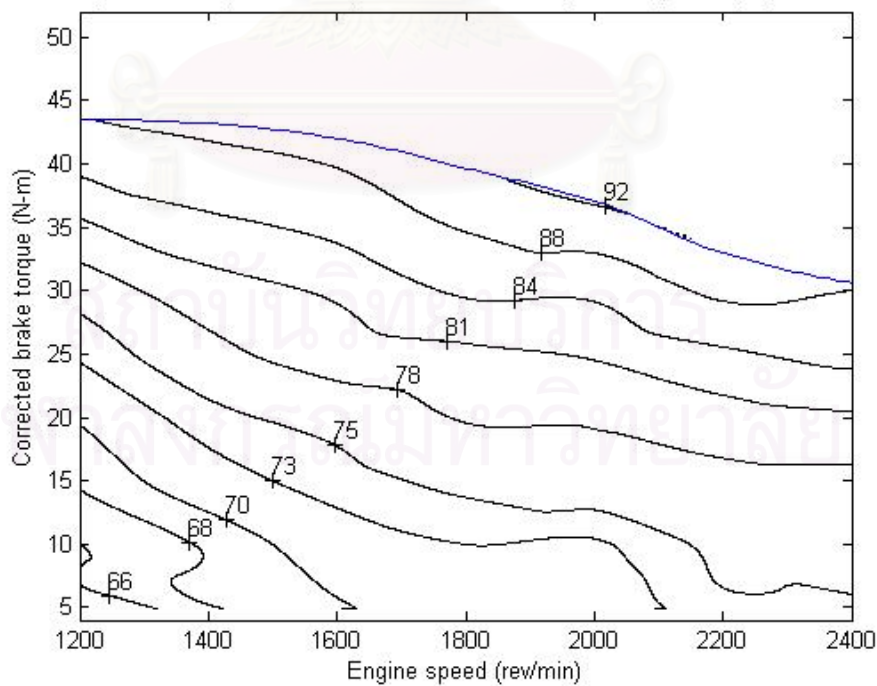
รูปที่ 4-150 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (Water T.(°C)) กับแรงบิด (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

Cooling Water Temperature Map of RT 140 CPO Engine Using CPO (degree celcius)



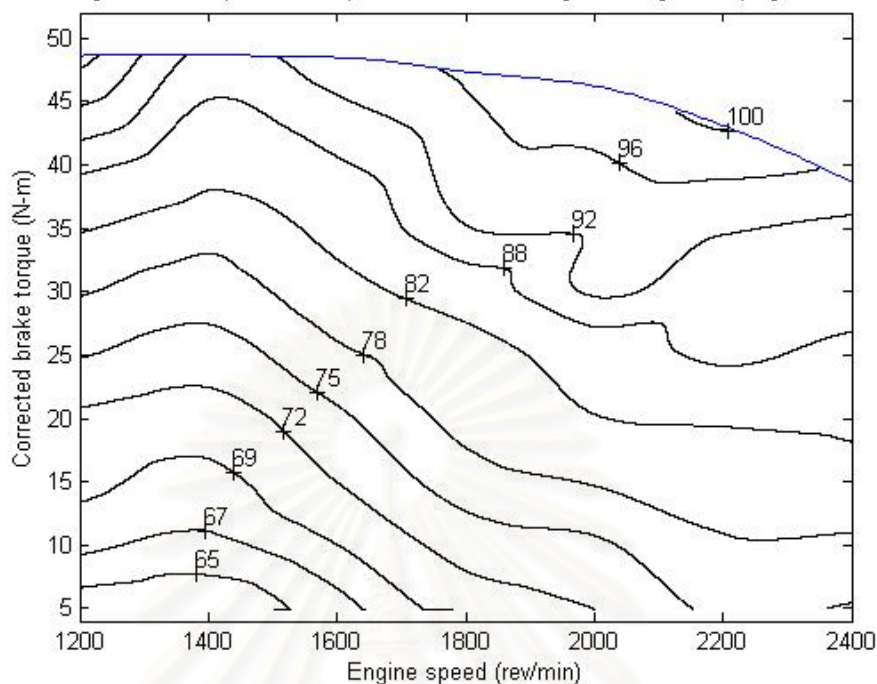
รูปที่ 4-151 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน

Cooling Water Temperature Map of RT 140 CPO Engine Using CPO (degree celcius)



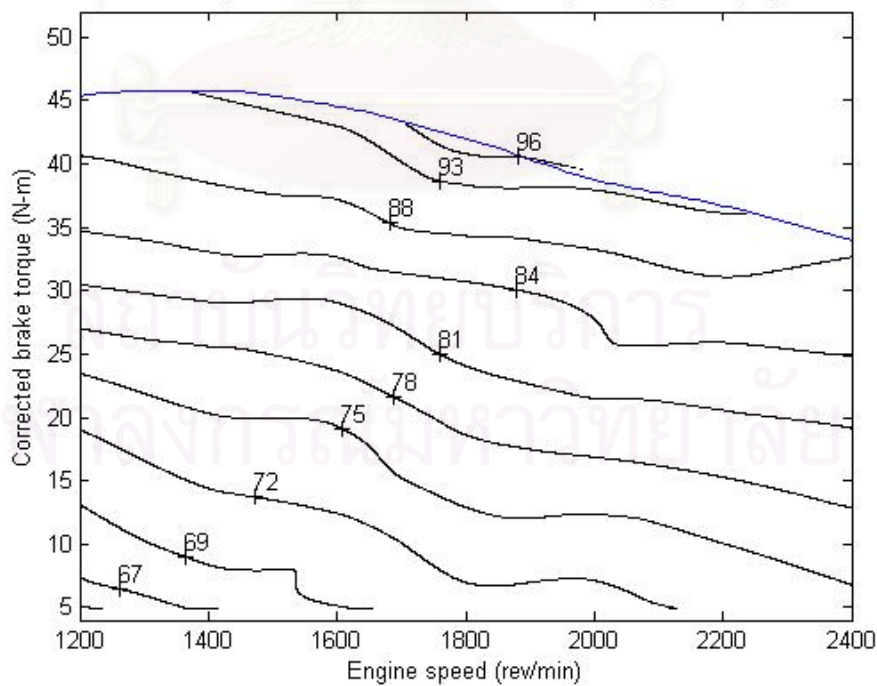
รูปที่ 4-152 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์กรณีทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

Cooling Water Temperature Map of RT 140 Olein Engine Using Olein (degree celcius)



รูปที่ 4-153 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยน้ำมันปาล์ม  
โอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน

Cooling Water Temperature Map of RT 140 Olein Engine Using Olein (degree celcius)



รูปที่ 4-154 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยน้ำมันปาล์ม  
โอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

#### 4.4.16 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

จากค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ภาระสูงสุด และที่ภาระบางส่วนทำให้สามารถนำมาสร้างแผนภูมิสมรรถนะของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทานออกมาได้

โดยรูปที่ 4-151 และ รูปที่ 4-152 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงตามลำดับ

ส่วนรูปที่ 4-153 และรูปที่ 4-154 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงตามลำดับ

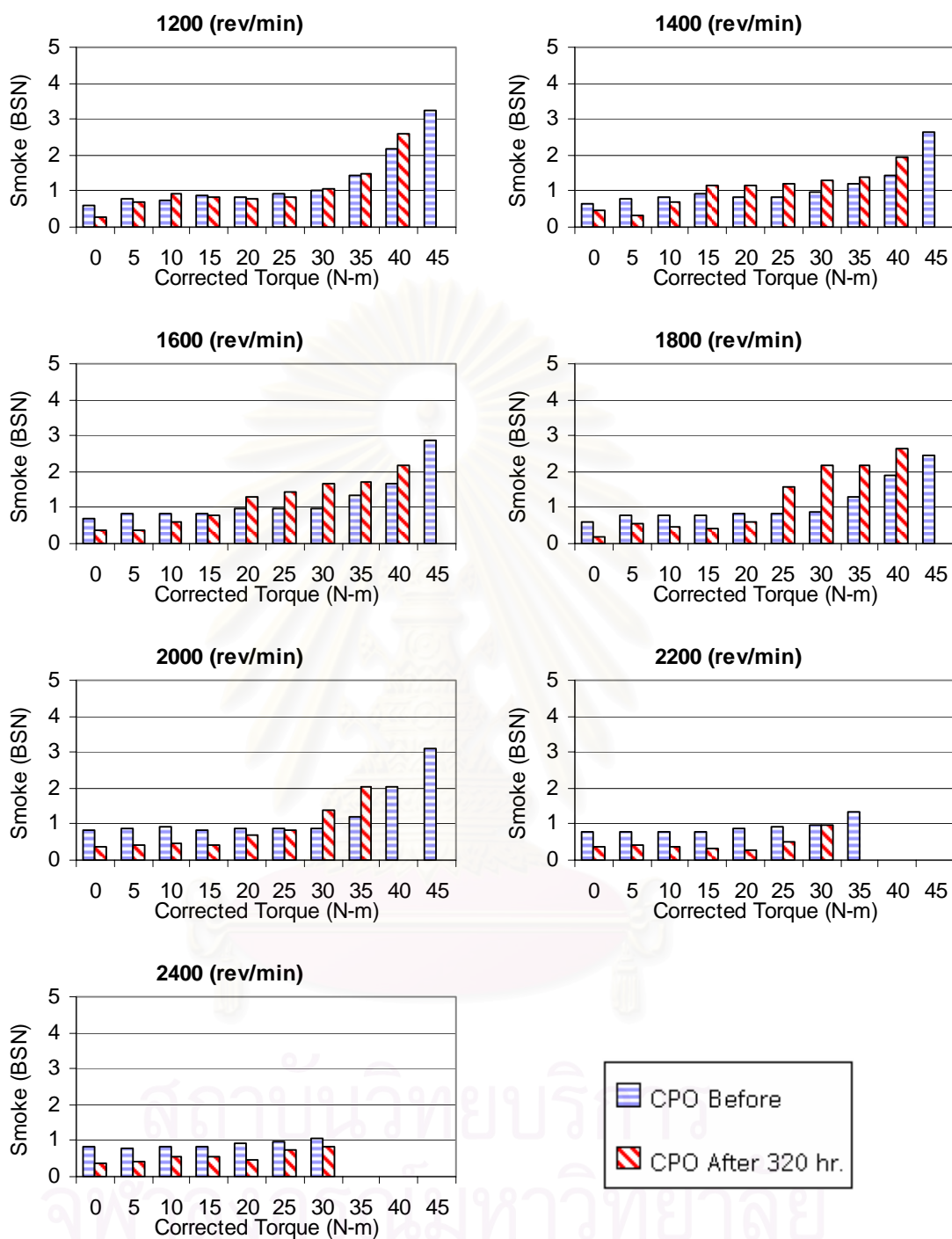
พบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในด้านอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน

#### 4.4.17 ค่าควันท้าที่ภาระบางส่วน

ค่าควันท้าในสภาวะบางส่วนของกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบและกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน ในแต่ละความเร็วรอบ ดังแสดงในรูปที่ 4-155 และรูปที่ 4-156

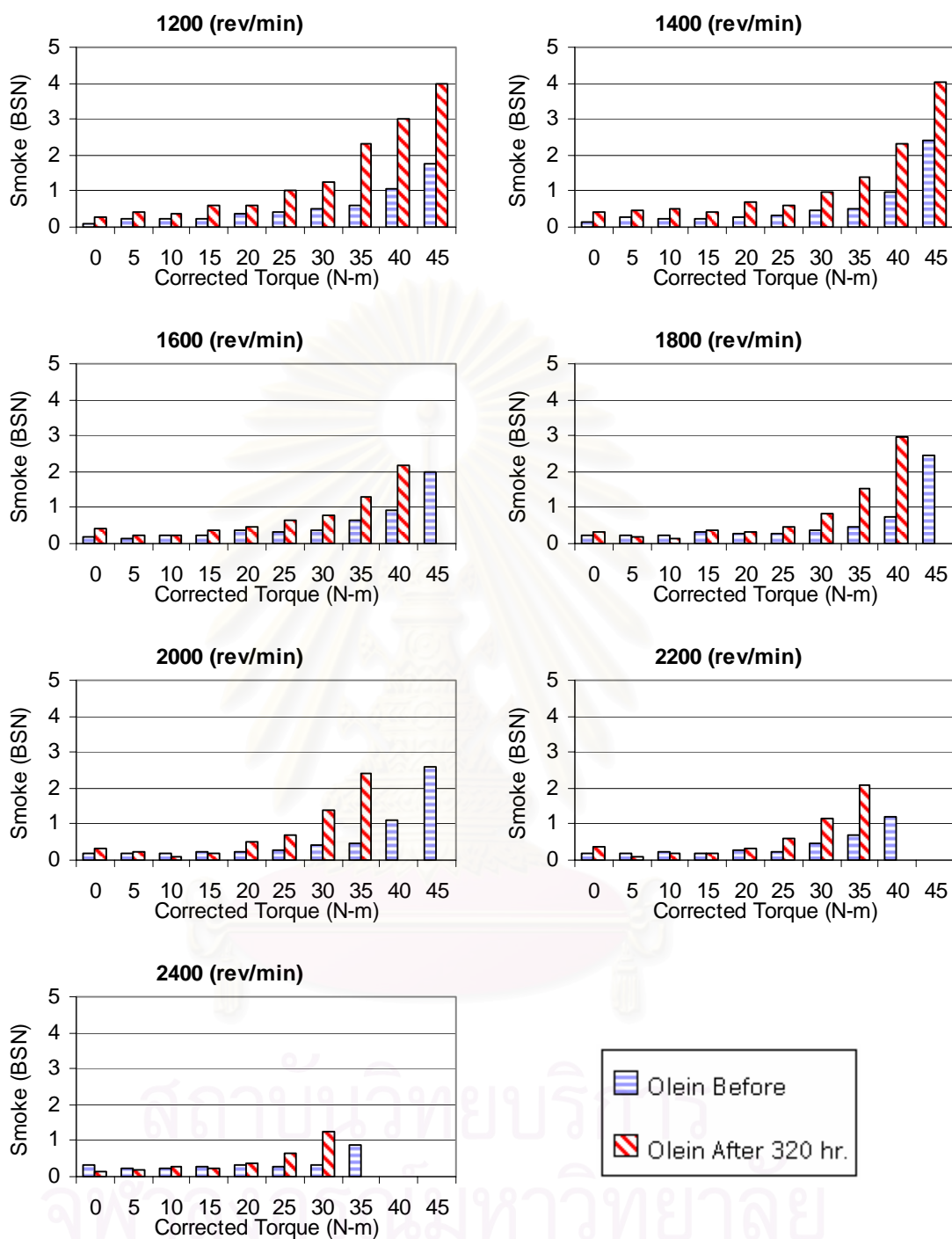
จากรูปที่ 4-155 ที่ความเร็วรอบเท่ากัน และแรงบิดเท่ากัน ค่าควันท้าของการใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนการทดสอบความทนทานมีค่าส่วนใหญ่ต่ำกว่าหลังการทดสอบความทนทานแทบทั้งหมด ยกเว้นในช่วงความเร็วรอบ 2200 รอบต่อนาที และ 2400 รอบต่อนาที ที่ค่าควันท้าของก่อนการทดสอบความทนทานสูงกว่า นั่นอาจเป็นเพราะหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มดิบไม่สามารถสร้างแรงบิดสูงได้ จึงมีการเปรียบเทียบได้เฉพาะแรงบิดต่ำ ซึ่งความแตกต่างของค่าควันท้ามีไม่มาก

จากรูปที่ 4-156 ที่ความเร็วรอบเท่ากัน และแรงบิดเท่ากัน ค่าควันท้าของการใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนการทดสอบความทนทานทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าค่าหลังการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบค่าควันท้าก็เพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าควันท้าหลังการทดสอบความทนทานของน้ำมันปาล์มดิบแล้ว ในกรณีน้ำมันโอเลอินก็มีค่าควันท้าสูงกว่ากรณีน้ำมันปาล์มดิบด้วย



รูปที่ 4-155 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าควันดำ (Smoke (BSN)) กับแรงบิด (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน





รูปที่ 4-156 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าควันดำ (Smoke (BSN)) กับแรงบิด (Torque (N-m)) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

#### 4.5 ผลการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง และการรั่วของหัวฉีด

ผลการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Nozzle Injection Pressure) เปรียบเทียบกันระหว่างความดันของหัวฉีดใหม่ หัวฉีดหลังทดสอบความทนทานกรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบ 320 ชั่วโมงหรืออายุหัวฉีด 290 ชั่วโมง หัวฉีดหลังทดสอบความทนทานกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน 320 ชั่วโมงหรืออายุหัวฉีด 290 ชั่วโมง หัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่เสียที่ชั่วโมงที่ 30 และหัวฉีดหลังทดสอบความทนทานของดีเซลสำหรับอั่งอิง 500 ชั่วโมง [30] ดังแสดงในตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 แสดงข้อมูลความดันที่ใช้ในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มปาล์มโอเลอิน ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

รายการ	ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง (kg/cm <sup>2</sup> )	
	หัวฉีดใหม่	หลังการทดสอบความทนทาน
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ( 290 ชั่วโมง )	245-250	200-210
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ( 290 ชั่วโมง )	245-250	230-240
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลสำหรับอั่งอิง ( 500 ชั่วโมง ) [30]	245-250	245-250
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่เสียระหว่างการทดสอบ ( 30 ชั่วโมง )	245-250	195-205

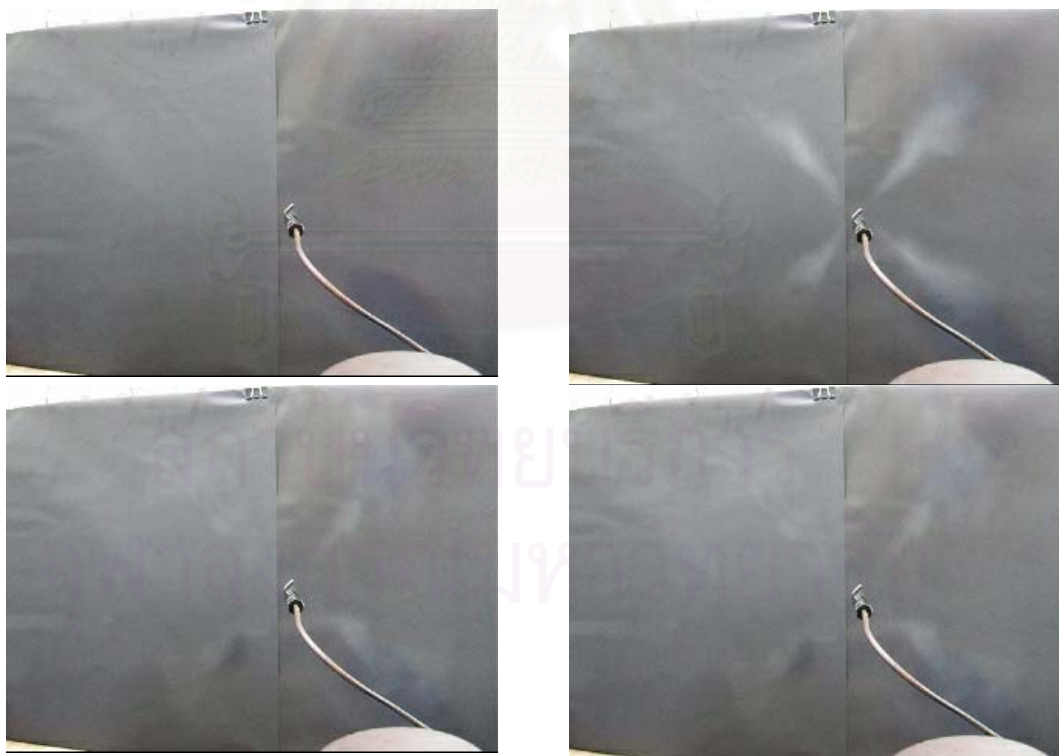
จากตารางที่ 4-13 สำหรับหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบพบว่าความดันในการฉีดเชื้อเพลิงลดลงเหลือเพียงแค่ประมาณ 200-210 kg/cm<sup>2</sup> และสำหรับหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินพบว่าความดันในการฉีดเชื้อเพลิงลดลงเหลือประมาณ 230-240 kg/cm<sup>2</sup> ซึ่งในขณะที่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกรณีเชื้อเพลิงดีเซลที่นำมาอั่งอิงเพื่อเปรียบเทียบจะพบว่าไม่มีการลดลงเลย และสำหรับหัวฉีดของเครื่องยนต์น้ำมันปาล์มดิบที่เสียในระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 30 นั้น ความดันในการฉีดได้ลดลงไปอย่างมากเหลือประมาณ 195-205 kg/cm<sup>2</sup> เท่านั้น เมื่อความดันในการฉีดต่ำลง การกลายเป็นละอองฝอยของเชื้อเพลิงจะแย่งตามกัน

การทดสอบการรั่วของหัวฉีด (Fuel Tightness of Needle Valve Seat) มีไว้เพื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงออกไปจากหัวฉีดก่อนถึงค่าความดันที่

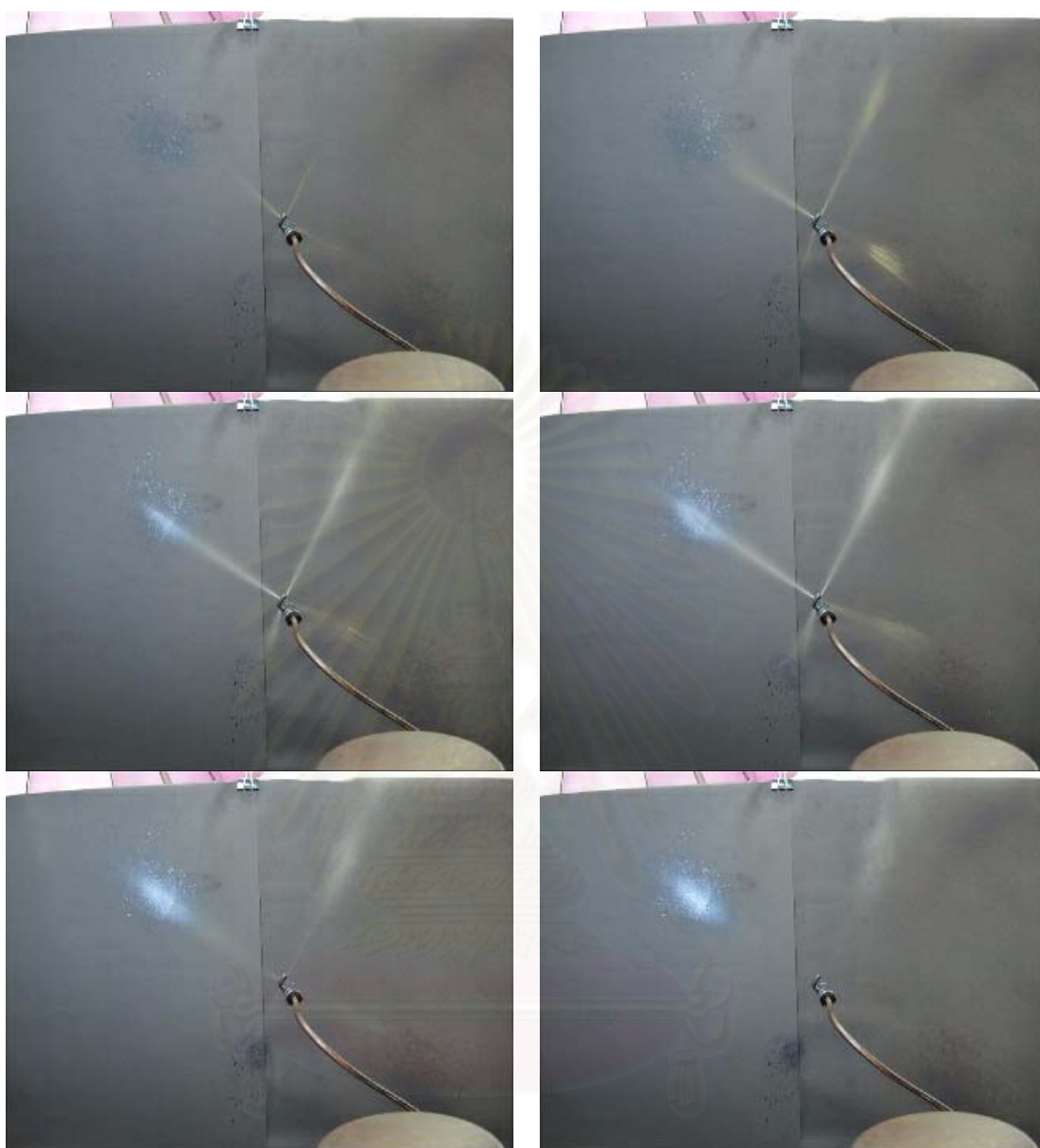
เหมาะสม โดยทำการเพิ่มความดันให้กับหัวฉีด 210 kg/cm<sup>2</sup> และค้างไว้โดยไม่มีกระแสไหลของเชื้อเพลิงที่ปลายหัวฉีด

ผลการทดสอบพบว่าหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินไม่ปรากฏการรั่วไหลออกมาที่ปลายหัวฉีด ขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบทั้งหัวฉีดที่ผ่านการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง และหัวฉีดที่เสียที่ 30 ชั่วโมง มีน้ำมันหยดออกมาหลังจากค้างที่ความดันที่กำหนดไม่นาน

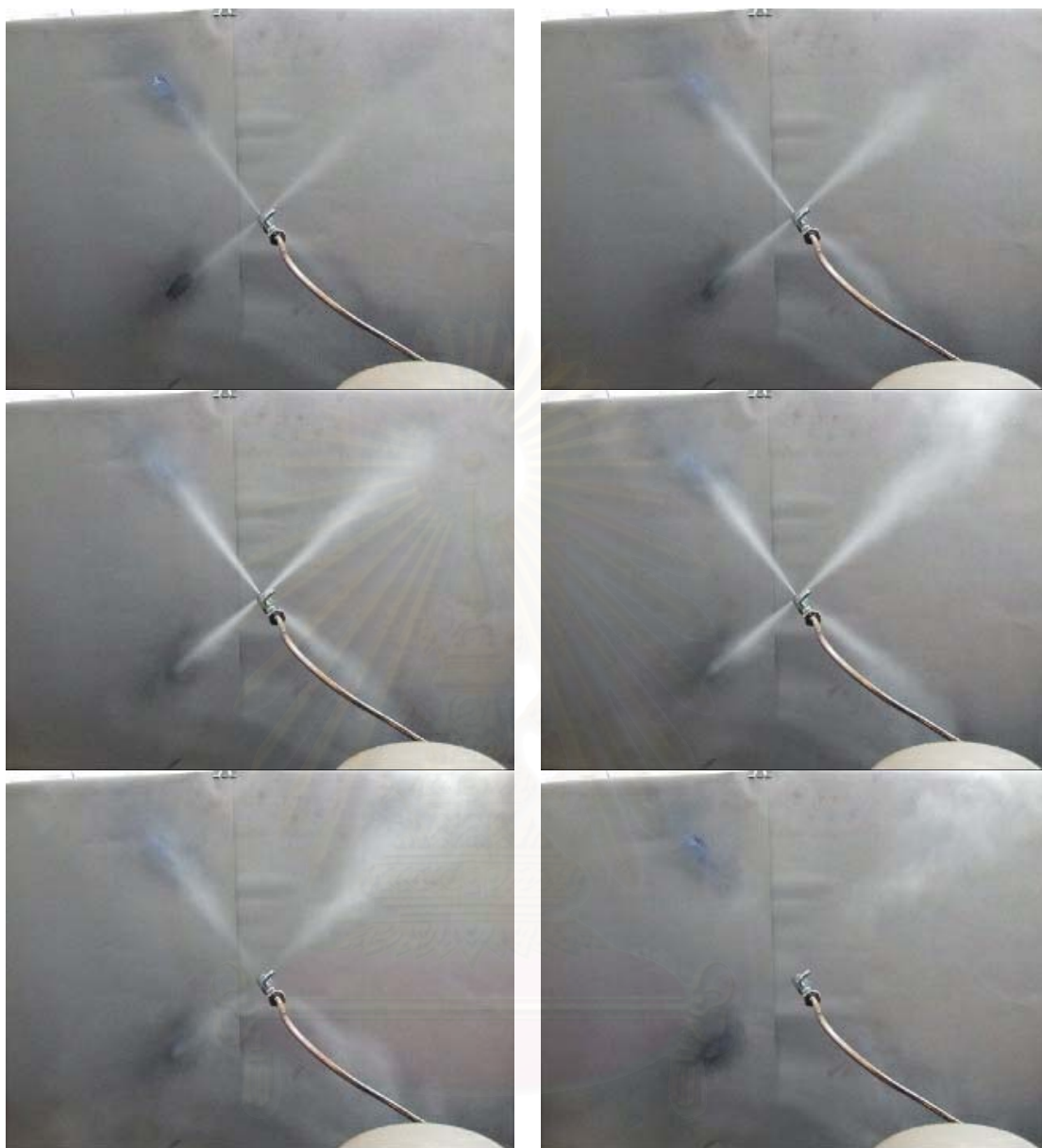
อย่างไรก็ตามจากผลที่พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังการทดสอบความทนทานมี อุณหภูมิไอเสียและค่าควันดำสูงขึ้น คาดว่าน่าจะมาจากการเผาไหม้ที่ด้อยกว่า ดังนั้นจึงมุ่งสมมุติฐานว่าน่าจะมีสาเหตุมาจาก การฉีดเชื้อเพลิงที่ต่างกัน จึงทำการตรวจสอบเปรียบเทียบลักษณะการฉีดเชื้อเพลิง โดยแสดงรูปลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงในรูปที่ 4-157 สำหรับเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบความทนทานด้วยดีเซลจำนวน 500 ชั่วโมง ในรูปที่ 4-158 สำหรับเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบจำนวน 320 ชั่วโมง ในรูปที่ 4-159 สำหรับเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอินจำนวน 320 ชั่วโมง และในรูปที่ 4-160 สำหรับหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบที่เสียที่ 30 ชั่วโมง



รูปที่ 4-157 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง ภายหลังจากการทดสอบความทนทาน 500 ชั่วโมงจากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล

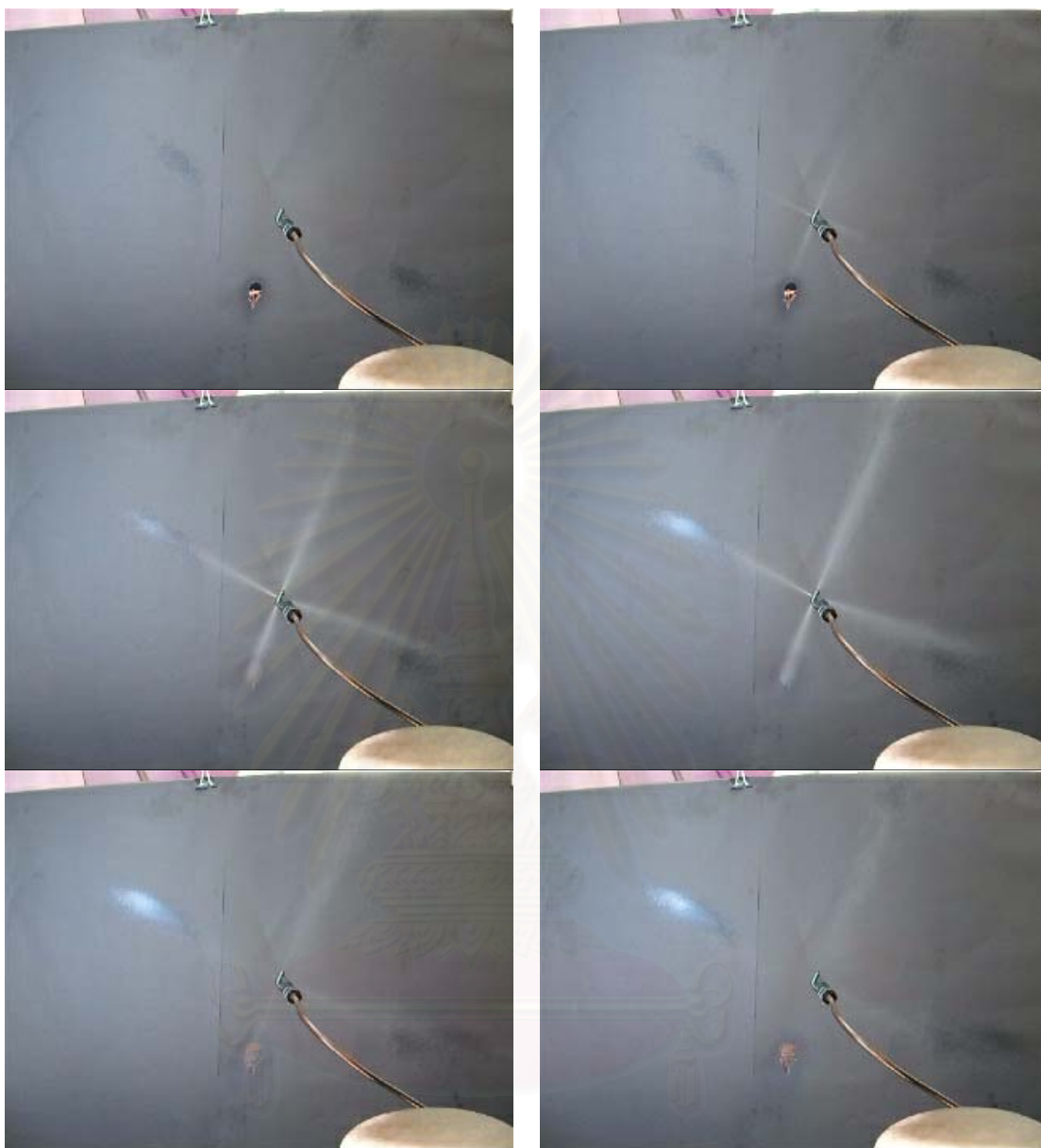


รูปที่ 4-158 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง  
ภายหลังจากการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงจากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้  
น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-159 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง  
ภายหลังจากการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงจากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้  
น้ำมันปาล์มโอเลอิน





รูปที่ 4-160 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง จาก หัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่เสียที่ 30 ชั่วโมงระหว่างการทดสอบ ความทนทาน

จากรูปที่ 4-157 แสดงรูปสเปรย์ของหัวฉีดที่ผ่านการทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันดีเซล จำนวน 500 ชั่วโมง รูปที่ 4-158 แสดงรูปสเปรย์ของหัวฉีดที่ผ่านการทดสอบความทนทานด้วย น้ำมันปาล์มดิบจำนวน 320 ชั่วโมง รูปที่ 4-159 แสดงรูปสเปรย์ของหัวฉีดที่ผ่านการทดสอบความ ทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีอินจำนวน 320 ชั่วโมง และรูปที่ 4-160 แสดงรูปสเปรย์ของหัวฉีดที่ เสียระหว่างการทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบที่ 30 ชั่วโมง พบว่าหัวฉีดของกรณีน้ำมัน ดีเซลมีลักษณะของมูสเปรย์ และละอองฝอยดีกว่าลักษณะของหัวฉีดทั้งกรณีน้ำมันปาล์มดิบที่

320 ชั่วโมง และกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ 320 ชั่วโมง ซึ่งสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มดิบที่ 320 ชั่วโมงพบว่ารูปแบบของสเปรย์มีมุมแคบกว่ากรณีดีเซล และละอองเป็นฝอยน้อยกว่ามาก ส่วนกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ 320 ชั่วโมงพบว่ารูปแบบของสเปรย์มีมุมแคบกว่าดีเซลเล็กน้อย แต่ละอองยังเป็นละอองฝอยอยู่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหัวฉีดยังสภาพดีกว่าของกรณีน้ำมันปาล์มดิบมาก

จากลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่าการที่อุณหภูมิไอเสียเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพลดลงหลังจากการทดสอบความทนทานนั้น ก็เป็นเนื่องมาจากหัวฉีดที่ไม่สามารถสร้างละอองน้ำมันและมุมการกระจายตัวของสเปรย์ได้ดีเท่าเดิม

ส่วนหัวฉีดที่เสียไปในชั่วโมงที่ 30 ระหว่างการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบนั้น สเปรย์มีมุมที่แคบมากและไม่เป็นละอองฝอย นั้นแสดงให้เห็นว่าเป็นเหตุผลที่ช่วงใกล้ 30 ชั่วโมงเครื่องยนต์จึงไม่สามารถทำกำลังได้เท่าเดิมนั่นเอง

#### 4.6 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วน

หลังการทดสอบความทนทาน ได้ทำการถอดชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์เพื่อทำการตรวจสภาพเปรียบเทียบ ระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงที่ผ่านการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเชื้อเพลิงที่ผ่านการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ภายใต้วุฒิจำการทดสอบเดียวกัน อีกทั้งได้ทำการถ่ายภาพประกอบเพื่อใช้ในการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์ ซึ่งชิ้นส่วนที่ทำการตรวจพินิจประกอบไปด้วย ฝาสูบ ผนังกระบอกสูบ ลูกสูบ บ่าวาล์วไอดีและไอเสียที่ฝาสูบ วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย ก้านวาล์วไอดี ก้านวาล์วไอเสีย หัวฉีด และ แบริ่งก้านสูบ โดยทั้งหมดได้นำมาเปรียบเทียบร่วมกับเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบความทนทาน 500 ชั่วโมงโดยใช้น้ำมันดีเซลอีกด้วยเพื่อเป็นตัวอ้างอิง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.6.1 ฝาสูบ

รูปที่ 4-161 รูปที่ 4-162 และ รูปที่ 4-163 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ตามลำดับ

จากรูปที่ 4-161 แสดงภาพถ่ายฝาสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบพบว่ามีการบวมของเหนียวสีดำติดอยู่ทั่วทั้งฝาสูบ รวมถึงหน้าวาล์วทั้งสองด้วย ส่วนบริเวณหัวฉีดมีคราบเขม่าแข็งและแบบฝุ่นเกาะอยู่รอบๆห้องเผาไหม้ หัวฉีดและบริเวณใกล้เคียงกับหัวฉีด



รูปที่ 4-161 แสดงภาพถ่ายฝาสลับหลังจากการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-162 แสดงภาพถ่ายฝาสลับหลังจากการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-163 แสดงภาพถ่ายฝาสือบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล[30]

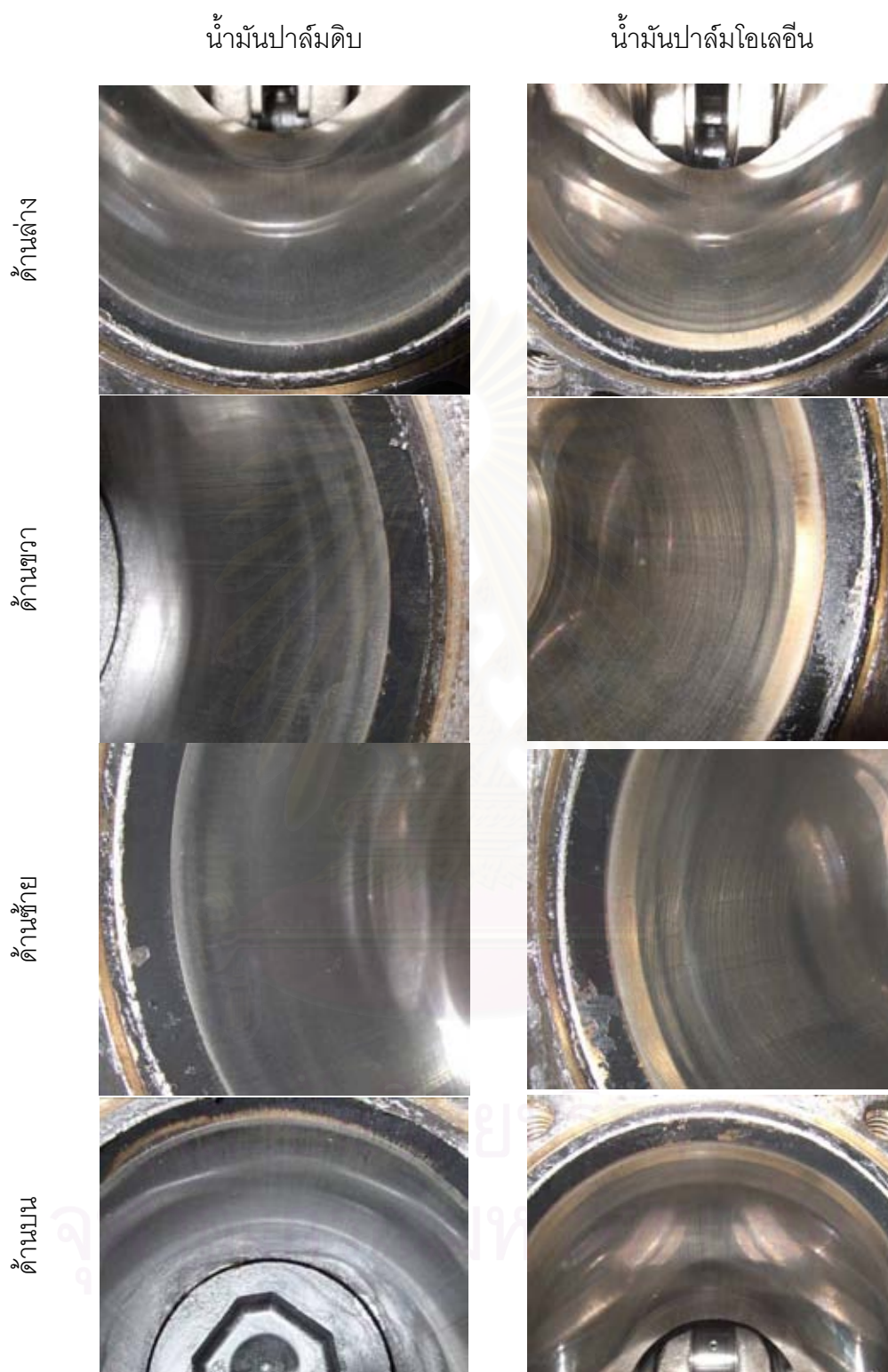
จากรูปที่ 4-162 แสดงภาพถ่ายฝาสือบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน พบว่ามีเขม่าแข็งหนาติดอยู่รอบๆ ห้องเผาไหม้เป็นส่วนใหญ่ และที่หัวฉีดมีคราบเขม่าแข็งพอกอยู่หนา

จากรูปที่ 4-163 แสดงภาพถ่ายฝาสือบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลพบว่าฝาสือบมีสีดำ พบฝุ่นเขม่าดำตกค้างกระจายอยู่น้อย บริเวณหน้าวาล์วพบคราบสีน้ำตาลอ่อน-ขาว คล้ายเก้ถ้า่านที่เกิดจากการเผาไหม้เนื่องจากความร้อนสูง

#### 4.6.2 ผนังกระบอกสูบ

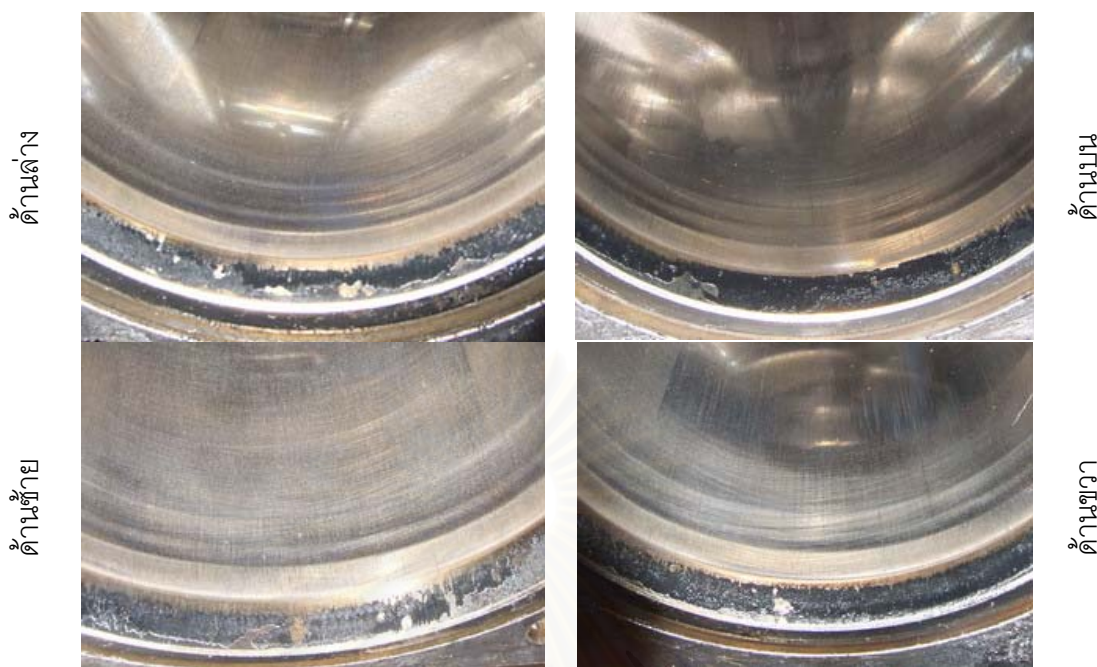
รูปที่ 4-164 และรูปที่ 4-165 แสดงภาพถ่ายสภาพภายในผนังกระบอกสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทานในแต่ละด้าน 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านล่าง คือส่วนที่ผนังกระบอกสูบด้านที่ติดกับส่วนล่าง ด้านบนคือผนังกระบอกสูบในด้านบนติดกับหม้อน้ำ และในด้านซ้าย และด้านขวา คือผนังกระบอกสูบฝั่งซ้ายและฝั่งขวาเมื่อหันหน้าเข้าเครื่องยนต์ตามลำดับ โดยรูปที่ 4-164 แสดงเปรียบเทียบภาพถ่ายผนังกระบอกสูบของเครื่องยนต์กรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบและกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ส่วนรูปที่ 4-165 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบของเครื่องยนต์กรณีที่ใช้น้ำมันดีเซล





รูปที่ 4-164 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบหลัง หลังจากการทดสอบความทนทานของ เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ (320 ชั่วโมง) (ภาพขวา) และ เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน (320 ชั่วโมง) (ภาพซ้าย)





รูปที่ 4-165 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบหลัง ภายหลังจากทดสอบความทนทานของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (500 ชั่วโมง)

จากรูปที่ 4-164 ซึ่งแสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และภาพถ่ายกรณีใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน พบปริมาณเขม่าในปริมาณที่มากกว่าที่พบในเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยสำหรับการใช้น้ำมันปาล์มดิบคราบเขม่าจะเป็นคราบในลักษณะยางเหนียว สลับกับแข็งเป็นแผ่นเกาะอยู่รอบๆ ผนังกระบอกสูบใกล้กับด้านฝาสูบ ส่วนในกรณีใช้น้ำมันปาล์ม โอเลอินจะพบเขม่าในลักษณะแข็งเกาะหนาในบริเวณเดียวกัน

ยังพบว่าไม่สามารถสังเกตเห็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับผนังกระบอกสูบ ไม่สามารถ สังเกตเห็นได้โดย เนื่องจากสังเกตจากลักษณะของผนังกระบอกสูบโดยทั่วไปควรจะมีลักษณะเป็น เส้นขีดไขว้ (cross-hatching) ซึ่งยังสังเกตเห็นได้อยู่เมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มทั้งสองชนิด

#### 4.6.3 ลูกสูบ

รูปที่ 4-166 แสดงภาพถ่ายด้านบนของลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบภายหลัง การทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงพบว่า มีคราบเขม่าลักษณะเป็นยางเหนียวสลับแข็งเกาะอยู่ บริเวณผิวหน้าของลูกสูบหนา และบริเวณใกล้กับผนังกระบอกสูบพบเขม่าแข็งเกาะอยู่รอบๆ

รูปที่ 4-167 แสดงภาพถ่ายด้านบนของลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินภาย หลังการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงพบว่า มีคราบเขม่าลักษณะเป็นยางเหนียวเกาะอยู่ บริเวณผิวหน้าของลูกสูบแต่ไม่หนาเท่ากรณีน้ำมันปาล์มดิบ และบริเวณใกล้กับผนังกระบอกสูบ พบเขม่าแข็งเกาะอยู่รอบๆ เช่นกัน



รูปที่ 4-166 ภาพถ่ายลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-167 ภาพถ่ายลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอดีเอ็น



รูปที่ 4-168 ภาพถ่ายแสดงลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซล



รูปที่ 4-169 ภาพถ่ายขยายส่วนหนึ่งของลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ในบริเวณที่มีรอยแตกของเขม่าที่ลูกสูบ

รูปที่ 4-168 แสดงภาพถ่ายด้านบนของลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลภายหลังการทดสอบความทนทาน พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ด้านบนของลูกสูบมีลักษณะ

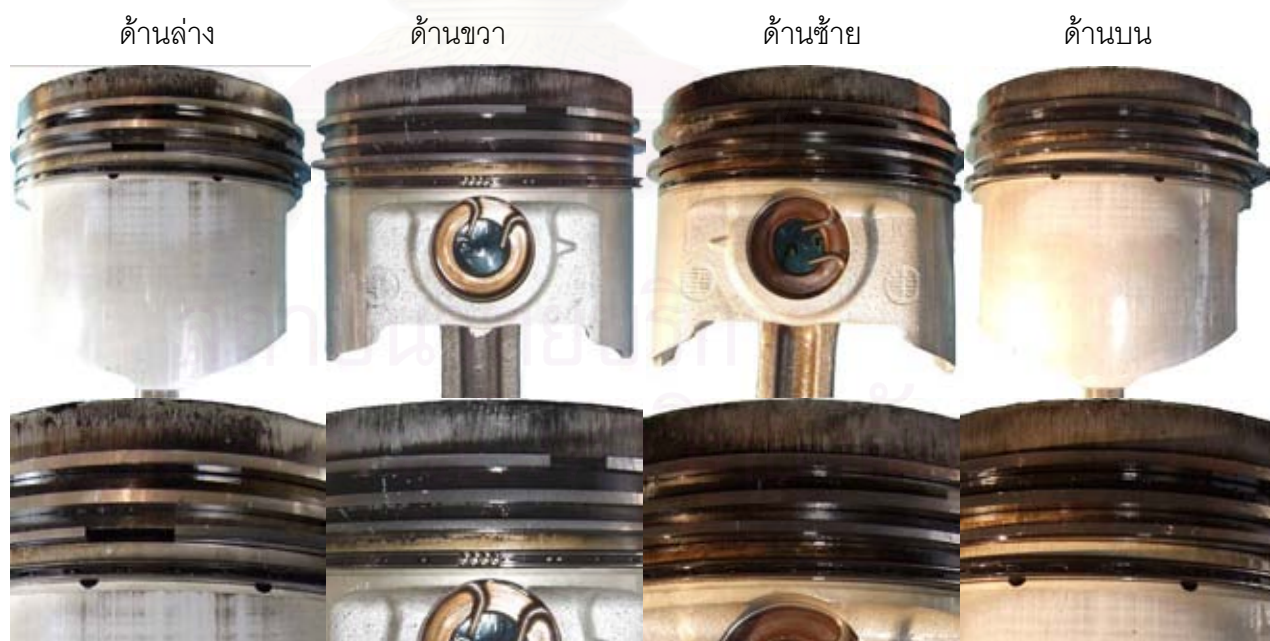


เป็นสีเทาดำ และมีสีดำ ติดแน่นตามทิศทางของสเปรย์ที่ออกมาจากหัวฉีด ที่ฉีดไปที่มุมทั้ง 4 มุมที่ หลุมบนหัวฉีด พบว่าขอบลูกสูบด้านขวา และล่างขวา มีคราบเขม่าแข็งสีดำติดอยู่ สาเหตุอาจ เนื่องจากคราบน้ำมันเชื้อเพลิงที่วิ่งไปชนและเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดเป็นคราบเขม่าแข็งสีดำติดอยู่ตามลำดับ

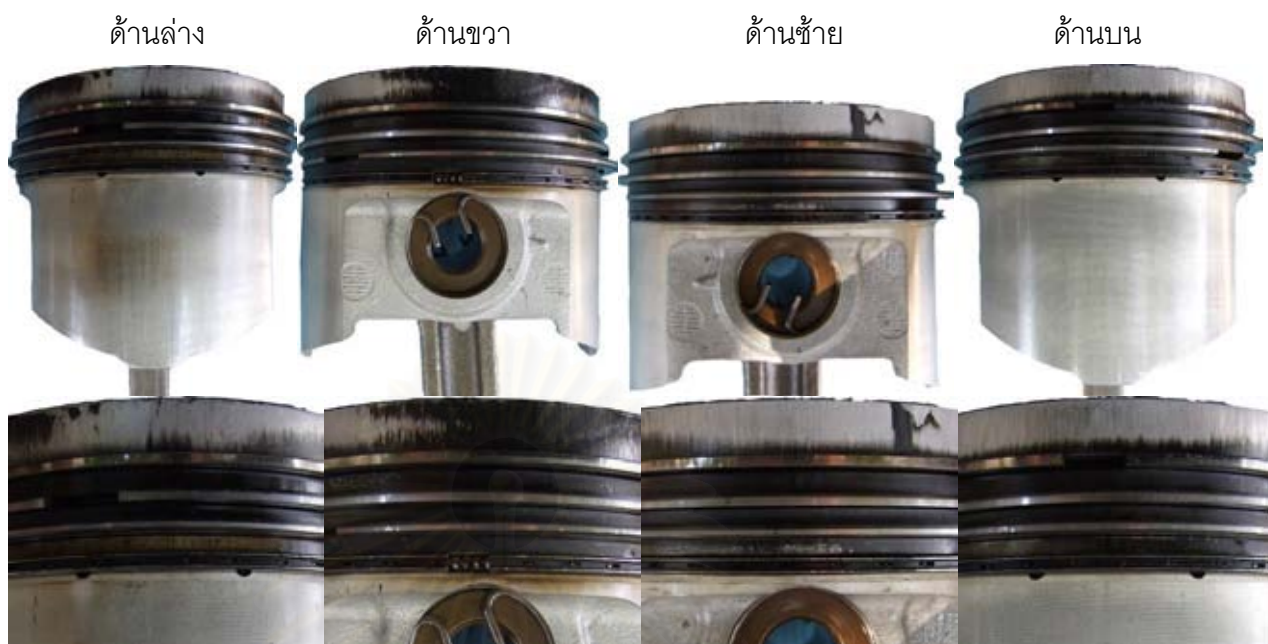
และในรูปที่ 4-169 แสดงให้เห็นถึงความหนาของคราบเขม่าเหนียวและแข็งที่ติดที่ลูกสูบ ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ จะเห็นได้ว่าคราบดังกล่าวมีความหนา แสดงให้เห็นถึงปริมาณ ของการเกิดคราบที่สูง ซึ่งเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบ

จากรูปที่ 4-170 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ พบปริมาณ เขม่าและรอยขีดขีดบริเวณขอบบนของลูกสูบในปริมาณที่มากกว่าที่พบในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน ดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยพบมากที่ด้านล่าง ข้างขวา และข้างซ้าย ของ ลูกสูบ และพบคราบเขม่า ที่บริเวณร่องแหวน และปากแหวนโดยเฉพาะแหวนอัดตัวที่ 1

จากรูปที่ 4-171 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน พบปริมาณ เขม่าและรอยขีดขีดน้อยกว่ากรณีน้ำมันปาล์มดิบเล็กน้อย แต่ก็พบเขม่ามากกว่าในกรณีน้ำมัน ดีเซล โดยเขม่าที่พบจะพบในด้านซ้ายของลูกสูบเป็นส่วนใหญ่ แต่พบรอยไหม้บริเวณข้างลูกสูบ ด้านล่าง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิที่สูงหรือการหล่อลื่นไปไม่ถึงในจุดนั้น



รูปที่ 4-170 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบและภาพขยาย



รูปที่ 4-171 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อนำน้ำมันโอเลอินและภาพขยาย

จากรูปที่ 4-172 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลภายหลังการทดสอบความทนทาน พบปริมาณเขม่าบริเวณขอบบนของลูกสูบค่อนข้างน้อย และสังเกตเห็นได้ชัดที่ด้านขวาล่าง ซึ่งตรงกันกับที่พบด้านบนของลูกสูบ พบรอยขีดข่วนขนาดใหญ่และเล็กโดยรอบขอบบนของลูกสูบ ไม่พบเขม่าบริเวณร่องแหวนพบคราบเขม่าเกาะตัวสะสมในร่องแหวน และปากแหวน



รูปที่ 4-172 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อนำน้ำมันดีเซลและภาพขยาย



#### 4.6.4 บำวาล์วไอดีและบำนวาล์วไอดีเสียที่ฝาสือบ

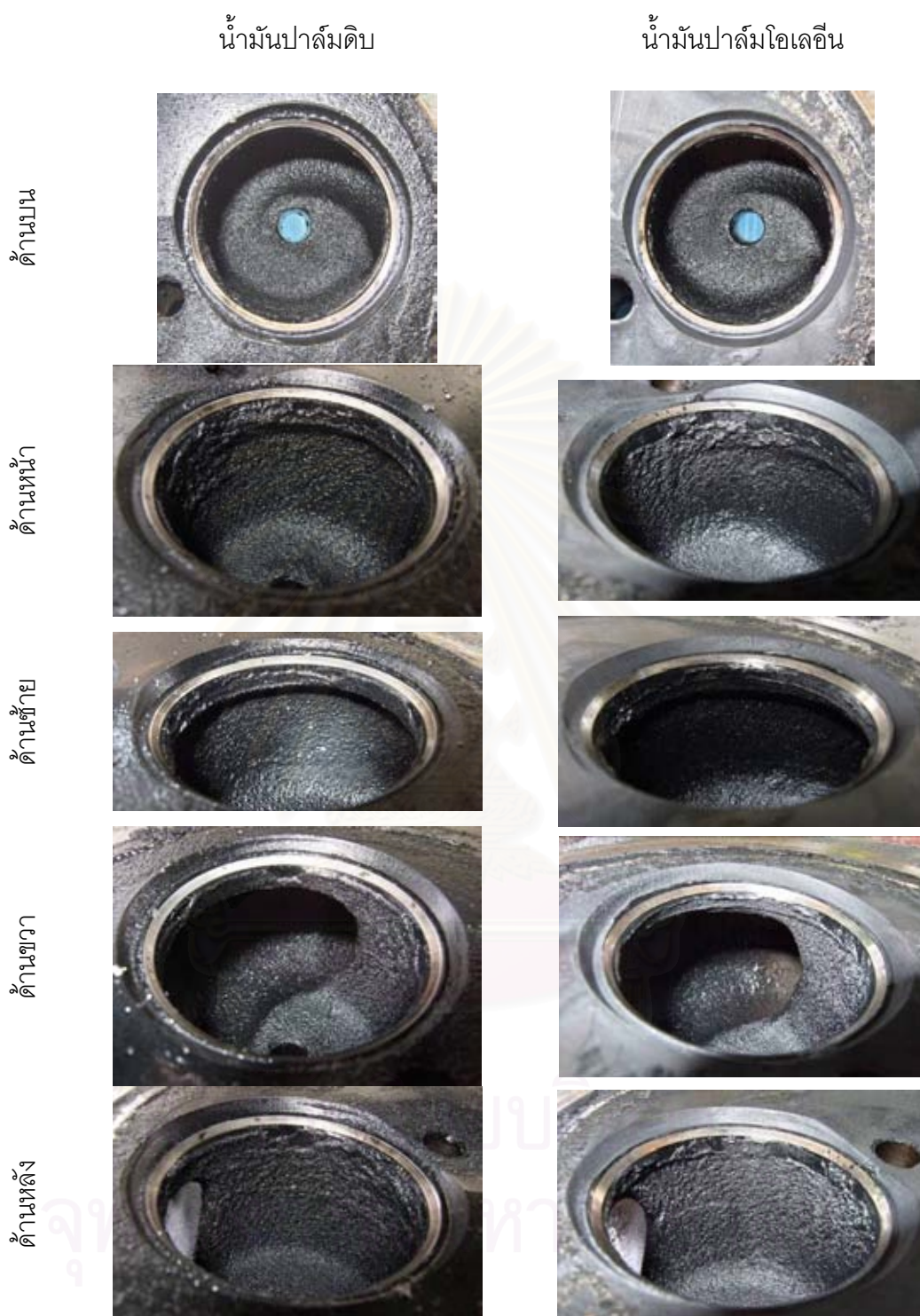
รูปที่ 4-173 แสดงภาพถ่ายบำนวาล์วไอดีของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ที่ผ่านการทดสอบความทนทานเป็นระยะเวลา 500 ชั่วโมง

รูปที่ 4-174 แสดงภาพถ่ายบำนวาล์วไอดีของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่ผ่านการทดสอบความทนทานเป็นระยะเวลา 320 ชั่วโมง จากบนฝาสือบทั้ง 4 มุม จากการตรวจพินิจและเปรียบเทียบรูปทั้งสอง ไม่พบความแตกต่างที่บำนวาล์ว โดยบำนวาล์วของทั้งสองเครื่องยนต์มีสภาพที่ใกล้เคียงกันมีหน้าสัมผัสที่เรียบมีร่องรอยของการสึกหรอเป็นจุดเล็กๆอยู่ในปริมาณที่น้อยทั้งสองเครื่องยนต์

จากรูปบำนวาล์วไอดีสังเกตเห็นว่าช่องทางอากาศเข้าพบ ปริมาณเขม่าสะสมจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินเล็กน้อย แต่ทั้งสองเครื่องยนต์ก็จะมีปริมาณเขม่าที่สะสมบริเวณนี้มากกว่าเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยดีเซล



รูปที่ 4-173 แสดงภาพถ่ายบำนวาล์วไอดีของ เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล



รูปที่ 4-174 แสดงภาพถ่ายบิวาล์วไอดีเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ (ซ้าย) และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน (ขวา)



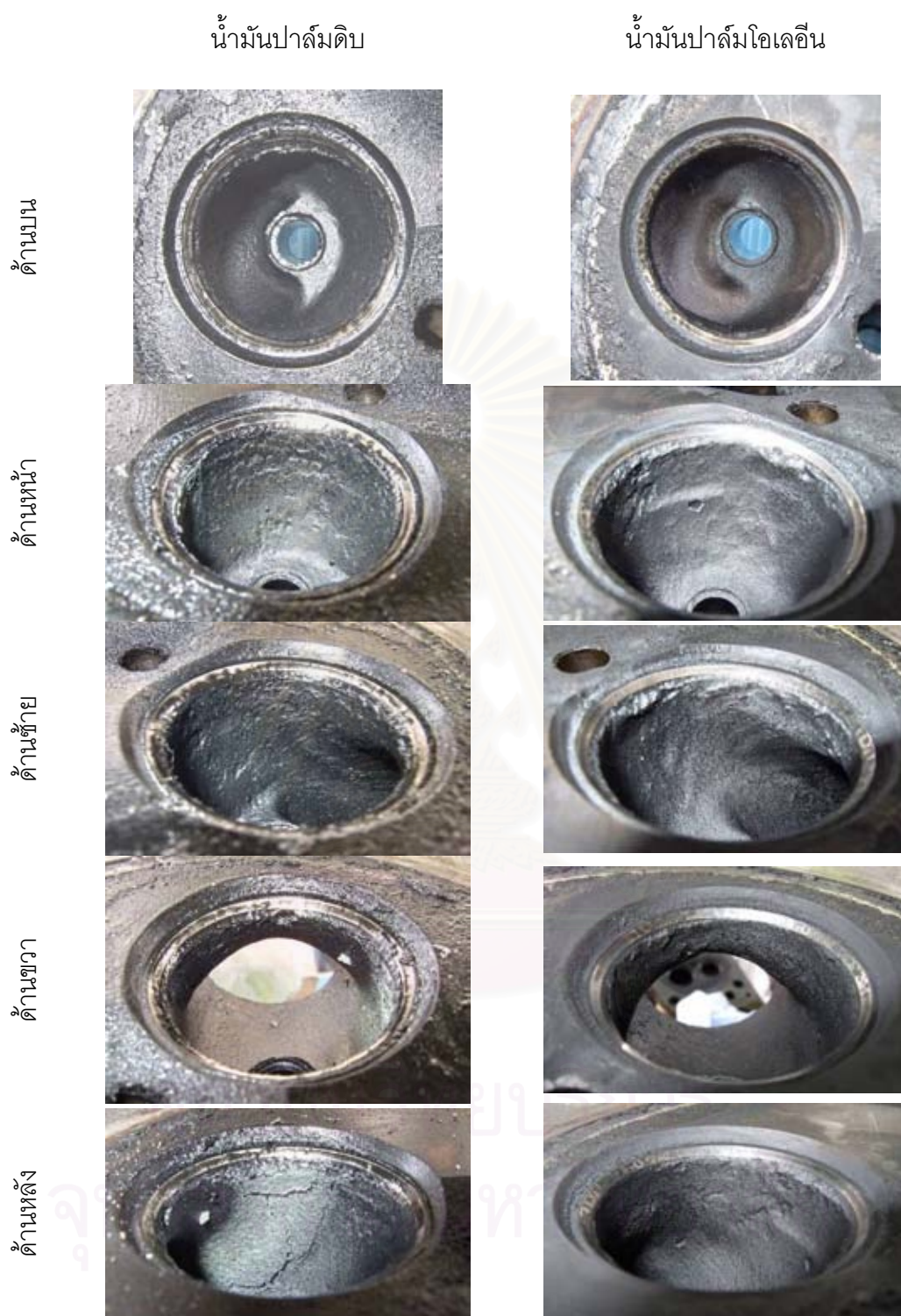
รูปที่ 4-175 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ที่ผ่านการทดสอบความทนทานเป็นระยะเวลา 500 ชั่วโมง

รูปที่ 4-176 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่ผ่านการทดสอบความทนทานเป็นระยะเวลา 320 ชั่วโมง จากบนฝาสูบทั้ง 4 มุม จากการตรวจพินิจและเปรียบเทียบรูปทั้งสอง ไม่พบความแตกต่างที่บ่าวาล์ว โดยบ่าวาล์วของทั้งสองเครื่องยนต์มีสภาพที่ใกล้เคียงกันมีหน้าสัมผัสที่เรียบมีร่องรอยของการสึกหรอเป็นจุดเล็กๆอยู่ในปริมาณที่น้อยทั้งสองเครื่องยนต์

จากรูปบ่าวาล์วไอเสียสังเกตเห็นว่าช่องอากาศพบ ปริมาณเขม่าสะสมจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอย่างเห็นได้ชัด แต่ทั้งสองเครื่องยนต์ก็จะมีปริมาณเขม่าที่สะสมบริเวณนี้มากกว่าเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยดีเซล



รูปที่ 4-175 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล



รูปที่ 4-176 แสดงภาพถ่ายว่าลวไอเสียเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ(ซ้าย) และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน (ขวา)



#### 4.6.5 วาล์วไฮโดรและวาล์วไฮดรอลิก

รูปที่ 4-177 รูปที่ 4-178 และรูปที่ 4-179 แสดงภาพถ่ายของวาล์วไฮโดรจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มไฮโดร และน้ำมันดีเซลตามลำดับ พบว่าบริเวณหลังวาล์วไฮโดรของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลมีคราบเขม่าเกาะกระจายอยู่ด้านหลังวาล์วไฮโดรแต่น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มไฮโดร



รูปที่ 4-177 แสดงภาพถ่ายวาล์วไฮโดรจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-178 แสดงภาพถ่ายวาล์วไฮโดรจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไฮโดร



รูปที่ 4-179 แสดงภาพถ่ายวาล์วไฮโดรจากที่ใช้น้ำมันดีเซล



โดยที่หลังวาล์วไอดีของน้ำมันปาล์มดิบจะมีลักษณะเขม่าที่เกาะเป็นยางเหนียว ร่วมกับเขม่าเป็นฝุ่นนิ่ม ส่วนของน้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีลักษณะของเขม่าลักษณะเป็นฝุ่นนิ่มมากกว่า และมีปริมาณเขม่าแบบฝุ่นนี้จำนวนมากว่าด้วย

ก้านวาล์วไอดีของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันปาล์มทั้งสอง พบว่ามีปริมาณเขม่าดำนี้ผสมที่มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจน



รูปที่ 4-180 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-181 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียที่ใช้น้ำมันโอเลอิน



รูปที่ 4-182 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจากที่ใช้น้ำมันดีเซล

รูปที่ 4-180 รูปที่ 4-181 และรูปที่ 4-182 แสดงภาพถ่ายของวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันดีเซลตามลำดับ พบว่าวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณเขม่าที่มากกว่า อีกสองเครื่องยนต์

#### 4.6.6 ก้านวาล์วไอดีและก้านวาล์วไอเสีย

รูปที่ 4-183 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล โดยทำการถ่ายภาพทั้ง 4 มุมรอบก้านวาล์ว พบว่าเกิดการสึกหรอที่ตำแหน่งที่ก้านวาล์วเสียดสีกับปลอกก้านวาล์วโดยทั้งสามกรณีไม่แตกต่างกันเท่าใดนัก และพบเขม่าปริมาณจำนวนมากที่กรณีน้ำมันโอเลอินที่โคนของก้านวาล์ว



รูปที่ 4-183 แสดงภาพถ่ายก้านวาล์วไอดีเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ทั้งสามเครื่องยนต์

รูปที่ 4-184 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอเลอิน และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล โดยทำการถ่ายภาพทั้ง 4 มุมรอบก้านวาล์ว ซึ่งพบว่าเกิดการสึกหรอที่ตำแหน่งที่ก้านวาล์วเสียดสีกับปลอกนำวาล์ว (Valve Guide) พบว่าการสึกหรอที่ก้านวาล์วระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสามใกล้เคียงกัน และพบคราบเหนียวเกาะที่ก้านวาล์วของกรณีเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินมากกว่ากรณีอื่นๆ



น้ำมันปาล์มดิบ

น้ำมันปาล์มโอเลอิน



น้ำมันดีเซล

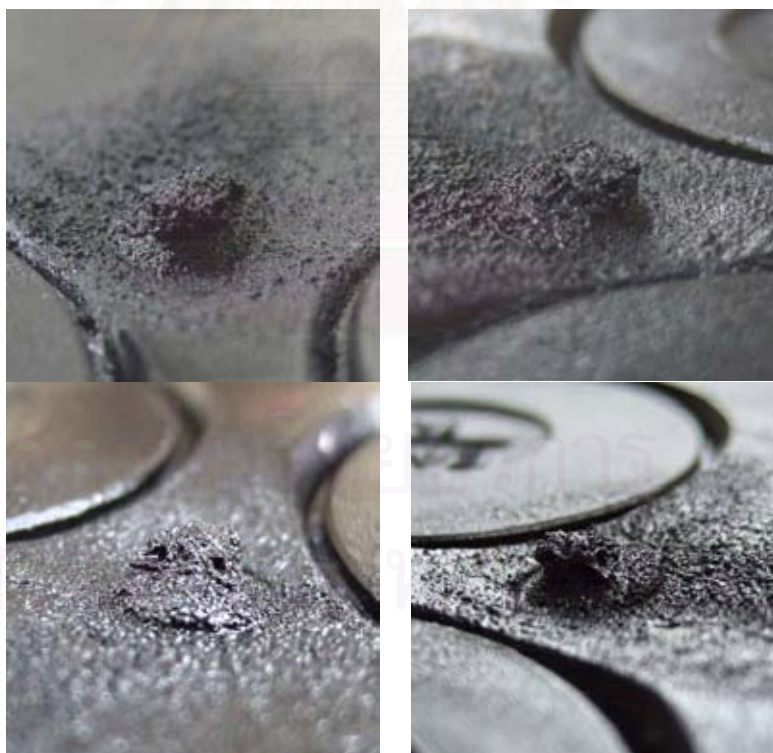
รูปที่ 4-184 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอเสียเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ทั้งสาม

#### 4.6.7 หัวฉีด

รูปที่ 4-185 รูปที่ 4-186 และรูปที่ 4-187 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันดีเซลตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดที่ปลายของหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มทั้งสอง เนื่องจากมีก้อนของเขม่าดำ และแข็งสะสมพอกอยู่ที่ปลายของหัวฉีด และสภาพโดยรวมหัวฉีดมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันคือมีคราบเขม่าดำ และแข็งเกาะตัวในอยู่ในแนวสเปร์ยรอบหัวฉีด ซึ่งแตกต่างจากหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจนที่ไม่พบก้อนเขม่าสะสมมากเท่ากับอีกสองเครื่องยนต์

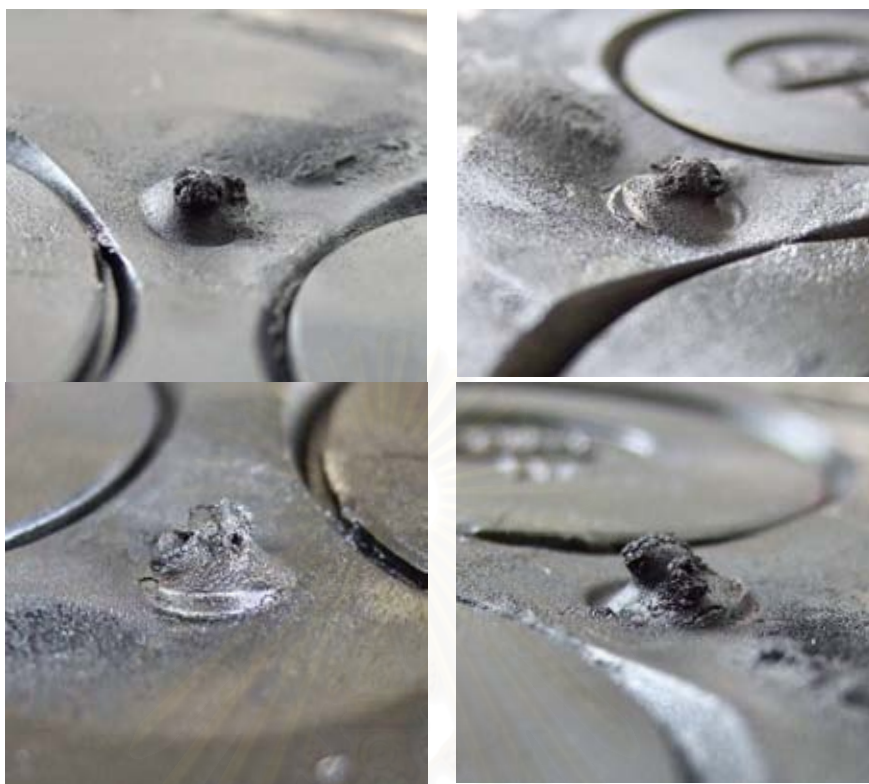
จากรูปที่ 4-185 สำหรับหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบจะมีเขม่าแข็งเป็นก้อนกลมเล็ก เกาะอยู่รอบๆ หัวฉีดพอกหนา และมีเขม่าและคราบยางเหนียวพอกปิดรูหัวฉีดจนเกือบไม่สามารถมองเห็นหัวฉีดได้

และรูปที่ 4-186 สำหรับหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีคราบเขม่าแข็ง ติดอยู่รอบหัวฉีดเช่นเดียวกับกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน แต่มีความหนาน้อยกว่าและเห็นรูของหัวฉีดได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 4-185 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบก่อนถอดออกจากฝาสูบ





รูปที่ 4-186 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนถอดออกจากฝาสูบ



รูปที่ 4-187 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ก่อนถอดออกจากฝาสูบ





รูปที่ 4-188 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4-189 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-190 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

รูปที่ 4-188 รูปที่ 4-189 และรูปที่ 4-190 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันดีเซล ตามลำดับ เช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้นพบความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ที่ปลายของหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองชนิด มีลักษณะเป็นก้อนของเขม่าแข็งสะสมอยู่ที่ปลายของหัวฉีด ทำให้รูหัวฉีดมีลักษณะเล็ก คาดว่าเกิดขึ้นภายหลังการสูญเสียความสามารถในการหยุดการรั่ว (Leak) ของเชื้อเพลิงทำให้น้ำมันเชื้อเพลิง

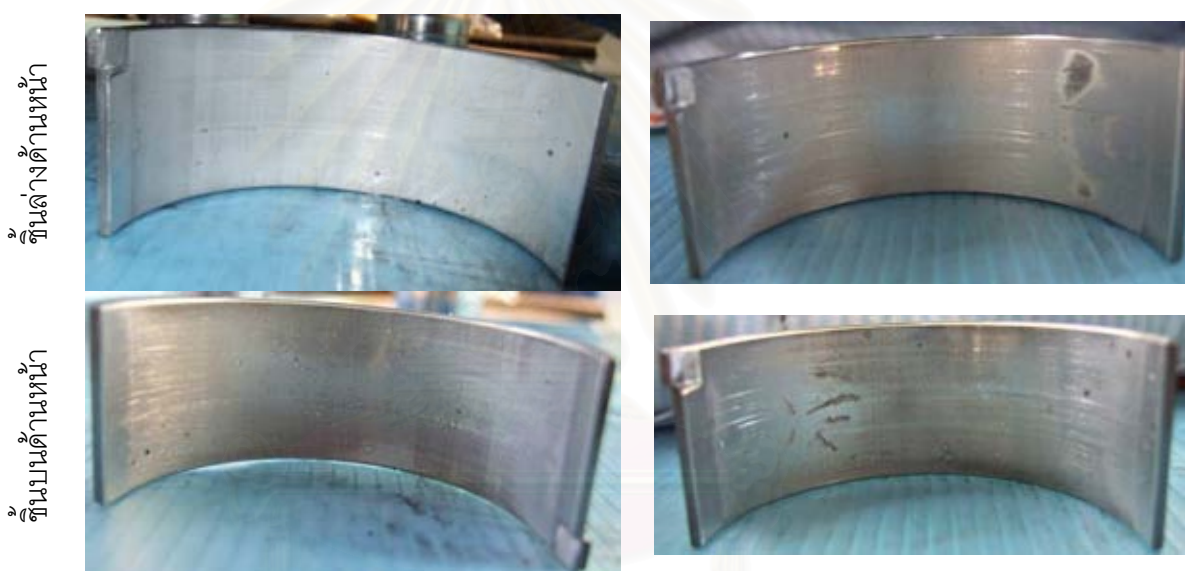
เมื่อมีความดันในท่อความดันที่ยังไม่ถึงความดันในการเปิดหัวฉีดแต่มีการซึมของเชื้อเพลิงออกมาเป็นหยดค้างอยู่ที่หัวฉีด น้ำมันที่ค้างอยู่ที่หัวฉีดเมื่อถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงเกิดเป็นคราบแข็งเกาะติดอยู่บริเวณหัวฉีด และจากปริมาณเขม่าที่มากทำให้เกิดเขม่าเกาะที่รอบๆ หัวฉีดอีกด้วย

พบว่าหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีลักษณะมีคราบฝุ่นเขม่าเกาะที่ปลายหัวฉีดซึ่งฝุ่นเขม่าดังกล่าวสามารถหลุดออกได้อย่างง่ายดาย และพบว่าขนาดรูหัวฉีดสามารถสังเกตเห็นได้โดยง่ายและมีขนาดใหญ่กว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มอีกสองเครื่องยนต์

#### 4.6.8 แบริงก้านสูบ

น้ำมันปาล์มดิบ

น้ำมันปาล์มโอเลอิน



รูปที่ 4-191 แสดงภาพถ่ายแบริงก้านสูบ ภายหลังจากทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ (320 ชั่วโมง) (ภาพขวา) และ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน (320 ชั่วโมง) (ภาพซ้าย)



รูปที่ 4-192 แสดงภาพถ่ายแบริงก้านสูบ ภายหลังจากทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (500 ชั่วโมง)

จากรูปที่ 4-191 และรูปที่ 4-192 ซึ่งแสดงเบริงก้านสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกัน ซึ่งไม่พบสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับผิวเบริง มีรอยขีดข่วนขนาดเล็กอยู่ทั่วไป และพบคราบน้ำมันหล่อลื่นและรอยจุดซึ่งเกิดการสึกหรอในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น

#### 4.7 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

หลังจากทำการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองเครื่องยนต์แล้วได้ทำความสะอาดคราบตะกอนและเขม่าออก เพื่อทำการชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกับน้ำหนักของชิ้นส่วนก่อนการทดสอบที่ได้ทำการชั่งไว้ก่อนแล้ว ด้วยตาชั่ง Denver Instrument Company รุ่น TC-205 ความละเอียด 0.1 mg การเปรียบเทียบมุ่งเน้นตรวจ 3 กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันเชื้อเพลิง คือ กลุ่มชิ้นส่วนจากห้องเผาไหม้ กลุ่มชิ้นส่วนหัวฉีด และกลุ่มชิ้นส่วนปั๊มหัวฉีด

ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้แสดงดังตารางที่ 4-14 ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีดแสดงดังตารางที่ 4-15 และผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิงแสดงดังตารางที่ 4-16

ผลจากการชั่งน้ำหนักของวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียแสดงดังตารางที่ 4-17 ผลของการวัดขนาดวาล์วไอดี, วาล์วไอเสียแสดงดังตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-14 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้ ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ			เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% ความแตกต่าง	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% ความแตกต่าง
แหวนอัด 1	14.0148	13.3239	-4.9	14.0148	14.1321	+0.8
แหวนอัด 2	16.3484	14.9656	-8.5	16.3484	16.4168	+0.4
แหวนอัด 3	15.1599	14.2729	-5.9	15.1599	15.1730	+1.31
แหวนน้ำมัน	12.0381	11.8596	-1.5	12.0381	12.0070	-0.3

ตารางที่ 4-15 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีดก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน  
เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม  
โอเลอิน

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน		
	ก่อนการ ทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% เปลี่ยนแปลง	ก่อนการ ทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% เปลี่ยนแปลง
เข็มหัวฉีด	3.0875	3.0062	-2.6	3.0875	3.0699	-0.6
ปลอกเข็มหัวฉีด	22.7701	22.7080	-0.3	22.7701	22.8072	+0.5

จากการชั่งน้ำหนักแหวนและหัวฉีดพบว่า เครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้้ำมันปาล์มดิบเป็นเวลา 320 ชั่วโมงน้ำหนักชิ้นส่วนของห้องเผาไหม้โดยเฉพาะแหวนทั้งสามตัวมีการลดลงของน้ำหนักอย่างเห็นได้ชัดคือ ลดลงอยู่ในช่วง 5%-9% จากน้ำหนักชิ้นส่วนใหม่ ซึ่งการลดลงดังกล่าว สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นที่พบปริมาณโครเมียมในน้ำมันหล่อลื่นมาก ซึ่งปริมาณโครเมียมนั้นก็มาจากแหวนอัดนั่นเอง ทำให้สามารถยืนยันได้อีกว่าปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมที่มากในการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบก็มาจากการสึกหรอของชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้เสียส่วนใหญ่ เพราะเป็นชิ้นส่วนที่สัมผัสกับแหวนโดยตรงคือ กระบอกสูบ (เหล็ก) และ ลูกสูบ (อลูมิเนียม)

สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักมีน้อยมาก ส่วนใหญ่พบการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นซึ่งอาจมาจากคราบเขม่าที่เกาะติดตามแหวน และปลอกเข็มหัวฉีดได้

น้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิงพบว่าเป็นแนวโน้มคล้ายกับกรณีชิ้นส่วนหัวฉีดและแหวนอัดคือน้ำหนักของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้คาดว่าเป็นสาเหตุจากการสึกหรอจากที่เชื้อเพลิงมีฝุ่นละอองจำนวนมากดังที่กล่าวมาแล้วทำให้เกิดการสึกหรอที่มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



ตารางที่ 4-16 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิง ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% เปลี่ยนแปลง	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% เปลี่ยนแปลง
วาล์วกันย้อนกลับ	2.1496	2.1173	-1.5	2.1496	2.1453	-0.2
เรือนวาล์วกันย้อนกลับ	8.0941	7.948	-1.8	8.0941	8.0698	-0.3
ลูกปั๊ม	14.4431	13.9809	-3.2	14.4431	14.3564	-0.6
กระบอกปั๊ม	20.4370	20.2531	-0.9	20.4370	20.4166	-0.1

ตารางที่ 4-17 แสดงผลการชั่งน้ำหนักวาล์วก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

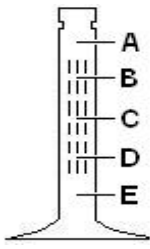
ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% เปลี่ยนแปลง	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% เปลี่ยนแปลง
วาล์วไอดี	76.1795	75.5260	-0.86	76.1795	76.2559	+0.1
วาล์วไอดีเสีย	60.1642	60.1513	-0.02	60.1642	60.7888	+1

ผลการชั่งน้ำหนักวาล์วไอดีและวาล์วไอดีเสียพบว่าวาล์วจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินมีน้ำหนักที่ลดลงในปริมาณที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ผลการวัดขนาดวาก้านวาล์วไอดีและก้านวาล์วไอดีเสีย พบว่าขนาดของก้านวาล์วมีทั้งที่เพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย การเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากเขม่าเหนียวที่ไม่สามารถล้างออกได้ และการลดลงอาจมาจากการสึกหรอ

ตารางที่ 4-18 แสดงผลของการวัดขนาดก้านวาล์วไอดีและก้านวาล์วไอดีเสียก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

ชิ้นส่วน		ขนาด (มิลลิเมตร)					
		เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน		
		ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	ขนาดเปลี่ยนแปลง	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	ขนาดเปลี่ยนแปลง
ก้านวาล์วไอดี 	A	7.970	7.973	+0.002	7.970	7.973	+0.003
	B	7.970	7.972	+0.002	7.970	7.973	+0.003
	C	7.970	7.972	+0.002	7.970	7.970	0
	D	7.970	7.970	0	7.970	7.976	+0.006
	E	7.970	7.970	0	7.970	7.988	+0.018
ก้านวาล์วไอดีเสีย 	A	7.968	7.970	+0.002	7.968	7.969	+0.001
	B	7.968	7.972	+0.004	7.968	7.969	+0.001
	C	7.968	7.972	+0.004	7.968	7.969	+0.001
	D	7.968	7.973	+0.005	7.968	7.969	+0.001
	E	7.968	7.971	+0.003	7.968	7.970	+0.002

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล จากผลการทดสอบทั้งสมรรถนะ ความทนทาน ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น และการตรวจพินิจชิ้นส่วนทำให้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

#### 5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์

สมรรถนะของเครื่องยนต์เปรียบเทียบกันระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน พบว่าแรงบิดที่ภาระสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสำหรับน้ำมันปาล์มทั้งสองมีค่าสูงกว่า อีกทั้งอุณหภูมิของไอเสียของน้ำมันปาล์มดิบและอุณหภูมิของไอเสียของน้ำมันปาล์มโอเลอินทั้งสองชนิดนี้ก็สูงกว่าด้วย โดยอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นและอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอินมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ประมาณ 35%

#### 5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ควันดำของเครื่องยนต์

ค่าทางมลพิษหรือ ควันดำที่เกิดจากการใช้น้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดนี้เป็นไปในทางเดียวกันคือสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลซึ่งสามารถแยกเรื่องควันดำนี้ออกได้ดังนี้

1. ควันดำในช่วงเครื่องยนต์ใหม่ หรือก่อนการทดสอบความทนทาน จะเห็นว่าค่าควันดำที่ภาระสูงสุดของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าสูงกว่าดีเซลทุกช่วงความเร็ว โดยช่วงความเร็วต่ำควันดำที่สูงกว่าจะสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด และความแตกต่างจะลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น

2. สำหรับเครื่องยนต์ใหม่ ค่าควันดำที่ภาระบางส่วนเมื่อแรงบิดและความเร็วเท่ากันจะพบว่าส่วนใหญ่ ในช่วงแรงบิดต่ำค่าควันดำมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามกรณี ส่วนในช่วงแรงบิดที่สูงส่วนมากค่าควันดำของกรณีใช้ดีเซลมักจะสูงกว่า ซึ่งอาจเป็นผลจากการมีออกซิเจนในเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มทั้งสองได้

3. ควันดำที่เพิ่มขึ้นในช่วงการใช้งาน หรือระหว่างการทดสอบความทนทานจนถึงทดสอบสมรรถนะหลังการทดสอบความทนทาน จะพบว่าสำหรับกรณีน้ำมันปาล์มดิบและกรณีน้ำมันปาล์มโอเลอิน มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอันเนื่องมาจากเขม่าและยางเหนียว ที่ติดอยู่ตาม

หัวฉีดและลูกสูบภายในเครื่องยนต์ ทำให้ควันดำในกรณีนี้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ใหม่

### 5.1.3 สรุปผลการทดสอบความทนทาน

ผลการทดสอบความทนทานของทั้งสองจะพบว่าสำหรับน้ำมันปาล์มดิบจะมีทั้งการสึกหรอที่มากกว่าและรวดเร็วกว่าน้ำมันปาล์มโอดีอื่น อีกทั้งสมรรถนะก็ตกลงด้วยอัตราที่เร็วกว่าน้ำมันปาล์มโอดีอื่นด้วย ซึ่งหมายความว่าอายุการใช้งานของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอดีอื่นเป็นเชื้อเพลิง

ทั้งนี้ทั้งจากผลของการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น ทำให้พบว่าเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบมีความสกปรกอยู่มากทำให้เกิดการสึกหรอที่มากกว่าทั้งดีเซล และน้ำมันปาล์มโอดีอื่น ซึ่งจากความสกปรกที่มากดังกล่าวทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่มากกว่า

ส่วนน้ำมันปาล์มโอดีอื่น เชื้อเพลิงมีความสะอาดมากกว่าน้ำมันปาล์มดิบ เนื่องจากผ่านกรรมวิธีที่ทำให้น้ำมันปาล์มโอดีอื่นสามารถนำมาบริโภคได้ด้วยแล้ว น้ำมันจึงมีความสะอาดมาก ดังนั้นปัญหาเกี่ยวกับการสึกหรอจากความสกปรกของเชื้อเพลิงก็จะมีน้อยกว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบ แต่ปัญหาที่อาจจะเกิดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอดีอื่น จะเป็นเรื่องเขม่าที่เกิดและเกาะตามหัวฉีดและห้องเผาไหม้ ซึ่งพบได้จากการตรวจพินิจชิ้นส่วนแล้วพบว่ามีเขม่าเกาะติดตามชิ้นส่วนอยู่มากพอสมควร

จากการตรวจพินิจชิ้นส่วนพบว่าเกิดผลกระทบจากการที่หัวฉีดเกิดการเสื่อมสภาพเร็วกว่ากำหนดในกรณีนี้ น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงทำให้การฉีดเชื้อเพลิงแย่ง ซึ่งมีผลให้อาจถึงขั้นหัวฉีดเสียได้ อีกทั้งหากหัวฉีดเกิดการรั่วซึมก็จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่แย่ง และสมรรถนะก็จะลดลงด้วย

สำหรับกรณีน้ำมันปาล์มโอดีอื่นจะพบว่าแม้ว่าควันดำจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากลักษณะสเปรย์ไม่ได้เสียไปเนื่องจากหัวฉีดเสีย ซึ่งจะทำให้เขม่าที่ติดตามหัวฉีดไม่เป็นยางเหนียวที่จะอุดตันหัวฉีด แต่จะเป็นเขม่านิ่มเป็นส่วนใหญ่

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำน้ำมันปาล์มดิบไปใช้งาน

1. เนื่องจากเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบจะเป็นไขที่อุณหภูมิห้อง จึงต้องทำการอุ่นเชื้อเพลิงก่อนจ่ายน้ำมันสู่กรองเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันการอุดตัน ยิ่งไปกว่านั้นควรทำการกรองน้ำมันปาล์มดิบก่อนเพื่อให้สิ่งสกปรกต่างๆ ออกไปจากน้ำมันปาล์มดิบก่อนการนำไปใช้เพื่อยืดอายุชิ้นส่วนต่างๆ ได้

2. หากนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็ก จะทำให้อายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นลดลง เนื่องมาจากการเกิดเศษโลหะในน้ำมันหล่อลื่นมากเกินไป อีกทั้งอายุการทำงานของหัวฉีด และปั๊มเชื้อเพลิง อาจลดลงเนื่องจากการอุดตันของหัวฉีด และ ปั๊มเชื้อเพลิง

3. การนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็ก นอกเหนือจากความสกปรกของน้ำมันปาล์มดิบที่ต้องระวังแล้ว ควรทำการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ในช่วงระยะเวลาที่สั้นลงกว่าปกติของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันดีเซล เช่น ควรทำการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นก่อนเวลาที่กำหนด เช่นอาจจะเปลี่ยนที่ชั่วโมงการใช้งานแค่ 80 ชั่วโมงเป็นต้น หรือควรทำการถอดชิ้นส่วนหัวฉีดออกมาทำความสะอาด

### 5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำน้ำมันปาล์มโอเลอินไปใช้งาน

1. สำหรับน้ำมันปาล์มโอเลอิน สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้ด้วย คุณสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสมในการใช้งาน แต่ต้องทำการนำมาใช้โดยต้องคำนึงถึงมลพิษ หรือ ควันดำที่ออกมาด้วย

2. การนำน้ำมันปาล์มโอเลอินมาใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็ก ให้ระวังในเรื่องการเกิดไขของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งเมื่อน้ำมันปาล์มโอเลอินเกิดไขขึ้นแล้ว จะทำให้กรองเชื้อเพลิงเกิดการอุดตัน ให้ทำการล้างกรองเชื้อเพลิง หรือทำการอุ่นให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิงคล้ายกับกรณีน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อกำจัดไขออกไป

### 5.2.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป

1. ควรศึกษาถึงสารปรุงแต่งและการทำความสะอาดให้กับกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อให้การนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนทำให้เครื่องยนต์สามารถใช้งานได้ทนทานยิ่งขึ้น

2. ควรทำการศึกษาโดยควบคุมปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด ซึ่งอาจมีผลกระทบทำให้เกิดการเสียหายที่เร็วกว่าปกติได้

3. ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบ เช่น หากทำการเก็บน้ำมันปาล์มดิบไว้ในเครื่องยนต์ แล้วจะทำให้เครื่องยนต์เสื่อมสภาพเร็วขึ้นหรือไม่

## รายการอ้างอิง

- [1] Heywood, J.B. Internal combustion engine fundamentals. Singapore: McGraw-Hill, 1988.
- [2] Sher, E. Handbook of air pollution from internal combustion engines – Pollutant formation and control. United States of America: Academic Press, 1998.
- [3] อารีย์ อรรถวณิช. พืชน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม : ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2532.
- [4] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก.288-2535. น้ำมันปาล์มสำหรับการบริโภค. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [5] Hartley, C.W.S. The oil palm. 2 nd edition. London: Longman, 1977.
- [6] สุรพล ราชภู่. วิศวกรรมการบำรุงรักษา. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2545.
- [7] ปรีชา อ่องอารีย์ และคณะ. การใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล (รายงานการวิจัย). วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
- [8] Focus Laboratories Ltd. Oil Analysis the complete course for maintenance professionals, (เอกสารประกอบการสัมมนา 15-17 ตุลาคม 2546).
- [9] Neil Robinson. Monitoring oil degradation with infrared spectroscopy. Technical bulletin issue 18 [Online]. Available from: <http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WZA018.pdf> [12 March 2004]
- [10] Yusuf Ali, and M.A. Hanna. Alternative diesel fuels from vegetable oils. Bioresource Technology 50 (21 July 1994): 153-163.
- [11] Pryor, R.W., M.A. Hanna, J.L. Schinstock, and L.L. Bashford. Soybean oil fuel in a small diesel engine. Transaction of the ASAE 26: 333-337.
- [12] Norbert H., Volker K., and Herwig. Performance, Exhaust Emission and Durability of modern diesel engines running on rapeseed oil. SAE paper No.910848 (25 February-1 March 1991).
- [13] M.A. Kalam, H.H. Masjuki. Emissions and deposit characteristics of a small diesel engine when operated on preheated crude palm oil. Biomass and Bioenergy 27 (2004) : 289 – 297



- [14] Pacific regional biomass energy program. News Archive February 2002 [Online].  
Available from : <http://www.pacificbiomass.org/archives/news0202.cfm>  
[November 2003]
- [15] Yu C.W., Bari S, and Ameen A. A comparison of combustion characteristics of waste cooking oils as fuel in a D.I. Diesel Engine. Proc. I. MECH. E. part D journal of automobile engineering 216, 3 (n.d.) : 237-243.
- [16] Jones, S., and Charles L. Peterson. Using unmodified vegetable oils as a diesel fuel extender-a literature review. [Online]. Available from:  
[http://www.uidaho.edu/bae/biodiesel/raw%20vegetable%20oils\\_literature%20review.doc](http://www.uidaho.edu/bae/biodiesel/raw%20vegetable%20oils_literature%20review.doc) [November 2003]
- [17] Ziejewski, M., and Hans J. Goettler. EMA Durability tests on high oleic sunflower and safflower oils in diesel engines. SAE paper No.961846 (26-28 August 1996).
- [18] Engelman, H. W., D. A. Guenther, and T. W. Silvis. Vegetable oil as a diesel fuel. Diesel & Gas Engine Power Division of ASME No.78-DGP-19 (1978).
- [19] Lim, T. H. Performance and emission analyses of diesel engine using heated blends of crude palm oil (CPO) with lighter fuel. MSc, University Sains Malaysia. 2001.
- [20] Bari, S., T. H. Lim, and C. W. Yu. Effects of preheating of crude palm oil (CPO) on injection system, performance and emission of a diesel engine. Renewable Energy Journal 27 (2002): 339-351.
- [21] Bari, C. W. Yu, and T. H. Lim. Performance deterioration and durability issues while running a diesel engine with crude palm oil. Proc. I. MECH. E. part D journal of automobile engineering vol.216 (2002): 785-792.
- [22] ทบวงมหาวิทยาลัย. โครงการวิจัยการใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล. รายงาน. ทม 0204(5)/25498. 3 ธันวาคม 2544.
- [23] สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). โครงการวิจัยการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มติดกับเครื่องยนต์เกษตรกรรม. (รายงาน สำนักพระราชวัง พฤษภาคม 2545).
- [24] กรมวิชาการเกษตร. โครงการวิจัยการใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล. (รายงาน. กษ 0901/461. 8 มีนาคม 2545).

- [25] Gumpon Prateepchaikul and Teerawat Apichato. Palm Oil as a Fuel for Agricultural Diesel Engines: Comparative Testing against Diesel Oil. SONGKLANAKARIN Journal of Science and Technology 25 (2003).
- [26] พิชญ์ ปริญญาจารย์. ผลของการใช้น้ำมันปาล์มดีเซลในเครื่องยนต์ CI ขนาดเล็กที่ใช้ใน การเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
- [27] เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์. การใช้น้ำมันปาล์มดีเซลในเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ของรถบรรทุกขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [28] บริษัทแสงชัยมิเตอร์ จำกัด. Measuring and factory automation equipment. เล่มที่ 2
- [29] Weng, W., and D.E. Richardson. Cummins smart oil consumption measuring system. SAE paper No. 2000-01-0927 March 6-9 (2002): 3-4.
- [30] อนันต์ จิตรานุกเคราะห์. การศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการ อัดขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [31] ISO 3046 Internal Combustion Engines – Performance  
Part 1 - Engines for land, rail-traction and marine use - Standard reference conditions and declamations of power, fuel consumption and lubricating oil consumption, (n.d.)
- [32] British Standard. BS 1042. Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits. Section 1.1, Specification for Square-edged Orifice plates, Nozzles and Venturi Tubes inserted in Circular cross-section; Conduits running full. 2<sup>nd</sup> ed. BIS standard, 1992
- [33] Cited in Kastner, L.J. The air box method of measuring air consumption. Proc. I. Mech. E., 1947, 194.

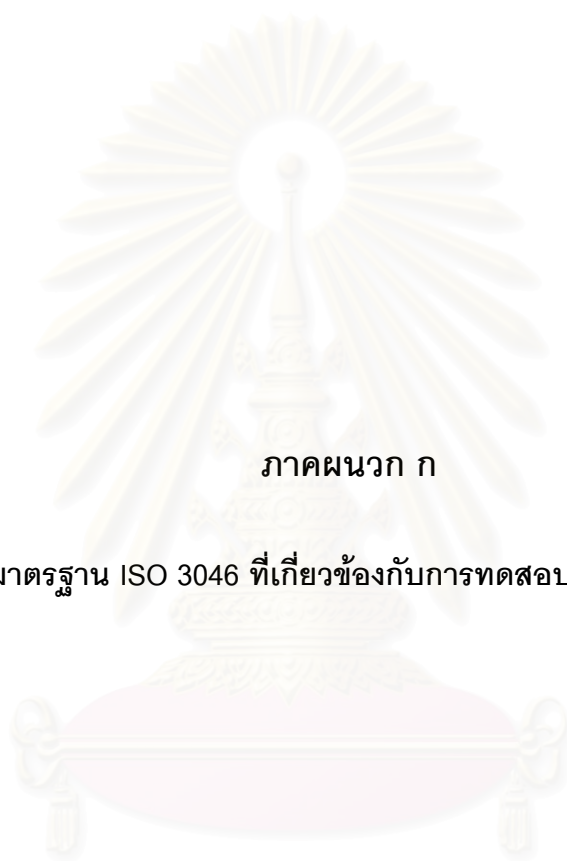
## บรรณานุกรม

- [1] Owen, K., and Trevor Coley. Automotive Fuels Reference Book. 2 nd edition. United states of America: Society of Automotive Engineers, 1995.
- [2] Whith, F.M. Fluid Mechanics. 4 th edition. Boston: McGraw-Hill, 1999.
- [3] Blaich, B. Diesel Fuel Injection. 1 st edition. Germany: Robert Bosch GmbH, 1994.
- [4] Ding, J. Determining Fatigue Wear Using Wear Particle Analysis Tools [Online]. Available from:  
[http://www.practicingoilanalysis.com/article\\_detail.asp?articleid=526&relatedbookgroup=WearDebris](http://www.practicingoilanalysis.com/article_detail.asp?articleid=526&relatedbookgroup=WearDebris) [12 March 2004]
- [5] Quesnel, B. Direct-Reading and Analytical Ferrography [Online]. WearCheck Canada 1995. Available from:  
<http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WCA001.htm> [12 March 2004]
- [6] Geach, A. Infrared Analysis as a Tool for Assessing Degradation in Used Engine Lubricants [Online]. WearCheck Africa. 1996. Available from:  
<http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WCA002.htm> [12 March 2004]
- [7] Geach, A. Detecting particles in oil (Part 1). Technical bulletin issue 24 [Online] 2002. Available from: <http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WZA024.pdf> [12 March 2004]
- [8] Geach, A. Detecting particles in oil (Part 2). Technical bulletin issue 25 [Online] 2002. Available from: <http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WZA025.pdf> [12 March 2004]
- [9] สุรพล ราชภูริ์นุ้ย. การวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์และการบำรุงรักษาเชิงรุก. จำนวน 300 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

มาตรฐาน ISO 3046 ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบเครื่องยนต์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## มาตรฐาน ISO 3046 ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบเครื่องยนต์ [31]

### International Combustion Engines - Performance

Part 1 - Engines for land, rail-traction and marine use - Standard reference conditions and declarations of power, fuel consumption and lubricating oil consumption

#### ก.1 Scope

This report of ISO 3046 specifies the standard reference conditions and the methods of declaring of power, fuel consumption and lubricating oil consumption for reciprocating internal combustion engines using liquid or gaseous for particular engine applications.

#### ก.2 Field of application

This part of ISO 3046 covers reciprocating internal combustion engines for land, rail-traction and marine use, excluding engines to propel agricultural tractors, road vehicles and aircraft.

This part of ISO 3046 may be applied to engines used to proper road construction and earth-moving machines, industrial trucks and for other applications where no suitable International Standard for these engines exist.

#### ก.3 References

ISO1000, SI units and recommendation for the use of their multiples and of certain other units.

ISO 1204, Reciprocating internal combustion engines - Designation of the direction of rotation.

ISO 1205, Reciprocating internal combustion engines - Designation of the direction of cylinders.

ISO 1585, Road vehicles - Engine test code - Net power.

ISO 2534, Road vehicles - Engine test code - Gross power.

ISO 2710, Reciprocating internal combustion engines - General definitions.

ISO 3046/2, Reciprocating internal combustion engines - Performance - Part 2 : Engine tests.

ISO 3046/4, Reciprocating internal combustion engines - Performance - Part 4 :  
Speed governing.

ISO 3046/6, Reciprocating internal combustion engines - Performance - Part 6 :  
Overspeed protection

#### n.4 Units and terms

n.4.1 The units used are those of the International System of Units (SI Unit) described in ISO 1000.

n.4.2 The general engine terms used are as defined in ISO 2710.

#### n.5 Standard reference conditions

For the purpose of determining the power and fuel consumption of engines, the following standard reference conditions shall be used :

Total barometric pressure :

$$P_r = 100 \text{ kPa}$$

Air temperature :

$$T_r = 300 \text{ K (27 } ^\circ\text{C)}$$

Relative humidity :

$$\phi_r = 60 \%$$

Charge air coolant temperature :

$$T_{cr} = 300 \text{ K (27 } ^\circ\text{C)}$$

If other reference conditions are chosen, these shall be stated.

#### NOTES

1. Relative humidity of 60% corresponds to a water vapor pressure of 2,133 kPa (16 mmHg) at a temperature of 300 K.
2. The air density at the standard reference conditions is equivalent to that at 98 kPa (376 mmHg) and 20 °C and to that at 101 kPa (760 mmHg) and 30 °C
3. For automotive type inboard and outboard marine propulsion engines, the standard reference conditions in ISO 1585 and ISO 2534 may be applied but they shall be stated.

#### n.6. Auxiliaries

##### n.6.1 Introduction

In order to show alertly the conditions under which a power is determined, it is necessary to distinguish those auxiliaries which affect the final shaft output of the engine and also those which are necessary for the continuous or repeated use of the engine. Items of equipment fitted to the engine and without which the engine could not in any circumstance operate at its declared power are considered to be engine components and are not therefore, classed as auxiliaries.

(Such as fuel injection pump, exhaust turbocharger and charge air cooler are in this category of engine components.)

**n.6.2 dependent auxiliary** : Item of equipment, the presence or absence of which affects the final shaft output of the engine.

**n.6.3 independent auxiliary** : Item of equipment which uses power supplied from a source other than the engine.

**n.6.4 essential auxiliary** : Item of equipment which is essential for the continued or repeated operation of the engine.

**n.6.5 non-essential auxiliary** : Item of equipment which is not essential for the continued or repeated operation of the engine.

## **n.7 Declarations of power**

### **n.7.1 Introduction**

#### **n.7.1.1 Purpose of statement of power**

Statements of power are required for two main purposes :

- a) the declaration by a manufacturer of the value of the power which his engine will deliver under a given set of circumstances. This declared value is known as the "rated power".
- b) the verification by measurement that the engine delivers the power which has been declared in a), under the same set of circumstances or after proper allowance has been made for any difference in circumstance.

To specify the set of circumstances under which the declared value of a power would be achieved, the declaration shall state :

- a) the kind of statement of power (see 7.4) and of necessary, the ambient and operating condition (see 7.4.2).
- b) the kind of power output (see 7.3).

- c) the kind of power (see 7.3).
- d) the corresponding engine speed.

#### NOTE

1. The term used in a) to c) may be combined, for example, continuous net brake fuel stop power.
2. Where appropriate to the engine application and the method of manufacture, the power achieved may be subject to a tolerance on the declared power. The existence of and its magnitude shall be stated by the manufacturer.
3. Measurement of the powers referred to in this International Standard shall be determined in accordance with ISO 3046/2.

#### **n.7.1.2 Unit of power**

Power shall be expressed in kilowatts (kW) The addition of the equivalent metric or imperial “horsepower” is permitted for a transitional period.

#### **n.7.1.3 Power and torque**

For engines delivering power by a shaft or shafts, any power in this International Standard is a quantity proportional to the mean torque, calculated or shafts transmitting this torque.

For engines delivering power other than by a shaft or shafts, reference shall be made to the appropriate International Standard for the driven for the driven machine.

#### **n.7.1.4 Engine speed**

The speed of an engine is the mean rotational speed of its crankshaft or crankshatts in revolution per minute, except in the case of “free piston” engines where the speed is the number of cycles per minute of the reciprocating components.

#### **n.7.1.5 Engine with integral gearing**

When stating the power of an engine fined with an integral (built-in) speed increasing or reducing device, the speed of the driving shaft extremist shall also be given at the declared engine speed.

#### **n.7.2 Kinds of power**

##### **n.7.2.1 Indicated power**

The total power developed in the working cylinders by the gases on the combustion side of the working pistons.

##### **n.7.2.2 Brake power**

The power of the sum of the powers measured at the extremity of the engine driving shaft or shafts.

n.7.2.2.1 Any statement of brake powers shall be supported by the following list of auxiliaries :

- a) essential dependent auxiliaries as defined in 6.2 and 6.4;
- b) essential independent as define in 6.3 and 6.4;
- c) non-essential dependent auxiliaries as defined in 6.2 and 6.5.

The power absorbed by the independent and the non-essential dependent auxiliaries may be significant, in such cases, their power requirement shall be declared.

Note - Examples of typical auxiliaries are listed in annex A for guidance purposes. These lists are not necessary complete.

#### **n.7.2.3 Net brake power**

The brake power measured when the engine is using only the auxiliaries listed in (7.2.2 a).

### **n.7.3 Kinds of power output**

#### **n.7.3.1 continuous power**

Power which an engine is capable of delivering continuous, between the normal maintenance nitervals stated by the manufacturer, at stated speed and under stated ambient conditions, the maintenance prescribed by the manufacturer being carried out.

#### **n.7.3.1 Overload power**

Power which an engine may be permitted to deliver, at stated ambient conditions, immediately after working at the continuous power.

The duration and frequency of use of overload power which is permitted will depend on the service application but adequate allowance shall be made in setting the engine fuel stop permit the overload power shall be expressed as a percentage of the continuous power, together with the duration and frequency permited and the appropriate engine speed.

Unless otherwise stated an overload power of 110% of the continuous power at a speed corresponding to the engine application is permitted for a period of 12 hours of operation.

**NOTES**



1. The power of marine main propulsion engines is normally limited to to continuous power, so that the overload power cannot be given in service. However, for special applications, marine main propulsion engines may develop overload power in service.
2. If the engine application is not determined, the engine manufacturer shall specify the overload power and the corresponding engine speed.

#### **๓.7.3.2 Fuel stop power**

Power which an engine is capable of delivering during a stated period corresponding to its application, and at stated speed and under stated ambient conditions, with the fuel limit so that the fuel stop power cannot exceeded.

#### **๓.7.4 Kinds of statements of power**

##### **๓.7.4.1 ISO powers**

###### **๓.7.4.1.1 ISO power**

Power determined under the operating conditions of the manufacturer's test bed and adjusted to the standard reference conditions in clause 5.

###### **๓.7.4.1.2 ISO standard power**

The name given of the continuous net brake power which the engine manufacturer declares that an engine is capable of delivering continuously, between the normal maintenance intervals stated by the manufacturer, and under the following conditions :

- a) at a stated speed under the operating conditions of the engine manufacturer's test bed;
- b) with the declared power adjusted to the standard reference conditions given in clause 5;
- c) the maintenance prescribed by the engine manufacturer being carried out.

##### **๓.7.4.2 Service power**

Power determined under the ambient and operating conditions of an engine application.

To establish service power, the following conditions shall be taken into account :

- a) the ambient conditions, or any nominal ambient conditions according to the special requirements of inspecting and/or legislative authorities and/or classification societies, as specified by the customer (see clause 12);
- b) the normal duty of the engine;

- c) the expected interval between maintenance periods;
- d) the nature and amount of the supervision required;
- e) all information relevant to the operation of the engine in service (see clauses 12 and 13).

## **๓.8. Declarations of fuel consumption**

### **๓.8.1 Definitions**

#### **๓.8.1.1 Fuel consumption**

The quantity of fuel consumed by an engine per unit of time at a state power and under stated conditions.

The quantity of liquid fuels shall be expressed in mass units (kg).

The quantity of gaseous fuels shall be expressed in energy units (J).

#### **๓.8.1.2 Specific fuel consumption**

The fuel consumption per unit of power.

#### **๓.8.1.3 ISO specific fuel consumption**

The name given in the specific fuel consumption at the ISO standard power.

If not otherwise specified by the manufacturer, a declared specific fuel consumption shall be considered to be the ISO specific fuel consumption.

### **๓.8.2 Reference calorific value of fuels**

#### **๓.8.2.1 Liquid fuel engines**

The declared specific fuel consumption of a liquid fuel engine shall be related to a reference lower calorific value of 42,000 kJ/kg (10,030 kcal/kg).

#### **๓.8.2.2 Gas engines**

The declared specific fuel consumption of a gas engines shall be related to a stated lower calorific value the gas. The type of gas shall be declared.

#### **๓.8.2.3 Specific fuel consumption declarations**

The specific fuel consumption of an engine shall be declared at :

- a) the ISO standard power;
- b) (if required by special agreement) at any other declared powers and at specific engine speeds appropriate to the particular engine application.

Unless otherwise states, a deviation of +5% is permitted for the specific fuel consumption for the declared power.

## n.9. Declarations of lubricating oil consumption 1 Lubricating oil consumption

### n.9.1 Lubricating oil consumption

The quantity of lubricating oil consumed by an engine per unit of time. This quantity is used for guidance. It shall be expressed in litres or kilograms per engine operating hour at the declared power and engine speed.

**n.9.2** The lubricating oil consumption after a stated period of running-in shall be declared.

**n.9.3** The oil discarded during an engine oil change shall be not included in the lubricating oil consumption declaration.

## n.10. Adjustment of net brake power for ambient conditions

**n.10.1** When it is required to operate the engine under conditions difference from the standard reference conditions given in clause 5, the net brake power output shall be adjusted to or from the standard reference conditions by the following formulae (see note 1) :

$$P_x = \alpha P_r \quad (\text{n-1})$$

$$\alpha = k - 0.7(1-k) \left( \frac{1}{\eta_m} - 1 \right) \quad (\text{see note 2}) \quad (\text{n-2})$$

$$k = \left( \frac{p_x - a\phi_x p_{sx}}{p_r - a\phi_r p_{sr}} \right)^m \left( \frac{T_r}{T_x} \right)^n \left( \frac{T_{cr}}{T_{cx}} \right)^q \quad (\text{n-3})$$

**n.10.2** In the case of turbocharged engines in which the limits of turbocharger speed and turbocharger turbine inlet temperature have not been reached at the declared power under standard reference conditions, the manufacturer may declare substitute reference conditions to or from which power adjustments is to be made.

The following formulae (4) and (5) will then be used instead of formula (3)

$$k = \left( \frac{p_x}{p_r} \right)^m \left( \frac{T_r}{T_x} \right)^n \left( \frac{T_{cr}}{T_{cx}} \right)^q \quad (\text{n-4})$$

$$p_{ra} = P_r \times \left( \frac{\pi_r}{\pi_{max}} \right) \quad (\text{n-5})$$

Where :

$P_r$  is the brake power;

$p_r$  is the standard reference total barometric pressure;

$p_{sr}$  is the saturation vapour pressure under standard reference conditions;

$\phi_r$  is the standard reference relative humidity;

$T_r$  is the standard reference absolute air temperature;

$T_{cr}$  is the standard reference absolute charge or coolant temperature;

$P_{ra}$  is the substitute reference total barometric pressure given by formula (5);

$T_{ra}$  is the substitute reference absolute air temperature to be stated by the manufacturer;

$\pi_r$  is the boost pressure ratio at declared power under standard reference conditions to be stated by the manufacturer;

$\pi_{max}$  is the maximum available boost pressure ratio to be stated by the manufacturer;

$\alpha$  is the power adjustment factor;

$k$  is the ratio of indicated power;

$\eta_m$  is the mechanical efficiency (see note 4);

$P_x$  is the brake power under the conditions being considered;

$p_x$  is the total barometric pressure condition being considered;

$p_{sx}$  is the saturation vapour pressure under pressure the conditions being considered;

$\phi_x$  is the relative humidity condition being considered;

$T_x$  is the absolute air temperature being considered;

$T_{cr}$  is the absolute charge air coolant temperature at charge air cooler inlet being considered.

The factor  $a$  and exponent  $m$ ,  $n$ , and  $q$  have the numerical value given in table 1 (see note 5).

#### NOTES

1. For the convenience of users of these formulae, reference may be made to tables and nomograms in annexes B to O, which also include numerical examples.
2. When the ambient conditions are more favourable than the standard reference conditions, the declared power under the ambient conditions may be limited by the manufacturer to the declared power at the standard reference conditions.
3. If the relative humidity is not known, a value of 60% should be assumed in formulae references A, E and G in table 1.

For all other formulae references the power adjustment is independent of humidity ( $a = 0$ ).

4. The value of mechanical efficiency shall be stated by the engine manufacturer. In the absence of any such statement, the value of  $\eta_m = 0.80$  will be assumed.

5. When declaring the ISO standard power the engine manufacturer shall state which of the formulae references in table 1 is applicable.

**Table n-1 - Numerical values for power adjustment**

Engine type	Condition		Formula reference	Factor	Exponents		
				a	m	n	q
Compression ignition engine and dual-fuel engines	Non - turbocharged	Power limited by air excess	A	1	1	0.75	0
		Power limited by thermal reason	B	0	1	1	0
	Turbocharged without charge air cooling	Low and medium speed	C	0	0.7	2	0
	Turbocharged with charge air cooling	four-stroke engine	D	0	0.7	1.2	1
Spark ignition engines using gaseous fuel	Non - turbocharged		E	1	0.86	0.56	0
	Turbocharged with charge air cooling	Low and medium speed four-speed engine	F	0	0.57	0.55	1.75
Spark ignition engines using liquid fuel	Naturally aspirated		G	1	1	0.5	0



NOTE - The factors and exponents given in table 1 have been established by tests on a number of engines to be generally representative and shall be used in the absence of any other specific information; for example in formula reference D, for an engine with the charge air cooled by engine jacket water, the value for exponent q could be zero. At present, they apply only to the type of engines specified but table 1 will be extended to include other types when sufficient are available.

#### **n.11 Adjustment of fuel consumption for ambient conditions**

**n.11.1** When it is required to operate the engine under conditions different from the standard reference conditions given in clause 5, the fuel consumption will differ from that declared for the standard reference conditions and shall be adjusted to or from the standard reference conditions.

The following formulae shall be used if other methods are not declared by the engine manufacturers :

$$b_x = \beta b_r \quad (\text{n-6})$$

where

$$\beta = k/\alpha \quad (\text{n-7})$$

where :

$b$  is the specific fuel consumption

$\beta$  is the fuel consumption adjustment factor

$\alpha$  is the power adjustment factor (see 10.1)

$k$  is the ratio of indicated power (see 10.1)

Subscript r corresponds to values under the standard reference conditions.

Subscript x corresponds to values the conditions being considered.

NOTE - For the convenience of users of these formulae, reference may be made to the tables and nomograms in annexes B to 0, which also include numerical examples.

#### **n.12 Information to be supplied by the customer**

The customer shall supply the following information concerning the required power :

a) The application and the power required from the engine and details arising therefrom.

b) The expected frequency and duration of the required powered and the corresponding engine speeds.

## c) Site conditions

- 1) Site barometric pressure (highest and lowest reading available; if no pressure data are available the altitude above sea level).
- 2) The monthly mean minimum and maximum air temperatures during the hottest and coldest months of the year.
- 3) The highest and lowest ambient air temperatures around the engine.
- 4) The relative humidity (or alternatively the water vapour pressure or the wet and dry bulb temperature) ruling at the maximum temperature conditions.
- 5) The maximum and minimum temperature of the cooling water available.

d) The specification and lower calorific value of the fuel available.

e) Whether the engine is to comply with the requirements of any classification society or with special requirements.

f) The probable period for which the engine will be running continuously, and the duration of maximum and minimum load.

g) Any other information appropriate to the particular engine application.

**n.13 Information to be supplied by the engine manufacturer**

The engine manufacturer shall supply the following information :

a) The declared powers.

b) The corresponding crankshaft and output shaft speeds.

**NOTE** - For certain applications of variable engines it is common practice to supply a power/speed diagram covering the ranges of power over which the engine can be used in continuous and in short period operation.

c) The direction of rotation (see ISO 1204).

d) The number and arrangement of cylinders (see ISO 1205).

e) Whether the engine is two-stroke or four-stroke, naturally aspirated, mechanically pressure charge or turboccharged and whether with or without charge air cooler.

f) The quantity of air required for the operation of the engine for :

- 1) combustion and scavenging;

2) cooling and ventilation.

- g) The method of starting, apparatus supplied and additional apparatus required.
- h) The type and grade of lubricating oil(s) recommended.
- j) The type of governing, with speed droop of required (see ISO 3046/4 and ISO 3046/6).

If for variable speed duties, the working speed range and the idling speed.

If necessary, the critical speed range shall be indicated.

- k) The method of cooling and the capacity of the cooling system with the rates of circulation of the cooling fluids.
- m) (From air cooled engines only.) Whether hot air discharge ducting can be fitted.
- n) A schedule recommended maintenance and overhaul periods.
- p) Specifications and lower calorific values of fuels recommended.
- q) Maximum permissible back-pressure in the exhaust system and the maximum permissible intake depression.
- r) Any other information appropriate to the particular engine application.



ภาคผนวก ข

การวัดอัตราการไหลของอากาศ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

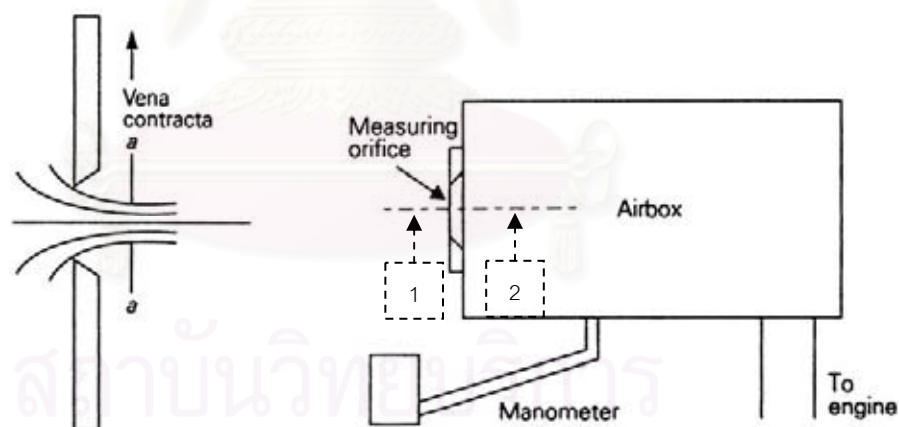
## การวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยวิธี Air box method [32]

การวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยวิธี Air box method เป็นการวัดโดยใช้แผ่นออริฟิซ ประกอบกับถังพักอากาศ ซึ่งถังพักอากาศจะช่วยลดการกระเพื่อมของอากาศที่ถูกดูดตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ ทำให้อากาศที่ไหลผ่านออริฟิซมีอัตราการไหลที่สม่ำเสมอสามารถวัดความดันตกคร่อมได้ถูกต้องมากขึ้น

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออริฟิซโดยประมาณ ที่อัตราการไหลต่างๆ แสดงดังตาราง ข-1

ตาราง ข-1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิซโดยประมาณที่อัตราการไหลต่างๆ

Orifice diameter (mm.)	Air Flow rate (m <sup>3</sup> /s)	Mass Flow rate (kg/s)
10	0.002	0.002
20	0.008	0.009
50	0.048	0.057
100	0.19	0.23
150	0.43	0.51



รูปที่ ข-1 แสดงภาพการวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยวิธี Air box method [32]

ภาพถ่ายแสดงการไหลของอากาศผ่านแผ่น Orifice plate

ภาพขวาแสดงภาพ Orifice flow meter

ปริมาตรของถังที่เล็กที่สุดที่จะทำให้ไม่เกิดการกระเพื่อมของอากาศที่ไหล ได้ถูกวิเคราะห์โดย Kastner [32] ดังสมการ (ข-1)



$$V_b = \frac{417 \times 10^6 K^4 d^2}{N_c V_s n_{\min}^2} \quad (\text{ข-1})$$

- โดยที่  $V_b$  คือ ปริมาตรถังพักอากาศที่เล็กที่สุด ( $\text{m}^3$ )  
 $K$  คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และ  
 มีค่าเท่ากับ 2 สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ  
 $d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ orifice plate (m)  
 $N_c$  คือ จำนวนรอบอกสูบของเครื่องยนต์  
 $V_s$  คือ ปริมาตรช่วงชักลูกสูบ ( $\text{m}^3$ )  
 $N_{\min}$  คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่น้อยที่สุด (rev/min)  
 สมมติให้อากาศที่ไหลผ่าน orifice plate เป็นของไหลอัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow)  
 และพิจารณาให้ความหนาแน่นของอากาศคงที่ จากสมการเบอร์นูลลี จะได้ว่า

$$\frac{p_1}{\gamma_{\text{air}}} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma_{\text{air}}} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad (\text{ข-2})$$

- โดยที่  $p$  คือ ความดัน (kPa)  
 $v$  คือ ความเร็วอากาศ (m/s)  
 $\gamma_{\text{air}}$  คือ น้ำหนักจำเพาะของอากาศ ( $\text{kg/m}^2\text{-s}^2$ ) =  $\rho_{\text{air}} g$   
 $\rho_{\text{air}}$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ ( $\text{kg/m}^3$ ) เท่ากับ  $1.165 \text{ kg/m}^3$  ที่  $30^\circ\text{C}$   
 $Z$  คือ ระดับความสูง (m)  
 $g$  คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $\text{m/s}^2$ ) เท่ากับ  $9.807 \text{ m/s}^2$   
 หมายเหตุ ตัวห้อย 1 และ 2 คือตำแหน่งสภาวะ 1 และ 2 ในรูป ข-1 ขวา ตามลำดับ  
 เนื่องจากสภาวะ 1 เป็นอากาศนิ่ง และทั้งสองสภาวะอยู่ในระดับความสูงเดียวกัน ดังนั้น  
 จะได้ความเร็วของอากาศ ตามสมการที่ (ข-3)

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{\text{air}}}} \quad (\text{ข-3})$$

การไหลผ่าน orifice จะเกิด Vena contracta ซึ่งจะทำให้การไหลจริงน้อยกว่าทฤษฎีเสมอ  
 ดังนั้นเมื่อคิดการไหลแบบคงตัว จะได้อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ คือ

$$\dot{m}_a = C_{D0} \rho_{\text{air}} v A_0 \quad (\text{ข-4})$$

โดยที่  $C_{DO}$  คือ Discharge coefficient ของ orifice plate

$A_o$  คือขนาดของ orifice ( $m^2$ )

การวัดผลต่างความดันตกคร่อม orifice plate จะวัดโดยใช้मानometer ซึ่งจะได้ค่า head ในหน่วย  $mmH_2O$  ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาผลต่างความดันตกคร่อม orifice plate ได้จากสมการ

$$\Delta p = \rho_{H_2O} g \Delta h \quad (ข-5)$$

โดยที่  $\Delta h$  คือ ผลต่าง Head ที่อ่านได้จากमानometer ( $mmH_2O$ )

$\rho_{H_2O}$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ ( $kg/m^3$ ) เท่ากับ  $997 kg/m^3$

เมื่อนำสมการ (ข-3) และ (ข-5) มาแทนลงในสมการ (ข-4) จะได้สมการที่นำไปใช้งาน คือ

$$m_a = C_{DO} A_o \sqrt{2\rho_{air} \rho_{H_2O} g \Delta h} \quad (ข-6)$$

ดังนั้นจากสมการ (ข-7) และ (ข-8) จะสามารถหาอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศ และ Equivalent ratio ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F/A = \frac{\rho_f V / t}{C_{DO} A_o \sqrt{2\rho_{air} \rho_{H_2O} g \Delta h}} \quad (ข-7)$$

$$\text{Equivalent ratio} = \frac{(F/A)}{(F/A)_s} \quad (ข-8)$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ข้อมูลในการทดสอบสมรรถนะ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ  
ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระสูงสุด

Data No.	Speed (rev/min)	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
		(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	2550	0.002	0.02	0.006	307.7	101.17	0.1677	205	96.5	69.8	40.6	-	16.6	0.13
2	2524	1.694	16.62	4.394	307.3	101.17	0.3726	326	94.9	78.3	42.1	-	16.2	1.25
3	2476	3.332	32.69	8.477	308.0	101.17	0.6132	487	96.0	87.0	45.4	-	16.2	1.26
4	2449	3.892	38.18	9.794	308.5	101.15	0.7381	586	106.2	98.8	46.6	-	15.8	1.05
5	2399	3.966	38.91	9.774	307.3	101.15	0.7320	584	108.6	99.1	46.3	-	15.5	3.22
6	2300	4.227	41.47	9.987	308.0	101.15	0.7461	603	109.5	97.3	46.2	-	14.9	1.59
7	2199	4.375	42.91	9.883	308.5	101.15	0.7430	608	110.2	97.2	35.2	-	13.8	1.74
8	1999	4.678	45.89	9.607	308.6	101.15	0.7207	609	110.4	99.4	46.5	-	12.5	4.30
9	1798	4.905	48.12	9.061	307.6	101.15	0.6896	597	110.1	99.2	46.9	-	10.5	4.89
10	1600	4.966	48.72	8.163	307.9	101.15	0.6191	566	108.1	98.8	35.1	-	8.9	4.89
11	1406	4.919	48.26	7.105	308.1	101.16	0.5579	547	106.7	99.0	47.5	-	8.7	5.39
12	1213	4.815	47.23	6.000	307.7	101.17	0.4841	521	105.1	98.6	34.8	-	3.3	5.16
13	1007	4.774	46.83	4.938	308.0	101.17	0.4008	493	104.0	97.2	47.5	-	1.2	4.04

ตารางที่ ค-2 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.003	0.03	0.004	307.9	101.49	0.0558	120	56.8	65.4	45.6	-	14.6	1.0
2	0.500	4.91	0.615	308.0	101.49	0.0829	139	59.6	68.3	46.3	-	14.5	3.9
3	1.007	9.87	1.246	308.1	101.49	0.1136	173	62.7	70.7	40.4	-	14.5	4.0
4	1.504	14.75	1.857	308.2	101.49	0.1405	203	68.8	75.4	40.7	-	14.5	3.2
5	2.002	19.64	2.463	308.2	101.50	0.1706	241	69.4	79.2	40.8	-	14.3	3.5
6	2.509	24.62	3.096	308.5	101.51	0.2028	280	75.6	82.8	41.0	-	14.2	3.9
7	2.999	29.42	3.679	308.6	101.52	0.2374	322	79.5	88.8	41.5	-	14.1	5.9
8	3.501	34.35	4.311	308.7	101.53	0.2761	362	80.3	91.5	42.9	-	13.9	7.9
9	4.010	39.34	4.967	308.8	101.53	0.3344	419	85.1	96.8	43.5	-	13.7	25.8
10	4.507	44.21	5.579	309.0	101.54	0.3841	473	88.0	100.5	44.3	-	13.6	28.6
11	4.973	48.79	6.083	309.6	101.58	0.5277	493	92.2	57.9	45.2	-	13.3	51.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ค-3 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.006	0.06	0.009	309.7	101.62	0.0646	113	57.9	63.8	46.4	-	16.6	0.89
2	0.499	4.89	0.717	309.8	101.63	0.0966	141	65.4	69.3	42.8	-	16.5	0.15
3	1.004	9.85	1.440	309.9	101.62	0.1325	179	69.5	73.8	43.8	-	16.4	0.32
4	1.501	14.72	2.161	309.9	101.62	0.1662	217	73.9	77.5	43.1	-	16.3	0.46
5	2.003	19.65	2.877	309.9	101.62	0.2012	253	76.6	80.1	42.8	-	16.1	0.35
6	2.515	24.67	3.614	309.9	101.63	0.2370	292	79.7	85.6	42.9	-	16.0	0.32
7	3.007	29.49	4.318	310.0	101.63	0.2746	328	81.4	89.2	43.2	-	15.9	0.40
8	3.506	34.39	5.041	310.0	101.63	0.3140	370	85.4	91.8	43.6	-	15.8	0.38
9	4.007	39.31	5.762	310.1	101.62	0.3597	415	89.0	97.5	44.0	-	15.6	0.67
10	4.506	44.21	6.472	310.1	101.62	0.4189	476	90.3	100.0	44.7	-	15.5	1.47
11	4.904	48.10	7.005	310.3	101.63	0.5867	533	93.7	60.1	45.3	-	15.3	5.39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-4 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1600 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.008	0.07	0.012	310.0	101.67	0.0773	127	62.0	59.8	46.1	-	18.6	0.28
2	0.499	4.90	0.820	309.9	101.67	0.1139	155	60.7	74.6	47.1	-	18.7	0.18
3	1.003	9.84	1.646	309.9	101.67	0.1516	189	73.6	78.0	48.3	-	18.5	0.22
4	1.503	14.74	2.468	309.8	101.66	0.1908	225	76.3	81.3	45.3	-	18.4	0.21
5	2.009	19.71	3.299	309.7	101.66	0.2346	266	80.9	85.2	43.8	-	18.3	0.45
6	2.503	24.56	4.111	309.7	101.66	0.2790	307	82.8	88.3	43.2	-	18.1	0.45
7	3.005	29.48	4.929	309.8	101.65	0.3224	351	86.2	90.7	43.1	-	17.9	0.57
8	3.497	34.30	5.750	309.9	101.65	0.3700	395	90.7	94.7	43.4	-	17.8	0.60
9	4.004	39.28	6.574	309.8	101.65	0.4188	439	94.0	95.5	43.9	-	17.6	0.59
10	4.516	44.30	7.400	309.9	101.64	0.4841	498	96.0	98.5	44.3	-	17.4	1.65
11	4.958	48.63	8.135	310.1	101.64	0.6524	546	100.9	66.7	44.8	-	17.5	4.89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-5 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1800 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.007	0.07	0.013	309.8	101.70	0.0925	137	68.8	69.9	45.4	-	21.6	0.05
2	0.500	4.91	0.923	309.6	101.69	0.1333	167	71.7	63.3	46.2	-	21.3	0.18
3	1.006	9.86	1.855	309.7	101.68	0.1755	204	65.0	74.3	44.8	-	21.4	0.22
4	1.502	14.73	2.775	309.6	101.67	0.2225	239	81.3	77.1	43.8	-	21.2	0.21
5	2.002	19.64	3.697	309.7	101.67	0.2658	278	83.2	82.4	43.1	-	21.1	0.29
6	2.505	24.58	4.624	309.7	101.66	0.3138	320	87.2	86.7	42.8	-	21.0	0.42
7	3.004	29.47	5.571	309.7	101.65	0.3742	371	89.6	87.5	42.9	-	20.9	1.10
8	3.507	34.41	6.493	309.7	101.64	0.4318	419	91.8	90.5	43.2	-	20.7	1.31
9	4.004	39.28	7.401	309.7	101.64	0.4933	473	95.9	94.3	43.7	-	20.5	1.66
10	4.507	44.21	8.336	309.8	101.64	0.5727	537	99.8	99.0	44.1	-	20.3	2.58
11	4.879	47.86	9.004	310.0	101.64	0.7137	577	102.3	64.4	44.6	-	20.7	4.89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-6 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2000 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.006	0.06	0.013	309.7	101.67	0.1082	152	70.5	66.5	45.2	-	24.3	0.03
2	0.499	4.90	1.023	309.6	101.67	0.1537	184	74.1	70.0	45.9	-	24.2	0.17
3	0.999	9.80	2.048	309.6	101.66	0.2002	220	78.4	66.3	46.2	-	24.3	0.28
4	1.504	14.75	3.088	309.6	101.66	0.2491	255	68.0	80.8	44.0	-	24.3	0.27
5	2.002	19.64	4.109	309.6	101.65	0.2995	293	85.8	86.2	43.0	-	24.2	0.20
6	2.507	24.59	5.144	309.6	101.64	0.3545	336	90.8	87.6	42.7	-	24.2	0.37
7	3.013	29.56	6.185	309.7	101.63	0.4137	387	93.3	94.7	42.6	-	24.0	0.43
8	3.508	34.41	7.195	309.8	101.63	0.4777	437	99.7	98.2	42.7	-	23.8	0.70
9	4.002	39.26	8.204	309.9	101.63	0.5566	498	102.9	102.0	43.3	-	23.6	1.39
10	4.503	44.17	9.252	310.0	101.63	0.6695	587	106.5	102.6	43.8	-	23.3	3.13
11	4.702	46.12	9.663	310.0	101.63	0.7400	604	108.2	63.1	44.1	-	24.0	4.30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-7 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.005	0.05	0.011	309.7	101.64	0.1299	169	75.1	69.6	44.9	-	27.3	0.06
2	0.503	4.93	1.134	309.5	101.63	0.1797	203	75.5	73.0	45.9	-	27.2	0.18
3	1.008	9.89	2.270	309.6	101.63	0.2312	240	80.2	77.7	44.4	-	27.4	0.25
4	1.503	14.74	3.396	309.6	101.63	0.2868	277	85.2	70.0	42.7	-	27.4	0.21
5	1.999	19.61	4.514	309.7	101.62	0.3424	317	69.7	82.2	42.3	-	27.5	0.21
6	2.507	24.60	5.653	309.9	101.61	0.4027	363	98.4	87.9	42.4	-	27.4	0.32
7	3.010	29.53	6.800	309.8	101.61	0.4690	413	99.5	90.3	42.6	-	27.4	0.59
8	3.514	34.47	7.934	309.9	101.60	0.5462	473	104.0	95.3	43.0	-	27.3	0.93
9	4.002	39.26	9.038	310.1	101.60	0.6423	547	108.7	97.3	43.3	-	26.9	1.99
10	4.373	42.90	9.870	310.0	101.60	0.7493	592	109.3	63.8	43.8	-	27.2	3.42



ตารางที่ ค-8 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.004	0.04	0.011	310.0	101.62	0.1501	190	78.0	66.7	44.4	-	29.2	0.06
2	0.502	4.92	1.235	309.8	101.61	0.2067	228	81.7	73.4	44.9	-	29.7	0.11
3	1.009	9.90	2.482	309.6	101.60	0.2638	266	84.9	74.7	43.9	-	29.8	0.27
4	1.506	14.77	3.711	309.6	101.60	0.3243	307	90.2	79.8	43.3	-	29.8	0.29
5	2.006	19.67	4.938	309.5	101.59	0.3868	349	93.9	74.7	42.9	-	29.9	0.35
6	2.526	24.78	6.211	309.6	101.59	0.4569	399	76.0	91.1	42.9	-	29.9	0.56
7	3.003	29.46	7.389	309.7	101.58	0.5319	454	104.8	94.5	42.8	-	29.9	1.09
8	3.507	34.40	8.631	309.7	101.58	0.6245	520	108.8	96.9	42.9	-	29.9	2.17
9	4.004	39.28	9.864	309.8	101.57	0.7517	603	112.1	100.0	43.4	-	30.1	3.22

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-9 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระสูงสุด

Data No.	Speed	Torque	Torque	Power	Ambient		FC (g/s)	Temperature (°C)					P. orifice	Smoke
	(rev/min)	(kgf-m)	(N-m)	(kW)	T (K)	P (kPa)	avg	Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel	(cm)	Density
1	2561	0.000	0.00	0.000	304.3	101.39	0.2216	211	85.2	70.7	38.6	45.2	28.8	0.62
2	2501	1.940	19.03	4.985	305.4	101.34	0.4937	638	100.1	84.1	41.4	47.4	29.3	0.79
3	2449	3.276	32.14	8.241	306.0	101.32	0.7664	636	101.6	94.1	42.7	45.9	29.1	1.51
4	2398	3.751	37.19	9.338	306.6	101.27	0.8061	634	105.2	95.0	45.8	49.6	28.7	1.48
5	2297	3.910	38.36	9.228	310.1	101.06	0.8145	634	100.6	95.6	46.8	49.2	28.2	1.93
6	2249	4.023	39.47	9.296	309.4	101.00	0.8507	637	96.7	95.5	46.3	47.6	27.7	2.21
7	2195	4.143	40.64	9.342	308.8	101.00	0.8214	642	100.3	96.3	46.2	48.8	27.1	1.81
8	2097	4.334	42.51	9.336	309.6	100.97	0.8373	645	93.7	97.2	48.0	48.4	26.2	3.19
9	1997	4.176	40.97	8.569	310.0	101.01	0.7918	623	101.3	100.1	48.1	49.3	24.5	3.23
10	1796	4.449	43.64	8.209	309.5	101.05	0.7520	622	98.2	99.4	48.9	48.3	22.7	3.96
11	1599	4.627	45.39	7.601	309.0	101.08	0.6936	591	101.2	100.8	48.9	47.6	19.3	4.09
12	1390	4.677	45.88	6.680	308.8	101.11	0.6327	558	96.7	98.7	48.2	47.0	16.4	4.14
13	1202	4.691	46.02	5.791	309.0	101.11	0.5350	534	98.8	99.1	48.1	47.6	14.2	4.19
14	992	4.629	45.41	4.716	309.3	101.13	0.4596	493	98.8	98.5	48.4	48.1	12.7	4.55

ตารางที่ ค-10 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	309.3	101.2	0.0701	104	69.3	65.7	42.5	43.1	14.0	0.19
2	0.499	4.90	0.626	309.4	101.3	0.1271	142	69.7	66.9	43.5	46.3	13.8	0.39
3	1.004	9.85	1.236	309.4	101.3	0.1570	176	71.2	70.1	44.2	46.2	13.7	0.34
4	1.505	14.76	1.847	309.4	101.3	0.1741	212	73.0	73.2	45.0	46.3	13.6	0.46
5	1.999	19.61	2.467	309.3	101.3	0.2052	250	74.8	75.4	45.4	46.9	13.4	0.44
6	2.514	24.67	3.079	309.4	101.3	0.2570	288	76.7	78.2	46.0	47.6	13.4	0.51
7	3.006	29.49	3.705	309.3	101.3	0.2836	329	78.8	80.6	46.5	47.9	13.3	0.58
8	3.513	34.47	4.315	309.4	101.3	0.3127	375	82.2	88.6	47.1	46.4	13.2	0.98
9	4.018	39.41	4.957	309.5	101.3	0.3919	428	85.3	90.8	47.8	47.9	13.1	1.68
10	4.489	44.04	5.516	309.5	101.3	0.4399	508	87.9	92.7	48.9	48.7	13.0	2.63
11	4.845	47.53	5.948	309.4	101.3	0.5482	503	89.2	92.0	49.4	46.9	12.8	4.14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-11 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ  
ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	303.9	101.4	0.0893	114	63.2	61.5	37.6	40.6	15.8	0.24
2	0.501	4.92	0.725	304.6	101.4	0.1458	151	66.4	64.8	38.8	40.7	15.7	0.36
3	1.005	9.86	1.442	305.1	101.4	0.1625	190	70.0	68.5	40.1	42.2	15.5	0.43
4	1.506	14.77	2.172	305.5	101.4	0.1986	224	72.8	70.8	40.8	42.8	15.4	0.49
5	2.006	19.68	2.886	305.6	101.3	0.2277	264	76.5	74.5	41.7	42.6	15.3	0.44
6	2.508	24.61	3.613	306.0	101.3	0.2843	304	78.7	77.0	42.5	43.3	15.2	0.41
7	3.007	29.50	4.315	306.4	101.3	0.3145	347	81.1	80.1	43.5	44.2	15.1	0.53
8	3.503	34.37	5.062	306.8	101.2	0.3677	395	74.7	79.1	42.6	45.0	15.0	0.78
9	4.008	39.32	5.769	307.1	101.2	0.4401	451	80.0	87.5	44.5	45.8	14.8	0.99
10	4.496	44.11	6.462	307.4	101.2	0.5350	532	85.9	93.7	46.0	46.0	14.6	2.11
11	4.804	47.13	6.873	307.4	101.2	0.6211	545	88.2	94.1	46.4	48.1	14.2	3.66

ตารางที่ ค-12 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ  
ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1600 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	308.6	101.1	0.1211	128	72.7	68.3	42.2	41.4	17.6	0.27
2	0.502	4.93	0.825	308.7	101.1	0.1368	165	76.4	70.8	42.8	44.0	17.4	0.40
3	1.004	9.85	1.653	308.9	101.0	0.1903	204	78.6	73.4	43.5	44.7	17.4	0.41
4	1.506	14.77	2.470	309.1	101.0	0.2476	241	81.5	75.9	44.2	45.2	17.2	0.43
5	2.005	19.66	3.286	309.1	101.0	0.3019	280	83.5	78.4	44.5	45.4	17.0	0.53
6	2.509	24.61	4.122	309.1	101.0	0.3342	323	85.9	79.6	45.0	45.6	16.9	0.53
7	3.008	29.50	4.939	309.1	101.0	0.3776	369	88.5	83.2	45.4	45.9	16.8	0.55
8	3.511	34.45	5.770	308.9	101.0	0.4401	425	91.3	87.4	45.6	46.1	16.7	0.89
9	4.016	39.39	6.588	309.1	101.0	0.5224	487	94.9	91.8	46.8	47.2	16.5	1.19
10	4.508	44.23	7.401	308.9	101.0	0.6273	564	97.7	94.4	47.6	48.7	16.3	2.30
11	4.760	46.70	7.815	308.9	101.0	0.6937	594	99.9	95.2	47.8	49.1	16.3	3.50



ตารางที่ ค-13 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1800 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.003	0.03	0.005	309.0	101.0	0.1264	142	81.6	71.1	42.0	41.8	20.5	0.21
2	0.503	4.93	0.929	308.5	101.0	0.1726	178	82.5	72.0	42.2	41.8	20.3	0.36
3	1.007	9.88	1.861	308.5	101.0	0.2176	216	84.3	74.8	42.7	41.9	20.3	0.37
4	1.505	14.76	2.780	308.2	101.0	0.2779	255	86.9	76.8	43.1	43.9	20.1	0.38
5	2.004	19.66	3.702	308.2	101.0	0.3309	296	88.6	78.5	43.4	44.6	20.0	0.40
6	2.506	24.58	4.619	307.9	101.1	0.3788	339	91.3	82.0	43.4	47.0	19.9	0.43
7	3.004	29.47	5.554	307.8	101.1	0.4300	387	94.0	88.2	43.8	44.9	19.7	0.46
8	3.507	34.40	6.473	306.0	101.1	0.4930	444	95.8	88.8	42.9	46.5	19.6	0.84
9	4.014	39.37	7.401	305.7	101.1	0.5678	531	98.4	89.5	43.3	47.5	19.3	1.40
10	4.505	44.19	8.244	306.3	101.1	0.7056	616	100.9	95.6	44.8	47.7	19.0	1.93
11	4.529	44.43	8.365	306.6	101.1	0.7494	614	101.5	94.8	45.3	49.6	19.2	3.02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-14 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ  
ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2000 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.004	0.04	0.009	306.7	101.2	0.1390	154	78.3	69.2	39.8	42.1	23.4	0.43
2	0.503	4.94	1.034	306.9	101.2	0.2121	192	81.2	71.4	40.3	43.3	23.3	0.44
3	1.004	9.85	2.057	307.1	101.2	0.2398	229	83.8	74.2	40.8	44.3	23.3	0.49
4	1.502	14.74	3.084	307.3	101.2	0.2876	268	87.0	77.1	41.7	46.9	23.3	0.43
5	2.002	19.64	4.109	307.6	101.2	0.3727	310	89.5	79.4	42.4	45.6	23.2	0.47
6	2.502	24.55	5.136	307.7	101.2	0.4141	357	92.6	84.0	43.0	47.4	23.2	0.45
7	2.999	29.42	6.145	307.6	101.2	0.4777	409	96.3	91.0	43.6	48.2	23.0	0.44
8	3.511	34.45	7.176	307.7	101.2	0.5650	482	98.8	92.4	44.0	48.5	22.8	0.75
9	4.019	39.43	8.238	307.9	101.3	0.6361	578	93.2	96.9	44.1	46.2	22.8	1.52
10	4.170	42.68	8.925	308.3	101.3	0.7918	611	99.6	99.6	45.7	48.7	22.6	2.51

ตารางที่ ค-15 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.002	0.02	0.005	307.8	101.4	0.1695	177	85.0	73.8	41.2	43.7	23.5	0.39
2	0.503	4.93	1.133	307.9	101.4	0.2446	216	86.3	75.6	41.6	44.2	23.7	0.36
3	1.003	9.84	2.265	308.1	101.4	0.2941	255	88.5	78.6	42.0	44.3	23.7	0.39
4	1.501	14.72	3.390	308.0	101.4	0.3557	294	91.1	80.3	42.4	45.7	23.7	0.38
5	2.003	19.64	4.518	308.2	101.4	0.4173	338	93.2	82.8	42.8	46.0	23.7	0.44
6	2.506	24.59	5.658	308.2	101.4	0.4514	389	96.2	91.6	43.1	46.3	23.7	0.52
7	3.017	29.60	6.813	308.2	101.4	0.5359	448	99.5	93.2	43.8	46.8	23.7	0.56
8	3.506	34.39	7.880	308.4	101.4	0.5864	528	102.4	97.5	44.3	47.5	23.7	0.90
9	3.597	40.64	9.347	308.5	101.4	0.8214	577	105.4	99.2	45.2	48.0	24.5	1.43

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-16 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.001	0.01	0.003	307.4	101.4	0.1975	198	87.8	76.0	40.9	42.4	25.9	0.43
2	0.509	4.99	1.252	307.4	101.4	0.2567	240	90.4	77.6	41.1	42.6	26.0	0.38
3	1.005	9.86	2.471	307.5	101.4	0.3097	281	92.7	78.7	41.6	42.9	26.2	0.42
4	1.504	14.76	3.704	307.7	101.4	0.3797	325	94.9	81.6	41.9	44.8	26.3	0.44
5	2.004	19.66	4.928	307.8	101.4	0.4281	377	98.3	88.3	42.4	45.1	26.3	0.50
6	2.510	24.63	6.162	307.9	101.4	0.5195	434	101.1	89.8	43.0	48.3	26.3	0.54
7	3.010	29.52	7.386	307.9	101.4	0.6379	515	102.9	90.5	43.3	48.4	26.5	0.64
8	3.268	37.19	9.321	307.9	101.4	0.8061	567	104.1	92.2	43.8	48.8	27.1	0.98

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-17 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน  
ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระสูงสุด

Data No.	Speed	Torque		Power	Ambient		FC (g/s)	Temperature (°C)					P. orifice	Smoke
	(rev/min)	(kgf-m)	(N-m)	(kW)	T (K)	P (kPa)	avg	Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel	(cm)	Density
1	2539	0.012	0.12	0.031	309.4	101.5	0.1688	219	96.3	69.8	40.6	-	31.4	0.13
2	2521	1.576	15.46	4.082	310.0	101.5	0.3547	337	96.8	98.8	45.4	-	31.0	1.25
3	2479	3.083	30.25	7.852	309.4	101.5	0.5691	487	98.0	99.1	46.6	-	30.6	1.26
4	2446	3.507	34.41	8.814	309.7	101.5	0.6223	538	105.9	97.9	46.3	-	30.3	1.05
5	2402	3.968	38.93	9.791	309.2	101.4	0.7096	600	108.5	97.3	46.2	-	29.7	1.46
6	2300	4.112	40.33	9.713	308.4	101.4	0.7081	607	109.4	97.6	35.2	-	28.6	1.59
7	2198	4.291	42.09	9.691	308.7	101.4	0.6996	613	110.4	97.2	46.5	-	27.3	1.74
8	2002	4.575	44.88	9.410	307.9	101.4	0.6848	617	110.8	97.3	46.9	-	25.3	1.86
9	1799	4.810	47.19	8.888	307.8	101.4	0.6530	610	109.9	99.4	47.5	-	23.5	2.27
10	1602	4.918	48.25	8.093	307.1	101.4	0.5980	591	107.8	99.2	34.8	-	18.1	2.78
11	1402	4.863	47.71	7.004	306.7	101.4	0.5482	569	105.4	99.0	47.5	-	14.4	3.61
12	1207	4.751	46.61	5.893	308.6	101.4	0.4773	541	103.9	98.6	45.6	-	13.2	4.00
13	1008	4.757	46.67	4.925	308.3	101.4	0.4069	508	101.8	97.2	46.3	-	10.7	4.04



ตารางที่ ค-18 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน  
ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.003	0.03	0.003	308.1	101.4	0.0584	109	56.7	57.8	35.0	-	14.8	0.05
2	0.500	4.91	0.616	308.2	101.3	0.0864	151	60.2	63.0	40.2	-	14.0	0.30
3	1.004	9.85	1.234	308.3	101.3	0.1152	187	65.6	68.5	40.9	-	14.0	0.42
4	1.498	14.70	1.838	308.3	101.3	0.1426	220	68.2	71.6	40.2	-	13.9	0.29
5	2.010	19.72	2.479	308.4	101.3	0.1736	261	72.3	73.1	41.8	-	13.9	0.34
6	2.505	24.57	3.080	308.6	101.3	0.2063	304	74.8	77.0	41.7	-	13.7	0.61
7	3.009	29.52	3.708	308.6	101.3	0.2425	349	79.3	80.1	43.6	-	13.5	0.72
8	3.505	34.38	4.321	308.7	101.3	0.2840	400	83.5	84.5	43.2	-	13.3	1.18
9	4.011	39.34	4.956	308.7	101.3	0.3397	454	84.5	90.4	44.0	-	13.3	2.83
10	4.509	44.23	5.532	308.6	101.3	0.4097	520	90.0	97.1	46.0	-	13.1	3.68
11	4.694	46.05	5.778	308.6	101.3	0.5000	528	90.9	97.4	46.7	-	33.1	5.52

ตารางที่ ค-19 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน  
ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	307.8	101.2	0.0665	119	62.2	63.2	40.2	-	17.3	0.38
2	0.500	4.91	0.719	307.7	101.2	0.0988	152	67.7	66.2	38.6	-	15.7	0.15
3	1.006	9.87	1.445	307.7	101.2	0.1349	193	67.8	68.8	38.1	-	15.2	0.23
4	1.508	14.79	2.171	307.6	101.2	0.1685	230	73.7	70.3	38.2	-	15.2	0.28
5	1.998	19.60	2.872	307.5	101.2	0.2038	273	74.5	73.0	38.6	-	15.2	0.34
6	2.512	24.64	3.603	307.5	101.2	0.2399	314	77.6	75.5	39.0	-	15.1	0.35
7	3.007	29.50	4.317	307.4	101.2	0.2777	356	81.9	78.9	39.7	-	15.0	0.37
8	3.508	34.42	5.039	307.4	101.2	0.3176	398	83.7	81.4	40.0	-	14.9	0.42
9	4.010	39.34	5.778	307.2	101.2	0.3639	445	86.8	85.4	41.3	-	14.8	0.67
10	4.508	44.23	6.485	306.9	101.2	0.4251	509	91.8	88.8	42.3	-	14.8	1.77
11	4.831	47.39	6.908	306.7	101.2	0.5759	554	93.9	92.5	43.2	-	14.5	5.31

ตารางที่ ค-20 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน  
ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1600 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	306.1	101.2	0.0828	130	67.7	66.1	39.3	-	13.6	0.04
2	0.498	4.89	0.819	306.1	101.2	0.1190	162	69.5	68.6	38.5	-	14.5	0.14
3	1.007	9.88	1.653	306.2	101.2	0.1578	201	74.7	71.0	38.0	-	14.6	0.19
4	1.502	14.73	2.468	306.3	101.2	0.1960	241	78.2	74.1	38.1	-	14.6	0.35
5	2.000	19.62	3.287	306.4	101.2	0.2381	282	82.3	76.6	38.4	-	14.6	0.47
6	2.510	24.62	4.120	306.5	101.2	0.2822	331	83.9	79.1	39.3	-	14.7	0.65
7	3.006	29.48	4.938	306.6	101.2	0.3256	376	86.0	82.6	40.0	-	14.7	0.55
8	3.509	34.42	5.755	306.7	101.2	0.3702	419	90.5	85.1	40.4	-	14.7	0.50
9	4.013	39.37	6.579	306.8	101.2	0.4191	467	92.7	89.7	40.9	-	14.7	0.53
10	4.507	44.21	7.402	307.0	101.2	0.4855	529	96.9	93.6	41.7	-	14.7	1.16
11	4.913	48.19	8.052	307.1	101.2	0.6307	579	99.9	95.9	43.3	-	14.7	4.47

ตารางที่ ค-21 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน  
ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1800 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	307.0	101.2	0.0944	141	70.8	69.7	41.2	-	21.8	0.02
2	0.501	4.92	0.925	307.1	101.2	0.1369	175	74.1	72.4	39.6	-	21.7	0.28
3	1.002	9.83	1.849	307.1	101.2	0.1796	213	78.0	74.6	38.8	-	21.7	0.17
4	1.503	14.74	2.780	307.1	101.2	0.2260	253	79.3	79.2	38.7	-	21.7	0.22
5	2.008	19.70	3.708	307.1	101.2	0.2714	297	84.4	80.9	38.9	-	21.1	0.30
6	2.512	24.64	4.629	307.0	101.2	0.3194	344	86.0	81.6	39.0	-	20.9	0.35
7	3.011	29.54	5.573	307.2	101.2	0.3780	396	90.9	86.5	39.7	-	20.6	0.88
8	3.511	34.44	6.492	307.3	101.2	0.4340	449	92.2	94.4	40.1	-	20.4	1.35
9	4.016	39.40	7.415	307.3	101.2	0.4995	506	96.4	94.6	40.4	-	20.1	1.55
10	4.519	44.33	8.375	307.5	101.2	0.5867	574	99.2	98.4	41.1	-	19.9	2.93
11	4.796	47.05	8.875	307.8	101.2	0.6827	602	101.0	98.8	42.1	-	19.6	4.40

ตารางที่ ค-22 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน  
ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2000 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	307.5	101.2	0.1130	157	74.1	72.3	40.2	-	24.3	0.03
2	0.502	4.92	1.032	307.5	101.2	0.1591	193	77.2	74.5	39.4	-	24.3	0.17
3	1.003	9.84	2.058	307.5	101.2	0.2057	232	81.2	77.0	39.0	-	24.3	0.28
4	1.498	14.70	3.081	307.6	101.2	0.2567	272	84.1	80.0	39.0	-	24.3	0.27
5	1.998	19.60	4.092	307.4	101.2	0.3041	314	85.5	84.7	39.1	-	24.3	0.20
6	2.507	24.60	5.141	307.4	101.2	0.3599	362	90.4	86.8	39.3	-	24.3	0.37
7	3.012	29.55	6.167	307.5	101.2	0.4176	414	94.4	87.8	39.8	-	24.3	0.43
8	3.509	34.42	7.208	307.5	101.2	0.4850	471	96.4	93.0	40.2	-	24.3	0.70
9	4.030	39.53	8.277	307.7	101.2	0.5660	540	100.8	99.4	40.8	-	24.3	1.39
10	4.507	44.21	9.256	307.7	101.2	0.6931	621	104.5	100.8	41.5	-	24.3	3.13
11	4.561	44.74	9.362	307.9	101.2	0.7130	628	106.5	100.7	42.5	-	23.9	4.30



ตารางที่ ค-23 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน  
ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.006	0.06	0.014	307.6	101.2	0.1335	176	77.6	73.9	41.3	-	28.1	0.06
2	0.505	4.95	1.139	307.8	101.2	0.1855	214	81.9	77.6	39.9	-	28.1	0.18
3	0.999	9.80	2.260	307.8	101.2	0.2382	256	83.9	79.7	39.4	-	28.1	0.25
4	1.500	14.71	3.385	307.8	101.2	0.2915	297	91.1	81.3	39.4	-	28.1	0.21
5	2.006	19.68	4.533	307.9	101.2	0.3469	341	92.3	84.5	39.8	-	28.1	0.21
6	2.507	24.59	5.659	308.1	101.2	0.4081	391	96.2	91.5	40.3	-	28.1	0.32
7	3.008	29.50	6.771	308.2	101.2	0.4708	445	100.3	91.5	40.8	-	28.1	0.59
8	3.504	34.37	7.919	308.4	101.2	0.5487	507	102.5	94.3	41.9	-	28.1	0.93
9	4.012	39.36	9.040	308.5	101.2	0.6468	582	108.3	99.8	42.1	-	28.1	1.99
10	4.284	42.03	9.674	308.7	101.2	0.7299	629	107.3	102.0	42.8	-	27.9	3.42

สถาบันวิจัยการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-24 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน  
ทำงานด้วยน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	308.8	101.3	0.1553	200	83.4	75.3	43.9	-	26.2	0.06
2	0.503	4.93	1.238	308.7	101.3	0.2117	241	85.6	76.7	42.8	-	27.4	0.11
3	1.006	9.87	2.479	308.8	101.3	0.2685	283	90.4	78.9	42.1	-	27.7	0.27
4	1.499	14.71	3.683	308.8	101.3	0.3266	324	93.6	82.4	41.9	-	27.8	0.29
5	2.004	19.66	4.941	308.8	101.3	0.3911	373	96.6	84.3	42.1	-	28.1	0.35
6	2.508	24.60	6.185	308.9	101.3	0.4589	422	101.4	88.8	42.1	-	28.1	0.56
7	3.010	29.53	7.422	309.0	101.3	0.5372	484	103.9	92.1	42.6	-	28.1	1.09
8	3.516	34.49	8.662	309.1	101.3	0.6287	550	106.6	92.9	36.0	-	28.2	2.17
9	3.904	38.30	9.611	309.2	101.3	0.7277	612	109.6	96.6	43.7	-	28.2	3.22

ตารางที่ ค-25 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระสูงสุด

Data	Speed	Torque		Power	Ambient		FC (g/s)	Temperature (°C)					P. orifice	Smoke
No.	(rev/min)	(kgf-m)	(N-m)	(kW)	T (K)	P (kPa)	avg	Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel	(cm)	Density
1	2544	0.007	0.07	0.020	305.0	101.6	0.2083	215	90.2	70.5	35.9	-	29.0	0.08
2	2505	2.584	25.35	6.648	306.2	101.6	0.5724	461	101.4	83.5	38.8	-	29.3	0.33
3	2446	3.733	36.62	9.382	306.8	101.6	0.8634	640	108.7	94.0	40.9	-	29.3	1.70
4	2399	3.791	37.19	9.341	306.7	101.6	0.8080	638	112.6	95.0	41.3	-	29.3	1.94
5	2299	3.941	38.66	9.309	306.4	101.5	0.8061	640	115.4	94.8	41.5	-	29.2	2.09
6	2245	4.159	40.79	9.591	301.4	101.4	0.8109	634	110.0	92.5	38.2	-	28.6	1.79
7	2199	4.230	41.50	9.558	301.7	101.4	0.7987	638	109.9	92.6	38.4	-	28.1	1.94
8	2095	4.417	43.33	9.507	301.9	101.4	0.8182	646	105.8	96.2	38.4	-	25.8	2.61
9	1996	4.523	44.37	9.274	303.3	101.2	0.7936	645	107.8	98.8	43.5	-	24.2	2.68
10	1799	4.696	46.07	8.680	303.2	101.2	0.7603	632	108.2	99.0	44.6	-	19.8	3.43
11	1599	4.826	47.35	7.929	304.4	101.2	0.7238	606	102.1	97.9	44.6	-	15.9	4.31
12	1401	4.885	47.92	7.029	303.9	101.3	0.6448	573	99.4	97.0	45.1	-	14.4	4.69
13	1206	4.846	47.54	6.006	305.2	101.3	0.5550	545	95.6	98.4	48.0	-	12.6	4.79
14	983	4.703	46.14	4.751	305.7	101.3	0.4091	495	93.2	98.1	49.9	-	10.2	4.96

ตารางที่ ค-26 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.002	0.02	0.002	306.6	101.5	0.0767	108	62.6	62.8	39.9	-	13.7	0.09
2	0.498	4.88	0.613	306.6	101.5	0.1252	144	64.1	64.7	40.2	-	13.6	0.24
3	1.003	9.84	1.233	306.6	101.5	0.1425	184	66.4	67.4	41.2	-	13.5	0.23
4	1.502	14.74	1.852	305.8	101.5	0.1741	222	68.9	69.6	41.4	-	13.3	0.24
5	2.006	19.68	2.468	305.6	101.6	0.2010	263	69.7	71.3	41.4	-	13.2	0.35
6	2.507	24.60	3.091	305.4	101.5	0.2614	300	71.6	74.9	42.1	-	13.2	0.42
7	3.011	29.54	3.712	305.4	101.5	0.2875	340	74.0	78.0	42.9	-	13.1	0.52
8	3.513	34.47	4.325	305.6	101.5	0.3197	381	76.2	82.0	44.1	-	13.0	0.59
9	4.003	39.27	4.916	305.6	101.6	0.3768	431	79.1	87.8	45.1	-	12.9	1.05
10	4.510	44.24	5.555	305.8	101.6	0.4311	504	82.6	95.1	46.4	-	12.8	1.78
11	4.939	48.46	6.051	305.7	101.6	0.5500	551	85.5	101.2	47.0	-	12.2	4.86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-27 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	309.4	101.6	0.0886	120	67.5	61.5	40.0	-	15.7	0.13
2	0.499	4.90	0.717	309.4	101.6	0.1302	158	68.5	63.5	40.2	-	15.6	0.27
3	1.004	9.85	1.445	309.7	101.6	0.1569	200	70.9	66.5	41.3	-	15.3	0.24
4	1.504	14.75	2.164	309.5	101.6	0.1960	240	72.5	68.3	41.5	-	15.2	0.23
5	2.004	19.66	2.888	309.7	101.6	0.2434	281	74.4	70.5	41.9	-	15.0	0.30
6	2.507	24.59	3.591	309.6	101.6	0.2830	322	76.2	73.7	42.1	-	15.0	0.30
7	3.008	29.51	4.330	309.9	101.6	0.3326	368	78.6	76.5	43.1	-	14.9	0.47
8	3.504	34.37	5.040	309.7	101.5	0.3679	413	80.9	79.4	43.6	-	14.9	0.52
9	4.008	39.32	5.750	309.8	101.5	0.4387	464	83.4	83.1	44.5	-	14.9	1.00
10	4.503	44.18	6.483	309.6	101.5	0.5175	540	86.2	86.9	45.1	-	14.7	2.39
11	4.868	47.75	6.995	309.5	101.5	0.6310	582	88.8	90.9	45.6	-	14.7	4.96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ค-28 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1600 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.009	0.09	0.015	305.5	101.5	0.1036	129	72.5	64.1	37.2	-	18.0	0.19
2	0.500	4.90	0.820	305.8	101.5	0.1403	164	73.1	66.3	37.3	-	18.0	0.14
3	1.004	9.85	1.644	305.9	101.5	0.1989	208	74.3	68.9	37.6	-	18.0	0.25
4	1.502	14.74	2.461	305.8	101.5	0.2408	250	76.0	71.9	38.0	-	18.1	0.25
5	2.001	19.63	3.284	306.0	101.5	0.2789	293	77.5	74.3	38.3	-	18.0	0.36
6	2.506	24.58	4.121	306.5	101.5	0.3303	337	79.1	77.3	39.7	-	18.0	0.30
7	3.010	29.52	4.930	306.8	101.4	0.3727	381	80.9	80.3	40.7	-	18.0	0.38
8	3.507	34.40	5.773	306.9	101.4	0.4331	429	82.8	83.5	41.3	-	18.0	0.65
9	4.004	39.28	6.579	307.2	101.4	0.5030	483	86.2	87.3	42.3	-	18.0	0.91
10	4.506	44.20	7.398	307.6	101.4	0.5755	562	89.1	91.9	43.6	-	18.0	2.00
11	4.871	47.79	7.998	307.9	101.4	0.7002	615	92.0	94.5	44.2	-	18.0	4.27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-29 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1800 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	308.5	101.4	0.1210	143	74.4	67.5	39.8	-	19.6	0.21
2	0.499	4.90	0.921	309.0	101.4	0.1690	181	77.2	70.2	40.6	-	19.6	0.22
3	1.002	9.83	1.851	309.5	101.4	0.2126	223	79.4	73.3	41.1	-	19.7	0.25
4	1.500	14.72	2.767	309.4	101.3	0.2639	266	82.9	76.5	41.9	-	19.7	0.34
5	2.005	19.66	3.704	309.3	101.4	0.3215	312	85.8	79.1	42.0	-	19.7	0.28
6	2.503	24.56	4.619	309.3	101.4	0.3720	359	88.1	79.7	42.3	-	19.7	0.29
7	3.012	29.54	5.562	309.3	101.4	0.4279	406	89.8	84.9	43.1	-	19.6	0.37
8	3.509	34.42	6.472	309.3	101.4	0.4937	461	92.8	91.9	43.9	-	19.6	0.48
9	4.004	39.28	7.383	309.3	101.4	0.5706	520	95.5	92.4	44.4	-	19.6	0.72
10	4.498	44.12	8.297	309.3	101.4	0.6721	607	97.8	96.6	45.5	-	19.6	2.46
11	4.733	46.44	8.744	309.2	101.4	0.7605	642	100.1	96.7	45.7	-	19.5	4.18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-30 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2000 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	308.4	101.4	0.1392	159	80.3	70.6	40.5	-	21.4	0.18
2	0.497	4.87	1.019	308.4	101.4	0.1937	196	82.1	72.0	40.8	-	21.4	0.18
3	1.001	9.82	2.048	308.5	101.4	0.2422	237	83.8	74.5	40.9	-	21.4	0.19
4	1.498	14.70	3.074	308.8	101.4	0.3052	282	86.4	78.2	41.7	-	21.4	0.21
5	2.008	19.70	4.125	309.2	101.5	0.3653	331	89.4	81.9	42.3	-	21.5	0.24
6	2.508	24.60	5.146	309.4	101.5	0.4115	379	91.7	84.7	42.6	-	21.4	0.27
7	3.010	29.53	6.182	309.5	101.5	0.4818	428	94.7	92.5	43.0	-	21.4	0.43
8	3.503	34.36	7.189	309.8	101.5	0.5741	483	96.9	92.6	43.9	-	21.4	0.48
9	3.995	39.19	8.217	309.9	101.5	0.6452	550	98.5	93.3	44.4	-	21.4	1.11
10	4.498	44.13	9.241	310.3	101.5	0.7631	637	101.2	98.0	45.7	-	21.4	2.61
11	4.606	45.18	9.454	310.5	101.5	0.7843	653	102.7	98.6	46.1	-	23.0	3.32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-31 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.003	0.03	0.007	309.3	101.6	0.1612	177	84.4	73.9	43.8	-	27.4	0.20
2	0.497	4.88	1.120	309.5	101.6	0.2192	214	85.7	75.6	42.2	-	27.4	0.19
3	1.003	9.84	2.267	309.9	101.6	0.2730	258	88.6	77.6	42.8	-	27.4	0.23
4	1.502	14.74	3.394	310.0	101.6	0.3435	303	90.3	79.6	43.2	-	27.4	0.21
5	2.005	19.67	4.526	310.0	101.6	0.4005	350	92.3	82.5	43.3	-	27.4	0.28
6	2.509	24.61	5.669	310.0	101.6	0.4640	403	95.7	89.0	43.5	-	27.4	0.24
7	3.007	29.50	6.783	309.9	101.6	0.5557	455	99.2	89.9	43.5	-	27.4	0.46
8	3.507	34.40	7.909	310.0	101.6	0.6338	518	101.0	92.4	43.7	-	27.4	0.69
9	4.008	39.32	9.037	310.2	101.6	0.7301	593	103.2	97.3	44.1	-	27.4	1.21
10	4.305	42.23	9.717	310.2	101.6	0.8274	656	105.0	100.3	44.3	-	25.9	2.63

สถาบันวิจัยการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-32 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ก่อนการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.003	0.03	0.008	308.6	101.7	0.1912	200	87.6	73.2	41.1	-	26.9	0.31
2	0.504	4.95	1.243	308.5	101.7	0.2522	241	89.4	74.8	41.3	-	27.4	0.25
3	0.999	9.80	2.463	308.4	101.7	0.3132	284	92.0	77.3	41.3	-	27.4	0.24
4	1.499	14.71	3.691	308.5	101.8	0.3820	332	94.4	80.8	42.0	-	27.5	0.29
5	2.005	19.67	4.938	308.6	101.8	0.4533	384	96.0	82.8	42.4	-	27.6	0.33
6	2.509	24.61	6.186	308.7	101.8	0.5289	437	97.8	86.1	42.8	-	27.6	0.30
7	3.005	29.48	7.402	308.6	101.8	0.6081	495	101.8	90.3	43.1	-	27.6	0.35
8	3.507	34.40	8.639	308.8	101.8	0.7306	574	103.9	91.2	43.4	-	27.6	0.88
9	3.886	38.12	9.562	308.6	101.8	0.8048	641	105.3	94.5	44.0	-	27.7	1.94

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ค-33 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์ม

ดิว ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระสูงสุด

Data No.	Speed	Torque	Torque	Power	Ambient		FC (g/s)	Temperature (°C)					P. orifice	Smoke
	(rev/min)	(kgf-m)	(N-m)	(kW)	T (K)	P (kPa)	avg	Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel	(cm)	Density
1	2579	0.000	0.00	0.000	306.0	101.8	0.2527	264	106.6	87.6	32.9	57.6	23.2	0.83
2	2498	2.571	25.22	6.598	306.5	101.8	0.6105	556	111.0	91.8	33.3	57.9	24.1	0.82
3	2445	3.006	29.49	7.552	306.4	101.8	0.7276	627	110.0	93.0	33.2	57.5	24.1	1.05
4	2398	3.110	30.51	7.660	306.5	101.8	0.7327	620	106.8	88.2	33.3	56.4	24.0	1.11
5	2299	3.177	31.17	7.505	306.4	101.8	0.6882	605	111.8	93.3	33.3	57.8	24.2	1.16
6	2247	3.256	31.94	7.517	306.6	101.8	0.6608	601	111.7	94.1	33.4	58.8	24.1	1.31
7	2197	3.333	32.70	7.524	307.3	101.7	0.7246	605	107.3	91.8	34.1	53.9	23.2	1.24
8	2100	3.488	34.22	7.525	306.5	101.8	0.6802	606	111.3	94.1	33.3	59.7	22.4	1.63
9	1999	3.740	36.69	7.678	307.9	101.7	0.7299	639	109.3	92.2	34.7	54.5	20.8	1.91
10	1797	4.012	39.36	7.407	307.3	101.8	0.6671	630	105.7	91.7	34.1	54.3	18.0	2.71
11	1599	4.241	41.60	6.967	308.6	102.0	0.6750	618	99.0	89.6	35.4	55.5	15.6	2.74
12	1403	4.365	42.82	6.293	308.6	102.1	0.5820	587	96.9	89.0	35.4	55.9	14.1	3.07
13	1203	4.461	43.76	5.512	305.3	102.2	0.5271	570	88.4	87.8	32.1	50.8	12.3	3.67
14	997	4.148	40.69	4.248	306.3	101.8	0.4141	529	85.3	85.3	33.2	62.3	10.1	3.44

ตารางที่ ค-34 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาวะบางส่วน ที่ 1200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	302.6	102.2	0.0852	122	63.5	60.3	29.4	41.1	13.5	0.30
2	0.503	4.93	0.622	303.4	102.2	0.1368	166	65.2	62.8	30.2	42.4	13.3	0.68
3	1.007	9.88	1.240	304.1	102.2	0.1523	214	67.5	65.9	31.0	43.7	13.2	0.94
4	1.505	14.76	1.855	304.3	102.2	0.1930	251	69.2	68.2	31.2	44.2	12.9	0.85
5	2.006	19.68	2.477	304.4	102.2	0.2115	294	70.9	70.1	31.3	44.5	12.8	0.77
6	2.499	24.52	3.080	304.1	102.2	0.2632	332	73.7	73.0	31.0	44.7	12.7	0.83
7	3.007	29.49	3.711	304.4	102.2	0.2998	380	75.8	75.7	31.2	45.4	12.5	1.07
8	3.508	34.41	4.330	304.6	102.2	0.3532	437	78.2	79.4	31.5	46.5	12.4	1.50
9	4.008	39.32	4.941	304.9	102.2	0.4221	505	81.2	84.0	31.8	47.8	12.3	2.60
10	4.461	43.76	5.512	305.3	102.2	0.5271	570	88.4	87.8	32.1	50.8	12.3	3.67

สถาบันวิจัยปาล์ม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-35 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	307.1	102.2	0.0701	135	70.8	65.7	33.9	45.8	13.5	0.47
2	0.496	4.87	0.714	307.8	102.2	0.1240	176	71.7	67.7	34.6	46.6	13.5	0.31
3	1.002	9.83	1.439	307.7	102.2	0.1640	225	72.7	68.3	34.5	47.1	13.5	0.67
4	1.501	14.73	2.156	307.6	102.2	0.2003	275	74.7	71.6	34.4	47.4	13.5	1.14
5	2.001	19.63	2.872	308.1	102.2	0.2483	319	76.6	74.1	35.0	48.3	13.6	1.14
6	2.506	24.58	3.598	307.9	102.2	0.3011	368	79.2	77.0	34.8	48.9	13.4	1.22
7	3.007	29.50	4.320	308.2	102.1	0.3275	413	81.7	79.5	35.0	49.9	13.4	1.31
8	3.505	34.38	5.025	308.5	102.1	0.4150	467	84.4	81.8	35.3	51.1	13.5	1.41
9	4.009	39.33	5.779	308.8	102.1	0.4455	522	87.6	85.3	35.6	52.4	13.5	1.95
10	4.365	42.82	6.293	308.6	102.1	0.5820	587	96.9	89.0	35.4	55.9	14.1	3.07

สถาบันวิจัยปาล์ม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-36 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาวะบางส่วน ที่ 1600 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	308.6	102.1	0.1193	147	79.4	68.9	35.5	48.9	15.7	0.38
2	0.501	4.91	0.821	308.3	102.1	0.1494	191	79.8	69.7	35.1	48.8	15.7	0.35
3	1.004	9.85	1.649	308.3	102.1	0.2024	233	80.7	71.6	35.2	48.9	15.7	0.59
4	1.506	14.77	2.470	307.9	102.0	0.2498	287	82.3	74.0	34.7	48.5	15.7	0.78
5	2.001	19.63	3.282	308.0	102.0	0.3189	339	84.1	75.9	34.8	48.9	15.7	1.31
6	2.506	24.58	4.108	308.4	102.0	0.3844	395	86.9	79.4	35.3	50.2	15.7	1.42
7	3.007	29.50	4.924	308.2	102.0	0.4309	455	89.0	81.4	35.1	51.0	15.7	1.68
8	3.503	34.36	5.744	307.9	102.0	0.4728	520	91.5	83.5	34.7	51.7	15.6	1.73
9	4.009	39.33	6.578	308.2	102.0	0.5682	585	95.0	87.4	35.1	53.2	15.5	2.19
10	4.241	41.60	6.967	308.6	102.0	0.6750	618	99.0	89.6	35.4	55.5	15.6	2.74

สถาบันวิจัยปาล์ม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-37 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1800 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	307.1	102.0	0.1354	170	82.3	67.8	34.0	47.4	16.0	0.20
2	0.499	4.90	0.920	307.5	101.9	0.2047	214	84.1	71.0	34.4	48.0	16.2	0.54
3	1.002	9.83	1.849	307.7	101.9	0.2363	259	85.8	73.0	34.5	48.4	16.2	0.45
4	1.505	14.77	2.777	307.1	101.9	0.2999	302	88.2	75.6	33.9	48.6	16.2	0.43
5	2.003	19.65	3.699	307.1	101.9	0.3647	358	90.7	78.1	34.0	49.4	16.2	0.60
6	2.506	24.58	4.629	307.5	101.9	0.4231	424	93.0	80.3	34.4	50.5	16.2	1.57
7	3.001	29.44	5.532	307.7	101.8	0.4981	497	96.1	84.2	34.6	52.2	16.2	2.18
8	3.506	34.39	6.494	307.5	101.8	0.5677	576	99.0	87.5	34.4	53.0	16.2	2.19
9	4.006	39.30	7.419	307.5	101.8	0.6925	636	103.3	92.8	34.4	54.2	16.2	2.63
10	4.012	39.36	7.407	307.3	101.8	0.6671	630	105.7	91.7	34.1	54.3	18.0	2.71

สถาบันวิจัยปาล์ม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ค-38 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาวะบางส่วน ที่ 2000 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.004	0.04	0.008	306.8	101.8	0.1739	190	87.0	69.7	33.6	47.4	18.8	0.38
2	0.499	4.90	1.025	306.9	101.8	0.2349	235	88.6	71.7	33.8	48.2	18.9	0.43
3	0.999	9.80	2.051	306.8	101.8	0.2679	274	89.7	72.7	33.7	48.7	18.9	0.45
4	1.500	14.72	3.078	306.8	101.8	0.3144	324	91.9	76.7	33.7	48.9	18.9	0.43
5	2.002	19.64	4.107	307.1	101.7	0.3944	378	94.3	78.3	34.0	50.1	18.9	0.68
6	2.509	24.62	5.155	307.4	101.7	0.4725	441	97.1	81.2	34.2	51.2	18.9	0.85
7	3.009	29.52	6.165	307.5	101.7	0.5383	514	99.7	84.6	34.4	52.0	18.9	1.37
8	3.476	34.10	7.104	307.4	101.7	0.6169	590	102.3	88.3	34.2	52.6	18.9	2.05
9	3.740	36.69	7.678	307.9	101.7	0.7299	639	109.3	92.2	34.7	54.5	20.8	1.91

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-39 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	306.5	101.8	0.1760	213	91.1	71.5	0.37	33.4	49.1	20.9
2	0.498	4.89	1.125	307.0	101.7	0.2836	263	92.1	74.1	0.40	33.8	48.9	21.0
3	1.002	9.83	2.263	307.0	101.7	0.3183	303	93.7	75.5	0.35	33.8	48.9	21.1
4	1.504	14.75	3.392	307.0	101.7	0.3375	351	95.1	77.1	0.35	33.9	49.2	21.2
5	2.001	19.63	4.523	307.2	101.7	0.4147	406	97.2	79.7	0.30	34.0	49.9	21.2
6	2.499	24.51	5.635	307.0	101.7	0.4956	475	99.7	83.2	0.50	33.9	50.8	21.2
7	2.998	29.41	6.768	307.2	101.7	0.5776	554	103.3	88.4	0.95	34.0	52.3	21.2
8	3.333	32.70	7.524	307.3	101.7	0.7246	605	107.3	91.8	1.24	34.1	53.9	23.2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-40 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	306.4	101.8	0.2262	242	89.3	72.2	33.3	48.4	24.0	0.39
2	0.510	5.00	1.255	306.5	101.8	0.3017	294	92.3	74.7	33.3	48.2	23.9	0.41
3	1.003	9.84	2.470	306.4	101.8	0.3522	341	94.5	76.2	33.3	48.8	23.9	0.55
4	1.500	14.72	3.695	306.4	101.8	0.4064	387	96.3	77.2	33.2	49.7	23.9	0.54
5	1.996	19.58	4.914	306.4	101.8	0.4892	446	98.6	80.4	33.3	50.8	23.9	0.45
6	2.508	24.60	6.163	306.4	101.8	0.5917	515	102.1	84.8	33.3	52.8	23.9	0.75
7	3.007	29.49	7.397	306.6	101.8	0.6795	602	105.5	87.7	33.5	56.0	23.9	0.85
8	3.110	30.51	7.660	306.5	101.8	0.7327	620	106.8	88.2	33.3	56.4	24.0	1.11

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-41 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระสูงสุด

Data	Speed	Torque		Power	Ambient		FC (g/s)	Temperature (°C)					P. orifice	Smoke
No.	(rev/min)	(kgf-m)	(N-m)	(kW)	T (K)	P (kPa)	avg	Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel	(cm)	Density
1	2574	0.000	0.00	0.000	305.6	101.8	0.2180	232	109.2	95.3	32.5	-	22.6	0.36
2	2497	2.950	28.94	7.567	305.9	101.7	0.7001	539	109.4	99.9	32.7	-	22.6	1.78
3	2444	3.329	32.66	8.358	306.0	101.7	0.7874	605	107.8	99.3	32.8	-	22.5	2.55
4	2396	3.449	33.83	8.490	306.1	101.7	0.8043	598	103.0	89.0	32.9	-	22.5	2.54
5	2295	3.618	35.49	8.528	306.3	101.6	0.7850	600	110.8	99.4	33.1	-	20.6	2.55
6	2245	3.667	35.98	8.458	306.3	101.6	0.7914	597	108.9	97.9	33.1	-	20.5	2.67
7	2196	3.720	36.50	8.394	306.3	101.6	0.7519	592	106.6	93.6	33.2	-	20.7	2.82
8	2098	3.861	37.87	8.322	306.1	101.6	0.7439	595	112.0	100.9	33.0	-	19.2	3.19
9	1997	3.920	38.45	8.042	307.1	101.7	0.7654	585	104.5	93.9	33.9	-	17.8	3.28
10	1800	4.243	41.63	7.846	307.7	101.8	0.7389	582	103.1	97.4	34.6	-	15.0	3.85
11	1598	4.513	44.27	7.408	307.5	102.0	0.6894	574	96.9	94.3	34.3	-	12.5	3.83
12	1399	4.641	45.52	6.669	307.9	102.1	0.6115	540	92.6	93.3	34.7	-	10.3	4.23
13	1199	4.619	45.31	5.691	306.9	102.2	0.5349	497	85.5	91.3	33.8	-	8.9	4.37
14	994	4.511	44.25	4.607	305.7	101.6	0.4242	478	82.9	90.6	32.5	-	6.6	4.87

ตารางที่ ค-42 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.009	0.09	0.011	303.1	102.2	0.0753	102	62.2	61.8	29.9	-	4.4	0.27
2	0.499	4.90	0.619	303.8	102.2	0.1261	137	63.8	64.5	30.6	-	4.8	0.42
3	1.002	9.83	1.234	304.6	102.2	0.1364	174	66.0	67.7	31.4	-	4.8	0.38
4	1.500	14.71	1.850	305.0	102.2	0.1629	211	67.6	69.6	31.8	-	4.8	0.59
5	2.003	19.65	2.464	305.3	102.2	0.2070	253	69.3	72.3	32.2	-	4.8	0.60
6	2.500	24.53	3.093	305.7	102.2	0.2660	295	71.3	75.7	32.6	-	4.7	1.03
7	2.994	29.38	3.683	306.2	102.2	0.2847	340	75.0	80.1	32.9	-	4.7	1.25
8	3.499	34.33	4.292	306.2	102.2	0.3381	389	77.1	82.9	33.0	-	4.7	2.30
9	4.006	39.30	4.923	306.2	102.2	0.3886	437	79.2	85.7	33.1	-	4.7	2.99
10	4.511	44.26	5.567	306.7	102.2	0.5076	495	82.8	91.4	33.6	-	4.7	3.98
11	4.619	45.31	5.691	306.9	102.2	0.5349	497	85.5	91.3	33.8	-	8.9	4.37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ค-43 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	306.5	102.2	0.1031	115	69.8	64.9	33.4	-	9.9	0.40
2	0.501	4.91	0.720	306.8	102.2	0.1223	151	71.1	67.3	33.7	-	9.9	0.46
3	1.003	9.84	1.439	307.3	102.2	0.1658	190	72.2	69.7	34.2	-	9.9	0.49
4	1.502	14.73	2.158	307.4	102.2	0.2150	227	73.8	72.2	34.2	-	9.9	0.41
5	2.002	19.64	2.879	307.7	102.2	0.2391	269	75.4	74.7	34.6	-	9.9	0.71
6	2.502	24.55	3.596	308.0	102.1	0.2870	313	76.9	77.3	34.9	-	9.9	0.62
7	3.005	29.48	4.305	307.8	102.1	0.3428	361	79.7	81.4	34.6	-	9.9	0.99
8	3.508	34.41	5.054	308.1	102.1	0.3879	414	82.6	85.3	34.9	-	9.8	1.40
9	4.001	39.25	5.754	308.2	102.1	0.4605	470	85.1	88.6	35.1	-	9.8	2.33
10	4.507	44.22	6.535	308.3	102.1	0.5880	537	88.8	93.7	35.2	-	9.8	4.01
11	4.641	45.52	6.669	307.9	102.1	0.6115	540	92.6	93.3	34.7	-	10.3	4.23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-44 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1600 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	307.7	102.1	0.1044	127	78.2	67.2	34.5	-	12.4	0.42
2	0.498	4.88	0.816	307.5	102.1	0.1400	161	78.5	68.8	34.3	-	12.4	0.22
3	1.001	9.82	1.642	307.5	102.1	0.1945	201	79.1	70.2	34.3	-	12.4	0.23
4	1.506	14.77	2.473	308.1	102.0	0.2361	240	81.2	73.8	34.9	-	12.4	0.38
5	2.003	19.65	3.288	307.8	102.0	0.2760	282	82.5	75.2	34.6	-	12.4	0.46
6	2.503	24.55	4.110	307.5	102.0	0.3293	325	84.7	78.7	34.3	-	12.4	0.63
7	3.004	29.47	4.928	307.1	102.0	0.3866	379	86.5	81.4	34.0	-	12.4	0.78
8	3.507	34.40	5.755	307.1	102.0	0.4580	446	89.0	85.0	33.9	-	12.4	1.32
9	4.002	39.26	6.562	307.5	102.0	0.5316	502	91.4	88.6	34.3	-	12.3	2.17
10	4.513	44.27	7.408	307.5	102.0	0.6894	574	96.9	94.3	34.3	-	12.5	3.83

สถาบันวิจัยปาล์ม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-45 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 1800 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.012	0.12	0.023	307.1	102.0	0.1221	142	79.4	67.0	34.0	-	13.9	0.32
2	0.501	4.92	0.926	307.7	101.9	0.1669	176	81.9	71.0	34.5	-	13.9	0.21
3	1.005	9.86	1.854	307.6	101.9	0.2120	217	84.1	73.5	34.5	-	13.9	0.15
4	1.504	14.76	2.779	307.6	101.9	0.2652	259	86.3	75.9	34.4	-	13.9	0.39
5	2.003	19.65	3.698	307.7	101.9	0.3197	303	88.8	78.7	34.5	-	13.9	0.32
6	2.505	24.57	4.628	306.9	101.8	0.3800	350	91.2	81.3	33.8	-	13.9	0.45
7	3.004	29.47	5.543	307.1	101.8	0.4512	411	92.6	83.0	34.0	-	13.9	0.83
8	3.507	34.40	6.493	307.5	101.8	0.5199	484	95.6	86.9	34.4	-	13.9	1.53
9	4.000	39.24	7.368	307.9	101.8	0.6374	545	98.6	91.9	34.8	-	13.9	2.98
10	4.243	41.63	7.846	307.7	101.8	0.7389	582	103.1	97.4	34.6	-	15.0	3.85

สถาบันวิจัยปาล์ม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-46 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2000 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	306.5	101.8	0.1403	157	85.2	68.6	33.4	-	16.1	0.32
2	0.503	4.94	1.033	306.6	101.8	0.1954	195	86.6	71.2	33.5	-	16.1	0.23
3	1.002	9.83	2.057	306.9	101.7	0.2474	231	88.0	73.3	33.8	-	16.2	0.11
4	1.500	14.71	3.079	307.1	101.7	0.3104	275	90.3	76.7	34.0	-	16.2	0.17
5	2.003	19.65	4.114	307.3	101.7	0.3669	322	92.7	79.8	34.2	-	16.2	0.51
6	2.507	24.59	5.151	307.0	101.7	0.4293	378	96.6	83.3	33.9	-	16.2	0.68
7	3.015	29.58	6.181	306.8	101.7	0.5065	442	98.2	84.9	33.6	-	16.2	1.41
8	3.501	34.34	7.181	306.8	101.7	0.6215	520	100.7	89.6	33.6	-	16.1	2.43
9	3.920	38.45	8.042	307.1	101.7	0.7654	585	104.5	93.9	33.9	-	17.8	3.28

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-47 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2200 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	306.4	101.7	0.1631	177	89.4	70.3	33.2	-	18.2	0.36
2	0.497	4.88	1.122	306.5	101.7	0.2250	216	90.2	72.5	33.4	-	18.5	0.10
3	1.002	9.82	2.263	306.3	101.7	0.2801	256	91.7	74.9	33.1	-	18.6	0.20
4	1.498	14.69	3.382	306.4	101.7	0.3651	299	93.6	77.7	33.3	-	18.6	0.18
5	1.999	19.61	4.511	306.3	101.6	0.3994	350	95.8	80.6	33.2	-	18.5	0.34
6	2.493	24.46	5.623	306.2	101.6	0.5029	408	97.8	83.1	33.1	-	18.6	0.62
7	2.997	29.40	6.767	306.4	101.6	0.5859	472	100.2	86.8	33.2	-	18.6	1.15
8	3.526	34.59	7.963	306.4	101.6	0.7157	557	104.9	94.3	33.2	-	18.5	2.10
9	3.720	36.50	8.394	306.3	101.6	0.7519	592	106.6	93.6	33.2	-	20.7	2.82

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ค-48 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์สำหรับทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทำงานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังการทดสอบความทนทาน สภาวะภาระบางส่วน ที่ 2400 rev/min

Data No.	Torque		Power (kW)	Ambient		FC (g/s) avg	Temperature (°C)					P. orifice (cm)	Smoke Density
	(kgf-m)	(N-m)		T (K)	P (kPa)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
1	0.000	0.00	0.000	305.7	101.7	0.1914	198	87.4	72.1	32.6	-	22.3	0.12
2	0.506	4.96	1.245	305.8	101.7	0.2650	240	89.8	74.2	31.6	-	22.3	0.20
3	1.004	9.85	2.471	305.8	101.7	0.3199	284	91.6	76.4	32.6	-	22.3	0.28
4	1.497	14.69	3.686	305.9	101.7	0.3923	330	93.9	79.0	32.7	-	22.3	0.23
5	1.998	19.60	4.911	305.9	101.7	0.4628	385	96.0	81.3	32.7	-	22.3	0.37
6	2.501	24.54	6.152	305.9	101.7	0.5636	447	98.4	83.9	32.8	-	22.3	0.65
7	3.002	29.45	7.400	306.0	101.7	0.6719	522	100.6	86.3	32.9	-	22.3	1.23
8	3.449	33.83	8.490	306.1	101.7	0.8043	598	103.0	89.0	32.9	-	22.5	2.54

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

ข้อมูลในการทดสอบความทนทาน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 1-33

Engine Hour	Speed	FC (avg)	Temperature (°C)				P disc.	Power	
	(rev/min)	(kg/hr)	Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel	(bar)	(kW)
1	2390	2.601	576	107	91	31	47	3.5	9.186
2	2400	2.665	575	108	92	31	47	3.5	9.186
3	2400	2.749	577	109	93	30	49	3.5	9.186
5	2390	2.584	587	105	89	28	46	3.6	9.186
6	2360	2.471	570	105	90	28	44	3.5	9.186
7	2340	2.581	559	105	91	28	47	3.5	9.186
8	2364	2.698	571	105	87	26	47	3.5	9.186
10	2390	2.649	580	104	87	23	44	3.5	9.186
11	2390	2.604	580	104	87	25	43	3.5	9.186
12	2390	2.683	560	102	86	26	45	3.5	9.186
13	2390	2.498	561	102	85	24	44	3.5	9.186
15	2320	2.597	563	106	85	32	46	3.5	9.186
16	2320	2.512	565	107	89	32	47	3.5	9.186
17	2320	2.636	558	103	85	30	48	3.5	9.186
18	2320	2.549	555	105	86	29	47	3.5	9.186
21	2400	2.488	554	105	85	30	47	3.5	9.186
22	2304	2.571	551	103	82	29	47	3.5	9.186
23	2310	2.401	549	103	86	29	47	3.5	9.186
26	2300	2.430	556	98	81	27	48	3.6	9.186
27	2300	2.369	550	100	82	26	46	3.6	9.186
28	2300	2.330	551	100	82	26	47	3.6	9.186
30	2280	2.270	547	101	87	32	46	3.8	9.186
31	2259	2.180	526	102	84	30	43	3.8	9.186
32	2240	2.152	523	102	85	30	46	3.8	9.186
33	2264	2.220	528	103	84	30	44	3.8	9.186

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 34-67

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
34	2382	2.509	575	104	87	28	51	3.5	9.186
35	2368	2.537	564	108	94	27	46	3.5	9.186
36	2382	2.529	569	103	89	27	43	3.5	10.70
37	2372	2.476	562	105	91	25	44	3.5	10.70
39	2362	2.497	565	106	89	25	44	3.5	9.186
40	2370	2.456	565	108	89	26	48	3.5	9.186
41	2360	2.593	553	105	88	23	47	3.5	9.186
42	2340	2.499	552	107	94	25	48	3.5	9.186
45	2398	2.601	587	109	92	35	50	3.5	9.186
46	2398	2.593	588	110	92	35	50	3.5	9.186
47	2396	2.618	597	111	93	30	49	3.5	9.186
48	2404	2.652	587	110	92	28	53	3.5	9.186
50	2380	2.633	573	107	88	26	52	3.5	9.186
51	2380	2.590	575	109	87	28	52	3.5	9.186
52	2388	2.609	582	110	91	27	55	3.5	9.186
53	2386	2.644	579	108	89	25	54	3.5	9.186
55	2374	2.690	586	108	89	27	53	3.6	9.186
56	2390	2.643	586	107	89	25	52	3.6	9.186
57	2364	2.683	586	107	88	25	52	3.6	9.186
58	2402	2.611	583	106	87	24	51	3.6	9.186
61	2400	2.802	615	113	93	29	55	3.6	9.186
62	2402	2.758	612	112	93	29	55	3.6	9.186
63	2414	2.832	603	113	92	29	54	3.6	9.186
66	2376	2.846	594	108	90	30	46	3.6	9.018
67	2360	2.891	589	110	92	31	48	3.6	9.018

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 68-101

Engine Hour	Speed	FC (avg)	Temperature (°C)					P disc.	Power
	(rev/min)	(kg/hr)	Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel	(bar)	(kW)
68	2375	2.843	586	106	89	25	43	3.6	9.018
70	2412	2.911	601	98	82	24	41	3.6	9.186
71	2410	2.865	600	103	85	24	43	3.6	9.186
72	2418	2.902	598	106	87	25	45	3.6	9.186
73	2392	2.748	590	103	86	31	47	3.6	9.186
76	2390	2.777	594	96	78	24	42	3.6	9.425
77	2398	2.787	600	106	85	23	45	3.6	9.425
78	2412	2.841	607	108	86	23	44	3.6	9.425
81	2398	2.774	596	108	87	29	48	3.6	9.186
82	2400	2.725	599	108	86	28	48	3.6	9.186
83	2398	2.769	589	106	85	23	43	3.6	9.186
85	2398	2.744	599	111	93	27	52	3.6	9.186
86	2398	2.807	600	108	93	27	51	3.6	9.186
87	2400	2.818	603	111	94	27	51	3.6	9.186
88	2398	2.787	602	111	96	27	51	3.6	9.186
90	2384	2.762	593	109	93	26	54	3.6	9.186
91	2386	2.738	594	109	94	27	53	3.6	9.186
92	2366	2.759	595	109	92	26	51	3.6	9.186
93	2390	2.755	595	110	94	26	51	3.6	9.186
95	2400	2.711	598	108	94	27	47	3.6	9.186
96	2400	2.769	598	109	96	28	47	3.6	9.186
97	2402	2.786	598	107	90	26	46	3.6	9.186
98	2404	2.794	600	108	93	27	46	3.6	9.186
100	2382	2.712	589	100	87	27	44	3.6	9.186
101	2398	2.618	585	103	86	24	42	3.6	9.186



ตารางที่ ง-4 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 102-138

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
102	2398	2.707	593	107	94	25	47	3.6	9.186
103	2402	2.838	595	109	96	25	46	3.6	9.186
106	2372	2.791	597	104	93	27	44	3.6	9.186
107	2370	2.725	598	103	92	26	41	3.6	9.186
108	2372	2.699	598	103	90	25	41	3.6	9.186
110	2380	2.805	594	103	92	26	41	3.6	9.186
111	2350	2.773	604	104	91	25	42	3.6	9.186
112	2370	2.831	594	104	90	26	42	3.6	9.186
113	2370	2.714	597	103	91	25	42	3.6	9.186
116	2380	2.806	601	101	90	25	44	3.6	9.186
117	2380	2.806	605	100	91	25	44	3.6	9.186
118	2378	2.787	604	105	92	25	45	3.6	9.186
120	2370	2.863	608	99	89	28	43	3.6	9.186
121	2372	2.827	607	103	90	27	44	3.6	9.186
122	2372	2.748	604	102	88	27	42	3.6	9.186
123	2372	2.782	604	103	89	27	43	3.6	9.186
126	2330	2.823	605	105	91	27	44	3.6	9.186
127	2330	2.855	602	103	89	26	42	3.6	9.186
128	2330	2.886	602	103	90	25	43	3.6	9.186
131	2384	2.864	612	108	93	27	45	3.6	9.186
132	2390	2.878	620	109	95	27	45	3.6	9.186
133	2390	2.864	620	109	95	26	45	3.6	9.186
136	2384	2.849	609	106	91	27	41	3.6	9.186
137	2372	2.833	609	106	92	27	41	3.6	9.186
138	2364	2.891	610	106	92	26	42	3.6	9.186

ตารางที่ ง-5 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 140-172

Engine Hour	Speed	FC (avg)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)	
	(rev/min)	(kg/hr)	Exhaust	Oil	Water	Intake			Fuel
140	2352	2.801	608	106	91	26	45	3.6	9.186
141	2350	2.773	612	106	89	26	44	3.6	9.186
142	2366	2.905	613	105	91	25	43	3.6	9.186
143	2360	2.801	615	106	92	25	43	3.6	9.186
145	2378	2.831	624	104	89	24	43	3.6	9.186
146	2368	2.797	619	106	88	24	43	3.6	9.186
147	2372	2.828	612	107	92	24	45	3.6	9.186
148	2364	2.797	611	107	92	24	45	3.6	9.186
151	2396	2.912	620	106	94	28	43	3.6	9.186
152	2390	2.832	617	107	93	27	45	3.6	9.186
153	2388	2.828	613	107	94	27	45	3.6	9.186
155	2378	2.771	610	104	89	26	43	3.6	9.186
156	2378	2.854	608	101	86	25	40	3.6	9.186
157	2376	2.779	602	104	88	26	41	3.6	9.186
158	2370	2.748	599	102	88	26	40	3.6	9.186
160	2380	2.812	609	105	90	26	43	3.6	9.186
161	2376	2.784	608	105	90	26	42	3.6	9.186
162	2386	2.779	604	107	90	25	44	3.6	9.186
163	2388	2.756	603	106	90	25	43	3.6	9.186
166	2390	2.871	630	105	91	27	45	3.6	9.186
167	2394	2.890	633	107	91	27	44	3.6	9.186
168	2394	2.860	633	107	92	27	45	3.6	9.186
170	2398	2.857	610	107	91	26	45	3.6	9.186
171	2320	2.735	613	106	92	28	46	3.6	9.186
172	2374	2.772	613	106	89	26	44	3.6	9.186

ตารางที่ ง-6 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 173-207

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
173	2370	2.765	606	106	91	26	46	3.6	9.186
175	2396	2.904	630	107	92	25	46	3.7	9.186
176	2410	2.780	632	107	91	26	45	3.7	9.186
177	2408	2.815	628	108	93	26	45	3.7	9.186
178	2400	2.846	628	109	91	25	46	3.7	9.186
180	2398	2.862	610	107	92	27	45	3.6	9.186
181	2380	2.859	610	107	91	26	43	3.6	9.186
182	2380	2.884	611	108	91	26	43	3.6	9.186
183	2380	2.851	610	107	92	26	44	3.6	9.186
185	2400	2.749	609	105	86	26	43	3.7	9.186
186	2400	2.773	608	106	87	26	43	3.7	9.186
187	2400	2.736	602	105	85	26	43	3.7	9.186
188	2396	2.809	605	105	86	26	43	3.7	9.186
190	2394	2.846	598	103	85	23	41	3.7	9.186
191	2394	2.865	594	104	85	23	43	3.7	9.186
192	2394	2.813	597	104	88	23	43	3.7	9.186
193	2394	2.848	606	108	94	27	45	3.7	9.186
196	2384	2.847	608	108	93	27	45	3.6	9.186
197	2384	2.858	608	109	93	26	44	3.6	9.186
198	2384	2.860	609	109	94	26	45	3.6	9.186
201	2394	2.807	605	102	82	23	41	3.6	9.186
202	2382	2.842	603	102	83	24	42	3.6	9.186
203	2382	2.829	604	101	82	24	42	3.6	9.186
206	2376	2.775	588	95	81	21	41	3.6	9.186
207	2378	2.740	594	95	82	22	42	3.6	9.186

ตารางที่ ง-7 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 208-242

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
208	2380	2.739	601	104	89	22	44	3.6	9.186
211	2394	2.731	588	99	89	20	34	3.7	9.186
212	2396	2.693	588	108	94	20	43	3.7	9.186
213	2396	2.805	590	109	94	20	43	3.7	9.186
215	2396	2.852	579	111	91	21	46	3.7	9.186
216	2400	2.757	578	110	91	20	45	3.7	9.186
217	2400	2.835	585	110	91	21	46	3.7	9.186
218	2400	2.860	590	111	93	20	46	3.7	9.186
220	2392	2.705	601	108	94	31	47	3.7	9.186
221	2392	2.683	597	110	96	31	49	3.7	9.186
222	2392	2.712	595	113	97	31	48	3.7	9.186
223	2390	2.742	592	112	97	33	48	3.7	9.186
226	2362	2.603	577	107	88	26	48	3.7	9.186
227	2362	2.665	578	108	88	26	48	3.7	9.186
228	2362	2.713	578	108	88	26	48	3.7	9.186
230	2394	2.685	590	107	87	23	49	3.7	9.186
231	2394	2.688	589	106	90	23	47	3.7	9.186
232	2394	2.722	590	107	90	24	48	3.7	9.186
233	2400	2.716	597	108	89	23	49	3.7	9.186
236	2366	2.590	583	107	82	28	49	3.7	9.186
237	2370	2.555	583	107	83	28	49	3.7	9.186
238	2356	2.546	583	107	83	28	49	3.7	9.186
240	2384	2.648	594	108	85	27	49	3.7	9.186
241	2388	2.647	594	108	86	27	49	3.7	9.186
242	2394	2.726	598	109	87	27	50	3.7	9.186

ตารางที่ ง-8 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 243-280

Engine	Speed	FC (avg)	Temperature (°C)					P disc.	Power
Hour	(rev/min)	(kg/hr)	Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel	(bar)	(kW)
243	2396	2.697	594	108	87	27	48	3.7	9.186
246	2400	2.684	593	105	86	25	47	3.7	9.186
247	2400	2.560	593	105	86	25	47	3.7	9.186
248	2400	2.554	594	105	86	25	47	3.7	9.186
250	2380	2.709	599	107	90	28	42	3.7	9.186
251	2370	2.687	601	107	90	27	42	3.7	9.186
252	2376	2.732	602	108	93	27	44	3.7	9.186
253	2370	2.724	599	108	94	27	43	3.7	9.186
255	2402	2.809	590	103	85	26	44	3.7	9.186
256	2402	2.746	584	102	83	26	42	3.7	9.186
257	2402	2.814	586	103	85	25	44	3.7	9.186
258	2400	2.850	586	104	85	25	44	3.7	9.186
261	2386	2.666	571	105	88	26	45	3.7	9.186
262	2386	2.643	569	105	88	26	43	3.7	9.186
263	2390	2.605	570	104	87	25	44	3.7	9.186
266	2406	2.688	588	106	88	27	45	3.5	9.186
267	2400	2.706	587	108	90	28	48	3.5	9.186
268	2398	2.815	587	108	90	28	47	3.5	9.186
271	2408	2.857	610	107	88	25	43	3.5	9.186
272	2408	2.761	611	107	89	25	43	3.5	9.186
273	2400	2.817	611	106	90	24	43	3.5	9.186
276	2394	2.700	602	106	92	25	44	3.5	9.186
277	2392	2.684	599	106	92	23	44	3.5	9.186
278	2390	2.770	600	107	93	23	45	3.5	9.186
280	2404	2.768	612	107	95	26	47	3.6	9.186



ตารางที่ ง-9 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 281-315

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
281	2396	2.687	604	108	95	26	45	3.6	9.186
282	2402	2.732	609	107	94	26	46	3.6	9.186
283	2396	2.722	608	107	95	26	45	3.6	9.186
285	2400	2.756	612	106	93	25	45	3.6	9.186
286	2396	2.736	609	106	92	25	45	3.6	9.186
287	2390	2.723	607	106	93	25	44	3.6	9.186
288	2392	2.742	603	107	94	25	45	3.6	9.186
291	2384	2.789	593	105	91	24	45	3.6	9.186
292	2380	2.716	600	106	93	24	45	3.6	9.186
293	2380	2.763	601	107	94	24	45	3.6	9.186
296	2382	2.785	605	103	89	26	43	3.6	9.186
297	2382	2.712	600	104	90	26	43	3.6	9.186
298	2380	2.707	594	106	90	25	44	3.6	9.186
300	2400	2.747	623	105	90	24	43	3.6	9.186
301	2388	2.844	603	106	91	24	44	3.6	9.186
302	2386	2.750	607	107	92	24	46	3.6	9.186
303	2388	2.729	594	106	91	24	46	3.6	9.186
305	2370	2.701	595	105	96	24	47	3.6	9.186
306	2370	2.730	607	105	89	24	45	3.6	9.186
307	2368	2.755	603	105	89	24	45	3.6	9.186
308	2368	2.749	599	105	91	24	45	3.6	9.186
311	2328	2.534	587	104	93	27	45	3.5	9.186
312	2360	2.523	592	108	96	26	47	3.5	9.186
313	2364	2.652	602	107	93	26	45	3.6	9.186
315	2382	2.673	616	93	82	25	42	3.5	9.186

ตารางที่ ง-10 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 316-320

Engine	Speed	FC (avg)	Temperature (°C)				P disc.	Power	
Hour	(rev/min)	(kg/hr)	Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel	(bar)	(kW)
316	2370	2.672	608	107	94	26	45	3.6	9.186
317	2348	2.652	597	108	96	27	46	3.6	9.186
318	2368	2.653	609	107	95	25	47	3.6	9.186

ตารางที่ ง-11 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 2 ที่ 90% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 3-38

Engine	Speed	FC (avg)	Temperature (°C)				P disc.	Power	
Hour	(rev/min)	(kg/hr)	Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel	(bar)	(kW)
3.5	2400	2.445	542	106	89	30	49	3.8	8.267
3.75	2400	2.486	545	105	87	28	47	3.8	8.267
8.5	2400	2.510	549	104	85	27	46	3.8	8.267
8.75	2400	2.478	549	103	85	25	45	3.8	8.267
13.5	2400	2.581	540	102	83	24	43	3.8	8.267
13.75	2400	2.443	542	101	84	24	44	3.8	8.267
18.5	2360	2.326	540	108	89	29	47	3.8	7.833
18.75	2350	2.418	533	106	87	29	48	3.8	7.833
23.5	2410	2.449	560	101	82	28	43	3.8	7.779
23.75	2410	2.459	561	101	82	29	42	3.8	7.779
28.5	2304	2.412	549	99	83	26	46	3.7	8.307
28.75	2300	2.389	541	101	82	26	46	3.7	8.307
32.5	2276	2.177	530	104	85	30	43	4.0	8.267
32.75	2296	2.185	531	103	85	29	45	4.0	8.267
37.5	2400	2.469	555	106	87	26	44	3.7	8.267

ตารางที่ ง-12 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 2 ที่ 90% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 38-99

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)	
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake			Fuel
37.75	2400	2.468	554	107	87	27	46	3.7	8.267
42.5	2400	2.533	548	108	88	25	45	3.7	8.229
43	2400	2.439	550	107	89	25	45	3.7	8.229
48.5	2396	2.462	554	109	90	30	53	3.7	8.267
49	2402	2.456	555	109	91	30	51	3.7	8.267
53.5	2394	2.511	549	107	86	26	53	3.7	8.267
53.75	2394	2.506	550	104	85	24	52	3.7	8.267
58.5	2406	2.533	554	103	84	24	50	3.8	8.267
58.75	2400	2.537	555	103	83	21	50	3.8	8.267
63.5	2400	2.548	561	110	90	30	53	3.8	8.267
63.75	2400	2.572	562	109	89	30	52	3.8	8.267
68.5	2398	2.682	574	106	89	26	44	3.8	7.890
68.75	2398	2.674	574	105	86	24	44	3.8	7.890
69	2396	2.652	572	98	83	24	41	3.8	7.890
73.5	2389	2.529	546	109	90	28	50	3.8	8.267
73.75	2386	2.503	546	109	90	28	50	3.8	8.267
78.5	2400	2.602	573	105	84	26	45	3.8	8.267
78.75	2400	2.651	571	106	84	26	45	3.8	8.267
83.5	2398	2.615	572	105	84	26	45	3.8	8.267
83.75	2398	2.670	573	104	84	26	45	3.8	8.267
88.5	2400	2.569	563	107	88	26	50	3.8	8.267
88.75	2390	2.534	563	107	88	26	51	3.8	8.267
93.5	2404	2.521	562	106	88	25	51	3.8	8.267
93.75	2404	2.557	562	107	88	25	52	3.8	8.267
98.5	2394	2.619	568	105	88	27	45	3.8	8.118

ตารางที่ ง-13 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ  
สภาวะการทำงานที่ 2 ที่ 90% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 99-159

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)	
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake			Fuel
99	2380	2.643	570	105	88	27	44	3.8	8.118
103.5	2400	2.635	561	107	91	25	45	3.8	8.267
104	2400	2.571	559	106	92	25	45	3.8	8.267
108.5	2394	2.645	584	103	91	26	42	3.8	8.267
108.75	2390	2.670	583	102	89	26	42	3.8	8.267
113.5	2402	2.697	581	105	91	26	43	3.8	8.267
113.75	2402	2.642	582	104	88	26	42	3.8	8.267
118.5	2394	2.646	576	104	89	26	44	3.8	8.267
118.75	2396	2.706	575	103	88	26	44	3.8	8.267
123.5	2400	2.825	599	105	91	26	41	3.8	8.267
123.75	2400	2.759	597	105	89	25	41	3.8	8.267
128.5	2400	2.823	599	105	92	26	42	3.8	8.267
128.75	2400	2.731	598	104	91	26	42	3.8	8.267
133.75	2400	2.747	586	108	90	26	45	3.8	8.267
134	2400	2.771	588	105	88	26	43	3.8	8.267
138.5	2392	2.569	572	104	89	27	41	3.8	8.267
139	2396	2.554	571	104	88	26	40	3.8	8.267
143.5	2390	2.601	586	104	88	25	44	3.8	8.267
144	2396	2.612	588	104	87	25	44	3.8	8.267
148.5	2404	2.695	598	107	88	24	47	3.8	8.267
149	2406	2.683	595	107	90	24	47	3.8	8.267
153.5	2398	2.634	587	104	92	27	43	3.8	8.267
154	2400	2.584	587	107	93	26	44	3.8	8.267
158.25	2394	2.606	577	101	87	26	42	3.8	8.267
158.75	2396	2.593	577	100	86	25	40	3.8	8.267

ตารางที่ ง-14 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 2 ที่ 90% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 163-224

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)	
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake			Fuel
163.5	2404	2.629	577	106	90	25	44	3.8	8.267
163.75	2402	2.553	576	105	90	25	43	3.8	8.267
168.5	2400	2.666	596	107	90	26	45	3.9	8.267
169	2400	2.626	595	105	89	26	45	3.9	8.267
173.5	2400	2.684	587	105	87	26	49	3.8	8.267
174	2400	2.638	589	106	87	26	45	3.8	8.267
178.5	2398	2.693	582	106	86	24	46	3.8	8.267
178.75	2400	2.592	584	106	88	25	47	3.8	8.267
183.5	2400	2.616	589	105	89	26	44	3.9	8.267
183.75	2400	2.606	588	103	88	26	44	3.9	8.267
188.5	2400	2.586	556	101	83	26	42	3.9	8.267
189	2400	2.475	557	100	82	25	40	3.9	8.267
193.5	2398	2.665	575	102	85	25	43	3.9	8.267
193.75	2394	2.654	575	102	85	25	43	3.9	8.267
198.5	2396	2.668	579	104	87	25	41	3.8	8.267
199	2396	2.707	580	103	86	24	41	3.8	8.267
203.5	2398	2.656	577	103	86	23	43	3.8	8.267
203.75	2394	2.649	575	103	87	25	43	3.8	8.267
208.75	2386	2.550	531	99	82	22	39	3.8	8.267
209	2380	2.465	530	99	82	22	40	3.8	8.267
213.5	2402	2.502	554	109	95	21	40	3.9	8.267
213.75	2402	2.476	551	109	94	21	40	3.9	8.267
218.5	2400	2.482	541	108	91	22	45	3.9	8.267
218.75	2400	2.482	540	108	91	21	45	3.9	8.267
223.5	2382	2.432	564	113	97	25	50	3.7	8.267



ตารางที่ ง-15 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 2 ที่ 90% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 224-284

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)	
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake			Fuel
223.75	2404	2.417	564	113	97	26	49	3.7	8.267
228.5	2394	2.569	548	105	86	25	49	3.9	8.267
228.75	2394	2.470	544	105	84	25	50	3.9	8.267
233.5	2396	2.669	551	105	84	24	45	3.9	8.267
233.75	2396	2.602	551	105	84	24	47	3.9	8.267
238.5	2396	2.426	557	107	82	28	49	3.9	8.267
238.75	2390	2.399	557	107	82	28	48	3.9	8.267
243.5	2396	2.488	557	105	83	26	45	3.9	8.267
243.75	2402	2.478	555	105	83	25	44	3.9	8.267
248.5	2396	2.505	546	105	84	25	47	4.0	8.267
248.75	2396	2.489	545	105	84	25	47	4.0	8.267
253.5	2394	2.718	564	107	89	26	48	4.1	8.267
253.75	2390	2.581	565	106	88	26	48	4.1	8.267
258.5	2397	2.355	527	102	79	25	42	4.1	8.267
258.75	2400	2.432	525	101	82	25	43	4.1	8.267
263.5	2400	2.652	567	104	86	25	44	4.1	8.267
263.75	2402	2.610	566	104	86	25	43	4.1	8.267
268.5	2400	2.438	546	105	88	25	45	3.7	8.267
268.75	2402	2.683	545	104	88	25	45	3.7	8.267
273.5	2402	2.598	568	104	87	25	42	3.7	8.267
273.75	2398	2.568	568	104	86	24	42	3.7	8.267
278.5	2394	2.571	562	104	89	24	43	3.7	8.267
278.75	2398	2.509	563	104	89	24	44	3.7	8.267
283.5	2400	2.572	572	106	93	26	45	3.8	8.267
283.75	2400	2.587	572	106	92	26	44	3.8	8.267

ตารางที่ ง-16 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ  
สภาวะการทำงานที่ 2 ที่ 90% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 288-319

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
288.5	2392	2.697	574	107	93	25	46	3.8	8.267
288.75	2400	2.544	576	108	93	24	46	3.8	8.267
293.5	2404	2.627	577	106	92	23	43	3.8	8.267
293.75	2400	2.648	578	106	92	23	43	3.8	8.267
298.5	2400	2.630	582	104	92	25	43	3.8	8.267
298.75	2400	2.575	582	104	91	25	44	3.8	8.267
303.5	2382	2.690	568	103	87	25	47	3.8	8.267
303.75	2381	2.585	567	103	87	25	47	3.8	8.267
308.75	2402	2.646	588	106	92	24	46	3.8	8.267
309	2404	2.635	588	106	90	23	44	3.8	8.267
313.5	2396	2.546	585	106	93	25	45	3.8	8.267
313.75	2396	2.572	587	106	92	24	43	3.8	8.267
318.5	2400	2.582	586	105	94	26	43	3.8	8.267
318.75	2400	2.579	586	104	92	25	43	3.8	8.267

ตารางที่ ง-17 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ  
สภาวะการทำงานที่ 3 ที่ 80% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 4-15

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
4.5	2400	2.207	500	103	84	29	46	3.2	7.349
4.75	2400	2.157	498	101	86	28	46	3.3	7.349
9.5	2400	2.255	501	101	86	26	43	3.2	7.349
9.75	2400	2.205	502	99	84	24	42	3.2	7.349
14.5	2400	2.271	497	99	82	25	44	3.2	7.349

ตารางที่ ง-18 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 3 ที่ 80% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 14-75

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
14.75	2400	2.207	498	100	83	24	43	3.2	7.349
19.5	2408	2.206	513	105	89	30	47	3.2	7.349
19.75	2400	2.220	512	105	85	30	46	3.2	7.349
24.5	2400	2.345	507	98	80	25	41	3.2	7.349
24.75	2400	2.191	508	98	77	26	40	3.2	7.349
29.5	2400	2.246	510	94	75	25	40	3.2	7.349
29.75	2402	2.206	498	90	76	25	42	3.2	7.349
33.5	2400	2.132	514	103	84	29	41	3.6	7.349
33.75	2400	2.122	511	102	84	28	40	3.6	7.349
38.5	2400	2.156	471	99	82	27	42	3.2	7.349
38.75	2400	2.064	472	102	80	28	46	3.1	7.349
43.25	2400	2.174	480	99	82	26	42	3.2	7.349
43.75	2400	2.127	478	97	79	25	41	3.2	7.349
49.25	2400	2.109	477	103	83	27	52	3.2	7.349
49.75	2400	2.086	480	103	82	29	52	3.2	7.349
54.5	2390	2.185	482	101	81	26	51	3.2	7.349
54.75	2390	2.175	486	100	80	26	50	3.2	7.349
59.5	2390	2.084	473	101	80	24	49	3.2	7.349
59.75	2396	2.163	475	97	79	23	47	3.2	7.349
64.5	2420	2.241	510	96	81	25	42	3.3	7.349
64.75	2420	2.253	513	94	78	25	40	3.3	7.349
69.5	2416	2.225	492	100	81	24	5	3.3	7.349
69.75	2410	2.237	490	98	80	24	45	3.3	7.349
74.5	2404	2.105	483	105	86	25	44	3.3	7.349
74.75	2412	2.097	479	106	89	26	45	3.3	7.349

ตารางที่ ง-19 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 3 ที่ 80% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 79-140

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
79.5	2398	2.222	490	102	82	30	45	3.2	7.349
79.75	2398	2.201	487	102	80	25	44	3.2	7.349
84.5	2388	2.232	490	100	82	26	45	3.2	7.349
84.75	2390	2.246	489	99	83	26	45	3.2	7.349
89.5	2402	2.131	478	102	82	26	49	3.3	7.349
89.75	2400	2.111	477	101	82	26	49	3.3	7.349
94.25	2396	2.166	485	102	83	25	48	3.2	7.349
94.75	2396	2.127	484	102	83	25	49	3.2	7.349
99.5	2386	2.177	486	101	84	27	44	3.4	7.349
99.75	2386	2.116	486	101	84	25	44	3.4	7.349
104.5	2402	2.143	486	98	84	25	44	3.4	7.349
104.75	2402	2.159	486	99	85	25	44	3.4	7.349
109.5	2402	2.242	502	98	85	27	42	3.3	7.349
109.75	2404	2.231	503	98	85	27	42	3.3	7.349
114.5	2406	2.277	503	97	84	26	40	3.3	7.349
114.75	2406	2.224	504	98	84	25	41	3.3	7.349
119.5	2400	2.235	504	98	85	26	44	3.4	7.349
119.75	2400	2.242	504	98	85	26	44	3.4	7.349
124.5	2400	2.248	516	99	84	27	43	3.3	7.349
124.75	2400	2.213	511	98	81	26	40	3.3	7.349
129.5	2396	2.268	502	99	86	26	43	3.3	7.349
129.75	2396	2.244	503	99	86	27	43	3.3	7.349
134.5	2396	2.254	492	103	89	26	45	3.3	7.349
134.75	2396	2.228	484	102	88	25	45	3.3	7.349
139.5	2406	2.220	516	100	83	25	41	3.3	7.349

ตารางที่ ง-20 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 3 ที่ 80% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 140-200

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
140	2404	2.229	517	100	85	26	42	3.3	7.349
144.5	2398	2.216	502	99	82	25	44	3.3	7.349
145	2396	2.181	503	99	82	25	43	3.3	7.349
149.5	2400	2.201	503	100	83	25	44	3.3	7.349
150	2400	2.183	503	100	82	25	43	3.3	7.349
154.5	2394	2.161	489	99	83	27	42	3.3	7.349
155	2396	2.168	492	96	81	25	39	3.3	7.349
159.5	2400	2.180	492	97	82	26	41	3.3	7.349
160	2400	2.188	492	98	83	26	41	3.3	7.349
164.5	2396	2.178	492	98	82	25	42	3.3	7.349
164.75	2392	2.146	491	98	81	25	42	3.3	7.349
169.5	2396	2.221	500	96	86	26	45	3.3	7.349
169.75	2396	2.204	501	94	84	26	45	3.3	7.349
174.75	2396	2.258	502	100	82	25	43	3.3	7.349
175	2396	2.163	506	98	80	25	42	3.3	7.349
179.5	2400	2.167	497	101	83	26	45	3.3	7.349
179.75	2402	2.152	497	102	82	26	46	3.3	7.349
184.5	2402	2.231	499	100	80	24	43	3.3	7.349
184.75	2402	2.224	492	92	78	24	43	3.3	7.349
189.5	2396	2.205	478	98	78	26	43	3.3	7.349
190	2390	2.173	480	97	77	25	42	3.3	7.349
194.5	2388	2.205	488	99	83	25	43	3.3	7.349
194.75	2390	2.247	484	94	83	25	43	3.3	7.349
199.5	2380	2.226	486	96	83	25	41	3.4	7.349
199.75	2380	2.225	486	95	82	24	41	3.4	7.349



ตารางที่ ง-21 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 3 ที่ 80% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 204-265

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)					P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake	Fuel		
204.5	2350	2.142	463	97	75	23	41	3.4	7.349
204.75	2358	2.189	464	98	78	23	41	3.4	7.349
209.5	2394	2.202	488	98	79	23	40	3.4	7.349
209.75	2390	2.194	487	97	80	24	42	3.4	7.349
214.5	2406	2.025	466	100	85	22	44	3.3	7.349
214.75	2402	2.041	468	100	84	22	41	3.3	7.349
219.5	2398	2.048	467	105	90	22	45	3.3	7.349
219.75	2400	2.055	467	105	89	22	44	3.3	7.349
224.5	2388	1.996	504	127	95	25	51	3.3	7.349
224.75	2384	1.986	504	128	97	26	51	3.3	7.349
229.5	2396	2.184	472	102	81	26	48	3.3	7.349
229.75	2396	2.126	481	102	80	25	48	3.3	7.349
234.5	2400	2.122	470	100	77	25	46	3.3	7.349
234.75	2400	2.152	470	99	76	25	46	3.3	7.349
239.5	2400	2.166	481	103	80	27	49	3.3	7.349
239.75	2400	2.138	482	103	80	27	49	3.3	7.349
244.5	2398	2.081	475	98	83	26	45	3.3	7.349
244.75	2398	2.241	475	99	83	25	44	3.3	7.349
249.5	2398	2.160	469	99	79	25	47	3.5	7.349
249.75	2400	2.147	469	100	79	25	47	3.5	7.349
254.5	2398	2.205	481	99	80	26	44	3.6	7.349
254.75	2400	2.130	482	97	77	25	42	3.6	7.349
259.5	2400	2.157	473	100	77	27	44	3.6	7.349
259.75	2400	2.161	473	100	76	26	44	3.6	7.349
264.5	2394	2.075	463	102	84	27	45	3.6	7.349

ตารางที่ ง-22 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

สภาวะการทำงานที่ 3 ที่ 80% กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 265-320

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)	
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake			Fuel
264.75	2394	2.079	466	99	82	26	44	3.6	7.349
269.5	2398	2.133	484	99	83	25	42	3.1	7.349
269.75	2396	2.155	484	98	82	25	43	3.1	7.349
274.5	2398	2.165	484	98	84	25	42	3.1	7.349
274.75	2398	2.134	484	98	83	24	42	3.1	7.349
279.5	2396	2.133	486	99	82	24	42	3.2	7.349
279.75	2398	2.102	485	99	81	24	42	3.2	7.349
284.5	2402	2.187	490	99	86	26	43	3.2	7.349
284.75	2400	2.189	490	99	86	26	43	3.2	7.349
289.5	2400	2.142	486	99	84	24	42	3.2	7.349
289.75	2400	2.143	486	99	84	24	42	3.2	7.349
294.5	2402	2.151	486	106	89	23	44	3.2	7.349
294.75	2400	2.133	487	106	89	23	44	3.2	7.349
299.5	2402	2.183	491	97	84	26	40	3.2	7.349
299.75	2404	2.170	492	97	83	26	39	3.2	7.349
304.5	2396	2.215	493	101	85	25	45	3.2	7.349
304.75	2400	2.166	494	100	86	25	44	3.2	7.349
309.5	2400	2.221	490	102	87	24	45	3.2	7.349
309.75	2400	2.143	491	101	86	24	44	3.2	7.349
314.5	2402	2.109	502	102	93	27	42	3.2	7.349
314.75	2402	2.126	499	103	92	25	42	3.2	7.349
319.5	2402	2.265	504	100	86	25	43	3.3	7.349
319.75	2400	2.260	504	100	86	25	43	3.3	7.349

ตารางที่ ง-23 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 1-32

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
1	2400	2.615	526	108	92	30	3.5	9.188
2	2400	2.616	530	108	94	30	3.6	9.188
3	2400	2.765	533	112	97	30	3.6	9.188
5	2400	2.585	535	102	92	27	3.6	9.231
6	2400	2.655	537	108	94	27	3.6	9.231
7	2400	2.721	535	110	97	27	3.6	9.188
8	2400	2.675	538	110	96	25	3.6	9.120
10	2400	2.641	530	103	92	24	3.6	9.143
11	2400	2.685	530	104	89	24	3.6	9.143
12	2400	2.675	535	105	91	26	3.8	9.188
13	2400	2.704	529	105	91	26	3.6	9.188
15	2400	2.822	543	109	96	31	3.6	9.049
16	2400	2.751	542	110	96	31	3.6	9.049
17	2380	2.701	542	111	98	28	3.6	9.188
18	2390	2.776	542	110	98	30	3.6	9.188
21	2386	2.812	543	112	102	30	3.6	9.143
22	2388	2.724	534	112	102	28	3.6	9.143
23	2388	2.773	539	111	99	27	3.6	9.188
25	2388	2.820	550	90	88	27	3.6	9.210
26	2388	2.779	544	107	98	26	3.6	9.210
27	2380	2.698	539	109	98	27	3.6	9.210
28	2380	2.709	533	108	99	26	3.6	9.210
30	2388	2.471	509	105	92	31	3.5	9.231
31	2386	2.454	505	110	94	31	3.5	9.024
32	2386	2.470	505	108	94	30	3.5	9.049

ตารางที่ ง-24 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 33-65

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
33	2384	2.404	506	108	93	30	3.6	9.049
35	2380	2.501	512	97	90	29	3.6	9.238
36	2390	2.450	508	107	92	29	3.6	9.238
37	2380	2.454	506	107	92	28	3.6	9.238
38	2370	2.534	504	108	88	29	3.6	9.238
40	2400	2.465	518	98	88	25	3.6	9.302
41	2398	2.530	519	105	94	25	3.6	9.302
42	2400	2.555	515	107	92	27	3.6	9.302
43	2398	2.540	519	106	90	25	3.6	9.302
46	2380	2.547	508	84	92	29	3.6	9.238
47	2383	2.466	507	85	93	29	3.6	9.238
48	2388	2.486	505	85	94	30	3.5	9.238
50	2402	2.445	507	99	90	30	3.5	9.238
51	2390	2.456	500	107	97	29	3.5	9.238
52	2384	2.474	500	108	97	29	3.6	9.238
53	2340	2.444	513	111	99	28	3.6	9.302
55	2398	2.682	509	99	92	27	3.8	9.238
56	2398	2.584	511	106	95	26	3.6	9.204
57	2390	2.551	515	105	96	27	3.7	9.204
58	2376	2.615	520	106	94	27	3.7	9.238
60	2368	2.465	507	107	94	32	3.5	9.302
61	2400	2.643	536	109	96	32	3.6	9.302
62	2400	2.656	535	112	100	30	3.7	9.302
63	2416	2.651	532	111	99	30	3.7	9.302
65	2400	2.560	517	101	95	28	3.6	7.198

ตารางที่ ง-25 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 66-98

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
66	2406	2.610	514	106	96	26	3.7	8.701
67	2408	2.578	515	108	95	28	3.6	8.701
68	2410	2.594	520	107	97	28	3.6	9.361
70	2396	2.690	527	107	94	25	3.4	9.188
71	2410	2.645	520	106	95	27	3.65	9.188
72	2394	2.736	519	107	95	27	3.7	9.188
73	2394	2.639	518	105	93	25	3.7	9.303
75	2396	2.671	524	110	100	32	3.6	9.188
76	2396	2.628	521	111	102	32	3.6	9.188
77	2400	2.619	520	111	99	29	3.6	9.143
78	2390	2.598	523	110	98	30	3.6	9.143
80	2394	2.636	511	107	96	28	3.6	9.188
81	2394	2.561	513	107	97	28	3.6	9.188
82	2392	2.599	514	106	94	27	3.6	9.188
83	2394	2.596	513	108	95	28	3.6	9.188
85	2380	2.566	519	106	97	28	3.6	9.188
86	2372	2.611	514	106	97	27	3.6	9.188
87	2370	2.626	516	106	97	26	3.6	9.188
88	2380	2.640	518	107	95	24	3.6	9.188
91	2400	2.660	548	111	100	30	3.6	9.188
92	2400	2.661	548	110	100	30	3.65	9.188
93	2380	2.670	554	111	98	30	3.6	9.166
96	2400	2.732	550	109	98	29	3.7	9.197
97	2390	2.659	553	110	90	31	3.7	9.175
98	2400	2.715	552	105	93	27	3.75	9.175



ตารางที่ ง-26 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 101-135

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
101	2380	2.705	534	103	92	25	3.6	9.238
102	2380	2.634	534	103	92	25	3.6	9.238
103	2392	2.689	547	107	95	27	3.6	9.238
106	2420	2.798	563	107	94	27	3.8	9.238
107	2426	2.736	563	109	95	27	3.8	9.238
108	2426	2.783	564	109	95	27	3.8	9.238
110	2390	2.791	560	106	95	28	3.6	9.302
111	2390	2.748	559	106	96	28	3.6	9.302
112	2390	2.746	558	108	95	25	3.6	9.302
113	2380	2.802	562	109	95	25	3.6	9.302
116	2380	2.771	560	96	90	26	3.6	9.188
117	2394	2.772	561	96	90	26	3.6	9.188
118	2388	2.659	543	105	92	25	3.6	9.188
121	2400	2.805	565	100	94	27	3.7	9.188
122	2400	2.841	565	105	96	27	3.7	9.188
123	2400	2.799	562	106	96	27	3.7	9.188
125	2396	2.746	556	105	96	27	3.6	9.231
126	2388	2.759	555	105	96	26	3.6	9.231
127	2390	2.803	567	108	97	27	3.6	9.231
128	2396	2.780	565	109	98	28	3.6	9.292
130	2388	2.733	553	108	95	27	3.6	9.238
131	2386	2.714	553	108	96	27	3.6	9.238
132	2396	2.760	558	109	97	26	3.6	9.238
133	2400	2.814	556	108	97	27	3.6	9.238
135	2402	2.671	556	112	100	29	3.6	9.188

ตารางที่ ง-27 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 136-171

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
136	2400	2.688	557	111	101	30	3.6	9.188
137	2400	2.714	557	111	102	30	3.6	8.567
138	2402	2.714	557	112	102	30	3.6	8.567
140	2400	2.641	548	106	97	28	3.6	9.238
141	2382	2.652	545	108	97	28	3.6	9.238
142	2382	2.659	546	108	97	28	3.6	9.238
143	2376	2.681	551	110	98	28	3.6	9.238
146	2402	2.749	559	109	99	26	3.8	9.302
147	2396	2.732	555	109	98	26	3.8	9.302
148	2400	2.793	561	108	97	26	3.8	9.302
151	2398	2.740	562	106	95	27	3.6	9.188
152	2398	2.738	563	106	95	27	3.6	9.188
153	2398	2.745	564	106	95	27	3.6	9.188
155	2392	2.704	544	105	94	26	3.6	9.188
156	2392	2.632	547	105	93	27	3.6	9.188
157	2390	2.687	546	105	94	27	3.6	9.188
158	2390	2.703	545	104	92	26	3.6	9.188
161	2390	2.839	551	106	94	26	3.6	9.188
162	2388	2.810	551	106	94	26	3.6	9.188
163	2388	2.741	553	110	94	26	3.6	9.188
165	2388	2.659	551	107	96	28	3.6	9.188
166	2390	2.650	552	108	97	29	3.62	9.188
167	2390	2.682	549	107	95	27	3.62	9.188
168	2390	2.647	552	108	97	29	3.62	9.188
171	2396	2.808	556	108	97	28	3.6	9.188

ตารางที่ ง-28 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 172-205

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
172	2396	2.765	552	107	95	27	3.6	9.188
173	2396	2.730	554	106	96	27	3.6	9.188
176	2400	2.764	549	106	97	26	3.7	9.188
177	2400	2.701	549	109	99	26	3.7	9.188
178	2400	2.880	549	109	99	26	3.7	9.188
180	2400	2.722	552	106	94	27	3.6	9.188
181	2403	2.718	553	106	94	27	3.6	9.188
182	2400	2.800	556	106	94	26	3.6	9.188
183	2400	2.790	556	106	94	26	3.6	9.188
185	2390	2.693	550	104	93	27	3.6	9.188
186	2384	2.733	550	106	93	27	3.6	9.188
187	2386	2.789	554	104	92	26	3.6	9.188
188	2394	2.755	554	105	92	26	3.6	9.188
190	2390	2.822	556	104	92	25	3.6	9.188
191	2394	2.797	557	104	92	26	3.6	9.188
192	2398	2.855	557	106	93	26	3.6	9.188
193	2396	2.823	557	106	93	26	3.6	9.188
196	2376	2.963	575	109	99	27	3.6	9.188
197	2376	2.960	552	110	99	27	3.6	9.188
198	2386	2.976	553	111	102	28	3.6	9.188
200	2406	2.931	556	108	96	27	3.62	9.188
201	2410	2.924	556	106	95	26	3.62	9.188
202	2400	2.831	550	107	96	27	3.6	9.188
203	2404	2.951	550	106	95	26	3.6	9.188
205	2386		554	107	96	26	3.7	9.188

ตารางที่ ง-29 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 206-242

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
206	2400	2.957	554	107	96	26	3.7	9.188
207	2412	2.849	556	108	96	27	3.7	9.188
208	2408	2.813	557	108	96	26	3.7	9.188
211	2394	2.761	557	108	94	27	3.6	9.188
212	2396	2.776	557	108	94	27	3.6	9.188
213	2394	2.750	557	104	94	28	3.6	9.188
215	2400	2.827	556	103	91	25	3.8	9.188
216	2412	2.817	557	104	92	27	3.8	9.188
217	2416	2.764	557	105	95	28	3.8	9.188
218	2412	2.762	557	105	93	28	3.8	9.188
220	2400	2.728	548	105	93	26	3.8	9.188
221	2400	2.702	545	105	92	26	3.8	9.188
222	2400	2.749	546	104	93	26	3.8	9.188
223	2398	2.765	551	105	92	26	3.8	9.188
226	2390	2.857	559	106	93	26	3.6	9.188
227	2390	2.859	555	106	93	25	3.6	9.188
228	2390	2.835	561	106	93	25	3.6	9.188
231	2392	2.877	562	106	97	28	3.7	9.188
232	2376	2.899	563	103	94	28	3.7	9.188
233	2380	2.879	564	103	94	28	3.7	9.188
236	2424	2.908	544	100	93	24	3.8	9.188
237	2390	2.885	544	103	93	24	3.8	9.188
238	2384	2.846	544	103	93	24	3.8	9.188
241	2390	2.851	521	101	94	25	3.8	9.188
242	2390	2.863	521	101	93	26	3.8	9.188

ตารางที่ ง-30 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 243-282

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
243	2400	2.858	523	101	91	25	3.8	9.188
246	2420	2.826	528	98	91	26	3.8	9.188
247	2412	2.773	528	97	91	25	3.8	9.188
248	2400	2.762	529	101	92	23	3.8	9.188
251	2394	2.722	528	100	90	23	3.8	9.188
252	2390	2.749	528	99	92	23	3.8	9.188
253	2385	2.682	529	102	92	24	3.8	9.188
256	2384	2.733	524	104	92	24	4	9.302
257	2398	2.853	521	102	93	24	4	9.302
258	2468	2.882	520	102	93	24	4	9.302
261	2394	2.693	523	99	87	23	3.8	9.188
262	2404	2.667	521	98	85	22	3.8	9.188
263	2400	2.688	523	98	85	22	3.8	9.188
266	2362	2.640	524	98	85	22	3.8	9.188
267	2400	2.650	523	98	86	22	3.8	9.188
268	2398	2.686	529	96	85	24	3.8	9.188
270	2400	2.776	529	96	85	24	3.6	9.188
271	2396	2.678	529	96	85	24	3.6	9.188
272	2396	2.751	540	103	89	28	3.6	9.188
273	2392	2.685	538	104	90	27	3.6	9.188
276	2400	2.725	546	103	90	27	3.8	9.188
277	2400	2.682	542	109	92	28	3.8	9.188
278	2400	2.745	542	109	90	26	3.8	9.188
281	2400	2.656	538	108	89	25	3.7	9.238
282	2400	2.684	536	105	89	25	3.7	9.238



ตารางที่ ง-31 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 1 ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 283-318

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
283	2386	2.732	535	102	89	26	3.7	9.238
286	2398	2.604	540	105	95	30	3.6	9.188
287	2398	2.587	540	105	94	30	3.6	9.188
288	2394	2.607	541	106	94	30	3.6	9.188
290	2384	2.552	521	104	90	28	3.6	9.188
291	2384	2.557	521	104	90	28	3.6	9.188
292	2372	2.588	523	102	90	29	3.6	9.188
293	2382	2.613	525	102	90	28	3.6	9.188
296	2382	2.647	528	103	90	27	3.6	9.188
297	2390	2.567	528	103	90	27	3.6	9.188
298	2390	2.574	529	103	90	27	3.6	9.188
301	2394	2.606	540	106	93	28	3.8	9.188
302	2390	2.589	543	106	94	28	3.8	9.188
303	2390	2.605	543	106	94	28	3.8	9.188
305	2384	2.685	541	103	93	26	3.8	9.188
306	2386	2.733	540	104	95	27	3.8	9.188
307	2390	2.716	541	104	95	27	3.8	9.188
308	2390	2.705	541	104	95	27	3.8	9.188
311	2404	2.865	558	103	96	27	3.65	9.292
312	2400	2.886	560	105	94	27	3.65	9.292
313	2400	2.837	559	104	95	28	3.65	9.292
316	2384	2.744	543	105	94	29	3.6	9.188
317	2390	2.691	544	106	93	29	3.6	9.188
318	2386	2.754	543	106	94	29	3.6	9.188

ตารางที่ ง-32 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 2 90% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 3-64

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
3.5	2400	2.363	489	109	95	29	3.8	8.269
3.75	2400	2.449	492	109	93	29	3.8	8.269
8.5	2400	2.400	485	106	92	27	3.7	8.200
8.75	2400	2.372	491	104	92	25	3.7	8.200
13.5	2400	2.527	489	102	88	24	3.7	8.094
13.75	2400	2.520	489	102	87	26	3.7	8.094
18.5	2400	2.561	499	108	96	29	3.7	8.487
18.75	2400	2.507	500	109	97	29	3.7	8.456
23.5	2400	2.553	500	105	95	27	3.7	8.536
23.75	2400	2.560	502	106	94	27	3.7	8.536
28.5	2400	2.367	457	102	86	26	3.8	8.240
28.75	2400	2.289	462	102	87	26	3.8	8.240
33.25	2402	2.197	454	104	90	30	3.7	8.877
33.75	2400	2.201	454	105	90	30	3.75	8.877
38.25	2400	2.347	474	106	90	28	3.75	8.877
37.75	2400	2.285	471	102	91	28	3.75	8.877
43.25	2400	2.325	468	104	88	27	3.7	8.702
43.75	2400	2.346	465	104	88	27	3.7	8.702
48.5	2412	2.636	486	77	95	30	3.35	8.877
49	2410	2.590	486	78	95	29	3.4	8.877
53.5	2404	2.436	483	109	95	30	3.7	8.877
53.75	2400	2.483	479	106	94	28	3.7	8.877
58.5	2412	2.492	480	104	94	27	3.8	8.877
59	2412	2.466	482	102	93	27	3.8	8.877
63.25	2402	2.418	485	110	98	30	3.7	8.877

ตารางที่ ง-33 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 2 90% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 64-124

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
63.75	2400	2.419	487	108	96	28	3.7	8.877
68.5	2414	2.448	478	103	91	27	3.8	9.115
68.75	2408	2.463	473	105	90	28	3.8	8.679
73.25	2402	2.276	472	102	90	25	3.75	9.187
73.75	2400	2.386	473	102	91	27	3.8	9.187
78.25	2406	2.291	459	106	90	30	3.8	8.200
78.5	2406	2.290	459	105	91	31	3.8	8.200
83.5	2398	2.341	458	103	87	28	3.8	8.200
83.75	2388	2.301	463	101	88	26	3.8	8.200
88.5	2398	2.357	462	102	86	24	3.8	8.303
88.75	2390	2.369	462	99	86	24	3.8	8.303
93.5	2402	2.430	491	107	93	30	3.8	8.269
93.75	2400	2.425	492	107	94	30	3.8	8.269
98.5	2408	2.454	492	100	88	27	3.8	8.590
99	2402	2.415	492	100	89	26	3.8	8.590
103.5	2400	2.371	496	103	89	29	3.8	8.269
103.75	2400	2.413	496	103	89	29	3.8	8.269
108.5	2400	2.623	525	107	93	27	3.7	8.609
108.75	2396	2.541	525	106	92	27	3.7	8.609
113.5	2400	2.590	506	104	88	26	3.8	8.269
113.75	2396	2.541	506	104	88	26	3.8	8.269
118.5	2402	2.558	524	107	93	27	3.7	8.269
118.75	2400	2.543	525	107	93	27	3.7	8.269
123.25	2410	2.502	499	103	88	27	3.8	8.269
123.75	2408	2.468	494	104	89	26	3.8	8.269

ตารางที่ ง-34 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 2 90% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 128-189

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
128.5	2400	2.408	491	101	89	27	3.75	8.269
128.75	2396	2.407	491	101	89	26	3.75	8.269
133.5	2400	2.630	515	103	90	26	3.8	8.877
133.75	2400	2.568	515	104	90	27	3.8	8.877
138.5	2396	2.564	512	105	94	28	3.7	8.567
138.75	2390	2.521	513	105	93	28	3.7	8.567
143.25	2396	2.559	525	107	96	26	3.8	8.877
144	2384	2.548	528	106	94	26	3.8	8.877
148.75	2400	2.550	508	102	88	25	3.8	8.791
149	2404	2.527	514	103	89	26	3.8	8.791
153.5	2398	2.437	482	99	87	27	3.8	8.269
153.75	2402	2.373	483	99	87	27	3.8	8.269
158.5	2396	2.493	495	101	87	28	3.8	8.269
158.75	2398	2.504	495	100	87	27	3.8	8.269
163.5	2398	2.450	488	100	87	26	3.8	8.269
163.75	2398	2.484	488	100	87	26	3.8	8.269
168.5	2394	2.372	482	101	88	27	3.7	8.269
168.75	2392	2.463	487	100	88	26	3.7	8.269
173.5	2400	2.349	486	101	89	26	3.8	8.269
173.75	2400	2.390	485	101	89	26	3.8	8.269
178.5	2400	2.426	485	101	89	26	3.8	8.269
178.75	2394	2.395	489	102	88	27	3.8	8.269
183.5	2404	2.521	516	103	90	27	3.8	8.269
183.75	2403	2.539	516	103	91	27	3.8	8.269
188.5	2390	2.417	499	103	88	27	3.8	8.269

ตารางที่ ง-35 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 2 90% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 189-249

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
188.75	2390	2.423	499	102	88	26	3.8	8.269
193.5	2394	2.433	500	103	88	25	3.8	8.269
193.75	2398	2.423	498	103	88	25	3.8	8.269
198.5	2400	2.589	488	103	89	27	3.8	8.269
199	2398	2.589	488	103	89	28	3.8	8.269
203.25	2392	2.504	482	100	88	26	3.8	8.269
203.75	2390	2.494	487	99	87	26	3.8	8.269
208.5	2394	2.350	486	100	87	26	3.8	8.269
208.75	2400	2.353	485	100	87	26	3.8	8.269
213.5	2400	2.537	485	100	88	27	3.8	8.269
214	2400	2.460	489	100	88	27	3.8	8.269
218.5	2398	2.427	516	99	88	26	3.8	8.269
219	2396	2.374	516	101	87	28	3.8	8.269
223.5	2396	2.411	499	100	86	26	3.8	8.269
223.75	2396	2.369	499	101	87	26	3.8	8.269
228.5	2394	2.409	500	103	88	26	3.8	8.269
229	2398	2.415	498	102	88	26	3.8	8.269
233.5	2398	2.467	515	100	89	27	3.8	8.269
234	2396	2.464	515	97	87	25	3.8	8.269
238.5	2388	2.517	512	103	88	26	3.8	8.269
238.75	2390	2.524	513	102	87	25	3.8	8.269
243.5	2400	2.529	525	105	89	25	3.8	8.269
243.75	2400	2.501	528	103	88	26	3.8	8.269
248.5	2410	2.433	516	99	86	24	3.8	8.269
248.75	2400	2.428	516	97	84	23	3.8	8.269



ตารางที่ ง-36 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 2 90% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 254-314

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
253.5	2408	2.553	499	98	88	24	3.8	8.269
253.75	2400	2.551	499	97	87	25	3.8	8.269
258.5	2400	2.582	500	102	86	25	3.8	8.877
258.75	2396	2.495	498	100	85	25	3.8	8.877
263.5	2404	2.260	500	95	85	22	4.5	8.269
263.75	2402	2.266	498	95	84	23	4.5	8.269
268.5	2386	2.451	486	96	82	22	3.8	8.269
268.75	2394	2.448	464	96	82	23	3.8	8.269
273.5	2398	2.435	469	98	84	28	3.8	8.269
273.75	2380	2.353	468	98	84	28	3.8	8.269
278.5	2398	2.584	484	100	89	26	3.8	8.337
278.75	2394	2.460	486	100	87	27	3.8	8.337
283.5	2392	2.405	464	98	85	25	3.8	8.269
283.75	2392	2.517	465	98	85	25	3.8	8.269
288.5	2400	2.414	479	103	85	29	3.8	8.269
288.75	2402	2.341	479	103	86	29	3.8	8.269
293.5	2400	2.372	469	98	84	27	3.8	8.269
293.75	2398	2.362	470	98	85	27	3.8	8.269
298.5	2398	2.349	466	99	84	27	3.8	8.269
298.75	2392	2.346	466	99	84	27	3.8	8.269
303.5	2388	2.361	473	101	87	28	3.8	8.269
303.75	2394	2.309	470	100	86	28	3.8	8.269
308.5	2384	2.306	471	98	86	26	3.8	8.269
308.75	2384	2.327	468	97	87	25	3.8	8.269
313.5	2400	2.345	470	100	86	25	3.8	8.269

ตารางที่ ง-37 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 2 90% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 314-319

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
313.75	2402	2.362	470	97	86	25	3.8	8.269
318.5	2400	2.398	486	103	90	29	3.8	8.269
318.75	2400	2.430	486	103	90	29	3.8	8.269

ตารางที่ ง-38 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 4-40

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
4.5	2400	2.1147	439	106	91	28	3.8	7.350
4.75	2400	2.1321	440	105	89	28	3.8	7.350
9.5	2400	2.0577	440	103	87	26	3.8	7.350
9.75	2400	2.1436	442	100	85	26	3.8	7.350
14.5	2400	2.2602	444	99	84	25	3.8	7.350
14.75	2400	2.2445	445	100	84	25	3.8	7.350
19.5	2400	2.1874	444	104	92	28	3.8	7.350
19.75	2400	2.2081	442	104	89	30	3.8	7.350
24.5	2400	2.4165	457	99	86	26	3.8	7.350
24.75	2400	2.4150	460	102	88	25	3.8	7.350
29.5	2396	2.1511	428	101	86	26	3.8	7.378
29.75	2396	2.1501	428	100	86	26	3.8	7.378
34.25	2396	2.1306	437	102	86	29	3.8	7.350
34.5	2396	2.1586	437	100	86	29	3.8	7.350
34.75	2390	2.0882	438	102	87	30	3.8	7.350
39.25	2400	2.0345	421	100	84	27	3.8	7.350

ตารางที่ ง-39 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 40-100

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
39.75	2392	2.1515	418	99	86	27	3.8	7.350
44.25	2400	2.0482	422	100	85	26	3.8	7.350
44.75	2400	2.0845	422	102	84	25	3.8	7.350
49.25	2400	2.0372	422	77	88	29	3.6	7.350
50	2392	2.2050	420	73	87	27	3.6	7.350
54.25	2400	2.0929	420	100	89	27	3.8	7.350
54.75	2400	2.1760	419	98	84	27	3.8	7.350
59.5	2384	2.2316	430	98	87	27	3.8	7.460
59.75	2384	2.1762	420	98	87	26	3.8	7.460
64.5	2412	2.1448	435	103	90	28	3.8	7.198
64.75	2412	2.1784	435	103	88	28	3.8	7.198
69.5	2394	2.1547	430	100	87	26	3.8	7.509
69.75	2390	2.1490	431	100	86	27	3.8	7.509
74.5	2400	2.0907	423	97	85	25	3.8	7.405
74.75	2400	2.1193	422	96	84	25	3.8	7.378
79.25	2400	2.1709	446	100	86	28	3.8	7.350
79.75	2400	2.1922	446	102	89	29	3.8	7.350
84.5	2390	2.2309	455	100	86	27	3.8	7.350
84.75	2390	2.2187	457	101	88	27	3.8	7.350
89.5	2400	2.1789	447	100	85	24	3.8	7.350
89.75	2394	2.2115	448	100	84	25	3.8	7.350
94.5	2400	2.2241	451	102	86	25	3.8	7.378
94.75	2396	2.2254	451	100	87	28	3.8	7.378
99.5	2394	2.3121	464	99	87	26	3.8	7.350
99.75	2394	2.2902	464	97	86	26	3.8	7.350

ตารางที่ ง-40 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 104-165

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
104.5	2396	2.3039	472	100	85	26	3.8	7.350
104.75	2396	2.2732	472	101	87	26	3.8	7.350
109.5	2396	2.1840	444	100	85	27	3.8	7.350
109.75	2396	2.1980	444	99	86	27	3.8	7.350
114.5	2398	2.4656	476	101	85	26	3.8	7.350
114.75	2398	2.4239	474	100	86	26	3.8	7.350
119.5	2400	2.2003	442	101	84	27	3.8	7.350
119.75	2400	2.2247	443	98	87	28	3.8	7.350
124.25	2410	2.3624	475	103	88	27	3.8	7.350
124.75	2408	2.3617	474	103	87	26	3.8	7.350
129.5	2400	2.2923	471	100	86	27	3.8	7.350
129.75	2396	2.2646	471	101	86	27	3.8	7.350
134.5	2404	2.2054	443	100	86	27	3.8	7.350
134.75	2404	2.1698	443	100	86	26	3.8	7.350
139.5	2396	2.2402	452	100	86	28	3.8	7.698
139.75	2396	2.2380	454	98	87	28	3.8	7.698
144.5	2388	2.2394	456	99	86	26	3.8	8.021
145	2396	2.2491	462	100	85	26	3.8	8.021
149.25	2404	2.2470	453	100	86	28	3.8	7.350
149.75	2404	2.2329	454	100	87	27	3.8	7.350
154.5	2400	2.2621	468	97	84	27	3.8	7.350
154.75	2402	2.2812	470	97	85	27	3.8	7.350
159.5	2396	2.3111	459	97	84	27	3.8	7.350
159.75	2396	2.2480	459	98	85	27	3.8	7.350
164.5	2398	2.2136	458	97	84	27	3.8	7.350

ตารางที่ ง-41 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 165-225

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
164.75	2398	2.2151	458	97	82	27	3.8	7.350
169.5	2396	2.2672	461	99	86	28	3.8	7.350
169.75	2396	2.2377	463	99	88	26	3.8	7.350
174.5	2398	2.3088	472	100	87	27	3.8	7.350
174.75	2400	2.3028	472	100	87	27	3.8	7.350
179.5	2398	2.2984	482	103	90	27	3.8	7.350
179.75	2412	2.4023	482	100	90	27	3.8	7.350
184.5	2390	2.2092	467	100	86	26	3.8	7.350
184.75	2390	2.2408	467	100	87	27	3.8	7.350
189.5	2394	2.3118	474	100	86	26	3.8	7.350
189.75	2398	2.2898	475	100	86	26	3.8	7.350
194.5	2402	2.3363	478	101	86	26	3.8	7.350
194.75	2400	2.3752	478	101	86	26	3.8	7.350
199.5	2402	2.4866	468	101	88	27	3.8	7.350
200	2394	2.4860	468	99	87	26	3.8	7.350
204.5	2400	2.3972	462	99	84	26	3.8	7.350
204.75	2400	2.3681	467	99	86	26	3.8	7.350
209.5	2394	2.2196	466	99	85	26	3.8	7.350
209.75	2394	2.2204	465	98	84	26	3.8	7.350
214.5	2398	2.2472	465	99	84	26	3.8	7.350
214.75	2398	2.2475	478	99	83	26	3.8	7.350
219.5	2400	2.2964	490	98	85	26	3.8	7.350
220	2404	2.3156	490	99	88	26	3.8	7.350
224.5	2392	2.2262	475	98	87	26	3.8	7.350
224.75	2390	2.2572	475	98	87	26	3.8	7.350

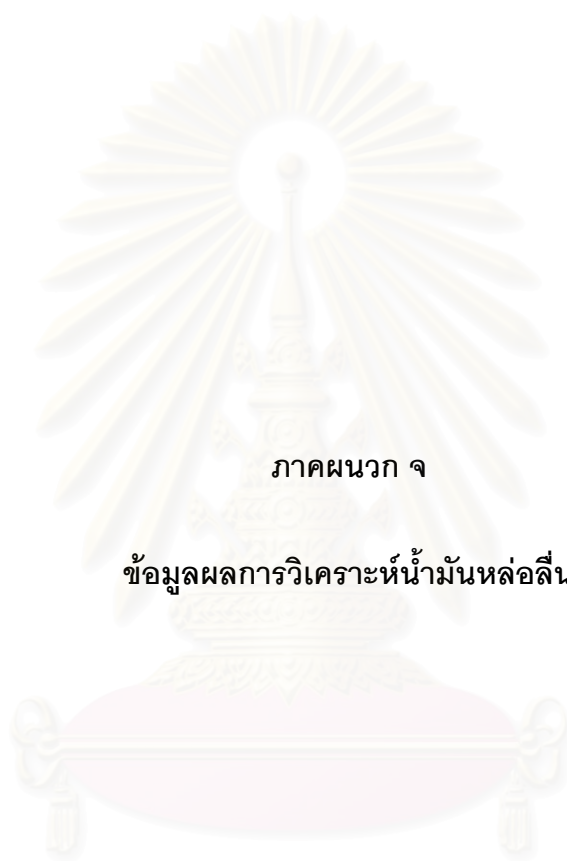


ตารางที่ ง-42 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 229-290

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
229.5	2400	2.3733	480	101	86	27	3.8	7.350
229.75	2400	2.3926	480	100	86	27	3.8	7.350
234.5	2398	2.3439	495	98	86	26	3.8	7.350
235	2396	2.3111	495	98	87	27	3.8	7.350
239.5	2400	2.3041	490	96	86	26	3.8	7.350
239.75	2400	2.3088	489	96	85	26	3.8	7.350
244.5	2396	2.3116	490	96	85	24	3.8	7.350
244.75	2396	2.3151	490	96	85	24	3.8	7.350
249.5	2410	2.2331	486	96	84	23	3.8	7.350
249.75	2390	2.2549	486	97	86	25	3.8	7.350
254.5	2400	2.3857	480	97	85	25	3.8	7.350
254.75	2395	2.3488	478	98	83	28	3.8	7.350
259.5	2396	2.3335	480	96	83	24	3.8	7.350
259.75	2394	2.1213	480	96	83	24	3.8	7.350
264.5	2398	2.2979	476	95	81	22	3.8	7.350
264.75	2374	2.2124	476	95	82	22	3.8	7.350
269.5	2402	2.2470	460	95	81	23	3.8	7.350
269.75	2394	2.2410	460	95	81	23	3.8	7.350
274.5	2398	2.2759	448	99	86	27	3.8	7.350
274.75	2398	2.2758	446	97	84	26	3.8	7.350
279.5	2396	2.3126	445	98	85	27	3.8	7.350
279.75	2394	2.2563	444	98	86	25	3.8	7.350
284.5	2396	2.2459	444	97	83	24	3.9	7.350
284.75	2396	2.2447	444	96	82	24	3.9	7.350
289.5	2404	2.2621	454	99	85	28	3.8	7.350

ตารางที่ ง-43 ข้อมูลการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอิน  
สภาวะการทำงานที่ 3 80% ที่กำลังบ่งชี้ ชั่วโมงที่ 290-320

Engine Hour	Speed	FC (avg) (kg/hr)	Temperature (°C)				P disc. (bar)	Power (kW)
	(rev/min)		Exhaust	Oil	Water	Intake		
289.75	2404	2.2549	453	99	85	28	3.8	7.350
294.5	2402	2.2408	446	96	83	26	3.8	7.350
294.75	2398	2.1814	446	97	85	26	3.8	7.350
299.5	2394	2.2959	445	98	83	26	3.8	7.350
299.75	2400	2.2872	444	97	83	26	3.8	7.350
304.5	2394	2.3059	454	99	87	28	3.8	7.350
304.75	2400	2.3311	454	98	86	27	3.8	7.350
309.5	2396	2.3426	460	98	86	27	3.8	7.350
309.75	2396	2.3343	461	98	85	27	3.8	7.350
314.5	2394	2.3024	444	100	88	27	3.8	7.350
314.75	2390	2.2160	443	98	85	27	3.8	7.350
319.5	2396	2.2083	442	100	86	26	3.8	7.350
319.75	2396	2.2136	442	99	84	26	3.8	7.350



ภาคผนวก จ

ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance

ISO 9001:2000 Certified

Page 1 of 3

<p><b>Customer Code</b> : 28076</p> <p><b>Customer Name</b> : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.</p> <p><b>Address</b> : 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A. Klong-Luang Pathumthani 12120</p> <p><b>Test code</b> : 80300</p> <p><b>Lube System Capacity</b> :</p>	<p><b>Oil ID Number</b> : <b>New Oil Chang SAE 40 API CF</b></p> <p><b>Unit Type</b> : NEW OIL</p> <p><b>Unit Make</b> :</p> <p><b>Unit Model</b> :</p> <p><b>Oil type/Viscosity</b> : CHANG SAE40 API CF</p> <p><b>Site Name</b> :</p> <p><b>Location</b> :</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p><b>Overall Condition Rating</b></p> <table border="0" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 33%;">Wear Condition</td> <td style="width: 33%;">Oil Condition</td> <td style="width: 33%;">Contamination</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="color: green; font-weight: bold;">NORMAL</td> <td style="color: green; font-weight: bold;">NORMAL</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="font-size: 2em;">✔</td> <td style="font-size: 2em;">✔</td> </tr> </table> </div>	Wear Condition	Oil Condition	Contamination		NORMAL	NORMAL		✔	✔
Wear Condition	Oil Condition	Contamination									
	NORMAL	NORMAL									
	✔	✔									

**Recommendations and Notes**

All tests appear normal for this type of new oil.

		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range	
Condition History		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Limit Name (Equipment / Oil) :	
		N	N		N	N		New Oil for Baseline Purposes	
<b>FocusLab ID</b>	Test Method								
<b>Date sampled</b>	Repeat								
<b>Hours on Oil</b>									
<b>Hours on Unit</b>									
<b>Beets ID</b>									
		86888			83822			83504	
		18-Jan-08			04-Nov-07			25-Oct-07	
		Not Available			Not Given			Not Available	
		Not Available			Not Given			Not Available	
		857609			867374			867370	
<b>Wear Condition</b>									
<b>Wear Element</b>	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Alarm
Iron	D-6595	PPM	0.7		0.8		0.8		U-CAUTION
Chromium	D-6595	PPM	0.1		0.1		0.0		U-CAUTION
Lead	D-6595	PPM	0.0		0.0		0.0		U-CAUTION
Copper	D-6595	PPM	0.1		0.0		0.0		U-CAUTION
Tin	D-6595	PPM	0.0		0.0		0.0		U-CAUTION
Aluminum	D-6595	PPM	0.4		0.2		0.1		U-CAUTION
Nickel	D-6595	PPM	0.8		0.0		0.4		U-CAUTION
Silver	D-6595	PPM	0.1		0.0		0.0		U-CAUTION
Molybdenum	D-6595	PPM	33.8		33.1		37.5		U-CAUTION
Titanium	D-6595	PPM	0.0		0.0		0.0		U-CAUTION
<b>Oil Condition</b>									
	Method	Unit							Alarm
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	158.1		158.3		158.3		U-CAUTION
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	15.1		15.3		15.2		U-CAUTION
Oxidation	FTIR	Abs	3.0		3.1		3.1		U-CAUTION
Nitration	FTIR	Abs	4.7		4.4		4.4		U-CAUTION
TAN	D-974	mg/100g							U-CAUTION
TBN	D-4739	mg/100g	6.6		8.1		6.5		U-CAUTION
<b>Contamination</b>									
	Method	Unit							Alarm
Water	FTIR	% (Wt)	0.017		0.020		0.030		U-CAUTION
Fuel	SAW	% (Wt)	0.00		0.00		0.00		U-CAUTION
Glycol	FTIR	Abs	0		0		0		U-CAUTION
Soot	FTIR	% (Wt)	0.00		0.00		0.00		U-CAUTION
Sodium	D-6595	PPM	1		1		1		U-CAUTION
Silicon	D-6595	PPM	7.0		8.8		9.0		U-CAUTION
<b>Additive Element</b>									
	Method	Unit							Alarm
Boron	D-6595	PPM	0		0		0		U-CAUTION
Magnesium	D-6595	PPM	12		12		14		U-CAUTION
Calcium	D-6595	PPM	2367		2225		2210		U-CAUTION
Barium	D-6595	PPM	0		0		0		U-CAUTION
Phosphorus	D-6595	PPM	409		436		450		U-CAUTION
Zinc	D-6595	PPM	515		533		537		U-CAUTION
<b>Additional Test</b>									
Flash Point	D-3638	°C							U-CAUTION
Viscosity Index	D-2270								U-CAUTION
Other									U-CAUTION

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or **N**: NORMAL, **C** or **▲**: CAUTION (first level warning limit), **A** or **■**: ACTION required (second level warning limit)  
**U-CAUTION** : Upper CAUTION Level, **L-CAUTION** : Lower CAUTION Level, **U-ACTION** : Upper ACTION required Level, **L-ACTION** : Lower ACTION required Level  
 First level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Second level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied.  
 No warranty is expressed or implied for this report.

รูปที่ จ-1 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นใหม่ที่ใช้ในการทดสอบความทนทาน



# LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance

ISO 9001: 2000 Certified.

Page 1 of 7

Customer Code : 28076 Unit ID Number : RT 140 000118  
 Customer Name : The Siam Kubota Industry Co., Ltd. Unit Type : Engine Diesel  
 Address : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120 Unit Make : KUBOTA  
 Unit Model : RT 140 DI  
 Oil type / Viscosity : CHANG SAE40 API CF  
 Site Name : CPO as Fuel Project  
 Location :  
 Test code : 804 90400 90700 90900  
 91400  
 Lube System Capacity : 2.75 Liters



**Recommendations and Notes**  
 (Durability 25 hrs : CPO , Base Oil No 857809 )  
 Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range			
FocusLab ID	Test Method	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Limit Name (Equipment / Oil) :
87027											Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)
Date sampled		19-Jan-08			18-Jan-08			18-Jan-08			
Hours on Oil		25			10			0			
Hours on Unit		25			10			0			
Bottle ID		876039			867151			867150			
Wear Condition											
Wear Element	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Need Oil
Iron	D-6595	PPM	116.3 A	859.2 A	51.3 A	1067.4 A	6.2	82.9 A	1	>15	>20
Chromium	D-6595	PPM	2.4 A	5.9 A	1.0	10.0 A	0.4	1.4 C	0	>1	>2
Lead	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	1.3	0	>7	>12
Copper	D-6595	PPM	1.9	2.9	1.0	4.1	0.3	1.8	0	>10	>17
Tin	D-6595	PPM	4.0 C	25.8 A	0.0	47.4 A	0.0	14.4 A	0	>3	>6
Aluminum	D-6595	PPM	13.8 A	64.3 A	6.2 A	71.8 A	1.2	56.4 A	0	>2	>4
Nickel	D-6595	PPM	0.3	0.0	0.4	1.8	0.5	0.0	1	>1	>2
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0		
Molybdenum	D-6595	PPM	31.4	22.2	31.3	33.9	33.3	15.0	34		
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.3	0.0	2.2	0.0	0.6	0		
Oil Condition											
Viscosity @ 40 °C	D-446	cSt	142.2		149.9		155.2		158.1		
Viscosity @ 100 °C	D-446	cSt	14.6		14.9		15.1		15.1	<12.8	>13.8
Oxidation	FTIR	Abn	21.9		10.6		4.0		3.0	>12.8	>13.8
Nitration	FTIR	Abn	5.4		4.9		4.9		4.7	>7	>8.4
TAN	D-974	mg/100g	1.43		1.10		0.97		1.00	>2	>3
TBN	D-4739	mg/100g	6.8		6.7		7.2		7.5	<7.75	
Contamination											
Water	FTIR	% (wt.)	0.050		0.045		0.049		0.020		
Fuel	Solv	% (wt.)	0.10		0.10		0.10				
Glycol	FTIR	Abn	0		0		0				
Soot	FTIR	% (wt.)	0.81		0.77		0.75				
Sodium	D-6595	PPM	7		4		2		1		
Silicon	D-6595	PPM	30.3 A	155.3 A	16.6 A	145.0 A	8.4 A	21.0 A	7	>6	>8
Additive Element											
Boron	D-6595	PPM	0		0		0		0		
Magnesium	D-6595	PPM	20		16		13		12		
Calcium	D-6595	PPM	2278		2296		2389		2367		
Barium	D-6595	PPM	0		0		0		0		
Phosphorus	D-6595	PPM	404		459		423		409		
Zinc	D-6595	PPM	517	289	512	366	521	231	515		
Additional Test											
Flash Point	D-3628	°C									
Viscosity Index	D-1070										
Other											

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or (N) : NORMAL , C or (A) : CAUTION (first level warning limit) , A or (R) : ACTION required (second level warning limit)  
 U-Caution : Upper CAUTION Level L-Caution : Lower CAUTION Level First level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 U-Action : Upper ACTION required Level L-Action : Lower ACTION required Level Second level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.

9 Fl., Thasapei Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8667  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

FL-6.1

รูปที่ จ-2 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 0-25 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-25 ชั่วโมง





**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

ISO 9001: 2000 Certified

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 28076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate,  
T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900  
91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 000118

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA





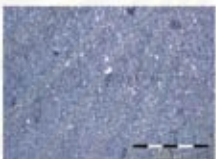
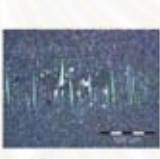


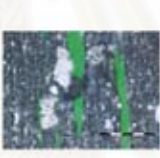

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : CPO as Fuel Project

**Location** :



FocusLab ID	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis							
	87027	86890	86889	86889								
Date sampled	19-Jan-08	18-Jan-08	18-Jan-08	18-Jan-08	 Typical Normal Ferrogram							
Hours on Oil	25	10	10	0								
Hours on Unit	25	10	10	0								
Bottle ID	876039	867151	867151	867150								
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml								
Image of Wear & Contaminant Magnification 50x												
Image of Wear & Contaminant Magnification 100x												
Image of Wear & Contaminant Magnification 500x												
<b>Wear &amp; Contaminants Particles</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	50	2-3	F	60	2-3	F			
Fatigue Wear	5	10-30	F	20	20-50	F	20	10-30	F			
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear												
Black Oxides	5	10-20	F	10	10-30	F	10	10-20	F			
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	20	10-50	C	20	10-100	C	10	10-80	C			

**Recommendations and Notes**

Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.  
Trace amount of black oxide and fatigue wear.

**%Rating** : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
**Size** : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
**F** : Ferrous Wear Particle, **N** : Non-ferrous Wear Particle, **C** : Contaminant Particle

9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/99 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 http://www.focuslab.co.th Email: focuslab@focuslab.co.th

FL-6.1

รูปที่ ๑-3 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 0-25 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-25 ชั่วโมง



## LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance

ISO 9001: 2000 Certified.

Page 1 of 7

---

**Customer Code** : 28076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate,  
T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900  
91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 000118

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : CPO as Fuel Project

**Location** :



**Recommendations and Notes**  
 (Durability 100 hrs : CPO , Base Oil No 857809 )  
 Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.  
 Oil condition tests indicate that the oil is slightly degraded.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range	
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil
<b>FocusLab ID</b>	Test Method	87305	87304	87156	Limit Name (Equipment / Oil) : Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)				
Date sampled	Result	27-Jan-08	24-Jan-08	23-Jan-08					
Hours on Oil		100	75	50					
Hours on Unit		100	75	50					
Bottle ID		876047	876042	868180					
<b>Wear Condition</b>									
<b>Wear Element</b>	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Next test
Iron	D-6595	PPM	287.6 A	1557.5 A	254.9 A	2220.5 A	229.3 A	838.5 A	1
Chromium	D-6595	PPM	4.0 A	9.6 A	4.0 A	13.7 A	4.1 A	6.1 A	0
Lead	D-6595	PPM	17.7 A	7.0	5.7	0.0	2.2	0.0	0
Copper	D-6595	PPM	8.2	5.6	4.5	5.8	3.4	2.6	0
Tin	D-6595	PPM	5.0 C	37.2 A	4.7 C	43.5 A	5.9 C	25.2 A	0
Aluminum	D-6595	PPM	40.7 A	167.6 A	34.0 A	172.0 A	26.6 A	68.9 A	0
Nickel	D-6595	PPM	0.7	0.0	0.7	0.0	1.0 C	0.0	1
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0
Molybdenum	D-6595	PPM	26.4	21.0	29.3	23.1	32.9	17.8	34
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0	1.3	0
<b>Oil Condition</b>									
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	115.3		125.1		134.6		158.1
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	13.6		14.1		14.2		15.1
Oxidation	FTR	Abn	72.6 A		51.9 A		37.5 A		30
Nitration	FTR	Abn	7.4 C		6.7		6.2		4.7
TAN	D-974	mg/100g	2.78 C		2.66 C		1.96		1.00
TBN	D-4739	mg/100g	5.1		5.8		6.4		7.5
<b>Contamination</b>									
Water	FTR	% (v/v)	0.067		0.062		0.054		0.020
Fuel	SAW	% (v/v)	0.10		0.10		0.10		
Glycol	FTR	Abn	0		0		0		
Soot	FTR	% (v/v)	1.02		0.94		0.87		
Sodium	D-6595	PPM	18		15		13		1
Silicon	D-6595	PPM	74.1 A	304.0 A	63.4 A	360.9 A	51.4 A	134.2 A	7
<b>Additive Element</b>									
Boron	D-6595	PPM	0		0		0		0
Magnesium	D-6595	PPM	40		35		30		12
Calcium	D-6595	PPM	1978		2182		2268		2367
Barium	D-6595	PPM	8		10		11		0
Phosphorus	D-6595	PPM	416		451		458		409
Zinc	D-6595	PPM	447	336	495	339	508	237	515
<b>Additional Test</b>									
Flash Point	D-3829	°C							
Viscosity Index	D-2270								
Other									

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or (N) : NORMAL , C or (C) : CAUTION (first level warning limit) , A or (A) : ACTION required (second level warning limit)  
 U-Caution : Upper CAUTION Level L-Caution : Lower CAUTION Level  
 U-Action : Upper ACTION required Level L-Action : Lower ACTION required Level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.

รูปที่ จ-4 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 50-100 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 50-100 ชั่วโมง



**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

ISO 9001: 2000 Certified

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 28076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate,  
T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900  
91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 000118

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA


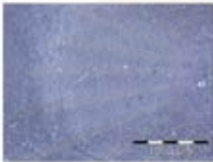


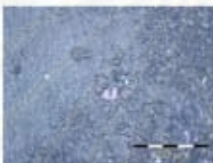
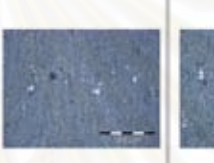

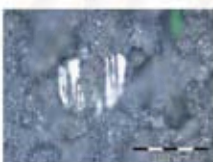
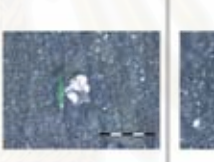

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : CPO as Fuel Project

**Location** :



FocusLab ID	Current Sample			Previous Sample			Ferrographic Analysis					
	87305	87304	87156									
Date sampled	27-Jan-08	24-Jan-08	23-Jan-08									
Hours on Oil	100	75	50									
Hours on Unit	100	75	50									
Bottle ID	876047	876042	868180									
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml									
Image of Wear & Contaminant Magnification 50x												
Image of Wear & Contaminant Magnification 100x												
Image of Wear & Contaminant Magnification 500x												
<b>Wear &amp; Contaminants Particles</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	70	2-3	F	60	2-3	F			
Fatigue Wear	5	20-80	F	5	10-30	F	10	20-50	F			
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear												
Black Oxides	5	10-20	F	5	10-20	F	10	10-20	F			
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	20	10-100	C	20	10-100	C	20	10-80	C			

**Recommendations and Notes**

Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.  
Trace amount of black oxide and fatigue wear found in the ferrogram.

**%Rating** : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
**Size** : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
**F** : Ferrous Wear Particle, **N** : Non-ferrous Wear Particle, **C** : Contaminant Particle

9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/99 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
http://www.focuslab.co.th Email: focuslab@focuslab.co.th

FL-6.1

รูปที่ ๑-5 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 50-100 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 50-100 ชั่วโมง





ISO 9001:2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 1 of 7

---

**Customer Code** : 28076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A. Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900  
91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 000118

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : CPO as Fuel Project

**Location** :



**Recommendations and Notes**  
 ( Durability 150 hrs - CPO, Base Oil No 857809 )  
 Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.  
 Oil condition tests indicate that the oil is slightly degraded.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range					
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.			
<b>FocusLab ID</b>	Test Method	Result											
Date sampled			87722		87469		87306						
Hours on Oil			30-Jan-08		29-Jan-08		27-Jan-08						
Hours on Unit			50		25		0						
Bottle ID			150		125		100						
			878033		878032		876048						
<b>Wear Condition</b>													
<b>Wear Element</b>	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse			
Iron	D-6595	PPM	173.8 A	670.4 A	100.1 A	454.2 A	3.1	13.8	1	>15	>20	>15	>20
Chromium	D-6595	PPM	2.1 A	3.6 A	1.4 C	3.3 A	0.0	0.0	0	>1	>2	>1	>2
Lead	D-6595	PPM	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	>7	>12	>10	>50
Copper	D-6595	PPM	2.4	2.4	1.5	1.8	0.0	0.0	0	>10	>17	>7	>15
Tin	D-6595	PPM	0.0	8.2 A	0.0	9.4 A	0.0	1.0	0	>3	>6	>3	>5
Aluminum	D-6595	PPM	32.1 A	84.7 A	18.4 A	83.9 A	0.2	0.0	0	>2	>4	>4	>6
Nickel	D-6595	PPM	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	>1	>2	>2	>3
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
Molybdenum	D-6595	PPM	32.3	18.8	30.2	19.0	33.6	2.5	34				
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0				
<b>Oil Condition</b>													
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	130.3		142.4		156.6		158.1				
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	14.1		14.4		15.1		15.1	<12.8	<13.6	>16.6	>17.4
Oxidation	FTIR	Abs	43.3 A		23.6 C		3.2		3.0	>22	>22	>32	
Nitration	FTIR	Abs	6.5		5.5		4.8		4.7	>7	>7	>8.4	
TAN	D-874	mg/100g	1.85		1.48		0.94		1.00	>2	>2	>3	
TBN	D-4729	mg/100g	5.9		6.8		6.8		7.5	<2	<2.75		
<b>Contamination</b>													
Water	FTIR	% (Wt)	0.064		0.056		0.053		0.020			>0.1	>0.12
Fuel	SAIV	% (Wt)	0.10		0.10		0.10						
Glycol	FTIR	Abs	0		0		0						
Soot	FTIR	% (Wt)	1.00		0.86		0.76						
Sodium	D-6595	PPM	9		7		1		1				
Silicon	D-6595	PPM	49.6 A	126.5 A	32.3 A	101.1 A	8.1 A	5.9	7	>5	>8	>10	>15
<b>Additive Element</b>													
Boron	D-6595	PPM	0		0		0		0				
Magnesium	D-6595	PPM	35		24		11		12				
Calcium	D-6595	PPM	2338		2226		2272		2367				
Barium	D-6595	PPM	0		3		0		0				
Phosphorus	D-6595	PPM	367		431		395		409				
Zinc	D-6595	PPM	507	251	492	243	539	81	515				
<b>Additional Test</b>													
Flash Point	D-3628	°C											
Viscosity Index	D-2270												
Other													

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or **N**: NORMAL, **C** or **A**: CAUTION (first level warning limit), **A** or **R**: ACTION required (second level warning limit)  
**U:Caution** : Upper CAUTION Level, **L:Caution** : Lower CAUTION Level, **U:Action** : Upper ACTION required Level, **L:Action** : Lower ACTION required Level  
 First level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Second level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied.  
 No warranty is expressed or implied for this report.

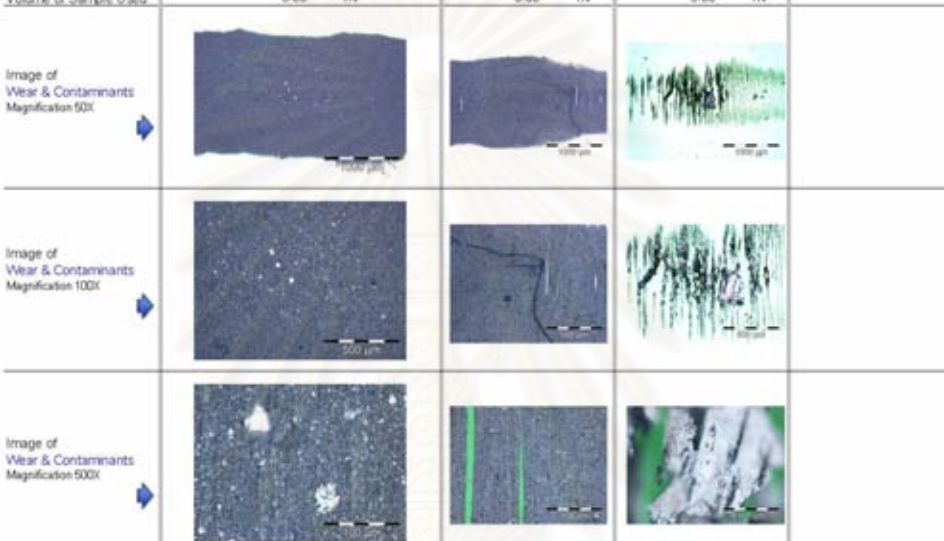
รูปที่ ๑-6 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 100-150 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-50 ชั่วโมง

**FOCUS LABORATORIES LTD.** **LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance** Page 4 of 7

Customer Code : 29076 **Unit ID Number : RT 140 000118**  
 Customer Name : The Siam Kubota Industry Co., Ltd. **Unit Type : Engine Diesel**  
 Address : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A. Klong-Luang Pathumthani 12120 **Unit Make : KUBOTA**  
**Unit Model : RT 140 DI**  
**Oil type/ Viscosity : CHANG SAE40 API CF**  
**Site Name : CPO as Fuel Project**  
**Location :**  
 Test code : 804 90400 90700 90900 91400  
 Lube System Capacity : 2.75 Liters



FocusLab ID	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	87722	87469	87306	87306	
Date sampled	30-Jan-08	29-Jan-08	27-Jan-08	27-Jan-08	Typical Normal Ferrogram
Hours on Oil	50	25	0	0	
Hours on Unit	150	125	100	100	
Bottle ID	876033	876032	876048	876048	
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	



Wear & Contaminants Particles	Current Sample			Previous Sample			Previous Sample		
	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	80	2-3	F	80	2-3	F	30	2-3	F
Fatigue Wear	5	10-20	F				20	20-100	F
Fatigue Sphere							20	20-300	F
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides	5	10-20	F				20	10-300	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	20	20-50	C	20	10-50	C	10	10-50	C

**Recommendations and Notes**

Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.  
 Trace amount of black oxide and fatigue wear found in the ferrogram.

%Rating - Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
 Size - Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
**F** - Ferrous Wear Particle, **N** - Non-ferrous Wear Particle, **C** - Contaminant Particle

9 Fl, Thosapol Land 4 Bldg., 347/99 Bangna-Trad Rd., KM3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand Tel: (662) 361 8500-3 Fax: (662) 361 8567  
 http://www.focuslab.co.th Email: focuslab@focuslab.co.th  
 FL6.1

รูปที่ ๑-7 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 100-150 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-50 ชั่วโมง





ISO 9001:2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 1 of 7

---

**Customer Code** : 28076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A. Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900  
91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 000118

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : CPO as Fuel Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**




**Recommendations and Notes**  
 ( Durability 200 hrs - CPO, Base Oil No 857809 )  
 Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.  
 Oil condition tests indicate that the oil is near the end of it's useful service life.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range				
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Limit Name (Equipment / Oil) :	
<b>FocusLab ID</b>	Test Method	87837			87836			87835				Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)
<b>Date sampled</b>	Result	03-Feb-08			03-Feb-08			01-Feb-08				
<b>Hours on Oil</b>		110			100			75				
<b>Hours on Unit</b>		210			200			175				
<b>Bottle ID</b>		878028			876027			876026				
<b>Wear Condition</b>												
<b>Wear Element</b>	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Limit	
Iron	D-6695	PPM	351.4 A	1282.8 A	325.3 A	1256.4 A	227.5 A	1207.3 A	1	>15	>20	
Chromium	D-6695	PPM	3.8 A	9.0 A	3.7 A	8.1 A	2.0 C	7.6 A	0	>1	>2	
Lead	D-6695	PPM	18.2 A	13.8 C	16.4 A	9.0	5.5	4.3	0	>7	>12	
Copper	D-6695	PPM	7.4	4.9	6.7	4.4	3.9	4.0	0	>10	>17	
Tin	D-6695	PPM	1.2	21.0 A	1.2	20.8 A	0.0	20.8 A	0	>3	>6	
Aluminum	D-6695	PPM	54.3 A	187.9 A	51.4 A	148.5 A	40.7 A	162.8 A	0	>2	>4	
Nickel	D-6695	PPM	0.8	0.8	0.9	0.8	0.1	1.3	1	>1	>2	
Silver	D-6695	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0			
Molybdenum	D-6695	PPM	28.3	20.5	27.5	21.4	27.0	20.9	34			
Titanium	D-6695	PPM	0.0	0.8	0.0	0.9	0.0	1.0	0			
<b>Oil Condition</b>												
Viscosity@ 40 °C	D-445	cSt	107.8		110.2		118.6		158.1			
Viscosity@ 100 °C	D-445	cSt	13.1 C		13.4 C		13.7		15.1	>12.8	>16.6	
Oxidation	FTIR	Abs	87.3 A		71.8 A		83.9 A		3.0	>22	>32	
Nitration	FTIR	Abs	8.1 C		7.9 C		7.2 C		4.7	>7	>8.4	
TAN	D-874	mg/100g	3.82 A		3.81 A		3.52 A		1.00	>2	>3	
TBN	D-4729	mg/100g	4.3		4.6		5.6		7.5	>2	>3.75	
<b>Contamination</b>												
Water	FTIR	% (Wt)	0.078		0.076		0.073		0.020		>0.12	
Fuel	SAIV	% (Wt)	0.10		0.10		0.10					
Glycol	FTIR	Abs	0		0		0					
Soot	FTIR	% (Wt)	1.16		1.15		1.09					
Sodium	D-6695	PPM	18		18		13		1			
Silicon	D-6695	PPM	89.5 A	244.8 A	88.4 A	220.8 A	65.0 A	242.5 A	7	>5	>10	
<b>Additive Element</b>												
Boron	D-6695	PPM	0		0		0		0			
Magnesium	D-6695	PPM	53		52		42		12			
Calcium	D-6695	PPM	1944		1958		2094		2367			
Barium	D-6695	PPM	2		11		4		0			
Phosphorus	D-6695	PPM	370		422		385		409			
Zinc	D-6695	PPM	384	309	387	277	418	300	515			
<b>Additional Test</b>												
Flash Point	D-3628	°C										
Viscosity Index	D-3270											
Other												

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or **N**: NORMAL, **C** or **A**: CAUTION (first level warning limit), **A** or **R**: ACTION required (second level warning limit)  
**C-Caution** : Upper CAUTION Level, **L-Caution** : Lower CAUTION Level, **A-Action** : Upper ACTION required Level, **L-Action** : Lower ACTION required Level  
 First level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Second level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied.  
 No warranty is expressed or implied for this report.

รูปที่ ๑-8 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 175-210 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 75-110 ชั่วโมง



**LABORATORIOS LTD**

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 29076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 26, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A. Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900 91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 000118

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA


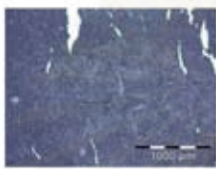


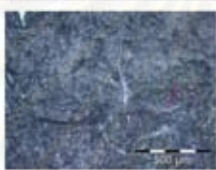
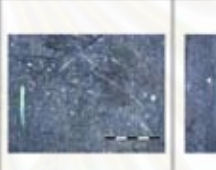

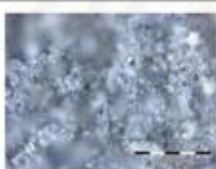
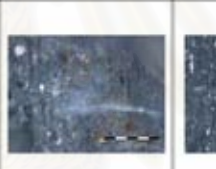

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : CPO as Fuel Project

**Location** :



FocusLab ID	Current Sample			Previous Sample			Ferrographic Analysis					
	87837	87836	87835									
<b>Date sampled</b>	03-Feb-08	03-Feb-08	01-Feb-08									
<b>Hours on Oil</b>	110	100	75									
<b>Hours on Unit</b>	210	200	175									
<b>Bottle ID</b>	876028	876027	876026									
<b>Volume of Sample Used</b>	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml									
<b>Image of Wear &amp; Contaminants Magnification 50X</b>												
<b>Image of Wear &amp; Contaminants Magnification 100X</b>												
<b>Image of Wear &amp; Contaminants Magnification 500X</b>												
<b>Wear &amp; Contaminants Particles</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (micron)</b>	<b>Particle Type</b>
Normal Rubbing Wear	60	2-3	F	70	2-3	F	80	2-3	F			
Fatigue Wear							10	20-50	F			
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear												
Black Oxides							10	10-20	F			
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	40	>100	C	30	20-200	C	20	20-50	C			

**Recommendations and Notes**

Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.

สถาบันวิทยบริการ  
 วิทยาลัยเทคโนโลยีพระปกเกล้าวิทยาลัย

%Rating - Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
 Size - Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
**F** Ferrous Wear Particle, **N** Non-ferrous Wear Particle, **C** Contaminant Particle

9 Fl, Thosapit Land 4 Bldg., 347/99 Bangna-Trad Rd., KM3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th  
 FL6.1

รูปที่ ๑-9 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 175-210 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 75-110 ชั่วโมง







**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

ISO 9001: 2000 Certified.

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 28076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900  
91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 000118

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

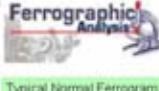
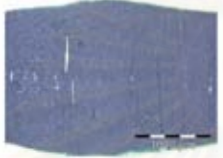


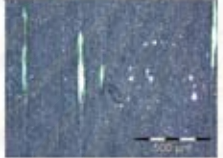
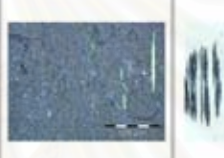

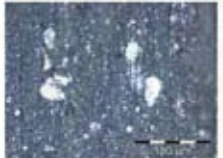


**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : CPO as Fuel Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**

Wear Condition <b>ACTION</b>	Oil Condition <b>CAUTION</b>	Contamination <b>ACTION</b>
---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------

FocusLab ID	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis							
	88029	87973	87838	876030								
Date sampled	07-Feb-08	05-Feb-08	03-Feb-08		 <p>Typical Normal Ferrogram</p>							
Hours on Oil	50	25	0									
Hours on Unit	260	235	210									
Bottle ID	876031	876030	876030									
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml									
Image of Wear & Contaminant Magnification 50x												
Image of Wear & Contaminant Magnification 100x												
Image of Wear & Contaminant Magnification 500x												
<b>Wear &amp; Contaminants Particles</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>
Normal Rubbing Wear	60	2-3	F	80	2-3	F	90	2-3	F			
Fatigue Wear	10	10-20	F									
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear												
Black Oxides	10	10-20	F									
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	20	10-50	C	20	20-100	C	10	10-20	C			

**Recommendations and Notes**

Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.  
Trace amount of black oxide and fatigue wear found in the ferrogram.

**%Rating** : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
**Size** : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
**F** : Ferrous Wear Particle, **N** : Non-ferrous Wear Particle, **C** : Contaminant Particle

9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/99 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
http://www.focuslab.co.th Email: focuslab@focuslab.co.th

FL-6.1

รูปที่ จ-11 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 210-260 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-50 ชั่วโมง

**FOCUS LABORATORIES LTD** LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance ISO 9001:2000 Certified Page 1 of 7

Customer Code : 28076 Unit ID Number : RT 140 000118  
 Customer Name : The Siam Kubota Industry Co., Ltd. Unit Type : Engine Diesel  
 Address : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A. Klong-Luang Pathumthani 12120 Unit Make : KUBOTA  
 Unit Model : RT 140 DI  
 Test code : 804 90400 90700 90900 Oil type/Viscosity : CHANG SAE40 API CF  
 91400 Site Name : CPO as Fuel Project  
 Lube System Capacity : 2.75 Liters Location :



**Recommendations and Notes**  
 ( Durability 320 hrs - CPO, Base Oil No 857809 )  
 Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.  
 Oil condition tests indicate that the oil is near the end of it's useful service life.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range			
FocusLab ID	Test Method	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Limit Name (Equipment / Oil) :
88191	PPM	Red	Yellow	Red	Red	Yellow	Red	Red	Yellow	Red	Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)
Date sampled		88190		88189							
Hours on Oil		110		100							
Hours on Unit		320		310							
Bottle ID		876009		876008							

Wear Element	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	New Oil	RDE fine	RFS coarse
Iron	D-6595	PPM	1002.2 A	3163.9 A	781.1 A	4849.3 A	360.5 A	1254.9 A	1	>15	>20
Chromium	D-6595	PPM	33.4 A	54.1 A	25.8 A	111.7 A	7.6 A	7.5 A	0	>1	>2
Lead	D-6595	PPM	9.7 C	0.0	9.8 C	0.0	4.0	0.0	0	>7	>12
Copper	D-6595	PPM	9.2	5.3	7.2	8.4 C	4.4	2.4	0	>10	>17
Tin	D-6595	PPM	0.8	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0	>3	>6
Aluminum	D-6595	PPM	71.3 A	101.9 A	61.9 A	145.2 A	45.4 A	65.3 A	0	>2	>4
Nickel	D-6595	PPM	1.8 C	0.0	1.5 C	0.0	0.9	0.0	1	>1	>2
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0		
Molybdenum	D-6595	PPM	27.8	0.0	28.6	0.0	27.2	0.0	34		
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0		

Oil Condition	Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	116.6	116.6	122.2	158.1		
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	13.8 C	13.7	13.7	15.1	>12.8	>13.6
Oxidation	FTIR	Abs	72.8 A	89.2 A	58.5 A	3.0	>22	>32
Nitration	FTIR	Abs	7.9 C	7.5 C	7.0	4.7	>7	>8.4
TAN	D-874	mg/100g	1.83	1.82	1.83	1.00	>2	>3
TBN	D-4729	mg/100g	5.0	5.1	5.5	7.5	>2	>3.75

Contamination	Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit
Water	FTIR	% (Wt)	0.072	0.071	0.088	0.020	>0.1	>0.12
Fuel	SAIV	% (Wt)	0.10	0.10	0.10			
Glycol	FTIR	Abs	0	0	0			
Soot	FTIR	% (Wt)	1.11	1.06	0.98			

Additive Element	Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit
Boron	D-6595	PPM	0	0	0	1	>5	>10
Magnesium	D-6595	PPM	61	56	44	12		
Calcium	D-6595	PPM	2235	2180	2104	2267		
Barium	D-6595	PPM	0	1	0	0		
Phosphorus	D-6595	PPM	427	423	392	409		
Zinc	D-6595	PPM	444	452	432	515		


  

Additional Test	Method	Unit	Value	Limit
Flash Point	D-3608	°C		
Viscosity Index	D-3270			
Other				

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or N: NORMAL, C or A: CAUTION (first level warning limit), A or R: ACTION required (second level warning limit)  
 U:Caution : Upper CAUTION Level, L:Caution : Lower CAUTION Level, U:Action : Upper ACTION required Level, L:Action : Lower ACTION required Level  
 First level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Second level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.

รูปที่ จ-12 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 285-320 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 75-110 ชั่วโมง





**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

ISO 9001:2000 Certified

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 29076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A. Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900 91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 000118

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI


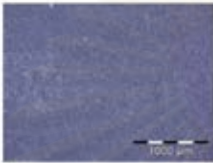


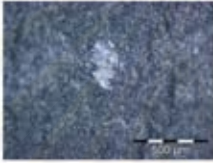



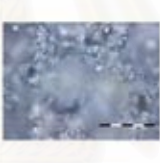

**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : CPO as Fuel Project

**Location** :



---

FocusLab ID	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	88191	88190	88189	88189	
<b>Date sampled</b>	11-Feb-08	10-Feb-08	09-Feb-08	09-Feb-08	 <p>Typical Normal Ferrogram</p>
<b>Hours on Oil</b>	110	100	75	75	
<b>Hours on Unit</b>	320	310	285	285	
<b>Bottle ID</b>	876009	876008	876052	876052	
<b>Volume of Sample Used</b>	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	
<b>Image of Wear &amp; Contaminants Magnification 50X</b>					
<b>Image of Wear &amp; Contaminants Magnification 100X</b>					
<b>Image of Wear &amp; Contaminants Magnification 500X</b>					

Wear & Contaminants Particles	Current Sample			Previous Sample			Previous Sample		
	%Rating	Size (micron)	Particle Type	%Rating	Size (micron)	Particle Type	%Rating	Size (micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	70	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear									
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides									
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	30	>100	C	30	>100	C	30	>100	C

**Recommendations and Notes**

Heavy amount of dirt and abrasive wear noted.

สถาบันวิทยบริการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัย

9 Fl., Thosapoli Land 4 Bldg., 347/99 Bangna-Trad Rd., KM3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand

http://www.focuslab.co.th

FL6.1

Tel: (662) 361 8500-3 Fax: (662) 361 8567

Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ๑-13 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มดิบ ที่อายุเครื่องยนต์ 285-320 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 75-110 ชั่วโมง

**FOCUS** LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance  
 LABORATORIES LTD. ISO 9001: 2000 Certified. Page 1 of 7

Customer Code : 28076 Unit ID Number : RT 140 012861  
 Customer Name : The Siam Kubota Industry Co., Ltd. Unit Type : Engine Diesel  
 Address : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120 Unit Make : KUBOTA  
 Unit Model : RT 140 DI  
 Oil type / Viscosity : CHANG SAE40 API CF  
 Site Name : Olein as Fuel Project  
 Location :  
 Test code : 804 90400 90700 90900  
 91400  
 Lube System Capacity : 2.75 Liters



**Recommendations and Notes**  
 ( Durability 25 hrs : Olein , Base Oil No 857809 )  
 Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
 Oil condition tests indicate that the oil is slightly degraded.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range	
Test Method	Result	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Limit Name (Equipment / Oil) : Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)	
FocusLab ID		87025			86892			N N N	
Date sampled		19-Jan-08			18-Jan-08				
Hours on Oil		25			10				
Hours on Unit		25			10				
Bottle ID		876038			857823			857822	

Wear Element	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Next test	RDE fine	RFS coarse
Iron	D-6595	PPM	10.2	40.4 A	6.2	59.5 A	1.7	9.8	1	>15	>20
Chromium	D-6595	PPM	0.3	0.9	0.2	2.3 A	0.3	0.6	0	>1	>2
Lead	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0	>7	>12
Copper	D-6595	PPM	0.5	0.7	0.3	0.6	0.1	0.2	0	>10	>17
Tin	D-6595	PPM	0.0	16.8 A	0.0	24.8 A	0.0	8.1 A	0	>0	>6
Aluminum	D-6595	PPM	1.7	12.4 A	0.8	15.7 A	0.4	11.2 A	0	>2	>4
Nickel	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.3	0.1	0.6	0.0	1	>1	>2
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0		
Molybdenum	D-6595	PPM	30.5	21.5	33.3	26.1	33.6	10.9	34		
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.3	0.0	0.8	0.0	0.8	0		

Oil Condition	Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	143.8		153.0		156.7	
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	14.7		15.0		15.1	
Oxidation	FTR	Abn	21.2		9.9		3.9	
Nitration	FTR	Abn	5.3		5.0		4.8	
TAN	D-974	mg/100g	1.41		0.88		0.90	
TBN	D-4739	mg/100g	6.6		7.0		6.8	

Contamination	Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit
Water	FTR	% (Vol.)	0.046		0.043		0.048	
Fuel	SAW	% (Vol.)	0.10		0.10		0.10	
Glycol	FTR	Abn	0		0		0	
Soot	FTR	% (Vol.)	0.82		0.77		0.75	

Additive Element	Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit
Boron	D-6595	PPM	0		0		0	
Magnesium	D-6595	PPM	11		12		13	
Calcium	D-6595	PPM	2206		2338		2335	
Barium	D-6595	PPM	0		0		0	
Phosphorus	D-6595	PPM	394		391		450	
Zinc	D-6595	PPM	494		523		510	

Additional Test	Method	Unit	Value	Limit
Flash Point	D-3829	°C		
Viscosity Index	D-2270			
Other				

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or (N) : NORMAL , C or (A) : CAUTION (first level warning limit) , A or (R) : ACTION required (second level warning limit)  
 U-Caution : Upper CAUTION Level L-Caution : Lower CAUTION Level  
 U-Action : Upper ACTION required Level L-Action : Lower ACTION required Level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.

รูปที่ จ-14 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีซิน ที่อายุเครื่องยนต์ 0-25 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-25 ชั่วโมง



**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

ISO 9001: 2000 Certified

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 28076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate,  
T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani  
12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900  
91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 012861

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Olein as Fuel Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**

Wear Condition

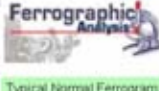
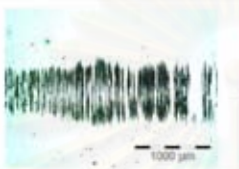
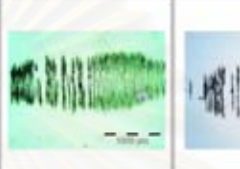



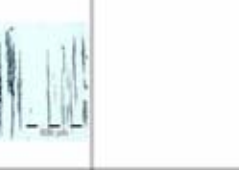





Oil Condition



Contamination



FocusLab ID	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis							
	87025	86892	86891	86891								
Date sampled	19-Jan-08	18-Jan-08	18-Jan-08	18-Jan-08	 <p>Typical Normal Ferrogram</p>							
Hours on Oil	25	10	10	0								
Hours on Unit	25	10	10	0								
Bottle ID	876038	857823	857822	857822								
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml								
Image of Wear & Contaminant Magnification 50X												
Image of Wear & Contaminant Magnification 100X												
Image of Wear & Contaminant Magnification 500X												
<b>Wear &amp; Contaminants Particles</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>
Normal Rubbing Wear	60	2-3	F	50	2-3	F	85	2-3	F			
Fatigue Wear	10	10-30	F	10	20-50	F	5	10-20	F			
Fatigue Sphere												
Sliding Wear				10	20-50	F						
Cutting Wear				10	20-30	F	5	5-10	F			
Black Oxides	10	10-20	F									
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	20	10-50	C	20	10-50	C	5	10-20	C			

**Recommendations and Notes**

The major wear condition is abrasive wear. Dirt will be a root cause of abrasive wear.  
Moderate amount of black oxide and fatigue wear.

**%Rating** : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
**Size** : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
**F** : Ferrous Wear Particle, **N** : Non-ferrous Wear Particle, **C** : Contaminant Particle

9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/99 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 http://www.focuslab.co.th Email: focuslab@focuslab.co.th

R-6.1

รูปที่ ๑-15 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 0-25 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-25 ชั่วโมง



**FOCUS** LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance  
 LABORATORIES LTD. ISO 9001: 2000 Certified. Page 1 of 7

Customer Code : 28076 Unit ID Number : RT 140 012861  
 Customer Name : The Siam Kubota Industry Co., Ltd. Unit Type : Engine Diesel  
 Address : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120 Unit Make : KUBOTA  
 Unit Model : RT 140 DI  
 Oil type / Viscosity : CHANG SAE40 API CF  
 Site Name : Olein as Fuel Project  
 Location :  
 Test code : 804 90400 90700 90900  
 91400  
 Lube System Capacity : 2.75 Liters



**Recommendations and Notes**  
 ( Durability 100 hrs : Olein , Base Oil No 857809 )  
 Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
 Oil condition tests indicate that the oil is slightly degraded.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range			
FocusLab ID	Test Method	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Limit Name (Equipment / Oil) :
87300		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)
Date sampled		24-Jan-08			22-Jan-08			21-Jan-08			
Hours on Oil		100			75			50			
Hours on Unit		100			75			50			
Bottle ID		876044			876041			876040			

Wear Element	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Next	L-Caution	U-Caution	L-Action	U-Action
Iron	D-6595	PPM	23.1 A	26.5 A	19.1 C	31.9 A	16.1 C	46.0 A	1	>15	>20	>15	>20
Chromium	D-6595	PPM	0.5	0.2	0.0	1.1 C	0.3	0.2	0	>1	>2	>1	>2
Lead	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	>7	>12	>10	>15
Copper	D-6595	PPM	1.0	0.4	0.8	0.5	0.8	0.5	0	>10	>17	>7	>15
Tin	D-6595	PPM	1.3	9.5 A	0.0	14.6 A	1.2	15.5 A	0	>10	>6	>3	>5
Aluminum	D-6595	PPM	8.2 A	18.8 A	5.2 A	17.5 A	4.3 A	17.6 A	0	>2	>4	>4	>6
Nickel	D-6595	PPM	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	>1	>2	>2	>3
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
Molybdenum	D-6595	PPM	29.9	14.2	30.2	18.6	32.4	20.1	34				
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				

Oil Condition	Method	Unit	Value	Next	L-Caution	U-Caution	L-Action	U-Action
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	120.5	130.1	133.9	158.1		
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	14.0	14.2	14.3	15.1	>12.8	>13.8
Oxidation	FTIR	Abn	54.2 A	44.2 A	36.3 A	30	>22	>32
Nitration	FTIR	Abn	6.2	5.9	5.6	4.7	>7	>8.4
TAN	D-974	mg/100g	1.97	1.91	1.49	1.00	>1	>3
TBN	D-4739	mg/100g	5.9	6.2	6.2	7.5	>2	>7.5

Contamination	Method	Unit	Value	Next	L-Caution	U-Caution	L-Action	U-Action
Water	FTIR	% (v/v)	0.057	0.052	0.047	0.020		>0.1
Fuel	SAW	% (v/v)	0.10	0.10	0.10			
Glycol	FTIR	Abn	0	0	0			
Soot	FTIR	% (v/v)	1.16	1.08	0.95			

Additive Element	Method	Unit	Value	Next	L-Caution	U-Caution	L-Action	U-Action
Sodium	D-6595	PPM	3	3	2	1	>5	>8
Silicon	D-6595	PPM	6.5 C	7.3	6.7 C	8.0	7.8 C	>10
Boron	D-6595	PPM	0	0	0	0		
Magnesium	D-6595	PPM	10	11	12	12		
Calcium	D-6595	PPM	2031	2057	2237	2067		
Barium	D-6595	PPM	7	12	0	0		
Phosphorus	D-6595	PPM	340	305	361	409		
Zinc	D-6595	PPM	439	165	447	232	489	243

Additional Test	Method	Unit	Value
Flash Point	D-3829	°C	
Viscosity Index	D-2270		
Other			

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or (N) : NORMAL , C or (▲) : CAUTION (first level warning limit) , A or (▲) : ACTION required (second level warning limit)  
 U-Caution : Upper CAUTION Level L-Caution : Lower CAUTION Level First level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 U-Action : Upper ACTION required Level L-Action : Lower ACTION required Level Second level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.

รูปที่ จ-16 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทาน ด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 50-100 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 50-100 ชั่วโมง



ISO 9001 : 2000 Certified.

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 4 of 7

---

**Customer Code :** 28076

**Customer Name :** The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address :** 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code :** 804 90400 90700 90900 91400

**Lube System Capacity :** 2.75 Liters

**Unit ID Number :** RT 140 012861

**Unit Type :** Engine Diesel

**Unit Make :** KUBOTA

**Unit Model :** RT 140 DI

**Oil type / Viscosity :** CHANG SAE40 API CF

**Site Name :** Olein as Fuel Project

**Location :**

**Overall Condition Rating**

Wear Condition



Oil Condition



Contamination



---

FocusLab ID	Current Sample		Previous Sample	
	87300	87155	87026	87026
Date sampled	24-Jan-08	22-Jan-08	21-Jan-08	21-Jan-08
Hours on Oil	100	75	50	50
Hours on Unit	100	75	50	50
Bottle ID	876044	876041	876040	876040
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml

Image of Wear & Contaminant Magnification 50X			
Image of Wear & Contaminant Magnification 100X			
Image of Wear & Contaminant Magnification 500X			



Typical Normal Ferrogram

---

Wear & Contaminants Particles	Current Sample			Previous Sample		
	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	90	2-3	F	80	2-3	F
Fatigue Wear				10	20-50	F
Fatigue Sphere						
Sliding Wear						
Cutting Wear						
Black Oxides				5	10-20	F
Red Oxides						
Corrosive Wear						
Dirt and Dust	10	10-20	C	20	20-50	C

**Recommendations and Notes**

Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape.

%Rating : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
 Size : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
 F : Ferrous Wear Particle, N : Non-ferrous Wear Particle, C : Contaminant Particle

9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/99 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 http://www.focuslab.co.th Email: focuslab@focuslab.co.th  
 R-6.1

รูปที่ ๑-17 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 50-100 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 50-100 ชั่วโมง



**FOCUS** LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance  
 LABORATORIES LTD. ISO 9001: 2000 Certified. Page 1 of 7

Customer Code : 28076 Unit ID Number : RT 140 012861  
 Customer Name : The Siam Kubota Industry Co., Ltd. Unit Type : Engine Diesel  
 Address : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120 Unit Make : KUBOTA  
 Unit Model : RT 140 DI  
 Oil type / Viscosity : CHANG SAE40 API CF  
 Site Name : Olein as Fuel Project  
 Location :  
 Test code : 804 90400 90700 90900  
 91400  
 Lube System Capacity : 2.75 Liters



**Recommendations and Notes**  
 ( Durability 150 hrs : Olein , Base Oil No 857809 )  
 Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
 Oil condition tests indicate that the oil is slightly degraded.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range		
FocusLab ID	Test Method	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.
87303								N	N	
Date sampled		27-Jan-08			26-Jan-08			24-Jan-08		
Hours on Oil		50			25			0		
Hours on Unit		150			125			100		
Bottle ID		876049			876046			876045		

Wear Element	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Next	L-Caution	U-Caution	L-Action	U-Action
Iron	D-6595	PPM	11.6	26.7 A	7.0	20.9 A	1.1	8.5	1	>15	>20	>15	>20
Chromium	D-6595	PPM	0.8	1.0 C	0.4	0.5	0.2	0.0	0	>1	>2	>1	>2
Lead	D-6595	PPM	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0	>7	>12	>13	>10
Copper	D-6595	PPM	0.3	0.5	0.3	0.4	0.0	0.0	0	>10	>17	>7	>15
Tin	D-6595	PPM	0.0	14.5 A	0.0	10.1 A	0.0	2.8	0	>0	>6	>3	>5
Aluminum	D-6595	PPM	9.2 A	35.7 A	5.6 A	23.9 A	0.0	0.0	0	>2	>4	>4	>6
Nickel	D-6595	PPM	0.7	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	1	>1	>2	>2	>3
Silver	D-6595	PPM	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0				
Molybdenum	D-6595	PPM	33.5	23.0	32.2	22.0	28.8	10.3	34				
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				

Oil Condition	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Next	L-Caution	U-Caution	L-Action	U-Action
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	136.1		141.0		156.1		158.1				
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	14.3		14.5		15.1		15.1	>12.8	>13.8	>16.6	>17.4
Oxidation	FTIR	Abn	34.8 A		24.4 C		3.4		3.0	>2	>2	>2	>2
Nitration	FTIR	Abn	5.7		5.3		4.9		4.7			>7	>8.4
TAN	D-974	mg/100g	1.82		2.02		0.80		1.00			>0	>0
TBN	D-4733	mg/100g	6.4		6.8		6.9		7.5	>2	>7.5		

Contamination	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Next	L-Caution	U-Caution	L-Action	U-Action
Water	FTIR	% (v/v)	0.056		0.054		0.055		0.020			>0.1	>0.12
Fuel	SAW	% (v/v)	0.10		0.10		0.10						
Glycol	FTIR	Abn	0		0		0						
Soot	FTIR	% (v/v)	0.98		0.86		0.75						

Additive Element	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Next	L-Caution	U-Caution	L-Action	U-Action
Boron	D-6595	PPM	0		0		0		0				
Magnesium	D-6595	PPM	12		11		11		12				
Calcium	D-6595	PPM	1975		2267		1856		2367				
Barium	D-6595	PPM	21		0		29		0				
Phosphorus	D-6595	PPM	484		364		571		409				
Zinc	D-6595	PPM	528	280	514	251	487	133	515				

Additional Test	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Next	L-Caution	U-Caution	L-Action	U-Action
Flash Point	D-3829	°C											
Viscosity Index	D-2270												
Other													

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or (N) : NORMAL , C or (A) : CAUTION (first level warning limit) , A or (A) : ACTION required (second level warning limit)  
 U-Caution : Upper CAUTION Level L-Caution : Lower CAUTION Level First level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 U-Action : Upper ACTION required Level L-Action : Lower ACTION required Level Second level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.

รูปที่ จ-18 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทาน ด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 100-150 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-50 ชั่วโมง



**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

ISO 9001: 2000 Certified.

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 28076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate,  
T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani  
12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900  
91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 012861

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Olein as Fuel Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**

Wear Condition

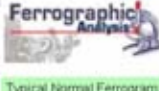



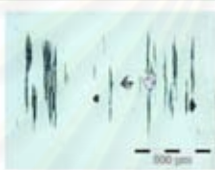
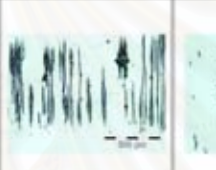

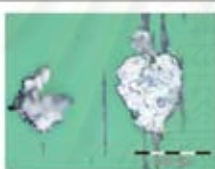
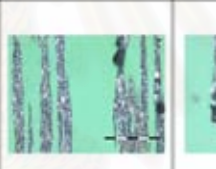



Oil Condition



Contamination



FocusLab ID	Current Sample			Previous Sample			Ferrographic Analysis		
	87303	87302	87301						
Date sampled	27-Jan-08	26-Jan-08	24-Jan-08	 <p>Typical Normal Ferrogram</p>					
Hours on Oil	50	25	0						
Hours on Unit	150	125	100						
Bottle ID	876049	876046	876045						
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml						
Image of Wear & Contaminant Magnification 50x									
Image of Wear & Contaminant Magnification 100X									
Image of Wear & Contaminant Magnification 500x									
<b>Wear &amp; Contaminants Particles</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	80	2-3	F	90	2-3	F
Fatigue Wear	10	20-80	F						
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides	5	10-20	F						
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	15	10-20	C	20	10-20	C	10	10-20	C

**Recommendations and Notes**

Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape.  
Trace amount of black oxide and fatigue wear and not likely to indicate a problem.

**%Rating** : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
**Size** : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
**F** : Ferrous Wear Particle, **N** : Non-ferrous Wear Particle, **C** : Contaminant Particle

รูปที่ ๑-19 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 100-150 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-50 ชั่วโมง

**FOCUS** LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance  
 LABORATORIES LTD. ISO 9001: 2000 Certified. Page 1 of 7

Customer Code : 28076 Unit ID Number : RT 140 012861  
 Customer Name : The Siam Kubota Industry Co., Ltd. Unit Type : Engine Diesel  
 Address : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, Unit Make : KUBOTA  
 T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani Unit Model : RT 140 DI  
 12120 Oil type / Viscosity : CHANG SAE40 API CF  
 Site Name : Olein as Fuel Project  
 Test code : 804 90400 90700 90900 Location :  
 91400  
 Lube System Capacity : 2.75 Liters



**Recommendations and Notes**  
 ( Durability 210 hrs : Olein , Base Oil No 857809 )  
 Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
 Oil condition tests indicate that the oil is slightly degraded.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range	
FocusLab ID	Test Method	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil
87724									
Date sampled	Result	31-Jan-08			31-Jan-08			29-Jan-08	
Hours on Oil		110			100			75	
Hours on Unit		210			200			175	
Bottle ID		876036			876034			876035	

Wear Element	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	New Oil	RDE fine	RFS coarse
Iron	D-6595	PPM	23.5 A	25.2 A	22.8 A	25.0 A	15.0 C	22.3 A	1	>15	>20
Chromium	D-6595	PPM	0.5	0.0	0.5	0.0	0.2	1.1 C	0	>1	>2
Lead	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	>7	>12
Copper	D-6595	PPM	0.8	0.4	0.7	0.3	0.5	0.4	0	>10	>17
Tin	D-6595	PPM	1.8	3.6 C	1.3	2.4	0.0	12.5 A	0	>0	>6
Aluminum	D-6595	PPM	17.6 A	29.0 A	16.3 A	27.2 A	12.0 A	31.0 A	0	>2	>4
Nickel	D-6595	PPM	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1	>1	>2
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0		
Molybdenum	D-6595	PPM	31.4	16.5	31.0	15.6	30.4	19.8	34		
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0		

Oil Condition	Method	Unit	Current	Previous	Limit
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	119.4	121.0	126.3
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	14.0	14.0	13.8
Oxidation	FTIR	Abn	66.9 A	62.3 A	49.0 A
Nitration	FTIR	Abn	6.8	6.7	6.1
TAN	D-074	mg/100g	2.38 C	2.49 C	1.98
TBN	D-4739	mg/100g	5.1	5.2	6.1

Contamination	Method	Unit	Current	Previous	Limit
Water	FTIR	% (v/v)	0.063	0.062	0.055
Fuel	SAW	% (v/v)	0.10	0.10	0.10
Glycol	FTIR	Abn	0	0	0
Soot	FTIR	% (v/v)	1.44	1.33	1.09
Sodium	D-6595	PPM	2	2	2
Silicon	D-6595	PPM	7.8 C	7.7 C	6.5

Additive Element	Method	Unit	Current	Previous	Limit
Boron	D-6595	PPM	0	0	0
Magnesium	D-6595	PPM	10	10	10
Calcium	D-6595	PPM	2076	2129	2054
Barium	D-6595	PPM	0	0	7
Phosphorus	D-6595	PPM	250	260	366
Zinc	D-6595	PPM	437	452	238

Additional Test	Method	Unit	Value
Flash Point	D-3829	°C	
Viscosity Index	D-2270		
Other			

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or (N) : NORMAL , C or (A) : CAUTION (first level warning limit) , A or (R) : ACTION required (second level warning limit)  
 U.Caution : Upper CAUTION Level L.Caution : Lower CAUTION Level First level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 U.Action : Upper ACTION required Level L.Action : Lower ACTION required Level Second level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.

รูปที่ จ-20 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทาน  
 ด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 175-210 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น  
 75-110 ชั่วโมง





**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

ISO 9001: 2000 Certified.

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 28076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate,  
T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900  
91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 012861

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Olein as Fuel Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**

Wear Condition

CAUTION



Oil Condition

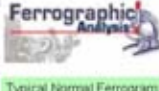




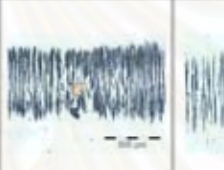




CAUTION



Contamination

CAUTION



FocusLab ID	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis							
	87724	87723	87470	87470								
Date sampled	31-Jan-08	31-Jan-08	29-Jan-08	29-Jan-08	 <p>Typical Normal Ferrogram</p>							
Hours on Oil	130	100	75	75								
Hours on Unit	230	200	175	175								
Bottle ID	876036	876034	876035	876035								
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml								
Image of Wear & Contaminant Magnification 50X												
Image of Wear & Contaminant Magnification 100X												
Image of Wear & Contaminant Magnification 500X												
<b>Wear &amp; Contaminants Particles</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	80	2-3	F	70	2-3	F			
Fatigue Wear	10	10-20	F				10	10-20	F			
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear												
Black Oxides	10	10-20	F	5	10-20	F	10	10-20	F			
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	10	10-20	C	10	10-20	C	10	10-20	C			
				5	100	N						

**Recommendations and Notes**

Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape.  
Trace amount of black oxide and fatigue wear and not likely to indicate a problem.

สถาบันวิทยบริการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

%Rating : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
 Size : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
 F : Ferrous Wear Particle, N : Non-ferrous Wear Particle, C : Contaminant Particle

9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/99 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 http://www.focuslab.co.th Email: focuslab@focuslab.co.th

FL-6.1

รูปที่ จ-21 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 175-210 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 75-110 ชั่วโมง

**FOCUS** LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance  
 LABORATORIES LTD. ISO 9001: 2000 Certified. Page 1 of 7

Customer Code : 28076 Unit ID Number : RT 140 012861  
 Customer Name : The Siam Kubota Industry Co., Ltd. Unit Type : Engine Diesel  
 Address : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, Unit Make : KUBOTA  
 T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani Unit Model : RT 140 DI  
 12120 Oil type / Viscosity : CHANG SAE40 API CF  
 Test code : 804 90400 90700 90900 Site Name : Olein as Fuel Project  
 91400 Location :  
 Lube System Capacity : 2.75 Liters



**Recommendations and Notes**  
 ( Durability 260 hrs : Olein , Base Oil No 857809 )  
 Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
 Oil condition tests indicate that the oil is slightly degraded.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range			
FocusLab ID	Test Method	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Limit Name (Equipment / Oil) :
87840								N	N		Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)
Date sampled		04-Feb-08			02-Feb-08						
Hours on Oil		50			25						
Hours on Unit		260			235						
Bottle ID		876031			876029						
<b>Wear Condition</b>											
Wear Element	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Next test
Iron	D-6595	PPM	12.0	13.6	6.6	15.9	C	1.1	8.1	1	15 20 25 30
Chromium	D-6595	PPM	0.0	2.0	A	0.1	1.4	C	0.1	0.0	0 1 2 3 4
Lead	D-6595	PPM	0.0	1.6	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0 7 12 15 20
Copper	D-6595	PPM	0.3	0.3	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0 10 17 27 35
Tin	D-6595	PPM	0.0	15.1	A	0.0	14.0	A	0.0	0.0	0 3 6 9 15
Aluminum	D-6595	PPM	8.2	20.4	A	4.1	22.2	A	0.4	0.0	0 2 4 8 16
Nickel	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1 1 2 2 3
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Molybdenum	D-6595	PPM	31.5	23.4	34.4	22.2	34.1	12.5	34	0	34
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0
<b>Oil Condition</b>											
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	130.4		142.0		157.3		158.1		158.1
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	14.2		14.7		15.1		15.1		15.1
Oxidation	FTIR	Abn	41.2	A	23.9	C	3.4		3.0		15.1 12.8 13.8 16.6 17.4
Nitration	FTIR	Abn	6.1		5.7		4.9		4.7		3.0 4.2 5.2 7.7 8.4
TAN	D-074	mg/100g	1.98		2.81	C	0.89		1.00		1.00 1.0 2.0
TBN	D-4739	mg/100g	6.0		6.2		6.4		7.5		7.5 2 3.75 5.0 12
<b>Contamination</b>											
Water	FTIR	% (v/v)	0.065		0.061		0.060		0.020		0.020 0.020 0.05 0.12
Fuel	SAW	% (v/v)	0.10		0.10		0.10		0.10		
Glycol	FTIR	Abn	0		0		0		0		
Soot	FTIR	% (v/v)	1.12		1.01		0.76		0.76		
Sodium	D-6595	PPM	1		1		1		1		1 7 15 20 25
Silicon	D-6595	PPM	6.7	C	7.0	C	14.5	C	7.9	C	18.3
<b>Additive Element</b>											
Boron	D-6595	PPM	0		0		0		0		0
Magnesium	D-6595	PPM	11		12		12		12		12
Calcium	D-6595	PPM	2114		2193		2323		2367		2367
Barium	D-6595	PPM	0		6		0		0		0
Phosphorus	D-6595	PPM	327		370		373		409		409
Zinc	D-6595	PPM	448		481		183		544		171
<b>Additional Test</b>											
Flash Point	D-3829	°C									
Viscosity Index	D-2270										
Other											

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or (N) : NORMAL , C or (A) : CAUTION (first level warning limit) , A or (R) : ACTION required (second level warning limit)  
 U.Caution : Upper CAUTION Level L.Caution : Lower CAUTION Level First level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 U.Action : Upper ACTION required Level L.Action : Lower ACTION required Level Second level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.

รูปที่ จ-22 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทาน ด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 210-260 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-50 ชั่วโมง





ISO 9001 : 2000 Certified.

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 4 of 7

**Customer Code :** 28076      **Unit ID Number :** RT 140 012861

**Customer Name :** The Siam Kubota Industry Co., Ltd.      **Unit Type :** Engine Diesel

**Address :** 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A.Klong-Luang Pathumthani 12120      **Unit Make :** KUBOTA











**Test code :** 804 90400 90700 90900      **Unit Model :** RT 140 DI

91400      **Oil type/Viscosity :** CHANG SAE40 API CF

**Lube System Capacity :** 2.75 Liters      **Site Name :** Olein as Fuel Project

**Location :**



FocusLab ID	Current Sample			Previous Sample			Ferrographic Analysis		
	87840	87839	87725						
Date sampled	04-Feb-08	02-Feb-08	31-Jan-08						
Hours on Oil	50	25	0						
Hours on Unit	260	235	210						
Bottle ID	876031	876029	876037						
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml						
Image of Wear & Contaminant Magnification 50x									
Image of Wear & Contaminant Magnification 100x									
Image of Wear & Contaminant Magnification 500x									
<b>Wear &amp; Contaminants Particles</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle</b>
Normal Rubbing Wear	75	2-3	F	80	2-3	F	40	2-3	F
Fatigue Wear	10	10-50	F	5	10-20	F	20	20-50	F
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides	5	5-10	F	5	10-20	F	30	20-30	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	10	10-20	C	10	10-30	C	10	10-50	C

**Recommendations and Notes**

Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape.  
Trace amount of black oxide and fatigue wear and not likely to indicate a problem.

%Rating : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
Size : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
F : Ferrous Wear Particle, N : Non-ferrous Wear Particle, C : Contaminant Particle

9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/99 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand      Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
http://www.focuslab.co.th      Email: focuslab@focuslab.co.th

FL-6.1

รูปที่ จ-23 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 210-260 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-50 ชั่วโมง



ISO 9001:2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 1 of 7

**Customer Code** : 28076 **Unit ID Number** : RT 140 012861

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd. **Unit Type** : Engine Diesel

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A. Klong-Luang Pathumthani 12120 **Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Test code** : 804 90400 90700 90900 **Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

91400 **Site Name** : Olein as Fuel Project

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters **Location** :

Overall Condition Rating

CAUTION



Wear Condition

NORMAL



Oil Condition

CAUTION




Contamination

**Recommendations and Notes**  
 ( Durability 320 hrs - Olein - Base Oil No 857809 )  
 Minor amount of dirt and abrasive wear noted.

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range			
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Limit Name (Equipment / Oil) :
<b>FocusLab ID</b>											Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)
<b>Date sampled</b>		88098			88030			87974			
<b>Hours on Oil</b>		08-Feb-08			07-Feb-08			05-Feb-08			
<b>Hours on Unit</b>		110			100			75			
<b>Hours on Unit</b>		320			310			205			
<b>Benze ID</b>		876055			876054			876053			
Wear Condition											
Wear Element	Method	Unit	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	Limit
Iron	D-6595	PPM	27.6 A	12.4	23.0 A	15.4 C	14.9	22.9 A	1	>15	>20
Chromium	D-6595	PPM	0.5	0.0	0.7	0.0	0.1	0.0	0	>1	>2
Lead	D-6595	PPM	0.4	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0	>7	>10
Copper	D-6595	PPM	0.7	0.0	0.8	0.2	0.4	0.3	0	>10	>17
Tin	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.9	1.8	0.0	5.7 A	0	>3	>5
Aluminum	D-6595	PPM	19.1 A	17.3 A	18.0 A	20.4 A	10.9 A	25.5 A	0	>3	>4
Nickel	D-6595	PPM	0.1	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	1	>1	>2
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0		
Molybdenum	D-6595	PPM	33.3	9.2	29.8	13.5	27.0	19.9	34		
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0		
Oil Condition											
Viscosity@ 40 °C	D-445	cSt	111.8		114.4		118.5		158.1		
Viscosity@ 100 °C	D-445	cSt	13.5 C		13.7		14.0		15.1	>12.8	>13.6
Oxidation	FTIR	Abs	77.7 A		74.8 A		80.8 A		3.0	>2.2	>3.2
Nitration	FTIR	Abs	7.4 C		7.3 C		6.5		4.7	>3.7	>6.4
TAN	D-374	mg/100g	2.04 C		1.84		1.83		1.00	>1.2	>3
TBN	D-4739	mg/100g	4.9		5.1		5.4		7.5	>2	>3.75
Contamination											
Water	FTIR	% (Wt)	0.068		0.069		0.063		0.020		>0.1
Fuel	SAW	% (Wt)	0.10		0.10		0.10				>0.12
Glycol	FTIR	Abs	0		0		0				
Soot	FTIR	% (Wt)	1.29		1.36		1.25				
Sodium	D-6595	PPM	1		2		1		1		
Silicon	D-6595	PPM	8.1 A	0.9	7.2 C	2.4	6.3 C	9.9	7	>5	>8
Additive Element											
Boron	D-6595	PPM	0		0		0		0		
Magnesium	D-6595	PPM	10		10		9		12		
Calcium	D-6595	PPM	1894		1912		1740		2367		
Barium	D-6595	PPM	4		0		6		0		
Phosphorus	D-6595	PPM	294		290		334		409		
Zinc	D-6595	PPM	411	119	380	188	386	225	515		
Additional Test											
Flash Point	D-3608	°C									
Viscosity Index	D-2370										
Other											

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or **N**: NORMAL, **C** or **A**: CAUTION (first level warning limit), **A** or **R**: ACTION required (second level warning limit)  
**U:Caution** : Upper CAUTION Level **L:Caution** : Lower CAUTION Level **U:Action** : Upper ACTION required Level **L:Action** : Lower ACTION required Level  
 First level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Second level warning limit in Upper level and/or Lower level  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied.  
 No warranty is expressed or implied for this report.

รูปที่ จ-24 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทาน ด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 285-320 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 75-110 ชั่วโมง



**LABORATORIOS LTD.**

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

ISO 9001:2000 Certified

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 29076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakom Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 90400 90700 90900 91400

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 012861

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA


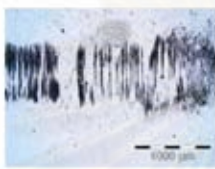


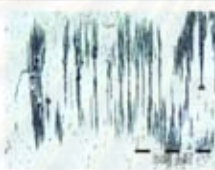

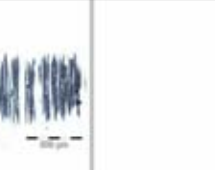
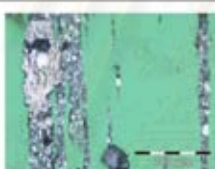
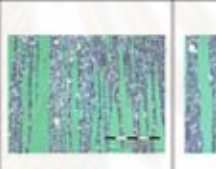

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Olein as Fuel Project

**Location** :



FocusLab ID	Current Sample			Previous Sample			Ferrographic Analysis					
	88098	88030	87974									
<b>Date sampled</b>	08-Feb-08	07-Feb-08	05-Feb-08	 <p>Typical Normal Ferrogram</p>								
<b>Hours on Oil</b>	110	100	75									
<b>Hours on Unit</b>	320	310	285									
<b>Bottle ID</b>	876055	876054	876053									
<b>Volume of Sample Used</b>	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml									
<b>Image of Wear &amp; Contaminants Magnification 50X</b>												
<b>Image of Wear &amp; Contaminants Magnification 100X</b>												
<b>Image of Wear &amp; Contaminants Magnification 500X</b>												
<b>Wear &amp; Contaminants Particles</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>	<b>%Rating</b>	<b>Size (Micron)</b>	<b>Particle Type</b>
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	80	2-3	F	70	2-3	F			
Fatigue Wear	10	10-50	F				10	10-20	F			
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear												
Black Oxides	10	10-20	F				10	5-10	F			
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	10	10-50	C	20	10-20	C	10	10-30	C			

**Recommendations and Notes**

Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
Trace amount of black oxide and fatigue wear and not likely to indicate a problem.

**%Rating** : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
**Size** : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
**F** : Ferrous Wear Particle, **N** : Non-ferrous Wear Particle, **C** : Contaminant Particle

9 Fl, Thosapol Land 4 Bldg., 347/99 Bangna-Trad Rd., KM3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
Tel: (662) 361 8500-3 Fax: (662) 361 8567  
http://www.focuslab.co.th Email: focuslab@focuslab.co.th  
FL6.1

รูปที่ จ-25 แสดงใบรายงานการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น ด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี ของเครื่องยนต์ทดสอบความทนทานด้วยน้ำมันปาล์มโอดีอิน ที่อายุเครื่องยนต์ 285-320 ชั่วโมง อายุน้ำมันหล่อลื่น 0-110 ชั่วโมง

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพงษ์ภัทร พุกะนัดด์เกิดเมื่อวันที่ 22 เดือน มิถุนายน พุทธศักราช 2527 สำเร็จ การศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมยานยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2549



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย