

การศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็ก



นายอนันต์ จิตรานุกเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

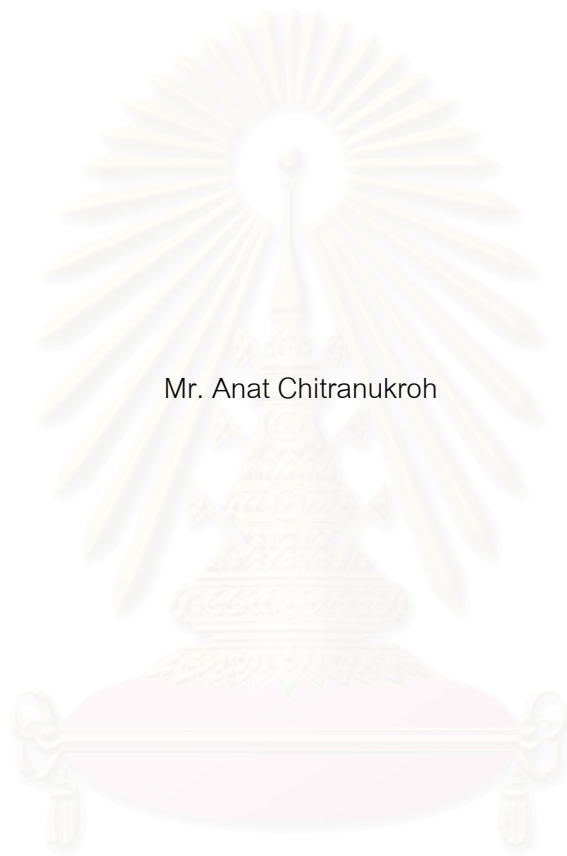
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USING PALM-BIODIESEL B100 FOR SMALL CI ENGINE

Mr. Anat Chitranukroh



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



อนันต์ จิตราญเคราะห์ : การศึกษาการใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิด  
ด้วยการอัดขนาดเล็ก. (USING PALM-BIODIESEL B100 FOR SMALL CI ENGINE)  
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. คณิต วัฒนวิเชียร, 439 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามกำหนดของประกาศกรม  
ธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2549 ต่อเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ชนิดฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง โดยแบ่งการวิจัยออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนแรก  
ทำการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ ที่สภาวะคงตัวที่ความเร็วรอบคงที่ ระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและ  
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ เมื่อนำมาปรับค่าเทียบกับ  
อุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐาน พบว่าที่สภาวะภาระสูงสุดแรงบิดเบรก และค่าควันท้าของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน  
ปาล์มไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ในทุกความเร็วรอบของการทดสอบโดยต่างกันสูงสุด ร้อยละ 7.7 อัตราการสิ้นเปลือง  
เชื้อเพลิงจำเพาะ และอุณหภูมิไอเสียที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่สภาวะภาระ  
บางส่วนพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าทุกจุดทดสอบ ค่าอุณหภูมิไอ  
เสียใกล้เคียงกัน ค่าควันท้าในช่วงแรงบิดต่ำมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงแรงบิดสูงค่าควันท้าจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่า  
ต่ำกว่า ส่วนที่สองการทดสอบการเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ที่องศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าพบว่าที่สภาวะภาระ  
สูงสุดแรงบิดเบรก อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และอุณหภูมิไอเสีย ตลอดย่านความเร็วที่ทำการทดสอบมีค่าสูงที่สุด และ  
องศาการฉีดมาตรฐาน รองลงมาตามลำดับ ที่สภาวะภาระบางส่วนไม่พบความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ  
จากการเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนที่สามทำการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์จากการใช้งานต่อเนื่องภายใต้  
สภาวะภาระจำลองเป็นเวลา 500 ชั่วโมง พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังผ่าน  
การทดสอบความทนทานมีแรงบิดเบรกที่ลดลงร้อยละ 5.4-10.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าสูงขึ้นร้อยละ 7.4-20.1  
ค่าควันท้ามีค่าสูงขึ้น 1.2-2.2 BSN จากการทดสอบความดันเริ่มต้นของหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลไม่สามารถ  
หาได้ เนื่องจากเกิดการรั่วที่ปลายหัวฉีดก่อนถึงระดับความดันในการเริ่มฉีดที่ระดับเหมาะสม พบปริมาณเขม่าจับตัวหนาที่ปลาย  
หัวฉีด คราบตะกอนสีแดงที่ฝาสูบในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีจากการสึกหรอในชิ้นส่วนในเครื่องยนต์  
ห้องเผาไหม้ และชิ้นส่วนถ่ายเทกำลังระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล แต่พบ  
ปริมาณตะกอนในกระบอกใส่กรองน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากกว่า การใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีผลทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสีย  
คุณสมบัติเร็วกว่ากำหนดตั้งเห็นได้จาก ผลจากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงทดสอบความทนทานพบว่า ความหนืดของ  
น้ำมันหล่อลื่นมีอัตราลดลง และมีค่าน้อยกว่าระดับการเตือนขึ้นวิกฤตในชั่วโมงการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นที่ 100 และ 110 และพบ  
ปริมาณโลหะหนัก อลูมิเนียม และโครเมียมตกค้างในน้ำมันหล่อลื่นสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

สรุปได้ว่าการนำน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมาใช้งานกับเครื่องยนต์ชนิดฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้  
ปาล์ม ไบโอดีเซลด้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล การทดสอบความทนทานภายใต้สภาวะภาระจำลองพบว่า สมรรถนะที่สภาวะสูงสุดมี  
ค่าด้อยลงอย่างชัดเจน เนื่องจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับระบบการจ่ายเชื้อเพลิง เช่นการลดลงของความดันเริ่มฉีดของเชื้อเพลิง  
ภาควิชา .....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต.....อนันต์ จิตราญเคราะห์.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....คณิต วัฒนวิเชียร.....  
ปีการศึกษา.....2550.....



## 4970671521 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: PERFORMANCE / COMBUSTION / INJECTION TIMING/ DURABILITY / BIODIESEL

ANAT CHITRANUKROH : USING PALM-BIODIESEL B100 FOR SMALL CI  
ENGINE.THESIS ADVISOR : ASSC. PROF. KANIT WATTANAVICHIEEN,  
Ph.D.,439 pp.

The study is aimed to investigate the effects of using Palm-Biodiesel (B100), specification according to Department of Energy Business 2549, in small direct Injection CI engines compared to normal diesel fuel. It can be divided into 3 different tests. Firstly, comparative test was conducted with constant speed and steady state conditions at full load and partial load. By corrected results to standard ambient conditions (ISO3046) for full load conditions, the obtained engine performance on the use of B100 is more inferior throughout the entire tested range, with the max lower torque is 7.7% while the BSFC values and exhaust temperature are similar. The smoke densities, with B100 are also lighter for the entire tested range. At partial load conditions, it has been observed that the BSFC values are higher for the entire test range. The smoke densities at low obtained torque of both performances test are similar, but at high obtained torque with B100 yield lighter values. At high obtained torque, the exhaust temperatures from comparative test also show no significant difference. Second, comparative test with altering injection timing using B100: at full load conditions and at the retarded injection timing, the engine performance experiences the maximum values for BSFC and exhaust temperature; and less values had been observed with at subsequent stages of standard injection timing. At partial load conditions, altering injection timing had shown no change in the value of BSFC. Lastly, endurance test for using B100 in a small CI engine had been monitored for 500 continuous working hours. Engine performance, the engine fuel conversion efficiency after endurance test drops noticeable range between 5.4-10.1%. Other consequential effects are the value of BSFC and the smoke density that was increasing range by 7.4-20.1% and 1.2-2.2 BSN, respectively. The pre-injection pressure of injector has not been able to be monitored due to leakage during proceeding proper injector performance test set up. After disassembly, thick deposit of carbon has been observed around the injector nozzle and injection head. The engine cylinder head has also shown red color deposit. However, no significant wear has been found on any engine parts such as liner, bearings, etc. The excessive sediment in the fuel filter is also observed. The result from lubrication test has indicated that the lube oil viscosity reduced and this will exceed the lubrication critical caution specification limit at 100 and 110 oil hours. Observed wear metal contamination such as iron, aluminum, and chromium, found in lube oil is also higher than normal.

Conclusion: From comparative test the engine performance on the use of Palm-Biodiesel B100 is more inferior throughout the entire tested range. Endurance test results show reducing engine performance due to deteriorating operation of fuel system such as reduction in pre-injection pressure.

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

Student's signature :...*Anat Chitranukroh*...

Field of study : Mechanical Engineering....

Principal advisor's signature *Kanit Wattana*

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

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ ร่วมติดตามการทดสอบอย่างใกล้ชิดในทุกขั้นตอนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัทสยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออะไหล่และให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัย คุณธนันต์ สิริสิทธิโชติ ผู้จัดการใหญ่ บริษัท ไฟค์สแลบบอราทอริส์ จำกัด ที่สละเวลาในการให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นตลอดจนอำนวยความสะดวกระหว่างการตรวจวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น, คุณชัชวาลย์ พงศเจริญสุข บริษัทโกลฟินิกส์ ที่ได้ให้ความกรุณาอำนวยความสะดวกในการผลิตน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

ขอขอบคุณ นาย กริชชัย คชพลายุกต์, นาย พงศธร บวรสิน, นาย พงษ์ภัทร พุกะนันต์, นาย พิพัฒน์ ตันติเวชการวงศ์, นาย เกริกไกร ยูวมิตร และนาย อนวัช คงสุริยะภิญโญ รูน้องที่ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์สันดาปภายในให้การช่วยเหลือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจและความรักรวมถึงการสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์ และคำปรึกษา ตลอดเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ด
สารบัญภาพ.....	ธ
สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์.....	ว
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม .....</b>	<b>5</b>
2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine).....	5
2.1.1 ระบบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด.....	5
2.1.1.1 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct-Injection System, DI Systems).....	5
2.1.1.2 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (Indirect-Injection System, IDI Systems) .....	5
2.1.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด.....	6
2.1.3 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์ .....	8
2.1.4 แผนภูมิสมรรถนะ(Performance Map) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด .....	9
2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	14
2.2.1 เลขซีเทน(Cetane Number).....	14
2.2.2 ค่าการระเหย (Volatility) .....	14
2.2.3 ความหนาแน่น (Density).....	16

2.2.4 ความหนืด(Viscosity) .....	16
2.2.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity) .....	16
2.2.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล.....	17
2.2.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล .....	17
2.2.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content) .....	18
2.2.9 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content) .....	18
2.2.10 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content) .....	18
2.2.11 จุดวาบไฟ (Flash Point) .....	19
2.3 การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร.....	19
2.3.1 ประเภทของการเสื่อมสภาพ.....	19
2.3.1.1 การเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent degradation).....	19
2.3.1.2 การเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent degradation) .....	20
2.3.2 การจำแนกกลไกการสึกหรอ .....	21
2.3.2.1 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear).....	22
2.3.2.2 การสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive wear) .....	23
2.3.2.3 การสึกหรอจากการล้าตัวของวัสดุ (Fatigue wear) .....	23
2.3.2.4 การสึกหรอแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี (Tribochemical reaction) .....	24
2.4 สารหล่อลื่น .....	25
2.4.1 คุณสมบัติที่สำคัญๆ ของสารหล่อลื่น .....	26
2.4.1.1 ความหนืด (Viscosity) .....	26
2.4.1.2 การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation resistance).....	27
2.5 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว.....	28
2.5.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์ .....	28
2.5.2 การทดสอบหาค่าความหนืด .....	28
2.5.3 ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN).....	30
2.5.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรมิเตอร์ .....	30
2.5.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์โรกราฟี (Ferrography).....	30
2.5.5.1 การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ (Wear Particle Analysis) .....	32



2.5.5.2 การศึกษาอนุภาคการสีกหรือเชิงจุลภาค (Wear Particle Microscopic Examination) .....	33
2.5.5.3 ชนิดของอนุภาคการสีกหรือ .....	33
2.5.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy).....	38
2.6 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด .....	41
<b>บทที่ 3 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ .....</b>	<b>43</b>
3.1 น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	43
3.2 คุณสมบัติน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ.....	44
3.3 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันปาล์มดีเซลอ้างอิง .....	48
3.4 ภาพลักษณะในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล .....	49
3.4.1 ข้อดีในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล .....	49
3.4.2 ข้อเสียในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล .....	50
<b>บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดสอบ .....</b>	<b>52</b>
4.1 การทดสอบสมรรถนะ ( Performance Map).....	52
4.2.1 อุปกรณ์และการติดตั้ง สำหรับการทดสอบสมรรถนะ.....	53
4.2.1.1 เครื่องยนต์ .....	54
4.2.1.2 ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) .....	55
4.2.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง .....	55
4.2.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ.....	56
4.2.1.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ .....	58
4.2.1.6 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ (Smoke Meter).....	59
4.2.1.7 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Conditions) .....	60
4.2.2 วิธีการทดสอบสมรรถนะ.....	61
4.2.3 การทดสอบเพื่อศึกษาอิทธิพลของจังหวะการฉีดน้ำมันดีเซล (Injection Timing) .....	63
4.2.3.1 ทดสอบสมรรถนะตามมาตรฐาน	

European Stationary Cycle (ESC Test Cycle) .....	65
4.3 การทดสอบความทนทาน (Durability Test) .....	66
4.3.1 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนทาน.....	66
4.3.1.1 เครื่องยนต์ .....	67
4.3.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	67
4.3.2.3 มู่เล่ และสายพาน.....	68
4.3.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ.....	69
4.3.1.5 แผงหลอดไฟฟ้า.....	69
4.3.1.6 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ.....	70
4.3.1.7 ตู้แปลงสัญญาณ (Data Logger) .....	70
4.3.1.8 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ (Smoke Meter).....	76
4.3.1.9 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Conditions) .....	77
4.3.2 วิธีการทดสอบความทนทาน .....	77
4.3.3 การสู่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น .....	80
<b>บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล .....</b>	<b>82</b>
5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	82
5.1.1 สภาวะภาระสูงสุด(Full Load Conditions) .....	82
ก. ผลของแรงบิดเบรก(Brake Torque) .....	82
ข. ผลของกำลังเบรก(Brake Power).....	83
ค. ผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, sfc).....	83
ง. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion Efficiency, ) .....	85
จ. อุณหภูมิไอเสีย .....	85
ฉ. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น .....	86
ช. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น.....	86
ซ. ค่าควันดำ .....	86

5.1.2	สภาวะภาระบางส่วน ที่ความเร็วรอบคงที่(Part Load Conditions) .....	87
ก.	ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก .....	87
ข.	ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเบรก .....	89
ค.	อุณหภูมิไอเสีย .....	91
ง.	อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น .....	91
จ.	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น .....	94
ฉ.	ค่าควันดำ .....	94
5.1.3	แผนภูมิแสดงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ (Engine Map) .....	97
ก.	แผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเบรก .....	97
ข.	แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก .....	99
ค.	แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย .....	99
ง.	แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น .....	102
จ.	แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น .....	102
5.2	ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง .....	105
5.2.1	สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	
เมื่อเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง .....	105	
5.2.1.1	สภาวะภาระสูงสุด .....	106
ก.	ผลของแรงบิดเบรก .....	106
ข.	ผลของกำลังเบรก .....	106
ค.	ผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก .....	107
ง.	ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก .....	107
จ.	อุณหภูมิไอเสีย .....	108
ฉ.	อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น .....	110
ช.	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น .....	110
ซ.	ค่าควันดำ .....	111
5.2.1.2	สภาวะภาระบางส่วน ที่ความเร็วรอบคงที่	
(Part Load Conditions) .....	111	
ก.	ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก .....	111
ข.	ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเบรก .....	111
ค.	อุณหภูมิไอเสีย .....	113

ง. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น.....	114
จ. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น .....	115
ฉ. ค่าควันดำ .....	116
5.3 การทดสอบความทนทาน.....	117
5.3.1 ผลระหว่างการทดสอบความทนทาน .....	117
ก. ค่ากำลังไฟฟ้า.....	117
ข. ความเร็วรอบ.....	119
ค. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง .....	120
ง. อุณหภูมิไอเสีย .....	122
จ. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น .....	124
ฉ. ปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น .....	126
ช. ค่าควันดำ .....	127
5.3.2 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น.....	128
5.3.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น.....	129
ก. ค่าความหนืดที่ 100 °C.....	129
ข. ค่าออกซิเดชัน และไนเตรชัน .....	130
ค. ค่าความเป็นด่างรวม (Total Base Number, TBN).....	131
5.3.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น.....	133
ก. การปนเปื้อนของซิลิกอน และ โซเดียม .....	133
ข. การปนเปื้อนของน้ำ.....	133
ค. การปนเปื้อนของเขม่า .....	133
ง. การปนเปื้อนของเชื้อเพลิง .....	134
5.3.2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารปรุงแต่ง.....	137
5.3.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะจากการสึกหรอ.....	142
ก. ปริมาณเหล็ก.....	142
ข. ปริมาณโครเมียม .....	143
ค. ปริมาณตะกั่ว .....	143
ง. ปริมาณทองแดง .....	143
จ. ปริมาณอลูมิเนียม.....	143
ฉ. ปริมาณนิกเกิล.....	144



ช. ปริมาณโมลลิบดินัม .....	144
5.3.2.5 ผลจากกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟีน้ำมันดีเซล.....	148
ก. ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 ( รันอิน ) .....	148
ข. ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110 .....	150
ค. ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220 .....	153
ง. ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320 .....	155
จ. ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420 .....	156
ฉ. ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500 .....	160
5.3.2.6 ผลการทดสอบความทนทานเมื่อใช้เชื้อเพลิง	
เป็นน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	163
ก. ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 ( รันอิน ) .....	163
ข. ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110 .....	164
ค. ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220 .....	167
ง. ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320 .....	170
จ. ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420 .....	170
ฉ. ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500 .....	175
5.3.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เปรียบเทียบ	
ก่อน และหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซล .....	177
5.3.3.1 สภาวะภาระสูงสุด .....	177
ก. ผลของแรงบิดเบรก .....	177
ข. ผลของกำลังเบรก.....	178
ค. ผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก .....	178
ง. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก .....	179
จ. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น.....	179
ฉ. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น .....	181
ช. อุณหภูมิไอเสีย.....	181
ซ. ค่าควันดำ .....	181
5.3.3.2 สภาวะภาระบางส่วน ที่ความเร็วรอบคงที่ .....	181
ก. ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก .....	181
ข. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเบรก .....	182

ค. อุณหภูมิไอเสีย.....	185
ง. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น.....	185
จ. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น.....	185
ฉ. ค่าควันดำ .....	190
5.3.3.3 แผนภูมิแสดงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ (Engine Map).....	190
ก. แผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเบรก .....	190
ข. แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก .....	192
ค. แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย .....	192
ง. แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น .....	192
จ. แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น.....	197
5.3.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เปรียบเทียบ ก่อน และหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	197
5.3.4.1 สภาวะภาระสูงสุด .....	197
ก. ผลของแรงบิดเบรก .....	197
ข. ผลของกำลังเบรก.....	197
ค. ผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก .....	198
ง. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก .....	198
จ. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น.....	200
ฉ. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น .....	200
ช. อุณหภูมิไอเสีย.....	200
ซ. ค่าควันดำ .....	201
5.3.4.2 สภาวะภาระบางส่วน ที่ความเร็วรอบคงที่ .....	201
ก. ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก .....	201
ข. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเบรก .....	203
ค. อุณหภูมิไอเสีย.....	203
ง. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น.....	206
จ. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น .....	206
ฉ. ค่าควันดำ .....	210
5.3.4.3 แผนภูมิแสดงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์	

(Engine Map).....	210
ก. แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเบรก .....	210
ข. แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก .....	212
ค. แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย .....	213
ง. แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น .....	215
จ. แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น.....	215
5.3.5 ผลการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง และการรั่วของหัวฉีด .....	218
5.3.6 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วน .....	220
5.3.6.1 ฝาสูบ .....	220
5.3.6.2 ผนังกระบอกสูบ.....	222
5.3.6.3 ลูกสูบ .....	224
5.3.6.4 บ่าวาล์วไอดีและบ่าวาล์วไอเสียที่ฝาสูบ.....	227
5.3.6.5 วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย .....	230
5.3.6.6 ก้านวาล์วไอดีและก้านวาล์วไอเสีย.....	232
5.3.6.7 หัวฉีด .....	233
5.3.6.8 แบริ่งก้านสูบ .....	235
5.3.7 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์	
ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน .....	236
<b>บทที่ 6 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>239</b>
6.1 สรุปผล.....	239
6.1.1 เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลกับ	
น้ำมันดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ .....	239
6.1.2 เปรียบเทียบผลจากการนำน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมาใช้ใน	
เครื่องยนต์อย่างต่อเนื่องภายใต้ภาระจำลอง .....	240
6.1.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น.....	241
6.1.4 ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์....	241
6.1.5 ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลต่อระบบการจ่ายเชื้อเพลิง ...	242
6.1.6 ข้อสังเกตที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ .....	242
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	243

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง.....	243
รายการอ้างอิง.....	244
บรรณานุกรม.....	246
ภาคผนวก.....	248
ภาคผนวก ก มาตรฐาน ISO 2046 ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ .....	249
ภาคผนวก ข มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ ESC Test Cycle[26].....	265
ภาคผนวก ค การวัดอัตราการไหลของอากาศ .....	269
ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะ.....	273
ภาคผนวก จ ตัวอย่างข้อมูลการทดสอบความทนทาน .....	328
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น.....	397
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	439



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2-1 แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสึกหรอจากวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลหะ และโลหะอสัณฐาน .....	37
3-1 มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล .....	46
3-2 คุณสมบัติน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ .....	47
3-3 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบ .....	46
3-4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดไขมัน(Fatty Acid) ที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างๆที่นำมาทำปาล์มไบโอดีเซล .....	49
3-5 แสดงค่าซีเทนที่ได้จากน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากวัตถุดิบต่างๆ.....	50
4-1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	54
4-2 แสดงองศาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทดสอบและการปรับเพิ่ม/ลด จำนวนแผ่นเข็มที่รองรับน้ำมันเชื้อเพลิง .....	64
4-3 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	67
4-4 แสดงวัฏจักรที่ใช้ในการทดสอบ .....	76
4-5 แสดงระยะเวลาในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น.....	80
5-1 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ช่วงโม่การทำงานที่ -20 ถึง 0.....	150
5-2 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่น จากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ช่วงโม่การทำงานที่ -20 ถึง 0.....	150
5-3 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ช่วงโม่การทำงานที่ 0 ถึง 110.....	151
5-4 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่น จากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ช่วงโม่การทำงานที่ 0 ถึง 110.....	152
5-5 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ช่วงโม่การทำงานที่ 110 ถึง 220.....	154

ตาราง	หน้า
5-6 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่น จากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220.....	155
5-7 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320.....	157
5-8 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่น จากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมง การทำงานที่ 220 ถึง 320 .....	158
5-9 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420.....	159
5-10 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420.....	160
5-11 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์ ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500.....	162
5-12 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่น จากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500.....	163
5-13 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0.....	164
5-14 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่น จากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0.....	165
5-15 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110.....	166

ตาราง	หน้า
5-16 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110.....	167
5-17 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220.....	169
5-18 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220.....	170
5-19 แสดง ภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320.....	172
5-20 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320.....	173
5-21 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420.....	174
5-22 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420.....	175
5-23 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500.....	176
5-24 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500.....	177

ตาราง	หน้า
5-25 แสดงข้อมูลความดันที่ใช้ในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงเปรียบเทียบเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน .....	219
5-26 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้ ก่อนและหลัง การทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ปาล์มไบโอดีเซล .....	238
5-27 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีดก่อนและหลังการทดสอบ ความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ปาล์มไบโอดีเซล .....	239
5-28 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิง ก่อนและหลัง การทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ปาล์มไบโอดีเซล .....	239



## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2-1 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและช่วงการเผาไหม้แบบต่างๆ .....	6
2-2 แสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 3 แบบ (ก) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ใช้หัวฉีดแบบหลายรูติดไว้ตรงกลาง (ข) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M ที่ฉีดเชื้อเพลิงเข้าผนัง (ค) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน ...	7
2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง .....	9
2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง แบบ M .....	10
2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน .....	11
2-6 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพปั้งซีของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวนซึ่งเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรือภาวะ .....	12
2-7 เส้นโค้งการกลั่น(Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป .....	14
2-8 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพตามเวลา .....	18
2-9 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา .....	19
2-10 แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ .....	20
2-11 แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค .....	21
2-12 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด .....	22
2-13 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบขูดขีด .....	22
2-14 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว .....	24
2-15 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน .....	25
2-16 แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445) .....	28
2-17 แสดงกระบวนการเฟอร์โรกราฟี .....	30
2-18 แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอร์โรแกรม .....	31
2-19 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ .....	33

ภาพประกอบ	หน้า
2-20 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีในเครื่องจักร (Severe Sliding Wear Particle).....	33
2-21 แสดงอนุภาคการสึกหรอแบบ Cutting Wear .....	34
2-22 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle).....	34
2-23 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle).....	35
2-24 แสดงอนุภาคการสึกหรอของทองแดง.....	36
2-25 แสดงปริมาณการดูดซับรังสีอินฟราเรดในแต่ละช่วงความถี่ ของน้ำมันหล่อลื่น .....	38
2-26 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน .....	39
2-27 แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้ .....	40
3-1 รูปน้ำมันที่ใช้ในการวิจัย เปรียบเทียบระหว่าง (ภาพซ้าย) น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (ภาพขวา) และน้ำมันดีเซล .....	45
4-1 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....	52
4-2 แสดงแผนผังในการการติดตั้งเครื่องยนต์และอุปกรณ์ในการทดสอบสมรรถนะ.....	53
4-3 แสดงเครื่องยนต์ดีเซลฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง .....	54
4-4 แสดงชุดไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ (ซ้าย) แสดงไดนาโมมิเตอร์ ยี่ห้อ Tokyokoki Schenck รุ่น W – 40 (ขวา) แสดงชุดควบคุม ยี่ห้อ Tokyokoki Schenck.....	55
4-5 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในการวัดอัตราการกินน้ำมัน .....	56
4-6 แสดงจุดที่ติดตั้งหัววัดเทอร์โมคัปเปิลในถังพักอากาศ .....	56
4-7 แสดงการติดตั้งหัววัดเทอร์โมคัปเปิลที่ปลั๊กถ่ายน้ำหล่อเย็นบริเวณด้านล่างของฝาสูบ....	57
4-8 แสดงหัววัดของเทอร์โมคัปเปิลที่ท่อไอเสีย .....	58
4-9 แสดงถังพักอากาศและการติดตั้ง orifice plate .....	58
4-10 แสดง incline manometer.....	59
4-11 แสดงภาพชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ (ภาพซ้าย) บีมดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00 (ภาพขวา) เครื่องอ่านค่าควันดำ ยี่ห้อ Sokken รุ่น GSM – 3DPM .....	59
4-12 แสดงตัวอย่างกระดาษกรองที่ใช้ในการวัดค่าควันดำ เปรียบเทียบกับ Bosch Unit Number .....	60
4-13 แสดงภาพบารอมิเตอร์(ซ้าย) และเทอร์โมมิเตอร์(ขวา) .....	61

ภาพประกอบ	หน้า
4-14 แสดง matrix ที่ใช้ในการทดสอบ .....	62
4-15 แสดงองค์ประกอบปั๊มน้ำมันดีเซลและตำแหน่งติดตั้ง ของซีมรองเรือน้ำมันดีเซล.....	63
4-16 แสดงจุดในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แบบ EMA Test.....	65
4-17 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	66
4-18 แสดงการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	68
4-19 แสดงแผนภูมิแผงหลอดไฟที่ใช้เป็นภาระของเครื่องยนต์.....	69
4-20 แสดงตู้ควบคุมภาระของเครื่องยนต์ .....	69
4-21 แสดงตัวตรวจจับวัดความเร็วรอบ และตำแหน่งการติดตั้ง .....	70
4-22 แสดงตู้แปลงสัญญาณ (Data Logger).....	70
4-23 แสดงอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ Nitech .....	71
4-24 แสดงอุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นสัญญาณอนาล็อก Primus .....	71
4-25 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง .....	72
4-26 แสดงแผนผังการต่อระบบน้ำมันดีเซล .....	73
4-27 แสดงแผนผัง (Flow Chart) การทำงานของระบบการวัด อ่าน และบันทึกค่า .....	74
4-28 แสดงโปรแกรม Innovative Diesel Engine Test .....	74
4-29 ชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ ภาพซ้าย แสดงภาพปั๊มดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00 ภาพขวา แสดงภาพ เครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50 .....	75
4-30 แสดงสภาวะการทำงานที่ 1 บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	77
4-31 แสดงวัฏจักรสภาวะการทำงาน บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	79
4-32 แสดงอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น .....	79
5-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรงบิดเบรก กำลังเบรก อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก(bsfc) ประสิทธิภาพการเปลี่ยน พลังงานเชื้อเพลิงเบรก อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิไอเสีย และค่าควันดำ ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบระหว่างการใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล.....	86
5-2 แสดงค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ที่สภาวะภาระบางส่วน เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล	

ภาพประกอบ	หน้า
และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	90
5-3 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อความเร็วรอบ เครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	92
5-4 แสดงอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	94
5-5 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ที่สภาวะภาระบางส่วน เมื่อความเร็วรอบ เครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	95
5-6 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อ ใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	97
5-7 แสดงค่าควันทันที่สภาวะภาระบางส่วน เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	98
5-8 แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อ ใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น g/kW-h .....	100
5-9 แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน ปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น g/kW-h .....	100
5-10 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น % .....	102
5-11 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก เมื่อใช้น้ำมัน ปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น % .....	102
5-12 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับ ความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส .....	103
5-13 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	

ภาพประกอบ	หน้า
เปรียบเทียบเกี่ยวกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส.....	103
5-14 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบ กับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส .....	104
5-15 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส.....	105
5-16 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับ ความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส .....	105
5-17 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส.....	106
5-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรงบิดเบรก กำลังเบรก อัตราสิ้นเปลือง เชื้อเพลิงจำเพาะเบรก(bsfc) ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิไอเสีย และค่าคว้นค่าที่สภาวะภาระสูงสุดของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเมื่อเปลี่ยนนอศการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง .....	110
5-19 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ความเร็วรอบ เครื่องยนต์คงที่ 1,400 1700 และ 2100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนนอศการฉีดเชื้อเพลิง .....	113
5-20 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1700 และ 2100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนนอศการฉีดเชื้อเพลิง .....	113
5-21 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1700 และ 2100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนนอศการฉีดเชื้อเพลิง .....	114
5-22 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1700 และ 2100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนนอศการฉีดเชื้อเพลิง .....	115
5-23 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1700 และ 2100 รอบต่อนาทีของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนนอศการฉีดเชื้อเพลิง .....	116
5-24 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าคว้นค่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1700	







ภาพประกอบ	หน้า
และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	125
5-34 แสดงค่าคุณภูมิไอเสีย(องศาเซลเซียส) ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	125
5-35 แสดงคุณภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	126
5-36 แสดงคุณภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	126
5-37 แสดงคุณภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	127
5-38 แสดงอัตราการกินน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน ปาล์มไบโอดีเซล .....	128
5-39 แสดงค่าควันดำระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน ปาล์มไบโอดีเซล .....	129
5-40 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทานตามอายุ การใช้งานของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	132
5-41 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทานตามอายุ การใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซล(ซ้าย) กับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา).....	133
5-42 แสดงปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทานตาม อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	136
5-43 แสดงปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทานตาม อายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซล(ซ้าย) และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา) .....	137

ภาพประกอบ	หน้า
5-44 แสดงปริมาณสารปรุงแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	139
5-45 แสดงปริมาณสารปรุงแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซล(ซ้าย) และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา) .....	140
5-46 แสดงค่า Ruler ของมันหล่อลื่นโดยตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ตลอดการทดสอบความทนทาน ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	142
5-47 แสดงปริมาณโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลและ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	146
5-48 แสดงปริมาณโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลและ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	147
5-49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรงบิดเบรก กำลังเบรก อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรก(bsfc) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิไอเสีย และค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล .....	181
5-50 แสดงค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล .....	184
5-51 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาทีเปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล .....	185
5-52 แสดงอุณหภูมิไอเสีย เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล.....	187
5-53 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นและค่าแรงบิดเบรก เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล .....	188

ภาพประกอบ	หน้า
5-54 แสดงอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลัง การทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล.....	189
5-55 แสดงค่าวันดำเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลัง การทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล.....	190
5-56 แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทานเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น g/kW-h .....	192
5-57 แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ภายหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส.....	192
5-58 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกเมื่อใช้น้ำมันดีเซลก่อนการ ทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบและค่าแรงบิด หน่วยเป็น % .....	194
5-59 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกเมื่อใช้น้ำมันดีเซล หลังการ ทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น % .....	194
5-60 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....	195
5-61 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ภายหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....	195
5-62 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....	196
5-63 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ภายหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....	196
5-64 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล	

ภาพประกอบ	หน้า
ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....	197
5-65 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....	197
5-66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรงบิดเบรก กำลังเบรก อัตราสิ้นเปลือง เชื้อเพลิงจำเพาะเบรก(bsfc) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิไอเสีย และค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดของ เครื่องยนต์ เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	200
5-67 แสดงค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบ ก่อน และหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	203
5-68 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	205
5-69 แสดงอุณหภูมิไอเสีย เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและ หลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	206
5-70 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและ หลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	208
5-71 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็น เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและ หลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	209
5-72 แสดงค่าควันดำเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและ หลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	210
5-73 แผนภูมิอุณหภูมิอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมัน	

ภาพประกอบ	หน้า
<p>ปาล์มไบโอดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น g/kW-h.....</p>	212
<p>5-74 แผนภูมิอุณหภูมิอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับ ความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น g/kW-h.....</p>	213
<p>5-75 แผนภูมิค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับ ความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น %.....</p>	213
<p>5-76 แผนภูมิค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์เมื่อ ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับ ความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น %.....</p>	214
<p>5-77 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....</p>	215
<p>5-78 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....</p>	215
<p>5-79 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....</p>	216
<p>5-80 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....</p>	217
<p>5-81 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....</p>	218
<p>5-82 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส .....</p>	218



ภาพประกอบ	หน้า
5-83 แสดงรูปของสเปร์ย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง ภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน จากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล .....	220
5-84 แสดงรูปของสเปร์ย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงภายหลัง ผ่านการทดสอบความทนทาน จากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	220
5-85 แสดงภาพถ่ายฝาสือบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล .....	222
5-86 แสดงภาพถ่ายฝาสือบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน ของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	222
5-87 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบหลัง ภายหลังการทดสอบความทนทานของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล(ซ้าย) เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา) .....	224
5-88 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซล .....	226
5-89 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	226
5-90 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและภาพขยาย .....	227
5-91 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและภาพขยาย .....	227
5-92 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล(ซ้าย) และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา) .....	228
5-93 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล(ซ้าย) และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา) .....	230
5-94 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจากที่ใช้น้ำมันดีเซล.....	232
5-95 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจากที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	232
5-96 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจากที่ใช้น้ำมันดีเซล .....	232
5-97 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจากที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	232
5-98 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	233
5-99 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล .....	233
5-100 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ก่อนถอดออกจากฝาสือบ .....	234
5-101 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนถอดออกจากฝาสือบ.....	235
5-102 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	236
5-103 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	236



ภาพประกอบ

หน้า

5-104 แสดงภาพถ่ายแบริ่งกำนฐบจากที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังผ่าน

การทดสอบความทนทาน(ซ้าย)แสดงภาพถ่ายแบริ่งกำนฐบจากที่ใช่

น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังผ่าน การทดสอบความทนทาน(ขวา)..... 237



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
A	Abnormal	
$A_T$	Throat Area	$m^2$
$A_0$	Orifice Area	$m^2$
$A_R$	Reference Area	$m^2$
$A_E$	Effective Area	$m^2$
A/F	Air/fuel Ratio	kg air / kg fuel
ASTM	American Society Testing of Material	
$(A/F)_s$	Air/fuel Ratio ที่ stoichiometric	kg air / kg fuel
abs	absorbance unit	
BDC	ตำแหน่งจุดศูนย์ตายล่าง	
BFCE	Brake Fuel Conversion Efficiency	
BSFC	Brake Specific Fuel Consumption	g/kW-h
bmep	Brake mean effective pressure	kPa
bsfc	Brake specific fuel consumption	g/kW-h
C	Caution	
CH <sub>4</sub>	Methane	
CO	Carbon monoxide	
CO <sub>2</sub>	Carbon dioxide	
CI	เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด	
CN	เลขซีเทน	
CCI	Cetane index	
CPO	Crude Palm Oil	
$C_{D0}$	Discharge Coefficient ของ orifice plate	
Cd	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	
Crtd T.	Corrected Torque	Nm
$\cos \phi$	Power factor ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
$\cos \theta$	Power factor ของมอเตอร์	
D	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ	m

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
DI	ฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง	
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของ orifice plate	m
DDF	Diesel Dual Fuel	
e	expansion factor	
E	Orifice plate thickness	m
EOI	End of Injection	
EP	End point	
ECEf_DDF	Energy Conversion Efficiency of DDF	MJ/kW.h
ECEf_D	Energy Conversion Efficiency of Diesel	MJ/kW.h
EMA	Engine Manufacturers Association	
FBP	Final Boiling Point	
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy	
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 9.807	m/s <sup>2</sup>
H <sub>2</sub>	Hydrogen	
H <sub>2</sub> S	Hydrogensulphide	
H <sub>2</sub> O	น้ำ	
HRR	Heat Release Rate	
HFRR	High Frequency Reciprocating Rig	
HHV	High Heating Value	
$\Delta h$	ผลต่าง Head ที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์	mm H <sub>2</sub> O
I	ค่ากระแสไฟฟ้า	A
IBP	Initial Boiling Point	
IDI	ฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม	
I <sub>m</sub>	ค่ากระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์	A
I <sub>G</sub>	ค่ากระแสไฟฟ้าที่เจนเนอเรเตอร์เตอร์	A
I <sub>exite</sub>	Excited current	A
K	ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และ เท่ากับ 2 สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
$k$	Isentropic exponent, ( $C_p / C_v$ )	
LHV	Lower Heating Value	
LEL	Lower Explosive Limit	
$\dot{m}_a$	อัตราไหลเชิงมวลของอากาศ	kg/s
$\dot{m}_{fc}$	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันดีเซล	kg/s
$\dot{m}_{fb}$	อัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซชีวภาพ	kg/s
$\dot{m}_f$	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง	kg/s
$\dot{m}_{Methane}$	อัตราไหลเชิงมวลของมีเทน	kg/s
$\dot{m}_{ideal}$	อัตราการไหลของมวลในอุดมคติผ่านออริฟิซ	kg/s
$m_{Diesel}$	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันดีเซล	kg/s
M	Molecular Weight	kg
N	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	rev/min
$N_c$	จำนวนกระบอกสูบของเครื่องยนต์	
$N_2$	Nitrogen	
$n_R$	จำนวนรอบของเพลาคู่เหยี่ยวต่อวัฏจักร	
$P_T$	Pressure at Throat	$N/m^2$
$P_o$	Pressure at Orifice	$N/m^2$
$P_b$	กำลังเบรก	kW
$P_{in,G}$	กำลังที่เข้าเจนเนอเรเตอร์	kW
$P_{in,m}$	กำลังที่เข้ามอเตอร์	kW
$P_{out,m}$	กำลังที่ออกจากมอเตอร์	kW
$P_{out,G}$	กำลังที่เข้าเจนเนอเรเตอร์	kW
$P_{loss}$	กำลังสูญเสีย	kW
ppm	part per million	
$Q_{HV}$	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (heating value)	MJ/kg fuel
$q_m$	อัตราไหลเชิงมวล	kg/s
$Q_{HVDiesel}$	ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงดีเซล	MJ/kg
$Q_{HVMethane}$	ค่าพลังงานความร้อนของมีเทน	MJ/kg

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
$Q_{air}$	อัตราไหลเชิงปริมาตรของอากาศ	$m^3/s$
R	Gas Constant	kg/kmol.K
$R_{ed}$	Reynolds Number	
SAE	Society of Automotive	
SI	เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ	
SF	Safety Factor	
STLE	Society of Tribologists and Lubrication Engineers	
SO <sub>2</sub>	Sulphur dioxide	
SO <sub>3</sub>	Sulphur Trioxide	
SEM	scanning electron microscope	
STEC	Specific Total Energy Consumption	MJ/kW.h
STECE	Specific Total Energy Conversion Efficiency	
STEC_B	Specific Total Energy Consumption of Biogas	MJ/kW.h
STEC_D	Specific Total Energy Consumption of Diesel	MJ/kW.h
SOC	จุดสิ้นสุดการเผาไหม้	°CA
SOI	จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง	°CA
SUB	น้ำมันดีเซลที่ถูกก๊าซชีวภาพแทนที่	% by mass
TPM	total particulate matter	
$T_{max}$	แรงบิดเบรกสูงสุด	N-m
$T_b$	แรงบิดเบรก	N-m
$T_o$	อุณหภูมิบรรยากาศ	K
TBN	Total Base Number	
TDC	ตำแหน่งจุดศูนย์ตายบน	
t	เวลา	s
UEL	Upper Explosive Limit	
$V_{DDF,biogas}$	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับ ก๊าซชีวภาพ	L/hr.

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
$V$	ปริมาตรที่ใช้วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	ml
$V$	ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า	volts
$V_m$	ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มอเตอร์	volts
$V_G$	ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เจนเนอเรเตอร์	volts
$V_b$	ปริมาตรถังพักอากาศที่เล็กที่สุด	$m^3$
$V_d$	Displaced volume	$dm^3$
$V_s$	ปริมาตรช่วงชักลูกสูบ	$m^3$
$\dot{V}$	อัตราการไหลโดยปริมาตร	ml/s
$W_c$	work per cycle	kW/cycle
$X_{diesel}$	ราคาน้ำมันดีเซล	Baht/L
$X_{biogas}$	ราคาน้ำมันก๊าซชีวภาพ	Baht/ $m^3$
$\mu$	ความหนืดสัมบูรณ์	Pa.s
$\nu$	ปริมาตรจำเพาะ	$m^3/kg$
$\phi$	Equivalent Ratio	
$\phi_t$	Total Equivalent Ratio	
$\omega$	ความเร็วเชิงมุม	rad/s
$\beta$	Diameter ratio $d / D$	
$\varepsilon$	Expansion factor	
$\eta_{brake fuel}$	Brake Fuel conversion efficiency	%
$\eta_v$	volumetric efficiency	%
$\eta_0$	ประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ไม่มีภาระ	%
$\eta_{0.5}$	ประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ครึ่งหนึ่งของภาระสูงสุด	%
$\eta_{100}$	ประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ภาระสูงสุด	%
$\eta_f$	Fuel conversion efficiency	%
$\eta_G$	Efficiency of Generator	%
$\rho$	ความหนาแน่น	$kg/m^3$



คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
$\rho_{a,l}$	ความหนาแน่นของอากาศ	$\text{kg/m}^3$
$\rho_f$	ความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล	$\text{kg/m}^3$
$\gamma_{air}$	น้ำหนักจำเพาะของอากาศ	$\text{kg/m}^2\text{-s}^2$
$\Phi$	ฟังก์ชันของการไหลแบบยุบตัว	



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันเชื้อเพลิงดีเซลถือเป็นเชื้อเพลิงหลักในเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยการอัด ซึ่งเป็นกำลังขับเคลื่อนหลักในการพัฒนาประเทศ แต่ด้วยราคาน้ำมันดีเซลที่ไม่แน่นอน ประกอบกับมลพิษในสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนต่อความต้องการการใช้น้ำมันที่เพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงทางเลือกชนิดอื่นมาทดแทนน้ำมันดีเซล ซึ่งหนึ่งในเชื้อเพลิงทดแทนที่ได้รับการสนับสนุนจากนโยบายรัฐบาล คือน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

ปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตขึ้นมาทดแทนได้จากน้ำมันปาล์มดิบซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากพืชคือมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซลจึงมีแนวโน้มที่จะทำให้เครื่องยนต์เกิดการน็อคน้อยลง เครื่องเดินเรียบ ลดเสียงดัง และเครื่องยนต์สตาร์ทท่ายขึ้น นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังสามารถลดควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมาการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นผลผลิตมาจากปาล์ม อาจจะทำให้เกิดผลกระทบกับชิ้นส่วนที่สัมผัสกับน้ำมันโดยตรง เช่น การจับตัวกันเป็นก้อนบนหัวฉีด การเกิดการ corrosion เนื่องจากความเป็นกรดของเชื้อเพลิง และการ dilute ของน้ำมันหล่อลื่นซึ่งเป็นผลเร่งให้เกิดความเสียหายต่อสมรรถนะและเครื่องยนต์ที่ใช้ต่อไป

การศึกษานี้จึงจัดทำขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อนำเอาเชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล (B100) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล โดยจะครอบคลุมการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล การศึกษาผลจากการปรับปรุงองค์การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นตัวแปรการทำงานของเครื่องยนต์เพื่อให้สามารถเอาน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนการศึกษผลกระทบต่อการนำเครื่องยนต์ที่ได้รับการปรับปรุงมาใช้งานต่อเนื่องในระยะยาว เพื่อนำเสนอแนะแนวทางการนำเชื้อเพลิงชนิดนี้ไปใช้งานอย่างเหมาะสม

ทั้งนี้ B100 คือน้ำมันไบโอดีเซลที่นำมาใช้โดยไม่ได้มีการผสมกับน้ำมันดีเซล(ร้อยละ 100) ในวิทยานิพนธ์นี้ B100 จะหมายถึงการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลโดยมิได้ผสมน้ำมันดีเซล

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็กระบบการทำงานแบบระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง เมื่อใช้เชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล (B100) ตามกำหนดของประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2549 และเปรียบเทียบกับสมรรถนะเมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซล
- 1.2.2 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด เมื่อใช้เชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล (B100) ตามกำหนดของประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2549
- 1.2.3 ศึกษาความทนทานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็กที่เมื่อใช้เชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล (B100) ต่อเนื่องเป็นระยะยาว และเสนอแนะแนวทางการนำไปใช้อย่างเหมาะสม

## 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1.3.1 ศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง สภาพวะของเครื่องยนต์และค่าควันดำ ที่จุดทำงาน ณ สภาพวะคงตัวของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(B100) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ทำงานที่สภาวะภาระบางส่วน และการทำงานที่สภาวะภาระสูงสุด
- 1.3.2 ศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้กับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ที่มีผลต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน และการทำงานที่สภาวะภาระสูงสุด อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าควันดำ ในทุกจุดทำงานต่างๆของเครื่องยนต์
- 1.3.3 ติดตามผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ ระหว่างการทดสอบการใช้งานต่อเนื่องในระยะยาว
  - อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
  - คุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น และสารเจือปน
  - สภาวะอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะเดินเครื่องในสภาวะต่างๆของเครื่องยนต์
- 1.3.4 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ภาระบางส่วน และการทำงานที่ภาระสูงสุด ก่อนและหลังการทดสอบความทนทานจากการใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานาน
- 1.3.5 ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ ภายหลังจากทดสอบความทนทาน

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.4.1 ทำการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ที่ใช้ในการเกษตร ชนิดระบบฉีดน้ำมัน โดยตรง เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่สภาวะคงตัว ที่อัตราเร็วรอบต่างๆ แล้วบันทึกข้อมูลตัวแปรการทำงาน อาทิ แรงบิด อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ ค่าควันท่า ที่จุดทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์การทำงานที่สภาวะภาระบางส่วน และการทำงานที่สภาวะภาระสูงสุด
- 1.4.2 ทำการคำนวณและสร้าง performance map ของเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซล โดยใช้ข้อมูลจากข้อ 1.4.1
- 1.4.3 ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 1.4.1 และ 1.4.2 สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง
- 1.4.4 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระหว่างเชื้อเพลิงดีเซลกับ เชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล
- 1.4.5 ปรับองค์การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) จากนั้นทำการทดลองสภาวะคงตัว ที่อัตราเร็วรอบโดยเลือกจาก European Standard cycle บันทึกข้อมูลตัวแปรการทำงาน อาทิ แรงบิด อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ ค่าควันท่า ที่จุดทำงานต่างๆ
- 1.4.6 เปรียบเทียบสมรรถนะที่ได้จากการเปลี่ยนองค์การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จากข้อ 1.4.5
- 1.4.7 การศึกษาผลกระทบที่จะเกิดจากการทดสอบการใช้งานเป็นระยะยาว นำเครื่องยนต์ที่ได้ปรับตั้งค่าจากโรงงานมาทดสอบความทนทานโดยการให้ภาระเป็นวัฏจักรแบบ EMA เพื่อศึกษาผลกระทบระยะยาว แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น สภาวะอุณหภูมิของน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิของไอเสีย อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระยะเวลาการทดสอบ
- 1.4.9 ทดสอบเครื่องยนต์หลังผ่านการทดสอบความทนทาน ตามข้อ 1.4.1 และ 1.4.2
- 1.4.10 เปรียบเทียบ performance map กับการทำงานของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็นไบโอดีเซล ที่ได้จากข้อ 1.4.6 และเมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็นดีเซลในข้อ 1.4.2
- 1.4.11 ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นและอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ ภายหลังจากการทดสอบความทนทาน

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบพฤติกรรมการทำงานของสมรรถนะเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล (B100) รวมถึงวิธีการนำปาล์มไบโอดีเซลไปปรับใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างเหมาะสม และผลกระทบความทนทานที่เกิดขึ้น จากการใช้งานระยะเวลานาน

จากการศึกษาจะช่วยให้ทราบพฤติกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ ผลกระทบที่เกิดขึ้น รวมทั้ง ข้อดี ข้อเสียของการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เพื่อเป็นแนวทางที่จะนำไปพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์การเกษตรขนาดเล็ก สามารถพัฒนาเกณฑ์การนำน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลไปใช้งานจริง เพื่อให้มีหลักเกณฑ์การใช้งานที่แน่นอน อายุการใช้งานของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆที่แน่นอน แนวทางในการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ที่ถูกต้อง การป้องกันและแก้ไขปริมาณของมลภาวะที่เกิดขึ้น

ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลภายในประเทศและช่วยลดค่าใช้จ่ายให้แก่เกษตรกร



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine)

กระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด สามารถสรุปได้ว่าเริ่มจากเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ที่ปลายจังหวะอัด ณ ตำแหน่งก่อนศูนย์ตายบน (Before Top Death Center) เล็กน้อย ซึ่งเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไบนั้นจะมีความดันสูงมากเมื่อผ่านพื้นปลายหัวฉีดก็จะแตกเป็นละอองฝอยเข้าสู่ห้องเผาไหม้ แล้วจะระเหยอย่างรวดเร็วและผสมกับอากาศที่อยู่ภายในกระบอกสูบซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูง หลังจากนั้นก็จะเกิดการจุดระเบิดเองของเชื้อเพลิงและอากาศที่ผสมกันในอัตราส่วนที่สามารถติดไฟได้ เมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้น ทำให้ความดันและอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เชื้อเพลิงในส่วนที่เหลือระเหยและผสมกับอากาศได้เร็วมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่เร็วและรุนแรงต่อเนื่องจนกระทั่งเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ถูกเผาไหม้จนหมด

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

##### 2.1.1 ระบบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ระบบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด แบ่งออกเป็น 2 ระบบตามการออกแบบห้องเผาไหม้ ดังนี้

###### 2.1.1.1 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct-Injection System, DI Systems)

เป็นระบบที่มีห้องเผาไหม้แบบเปิดห้องเดียว (open chamber) และเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง ระบบนี้มีโมเมนตัมและพลังงานของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเพียงพอต่อการกระจายของเชื้อเพลิง และเพียงพอสำหรับการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่เหมาะสม จึงไม่ต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของอากาศเข้ามาช่วยในการผสมอีก ระบบนี้เหมาะสำหรับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ที่มีความเร็วรอบต่ำ

###### 2.1.1.2 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (Indirect-Injection System, IDI Systems)

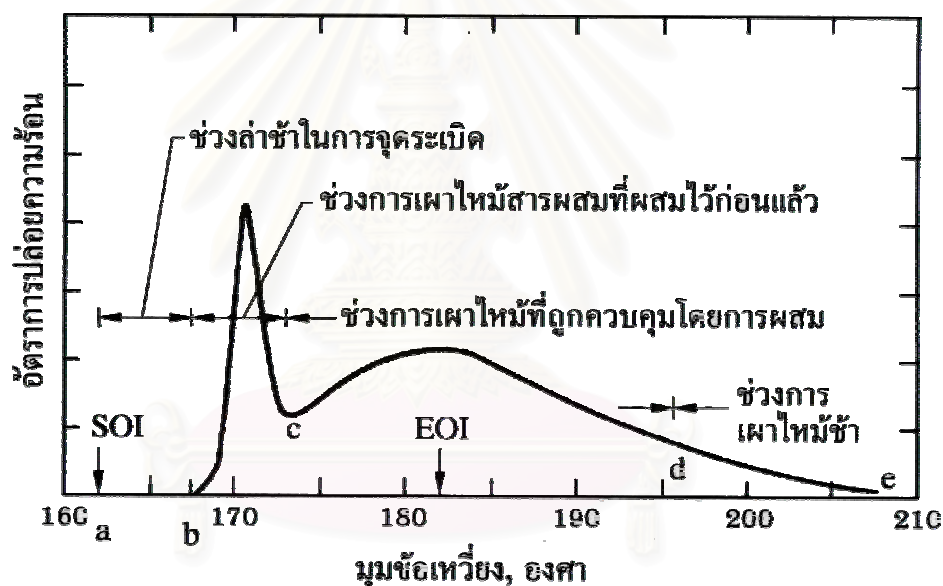
เป็นระบบที่ห้องเผาไหม้ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ห้องเผาไหม้ล่วงหน้า (pre-chamber) และห้องเผาไหม้หลัก (main-chamber) โดยเชื้อเพลิงจะถูกฉีดผ่านทางหัวฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ซึ่งจะจุดระเบิดและเผาไหม้เชื้อเพลิงบางส่วนภายในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า หลังจากนั้น



เปลวไฟจะลามออกมาที่ห้องเผาไหม้หลักซึ่งอยู่เหนือหัวลูกสูบและเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนที่เหลือต่อไปจนถึงสุดกระบวนกาเผาไหม้ ระบบนี้เหมาะสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กความเร็วรอบสูง

## 2.1.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

อัตราการปล่อยความร้อน (Heat-Release rate) เป็นหลักการสำคัญที่นำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์การเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อนนี้ก็คือพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงที่ปล่อยออกมาขณะเกิดการเผาไหม้ โดยสามารถแบ่งกระบวนการของอัตราการปล่อยความร้อนออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงล่าช้าการจุดระเบิด, ช่วงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมไว้ก่อนแล้ว, ช่วงการเผาไหม้ที่ควบคุมโดยการผสม และช่วงการเผาไหม้ช้า ซึ่งแต่ละช่วงจะถูกควบคุมโดยกระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีที่แตกต่างกัน ดังเช่นรูปที่ 2-1 แสดงแผนภูมิอัตราการปล่อยความร้อนในเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (DI) โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการเกิดได้ดังนี้



รูปที่ 2-1 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง และช่วงการเผาไหม้แบบต่างๆ [1]

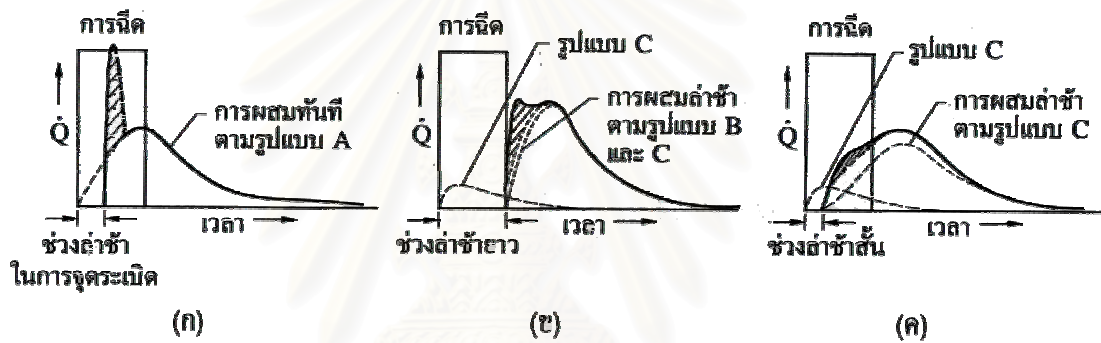
- ช่วงล่าช้าการจุดระเบิด (Ignition delay, a-b) คือช่วงระหว่างการเริ่มต้นฉีดเชื้อเพลิง (SOI, Start of injection) เข้าสู่ห้องเผาไหม้จนถึงจุดเริ่มต้นของการเผาไหม้

- ช่วงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมกันก่อนแล้ว (Premixed combustion phase, b-c) ซึ่งเป็นช่วงเวลาของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศกันก่อนในช่วงล่าช้าการจุดระเบิด ซึ่ง จะเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและพร้อมกัน ส่งผลให้อัตราการปล่อยความร้อนในช่วงนี้มีค่าสูงสุด

- ช่วงการเผาไหม้ที่ควบคุมโดยการผสม (Mixing combustion phase, c-d) เมื่อเชื้อเพลิงและอากาศที่ผสมกันก่อนแล้วถูกเผาไหม้จนหมดอัตราการเผาไหม้จะถูกควบคุมโดยอัตราการเกิดของสารผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่พร้อมจะเผาไหม้ โดยจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นแต่อาจจะไม่สูงถึงค่าแรกแล้วจะลดลงเมื่อกระบวนการเผาไหม้ดำเนินต่อไป

- ช่วงการเผาไหม้ล่าช้า (Late combustion phase, d-e) เป็นช่วงที่การปล่อยความร้อนเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำในจังหวะขยายตัว ซึ่งเป็นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่เล็กน้อยและเป็น การเผาไหม้ในส่วนของเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ของส่วนผสมหนาที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้

แต่สำหรับในระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบเอ็ม (ระบบที่มีห้องเผาไหม้แบบหลุมในลูกสูบ) และระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (IDI) นั้นอัตราการปล่อยความร้อนจะต่างจากระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงดังในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 แสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 3 แบบ [1]

(ก) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ใช้หัวฉีดแบบหลายรู ติดไว้ตรงกลาง

(ข) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M ที่ฉีดเชื้อเพลิงเข้าผนัง

(ค) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน

โดยจากการศึกษารูปแบบของการเผาไหม้ต่างๆ ได้มีการนำเสนอกลไกหรือรูปแบบการฉีด การผสมและการเผาไหม้ที่สำคัญในเครื่องยนต์ดีเซลไว้ 3 รูปแบบ คือ รูปแบบ A เกิดจากการฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปทันทีโดยโมเมนตัมที่มากพอควร และเกิดการผสมทันทีของเชื้อเพลิงกับอากาศทำให้เกิดส่วนผสมล่วงหน้า (Premixed) รูปแบบ B เชื้อเพลิงจะไปเกาะที่ผนัง การผสมในช่วงล่าช้าเกือบจะไม่มีเนื่องจากการระเหยของเชื้อเพลิงถูกจำกัด แต่หลังจากการจุดระเบิดการระเหยจะรวดเร็วและจะถูกควบคุมโดยอัตราการเข้าถึงผิวของแก๊สร้อน (เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับผิวซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงระเหยเร็วขึ้น) และจะเกิดการผสมในแนวรัศมีจากแรงหนีศูนย์กลางที่ต่างกัน

รูปแบบ C เชื้อเพลิงถูกกระจายไปใกล้กับผนัง และมีการผสมเกิดในช่วงล่างแต่ในอัตราที่น้อยกว่าแบบ A เมื่อเกิดการจุดระเบิดจะเกิดการผสมขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับรูปแบบ B สำหรับเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงจะมีรูปแบบตามรูปแบบ A ส่วนระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M นั้นจะมีรูปแบบตามรูปแบบ B และ C ซึ่งจะช่วยให้อัตราการเผาไหม้ในช่วงแรกไม่สูงเกินไป ส่วนระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม ช่วงล่างการจุดระเบิดจะสั้นหลังจากนั้นจะเป็นการผสมของรูปแบบ C

### 2.1.3 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้แก่ กำลังเบรก, แรงบิดเบรก และ brake specific fuel consumption ฯลฯ

กำลังเบรกของเครื่องยนต์สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$P_b = T_b \omega = \frac{2\pi N T_b}{6000} \quad (2-1)$$

Brake Fuel Conversion Efficiency

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

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

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

ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ คือ

$$bmep = 4 \pi T_b / V_d \quad (2-4)$$

Volumetric Efficiency

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

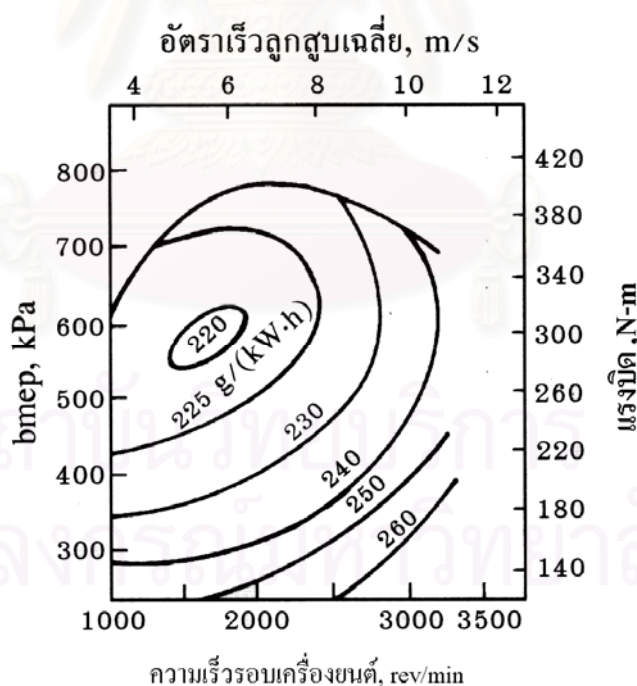
โดยที่	$P_b$	=	กำลังเบรก (kW)
	$T_b$	=	แรงบิดเบรก (N-m)
	bmep	=	Brake Mean Effective Pressure (kPa)
	N	=	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rev/min)
	$V_d$	=	Displacement Volume (dm <sup>3</sup> )

$Q_{HV}$	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)
$\dot{m}_f$	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (g/s)
$\rho_{a,i}$	=	ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ ( $\text{kg/m}^3$ )
bsfc	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (mg/J)
$\eta_{fb}$	=	Brake Fuel Conversion Efficiency
$\omega$	=	ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

### 2.1.3 แผนภูมิสมรรถนะ(Performance Map) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด คือ ภาวะ และ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

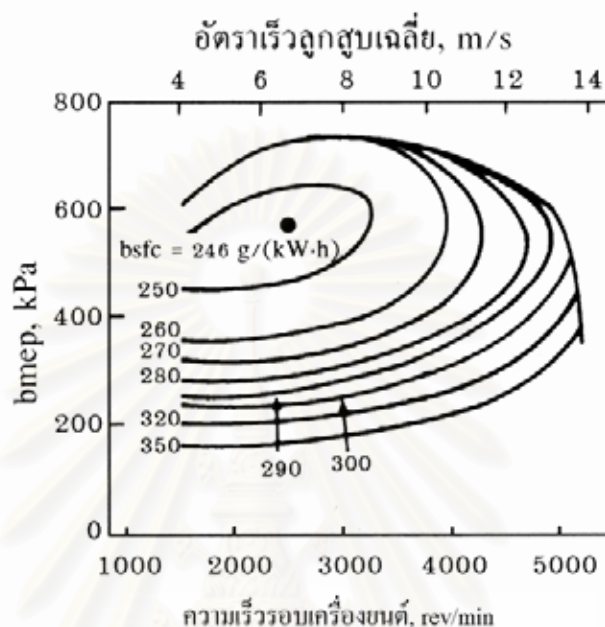
สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดที่ภาวะและความเร็วรอบต่างๆ จะแสดงในรูปแผนภูมิสมรรถนะดังตัวอย่างในรูปที่ 2-3 ซึ่งเป็นการแสดงค่า bsfc ที่เท่ากัน บนกราฟของ bmep (หรือค่าแรงบิด) กับ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (หรือความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ)



รูปที่ 2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง [1]

รูปที่ 2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติมีการไหลวนปานกลาง สี่จังหวะ ระบายความร้อนด้วยอากาศ ปริมาตรกระจัด 6.54 ลูกบาศก์เดซิเมตร ให้กำลังสูงสุด 119 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 3200 รอบต่อนาที

ค่า bmep สูงสุด 784 kPa ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที และค่า bsfc ต่ำสุดเกิดที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที และ bmep เท่ากับ 580 kPa มีค่าเท่ากับ 220 g/kW-h ซึ่งตรงกับประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคเท่ากับร้อยละ 38.5 และประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้มีค่าประมาณร้อยละ 48



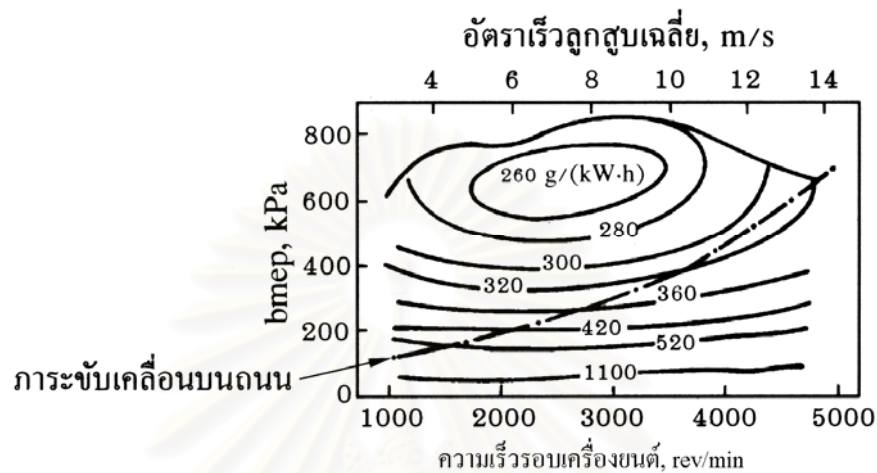
รูปที่ 2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง แบบ M [1]

รูปที่ 2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง มีการไหลวนสูง ที่ใช้ระบบการเผาไหม้ แบบ M ซึ่งเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในแนวสัมผัสกับผนังของหลุมในลูกสูบไปในอากาศที่ไหลวน เนื่องจากความเร็วสูงกว่าและการไหลวนสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงในรูปที่ 2-3 ค่า bmep สูงสุดของเครื่องในรูปที่ 2-4 จึงมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย และค่า bsfc ที่ดีที่สุดมีค่าสูงกว่าประมาณร้อยละ 10 เนื่องจาก fmp (Friction mean effective pressure) มีค่าสูงกว่า แต่ส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียความร้อน ที่สูงกว่า เป็นผลมาจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่ไม่ดีของเครื่องยนต์ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบเล็กกว่า และการไหลวนสูง รวมถึงอัตราการปล่อยความร้อนที่ต่ำของระบบ M

รูปที่ 2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม แบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติ ค่า bmep สูงสุดตามปกติจะสูงกว่าของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่มีขนาดเทียบเท่ากัน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดการไหลวนในช่วงกระบวนการดูด การกีดขวางโดยช่องไอดีและวาล์วไอดีน้อยกว่า และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงกว่า และเนื่องจากเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม สามารถทำงานที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าโดยค่าควันท่ำน้อยกว่า ค่า bsfc ที่ดีที่สุดตามปกติจะสูง



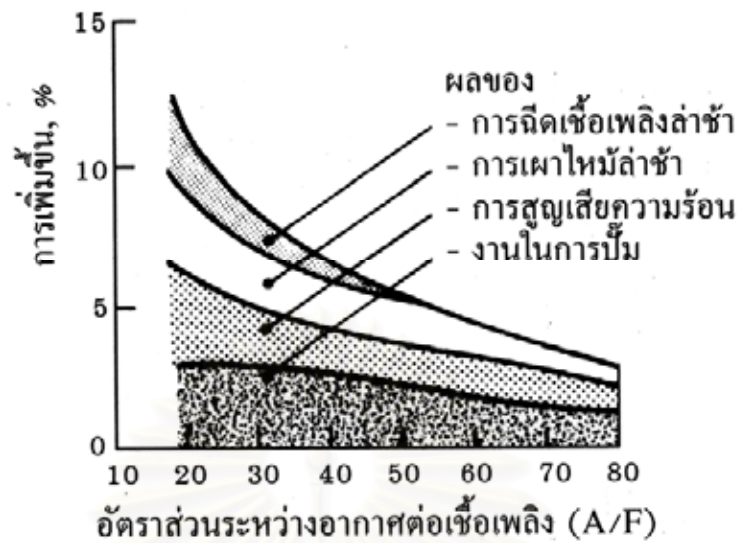
กว่าค่าทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่เทียบเท่ากันประมาณ ร้อยละ 15 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ที่ดีที่สุดของเครื่องยนต์ ตามรูปที่ 2-5 จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 32.5



รูปที่ 2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน [1]

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมที่นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติที่มีการออกแบบและขนาดใกล้เคียงกันแล้วจะเห็นว่าเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง จะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าเสมอ ซึ่งประสิทธิภาพที่สูงกว่านี้จะแปรผันกับภาระ โดยที่ภาระเต็มที ความแตกต่างของค่า bsfc ของเครื่องยนต์ทั้งสองแบบจะสูงถึงร้อยละ 20 และที่ภาระบางส่วนค่าความแตกต่างจะน้อยลง เหลือประมาณร้อยละ 10 รูปที่ 2-6 แสดงปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม ซึ่งจะพบว่าที่ภาระเต็มที (อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เท่ากับ 18 ถึง 20) เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะมีประสิทธิภาพบ่งชี้ต่ำกว่าประมาณร้อยละ 15 ถึง 17 ซึ่งเป็นผลมาจากการฉีดเชื้อเพลิงที่ล่าช้า การเผาไหม้ที่ยาวนานและล่าช้า การสูญเสียความร้อน ที่ภาระบางส่วน เมื่อค่า bmep มีค่าประมาณ 300 kPa (อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 50) เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะมีประสิทธิภาพบ่งชี้ต่ำกว่าประมาณร้อยละ 5 ถึง 7 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการสูญเสียความร้อนที่สูงกว่าเนื่องจากพื้นผิวที่ใหญ่กว่า และความเร็วในการไหลผ่านช่องต่อระหว่างห้องเผาไหม้หลักกับห้องเผาไหม้ล่วงหน้าที่สูงกว่า รวมทั้งเป็นผลมาจากการสูญเสียความดันในการอัดอากาศระหว่างห้องเผาไหม้หลักและห้องเผาไหม้ล่วงหน้า





รูปที่ 2-6 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวนซึ่งเป็นฟังก์ชันของ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรือภาวะ [1]

แผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลทุกแบบโดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้ายกัน และเมื่อเขียนแทนด้วยความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ ก็จะมีค่าสมมูลกัน การเพิ่มขึ้นของ bsfc จากค่าต่ำสุดเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นที่ภาวะคงตัวจะเป็นผลมาจากการเพิ่มของ friction mean effective pressure แต่ส่วนหนึ่งจะถูกชดเชยโดยผลจากการลดความสำคัญของการสูญเสียความร้อนต่อวัฏจักรลง การเพิ่มขึ้นของ bsfc กับภาวะที่ลดลงที่ความเร็วคงตัวจะเป็นผลมาจากการลดลงของประสิทธิภาพเชิงกลเมื่อ bmep ลดลงเป็นหลัก แต่ส่วนหนึ่งจะถูกชดเชยด้วยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้ที่เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศลดลง

การเพิ่มของ bsfc จากค่าต่ำสุดจะไม่มากนักเมื่อภาวะเพิ่มขึ้นที่ความเร็วคงตัวและเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นที่ภาวะคงตัวโดยจะเป็นผลสุทธิของ

1. การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเชิงกลและการลดลงของประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้เมื่อภาวะมากขึ้น

2. การลดลงของประสิทธิภาพบ่งชี้เนื่องจากการทวีความสำคัญของการสูญเสียความร้อนและการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงกลเนื่องจากความเร็วลดลง

## 2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และผลกระทบต่อสมรรถนะและการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซล ประกอบด้วย

### 2.2.1 เลขซีเทน(Cetane Number)

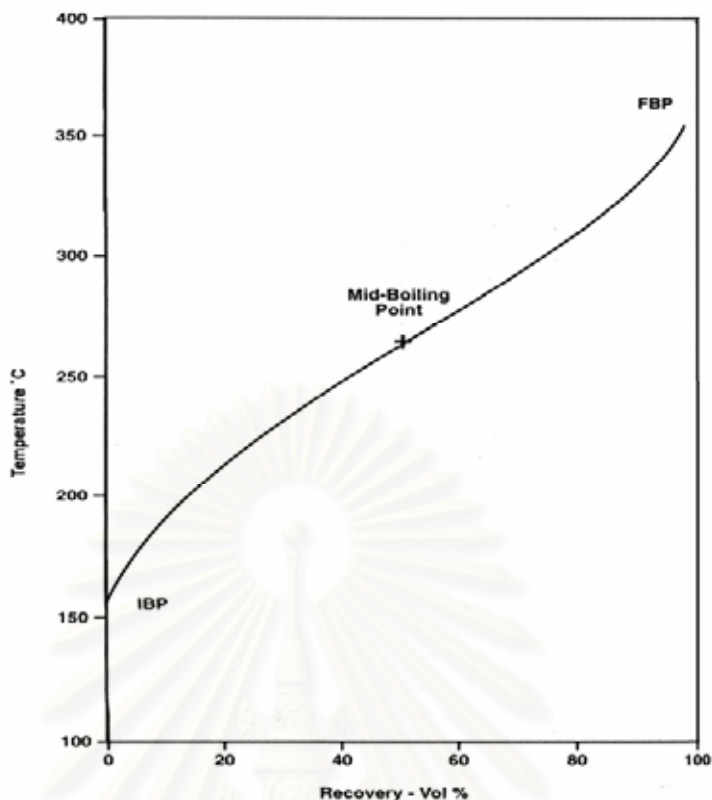
การวัดคุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือเลขซีเทน การกำหนดค่าของเลขซีเทนถูกนิยามโดยการผสมกันของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์อ้างอิง 2 ชนิด ซึ่งได้แก่ cetane(n-hexadecane) ที่มีคุณสมบัติการจุดระเบิดสูงให้มีเลขซีเทนเป็น 100 และ isocetane หรือ heptamethyl nonane เป็น paraffin 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 คุณสมบัติการสตาร์ทเครื่อง, มลภาวะ, ความดันในห้องเผาไหม้สูงสุด และเสียงของเครื่องยนต์ เป็นต้น ผลดีของการที่เชื้อเพลิงมีเลขซีเทนสูงได้แก่ เครื่องยนต์มีสมรรถนะสูง, เพิ่มคุณสมบัติการสตาร์ทเครื่องในขณะเย็น, 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 เส้นโค้งการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปแสดงในรูปที่ 2-7



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

Volatility (การกลั่น หรือช่วงการเดือดของเชื้อเพลิง) มีผลต่อคุณสมบัติอื่นๆ รวมถึง ความหนาแน่น, จุดวาบไฟ, อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเอง, ความหนืด และเลขซีเทน volatility ที่สูงจะทำให้เกิด vapor lock และจุดวาบไฟที่ต่ำลง vapor lock จะทำให้เครื่องยนต์ misfire หรือเกิดความล้มเหลวในการติดเครื่องยนต์ใหม่หลังจากดับเครื่องยนต์ลงในช่วงเวลาสั้นในสภาวะร้อน แต่อย่างไรก็ตาม volatility ที่สูงก็ยิ่งทำให้เชื้อเพลิงระเหยได้อย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ แต่ผลที่ตามมาคือส่วนที่มีจุดเดือดสูงอาจเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการสะสมรวมตัวในเครื่องยนต์และเพิ่มระดับควัน แต่อย่างไรก็ตาม ภายในช่วง 350 °C ถึง 400 °C ผลของ volatility ที่ต่ำต่อไอเสียจะมีค่าน้อย อุณหภูมิที่กลั่นตัวไปแล้ว 50% (mid-volatility) ของเชื้อเพลิงดีเซลมีผลอย่างชัดเจนต่อแนวโน้มของควันโดยผ่านทางผลต่อการฉีดและการผสมของเชื้อเพลิง และใช้สำหรับการคำนวณ cetane index ตามมาตรฐาน ASTM D976

ส่วนที่ volatility สูงซึ่งอยู่ที่จุดต่ำสุดในเส้นโค้งในรูปที่ 2-7 ช่วยปรับปรุงการติดเครื่องขณะเย็น และการอุ่นเครื่อง ในขณะที่ส่วนที่ volatility ต่ำที่ปลายด้านสูงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการสะสมรวมตัว, ควัน และการสึกหรอ เนื่องจากเชื้อเพลิงระเหยยาก ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

### 2.2.3 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซลให้ประโยชน์ในการบ่งชี้องค์ประกอบ และคุณลักษณะที่สัมพันธ์กับสมรรถนะ เช่น คุณภาพการจุดระเบิด, กำลัง, การประหยัดเชื้อเพลิง, คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ และแนวโน้มของควัน บางครั้งอาจแสดงความหนาแน่นเป็นความถ่วงจำเพาะ หรือ API gravity ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นต่างๆ โดยประมาณดังต่อไปนี้ [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)

ความหนืดของของไหลบ่งบอกถึงความต้านทานการไหลของของไหลซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงดีเซลเนื่องมาจากการมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของอุปกรณ์ฉีดเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นมุมกรวยสเปรย์ของหัวฉีดจะลดลง, การกระจายเชื้อเพลิง และการพุ่งของสเปรย์ (spray penetration) ก็ลดลงไปด้วย ในขณะที่ขนาดของหยดเชื้อเพลิง (droplet) ใหญ่ขึ้น ดังนั้นความหนืดจะมีผลต่อ injection timing ที่เหมาะสมสำหรับรูปร่างหัวฉีดและความดันการฉีดเชื้อเพลิงหนึ่งๆ นอกจากนี้ความหนืดจะมีอิทธิพลต่อปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดด้วย

เชื้อเพลิงดีเซลมักจะมีการกำหนดคุณสมบัติขอบเขตบนของความหนืดเพื่อให้แน่ใจว่ามีการไหลของเชื้อเพลิงที่เพียงพอสำหรับการติดเครื่องยนต์เย็นและยังมีการกำหนดความหนืดต่ำสุดเพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังที่อุณหภูมิสูงด้วย เนื่องจากหากว่าเชื้อเพลิงมีค่าความหนืดต่ำมากเกินไปจะทำให้การพุ่งของสเปรย์ยาวเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการเปียกที่ผนังห้องเผาไหม้ทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ได้

### 2.2.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity)

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

### 2.2.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล

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

### 2.2.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเชื้อเพลิงคือ ความมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลาและระหว่างการผลิต การใช้งานในเครื่องยนต์ รวมทั้งการก่อดังของตะกอนระหว่างการเก็บเชื้อเพลิงดีเซลในระยะยาว ไนโตรเจน และสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบมักจะเกี่ยวข้องอย่างมากในกระบวนการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิง เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นตะกอนเชื้อเพลิง กลไกการเผาไหม้ของไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นในหลายขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการเริ่มเกิดโซ่ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระ เมื่ออนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนก่อดังขึ้น ซึ่งจะสามารถรวมตัวกับออกซิเจนเพื่อก่อให้เกิดอนุมูล peroxide ซึ่งในทางกลับกันสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนอื่นโดยการกำเนิดอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนอื่น และ hydroperoxide ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้จึงไม่สูญสลายไปได้ด้วยตัวเอง อนุมูลอิสระยังสามารถเป็นเหตุให้เกิด polymerization และ ปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อก่อให้เกิดวัสดุที่น้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งสามารถสะสมรวมตัวในระบบเชื้อเพลิงขั้นตอนสุดท้ายคือ chain termination เมื่อ antioxidant หายไป เป็นปฏิกิริยาซึ่งนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ไร้อนุมูลอิสระ

ความสามารถของเชื้อเพลิงในการรักษาเสถียรภาพในถังเก็บขึ้นอยู่กับตัวแปรซึ่งควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเอง อาทิ oxidation ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเองที่ซับซ้อนปรากฏออกมาโดยทั่วไปมี 2 ชนิด ได้แก่ soluble gum ซึ่งเป็นพวก nonvolatile และ insoluble gum ซึ่งมักถูกเรียกว่าเป็นตะกอน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่อันตรายที่สุดของการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงในถังเก็บ การเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพในระบบเชื้อเพลิงถูกสังเกตเห็นได้จากการอุดตันที่ไส้กรอง และการสะสมรวมตัวของสารเหนียวๆ (gum) ในระบบจุดระเบิดและหัวฉีด สาเหตุหลักของปัญหาการทำงานเหล่านี้ อาจเป็นเพราะความจริงที่ว่าเชื้อเพลิงดีเซลทำหน้าที่เป็นตัวหล่อเย็นหัวฉีด ซึ่งเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิสูง ในส่วนของถังเชื้อเพลิงเมื่อเชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงและให้ความร้อนอีกครั้ง การเกิดวัฏจักรการให้ความร้อนและการทำให้เย็นต่อเนื่องกันอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน



### 2.2.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content)

วิธีหนึ่งในการลดระดับไอเสียทั้งหมดของ particulate matter (TPM) จากเครื่องยนต์ดีเซลคือ การใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่มีกำมะถันต่ำ (<0.05% โดยน้ำหนัก) ระหว่างกระบวนการเผาไหม้ กำมะถันส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็น sulphur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) ซึ่งส่วนมากถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพิ่มเติม นำไปสู่มลภาวะทางอากาศ  $\text{SO}_2$  ที่เหลือจะถูกเผาไหม้ในไอเสียดีเซลที่มีออกซิเจนหนา และเกิดเป็น sulphur trioxide ( $\text{SO}_3$ ) อุณหภูมิไอเสียดีเซลที่สูงจะรักษา  $\text{SO}_3$  ไว้ในสถานะไอ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับน้ำ โดยปฏิกิริยาคายความร้อนนำไปสู่การก่อตัวของละอองกรดกำมะถันในอากาศ ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำโดยพันธะทางเคมีจะถูกปล่อยออกมาเป็น particulate matter

ประโยชน์อื่นของการลดระดับกำมะถันในเชื้อเพลิงดีเซลคือ การลดการกัดกร่อน เป็นที่รู้กันว่าระดับกำมะถันที่สูงในเชื้อเพลิงทำให้เกิดการกัดกร่อนที่แหวนลูกสูบและ liners ของกระบอกสูบ การที่กำมะถันทำให้เกิดการกัดกร่อน ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับกำมะถันของเชื้อเพลิงและสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง

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

### 2.2.9 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content)

ส่วนประกอบ aromatic ในเชื้อเพลิงดีเซลเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะว่าทำให้เกิดการปล่อย particulate emission แต่อย่างไรก็ตาม aromatics มีส่วนช่วยในการหล่อลื่นของเชื้อเพลิง ดังนั้นการกำจัดสารเหล่านี้จะทำให้เกิดอัตราการสึกหรอของปั๊มหัวฉีดสูงอย่างผิดปกติ

### 2.2.10 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content)

เราไม่สามารถที่จะกำจัดน้ำออกจากเชื้อเพลิงดีเซลได้หมด เนื่องจากขั้นตอนแรกที่มีน้ำเข้ามาคือระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากนั้นยังมีความเสี่ยงของการมีน้ำปะปนมาระหว่างการขนส่งและการเก็บในถัง การเกิดขึ้นของน้ำในถังเก็บอาจทำให้เกิดการเติบโตของราและแบคทีเรีย การปนเปื้อนจุลินทรีย์ทำให้เกิดปัญหาสำคัญกับเครื่องยนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบเชื้อเพลิง เช่น เกิดการอุดตันที่ไส้กรอง

ตะกอนที่พบในเชื้อเพลิงดีเซลส่วนใหญ่เป็นอนินทรีย์โดยกำเนิด เช่น สนิม, อนุภาคโลหะ และฝุ่นละออง บางส่วนสามารถเป็นสารอินทรีย์จากการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบเชื้อเพลิงที่ไม่เสถียร, การกระทำของแบคทีเรียที่รอยต่อของน้ำมัน-น้ำ หรือ ไชจากเชื้อเพลิง



ตะกอนสามารถนำไปสู่การอุดตันได้กรองในยานพาหนะ และน้ำยังช่วยเพิ่มสภาวะกรดทำให้เกิดปัญหาเนื่องมาจากการกัดกร่อนและความสึกหรอในเครื่องยนต์และระบบฉีดเชื้อเพลิง การทดสอบมาตรฐานสำหรับปริมาณน้ำและตะกอนทำได้โดยวิธีการเหวี่ยง

### 2.2.11 จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟคือการวัดอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดซึ่งเชื้อเพลิงจะเกิดการลุกไหม้ได้จากแหล่งกำเนิดประกายไฟภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐาน จุดวาบไฟนี้จะมีผลต่อเชื้อเพลิงในการพิจารณาด้านการขนส่ง, รูปแบบการจัดเก็บ และการระมัดระวังแลรักษา

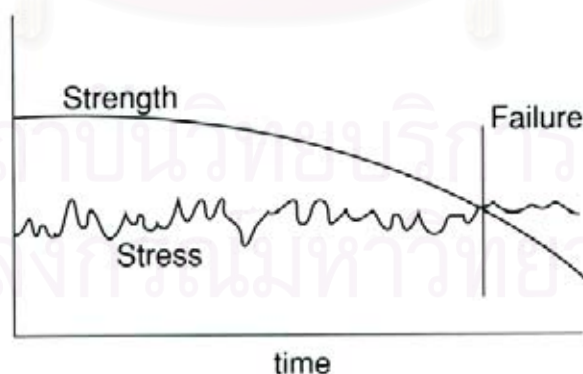
## 2.3 การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร [3]

เมื่อมีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน ในชิ้นส่วนหนึ่งสัมผัสกับอีกชิ้นส่วนหนึ่งจะเกิดความเสียหายขึ้นไม่ว่าจะเป็นความเสียหายจากการลื่นไถลหรือความเสียหายแบบกิ้งกักตัว แม้จะมีการลดความเสียหายเหล่านี้ด้วยการใช้สารหล่อลื่น ซึ่งจะส่งผลให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำลงและลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากความเสียหาย แต่สุดท้ายตามกฎเกณฑ์ของธรรมชาติ สิ่งของต่างๆ ยังคงเกิดการสึกหรอและเสื่อมสภาพ เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะของการเสื่อมสภาพและหาสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพเพื่อทำการแก้ไข จึงต้องศึกษาทราบถึงประเภทของการเสื่อมสภาพและกลไกของการสึกหรอโดยสังเขปดังนี้

### 2.3.1 ประเภทของการเสื่อมสภาพ

ประเภทของการเสื่อมสภาพอาจแบ่งได้ตามลักษณะของการชำรุด ดังนี้

#### 2.3.1.1 การเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent degradation)



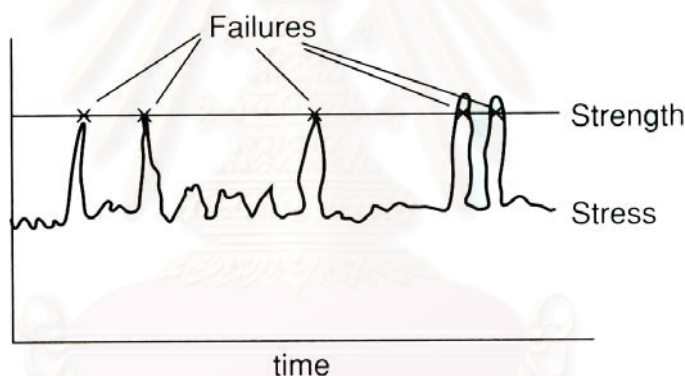
รูปที่ 2-8 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพตามเวลา

ลักษณะของกราฟในรูปที่ 2-8 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเสื่อมสภาพ (การสึกหรอของวัสดุ) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ตามระยะเวลาการใช้งาน ซึ่งมีผลทำให้มิติ หรือขนาดของชิ้นส่วนเปลี่ยนแปลงไปมีผลทำให้ความแข็งแรง (Strength) ของชิ้นส่วนดังกล่าวมีค่าลดลงไปตามเวลาใช้งาน

และสุดท้ายเมื่อค่าความแข็งแรงมีค่าลดลงจนใกล้ หรือต่ำกว่าค่าภาระใช้งาน ก็จะเป็นจุดที่เส้นกราฟ 2 เส้นนี้มาบรรจบกัน ซึ่งเป็นจุดที่ชิ้นส่วนจะชำรุด หรือแตกหักเสียหาย

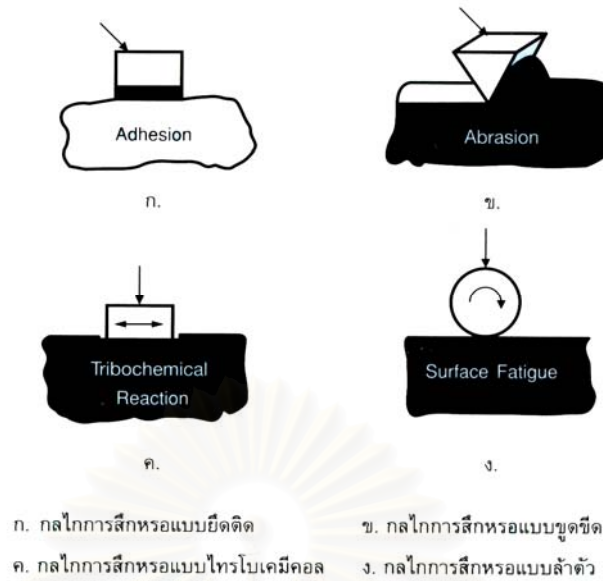
### 2.3.1.2 การเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent degradation)

ในการเสื่อมสภาพจนชำรุดในลักษณะนี้เป็นการชำรุดโดยไม่เกี่ยวข้องกับช่วงระยะเวลาใช้งานอาจจะเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ก็มีผลทำให้เกิดการชำรุดได้ (การชำรุดแบบ “แบบทันทีทันใด”) ซึ่งกรณีนี้ตรงกันข้ามกับกรณีแรก (กรณีแรกเป็นแบบการชำรุด “แบบค่อยเป็นค่อยไป”) หากดูจากกราฟในรูปที่ 2-9 จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความแข็งแรงวัสดุต่อภาระใช้งานซึ่งเรียกว่า “ปัจจัยความปลอดภัย” (Safety Factor : SF) โดยทั่วไปวิศวกรออกแบบมักกำหนดให้มีค่ามากกว่า 1 หากแต่ถ้าเมื่อใดที่มีการใช้เครื่องจักรผิดวิธี หรือการเกิดภาระกระทันหันหรือช็อก (Shock or Impact load) ที่อาจเกิดจากอุบัติเหตุหรือใช้เครื่องจักรผิดวิธี ก็จะทำให้ภาระที่กระทำต่อชิ้นส่วนดังกล่าวพุ่งขึ้นสูงมากจนไปบรรจบกับค่าความแข็งแรงของวัสดุ จนทำให้วัสดุทนภาระดังกล่าวไม่ได้ และเกิดการชำรุดหรือแตกหัก ในที่สุด



รูปที่ 2-9 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา

จากทั้งสองหัวข้อ คือ การชำรุดหรือการเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent) มักจะเกี่ยวข้องกับการสึกหรอ (Wear) ส่วนการชำรุดแบบไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent) จะเกี่ยวข้องกับการแตกหัก ในการป้องกันการสึกหรอจำเป็นที่วิศวกรบำรุงรักษาต้องเข้าใจเสียก่อนว่า การสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรมีรูปแบบหรือกลไกการสึกหรอ (Wear mechanisms) อย่างไรบ้าง แล้วจึงสามารถหาแนวทางดำเนินการในการป้องกันการเสื่อมสภาพได้ ตามมาตรฐานด้านอุตสาหกรรมของประเทศเยอรมันหมายเลข 50320 (DIN 50320) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าแบ่งกลไกการสึกหรอไว้อย่างเหมาะสม 4 รูปแบบดังรูปที่ 2-10



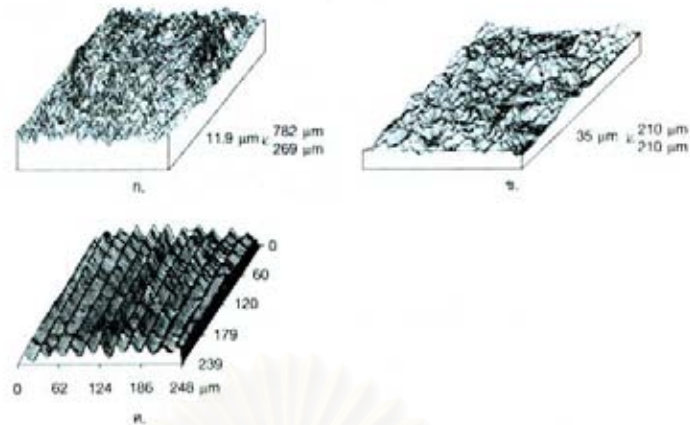
รูปที่ 2-10 แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ

### 2.3.2 การจำแนกกลไกการสึกหรอ

ก่อนที่จะกล่าวถึงกลไกการสึกหรอ (Wear mechanisms) จะอธิบายโดยสังเขปว่า เพราะเหตุใดจึงเกิดการสึกหรอขึ้น ทั้ง ๆ ที่มีบางคนแย้งว่าเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรไม่ควรเกิดการสึกหรอเพราะไม่ได้ใช้งานให้ภาระหรือความเค้น (Stress) ที่มากเกินไปกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) ซึ่งก็คือ วิศวกรออกแบบไว้ให้มีค่าปัจจัยความปลอดภัย (ความแข็งแรง/ความเค้น > 1) แต่สุดท้ายชิ้นส่วนก็ยังสึกหรอและแตกหักตามระยะเวลา เหตุผลที่สามารถอธิบายได้คือ การที่วิศวกรออกแบบคำนวณค่าความเค้น (Stress) ไว้คือ

$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{แรงที่กระทำ}}{\text{พื้นที่รับแรงกระทำ}}$$

โดยที่พื้นที่รับแรงกระทำที่ใช้จะเป็นการใช้ค่าพื้นที่รับแรงกระทำที่เรามองเห็นหรือวัดได้ (Appearance area of contact) แต่ที่จริงแล้วพื้นที่รับแรงดังกล่าวอยู่บนสมมุติฐานว่า พื้นผิวชิ้นงานมีความเรียบ และรับภาระเต็มหน้าสัมผัส หากทว่าในระดับจุลภาคแล้วมนุษย์ยังไม่สามารถทำให้เกิดความเรียบของผิวดังกล่าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-11



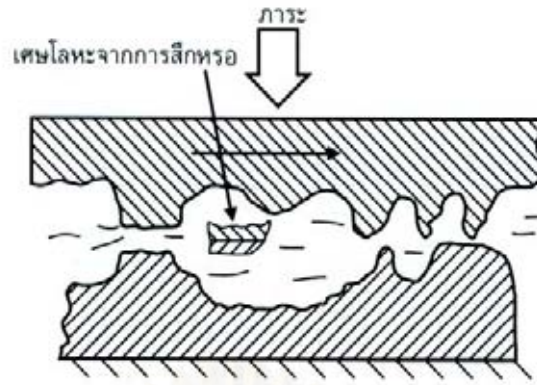
รูปที่ 2-11 แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค

จะเห็นได้ว่าเมื่อหาค่าความเค้นในระดับจุลภาคแล้ว จะทำให้ค่าความเค้นจริงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมากเกินค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Yield strength) โดยที่ยอดแหลม ๆ ที่เห็นจากภาพขยายของผิวงานถูกเรียกกันว่า “Asperities” เมื่อมีการสัมผัสกันของชิ้นงานจุดที่จะรับภาระจริงในระดับจุลภาค คือ Asperities ซึ่งมีพื้นที่เล็ก ๆ และเมื่อค่าภาระสูงเกิดค่าความแข็งแรง Asperities เหล่านี้จะเสียรูป/ยุบตัวโดยถาวรในขณะที่ชิ้นส่วนเหล่านี้หยุดนิ่ง เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนที่ Asperities ที่เสียรูปโดยถาวรดังกล่าวจะถูกฉีกตัวออกไป และกลายเป็นเศษโลหะจากการสึกหรอที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นนั่นเอง ดังนั้นไม่ว่าจะใช้ภาระต่ำหรือสูง ก็จะทำให้เกิดการสึกหรอเสมอ โดยทั่วไปเราสามารถจำแนกกลไกการสึกหรอได้เป็น 4กลไก คือ

### 2.3.2.1 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear)

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

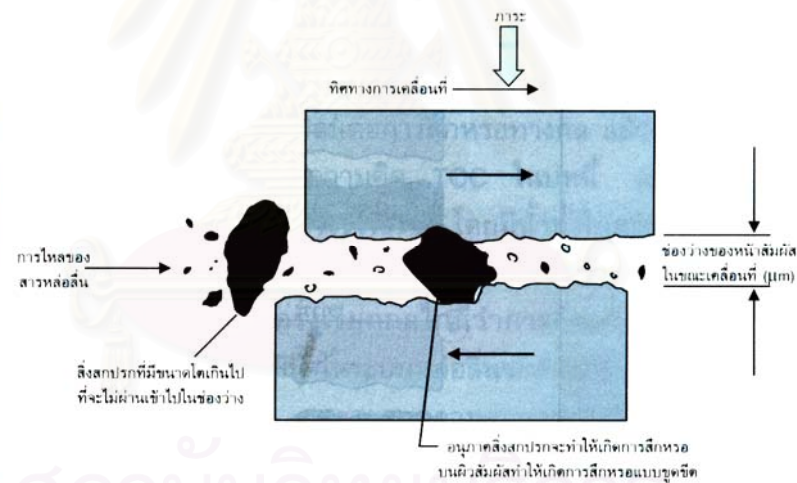
โดยที่สาเหตุที่เร่งให้เกิดการสึกหรอแบบยึดติด คือ สารหล่อลื่นมีความหนืดน้อยเกินไป ภาระมีค่าสูงมากเกินไปจนสารหล่อลื่นรับไม่ได้หรือใช้ความเร็วต่ำเกินไป



รูปที่ 2-12 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด

### 2.3.2.2 การสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive wear)

เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการที่เนื้อวัสดุ ถูกเฉือนออกไปจากการถูกขูดขีดโดยสสารที่มีความแข็งสูงมาก เช่น ฝุ่นละออง เม็ดทราย หรือกากเพชร เป็นต้น ลักษณะของการสึกหรอประเภทนี้ดังรูปที่ 2-13 การเร่งให้เกิดการสึกหรอประเภทนี้ คือ การใช้สสารหล่อลื่นที่สกปรก การชุบแข็งคู่มือสัมผัสที่มีความแข็ง (Hardness) แตกต่างกันอย่างเกินไป



รูปที่ 2-13 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบขูดขีด

### 2.3.2.3 การสึกหรอจากการล้าตัวของวัสดุ (Fatigue wear)

เป็นการล้าตัวและเกิดรอยแตกหรือหลุมบนผิวหน้าวัสดุบริเวณที่มีการล้าตัว ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าชิ้นงานมีการรับภาระเป็นวงรอบ (Stress cycles) การล้าตัวของวัสดุจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก หากชิ้นงานรับภาระเพียงการกด (Compressive stress) หรือการดึง (Tensile stress) เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งแต่จะมีโอกาสเกิดการล้าตัวได้เร็วมาก ๆ หากมีการรับภาระสลับกันไปมาระหว่างการกดกับการดึง หรือการรับภาระแบบเป็นวงรอบ ซึ่งท้ายที่สุดจะส่งผลให้ผิววัสดุหลุดร่อนออกไปและทำให้มีรอยสึกหลงเหลือไว้บนผิวชิ้นงาน ลักษณะการเกิดการล้าตัวอีก

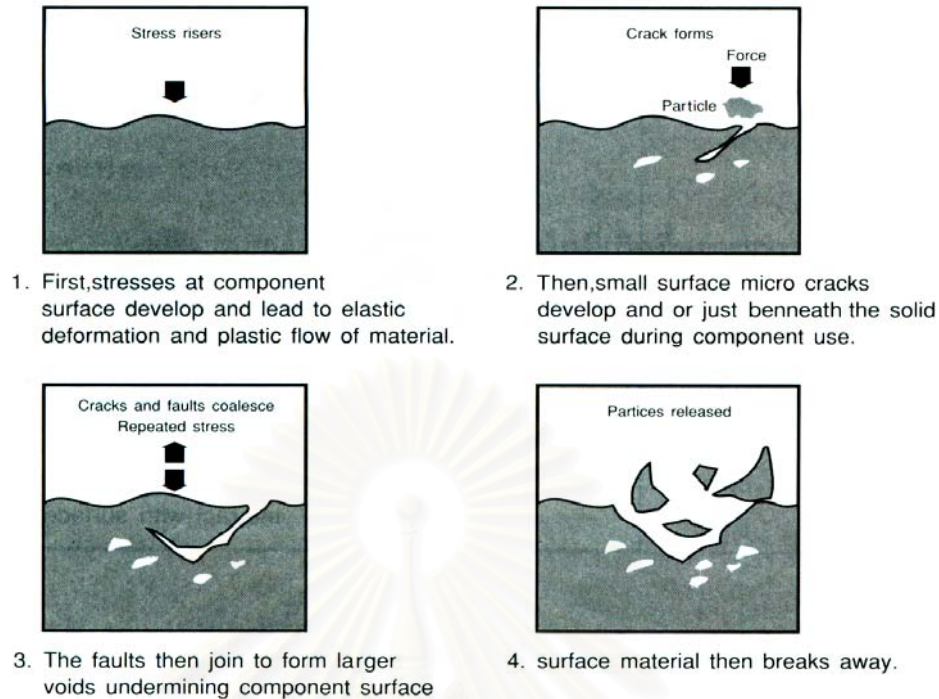


แบบหนึ่งเกิดจากการมีสิ่งสกปรกในสารหล่อลื่นและทำให้เกิดรอยกด (Dents) ขึ้นบนผิวชิ้นงานก่อนและเมื่อใช้งานไปนาน ๆ รอยกดจะค่อย ๆ แพร่กระจายออกไปเป็นรอยแตก (Crack) เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปอยู่ในรอยกดนั้น ๆ ครั้งแล้วครั้งเล่า และเกิดเป็นหลุมในที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2-14

#### 2.3.2.4 การสึกหรอแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี (Tribochemical reaction)

บางครั้งถูกเรียกว่าการสึกหรอแบบไป ๆ กลับ ๆ หรือเฟล็ตติ้ง (Fretting wear) จากชื่อ Tribochemical reaction มีความหมายเบื้องต้น คือ การที่ชิ้นงานต้องมีการขัดสี (Tribo) และเกิดผลพวงจากปฏิกิริยาเคมี (Reaction) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ปฏิกิริยาออกซิเดชัน” สามารถอธิบายโดยง่าย ๆ จากการเกิดไทรโบเคมีคอลรีแอคชั่นที่ข้อต่อโซ่ จะมีผลทำให้บริเวณข้อต่อโซ่ดังกล่าวมีการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive) เมื่อมีการใช้งาน จะทำให้บริเวณข้อต่อโซ่มีการขัดสีกัน (Tribo) ก่อให้เกิดเศษเหล็กตรงจุดนั้น ผนวกเข้ากับเกิดความร้อนจากการขัดสี ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) โดยที่ผงเหล็กที่เกิดขึ้นก็เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเช่นกัน เพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว (Surface area) ให้ออกซิเจนในอากาศ สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น เมื่อมีองค์ประกอบหลักคือ เศษเหล็กหลักคือ เศษเหล็ก ความร้อน ความชื้น (หรือไอน้ำในอากาศ) กับออกซิเจนก็จะทำให้ปฏิกิริยาเคมีที่เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นสนิมเหล็ก (Rusty wear powder) และสนิมเหล็กจะมีคุณสมบัติคล้าย ๆ กับฝุ่นละออง คือ มีความแข็งแต่เปราะและจะทำให้เกิดการขูดขีด (abrasive) ตรงบริเวณข้อต่อโซ่ตามมาจนทำให้ข้อต่อโซ่ลดขนาดลงและทนภาระไม่ได้ในที่สุดก็จะขาดชำรุดไป นอกจากข้อต่อโซ่แล้ว อาจเกิดกลไกการสึกหรอชนิดนี้ได้กับเพลลา เฟืองแบบเลื่อนได้ (Spline) แหนบรถยนต์ และผิวนอกของแบริ่งที่สัมผัสกับตัวเรือน เป็นต้น





รูปที่ 2-14 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว

## 2.4 สารหล่อลื่น [3]

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

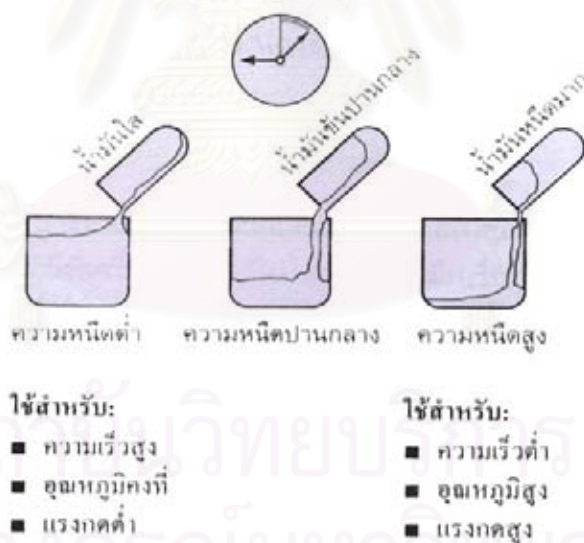
หน้าที่ที่สำคัญของสารหล่อลื่นยังรวมไปถึง ก.) ทำหน้าที่เสมือนสารหล่อเย็นที่นำพาความร้อนออกไป (Carries Away Heat) จากชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ ข.) ทำหน้าที่เสมือนซีล (Sealing) ป้องกันสิ่งสกปรกเข้าไปสู่ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เช่น ในกรณีของจาร์บี ค.) ป้องกันการกัดกร่อนและสนิม (Preventing Corrosion and Rust) ของผิวชิ้นงานที่เป็นเหล็ก ง.) ในบางกรณีก็จะทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังเช่นน้ำมันไฮดรอลิกและเนื่องจากว่าสารหล่อลื่นที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น และสำคัญ สิ่งที่สำคัญสูงสุดนั้นคือว่าสารหล่อลื่นต้องถูกออกแบบให้ใช้งานในช่วงการทำงานของเครื่องจักรโดยที่มีการเสียดหรือสึกหรอ และการสูญเสียคุณสมบัติของสารหล่อลื่นให้น้อยที่สุด

## 2.4.1 คุณสมบัติที่สำคัญๆ ของสารหล่อลื่น

คุณสมบัติที่สำคัญของสารหล่อลื่นประกอบด้วย ค่าความหนืด จุดไหลเท การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน แต่คุณสมบัติที่จะนำมากล่าวถึงในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย คุณสมบัติทางความหนืด และ คุณสมบัติในการต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน

### 2.4.1.1 ความหนืด (Viscosity)

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



รูปที่ 2-15 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน

น้ำมันหล่อลื่นที่หนืดมาก ๆ จะถูกใช้กับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ช้า ๆ ภายใต้ภาระสูงๆ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นจะทนทานต่อการถูกบีบดันออกไปจากผิวสัมผัส ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดน้อยๆ จะถูกนำมาใช้กับชิ้นงานที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ๆ ที่ค่าภาระต่ำ (รูปที่ 2-15)

### 2.4.1.2 การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation resistance)

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

สารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในชั้นหรือระดับเดียวกันจะมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปเป็นอย่างมาก ในแต่ละกลุ่มอาจจะมีสภาวะเป็นของแข็ง - ของเหลว และก๊าซได้ สภาวะที่เป็นของเหลว ซึ่งเป็นส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดและมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปมากในสภาวะต่างๆ อาจจะมีผลต่อสมรรถนะในการหล่อลื่น โดยที่ไม่ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบน้ำมันหล่อลื่นที่จะถูกใช้งานในอนาคต ความร้อน และออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เกิดองค์ประกอบที่ไม่ดีต่อน้ำมันหล่อลื่น กระบวนการดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสารประกอบที่เกิดขึ้นก็เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ออกซิเดชันจะเกิดขึ้นช้าๆ อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น อย่างไรก็ตาม หากเกิดการปั่นกววนจนเกิดฟอง การฉีดพ่น และการที่เกิดมีค่าอุณหภูมิสูงๆ โดยเฉพาะจุดที่มีความร้อนสูงเพียงจุดเล็ก ๆ จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันยิ่งเกิดเร็วขึ้น ทำให้เกิดสารประกอบที่เป็นกรดและทำให้เกิดตะกอนและคราบเหนียว

โดยความเป็นจริงแล้วทุก ๆ  $10^{\circ}\text{C}$  ( $18^{\circ}\text{F}$ ) ที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่เกินกว่า  $70^{\circ}\text{C}$  อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า การที่จะลดปฏิกิริยาออกซิเดชันลงนั้น ต้องพยายามควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง  $60$  ถึง  $70^{\circ}\text{F}$  ( $140$  ถึง  $150^{\circ}\text{F}$ ) ดังนั้นจึงเป็นข้อแนะนำให้ใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความสามารถในการต่อต้านออกซิเดชันกับเครื่องยนต์เทอร์โบไบนและระบบการไหลเวียนน้ำมันหล่อลื่นขนาดใหญ่ๆ ทั้งนี้เพราะว่าน้ำมันหล่อลื่นจะสามารถทนได้กับระดับอุณหภูมิสูงๆ ภายในช่วงเวลายาวนานกว่าการใช้ น้ำมันแบบธรรมดา น้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวมักมีราคาแพง ทั้งนี้เนื่องจากว่าต้องถูกกลั่นด้วยกรรมวิธีพิเศษและมีการเติมด้วยสารปรุงแต่งที่รู้จักกันในชื่อ Oxidation Inhibitor เพื่อเพิ่มความสามารถในการต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน น้ำมันหล่อลื่นที่มีความสามารถในการต่อต้านออกซิเดชันต่ำนั้น ควรถูกเลือกใช้กับการหล่อลื่นในช่วงสั้นๆ เช่น กรณีการหล่อลื่นแบบใช้แล้วทิ้งไป หรือเมื่อมีการเติมน้ำมันหล่อลื่นลงไปบ่อยๆ ปกติแล้ว Additive Packages นี้มักรวมอยู่ในน้ำมันที่มี R & O Inhibitor อยู่แล้ว

## 2.5 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

สารหล่อลื่นที่ใช้ในเครื่องยนต์หรือในที่นี่จะเรียกว่า น้ำมันหล่อลื่น จากการวิเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วและน้ำมันหล่อลื่นที่อยู่ระหว่างการใช้งาน จะทำให้ทราบว่า น้ำมันหล่อลื่นยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้หรือไม่ และจะทำให้ทราบถึงช่วงเวลาในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ ผลการวิจัยจะบ่งถึงสภาวะที่น่าจะทำให้เกิดอันตรายแก่เครื่องยนต์ รวมทั้งระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนถ่าย และทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาของความเสียหายที่เกิดขึ้นและทำให้แก้ปัญหาและป้องกันได้อย่างถูกต้อง

### 2.5.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์ [4]

แบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

#### 1. ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์

การสุ่มตัวอย่างจะต้องกระทำขณะเครื่องยนต์ทำงาน และมีอุณหภูมิถึงระดับอุณหภูมิ การใช้งานของเครื่องยนต์ เพื่อให้ น้ำมันหล่อลื่นมีการชะโลมเข้ากับส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องยนต์และไหลเวียนไปทั่วระบบหล่อลื่น ส่วนขวดพลาสติกที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่าง น้ำมันหล่อลื่นควรจะใช้ชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันหล่อลื่น แห้งและสะอาด ฝาปิดขวด จะต้องทำด้วยวัสดุที่ไม่หลุดร่อน (Non shedding material) การเก็บน้ำมันหล่อลื่นลงในขวดพลาสติกจะต้องไม่เก็บจนเต็มขวด เนื่องจากจะต้องมีช่องว่างในน้ำมันหล่อลื่นไหลผสมตัวของ น้ำมันหล่อลื่นเองได้

2. วิธีการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้น เช่น สี กลิ่น ความหนืดและปริมาณน้ำที่ปนในน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธีการทดสอบเบื้องต้นในภาคสนาม

#### 3. ขั้นตอนในการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่า

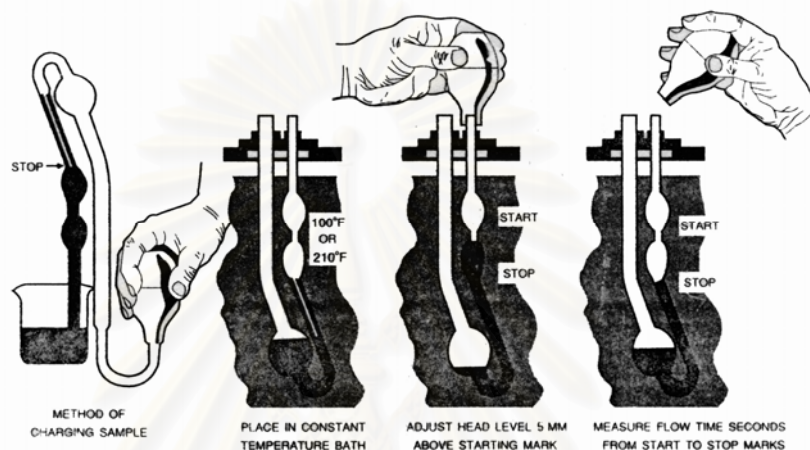
- หาค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น
- หาตัวเลขรวมของความเป็นด่าง (TBN)
- หาค่าปริมาณธาตุกลุ่มที่มาจากกำมะถันและจากสารปรุงแต่งที่อยู่ใน น้ำมันหล่อลื่น โดยวิธีสเปกโตรมิเตอร์
- หากการเกิดออกซิเดชัน และสารปนเปื้อน โดยวิธี FTIR หารูปแบบรูปร่าง และขนาดของเศษเหล็กโดยเทคนิคเฟอร์โรกราฟี

### 2.5.2 การทดสอบหาค่าความหนืด

ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น คือการวัดความต้านทานในการไหลของน้ำมันหล่อลื่น นั้นๆสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์จะมีข้อกำหนดจำเพาะมาตรฐานระหว่างประเทศอยู่หลาย



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



รูปที่ 2-16 แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445)

### กรณีที่ความหนืดเพิ่มขึ้น

สำหรับในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์นั้นเมื่อมีควาบสิ่งสกปรกหรือสารประกอบที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้น หากมีการปะปนเข้ามาด้วยสิ่งสกปรกแขวนลอยที่เป็นของแข็งในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ก็ทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มสูงขึ้น เช่น ของแข็งแขวนลอยที่มีปริมาณเกินกว่า 5% โดยน้ำหนัก ในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลจะทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงมากและทำให้เกิดปัญหาในการสตาร์ท การอุดตันในไส้กรองและส่งผลต่อการขาดสารหล่อลื่นจนทำให้เครื่องยนต์ชำรุดได้

### กรณีที่ความหนืดลดลง

ในกรณีของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์หากมีการเจือจางด้วยน้ำมันเชื้อเพลิง จะทำให้มีการลดค่าความหนืดของน้ำมันลงเป็นอย่างมาก หรือการเกิดการตัดเฉือนตัวของสายโพลีเมอร์ในน้ำมันหล่อลื่นชนิดเกรดรวมในกรณีการใช้งานของเครื่องยนต์หนัก ก็จะมีผลในการที่ทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลงได้เช่นเดียวกัน

### 2.5.3 ค่าตัวเลขรวมความเป็นต่าง (TBN)

ค่าตัวเลขรวมความเป็นต่าง (TBN = Total Base Number) (ASTM D664 D2896, IP177, IP276) ค่า TBN เป็นการวัดค่าความเป็นต่างที่ยังคงมีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเช่น น้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมันเครื่อง ควรต้องถูกตรวจสอบและติดตามอย่างต่อเนื่องสำหรับค่า TBN โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรือเดินทะเลและเครื่องยนต์ เมื่อมีความสงสัยว่าคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซธรรมชาติมีคุณภาพไม่ดี หากใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่มีค่าปริมาณกำมะถันสูงจะทำให้ค่าความเป็นต่างของน้ำมันถูกทำลายลงไปและจะเป็นอันตรายต่อเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันเครื่องยนต์ไม่มีความสามารถในการต่อต้านกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสันดาปภายใน ในกรณีของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ค่ารวมความเป็นต่าง ระหว่างการใช้งานนั้น ค่าของตัวเลขรวมความเป็นต่างจะมีการลดระดับลงแสดงให้เห็นว่าน้ำมันมีความเป็นกรดสูงขึ้นซึ่งจะทำให้สามารถคาดคะเนได้ว่าควรจะมีการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องยนต์เมื่อใด

### 2.5.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์

ในการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์จะสามารถหาธาตุในน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความแม่นยำอยู่ที่ระดับ  $\pm 10\%$  ของค่าที่ระบุเอาไว้ในการทดสอบ ซึ่งจะเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับการทดสอบโดยทั่วไป

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

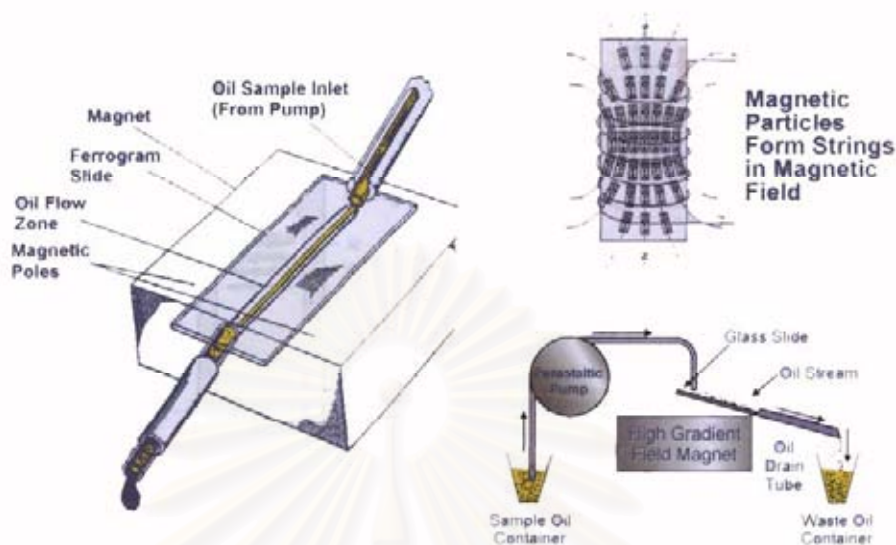
หากพบปริมาณเหล็กในระดับสูงๆ ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของแหวน ลูกสูบและปลอกแหวนและหากมีระดับของค่าเหล็กมีค่าสูงเกินกว่า 600 ppm ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อชิ้นส่วนในระดับการทำงานปกติ หากพบปริมาณอลูมิเนียมในระดับสูงๆ ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของลูกสูบและหากมีค่าของอลูมิเนียมเกินกว่า 75 ppm จะทำให้เกิดอันตรายต่อชิ้นส่วนในระดับการทำงานปกติ หากพบปริมาณทองแดงในระดับสูงๆ ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของแบร็งก์ที่มีส่วนผสมของทองแดงและตะกั่ว และหากมีค่าของทองแดงและตะกั่วที่สูงกว่า 75 ppm ถือได้ว่าการสึกหรออยู่ในระดับค่อนข้างที่จะเป็นอันตรายต่อชิ้นส่วน ส่วนปริมาณของตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ดีเซลควรจะมีค่าต่ำกว่า 25 ppm

### 2.5.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์โรกราฟี (Ferrography)

เทคนิคเฟอร์โรกราฟี เป็นหลักในการวิเคราะห์เศษโลหะ (โดยเฉพาะที่เป็นเหล็กหรือวัสดุที่แม่เหล็กดูดได้) ที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น วิธีการนี้สามารถใช้เพื่อระบุ แยกแยะ และวิเคราะห์



เศษโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยหลักการของการใช้อำนาจสนามแม่เหล็กดูดเศษเหล็กจากลำการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ไหลผ่านสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 2-17



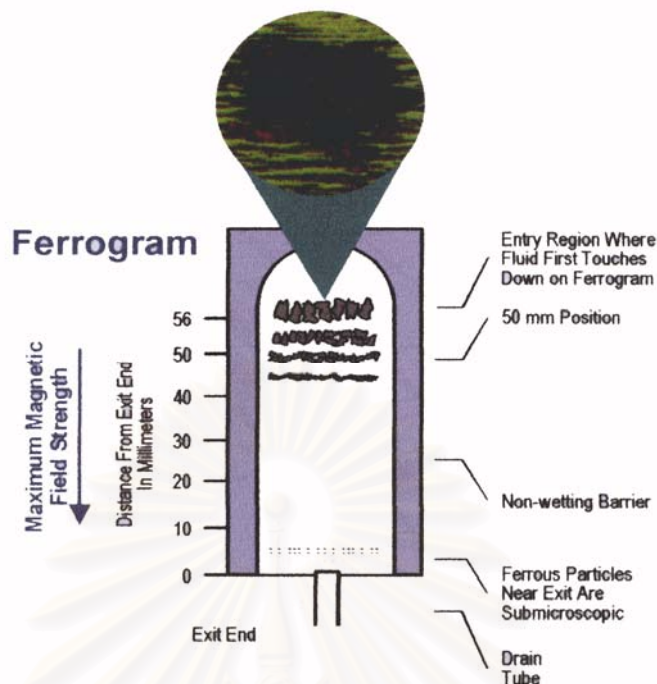
รูปที่ 2-17 แสดงกระบวนการเฟอร์โรกราฟี [5]

โดยเศษเหล็กจะถูกแยกออกด้วยสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะเรียงตัวตามขนาดใหญ่ไปหาเล็ก และมีแนวโน้มการวางตัวตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก ซึ่งเศษโลหะที่มีขนาดใหญ่จะเกาะติดบนแผ่นสไลด์ก่อนและไล่เรียงขนาดจนถึงขนาดเล็กที่สุดตรงปลายของแผ่นสไลด์ดังแสดงในรูปที่ 2-18

การวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไปคือการนำแผ่นสไลด์ มาส่องโดยกล้องจุลทรรศน์เพื่อการศึกษาถึงขนาดและรูปร่างของเศษโลหะ ทำให้ทราบถึงระดับความรุนแรงของการสึกหรอจากขนาดของอนุภาคและกลไกการสึกหรอ เช่น การสึกหรอแบบยึดติด แบบขูดขีด แบบล้าตัว หรือแบบการกัดกร่อน เป็นต้น

เฟอร์โรกราฟีเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ย่างและรวดเร็วในการแยกเอาเศษอนุภาคการสึกหรอออกจากน้ำมันหล่อลื่น อนุภาคการสึกหรอจากกลไกการสึกหรอชนิดต่างๆ จะมีคุณลักษณะหรือรูปร่างเฉพาะตัวจึงสามารถที่จะระบุได้ว่าเป็นกลไกการสึกหรอประเภทใด เช่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-18 แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอร์โรแกรม [5]

กรณีที่อนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการขัดถูหรือการยึดติด (Rubbing and Adhesive wear) จะมีลักษณะรูปร่างเป็นแผ่นๆ ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าเป็นสภาวะปกติของเครื่องยนต์  
กรณีที่อนุภาคการสึกหรอจากการมีกลไกการขูดขีดแบบเป็นร่องหรือการขูดตัด (Abrasive or cutting wear) จะทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่มีรูปร่างเป็นขีดหรือเส้นเหมือนเส้นด้าย ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าเป็นสภาวะของการสึกหรอของเครื่องยนต์

กรณีที่อนุภาคการสึกหรอจากลักษณะของเศษโลหะที่มีรูปร่างเป็นเส้นด้ายเพิ่มขึ้นมาก็แสดงว่าเครื่องยนต์จะมีโอกาสชำรุดใกล้เข้ามาแล้ว

#### 2.5.5.1 การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ (Wear Particle Analysis)

การตรวจสอบอนุภาคจากการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

##### ตรวจสอบขนาดของอนุภาค

อนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นเนื่องจากกลไกการสึกหรอชนิดต่างๆกัน จะมีขนาดที่ต่างกันไป ขนาดที่ต่างกันไปนี้จะนำมาเป็นข้อวินิจฉัยในการประเมินสภาพของเครื่องยนต์ได้

##### ตรวจสอบรูปร่างของอนุภาค

รูปร่างของอนุภาคการสึกหรอจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการบ่งชี้ให้เห็นถึงกลไกการสึกหรอ ซึ่งกลไกการสึกหรอที่ต่างกันไปจะทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่ต่างกันไป

##### ตรวจสอบการกระจายทางสถิติของขนาดของอนุภาคการสึกหรอ

การศึกษาถึงลักษณะของ Particle Size Distribution ซึ่งถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาอนุภาคการสึกหรอ และการกระจายตัวของขนาดของอนุภาคการสึกหรอ ก็ถือได้ว่าเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

ตรวจสอบองค์ประกอบของอนุภาค

การตรวจสอบองค์ประกอบของอนุภาคการสึกหรอนั้นนับได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่ทำให้ได้ทราบว่าอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนใดของเครื่องยนต์สึกหรอบ้าง

### 2.5.5.2 การศึกษาอนุภาคการสึกหรอเชิงจุลภาค (Wear Particle Microscopic Examination)

ก. การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) ใช้ในการตรวจตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอที่เก็บตัวอย่างสารหล่อลื่นที่สู่มมาจากเครื่องยนต์

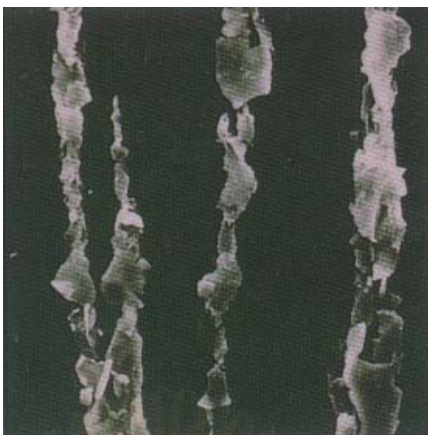
ข. การศึกษาด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) เหตุผลที่ใช้กล้องชนิดนี้มาแทนกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดา เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์โดยทั่วไปจะมีจุดด้อยตรงที่ไม่สามารถให้กำลังขยายที่สูงมากๆได้ และยังไม่สามารถที่จะขยายภาพเพื่อศึกษา ณ จุดใด ๆ ที่ต้องการได้อย่างชัดเจนเท่าที่ต้องการ

ค. การศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) ซึ่งนับได้ว่าการศึกษาชนิดนี้เป็นการรวมเอาเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีด้านการใช้กล้องจุลทรรศน์เข้าด้วยกัน เช่นจะตรวจตัวอย่างอนุภาคการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์และจะถ่ายทอดสัญญาณภาพไปยังคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมในการวิเคราะห์ผล

### 2.5.5.3 ชนิดของอนุภาคการสึกหรอ

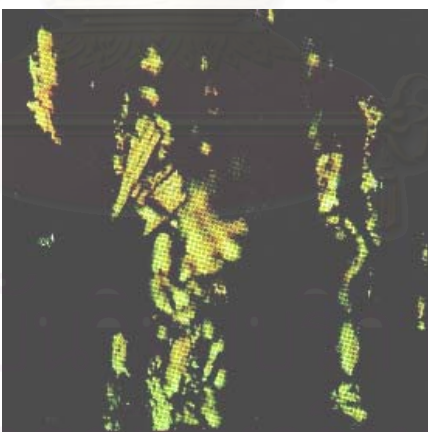
ชนิดอนุภาคการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิดดังนี้

ก. การเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ (Rubbing Wear Particle) อนุภาคจะมีลักษณะอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความหนาที่มีค่าสูง ซึ่งถือได้ว่าเป็นการสึกหรอที่น้อยมาก อนุภาคโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่า 15 ไมครอน หากระบบหล่อลื่นเกิดความสกปรกจะทำให้เกิดการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะโดยจะทำให้อัตราการเกิดเพิ่มอย่างทันทีทันใด อาจจะอยู่ในรูปของขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้นในบางครั้งอนุภาคที่โตกว่า 100 ไมครอนซึ่งถือได้ว่าเป็นอนุภาคการสึกหรอชนิดที่เกิดขึ้นสำหรับเครื่องจักรที่มีการหล่อลื่นด้วย น้ำมันหล่อลื่นดังรูปที่ 2-19



รูปที่ 2-19 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ

ข. การสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีในเครื่องจักร (Severe Sliding Wear Particle) ดังรูปที่ 2-20 ซึ่งมีสาเหตุมาจาก การใช้ภาระที่สูงเกินไป การใช้ความเร็วที่สูงเกินไป การขาดสารหล่อลื่น ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการยึดติดของวัสดุ อนุภาคการสึกหรอแบบนี้จะมีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน หากเครื่องจักรทำงานภายใต้สภาวะที่รับภาระมากเกินไป ความเร็วในการเสียดสีเพิ่มขึ้น และหากระบบการหล่อลื่นที่ไม่ดี อนุภาคจะมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของการเสียดสีของโลหะกับโลหะ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 20 ไมครอน อนุภาคที่เกิดขึ้นจะเป็นสีน้ำเงิน สีน้ำตาล สาเหตุที่เกิดเป็นสีน้ำเงินและสีน้ำตาลเนื่องมาจากความร้อนที่มากเกินไปจึงทำให้สีของอนุภาคจะเริ่มเปลี่ยนจากสีฟางข้าวไปเป็นสีน้ำตาลและกลายเป็นสีน้ำเงิน

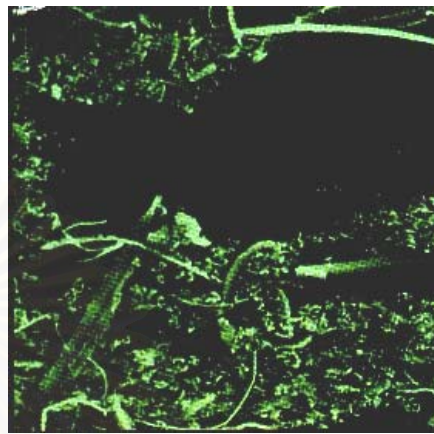


รูปที่ 2-20 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีในเครื่องจักร (Severe Sliding Wear Particle)

ค. อนุภาคการสึกหรอจากการขูดขีดของเศษโลหะ (Cutting Wear Particles) เป็นผลสืบเนื่องมาจากที่มีการสึกหรอแบบ Abrasive ซึ่งทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่มีลักษณะเป็นเส้นคล้ายเศษเหล็ก เกิดจากผิวถูกการทะลุผ่าน การถูด้วยวัสดุคล้ายคันไถหรืออาจถูกตัดด้วยสิ่งหนึ่งทำให้เกิดค่าความแข็งที่แตกต่างกัน อนุภาคจะมีความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 5 ไมครอนจนถึงความยาว



มากกว่า 100 ไมครอน และมีความกว้างเฉลี่ยตั้งแต่ 2 ไมครอนจนถึง 15 ไมครอน ดังรูปที่ 2-21 อนุภาคจะมีสีที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน สีที่เกิดได้แก่ น้ำเงิน แดงและสีฟ้า ซึ่งอนุภาคชนิดนี้จะเป็นสิ่งที่จะบ่งบอกถึงอนุภาคที่ไม่ปกติ และสามารถที่จะบ่งบอกถึงสภาพการชำรุดของเครื่องจักรว่าจะถึงเวลาที่ชำรุดแล้ว



รูปที่ 2-21 แสดงอนุภาคการสึกหรอแบบ Cutting Wear

ง. อนุภาคการสึกหรอจากการล้าที่เกิดกับเฟืองและพื้นที่สัมผัสของตลับลูกปืน (Ferro Fatigue Particle)

1. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle) ดังรูปที่ 2-22 แบ่งออกเป็นการรกล้างและการถูไปบนผิวของฟันเฟือง ซึ่งในตอนแรกอนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นผิวเรียบ รูปร่างของอนุภาคจะมีลักษณะผิดปกติโดยมีขอบที่คม และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาประมาณ 10:1 หากความเค้น (Stress) บนผิวสัมผัสเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของความยาวต่อความหนาจะมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการเกิดก่อนอนุภาคลดลงด้วย ซึ่งอนุภาคจะมีขนาดเล็กมากและเป็นการยากที่จะทำการหาจุดโฟกัส ในการดูอนุภาคที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์



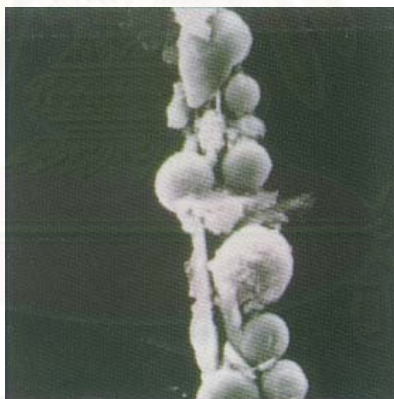
รูปที่ 2-22 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle)

## 2. อนุภาคสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle)

ดังรูปที่ 2-23 การล้าตัวของวัสดุจะมีการหลุดร่อนออกมาเป็นอนุภาคการสึกหรอเช่นการเกิดการล้าตัวของเม็ดลูกปืนหรือรางในของเสียดล้นลูกปืน ซึ่งโดยปกติจะมีขนาดใหญ่กว่า 75 ไมครอน และจะมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างไป จากอนุภาคสึกหรอที่ได้กล่าวมาแล้ว

อนุภาคที่เกิดขึ้นในลักษณะที่แตกต่างกันเช่นอนุภาคทรงกลม อนุภาคที่เป็นชิ้นเล็กๆซึ่งอนุภาคที่เป็นทรงกลมจะเกิดมาจากความล้าที่เกิดขึ้นภายในตลับลูกปืน แล้วจึงเกิดการแตกออกมาเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งมีขนาดของอนุภาคประมาณ 1 ถึง 10 ไมครอน และจะทำให้ปริมาณของอนุภาคมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน ซึ่งจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกให้รู้ว่าจะเกิดการเสียหายขึ้นในไม่ช้า อนุภาคที่เป็นทรงกลมเกิดขึ้นได้จากการกัดกร่อนเป็นโพรง (Cavitations Erosion) กระบวนการเชื่อม กระบวนการขบกันของเฟือง ซึ่งขนาดของอนุภาคที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการดังกล่าวแล้วจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10 ถึง 100 ไมครอน อนุภาคการล้าที่มีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ จะหลุดแยกตัวออกมาจากผิวที่เป็นหลุมนั้น จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ถึงประมาณ 100 ไมครอน

อนุภาคที่เป็นแผ่นบางๆจะเกิดมาจากช่องว่างระหว่างผิวในของแบร็ง จะมีขนาดของอนุภาคประมาณไม่เกิน 70 ไมครอน และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาประมาณ 40:1



รูปที่ 2-23 แสดงอนุภาคสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle)

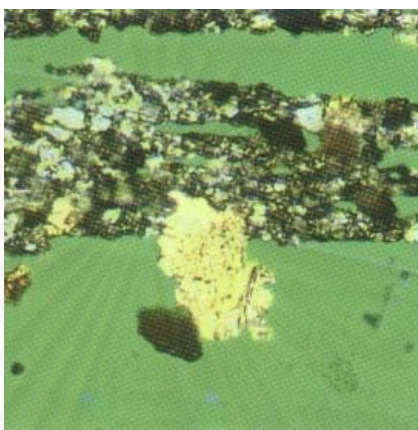
จ. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของระบบเกียร์ (Combined Rolling and Sliding Wear Particles) การที่อนุภาคการสึกหรอแบบนี้มีความแตกต่างจากอนุภาคการสึกหรอแบบอื่นๆ เนื่องจากเกียร์มีการเคลื่อนที่ทั้งแบบไถล และแบบหมุน (Both Sliding and Rolling Mode)

ฉ. อนุภาคของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ลักษณะการเกิดอนุภาคการสึกหรอจากโลหะที่ไม่ใช่เหล็กนั้น บ่อยครั้งที่มีลักษณะพิเศษคล้ายกับการเกิดอนุภาคของโลหะที่เป็นเหล็ก เช่นการสังเกตเห็นลักษณะเด่นของ Rubbing Wear, Cutting Wear และการเสียดสีกันภายใต้ความเค้นสูง



(High Stress Sliding) แต่มีสิ่งหนึ่งที่สามารถทำการแยกแยะให้เห็นได้อย่างชัดเจนสำหรับอนุภาคของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก คือสีของอนุภาค

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



รูปที่ 2-24 แสดงอนุภาคการสึกหรอของทองแดง

2. อนุภาคของทองเหลือง หรืออาจเรียกว่าทองสัมฤทธิ์ (Bronze) แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคทองเหลืองจะเป็นสีเหลืองทอง ส่วนอนุภาคของทองสัมฤทธิ์ สีจะมีมืดกว่าเป็นสีเหลือง – ชมพู

3. อนุภาคโครเมียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคจะเป็นสีเงิน โดยปกติแล้วอนุภาคที่เกิดขึ้นจะมีผิวเรียบ และจะมีขนาดของอนุภาคที่ต่ำกว่า 50 ไมครอน

4. อนุภาคของนิกเกิล จะมีลักษณะคล้ายกับอนุภาคของโครเมียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคจะมีสีเงิน แต่เนื่องจากอนุภาคของนิกเกิลมีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก ฉะนั้นเราจึงพบอนุภาคของนิกเกิลในวงแหวนของแม่เหล็ก

5. อนุภาคของอลูมิเนียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาค จะมีสีเทาเงิน อนุภาคจะมีผิวที่หยาบ และขนาดของอนุภาคไม่อาจจะระบุได้ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีขนาดใหญ่ประมาณ 25 ถึง 500 ไมครอน

ข. อนุภาคการสึกหรอจากวัสดุอื่นๆ

อนุภาคการสึกหรอจากวัสดุอื่นๆ

เช่นออกไซด์ของโลหะผลึกที่ไม่ใช่โลหะ และโลหะอสัณฐาน ซึ่งคุณสมบัติและลักษณะอนุภาคได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสีหรือจากวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลหะ และ  
อโลหะอสังฐาน [4]

ชนิดของอนุภาค	ผลจากแสงสะท้อน ของอนุภาค	การกระจายแสงบน ฉากรองรับสีเทา	การกระจายแสงบน ฉากรองรับสีดำ
ออกไซด์ (เหล็ก)	แสงสะท้อนเป็นสี น้ำตาลบนฉากรองรับ สีขาว	เกิดสีส้ม - น้ำตาลบน ฉากรองรับสีเทา	แสงสว่างสีส้ม-น้ำตาล บนฉากรองรับสีดำ
ผลึกของอโลหะ (ซิลิกา [silica])	แสงสะท้อนเป็นสีเทา บนฉากรองรับสีขาว	เกิดสีขาว/เงินบนฉาก รองรับสีเทา	เกิดสีขาว/เงินบนฉาก รองรับสีดำ
วัสดุโพลิเมอร์ (Polymer Material)	แสงสะท้อนเป็นสีครีม/ น้ำตาลบนฉากรองรับ สีขาว	เกิดสีอย่างขนสัตว์บน ฉากรองรับสีเทา	แสงสีขนสัตว์ บนฉากรองรับสีดำ

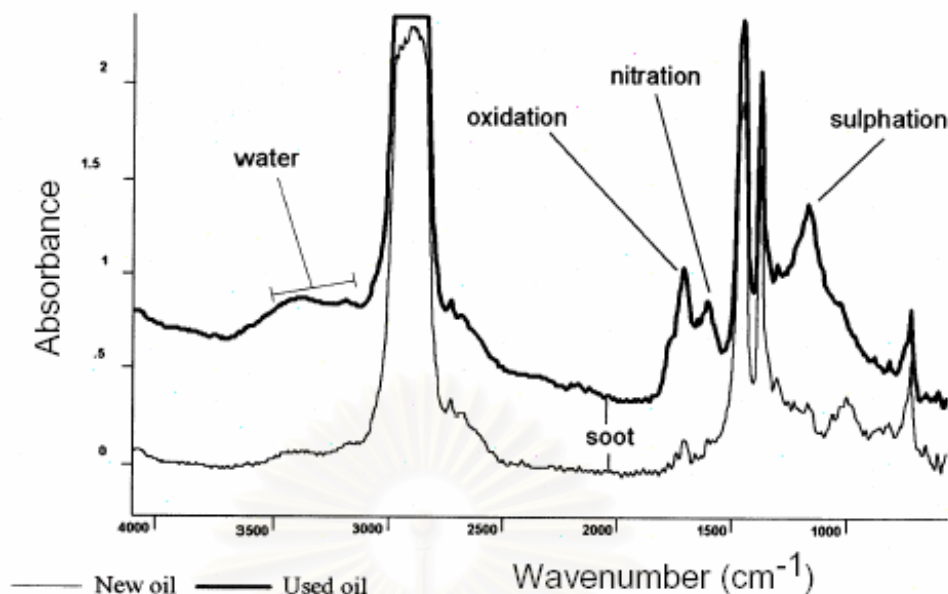
### 2.5.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) [3]

การวิเคราะห์ FTIR เป็นการวิเคราะห์ในระดับโมเลกุล เป็นวิธีการที่ใช้หาปริมาณของ  
องค์ประกอบต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็วเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพน้ำมันหลัก  
สภาพสารเคมีเพิ่มคุณภาพ และสิ่งสกปรกปนเปื้อน โดยให้ค่าที่แม่นยำและเชื่อถือได้ หลักการใน  
การวัดจะทำการผ่านรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.00008 เซนติเมตรถึง 0.04  
เซนติเมตร ไปยังน้ำมันหล่อลื่นที่จะทำการทดสอบ ส่วนประกอบของน้ำมันที่เป็นสารประกอบ  
ต่างๆ ก็จะถูกดูดซับปริมาณรังสีในช่วงความถี่จำเพาะที่ต่างกันไว้ เนื่องจากแต่ละพันธะในโมเลกุลจะ  
ดูดซับรังสีในช่วงความถี่ที่ต่างกัน ผลที่ได้จะแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ  
รังสี(Abs) กับส่วนกลับของความยาวคลื่น ( Wave Number ,  $\text{cm}^{-1}$ ) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณ  
และองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จาก  
น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2-25

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR

#### 1. ค่าออกซิเดชัน

ในระบบหล่อลื่น สารอินทรีย์จะเกิดการแยกตัวที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูง  
ประกอบกับการมีออกซิเจนอยู่บริเวณรอบ ในกระบวนการ FTIR จะหาค่าออกซิเดชันจากพันธะ  
คาร์บอนิล (Carbonyl) ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดระหว่าง 1,800 ถึง  
1,670 เซนติเมตร-1



รูปที่ 2-25 แสดงปริมาณการดูดซับรังสีอินฟราเรดในแต่ละช่วงความถี่ ของน้ำมันหล่อลื่น [3]

## 2. ค่าไนเตรชั่น

ลักษณะการเกิดไนเตรชั่น จะเกิดที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูงเช่นเดียวกับการเกิดออกซิเดชั่น ประกอบกับการมีไนโตรเจนและออกซิเจนอยู่บริเวณรอบ โดยทั่วไปการเกิดไนเตรชั่นจะอยู่ในรูปของ  $\text{NO}$  ,  $\text{NO}_2$  และ  $\text{N}_2\text{O}_4$  ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดระหว่าง 1,650 ถึง 1,600 เซนติเมตร-1 การเกิดไนเตรชั่นเป็นสาเหตุทำให้เกิดคราบยางเหนียวและ Lacquer สาเหตุของการเกิดไนเตรชั่นมาจากการปรับอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่ออากาศที่ไม่ถูกต้อง การปรับจังหวะการจุดระเบิดที่ไม่เหมาะสม หรือมาจากสภาวะการทำงานที่ภาระสูง ซึ่งจะทำให้เกิดอุณหภูมิการทำงานและปริมาณ Blow – by ที่สูงตามไปด้วย

## 3. ค่าซัลเฟชั่น

เกิดจากกำมะถัน (Sulphur) ซึ่งพบได้ในน้ำมันเชื้อเพลิง และอาจพบได้ในสารเติมแต่งบางชนิดในน้ำมันหล่อลื่น การเกิดซัลเฟชั่น จะอยู่ในรูปของ  $\text{SO}_3$  และ  $\text{SO}_2$  ซึ่งช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรด อยู่ระหว่าง 1,180 ถึง 1,120 เซนติเมตร-1 การเกิดซัลเฟชั่นจะทำให้เกิดคราบยางเหนียว กากตะกอน และทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพลง นอกจากนั้นสารประกอบที่เกิดขึ้นยังสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งเกิดระหว่างการเผาไหม้ กลายเป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งจะทำการรวมตัวของสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น

## 4. ปริมาณเขม่า

เขม่า เกิดจากอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมีค่าสูง การเพิ่มปริมาณของเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นแสดงให้เห็นถึงปัญหาจากการเผาไหม้ หรือช่วงเวลาการเปลี่ยนถ่าย

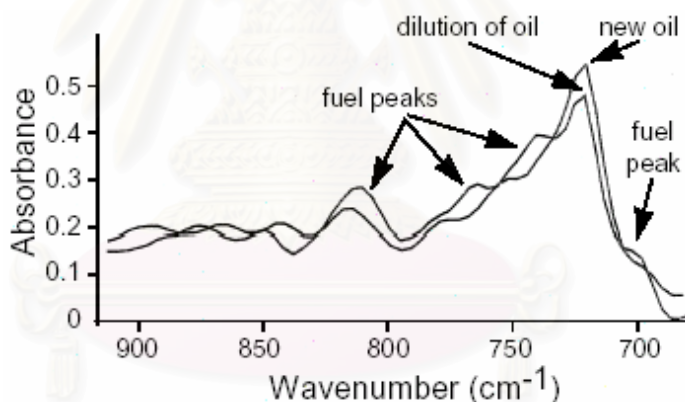
น้ำมันเครื่องและไส้กรองที่นานเกินไป ปริมาณเขม่าที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดและทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรอง และอ่างน้ำมันหล่อลื่น

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

#### 5. ปริมาณเชื้อเพลิง

ปริมาณเชื้อเพลิงที่พบในน้ำมันหล่อลื่นมีสาเหตุมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากเชื้อเพลิงทั่วไป จะประกอบด้วยโมเลกุลของของสารประกอบมากมาย ทั้งสารประกอบแอลิแพติก เช่น ออกเทน และสารประกอบอโรมาติก เช่น เบนซีน และอีกมารวมกันเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเชื้อเพลิง

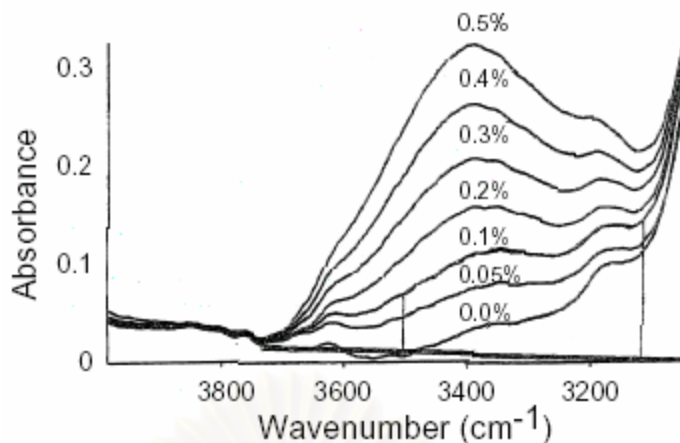
การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อเพลิงที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธี FTIR สามารถทำได้โดยหาช่วงความถี่ของการดูดซับในแต่ละส่วนประกอบของเชื้อเพลิง แล้วนำช่วงความถี่ที่ได้มาเปรียบเทียบกับในช่วงการดูดซับของน้ำมันหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2-26 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันเชื้อเพลิงมีหลายช่วงความถี่ตามสารประกอบมากมายที่พบในน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 2-26 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน[3]

#### 6. ปริมาณน้ำ

ปริมาณที่พบในน้ำมันหล่อลื่นใช้ในการตรวจสอบการรั่วของน้ำจากระบบหล่อเย็น โดยน้ำจะดูดซับรังสีอินฟราเรดในปริมาณที่มาก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการตรวจพบ ดังแสดงในรูปที่ 2-27 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ช่วงความถี่ของน้ำที่ดูดซับรังสีอินฟราเรด เป็นช่วงที่มีปริมาณการดูดซับรังสีของน้ำมันหล่อลื่นน้อย



รูปที่ 2-27 แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้ [3]

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี FRIT สามารถแสดงผลออกมาเป็น Absorbance Unit (Abs) ยกเว้นค่า การปนเปื้อนของน้ำ, ไกลคอล, เชื้อเพลิง และเขม่า ซึ่งแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อน

## 2.6 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

การศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบันสืบเนื่องมาจากปริมาณที่น้อยลงและราคาที่สูงขึ้นของน้ำมันดีเซลวิธีที่จะนำน้ำมันพืชมาใช้นั้นมีหลายรูปแบบ โดยวิธีหลักที่นิยมใช้ซึ่งกล่าวโดย Yusuf Ali & Hanna [7] มี 4 วิธี ประกอบด้วยการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง การลดความหนืดของน้ำมันพืชโดยการผสมตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ เอทานอล (Micro-emulsification) การแปลงโมเลกุลของไขมันในน้ำมันพืชให้เป็นให้เป็นเอสเตอร์ (Transesterification) และ การทำให้โมเลกุลแตกตัวเพื่อให้น้ำหนักโมเลกุล โดยการใช้ความร้อนหรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Cracking or Pyrolysis) เป็นต้น การนำมาใช้อาจจะใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมดหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลเพียงบางส่วน (Diesel Extender or Blending)

ส่วนชนิดของพืชน้ำมันที่นำมาใช้ในการศึกษานั้นจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพืชเศรษฐกิจที่เป็นพืชน้ำมันของแต่ละท้องถิ่น ภูมิภาค เช่น การใช้น้ำมันจากถั่วเหลืองในสหรัฐอเมริกา อาทิ งานวิจัยของ Pryor et al. [8] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะทั้งในช่วงระยะเวลานสั้น และระยะเวลายาวในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก จากการใช้น้ำมันถั่วเหลือง 100% การใช้น้ำมันจากเมล็ดเรป ในประเทศทางแถบยุโรป อาทิ งานวิจัยของ Norbert Hemmerlein et al. [9] จากศูนย์วิจัยและพัฒนาเพอร์เซ่ได้ทำการวิจัยถึงสมรรถนะ มลภาวะ และการทดสอบความทนทาน กับเครื่องยนต์ดีเซล 6 เครื่องในแต่ละชนิดและขนาด โดยการใช้ น้ำมันจากเมล็ดเรป 100% ในขณะที่ประเทศทางเขตร้อนรวมทั้งประเทศไทยนิยมนำน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวมาใช้ใน



การศึกษา เป็นต้น นอกจากนี้ในบางที่ยังมีการนำน้ำมันจากสัตว์ เช่นน้ำมันจากปลา โดยนำไปผสมกับน้ำมันดีเซล 50% ในรัฐออลาสก้า ประเทศสหรัฐอเมริกา [10] น้ำมันที่เหลือจากการประกอบอาหาร เช่นในประเทศญี่ปุ่น โดย Yu et al. [11] ได้นำน้ำมันใช้แล้วจากโรงงานผลิตเส้นบะหมี่มาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่มีการนำน้ำมันมาผ่านกระบวนการเพิ่มเติม

การนำมาใช้โดยวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนคือใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมด (น้ำมันพืช 100%) แต่ปัญหาที่พบถูกรวบรวมโดย Sam Jones และ Charles L. [12] ประกอบด้วยการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดเขม่าและคราบทำให้หัวฉีดเกิดการอุดตัน แหวนลูกสูบติดเนื่องมาจากคราบและไข (Wax and Gum) หลังวาล์วและบ่าวาล์วมีปริมาณคาร์บอนตกค้างเป็นจำนวนมากทำให้เกิดปัญหาวาล์วรั่วทำให้กำลังอัดของเครื่องยนต์ลดลง และยังเกิดปัญหาคราบของน้ำมันพืชที่เกิดการออกซิเดชันซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องยนต์ได้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว

เพื่อให้สามารถนำน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้นั้น มักจะใช้วิธีการหนึ่งที่จะให้ผลดีกว่าการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงคือ การแปลงโมเลกุลของไขมันในน้ำมันพืชให้เป็นให้เป็นเอสเทอร์ (Transesterification) หรือกล่าวได้ว่าเป็นการนำน้ำมันพืชมาทำให้กลายเป็นไบโอดีเซลนั่นเอง โดยในปัจจุบันการนำไบโอดีเซลมาใช้นั้นจะเป็นการนำมาใช้แบบใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลเพียงบางส่วน (Diesel Extender or Blending) และการผลิตไบโอดีเซลนั้นก็สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชหลายชนิดไม่ว่าจะเป็น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันจากเมล็ดเรป น้ำมันปาล์ม และน้ำมันดอกทานตะวัน

ในปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงเอสเทอร์อยู่หลากหลายซึ่งงานเหล่านั้นแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้งานได้กับเครื่องยนต์ DI Engine ได้ เช่นจากงานของ McCutchen (1981) [13] ที่ทำการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ turbocharged caterpillar 3306 DI diesel ที่ใช้เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันจากเมล็ดเรป สำหรับ 150 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าสมรรถนะไม่มีการเปลี่ยนแปลงไป ส่วนงานของ Bacon และคณะ (1981) [14] พบว่าการอุดตันของหัวฉีดในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง methyl อิมิตว่น้อยกว่า ethyl oleate หรือ ethyl ester ของ น้ำมันดอกทานตะวัน อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการ transesterification อยู่ ซึ่งเป้าหมายสำคัญคือการเพิ่มระดับเอสเทอร์ให้สูงถึง 90% เนื่องจากการทดสอบที่ระดับ 70% จะพบปัญหาการอุดตันของหัวฉีด หลังจากการทดสอบเพียง 50 ชั่วโมงโดยลักษณะการใช้งานเครื่องยนต์แบบภาวะบางส่วนเท่านั้น (Hawkins and Fuls, 1982 [15]) อีกทั้งงานของ Hawkins Fuls และ Hugo (1983) ยังได้กล่าวเกี่ยวกับเชื้อเพลิงเอสเทอร์อาจเกิดผลกับพลาสติกและยางในระบบเชื้อเพลิงได้ การนำไบโอดีเซลมาใช้แบบทดแทนน้ำมันดีเซลทั้งหมดก็สามารถนำมาใช้ได้แล้ว อาทิ งานวิจัยของ K.R. Kaufman. และ M. Ziejewski [16] ที่เกี่ยวกับการใช้ เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันดอกทานตะวัน ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบฉีด

เชื้อเพลิงโดยตรง โดยงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่า สามารถนำมาใช้ได้ตลอดช่วงทำงาน 280 ชั่วโมงในการทดสอบความทนทานซึ่งหัวฉีดไม่เกิดปัญหาสามารถใช้งานได้ตามปกติความดันในการเปิดหัวฉีดลดลงเพียง 5% และสภาพปลายหัวฉีดมีเขม่าจับเพียงเล็กน้อย โดยผลยังแสดงอีกว่า สำหรับสมรรถนะกำลังที่สร้างได้ลดลง 5.8% สำหรับการใช้น้ำมันดีเซล แต่ประสิทธิภาพแตกต่างกันในเชิงน้อยกว่าเพียง 1%

งานวิจัยในประเทศไทย โดยงานวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดย Phan Minh Duc [17] มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงช่วยจุดระเบิดในเครื่องยนต์ระบบเชื้อเพลิงร่วม เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงาน การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงรวม ปริมาณการทดแทนดีเซล การปลดปล่อยความร้อนรวมทั้งภาพปรากฏการณ์การเผาไหม้ ความน่าจะเป็นของเปลวไฟ อุณหภูมิการเผาไหม้ ปริมาณ soot ในเปลวไฟ ปรากฏว่าการใช้ทั้งดีเซลและปาล์มไบโอดีเซล (Palm Methyl Ester, PME) เครื่องยนต์เดินเรียบปราศจากการน็อกทุกจุดที่ทำการทดสอบและทุกค่าส่วนผสมของ LPG จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ของ LPG-PME จะเร็วกว่าเนื่องมาจากผลของการฉีดที่เร็วขึ้นจากผลของ bulk modulus และความหนืดที่สูงกว่าของ PME โดยทั้ง LPG-ดีเซล และ LPG-PME มีช่วงเวลาการเผาไหม้ที่สั้นลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การเผาไหม้ของดีเซล เป็นผลให้อุณหภูมิไอเสียมีค่าต่ำลง และทำให้จุดกึ่งกลางของการปลดปล่อยความร้อนเลื่อนเข้าหาศูนย์ตายบนมากขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของค่าความร้อนและคุณสมบัติการระเหยที่ต่ำกว่าดีเซลของ PME จะมีความแปรปรวนของการเผาไหม้สูงกว่าเล็กน้อย มีเสถียรภาพต่ำกว่าและเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงปรากฏในบริเวณที่แคบกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของ PME อาทิ ค่าความร้อนที่ต่ำกว่า ค่าอุณหภูมิอะเดียบาติกของเปลวไฟต่ำกว่า และความหนาแน่นที่สูงกว่า ความเข้มข้นของ soot ในเปลวไฟมีปริมาณลดลงเมื่อปริมาณสัดส่วนของ LPG มีค่าสูงขึ้น และงานวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยคณิต วัฒนวิเชียร และ วรวิมล กฤษดาภิการ [18] ของซึ่งทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันไบโอดีเซลผสมน้ำในอัตราส่วน 70:30% โดยปริมาตร จากการทดสอบพบว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงมีความแตกต่างกันอย่างมากจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป แต่เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์จะทำให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างเชิงความร้อนที่สูงขึ้นโดยปราศจากควันดำ แม้ว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้จะต่ำกว่าสมรรถนะที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลโดยทั่วไปและมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเชิงปริมาตรเพิ่มสูงขึ้น

### บทที่ 3

#### เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนผสม คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล รวมถึงการแบ่งชนิดของเชื้อเพลิงและภาพลักษณ์ในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

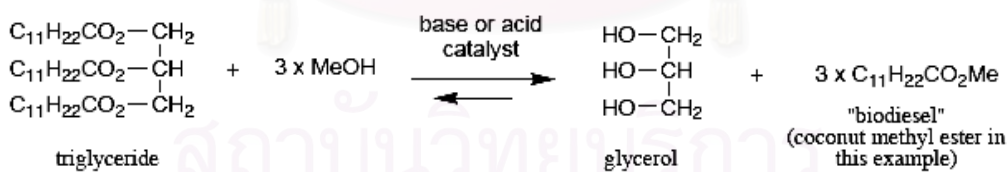
น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดคือ

- น้ำมันดีเซล ที่มีขายตามพระราชบัญญัติน้ำมันดีเซล ใช้เป็นตัวแปรควบคุมการทดสอบ
- น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลผลิตโดยบริษัทโฟนิคส์ภายใต้ความควบคุมของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

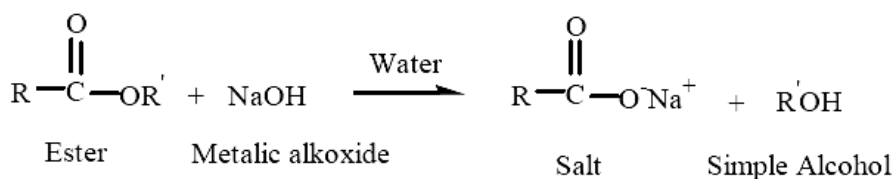
ในการทดสอบความทนทานนั้นเป็นการทดสอบที่ต้องดำเนินการเป็นระยะเวลานาน การทดสอบนี้จึงต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมากประกอบกับการหาน้ำมันที่มาจากแหล่งเดียวกันและเพื่อใช้ในการทดสอบตลอดโครงการ

#### 3.1 น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซลนั้นเป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนที่กำลังเป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (PME) ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบซึ่งได้มาจากทะเลาะลายปาล์ม ผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Tranesterification)



ปฏิกิริยาข้างเคียง ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันจากเอสเทอร์ (Saponification from ester)



สำหรับกระบวนการผลิตปาล์มไบโอดีเซลที่กำลังศึกษานี้จะใช้เมทานอล และน้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบ และใช้กระบวนการผลิตแบบกะ (Batch Process) โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยในที่นี้จะผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.7

ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับน้ำมันดีเซลปกติ แต่ให้การเผาไหม้ที่สะอาดกว่า น้ำมันดีเซล ไอเสีย มีคุณภาพดีกว่า ทั้งนี้เพราะมีออกซิเจน อยู่ในไบโอดีเซล ให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลปกติ จึงมีคาร์บอน มอนนอกไซด์ น้อยกว่า และเนื่องจาก มีกำมะถัน ในไบโอดีเซลน้อยมาก จึงไม่มีปัญหาเรื่องสารซัลเฟตนอกจากนี้ยังมีเขม่า คาร์บอนน้อยจึงไม่ทำให้เกิดการอุดตัน ของระบบไอเสียได้

### 3.2 คุณสมบัติน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ

น้ำมันดีเซลอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3-1 ซึ่งเป็นไปตามกำหนดของพระราชบัญญัติน้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลอ้างอิงที่ใช้ในตลอดการทดสอบมีคุณสมบัติตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2549 ตารางที่ 3-2 (ช่องขวา) ซึ่งเป็นไปตามกำหนดของ ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) [3] และมาตรฐานที่ใช้กับน้ำมันไบโอดีเซล EN และ ASTM มีรวบรวมไว้ใน ตารางที่ 3-3

ในการนำน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมาใช้ในการทดสอบ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลอ้างอิงมีลักษณะเป็นของเหลวใสตลอดทั้งการทดลองมีสีแดงดัง รูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 รูปน้ำมันที่ใช้ในการวิจัย เปรียบเทียบระหว่าง (ภาพซ้าย) น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (ภาพขวา) และน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบ

Properties	Unit	Test method (ASTM)	Value
Specific gravity	-	D 1298	0.826
Cetane number	-	D 613	47 min
Cetane index	-	D 976	47 min
Viscosity at 40°C	cSt	D445	1.8 - 4.1
Pour Point	°C	D 97	10 max
Cloud point	°C	D 2599	16 max
Carbon residue	% mass	D 4530	0.05 max
Water and sediment	% volume	D 2709	0.05 max
Ash	% mass	D 482	0.01 max
Flash point	°C	D 93	52 min
Lubricity by HFRR	um	CEC F-060A-96	460 max
LHV	kJ/kg	D 611	42,500 min
(A/F)s	-		14.5

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

Properties	Unit	Test method (ASTM)	Limit	Result
Ester content*	% mass		-	99.85
Density (15°C)	kg/m <sup>3</sup>	D 4052 - 96	860 - 900	879.2
Viscosity (40°C)*	mm <sup>2</sup> /s	D 277	3.5 - 5.0	4.63
Flash point	°C	D 93 - 02a	120 min	166
Sulfur content	ppm mass	D 2622 - 03	10 max	16.0
Carbon residue	% mass	D 4530 - 00	0.30 max	0.7
Cetane number				~ 51***
Sulfated ash	%mass	D 874 - 00	0.02 max	<0.005
Water content	mg/kg	D 2709 - 96	0.2 max	<0.005
Total contamination	mg/kg			
Copper strip corrosion	rating	D 130 - 94	No.1 max	1a
Cloud point	-	D 2500 - 02	16 max	13
Oxidation stability	hour	EN 14112**	6 min	7.2
Acid value	mgKOH/g	D 664 - 01	0.50 max	1.73
Iodine value	g/100g			
Linilenic acid ME	% mass			
Polyunsat ME	% mass			
Methanol content	% mass	EN 14110**	0.20 max	0.01
Monoglyceride	% mass	EN 14105**	0.80 max	0.74
Diglyceride	% mass	EN 14105**	0.20 max	0.48
Triglyceride	% mass	EN 14105**	0.20 max	0.18
Free glycerin	% mass	EN 14105**	0.02 max	0.0004
Total glycerin	% mass	EN 14105**	0.25 max	0.28
Distillation T90	-	ASTM 1160 - 03	360 max	364
Specific gravity	kg/m <sup>3</sup>	D 1298		880
Heating value	MJ/kg	D 611		39.872

ตารางที่ 3-3 มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

Properties	BS EN 14214:2003		ASTM D 6751	
	Unit	Limits	Unit	Limits
Ester content	% mass	96.5	-	-
Density (15°C)	kg/m <sup>3</sup>	860-900	-	-
Viscosity (15°C)	mm <sup>2</sup> /s	3.5-5.0	mm <sup>2</sup> /s	1.9-6.0
Flash point	°C	120 min	°C	130 min
Sulfur content	mg/kg	10 max	% mass	0.05 max
Carbon residue	% mass	0.3 max	% mass	0.05 max
Cetane number		51 min		47 min
Sulfated ash	%mass	0.02 max	% mass	0.02 max
Water content	mg/kg	500 max	% volume	0.05 max
Total contamination	mg/kg	24 max	-	
Copper strip corrosion	rating	class1	-	No.3 max
Cloud point	-	-	°C	report
Oxidation stability	hour	6.0 min	-	report
Acid value	mgKOH/g	0.5 max	mgKOH/g	0.8 max
Iodine value	g/100g	120 max	-	-
Linilenic acid ME	% mass	12 max	-	-
Polyunsat ME	% mass	1 max	-	-
Methanol content	% mass	0.20 max	-	-
Monoglyceride	% mass	0.80 max	-	-

ตารางที่ 3-3 มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (ต่อ)

Properties	BS EN 14214:2003	ASTM D 6751		
	Unit	Limits	Unit	Limits
Triglyceride	% mass	0.20 max	-	-
Free glycerol	% mass	0.20 max	% mass	0.02
Total glycerol	% mass	0.25 max	% mass	0.24
Group I metals	mg/kg	5.0 max	-	-
Group II metals	mg/kg	5.0 max	-	-
Phosphorus content	mg/kg	10.0 max	% mass	0.001 max
Distillation T90	-	-	°C	360 max

### 3.3 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันปาล์มดีเซลอ้างอิง

น้ำมันไบโอดีเซลสามารถได้มาจากหลายแหล่ง มีสมการเคมีที่ต่างกันตามแต่แหล่งที่มา จากตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดไขมัน(Fatty Acid) ที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างๆที่นำมาทำปาล์มไบโอดีเซล[11]

Fatty Acid Name	No. Of Carbons & Double Bonds	Chemical Structure (= denotes double bond placement)
Palmitic	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Palmitoleic	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Stearic	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Oleic	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

ตารางที่ 3-5 แสดงค่าซีเทนที่ได้จากน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากวัตถุดิบต่างๆ[11]

Reference	Fuel	Cetane number
36	Palmitic acid methylester	74.3
37	Palmitic acid methylester	74.5
36	Stearic acid methylester	75.6
37	Stearic acid methylester	86.9
38	Stearic acid ethylester	76.8
38	Oleic acid methylester	55.0
38	Oleic acid ethylester	53.9

จากที่กล่าวมาข้างต้นน้ำมันปาล์มอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำมันที่ได้จากปาล์ม หรือที่เรียกว่าปาล์มเมทิลเอสเตอร์ (palmitic methyl ester, PEM) ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีแสดงในตารางที่ 3-4

น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากสารชีวภาพส่วนใหญ่มีค่าซีเทนัมเบอร์ที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล โดยน้ำมันดีเซลจะมีค่าซีเทนัมเบอร์ประมาณ 47 และปาล์มเมทิลเอสเตอร์มีค่าซีเทนัมเบอร์ที่สูงกว่า โดยมีค่าอยู่ที่ 74.3 และ 74.5 แสดงในตารางที่ 3-5

### 3.4 ภาพลักษณ์ในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

#### 3.4.1 ข้อดีในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

1. ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ได้มาจากพืชจึงสามารถปลูกทดแทนได้ ไม่เป็นพิษ
2. การใช้ไบโอดีเซลสามารถทดแทนการใช้น้ำมันปิโตรเลียม และพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลใช้พลังงานต่ำกว่าในขั้นตอนการผลิต ยกตัวอย่างเช่น พลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล จากถั่วเหลือง ใช้พลังงานเพียง 31% (เปรียบเทียบต่อพลังงานเมื่อใช้ดีเซล) ซึ่งเป็นการใช้พลังงานที่ได้จากปิโตรเลียมอย่างมีประสิทธิภาพ และมีประโยชน์ทางอ้อมคือการยืดอายุการชุดเจาะปิโตรเลียมที่มีอยู่อย่างจำกัด
3. การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษซึ่งเกิดจากการใช้น้ำมันปิโตรเลียม อันเป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน จากการทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO<sub>2</sub>) โดยจากวัฏจักรชีวิตของน้ำมันไบโอดีเซล พิสูจน์ว่าสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 78% และ น้ำมันไบโอดีเซลผสม 20% (B20) สามารถลด

- ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 15.6% และสามารถลดปริมาณเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ (Particulate Matter) และปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้ถูกเผาไหม้ (Unburn Hydrocarbon) และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้อีกด้วย ซึ่งการลดมลพิษนี้เป็นผลประโยชน์มาจากการที่ไบโอดีเซลที่เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติในการผสมออกซิเจนผสมอยู่ oxygenated fuel ถึง 11% โดยมวล ทำให้ช่วยในการสันดาปที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
4. กลิ่นที่ได้จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลดีกว่า เหมือนกับกลิ่นที่ได้จากการทำอาหาร
  5. การใช้น้ำมันไบโอดีเซลยังมีผลดีต่อสุขภาพมนุษย์เนื่องจากเขม่าที่ได้จากการเผาไหม้ และไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้ถูกเผาไหม้ บางชนิดสามารถทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยได้ และอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ ผลกระทบจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลได้ถูกยืนยันจากหลายๆการวิจัยโดยเริ่มจาก Bureau of Mines Center for Diesel Research ของมหาวิทยาลัย Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา การวิจัยพบว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซล 100% (B100) สามารถลดมลภาวะทางอากาศได้ถึง 90% และ B20 สามารถลดได้ 20% ถึง 40% และจาก Department of Energy ประเทศสหรัฐอเมริกา และ University of Idaho Southwest Research Institute และ Montana Department of environment Quality ได้มีผลยืนยันผลเช่นเดียวกัน อีกทั้ง The National Biodiesel Board ได้ดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับมาตรฐาน Tier I และ Tier II Health Effects Studies ซึ่งมีผลสนับสนุนการวิจัยผ่านมา
  6. การเติมน้ำมันไบโอดีเซลเป็นสารผสมกับน้ำมันดีเซลในปริมาณที่น้อย 1 – 2% สามารถเพิ่มความสามารถของการหล่อลื่นของน้ำมันดีเซล ซึ่งมาจากผลของการที่ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณซัลเฟอร์ต่ำ (Ultra low sulfur diesel, ULSD) โดยในความเป็นจริงการที่ไบโอดีเซลมีปริมาณซัลเฟอร์ที่ต่ำนี้ไม่เป็นผลดีต่อการหล่อลื่นเมื่อใช้ในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลต่อชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในเครื่องยนต์โดยเฉพาะปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง และหัวฉีด
  7. น้ำมันไบโอดีเซลสะดวกในการนำไปใช้ ได้แก่ B20 และต่ำกว่า สามารถเติมไปในถังน้ำมันเชื้อเพลิง และปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงเดิมได้เลยโดยไม่ต้องมีการดัดแปลง

### 3.4.2 ข้อเสียในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

1. น้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความร้อนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด โดยคิดจากร้อยละโดยมวลแล้วไบโอดีเซลมีค่าพลังงานที่ต่ำกว่าดีเซลท้องตลาดประมาณ 10% ซึ่งมีผลมาจากการที่น้ำมันไบโอดีเซลมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมันดีเซล (จึงทำให้มีน้ำหนักมากกว่า) ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลจะมีค่าความร้อนเช่นนี้ไม่ว่าจะได้มาจากวัตถุดิบแบบใดก็ตาม



2. คุณสมบัติการไหลของไบโอดีเซลในสภาวะอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดเป็นแข็งตัวเป็นเมือกก่อนให้เกิดการอุดตันของกรองน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ทำให้ไม่สามารถปัมน้ำมันเชื้อเพลิงได้อีกต่อไป
3. มลพิษจาก  $\text{NO}_x$  ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการทดลองที่ผ่านมา จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล B20 ในสภาวะภาระสูงและรอบต่ำ จากการทดสอบของ National Renewable Energy laboratory พบว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซล B20 เกิดสารที่เป็นมลพิษที่เป็น  $\text{NO}_x$  เป็นบางกรณีเท่านั้น และในบางกรณี ยังทำให้ลด  $\text{NO}_x$  อีกด้วย จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่ามีการเพิ่มขึ้นของ  $\text{NO}_x$  เนื่องจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

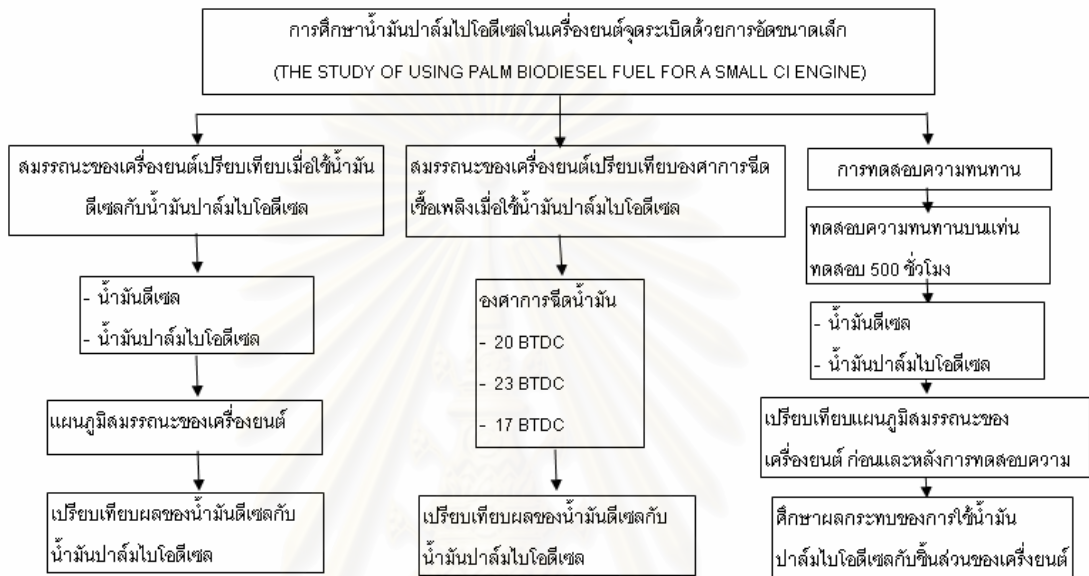


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### วิธีดำเนินการทดสอบและอุปกรณ์

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการทำวิจัยออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ตามแผนภาพในรูปที่ 4-1



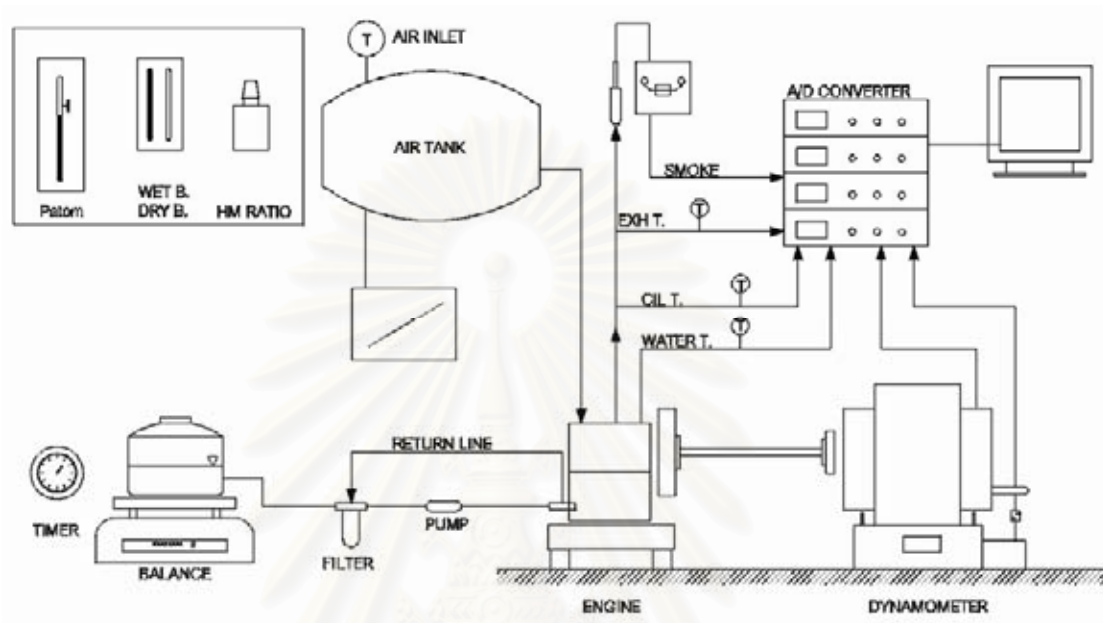
รูปที่ 4-1 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะคงตัว ในอัตราเร็วรอบคงที่แตกต่างไปตามภาระต่างๆ เมื่อนำเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซลเทียบกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลจากการเปลี่ยนชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ขั้นตอนที่ 2 ทำการเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและ ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่สภาวะคงตัว อัตราเร็วรอบคงที่ ตามภาระต่างๆ โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนตัวแปรองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ขั้นตอนที่สามเป็นการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน เมื่อนำเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และความรู้สึกหรือต่อชิ้นส่วนเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิง

#### 4.1 การทดสอบสมรรถนะ ( Performance Map)

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ แบ่งออกเป็นสองการทดลองกล่าวคือ เป็นการศึกษสมรรถนะและอุณหภูมิการทำงานที่ได้จากเครื่องยนต์รุ่นเดียวกันเมื่อนำใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล การทดสอบได้ดำเนินการทั้งที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) และที่สภาวะภาระ

บางส่วน (Part Load) ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงในรูปแบบภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ส่วนที่สองเป็นการศึกษาสมรรถนะจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการฉีดเชื้อเพลิง โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ EMA Test ซึ่งแผนผังแสดงการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องมือในการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 แสดงแผนผังในการติดตั้งเครื่องยนต์และอุปกรณ์ในการทดสอบสมรรถนะ

#### 4.2.1 อุปกรณ์และการติดตั้ง สำหรับการทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบสมรรถนะ ทำการทดสอบบนแท่นทดสอบเครื่องยนต์ ร่วมกับไดนาโมมิเตอร์ในการทดสอบ โดยใช้ห้องทดลองของบริษัทสยามคูโบต้าอุตสาหกรรมจำกัดซึ่งมีรายละเอียดอุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะ ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.2.1.1 เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมยี่ห้อ KUBOTA รุ่น RT-140 หัวฉีดระบบ Direct Injection ดังรูปที่ 4-3 รายละเอียดของข้อมูลทางเทคนิคแสดงในตารางที่ 4-1



รูปที่ 4-3 แสดงเครื่องยนต์ดีเซลฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง

ตารางที่ 4-1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์	คูโบต้า RT -140 DI
ชนิด	4 จังหวะ, ระบายความร้อนด้วยน้ำ
ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง	ฉีดเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง (Direct Injection)
องศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	20 องศา ก่อนศูนย์ตายบน
กลไกกลวาล์ว	ควบคุมแบบเชิงกล (Mechanical)
จำนวนลูกสูบ	1 ลูกสูบ แนวนอน
ขนาดลูกสูบ	97 มิลลิเมตร
ช่วงชัก	96 มิลลิเมตร
ปริมาตรระบบออกสูบ	709 cc
อัตราส่วนการอัด	18:1
กำลังพิกัด	12.5 kW @ 2400 rpm
กำลังสูงสุด	14 kW @ 2400 rpm

ก่อนการทดสอบได้ทำการถอดและเปลี่ยนส่วนชุดกำลังอัด ระบบจ่ายเชื้อเพลิง และระบบกลวาล์วใหม่ซึ่งได้แก่ ลูกสูบ ชุดแหวน ปลอกสูบ ก้านสูบ แบริ่งก้านสูบ สลักลูกสูบ ฝาสูบ วาล์วไอดี

ดี วาล์วไอเสีย สปริงวาล์ว หัวฉีด ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง ท่อแรงดันสูง เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการเปรียบเทียบผลกระทบสมรรถนะอันเนื่องมาจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่างชนิดในการศึกษาครั้งนี้

#### 4.2.1.2 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 4-4 เครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบจะถูกนำมาต่อเข้ากับไดนาโมมิเตอร์โดยใช้เพลลาในการเชื่อมต่อกับ Universal Joint 2 ชุด ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ วัดได้จาก เซ็นเซอร์วัดความเร็วที่ไดนาโมมิเตอร์ ความแม่นยำในการวัดอัตราเร็วแบบดิจิทัลคือ  $\pm 1$  รอบต่อนาที

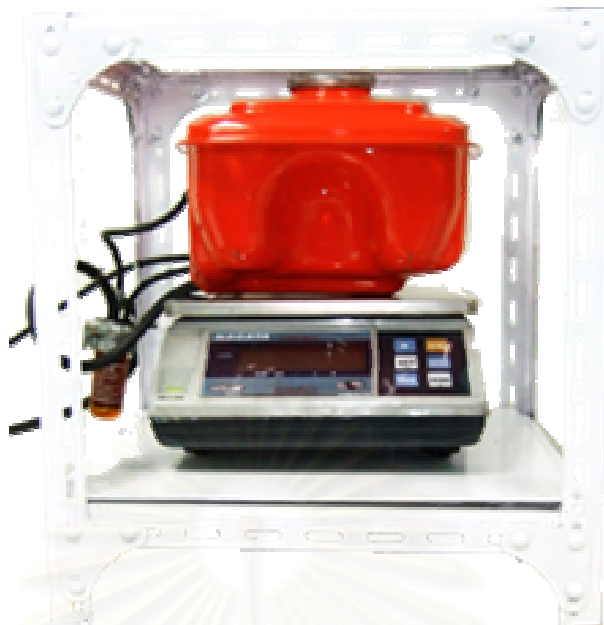


รูปที่ 4-4 แสดงชุดไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ  
(ซ้าย) แสดงไดนาโมมิเตอร์ ยี่ห้อ Tokyokoki Schenck รุ่น W - 40  
(ขวา) แสดงชุดควบคุม ยี่ห้อ Tokyokoki Schenck

#### 4.2.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการทดสอบสมรรถนะใช้ เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ NAGATA รุ่น FATH-12V ดังรูปที่ 4-5 ความสามารถในการรับน้ำหนัก 60,000g ความละเอียดในการวัด 2g คู่กับการจับเวลาน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ลดลงของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบและนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



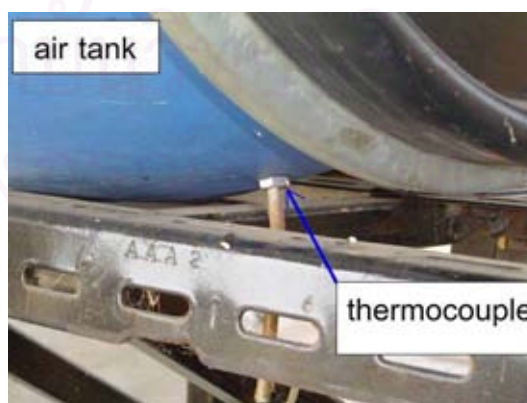


รูปที่ 4-5 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในการวัดอัตราการกินน้ำมัน

#### 4.2.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

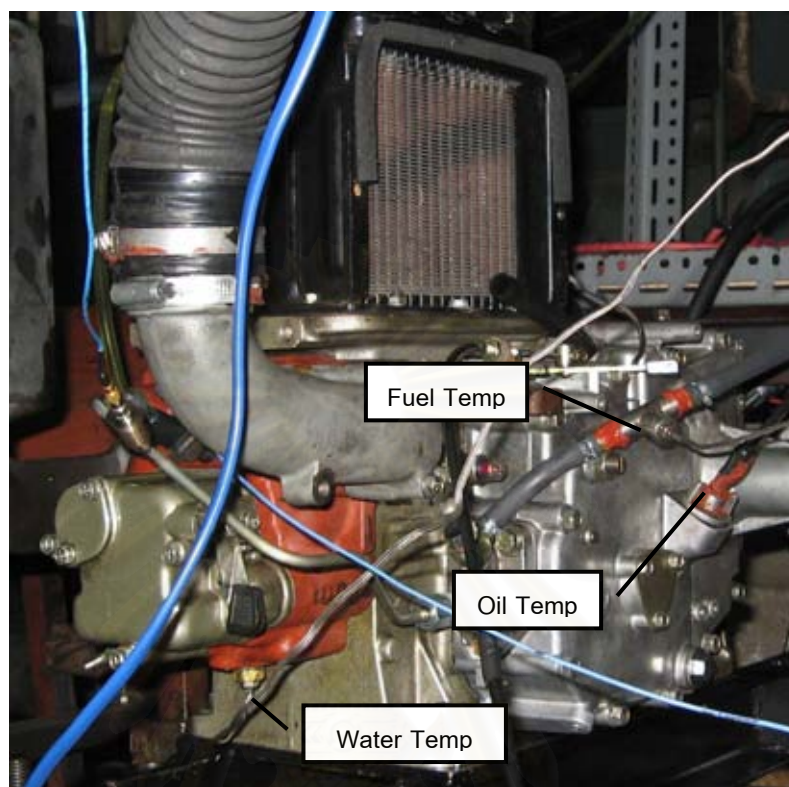
การวัดอุณหภูมิใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 มิลลิเมตร ใช้งานร่วมกับตัวอ่านค่ายี่ห้อ DIGICON รุ่น IS-7 โดยสัญญาณที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิล จะส่งไปยังตู้แปลงสัญญาณ(Data Logger) ซึ่งรวมอยู่ในชุดควบคุมไดนามิเตอร์ยี่ห้อ Tokyokoki Schenck และส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล โดยตัวแปรอุณหภูมิการทำงาน ที่ทำการวัดมีดังนี้

ก. อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ทำการติดตั้งไว้ภายในถังพักอากาศ ช่วงระหว่าง orifice plate กับกรองอากาศ ดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 แสดงจุดที่ติดตั้งหัววัดเทอร์โมคัปเปิลในถังพักอากาศ

ข. คุณหมมิน้ำหล่อเย็น ทำการติดตั้งไว้ที่ปลั๊กถ่ายน้ำหล่อเย็นที่อยู่ด้านล่างของฝาสูบ ดังรูปที่ 4-7

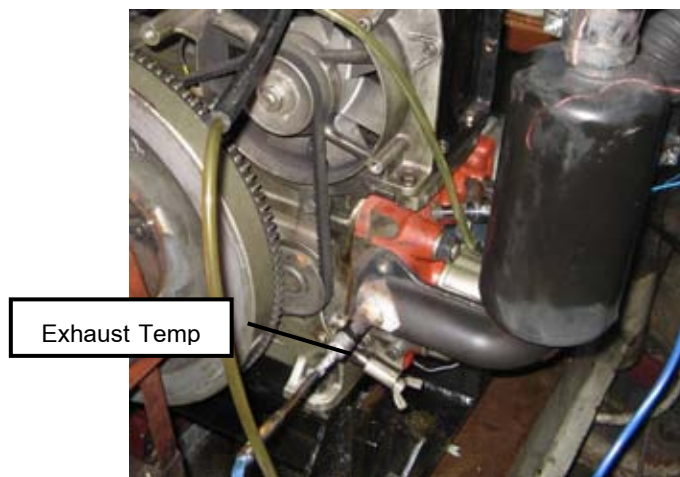


รูปที่ 4-7 แสดงการติดตั้งหัววัดเทอร์โมคัปเปิลที่ปลั๊กถ่ายน้ำหล่อเย็นบริเวณด้านล่างของฝาสูบ

ค. คุณหมมิน้ำมันหล่อลื่น ทำการติดตั้งหัววัดเทอร์โมมิเตอร์ไว้ภายในตัวกรองน้ำมันหล่อลื่น โดยหัววัดแช่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นตลอดเวลา ไม่สัมผัสกับผิวของเส้นสูบลูกที่เป็นอ่างน้ำมันหล่อลื่น ดังรูปที่ 4-7

ง. คุณหมมิไอเสีย ทำการติดตั้งหัววัดไว้ที่ท่อไอเสียหลังจากออกจากห้องเผาไหม้ ประมาณ 10 เซนติเมตรดังรูปที่ 4-8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-8 แสดงหัววัดของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ท่อไอเสีย

#### 4.2.1.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ ทำการวัดด้วย orifice ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณทางเข้าถังพักอากาศ ดังรูปที่ 4-9 โดยถังพักอากาศจะช่วยลดการกระเพื่อมของอากาศที่ไหลผ่าน orifice เนื่องจากจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ และวัดค่าความดันตกคร่อม Orifice plate เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้ inclined Manometer ดังรูปที่ 4-10 โดยรายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข



รูปที่ 4-9 แสดงถังพักอากาศและการติดตั้ง orifice plate



รูปที่ 4-10 แสดง inclined manometer

#### 4.2.1.6 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ (Smoke Meter)

เครื่องมือวัดค่าควันดำเป็นแบบกระดาษกรอง ยี่ห้อ Sokken ดังแสดงในรูปที่ 4-11 ประกอบด้วย

1. หัวดูดไอเสีย ยี่ห้อ Sokken เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างค่าควันดำจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลตามมาตรฐานการเก็บตัวอย่างไอเสียของ Bosch แสดงในรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-11 แสดงภาพชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ

(ภาพซ้าย) ปัมดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00

(ภาพขวา) เครื่องอ่านค่าควันดำ ยี่ห้อ Sokken รุ่น GSM – 3DPM

2. เครื่องอ่านค่าควันดำ ยี่ห้อ Sokken รุ่น GSM – 3DPM ดังแสดงในรูปที่ 4-11 เป็นเครื่องอ่านค่าความเข้มของเขม่าดำบนกระดาษกรอง แสดงค่าด้วยตัวเลขดิจิทัลเรืองแสง มีสเกลอยู่ระหว่าง 0 – 10 Bosch Unit Number ความละเอียด 0.02 ตัวเลข 0 แสดงค่ามิววัดที่ทดสอบขาวบริสุทธิ์ ตัวเลขแสดงค่า 10 หมายความว่ามิววัดที่ทดสอบนั้น ดำสนิท หรือมีความดำ 100 %



ในหัวอ่านค่าควันดำ ภายในจะประกอบด้วย Photo Element รูปวงแหวนตรงกลางมีหลอดไฟ และมีสายสัญญาณส่งเข้าเครื่องอ่านค่า หลักการทำงานคือเมื่อกดสวิทช์อ่านค่า หลอดไฟจะติด แสงที่พุ่งออกไปเมื่อกระทบกับผิววัตถุ (กระดาษกรอง) จะมีการสะท้อนกลับ Photo Element จะรับแสงสะท้อนนั้นแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านตามสายไฟฟ้าไปยังตัวอ่านค่าควันดำและแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขเรื่องแสง ในกรณีที่กระดาษกรองขาวบริสุทธิ์ แสงจะสะท้อนกลับมาหมด Photo Element จะส่งสัญญาณเป็นกระแสไฟเต็มๆ ตัวเลขจะแสดงค่า 0 ถ้ากระดาษกรองดำสนิท จะดูดกลืนแสงไว้ทั้งหมด ไม่มีการสะท้อนกลับ จึงไม่มีสัญญาณไฟส่งไปยังเครื่องวัด ตัวเลขจะแสดงค่า 10 ดังแสดงในรูปที่ 4-12



รูปที่ 4-12 แสดงตัวอย่างกระดาษกรองที่ใช้ในการวัดค่าควันดำเปรียบเทียบกับ Bosch Unit Number

#### 4.2.1.7 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ(Ambient Conditions)

ระหว่างการทดสอบสมรรถนะได้ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของบรรยากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งแบบปรอทตามลำดับ ส่วนความดันบรรยากาศ วัดโดยใช้บารอมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4-13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4-13 แสดงภาพบารอมิเตอร์(ซ้าย) และเทอร์โมมิเตอร์(ขวา)

#### 4.2.2 วิธีการทดสอบสมรรถนะ

แบ่งออกเป็น 3 กิจกรรม คือ

ก. การ Run in

หลังจากเปลี่ยนชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ใหม่ ได้ทำการ run in เครื่องยนต์โดยใช้วัฏจักรภาระตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

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

ภายหลังเสร็จสิ้นการ Run in ได้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ก่อนเริ่มทำการทดสอบ การทดสอบสมรรถนะเริ่มจากการใช้น้ำมันดีเซล จากนั้นจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องและทำการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยทำการเดินเครื่องยนต์ ช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อเป็นการไล่น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ทดสอบก่อนหน้านี้

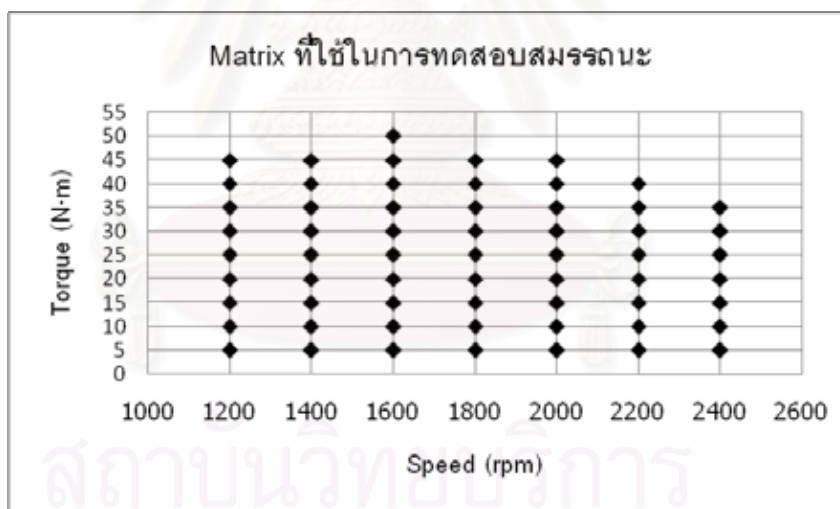
ข. การทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด (Full-Load Test)

ก่อนทำการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด จะทำการ warm up เครื่องยนต์จนระบบน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิทำงาน คือไม่ต่ำกว่า 70 °C จากนั้นเริ่มทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าแรงบิดกับความเร็วรอบ ที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) เริ่มจากเพิ่มคันเร่งให้เครื่องยนต์หมุนเปล่าโดยไม่มีภาระจนความเร็วรอบอยู่ที่ 2,550 รอบต่อนาที จัดให้เป็นตำแหน่งที่คันเร่งเปิดสุด (ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต) จากนั้นเริ่มใส่ภาระให้กับเครื่องยนต์ รอบของเครื่องยนต์จะลดลงเรื่อยๆตามภาระที่เพิ่มให้กับเครื่องยนต์ จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2,400 รอบต่อ

นาที่ รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว ที่จุดนี้คือสภาวะสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ความเร็ว 2,400 รอบต่อนาที แล้วจึงเริ่มบันทึกข้อมูลจากการวัดค่าต่างๆที่ส่งเข้ามาที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล (Data Locker) ของโปรแกรมที่ได้ออกแบบสำหรับการทดสอบโดยเฉพาะ ข้อมูลที่ทำการวัด ได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์(รอบต่อนาที) ค่าแรงบิด(กิโลกรัมเมตร) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น(องศาเซลเซียส),อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น(องศาเซลเซียส),อุณหภูมิไอเสีย(องศาเซลเซียส),อุณหภูมิไอดี(องศาเซลเซียส), อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ(มิลลิบาร์), อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าควันดำ จากนั้นเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดมาที่ 2,400 รอบต่อนาที รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวแล้วจึงบันทึกค่า และกระทำเช่นเดียวกันที่ความเร็ว 2,200 2,000 1,800 1,600 1,400 และความเร็ว 1,200 รอบต่อนาที จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load)

#### ค. การทดสอบสภาวะภาระบางส่วน (Partial Load Test)

จากความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างภาระสูงสุดและความเร็วรอบที่ได้จากการทดสอบภาระสูงสุดจะถูกนำมากำหนดจุดในการทดสอบ (Matrix) ที่ความเร็วและที่ กำลังไฟฟ้าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-14



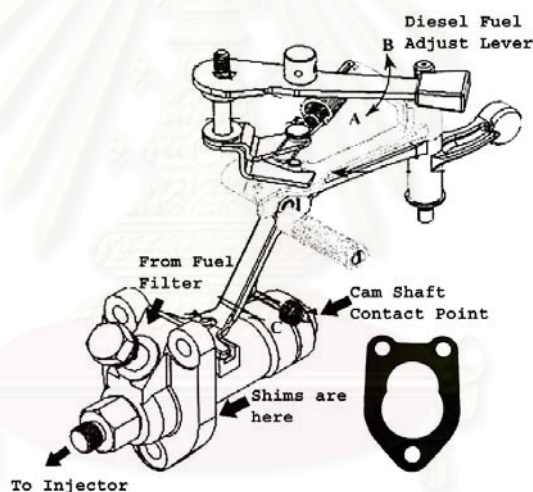
รูปที่ 4-14 แสดง matrix ที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบจะทำตามจุดทดสอบที่กำหนดในรูปที่ 4-14 เริ่มที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที ที่ค่าแรงบิด 5 นิวตัน-เมตร เมื่อปรับเครื่องยนต์จนตรงตามจุดทำงานที่ต้องการแล้ว รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว จึงเริ่มทำการวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง พร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิ, ความดันต่างๆ และค่าควันดำ จากนั้นจะเปลี่ยนจุดทดสอบโดยปรับชุดควบคุมเพื่อเพิ่มแรงบิด (เพิ่มทีละ 5 N-m จนถึงค่าแรงบิดสูงสุด) และปรับคันเร่งให้ได้ความเร็วรอบตามต้องการ (2400 รอบต่อนาทีและลดลงจนถึง 1200 รอบต่อนาที) กระทำเช่นเดียวกันจนครบตามจุดทดสอบ

ที่ได้กำหนด นำค่าแรงบิดและอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงไปคำนวณปรับค่าที่สภาวะอากาศมาตรฐาน แล้วนำค่าที่ปรับแล้วมาแสดงในรูปแผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด ความเร็วรอบ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

#### 4.2.3 การทดสอบเพื่อศึกษาอิทธิพลของจังหวะการฉีดน้ำมันดีเซล (Injection Timing)

ได้ทำการเปลี่ยนค่าองศาการฉีดน้ำมันดีเซล จากเดิมเครื่องยนต์คูโบต้า รุ่น RT140 จะเริ่มฉีดน้ำมันดีเซลที่องศาเพลลาข้อเหวี่ยงที่ประมาณ 20 deg BTDC (ข้อมูลในคู่มือ) ซึ่งมีชิมรองเรือนปั๊มฉีดน้ำมันดีเซลจำนวนสองแผ่น (แบบหนา 0.15 mm.) โดยได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์เมื่อปั๊มฉีดน้ำมันดีเซลทำการฉีดแบบล่วงหน้าและแบบช้ากว่าตำแหน่งปกติที่ตั้งมาจากผู้ผลิต (Original Engine Manufacturing, OEM setting) สามารถปรับตำแหน่งองศาการฉีดน้ำมันดีเซลได้จากการเพิ่ม/ลดจำนวนแผ่นชิมที่รองเรือนปั๊มฉีดน้ำมันดีเซล ดังรูปที่ 4-15



รูปที่ 4-15 แสดงองค์ประกอบปั๊มน้ำมันดีเซลและตำแหน่งติดตั้งของชิมรองเรือนปั๊มน้ำมันดีเซล [35]

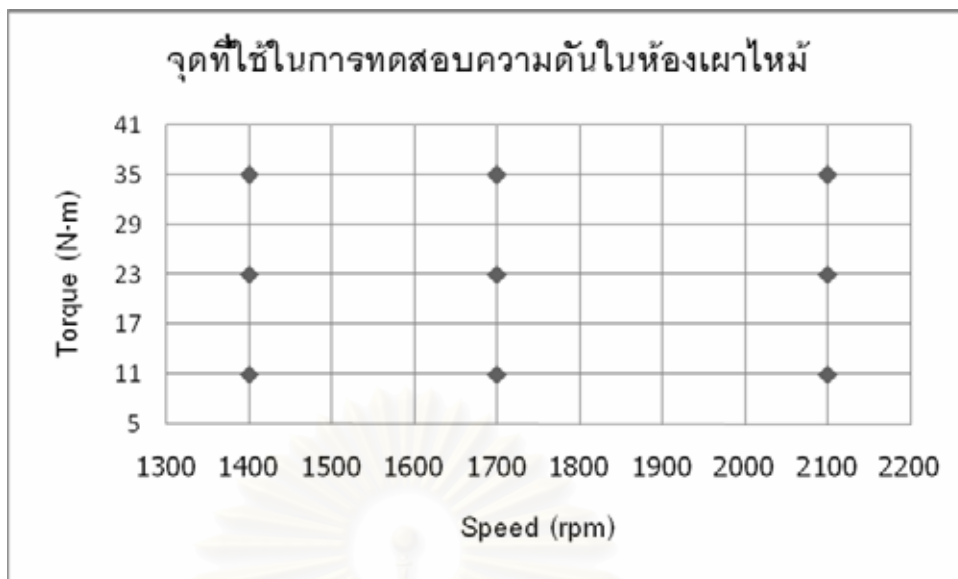
ที่ด้านท้ายของปั๊มน้ำมันดีเซลเป็นลูกกลิ้งที่ทำหน้าที่ดัน plunger หรือลูกสูบอัดน้ำมันภายในตัวเรือนปั๊ม ซึ่งที่ลูกกลิ้งนี้เองเป็นจุดสัมผัสกับ camshaft หรือเพลาลูกเบี้ยว ซึ่งจะควบคุมจังหวะหรือองศาการฉีดน้ำมันดีเซลโดยตรง(ผ่านการส่งถ่ายการเคลื่อนที่มาจากการหมุนของเพลลาข้อเหวี่ยง) ดังนั้นหากตัวเรือนปั๊มถอยห่างออกจาก camshaft จะทำให้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งของปั๊มน้ำมันดีเซล กับ camshaft มากขึ้น ทำให้ลูกเบี้ยวสัมผัสลูกกลิ้งปั๊มช้าลง หมายถึง retarding องศาการฉีดน้ำมันดีเซลล่าช้า ทำให้ตำแหน่งการฉีดเกิดขึ้นที่องศาเพลลาข้อเหวี่ยงไกลกับตำแหน่ง TDC มากขึ้นกว่าเดิม

หากตัวเรือนปั๊มอยู่ชิดกับ camshaft มากขึ้นจะทำให้ camshaft สัมผัสลูกกลิ้งได้เร็วขึ้น หมายถึง advancing องศาการฉีดน้ำมันล่วงหน้ามากขึ้น ตำแหน่งการฉีดเกิดขึ้นที่องศาเพลลาข้อเหวี่ยงที่ห่างจากตำแหน่ง TDC มากขึ้นนั่นเอง และในที่นี่ใช้วิธีการปรับองศาการฉีดอย่างง่ายด้วยจำนวนของแผ่นชิมรองเรือนปั๊ม (ดูรูปที่ 4-15 ประกอบ) ซึ่งผู้ผลิตเครื่องยนต์ได้สนับสนุนข้อมูลเชิงเทคนิคว่าแผ่นชิมรองเรือนปั๊มมีด้วยกันสองขนาดความหนา ได้แก่ แผ่นบาง ( $t = 0.100 \text{ mm.}$ ) และแบบแผ่นหนา ( $t = 0.150 \text{ mm.}$ ) โดยขนาดหนึ่งแผ่นบางสามารถปรับองศาการฉีดน้ำมันดีเซลได้ประมาณ 1 องศาเพลลาข้อเหวี่ยง และชิมแผ่นหนาจำนวนหนึ่งแผ่นสามารถปรับองศาการฉีดน้ำมันดีเซลได้ประมาณ 1.5 องศาเพลลาข้อเหวี่ยง สามารถสรุปวิธีการปรับองศาการฉีดน้ำมันดีเซลด้วยจำนวนแผ่นชิมรองเรือนปั๊มได้ดังนี้

ตารางที่ 4-2 แสดงองศาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทดสอบและการปรับเพิ่ม/ลดจำนวนแผ่นชิมที่รองเรือนปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง

No.	องศาการฉีดเชื้อเพลิง	การเพิ่ม/ลดจำนวนแผ่นชิมที่รองเรือนปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	สัญลักษณ์ที่ใช้
1	ล่วงหน้า	ลด 3 แผ่น (ชิม 1 แผ่น)	B_23BTDC
2	มาตรฐาน	ไม่เพิ่มหรือลดจำนวนชิม(ชิม 4 แผ่น)	B_20BTDC
3	ล่าช้า	เพิ่ม 3 แผ่น (ชิม 7 แผ่น)	B_17BTDC

สำหรับจุดที่ใช้ในการทดสอบเพื่อศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดน้ำมันดีเซล ได้ดัดแปลงวัฏจักรการทดสอบตามมาตรฐาน ESC Test Cycle กล่าวคือทำการทดสอบที่ความเร็วรอบเช่นเดียวกับ ESC Test Cycle คือ 1400, 1700, 2100 rpm และกำหนดภาระที่ทดสอบสามระดับ ได้แก่ ที่ภาระต่ำ(แรงบิดเครื่องยนต์ 11 N-m) ที่ภาระปานกลางถึงสูง(แรงบิดเครื่องยนต์ 23 N-m และ 35 N-m ตามลำดับ) ดังแสดงในรูปที่ 4-16



รูปที่ 4-16 แสดงจุดในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แบบ EMA Test

แต่ในกรณีของการทดสอบเพื่อศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ภาระสูงสุดนั้นจะดึงคั้นแรงน้ำมันเชื้อเพลิงถึงสุดทั้งกรณีเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ไปที่ 2550 รอบต่อนาทีที่สภาวะไม่มีภาระ หรือสภาวะตัวเปล่า โดยไม่มีการขยับคั้นเร่งอีก จึงทำการเพิ่มภาระให้แก่เครื่องยนต์เพื่อให้ได้ความเร็วรอบ 1,200, 1,400, 1,700, 2,100 และ 2,400 รอบต่อนาที

#### 4.3 การทดสอบความทนทาน (Durability Test)

เพื่อให้ทราบถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ก่อนและหลังจะมีการปรับปรุงเครื่องยนต์ ให้มีสมรรถนะที่เหมาะสมกับการใช้งาน และตรวจสอบการลดลงของสมรรถนะเมื่อผ่านการใช้งานเป็นเวลานาน จึงต้องมีการทดสอบสมรรถนะทำให้สามารถอ้างอิงได้ การทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะเพื่อให้ครอบคลุมทุกจุดในการทำงาน กล่าวคือ การทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด และการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วน

การทดสอบความทนทาน เป็นการทดสอบเพื่อหาผลกระทบที่ขึ้นเกิดกับเครื่องยนต์เมื่อนำเครื่องยนต์ไปใช้งานจริงภายใต้ภาระจำลองในระยะเวลาที่กำหนด ในการทดสอบความทนทานนี้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และแผงหลอดไฟเป็นอุปกรณ์สร้างภาระให้กับเครื่องยนต์ตลอดการทดสอบความทนทาน

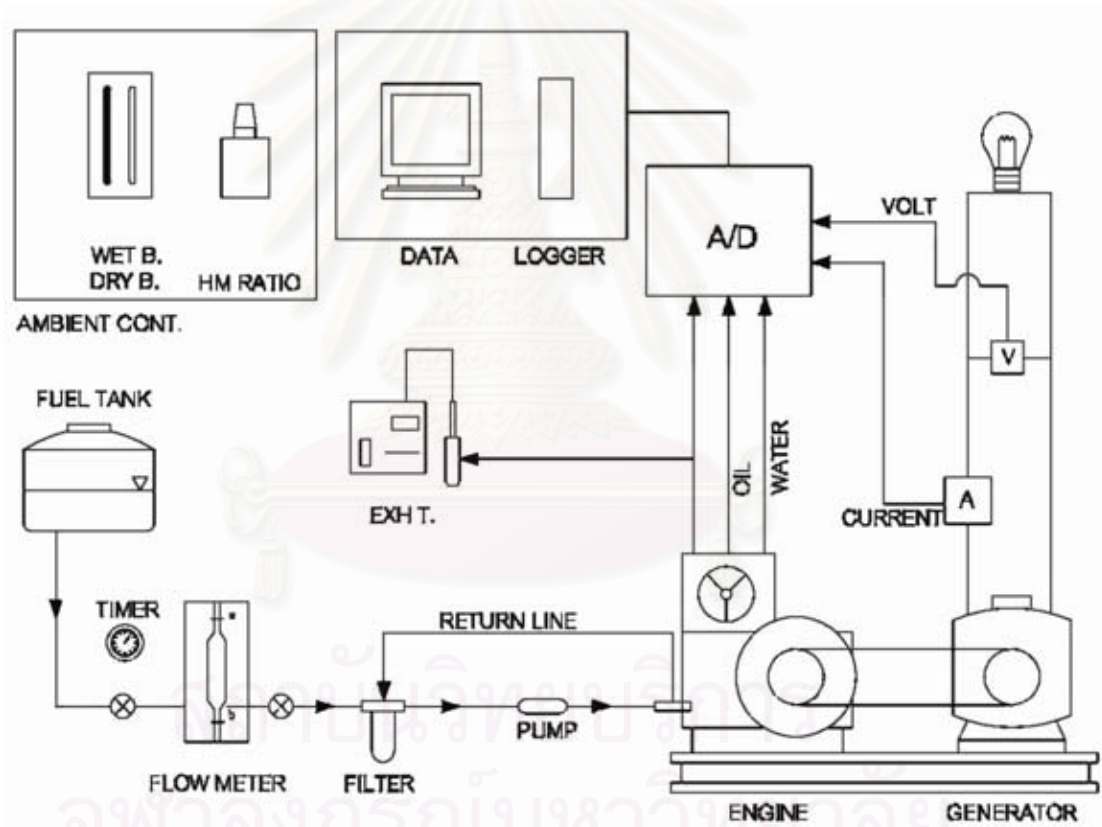
ก่อนการทดสอบความทนทานได้ทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ทดแทนชิ้นส่วนเดิมของเครื่องยนต์ ได้แก่ ลูกสูบ แหวนสูบ สลักลูกสูบ แบร้งก้านสูบ วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย ชุดหัวฉีด ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง และทำการซั่งน้ำหนักรชิ้นส่วน พร้อมกับถ่ายภาพสภาพฝาสูบ บ่าวาล์ว ผนัง



กระบอกสูบ เพื่อใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน นอกจากนี้ยังทำการทดสอบความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดใหม่ก่อนการทดสอบอีกด้วย

ระหว่างการทดสอบความทนทานจะทำการบันทึกข้อมูลสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ได้แก่ อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิอากาศในถังพักอากาศ ความดันตกคร่อมในถังพักอากาศ อุณหภูมิและความดันอากาศภายนอก อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าควันดำ และบันทึกข้อมูลภาวะเครื่องยนต์จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประกอบด้วย ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า พร้อมทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบของเครื่องยนต์ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติและตรวจหาโลหะตกค้างในน้ำมันหล่อลื่น

#### 4.3.1 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 4-17 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การทดสอบความทนทานเป็นการทดสอบเพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์เมื่อเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ในการทำงานจริงภายใต้สภาวะภาระจำลองในระยะเวลาที่กำหนด ในการทดสอบความทนทานนี้จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแผงหลอดไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์สร้างภาระจำลองให้กับเครื่องยนต์ระหว่างช่วงระยะเวลาการทดสอบ แผนผัง

แสดงการติดตั้งเครื่องยนต์ และชุดปั๊มน้ำแสดงในรูปที่ 4-17 โดยแต่ละอุปกรณ์ของชุดทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.3.1.1 เครื่องยนต์

ใช้เครื่องยนต์เดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

#### 4.3.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

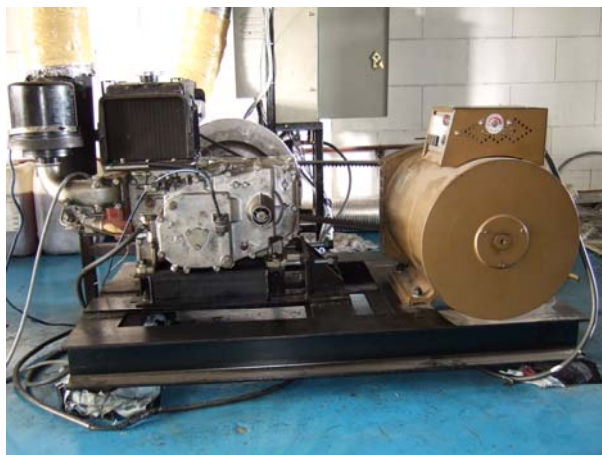
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นแบบกระแสสลับ (A.C. Synchronous Generators) ยี่ห้อ Kodai ชนิด สร้างกระแสไฟฟ้าโดยให้สนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดทองแดง (stationary armature) ดังมีรายละเอียดทางเทคนิคดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กำลัง (kW)	10
แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt)	230/115
กระแสไฟฟ้า (A.)	43.5/87
ความถี่ (Hz)	50
ความเร็วรอบ (rev/min)	1500
$\cos \varphi$	1.0
Voltage (V.)	80
$I_{excite}$ (A.)	4.1 ; excite current
INS.CL.	B
RAT.	S1
Phase	1

#### 4.3.2.3 มู่เล่ และสายพาน

จากรูปที่ 4-18 ทำการติดตั้ง มู่เล่ ที่ล้อช่วยแรงของเครื่องยนต์และติดตั้ง มู่เล่ อีกตัวหนึ่งที่ปลายเพลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วใช้สายพานเป็นตัวส่งถ่ายกำลังระหว่าง มู่เล่ ทั้งสอง และเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 1,500 รอบต่อนาที แต่การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์นั้นต้องทดสอบที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ดังนั้นจึงต้องทดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบคงที่ 1,500 รอบต่อนาที โดยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของมู่เล่เครื่องยนต์เท่ากับ 5 นิ้ว ไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 8 นิ้ว



รูปที่ 4-18 แสดงการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

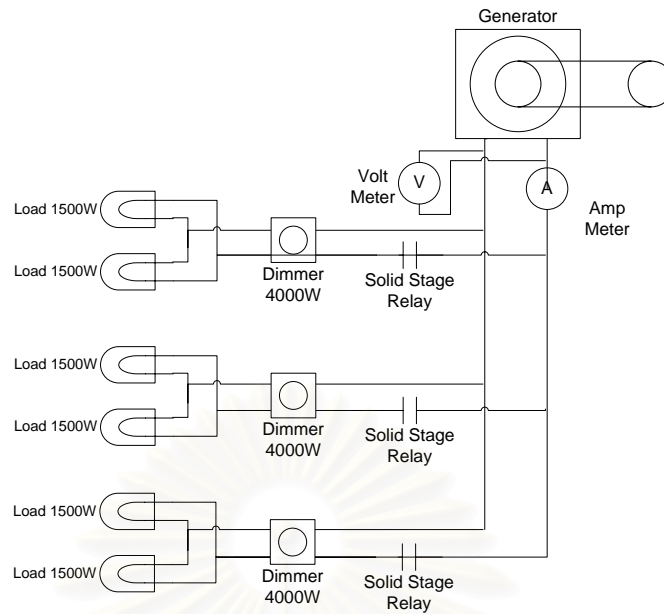
#### 4.3.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 มิลลิเมตร ติดตั้ง ณ ตำแหน่งเดียวกับการทดสอบสมรรถนะ โดยตัวแปรอุณหภูมิการทำงาน ที่ทำการวัดมีดังนี้

- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ติดตั้งในหม้อน้ำบริเวณระหว่างหม้อน้ำกับโพรงน้ำในเสื้อสูบของเครื่องยนต์
- อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ติดตั้งผ่านช่องเสียบก้านวัดปริมาณระดับน้ำมันหล่อลื่น
- อุณหภูมิไอเสีย ติดตั้งบริเวณท่อไอเสียตำแหน่งก่อนหม้อพักท่อไอเสีย โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล รุ่น JBS-3310 แบบหัวสกรูขันยึดติดกับผิว ชนิดของไส้เป็น type K (Chromel – Alumel,CA) เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 มิลลิเมตร ขนาดสกรู W1/4

#### 4.3.1.5 แผงหลอดไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะใช้หลอดไฟฟ้า Halogen ชนิดความถี่ 50 Hz. 1500W ความต่างศักย์ 220 โวลท์ ซึ่งจัดเรียงเป็นแผง เพื่อสร้างภาระให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 4-19 แสดงแผนภูมิหลอดไฟที่ใช้เป็นภาระทางไฟฟ้าให้กับเครื่องยนต์ รวมทั้งสิ้นจำนวน 6 หลอด โดยวิธีการปรับภาระทางไฟฟ้าจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์หรี่ไฟ (dimmer) ที่ผู้ควบคุมภาระของเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 4-20 เพื่อปรับภาระให้ได้ตามวัตถุประสงค์การทำงานที่กำหนดไว้



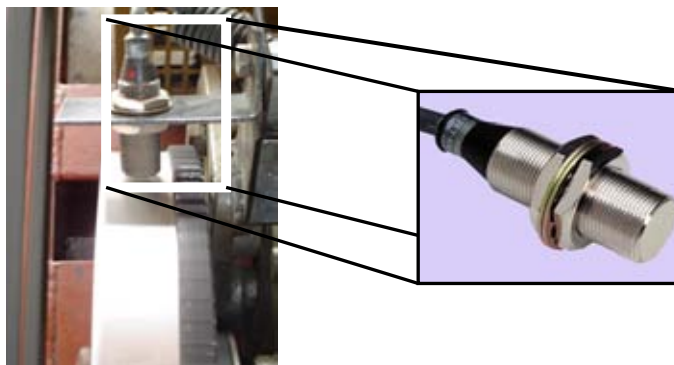
รูปที่ 4-19 แสดงแผนภูมิแผงโหลดไฟที่ใช้เป็นภาระของเครื่องยนต์



รูปที่ 4-20 แสดงตู้ควบคุมภาระของเครื่องยนต์

#### 4.3.1.6 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ

การวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ใช้อุปกรณ์การวัดแบบ Aluminum Detecting Proximity Sensor ยี่ห้อ Omron รุ่น E2EY ดังแสดงในรูปที่ 4-21 ซึ่งติดตั้งที่ตำแหน่ง ล้อช่วยแรง โดยสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับวัดความเร็วรอบ จะส่งไปยังตู้แปลงสัญญาณ(Data Logger) และส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล



รูปที่ 4-21 แสดงตัวตรวจจับวัดความเร็วรอบ และตำแหน่งการติดตั้ง

#### 4.3.1.7 ตู้แปลงสัญญาณ (Data Logger)

ตู้แปลงสัญญาณ มีหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ความเร็วรอบ ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับ และกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วแปลงสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณดิจิทัลและส่งต่อไปยัง คอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลที่ได้ ดังรูปที่ 4-22 โดยตู้แปลงสัญญาณมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 4-22 แสดงตู้แปลงสัญญาณ (Data Logger)

##### ก. อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ(Current Transformer)

อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับยี่ห้อ Nitech Class 3 ดังรูปที่ 4-23 มีหน้าที่รับกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแส แล้วแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้ในช่วง 0-50Aac ไปเป็น 0-5Aac





รูปที่ 4-23 แสดงอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ Nitech

ข. อุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นสัญญาณอนาล็อก(Transmitter)

อุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นสัญญาณอนาล็อกยี่ห้อ Primus ดังรูปที่ 4-24 มีหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์การวัดต่างๆ แล้วเป็นสัญญาณอนาล็อก จำนวน 8 ตัว ประกอบด้วย



รูปที่ 4-24 แสดงอุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นสัญญาณอนาล็อก Primus

- รุ่น TM-001 Current Transmitter มีหน้าที่รับสัญญาณกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ในช่วง 0-5 Aac แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก 0-5 Vdc
- รุ่น TM-002 Voltage Transmitter มีหน้าที่รับสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วง 0-250 Vac แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก 0-5 Vdc
- รุ่น TM-004 Thermocouple Transmitter มีหน้าที่รับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก 0-5 Vdc จำนวน 5 ตัว
- รุ่น TM-005 Tachometer Transmitter มีหน้าที่รับสัญญาณจากตัวตรวจจذبวัดความเร็วรอบในช่วง 0-3000 รอบต่อนาที แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก 0-5 Vdc

### ค. ไอซี

ไอซี ยี่ห้อ Philips เบอร์ PCF8591P มีหน้าที่รับสัญญาณ อนาคตจากอุปกรณ์แปลงสัญญาณPrimus แล้วแปลงเป็นสัญญาณ ดิจิตอล เพื่อส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์

### ง. อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 4-25 มีหน้าที่จับเวลาในการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ประกอบด้วย หลอดแก้วปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเซนเซอร์ตรวจจับระดับของเหลวชนิด Optical ยี่ห้อ Omron รุ่น E3X-DA11 ร่วมกับแอมพลิฟายเออร์ โดยค่าที่ได้ส่งต่อไปยัง คอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล



รูปที่ 4-25 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ซึ่งหลักการทำงาน คือ จากรูปที่ 4-25 เมื่อระดับน้ำมันจะเคลื่อนที่ลงมาถึงเซนเซอร์ตัวบน (a) นาฬิกาจับเวลาจะเริ่มทำงาน เมื่อระดับน้ำมันลดลงมาถึงเซนเซอร์ตัวล่าง (b) นาฬิกาจะหยุด แล้ววงจรอิเล็กทรอนิกส์จะส่งให้โซลินอยด์วาล์วเปิดหลังจากระดับน้ำมันผ่านเซนเซอร์ตัวล่างไปแล้ว 0.1 วินาที น้ำมันจากถังก็จะไหลกลับเข้าไปในหลอดวัดอีกโดยอัตโนมัติ ช่วงเวลาที่วัดได้นำมาใช้ในการคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตรดังสมการที่ 4.1

$$\dot{V}_{in} = \frac{V_{meas}}{t} \quad (4.1)$$

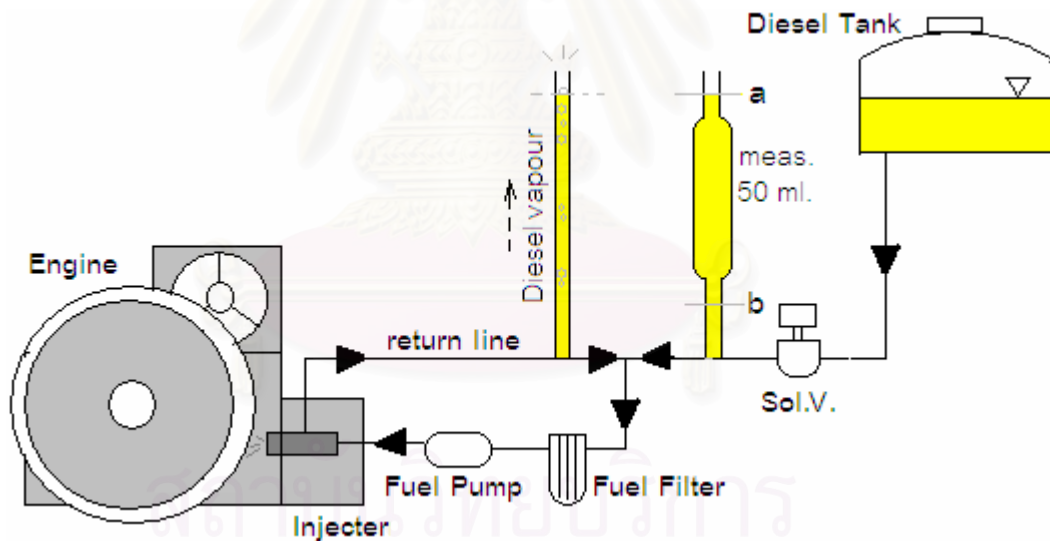
โดยที่  $\dot{V}_{in}$  คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำมันดีเซล (cc/s)  
 $V_{meas}$  คือ ปริมาตรที่ใช้วัด (cc)  
 $t$  คือ ช่วงเวลาที่นาฬิกาจับเวลาวัดได้ (s)

โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและบันทึกค่าไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรม และยังแสดงค่าที่หน้าจอกอมพิวเตอร์ด้วย ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงนี้มีการต่อเส้นทางเดินของน้ำมัน ดังแผนผังรูปที่ 4-26 ทั้งนี้เพื่อกำจัดความผิดพลาดจากการวัดที่อาจเกิดขึ้นจากน้ำมันที่ไหลกลับจากหัวฉีด (return line) และเพื่อกำจัดความผิดพลาดจากการวัดที่อาจเกิดจากไอน้ำมันในระบบทางเดินน้ำมันด้วย ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ได้ทำการติดตั้งบริเวณหลังไส้กรองน้ำมัน

อัตราการสิ้นเปลืองโดยมวลของน้ำมันดีเซลหาได้จากสมการที่ 4.2

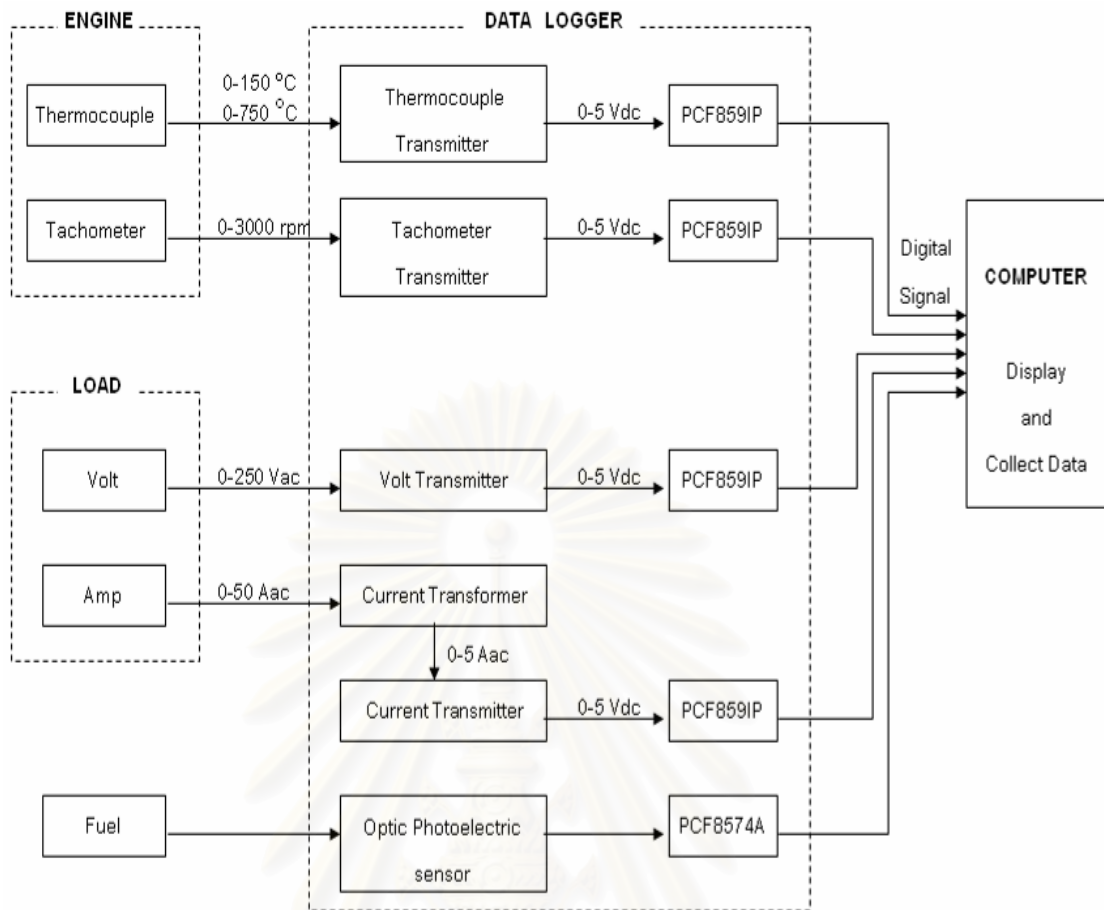
$$m_f = \frac{\rho_f V}{t} \quad (4.2)$$

โดยที่  $m_f$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันดีเซล (kg/s)  
 $\rho_f$  คือ ความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล ( $\text{kg/m}^3$ )

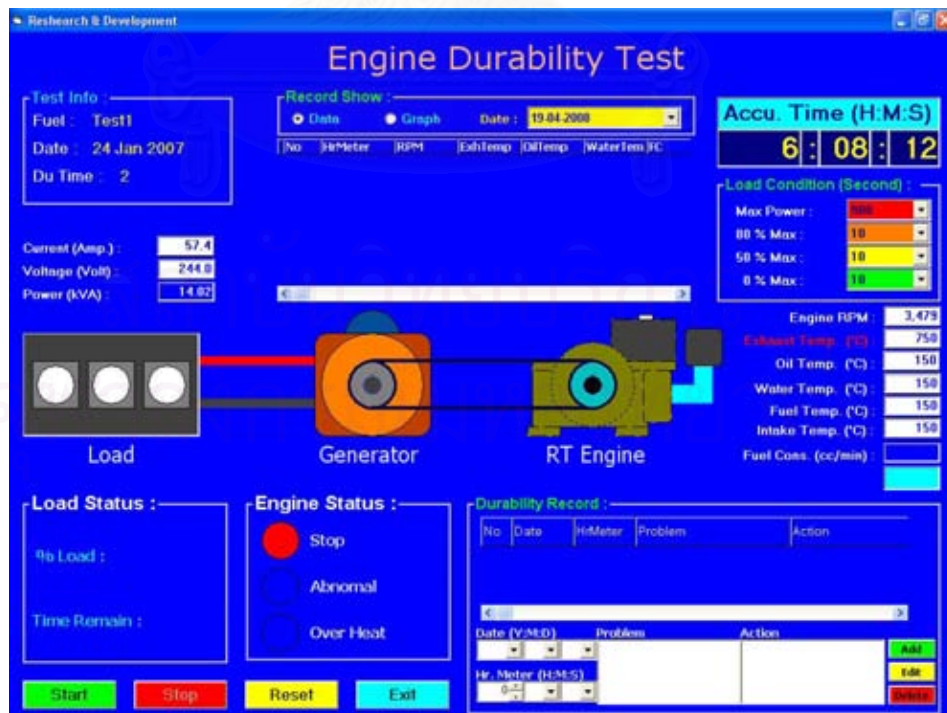


รูปที่ 4-26 แสดงแผนผังการต่อระบบน้ำมันดีเซล

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้น เป็นอุปกรณ์หลักที่อยู่ในตู้แปลงสัญญาณ(Data Logger) โดยจะแสดงหลักการทำงานเป็นแผนผังการทำงาน(Flow Chart) ดังรูปที่ 4-27 จากนั้นสัญญาณที่ออกจากตู้แปลงสัญญาณจะส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Innovative Diesel Engine Test ซึ่งเขียนโดยโปรแกรม Visual Basic ดังรูปที่ 4-28



รูปที่ 4-27 แสดงแผนผัง (Flow Chart) การทำงานของระบบการวัด อาน และบันทึกค่า



รูปที่ 4-28 แสดงโปรแกรม Innovative Diesel Engine Test

#### 4.3.1.8 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ (Smoke Meter)

เครื่องมือวัดค่าควันดำเป็นแบบกระดาษกรอง ยี่ห้อ BOSCH และ บั๊มดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00 เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างค่าควันดำจากท่อ ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ภายในตัวบั๊มจะประกอบด้วย

- ครอบงอกบั๊ม ภายในมีลูกสูบที่มีปลายช่องสำหรับใส่กระดาษกรอง
- สปริงคั่นชั๊กต่อจากลูกสูบ (ตัวสปริงถูกหุ้มด้วยปลอกยาง)
- ลูกยางบีบ มีท่อต่อลมเข้ากับตัวล้อคสปริง ที่หัวครอบงอกบั๊ม
- หัวดูดไอเสีย (Exhaust – Sample Pickup) ประกอบด้วยอุปกรณ์ยึดติดกับท่อไอเสีย และท่อลมสำหรับแก๊สไอเสียผ่านเข้าครอบงอกสูบ



รูปที่ 4-29 ชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ ภาพซ้าย แสดงภาพบั๊มดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00 ภาพขวา แสดงภาพ เครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50

2. เครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50 เป็นเครื่องอ่านค่าความเข้มของเขม่าดำบนกระดาษกรอง แสดงค่าด้วยตัวเลขดิจิทัลเรืองแสง มีสเกลอยู่ระหว่าง 0 – 10 ความละเอียด 0.1 โดยมีหลักการทำงานเหมือนอุปกรณ์วัดค่าควันดำในข้อ 4.2.1.6

#### 4.3.1.9 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Condition)

ระหว่างการทดสอบสมรรถนะได้ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของบรรยากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งแบบปรอทตามลำดับ ส่วนความดันบรรยากาศ วัดโดยใช้บารอมิเตอร์ เช่นเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ



### 4.3.2 วิธีการทดสอบความทนทาน

ก่อนการทดสอบได้ทำการกำหนดวัฏจักรจำลองการทำงานที่ใช้ในการทดสอบ โดยวัฏจักรที่ออกแบบนี้ดัดแปลงจาก EMA Test โดยกำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานที่ภาระสูงสุดสลับกับการทำงานที่ภาระบางส่วน เพื่อเป็นการลดภาระในการทำงานของเครื่องยนต์และเพื่อให้กลไกการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการเปลี่ยนตำแหน่งสลับไปมาอยู่เสมอ วัฏจักรจำลองที่กำหนดขึ้นแสดงในตารางที่ 4-4

การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลจะทำการทดลองภายใต้สภาวะเดียวกันโดยข้อมูลต่างๆ อาทิ การไหลของเชื้อเพลิง อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ความดันบรรยากาศ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จะถูกบันทึกและนำมาวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ระหว่างการทดสอบความทนทาน

ตารางที่ 4-4 แสดงวัฏจักรที่ใช้ในการทดสอบ

สภาวะการทำงาน	สภาวะภาระการทำงานของเครื่องยนต์	ความเร็ว(รอบต่อนาที)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1.	ภาระสูงสุด	2,400	3
2.	90 % ของภาระสูงสุด	2,400	1
3.	80 % ของภาระสูงสุด	2,400	1
3.	ไม่มีภาระ	2,400	1

จากตารางที่ 4-4 ใน 1 วัฏจักร ใช้เวลารวม 5 ชั่วโมง โดยในหนึ่งวันทำการทดสอบ 3 วัฏจักรรวมเป็นเวลาในการทดสอบ 15 ชั่วโมงต่อวัน โดยเวลาที่เหลือ 9 ชั่วโมงจะเป็นการหยุดเพื่อตรวจสภาพและพักเครื่องยนต์

นอกจากนี้ก่อนการทดสอบยังได้ทำการ Run in เครื่องยนต์ ตามวัฏจักรที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำบนแท่นทดสอบความทนทานซึ่งประกอบด้วย

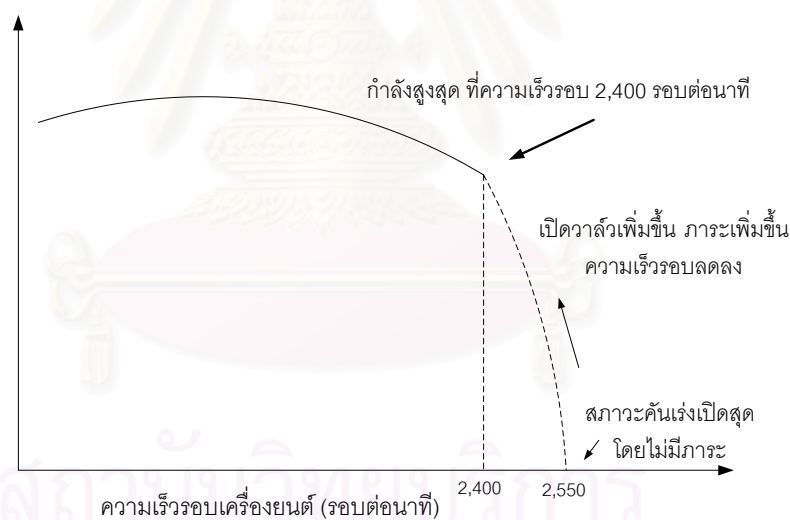
- 1.ไม่มีภาระ (No load) ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ระยะเวลา 30 นาที
- 2.ภาระ 50% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ระยะเวลา 30 นาที
- 3.ภาระ 100% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ระยะเวลา 20 ชั่วโมง

ก่อนและหลังการ Run in ได้ทำการสู่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นและทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่

ก่อนเริ่มทดสอบในแต่ละวันจะทำการตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์ ซีกระดับน้ำหล่อเย็น ระดับน้ำมันหล่อลื่น ระดับความตึงสายพาน จากนั้นทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ และอุ่นเครื่องยนต์โดยทำการเร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที ที่สภาวะไม่มีภาระ จากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบตามวัฏจักรการทดสอบความทนทาน โดยเริ่มจากสภาวะการทำงานที่ 1

สภาวะการทำงานที่ 1 เริ่มจากเร่งเครื่องยนต์จนถึงตำแหน่งสูงสุด คือ ตำแหน่งที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์มีความเร็วรอบประมาณ 2,550 รอบต่อนาที ที่สภาวะไม่มีภาระ จากนั้นเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์โดยการเปิดเครื่องสะพานไฟ โดยเพิ่มกำลังทางไฟฟ้าเพื่อเป็นการเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์ จนเครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 4-30 ซึ่งเครื่องยนต์จะทำงานตรงกับสภาวะทำงานที่ 1 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูล อัตราการไหลของเชื้อเพลิง อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ความดันบรรยากาศ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และบันทึกค่าทุกหนึ่งชั่วโมง จนครบ 3 ชั่วโมง

Full Load Curve



รูปที่ 4-30 แสดงสภาวะการทำงานที่ 1 บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์

สภาวะการทำงานที่ 2 เริ่มจากการลดภาระทางไฟฟ้าโดยการปรับที่อุปกรณ์หรือไฟ จากการหรือเป็นการลดภาระของเครื่องยนต์จะทำให้รอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปรับลดคั้นเร่งเครื่องยนต์ลง จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2,400 รอบต่อนาที ที่จุดนี้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่ความเร็วเท่าเดิม (1,600 รอบต่อนาที) ดังรูปที่ 4-31 ซึ่ง ณ สภาวะการทำงานนี้กำลังไฟฟ้าจะลดลงประมาณ 10% โดยตรวจสอบจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ลดลง จากนั้นทำ

การบันทึกข้อมูลที่ศึกษา เช่นเดียวกับสภาวะการทำงานที่ 1 และทำการบันทึกซ้ำทุก 15 นาที จนครบ 1 ชั่วโมงการทำงาน

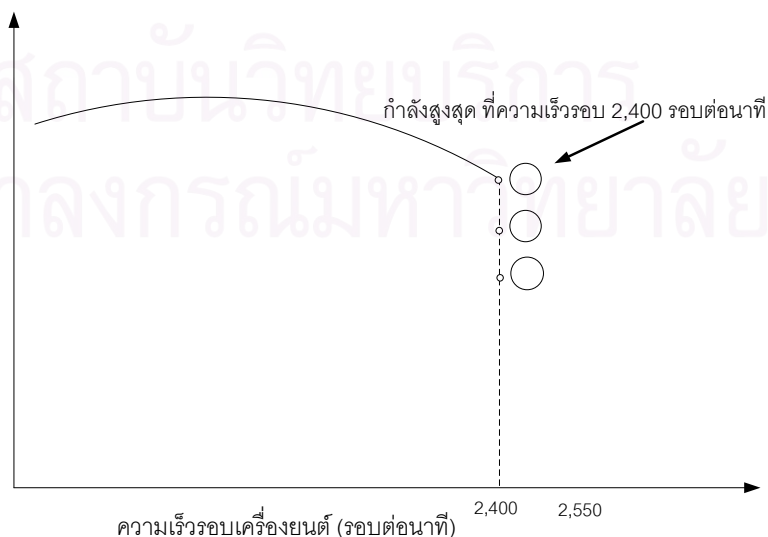
สภาวะการทำงานที่ 3 เริ่มจากการลดภาระทางไฟฟ้าโดยการปรับที่อุกรณ์หรีไฟ และทำการปรับลดคั้นเร่งเครื่องยนต์ลง จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2,400 รอบต่อนาที ซึ่ง ณ สภาวะการทำงานนี้กำลังไฟฟ้าจะลดลงประมาณ 10% โดยตรวจสอบจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ลดลง ดัง

จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ เช่นเดียวกับสภาวะการทำงานก่อนๆ และทำการบันทึกซ้ำทุก 15 นาที จนครบ 1 ชั่วโมงการทำงาน เมื่อสิ้นสุดสภาวะการทำงานที่ 3 จะปล่อยให้เครื่องยนต์วิ่งด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที ที่สภาวะไม่มีภาระเป็นเวลา 15 นาที ก่อนกลับไปเริ่มต้นในสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 3 ใหม่ จนครบ 3 วัฏจักรการทดสอบ เวลารวมประมาณ 15 ชั่วโมง ต่อวัน ซึ่งเครื่องยนต์ จะทำงานสภาวะการทำงานทั้งสามจุดที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4-31

การวัดค่าควันดำ จะทำการวัดเฉพาะสภาวะการทำงานที่ 1 เริ่มจากชั่วโมงการทำงานที่ 1 และทำการวัดทุก 10 ชั่วโมงการทำงานจนสิ้นสุดการทดสอบ

หลังการทดสอบความทนทานครบ 500 ชั่วโมง นำเครื่องยนต์มาทดสอบสมรรถนะหลังผ่านการใช้งาน โดยใช้น้ำมันเตาผสมเคโรซีนเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบสมรรถนะ ทำการวัดค่าแรงบิด อุณหภูมิการใช้งาน และค่าควันดำด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วนเพื่อศึกษาผลกระทบต่อดัชนีการสึกหรอที่ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน

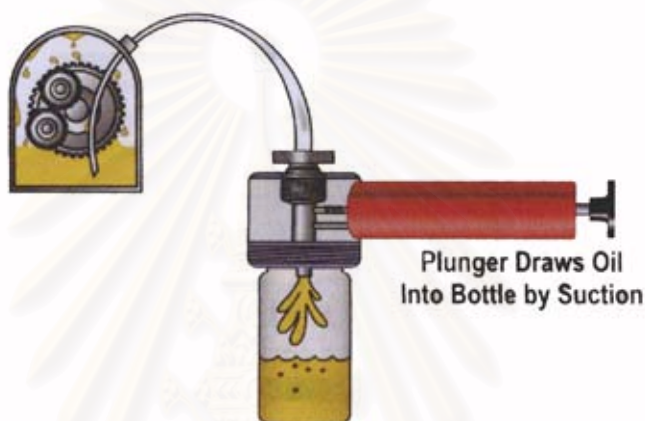
Full Load Curve



รูปที่ 4-31 แสดงวัฏจักรสภาวะการทำงาน บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์

### 4.3.3 การสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

การสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น จะทำการสูมตัวอย่างโดยการดูดจากอ่างน้ำมันหล่อลื่น ผ่านทางช่องเสียบก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น ด้วยอุปกรณ์เฉพาะทาง ดังแสดงในรูปที่ 4-32 การสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจะทำในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบเดินเบา (750 ถึง 1,000 รอบต่อนาที) ที่อุณหภูมิการทำงานปกติของเครื่องยนต์



รูปที่ 4-32 แสดงอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

โดยในแต่ละครั้งจะทำการดูดตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากการสูมน้ำมันจะทำการเติมน้ำมันใหม่กลับคืนในปริมาณที่เท่ากับการสูม ช่วงเวลาในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นแสดงในตารางที่ 4-5

การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นจะทำการเปลี่ยนถ่าย 4 ครั้ง ที่หลังจากผ่านการ Run in เป็นเวลา 20 ชั่วโมง หลังผ่านการใช้งาน 110 ชั่วโมง (ชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง) หลังจากการผ่านใช้งาน 220 ชั่วโมง (ชั่วโมงการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง) หลังผ่านการใช้งาน 320 ชั่วโมง (ชั่วโมงการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง) หลังผ่านการใช้งาน 420 ชั่วโมง (ชั่วโมงการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง) และ หลังจากการผ่านใช้งาน 500 ชั่วโมง (อายุ น้ำมันหล่อลื่น 80 ชั่วโมง) ก่อนจะนำไปทดสอบสมรรถนะต่อไป

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่มาจากการผลิตครั้งเดียวกัน เพื่อควบคุมตัวแปรที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งบางคุณสมบัติจากการวิเคราะห์เป็นค่าที่เปรียบเทียบกับค่าของน้ำมันหล่อลื่นใหม่

ตารางที่ 4-5 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.	55	55	6.	
7.	75	75	7.	
8.	100	100	8.	
9.	110	110	9.	เกินอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
10.	110	0	10.	



ตารางที่ 4-5 แสดงระยะเวลาในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น (ต่อ)

11.	135	25	11.	
12.	160	50	12.	
13.	185	75	13.	
14.	210	100	14.	
15.	220	110	15.	เกินอายุการใช้งาน น้ำมันหล่อลื่น
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
16.	220	0	16.	
17.	245	25	17.	
18.	270	50	18.	
19.	295	75	19.	
20.	320	100	20.	
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
21.	320	0	21.	
22.	345	25	22.	
23.	370	50	23.	
24.	395	75	24.	
25.	420	100	25.	
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
26.	420	26	21.	
27.	445	27	22.	
28.	470	28	23.	
29.	495	29	24.	
30.	500	30	25.	

## บทที่ 5

### ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลองได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนกล่าวคือ ส่วนแรกผลจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ แสดงค่าแรงบิดเบรก อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เบรก ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก อุณหภูมิไอเสีย และค่าควันดำ ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล และ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่และสภาวะคงตัว บนแท่นทดสอบเครื่องยนต์ โดยการนำเสนอแบ่งออกเป็นผลที่สภาวะภาระสูงสุด และที่สภาวะภาระบางส่วน ส่วนที่สองอิทธิพลที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และส่วนสุดท้ายผลการทดสอบเครื่องยนต์เมื่อใช้งานเป็นเวลานาน

ผลการทดสอบในบพนี้ อาทิ แรงบิดเบรก กำลังเบรก และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เบรก ได้มีการปรับชุดเซนเซอร์ค่าโดยหักลบค่าความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิที่เข้าไปยังห้องเผาไหม้ ให้เทียบเท่าอุณหภูมิอ้างอิงให้ได้ตามมาตรฐาน ISO 3046

#### 5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล วัดเปรียบเทียบ โดยใช้เครื่องยนต์ตามมาตรฐานตามที่ได้ผลิตได้แนะนำ เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง โดยจะทดสอบเก็บค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน ค่าสมรรถนะ อาทิ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ค่าแรงบิดเบรก ค่าอุณหภูมิต่างๆของเครื่องยนต์ระหว่างการทำงาน และค่าควันดำ

##### 5.1.1 สภาวะภาระสูงสุด(Full Load Conditions)

###### ก. ผลของแรงบิดเบรก(Brake Torque)

ผลของแรงบิดเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล แสดงในรูปที่ 5-1

จากรูปที่ 5-1 พบว่าค่าแรงบิดเบรกสูงสุดที่น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลสร้างได้มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลที่รอบความเร็วในการทดลอง โดยที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,200 ถึง 2,400 แรงบิดที่น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลสร้างได้มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 1.63-3.33 N-m คิดเป็นร้อยละความแตกต่างได้ร้อยละ 3.59-7.71 โดยแรงบิดสูงสุดที่สามารถสร้างได้ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

เท่ากับ 45.53 N-m ที่ความเร็ว 1,400 รอบต่อนาที และน้ำมันดีเซลมีแรงบิด 47.87 N-m ที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที

สรุปได้ว่าการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง สามารถสร้างกำลังได้น้อยกว่าน้ำมันดีเซลตลอดทุกช่วงความเร็ว ประมาณร้อยละ 3.59-7.71

### **ข. ผลของกำลังเบรก(Brake Power)**

ค่ากำลังเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แสดงไว้ในรูปที่ 5-1

จากรูปที่ 5-1 ผลของกำลังเบรก ที่สภาวะภาระสูงสุด เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าที่ได้เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทุกช่วงความเร็ว โดยที่ความเร็วตั้งแต่ 1,200 ถึง 2,400 รอบต่อนาที ผลของกำลังเบรกที่ไบโอดีเซลสร้างได้มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 0.19-0.63 kW คิดเป็นร้อยละความแตกต่างได้ร้อยละ 3.33-7.77 โดยกำลังเบรกสูงสุดที่สามารถสร้างได้ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลอยู่ที่ความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที โดยมีกำลังเบรก 9.00 kW และ 9.57 kW ตามลำดับ

สรุปได้ว่าเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลสามารถสร้างกำลังได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 3.33-7.77 ตลอดช่วงความเร็วรอบในการทดสอบ

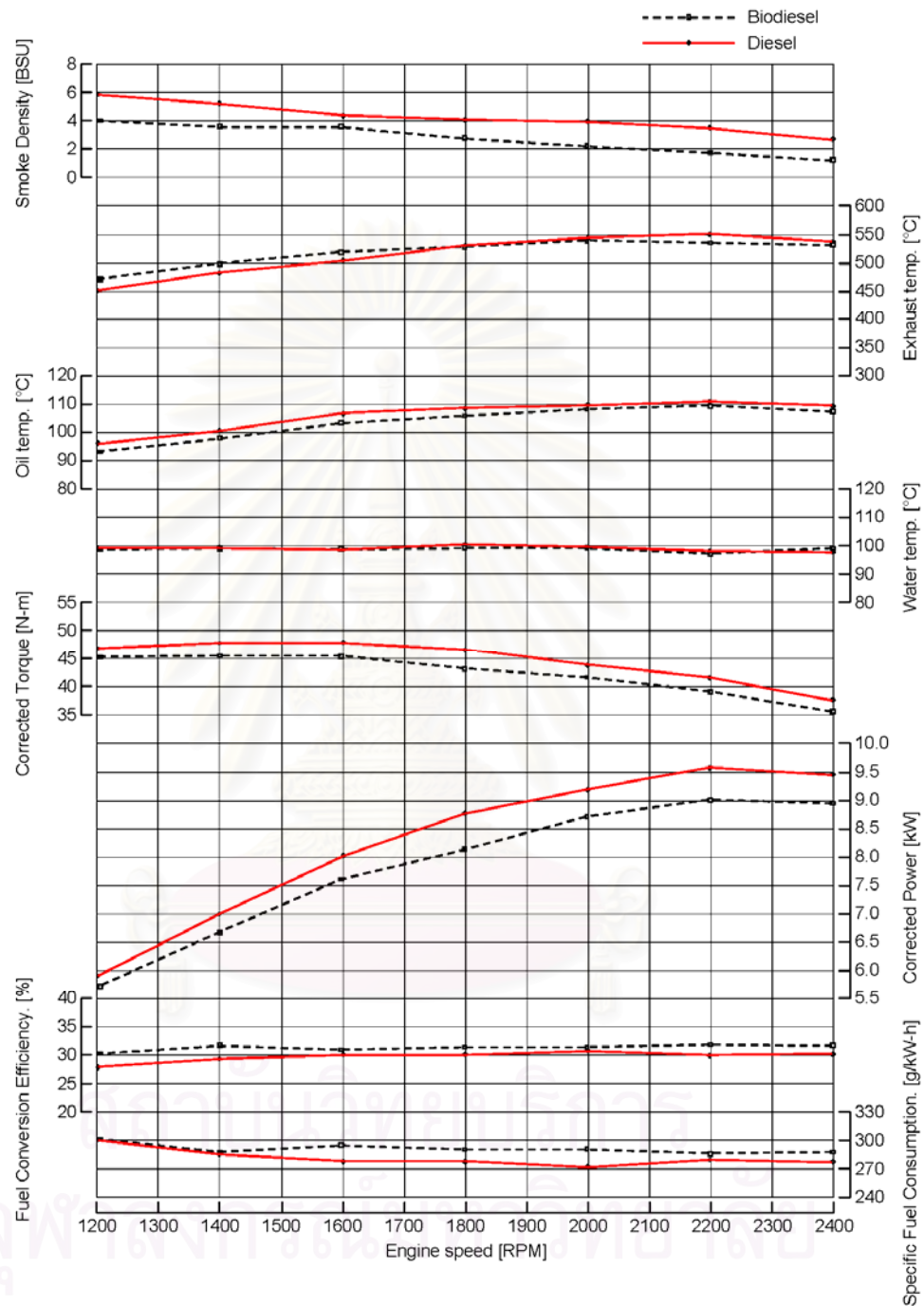
### **ค. ผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, sfc)**

อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แสดงไว้ในรูปที่ 5-1

จากรูปที่ 5-1 พบว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าค่าจากการใช้น้ำมันดีเซลทุกช่วงความเร็ว 1,200-2,400 รอบต่อนาที โดยความแตกต่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.59-20.09 คิดเป็นร้อยละความแตกต่างร้อยละ 0.85-6.86 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดที่ได้จากน้ำมันดีเซลมีค่า 272 g/kW-h ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที และค่าต่ำสุดที่ได้จากน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่า 288 g/kW-h ที่ความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกว่าค่าค่อนข้างคงที่ทุกช่วงความเร็วในการทดสอบ

สรุปได้ว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากน้ำมันดีเซลอย่างเห็นได้ชัด ตลอดช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบซึ่งสอดคล้องกับ ค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่ง

ความหนาแน่นที่สูงทำให้มวลของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้มีปริมาณที่สูงในปริมาตรต่อ  
 สตโรกซึ่งมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5-1

กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรงบิดเบรก กำลังเบรก อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง  
 จำเพาะเบรก(bsfc) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก อุณหภูมิ  
 น้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิไอเสีย และค่าควันทันที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์  
 เปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล

### ง. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion Efficiency, $\eta_f$ )

ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แสดงไว้ในรูปที่ 5-1

จากรูปที่ 5-1 พบว่าประสิทธิภาพจากการที่ได้การใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพจากการใช้น้ำมันดีเซลที่ทุกความเร็ว 1,200-2,400 รอบต่อนาที โดยความต่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล 0.5-2.3 คิดเป็นความแตกต่างประมาณร้อยละ 1.7-7.8 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่า 31.8 ที่ความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที ขณะที่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกจากการใช้น้ำมันดีเซลมีค่า 30.8 ที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที

สรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อยมีค่าความแตกต่างร้อยละ 0.5-2.3 ถึงแม้ว่าน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีอัตราสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกที่สูงกว่า แต่น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าทำให้มีข้อได้เปรียบในการคำนวณเมื่อพลังงานขาเข้ามีค่าต่ำ จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น

### จ. อุณหภูมิไอเสีย

อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด ที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล แสดงในรูปที่ 5-1

จากรูปที่ 5-1 พบว่าค่าอุณหภูมิไอเสียจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่า 13-19 องศาเซลเซียส ที่ช่วงความเร็ว 1,200-1,600 รอบต่อนาที คิดเป็นร้อยละ 2.7-4.2 และน้ำมันดีเซลมีค่าสูงกว่า 3-16 องศาเซลเซียส ที่ช่วงความเร็ว 1,800-2,400 รอบต่อนาที โดยเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 539 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 551 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

สรุปได้ว่าอุณหภูมิไอเสียเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ



### จ. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุด ที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล แสดงในรูปที่ 5-1

จากรูปที่ 5-1 พบว่าที่อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 1-3 องศาเซลเซียส ทุกช่วงความเร็วที่ทำการทดสอบ 1,200-2,400 รอบต่อนาทีคิดเป็นร้อยละ 1.5-3 โดยมีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที มีอุณหภูมิไอเสีย 107 และ 109 องศาเซลเซียส เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและ น้ำมันดีเซลตามลำดับ

สรุปได้ว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล การใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลทำให้มีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล 1-3 องศาเซลเซียส ตลอดทุกความเร็วรอบ

### ข. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสภาวะภาระสูงสุด ที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล แสดงในรูปที่ 5-1

จากรูปที่ 5-1 พบว่าที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยการมีค่าการแกว่งตัวประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส ทุกช่วงความเร็วที่ทำการทดสอบ 1,200-2,400 รอบต่อนาที

สรุปได้ว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล ค่าไม่แตกต่างกัน

### ค. ค่าควันดำ

ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล แสดงในรูปที่ 5-1

จากรูปที่ 5-1 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าควันดำกับความเร็วรอบ มีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นเชิงเส้น โดยค่าควันดำจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเร็วรอบที่ลดลง เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลค่าควันดำมีค่าต่ำกว่าทุกความเร็วรอบที่ทดสอบ 0.8 ถึง 1.8 BSN ทั้งนี้อาจมีผลมาจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่าจากการที่น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบในโมเลกุล

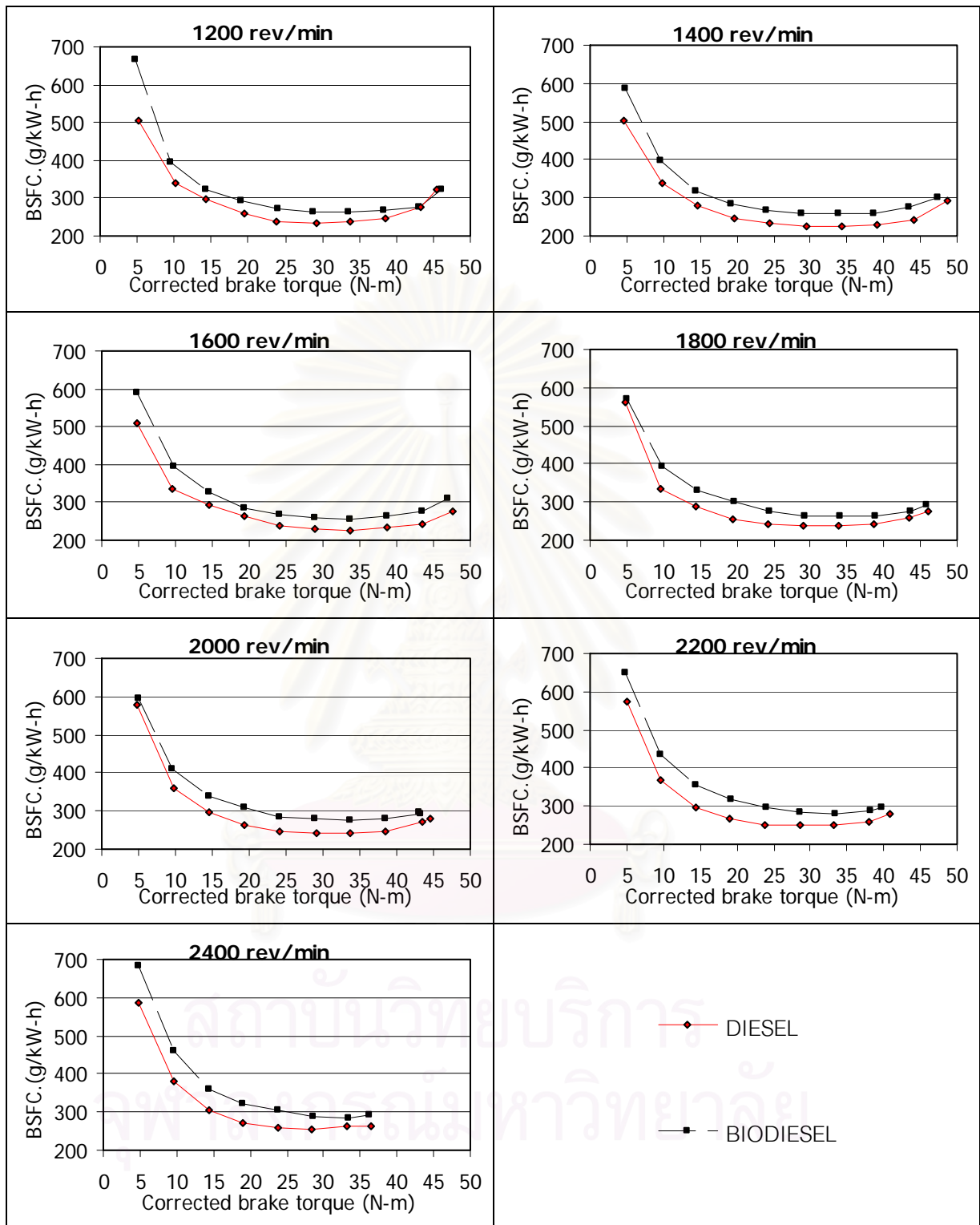
### 5.1.2 สภาวะภาระบางส่วน ที่ความเร็วรอบคงที่(Part Load Conditions)

#### ก. ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและค่าแรงบิดเบรกที่ความเร็วรอบคงที่ เปรียบเทียบระหว่างค่าจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล กับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 5-2

รูปที่ 5-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับแรงบิดเบรกที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าค่าจากการใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจนที่ทุกความเร็วรอบและ ทุกค่าแรงบิดโดยมีความต่าง 2-161 g/kW-h คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 0.5-24.1 โดยมีค่าเฉลี่ยที่ความแตกต่างร้อยละ 10.5 ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลดีเซลมีค่า 258 g/kW-hr เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรก 29.5 N-m ส่วนค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีค่า 224 g/kW-hr เกิดขึ้น ณ ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรก 29.5 N-m

สรุปผลการทดสอบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล พบว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลทุกความเร็วและแรงบิดที่ทำการทดสอบเฉลี่ยร้อยละ 10.5 ซึ่งสาเหตุหลักมาจากค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (39.968 kJ/g) มีค่าที่ต่ำกว่าค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล (42.5 kJ/g) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 6.5



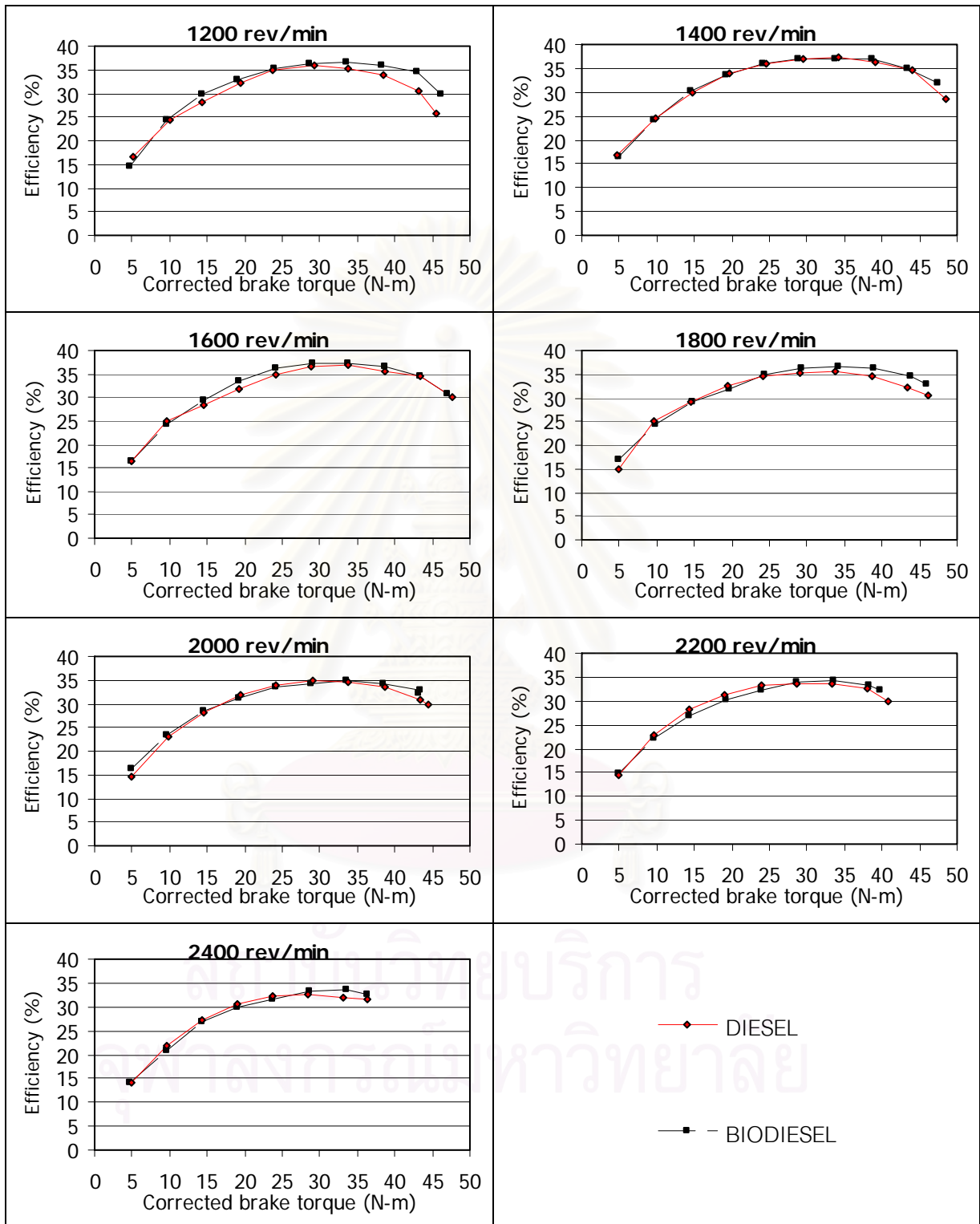
รูปที่ 5-2 แสดงค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ที่สภาวะภาระบางส่วน เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### ข. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเบรก

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกและค่าแรงบิดเบรกที่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบผลระหว่างใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 5-3

รูปที่ 5-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกกับแรงบิดเบรก ที่ค่าความเร็วคงที่ของเครื่องยนต์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากน้ำมันดีเซล ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่า 35.45 เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรก 29.5 N-m ส่วนค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีค่า 37.4 เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1,400 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรกเดียวกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล 29.5 N-m ซึ่งประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกจากน้ำมันดีเซลส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าคิดเป็นความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 2.9

สรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกันที่สภาวะภาระบางส่วน โดยน้ำมันดีเซลมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยส่วนใหญ่ของจุดสอบ ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิง จะลดความสัมพันธ์ของตัวแปรประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ทำให้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมันทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5-3 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาทีเปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



### ค. อุณหภูมิไอเสีย

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียและค่าแรงบิดเบรก ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลดังแสดงในรูปที่ 5-4 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5-4 พบว่าอุณหภูมิไอเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้นระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล มีค่าไม่แตกต่างกัน อุณหภูมิไอเสียแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ที่ความเร็วที่ 1,400 รอบต่อนาทีโดยมีค่า 0-23 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละของความแตกต่าง 0-5.5

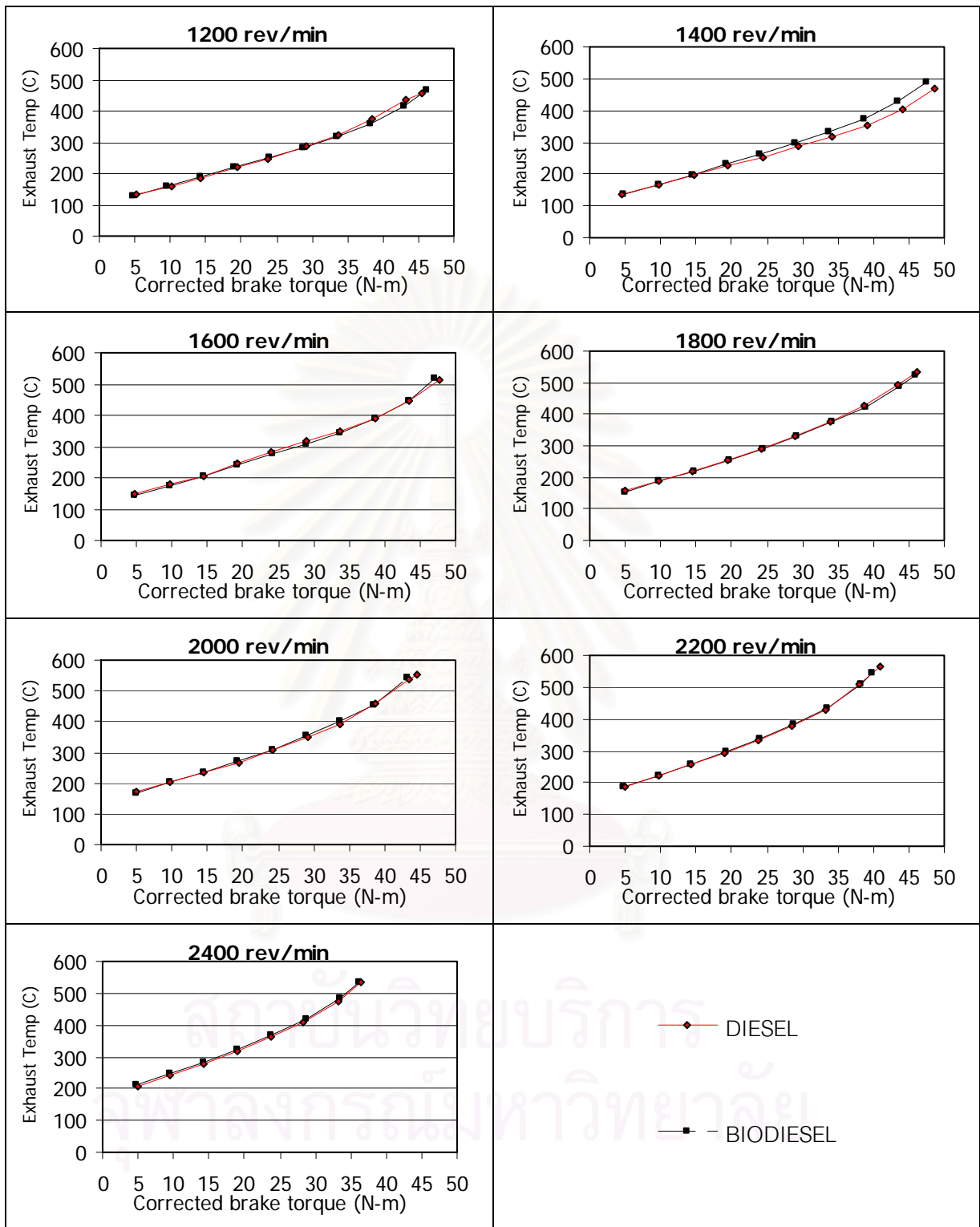
สรุปได้ว่าอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าไม่แตกต่างกันกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซล โดยน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลทำให้มีค่าอุณหภูมิสูงกว่าเพียงเล็กน้อยในบางจุดทดสอบ

### ง. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

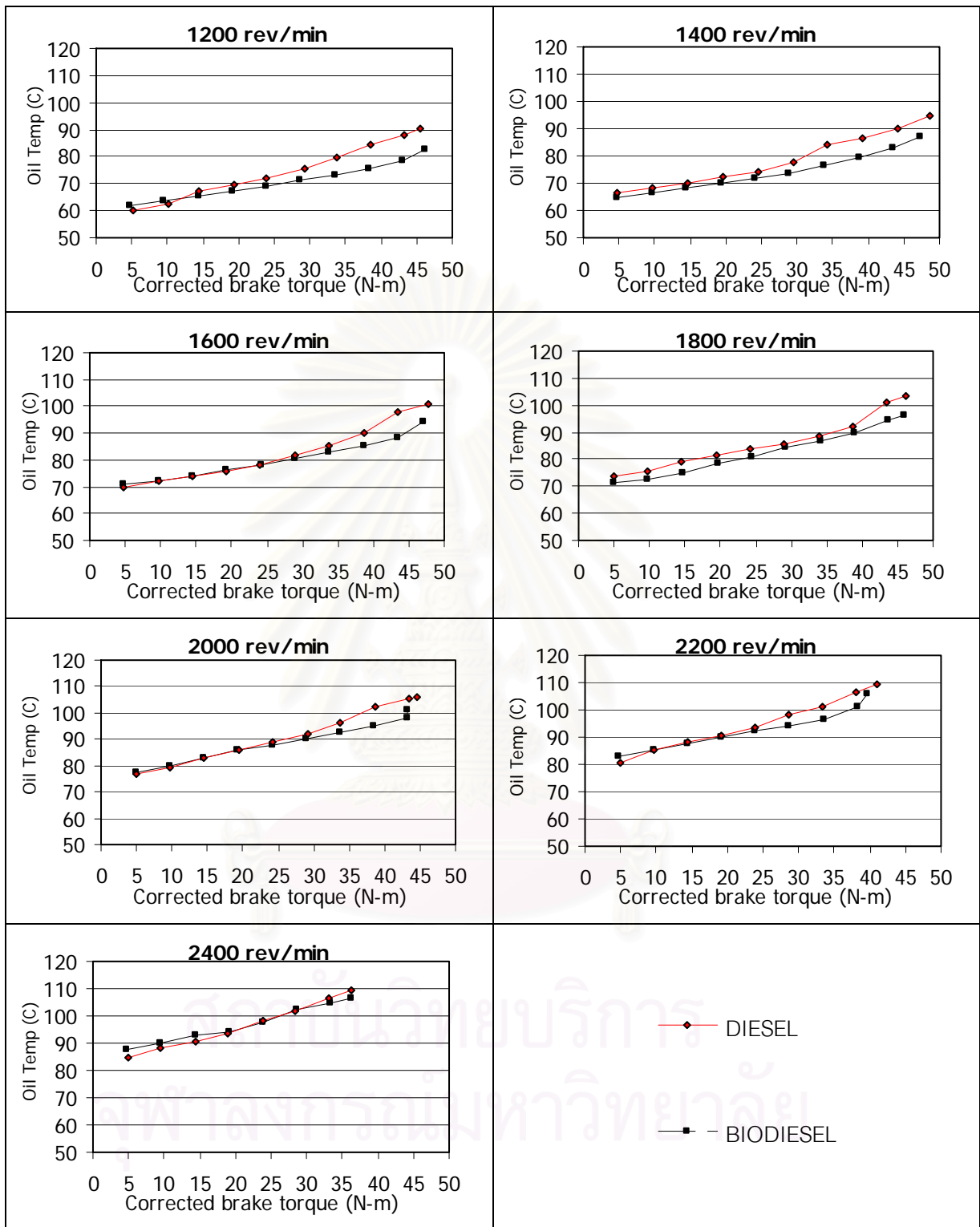
ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นและค่าแรงบิดเบรก ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลดังแสดงในรูปที่ 5-5

จากรูปที่ 5-5 พบว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลแสดงว่า เมื่อมีแรงบิดมีค่าต่ำอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีค่าไม่แตกต่างกัน และเมื่อแรงบิดค่าสูงขึ้นความแตกต่างกันของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจะสูงขึ้น โดยความแตกต่างสูงที่สุดอยู่ที่ความเร็วที่ 1,600 รอบต่อนาที โดยเมื่อใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่า 9.6 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละของความแตกต่าง 10.8

สรุปได้ว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล เมื่อแรงบิดมีค่าต่ำ มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อแรงบิดมีค่าเพิ่มขึ้นการใช้น้ำมันดีเซลมีค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สูงขึ้นในอัตราที่สูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล โดยความแตกต่างสูงสุดร้อยละ 10.8



รูปที่ 5-4 แสดงอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-5 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ที่สภาวะภาระบางส่วน เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### จ. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและค่าแรงบิดเบรก ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลดังแสดงในรูปที่ 5-6

จากรูปที่ 5-6 พบว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ผลแสดงว่า อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเมื่อใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าสูงกว่าในรอบ 1,200 1,400 และ 1,600 รอบต่อนาที และเมื่อความเร็วรอบมีค่าสูงขึ้น 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที การใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลจะทำให้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นมีค่าสูงกว่า โดยความแตกต่างสูงที่สุดอยู่ที่ความเร็วที่ 1,600 รอบต่อนาที โดยเมื่อใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่า 9.1 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละของความแตกต่าง 11.8

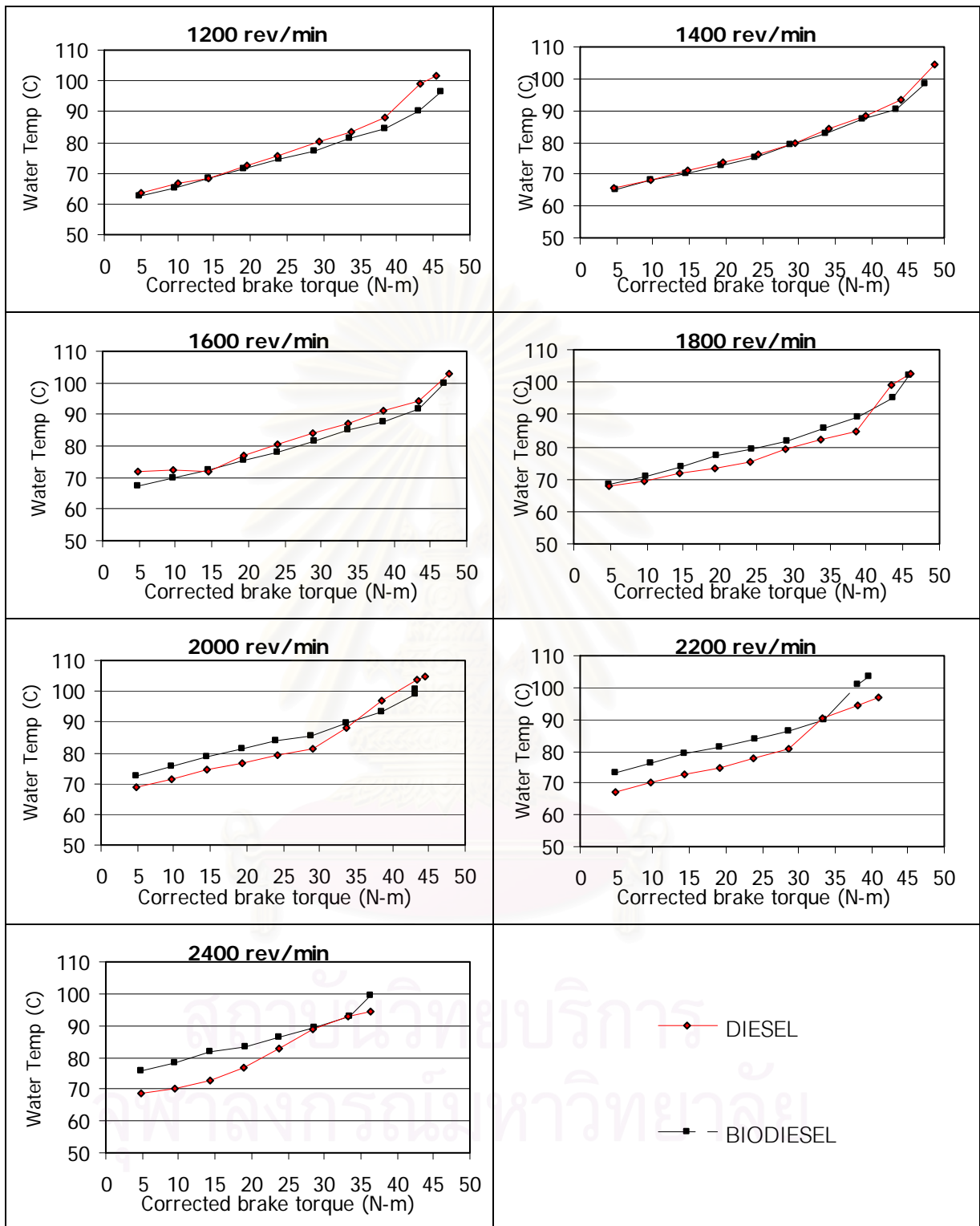
สรุปได้ว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อความเร็วรอบมีค่าต่ำอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย และเมื่อความเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย โดยความแตกต่างสูงสุตร้อยละ 11.8

สาเหตุที่น้ำมันหล่อลื่น และน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าคาดว่ามาจากค่าความร้อนที่น้อยกว่าของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลร้อยละ 6.5 จึงทำให้ความร้อนภายในห้องเผาไหม้ที่ถูกฉีดยาน้ำมันชดเชยเพื่อสร้างกำลังของเครื่องให้ได้เทียบเท่ากันนั้น อาศัยความร้อนส่วนหนึ่งในการระเหยเป็นไอ จึงส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล

### ฉ. ค่าควันท่ำ

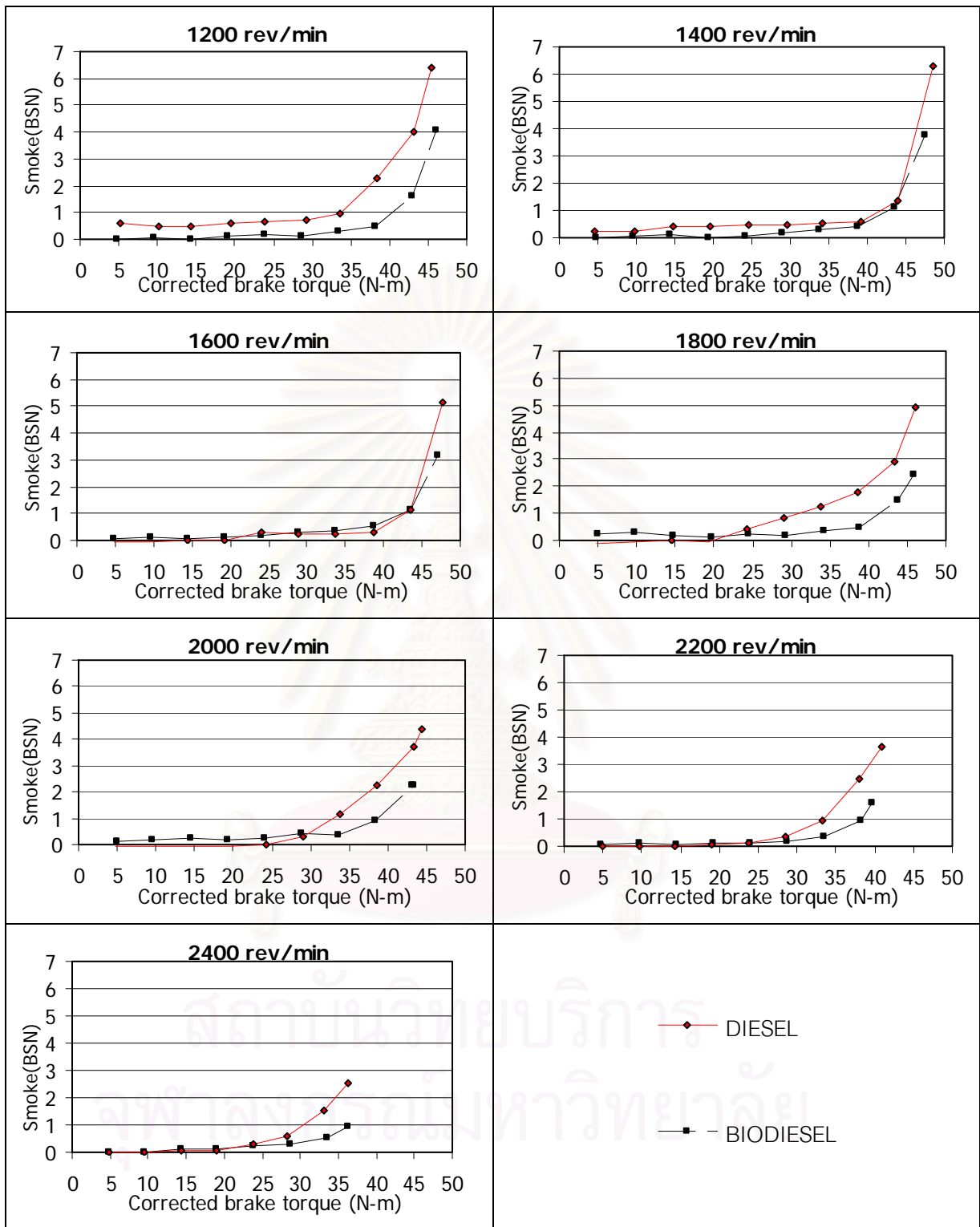
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าควันท่ำและค่าแรงบิดเบรก ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล สามารถนำมาเปรียบเทียบและแสดงไว้ในรูปที่ 5-7

จากรูปที่ 5-7 พบว่าค่าควันท่ำจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าค่าควันท่ำจากการใช้น้ำมันดีเซลในจุดทดสอบส่วนใหญ่ 0.1 – 2.4 BSN โดยเชื้อเพลิงทั้งสองมีแนวโน้มคล้ายกันคือที่สภาวะภาระบางส่วนค่าควันท่ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงบิดเบรกที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5-6 แสดงอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมัน ดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล





รูปที่ 5-7 แสดงค่าควันดำที่สภาวะภาระบางส่วน เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### 5.1.3 แผนภูมิแสดงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ (Engine Map)

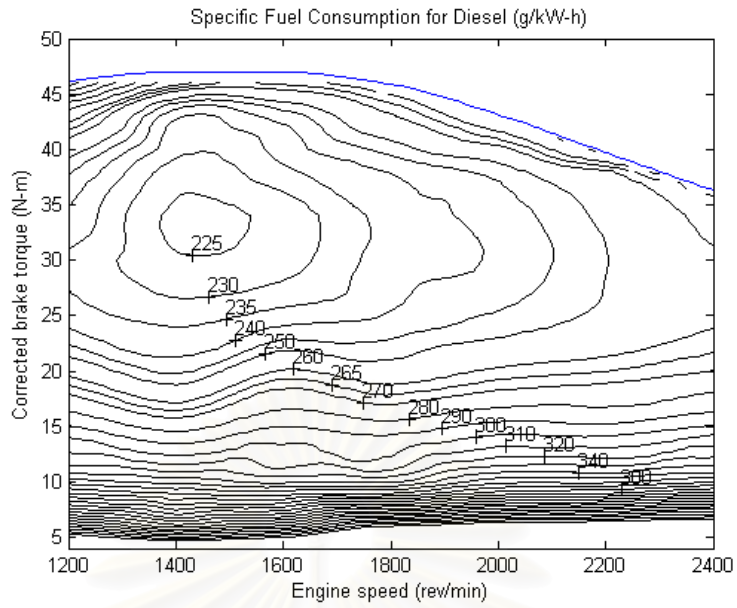
เมื่อทราบค่าการทำงานของเครื่องยนต์ ที่สภาวะสูงสุด สภาวะบางส่วนแล้ว สามารถทำค่าที่ได้มาแสดงในรูปของแผนภูมิแสดงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์เพื่อให้เห็นภาพรวมของสภาวะการทำงานได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากแผนภูมิแสดงสภาวะการทำงานจะแสดงค่าที่ทุกความเร็วรอบและที่ทุกสภาวะการทำงาน โดยเราแสดงแผนภูมิต่างๆดังนี้

- แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ
- แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก
- แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย
- แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น
- แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

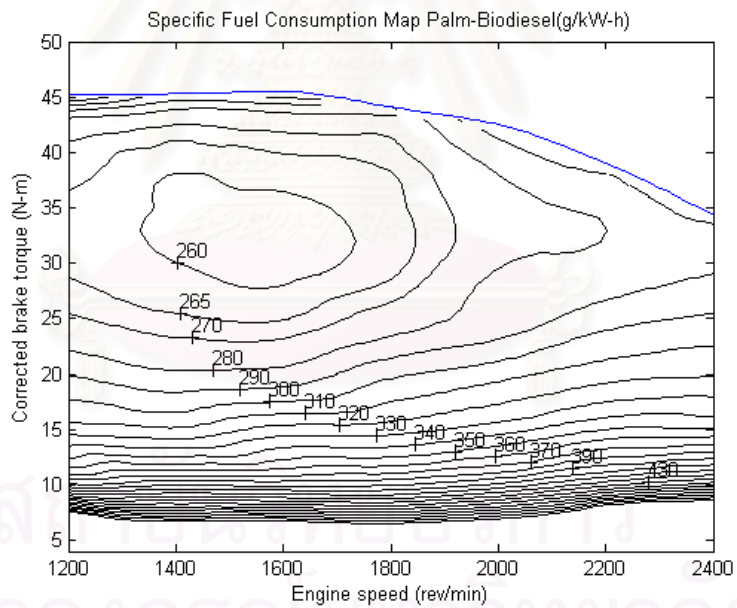
#### ก. แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเบรก

ผลการทดสอบที่สภาวะการะสูงสุด และสภาวะการะบางส่วน สามารถแสดงในแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเบรก โดยแผนภูมิสมรรถนะจากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 5-8 และรูปที่ 5-9 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5-8 และรูปที่ 5-9 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล เมื่อมองภาพรวมของแผนภูมิ พบว่า แนวของเส้นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกคงที่ จากน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล มีลักษณะคล้ายกันคือแนวโน้มของจุดศูนย์กลางของแผนภูมิซึ่งแสดงถึงค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดอยู่ในช่วงความเร็วที่กว้างตั้งแต่ 1,400 ถึง 1,600 รอบต่อนาที ที่ช่วงแรงบิดประมาณ 30-35 N-m เมื่อพิจารณาเส้นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกคงที่พบว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกจำนวนเท่ากันบนแผนภูมิที่ใช้น้ำมันดีเซลมีพื้นที่มากกว่าบนแผนภูมิที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ถ้าพิจารณาผลในตำแหน่งค่าแรงบิดเบรกและความเร็วรอบเดียวกันพบว่าน้ำมันดีเซลให้ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำกว่าน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-8 แผนภูมิอัตราการผลิตเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น g/kW-h



รูปที่ 5-9 แผนภูมิอัตราการผลิตเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น g/kW-h

### ข. แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล แสดงในรูปของแผนภูมิ ดังรูปที่ 5-10 และรูปที่ 5-11 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบผลระหว่างใช้น้ำมันดีเซล และใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง สรุปได้ดังนี้

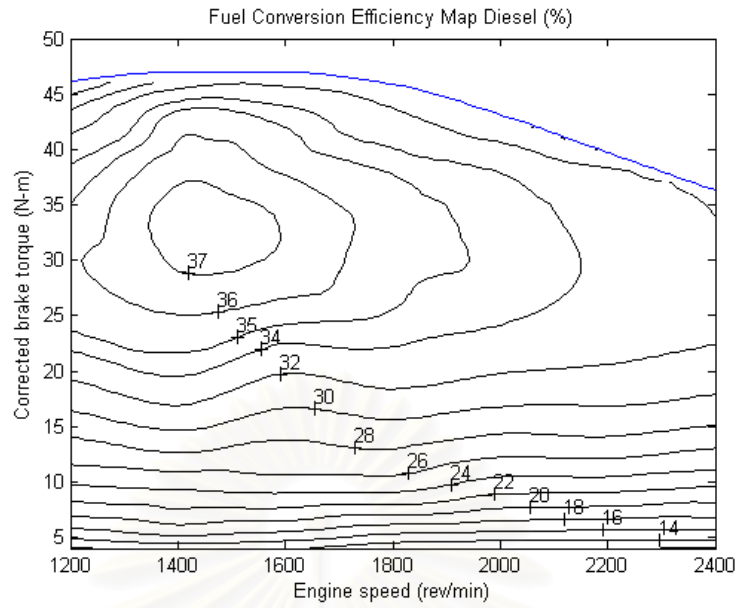
จากแผนภูมิพบว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระบางส่วน ของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลโดยมีแนวโน้มเดียวกับ แรงบิดเบรกก้าวคือ สูงสุดอยู่ในช่วงความเร็วที่กว้างตั้งแต่ 1,400 ถึง 1,600 รอบต่อนาที ที่ช่วง แรงบิดประมาณ 30-35 N-m เมื่อพิจารณาเส้นประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก คงที่พบว่าที่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่เท่ากันบนแผนภูมิที่ใช้น้ำมันดีเซลมี พื้นที่มากกว่าบนแผนภูมิที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ถ้าพิจารณาผลจากตำแหน่งค่าแรงบิดเบรก และความเร็วรอบเดียวกันพบว่าน้ำมันดีเซลให้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก สูงกว่าน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### ค. แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย

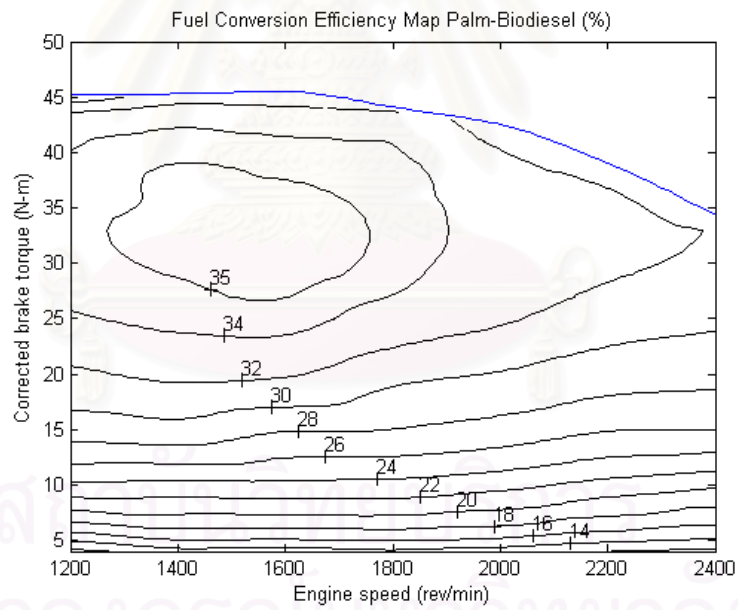
ผลการวัดค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถนำมา แสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย โดยอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล แสดงในรูปที่ 5-12 และรูปที่ 5-13 ตามลำดับ

อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและ น้ำมันดีเซล มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน โดยค่าอุณหภูมิไอเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น

สรุปได้ว่าอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและ น้ำมันดีเซล มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน ทั้งในช่วงสภาวะภาระสูงสุด และช่วงสภาวะภาระบางส่วน

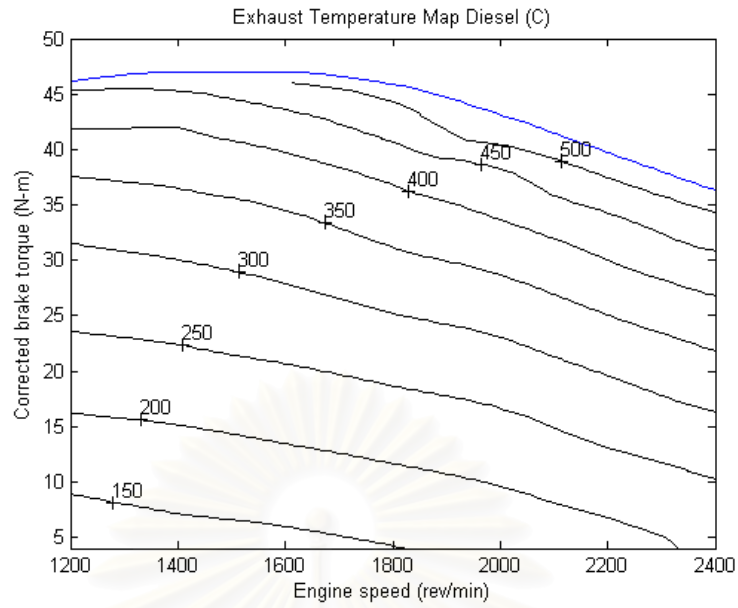


รูปที่ 5-10 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น %

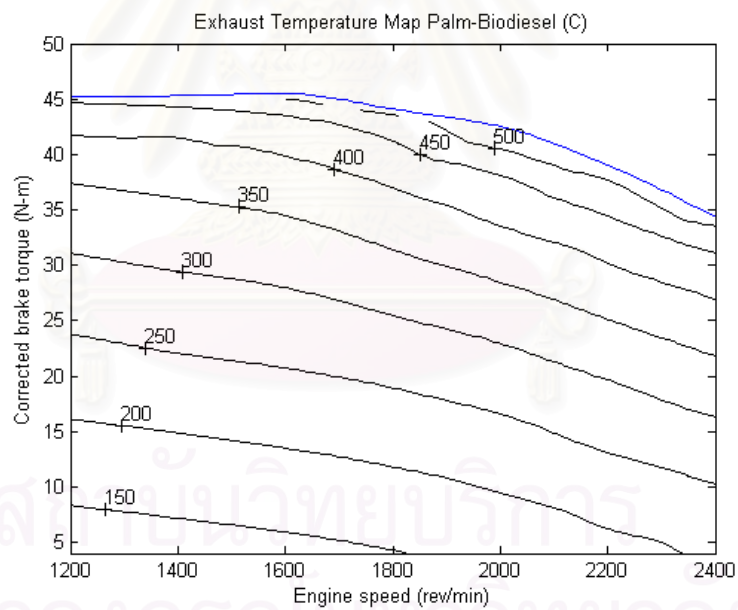


รูปที่ 5-11 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น %





รูปที่ 5-12 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส



รูปที่ 5-13 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส

### ง. แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

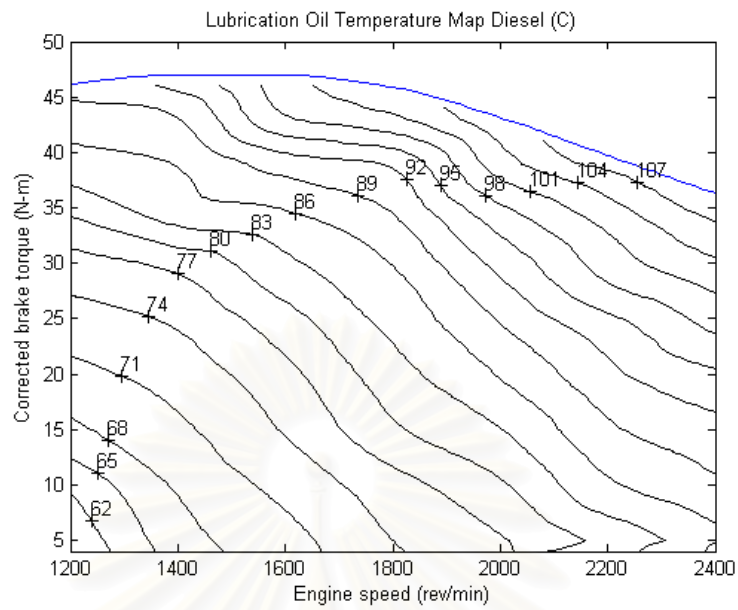
ผลการวัดค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิหล่อลื่น โดยอุณหภูมิหล่อลื่นของเครื่องยนต์ เมื่อน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล แสดงในรูปที่ 5-14 และรูปที่ 5-15 ตามลำดับ

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น โดยน้ำมันดีเซลจะมีอุณหภูมิที่ค่าสูงกว่าเล็กน้อย

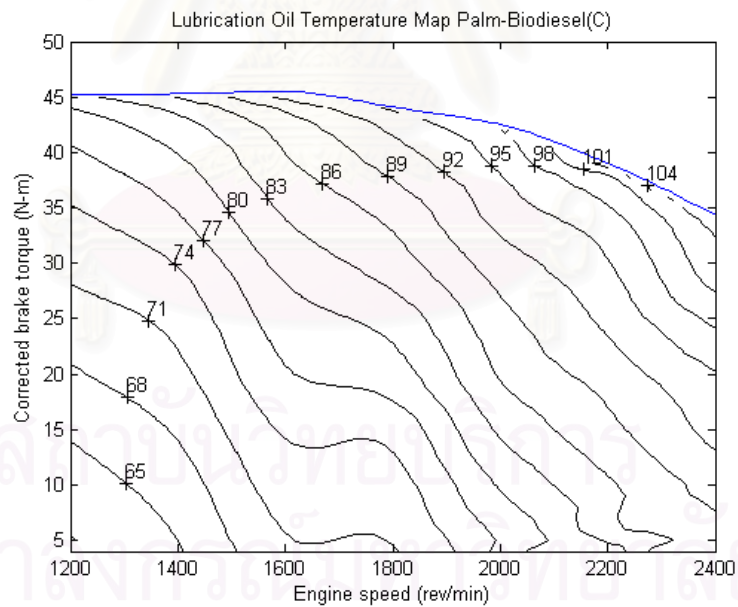
### จ. แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

ผลการวัดค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น โดยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ เมื่อน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล แสดงในรูปที่ 5-14 และรูปที่ 5-15 ตามลำดับ

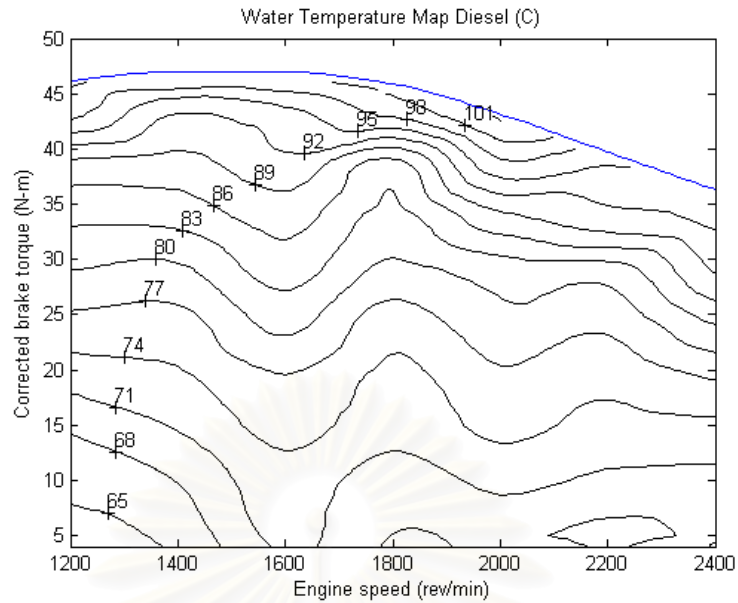
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เห็นได้ว่าค่าน้ำหล่อเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น โดยน้ำมันดีเซลจะมีอุณหภูมิที่ค่าสูงกว่าเล็กน้อย



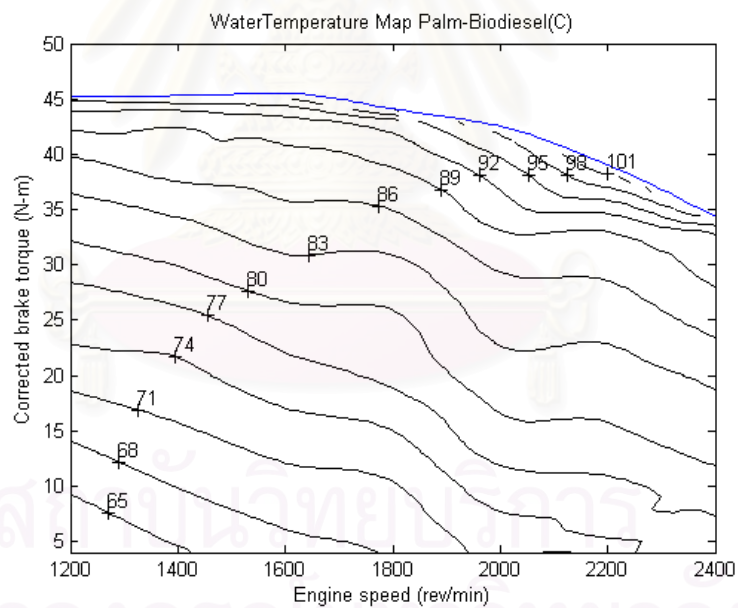
รูปที่ 5-14 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส



รูปที่ 5-15 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส



รูปที่ 5-16 แผนภูมิอุณหภูมิหมอน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส



รูปที่ 5-17 แผนภูมิอุณหภูมิหมอน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส

## 5.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

การทดสอบต่อไปเป็นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เปรียบเทียบระหว่างองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน โดยกำหนดมาตรฐานการผลิตของบริษัทสยามคูโบต้าอุตสาหกรรมนั้นจะอยู่ที่ 20 องศาอนุศูนย์ตายบนในที่นี่จะเรียกว่า องศาการฉีดมาตรฐาน เพื่อศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ทำการปรับให้มีการฉีดน้ำมันล่วงหน้า 3 องศาอนุศูนย์ตายบนเรียกว่า องศาการฉีดล่วงหน้า และปรับให้มีการฉีดน้ำมันล่าช้า 3 องศาอนุศูนย์ตายบน เรียกว่า องศาการฉีดล่าช้า

### 5.2.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เมื่อเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

การทดสอบเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบองศาการฉีดมาตรฐาน องศาการฉีดล่วงหน้า และองศาการฉีดล่าช้า 20, 23 และ 17 องศาอนุศูนย์ตายบนตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบหาผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้งในสภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วนเพื่อนำไปศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อไป

#### 5.2.1.1 สภาวะภาระสูงสุด

##### ก. ผลของแรงบิดเบรก

ผลของแรงบิดเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 5-18

จากรูปที่ 5-18 พบว่าค่าแรงบิดเบรกสูงสุดที่องศาการฉีดล่าช้า โดยเมื่อใช้องศาการฉีดล่าช้า มีค่าแรงบิดเบรกที่สูงกว่าการปรับองศาการฉีดชนิดอื่น ทุกรอบความเร็วในการทดลอง โดยที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,200 ถึง 2,400 แรงบิดที่องศาการฉีดล่าช้าสร้างได้มีค่าสูงกว่าองศาการฉีดมาตรฐาน 2.87-4.30 N-m คิดเป็นความแตกต่างได้ร้อยละ 5.8-9.0 โดยแรงบิดสูงสุดที่สามารถสร้างได้ที่องศาการฉีดล่วงหน้าเท่ากับ 52.5 N-m ที่ความเร็ว 1,400 รอบต่อนาที และองศาการฉีดมาตรฐานมีแรงบิด 49.4 N-m ที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที



จากรูปที่ 5-18 ยังพบว่าค่าแรงบิดเบรกขององศาการฉีดล่วงหน้าสามารถสร้างแรงบิดเบรกได้มากกว่าองศาการฉีดมาตรฐานเช่นเดียวกัน ในความเร็วรอบ 1,400 1,700 2,100 และ 2,400 โดยที่มีความต่างของแรงบิดเบรก 0.87-2.16 N-m คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 1.9-5.3 โดยมีแรงบิดเบรกสูงสุด 50.95 N-m ที่ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที

สรุปได้ว่าแรงบิดเบรกที่สภาวะภาระสูงสุด ที่ใช้องศาการฉีดล่าช้าสามารถสร้างแรงบิดเบรกเทียบกับองศาการฉีดมาตรฐานได้สูงที่สุดร้อยละ 5.8 – 9.0 และการใช้องศาการฉีดล่วงหน้าสามารถสร้างแรงบิดเบรกได้รองลงมาคือมากกว่าองศาการฉีดมาตรฐานร้อยละ 1.9-5.3

### ข. ผลของกำลังเบรก

ค่ากำลังเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับเมื่อเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 5-18

จากรูปที่ 5-18 พบว่าเมื่อใช้องศาการฉีดล่าช้ามีค่าสูงที่สุดทุกช่วงความเร็วในการทดสอบ โดยที่ความเร็วตั้งแต่ 1,200 ถึง 2,400 รอบต่อนาที ผลของกำลังเบรกขององศาการฉีดล่วงหน้าสร้างได้มีค่าสูงกว่า องศาการฉีดมาตรฐาน 0.54-0.88 kW คิดเป็นร้อยละความแตกต่างได้ร้อยละ 6.1-9.0 โดยกำลังเบรกสูงสุดที่สามารถสร้างจากองศาการฉีดล่าช้า 10.67 kW ที่ความเร็ว 2,100 รอบต่อนาที และกำลังเบรกเมื่อใช้องศาการฉีดมาตรฐาน 9.78 kW ที่ความเร็วรอบ 2,100 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 5-18 ยังพบว่าเมื่อใช้องศาการฉีดล่วงหน้ามีค่ากำลังเบรกสูงกว่าการใช้องศาการฉีดมาตรฐานที่รอบ 1,400 1,700 2,100 และ 2,400 รอบต่อนาที โดยมีความแตกต่างของกำลัง 0.19-0.53 kW โดย คิดเป็นร้อยละความแตกต่างได้ร้อยละ 2.0-3.0 โดยกำลังเบรกสูงสุดที่สามารถสร้างจากองศาการฉีดล่วงหน้า 10.15 kW ที่ความเร็ว 2,400 รอบต่อนาที

สรุปได้ว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่สภาวะภาระสูงสุด เมื่อใช้องศาการฉีดล่าช้าสามารถสร้างกำลังสูงที่สุดทุกความเร็วในการทดสอบ ร้อยละ 6.1-9.0 และเมื่อใช้องศาการฉีดล่วงหน้าสามารถสร้างกำลังเบรกสูงกว่าการใช้องศาการฉีดมาตรฐาน ที่ความเร็วรอบ 1,400-2,400 รอบต่อนาที คิดเป็นร้อยละ 2.0-3.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ค. ผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนของสภาวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 5-18

จากรูปที่ 5-18 พบว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ได้จากการใช้ของสภาวะการฉีดล่วงหน้า มีค่าต่ำที่สุดในทุกช่วงความเร็ว 1,200-2,400 รอบต่อนาที โดยความแตกต่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับของสภาวะการฉีดมาตรฐาน 7.4-19.2 g/kW-h คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 2.8-7.5 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดที่ได้จากของสภาวะการฉีดล่วงหน้า 256.2 g/kW-h ที่ความเร็ว 1,200 รอบต่อนาที และค่าต่ำสุดที่ได้จากการใช้ของสภาวะการฉีดมาตรฐานมีค่า 264.7 g/kW-h ที่ความเร็ว 1,200 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 5-18 ยังพบว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ได้จากการใช้ของสภาวะการฉีดล่าช้า มีค่าสูงที่สุดในทุกช่วงความเร็ว 1,200-2,400 รอบต่อนาที โดยความแตกต่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับของสภาวะการฉีดมาตรฐาน 1.1-75.68 g/kW-h คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 0.3-22.6 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดที่ได้จากของสภาวะการฉีดล่าช้า 340 g/kW-h ที่ความเร็ว 1,200 รอบต่อนาที

สรุปได้ว่าเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่สภาวะภาระสูงสุดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ได้จากการใช้ของสภาวะการฉีดล่วงหน้ามีค่าต่ำที่สุดในทุกความเร็วรอบทดสอบ โดยมีค่าต่ำกว่าของสภาวะการฉีดมาตรฐานร้อยละ 2.8-7.5 และเมื่อใช้ของสภาวะการฉีดล่าช้ามีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกสูงที่สุดโดยสูงกว่าของสภาวะการฉีดมาตรฐาน ที่ทุกความเร็วรอบในการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 0.3-22.6

### ง. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก

ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนของสภาวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 5-18

จากรูปที่ 5-18 พบว่าประสิทธิภาพจากการใช้ของสภาวะการฉีดล่วงหน้ามีค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดในทุกความเร็วรอบในการทดสอบ 1,200-2,400 รอบต่อนาที โดยความต่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกจากการใช้ของสภาวะการฉีดล่วงหน้า และของสภาวะการฉีดมาตรฐาน 0.9-2.5 คิดเป็นความแตกต่างประมาณร้อยละ 2.6-6.8 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงที่สุดเมื่อของสภาวะการฉีดล่วงหน้า 37.66 ที่ความเร็ว 1,200 รอบต่อนาที ขณะที่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงจากการใช้ของสภาวะการฉีดมาตรฐานมีค่า 36.5 ที่ความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 5-18 พบว่าประสิทธิภาพจากที่ได้การใช้องศาการฉีดลำซ้ำมีค่าประสิทธิภาพต่ำที่สุดทุกความเร็วรอบในการทดสอบ โดยความต่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกจากการใช้องศาการฉีดลำซ้ำต่ำกว่าองศาการฉีดมาตรฐาน 0.1-8.1 คิดเป็นความแตกต่างประมาณร้อยละ 0.4-22.2 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดเมื่อองศาการฉีดลำซ้ำ 37.6 ที่ความเร็ว 1,200 รอบต่อนาที

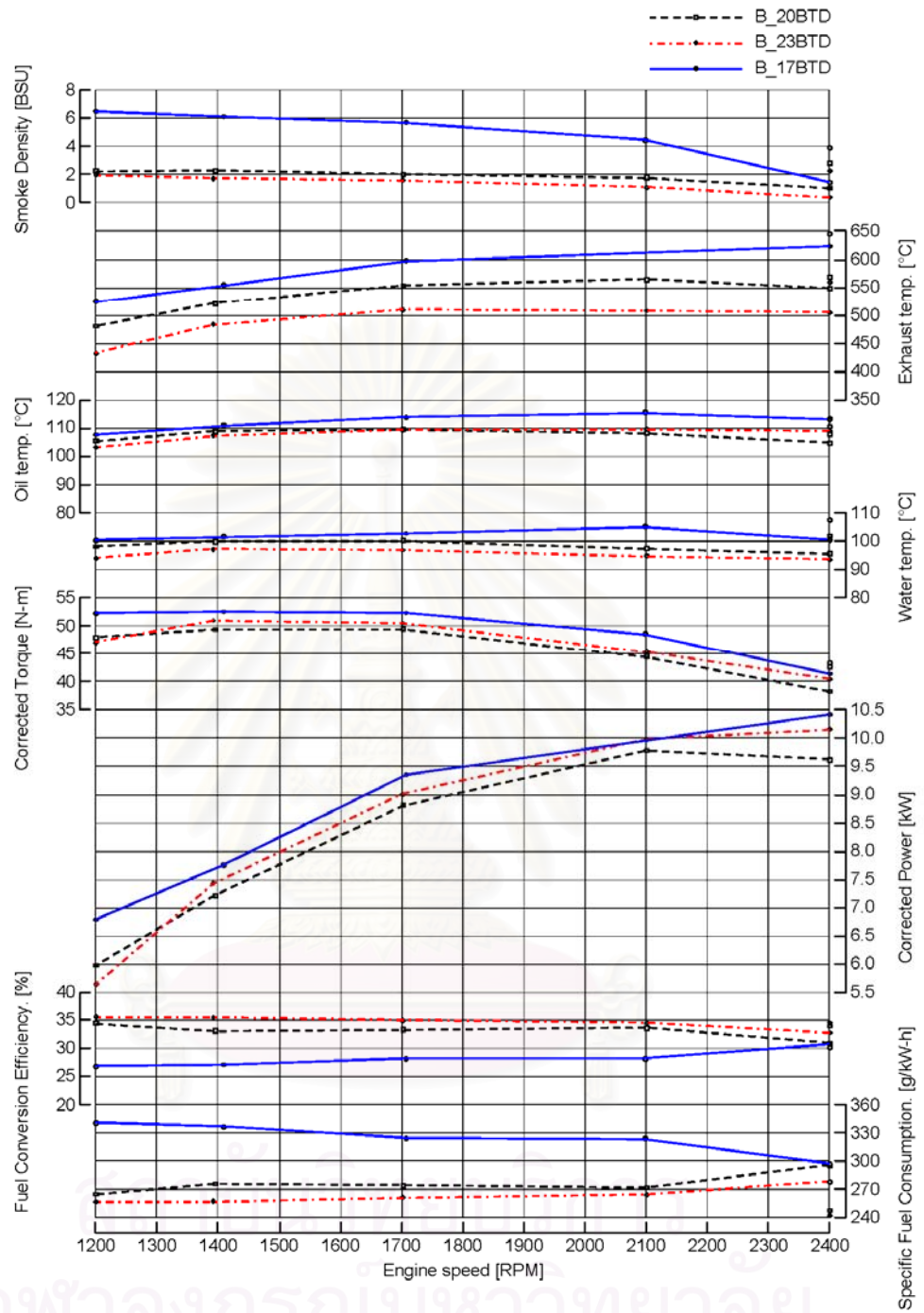
สรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ได้จากการใช้องศาการฉีดล่วงหน้ามีค่าสูงที่สุดโดยมีค่ามากกว่าค่าองศาการฉีดมาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 0.9 – 2.5 และค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกต่ำที่สุดเมื่อองศาการฉีดลำซ้ำโดยมีค่าต่ำกว่าองศาการฉีดมาตรฐาน คิดเป็นร้อยละ 0.1-8.1

### จ. อุณหภูมิไอเสีย

อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 5-18

จากรูปที่ 5-18 พบว่าค่าอุณหภูมิไอเสียจากการใช้องศาการฉีดลำซ้ำมีค่าสูงสุดเปรียบเทียบกับมาตรฐาน โดยมีค่าสูงกว่า 32-97 องศาเซลเซียส ตลอดทุกช่วงความเร็วในการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 6.3-14.8 โดยองศาการฉีดลำซ้ำมีอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 660 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 2,100 รอบต่อนาที และเมื่อใช้องศาการฉีดมาตรฐานอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 563 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 2,100 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 5-18 พบว่าค่าอุณหภูมิไอเสียจากการใช้องศาการฉีดล่วงหน้ามีอุณหภูมิไอเสียค่าต่ำกว่าการฉีดมาตรฐาน 37-55 องศาเซลเซียส ตลอดทุกช่วงความเร็วในการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 8.5-11.1 โดยองศาการฉีดล่วงหน้ามีอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 510 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 1,700 รอบต่อนาที



รูปที่ 5-18

กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรงบิดเบรก กำลังเบรก อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก(bsfc) ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิไอเสีย และค่าวันด้าที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเมื่อเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

สรุปได้ว่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่าเมื่อปรับองศาการฉีดล่าช้ามีอุณหภูมิไอเสียมากกว่าการใช้อองศาการฉีดมาตรฐานร้อยละ 6.3-14 และการใช้อองศาการฉีดล่วงหน้ามีค่าต่ำกว่าองศาการฉีดมาตรฐานร้อยละ 8.5-11.1 ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

### จ. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 5-18

จากรูปที่ 5-18 พบว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น จากการใช้อองศาการฉีดล่าช้ามีค่าสูงกว่าการใช้อองศาการฉีดมาตรฐาน 2.1-8.0 องศาเซลเซียส ทุกช่วงความเร็วที่ทำการทดสอบคิดเป็นร้อยละ 1.9-8.0 โดยองศาการฉีดล่าช้ามีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดที่ความเร็วรอบ 2,100 รอบต่อนาที มีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น 115 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อองศาการฉีดมาตรฐานมีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดที่ความเร็วรอบ 1,700 รอบต่อนาที มีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น 110 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 5-18 พบว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น จากการใช้อองศาการฉีดล่วงหน้าและองศาการฉีดมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกัน โดยองศาการฉีดล่วงหน้ามีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดที่ความเร็วรอบ 2,100 รอบต่อนาที มีอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

สรุปได้ว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น เปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลโดยการปรับองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่าช้าทำให้มีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ต่ำกว่าการใช้อองศาการฉีดมาตรฐาน 1.9-2.2 องศาเซลเซียส ตลอดทุกความเร็วรอบ

### ข. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 5-18

จากรูปที่ 5-18 พบว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น จากการใช้อองศาการฉีดล่าช้ามีค่าสูงกว่าการใช้อองศาการฉีดมาตรฐาน 2.1-8.0 องศาเซลเซียส ทุกช่วงความเร็วที่ทำการทดสอบคิดเป็นร้อยละ 1.9-8.0 โดยองศาการฉีดล่าช้ามีอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงสุดที่ความเร็วรอบ 2,100 รอบต่อนาที มีอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 115 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อองศาการฉีดมาตรฐานมีอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงสุดเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 1,700 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 5-18 พบว่าที่อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น จากการใช้อองศาการฉีดล่วงหน้าและองศาการฉีดมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกัน โดยองศาการฉีดล่วงหน้ามีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 2,100 รอบต่อนาที



สรุปได้ว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล การใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลทำให้มีอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล 1-3 องศาเซลเซียส ตลอดทุกความเร็วรอบ

### ข. ค่าควันดัม

ค่าควันดัมที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 5-18

จากรูปที่ 5-18 พบว่าระหว่างค่าควันดัมกับความเร็วน้ำมัน มีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นเชิงเส้น โดยค่าควันดัมจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเร็วน้ำมันที่ลดลง เมื่อใช้องศาการฉีดล่าช้าค่าควันดัมมีค่าต่ำกว่าองศาการฉีดมาตรฐานทุกความเร็วน้ำมันที่ทดสอบ 0.4-0.7 BSN ในทางกลับกันการใช้อองศาการฉีดแบบล่าช้ามีค่าควันดัมมากกว่าองศาการฉีดมาตรฐานที่สภาวะภาระสูงสุดสูงตั้งแต่ 1.5-6.5 BSN

### 5.2.1.2 สภาวะภาระบางส่วน ที่ความเร็วน้ำมันคงที่(Part Load Conditions)

#### ก. ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

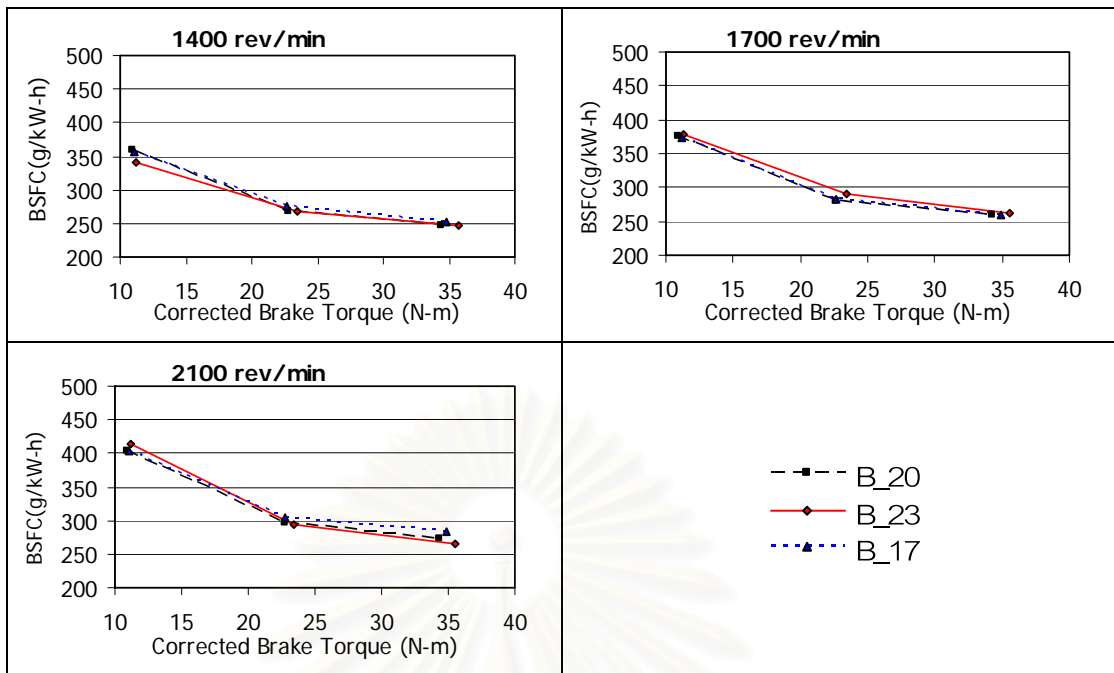
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและค่าแรงบิดเบรกที่ความเร็วน้ำมันคงที่ กับการเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 5-19

รูปที่ 5-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับแรงบิดเบรก ที่ค่าความเร็วน้ำมัน ตั้งแต่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาที จากการทดสอบไม่พบความแตกต่างที่มีแนวโน้มจากการเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ชัดเจน โดยการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะมีค่าแกว่งตัวกลับไปมาโดยมีความแตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 0-4.5 โดยมีความสัมพันธ์ว่าเมื่อมีแรงบิดเพิ่มขึ้น จะมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำลง

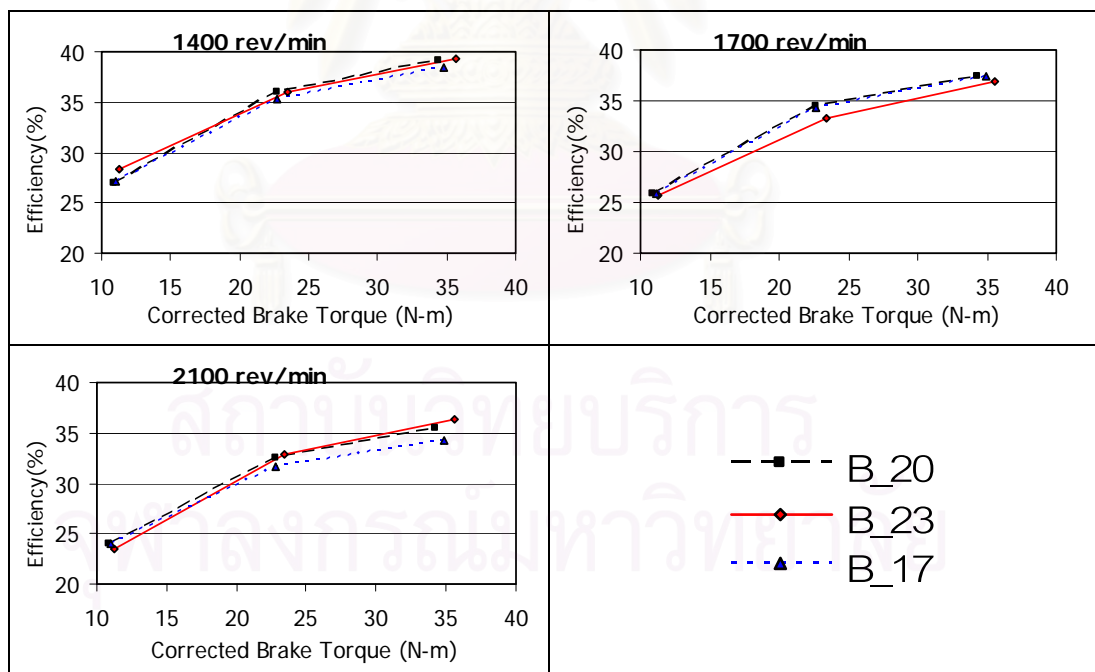
#### ข. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเบรก

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกและค่าแรงบิดเบรก ความเร็วน้ำมัน ตั้งแต่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 5-20

รูปที่ 5-20 พบว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก มีแนวโน้มเดียวกับค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ กล่าวคือ ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกจากการเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงไม่แตกต่างกัน โดยมีการแกว่งตัวของค่าที่ร้อยละ 0-4.5



รูปที่ 5-19 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง



รูปที่ 5-20 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง

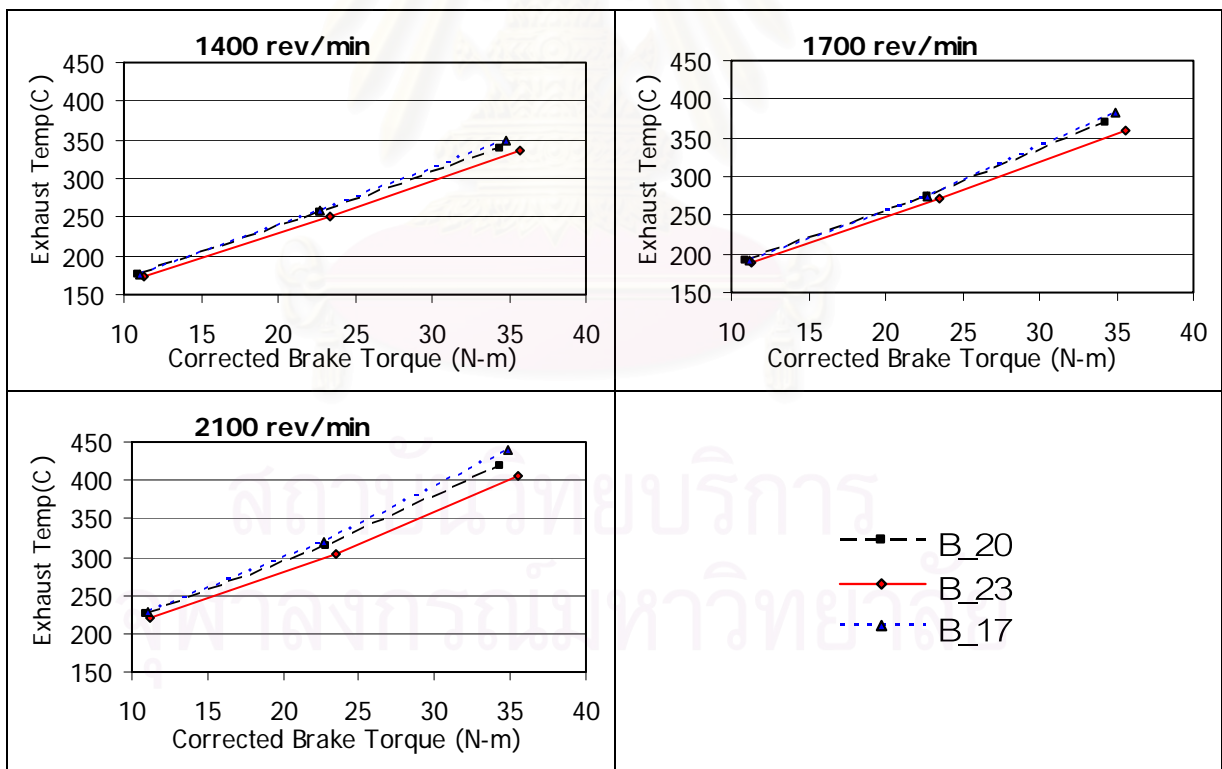
**ค. อุณหภูมิไอเสีย**

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียและค่าแรงบิดเบรก ความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 5-21

จากรูปที่ 5-21 พบว่าอุณหภูมิไอเสียจากการใช้องศาการฉีดล่วงหน้า มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิไอเสียที่ได้จากการฉีดมาตรฐาน 2-15 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละ 0.6-3.0 และอุณหภูมิไอเสียจากการใช้องศาการฉีดล่าช้า มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิไอเสียที่ได้จากการฉีดมาตรฐาน 0.5-20 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละ 0.2-4.9

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระบางส่วนอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้องศาการฉีดล่าช้าจะมีค่าที่สูงที่สุด และองศาการฉีดมาตรฐาน และองศาการฉีดล่าช้า รองลงมาตามลำดับ

สาเหตุที่องศาการฉีดล่วงหน้ามีอุณหภูมิไอเสียที่ต่ำกว่าเนื่อง การฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าจะใช้เวลาในห้องเผาไหม้นานกว่า จึงทำให้ความร้อนถ่ายเทลงในน้ำมันหล่อลื่น และน้ำหล่อเย็นนานกว่าดังเห็นได้จากผลของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น



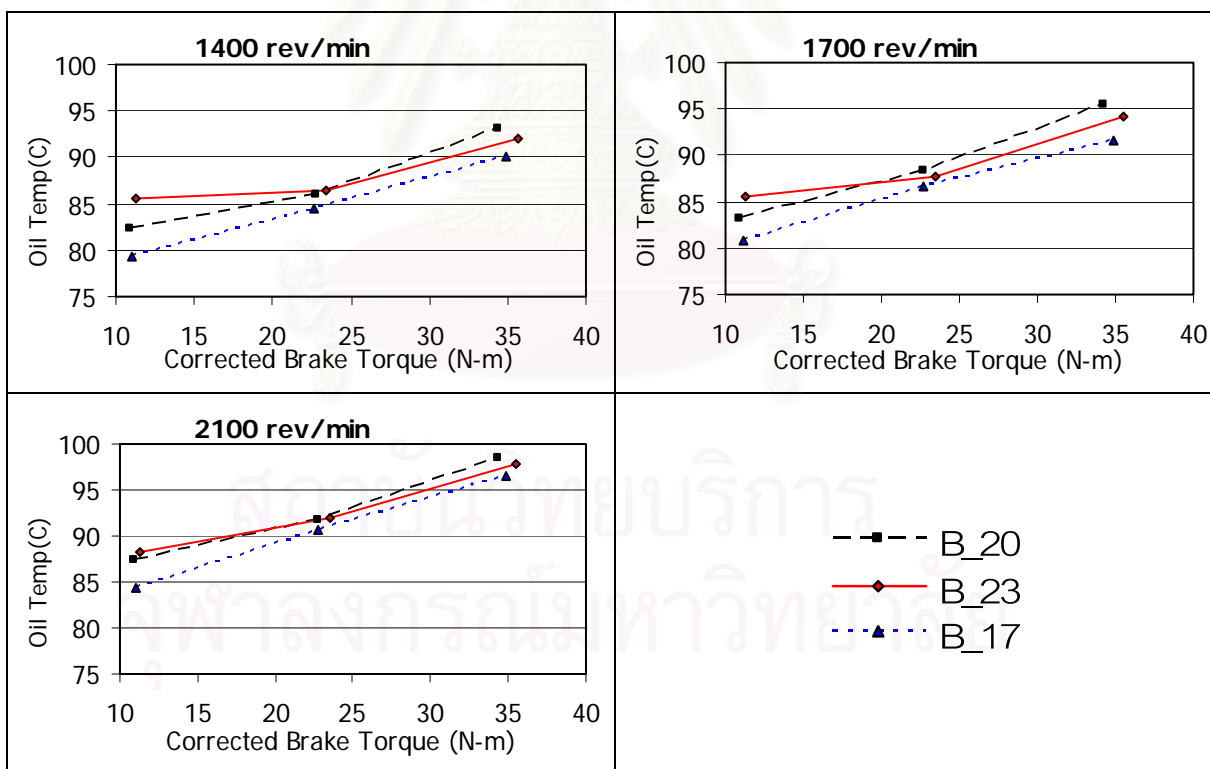
รูปที่ 5-21 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง

### ง. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นและค่าแรงบิดเบรกเมื่อ ความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบ ระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 5-22

จากรูปที่ 5-22 พบว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดเบรกสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น เมื่อใช้องศาการฉีดล่วงหน้าจะมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อใช้องศาการฉีดมาตรฐาน เมื่อมีความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที การใช้อองศาการฉีดล่วงหน้าจะมีค่าสูงกว่าคิดเป็นร้อยละ 1 และเมื่อมีความเร็ว 1,700 และ 2,100 การใช้อองศาการฉีดมาตรฐานจะมีอุณหภูมิสูงกว่าคิดเป็นร้อยละ 2-3 และเมื่อใช้อองศาการฉีดล่าช้า อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ทุกจุดทดสอบ 1.2-3.7 คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 1.9-3.9

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระบางส่วน เมื่อใช้อองศาการฉีดล่วงหน้า และองศาการฉีดมาตรฐาน อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้อองศาการการฉีดล่าช้าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีค่าต่ำลงที่ทุกจุดที่ทำการทดสอบคิดเป็นร้อยละ 1.9-3.9



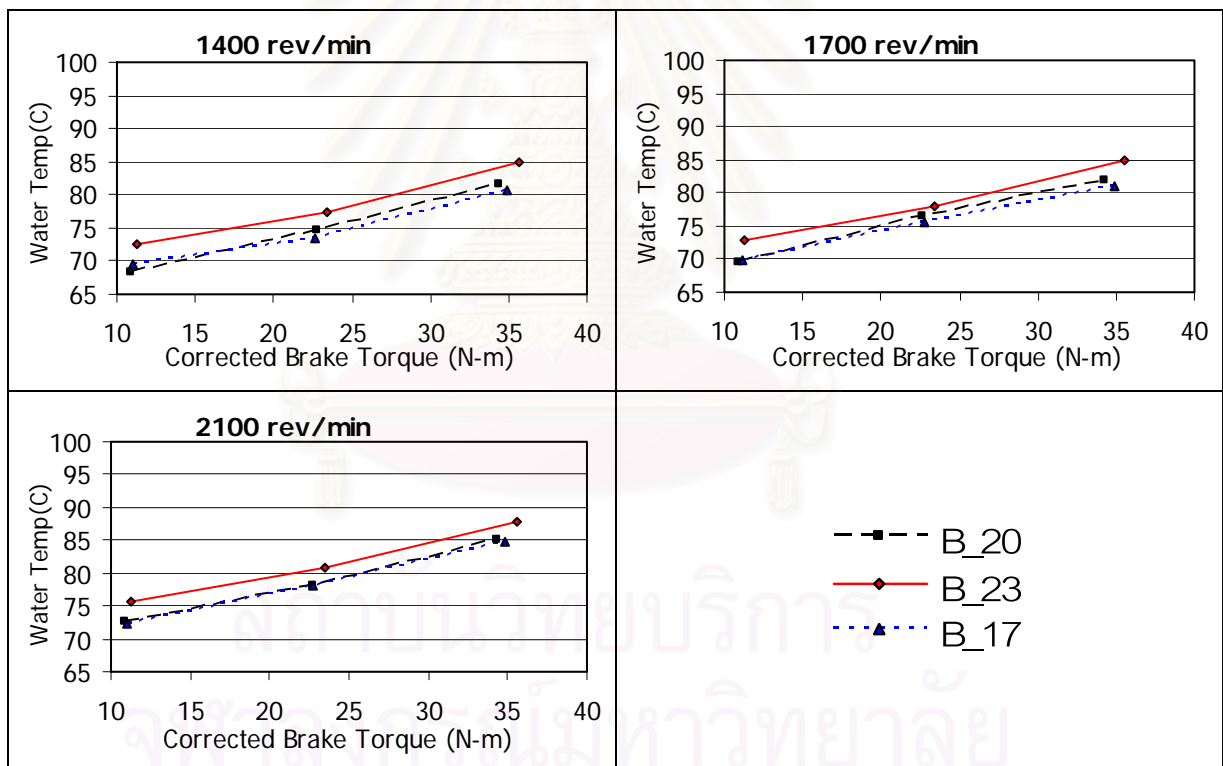
รูปที่ 5-22 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง

### จ. อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นและค่าแรงบิดเบรกที่ความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงแสดงในรูปที่ 5-23

จากรูปที่ 5-23 พบว่าอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น เมื่อใช้องศาการฉีดล่าช้าจะมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อใช้องศาการฉีดมาตรฐาน โดยการฉีดล่าช้าจะมีค่าสูงกว่า คิดเป็นร้อยละ 2- 3 และเมื่อใช้องศาการฉีดล่วงหน้าอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นมีค่าสูงกว่าองศาการฉีดมาตรฐานที่ทุกจุดทดสอบ 2.2-4.6 โดยคิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 3.7-5.1

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระบางส่วน เมื่อใช้องศาการฉีดล่าช้าและองศาการฉีดมาตรฐาน อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้องศาการฉีดล่วงหน้าอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นมีค่าสูงขึ้นที่ทุกจุดที่ทำการทดสอบคิดเป็นร้อยละ 3.7-5.1



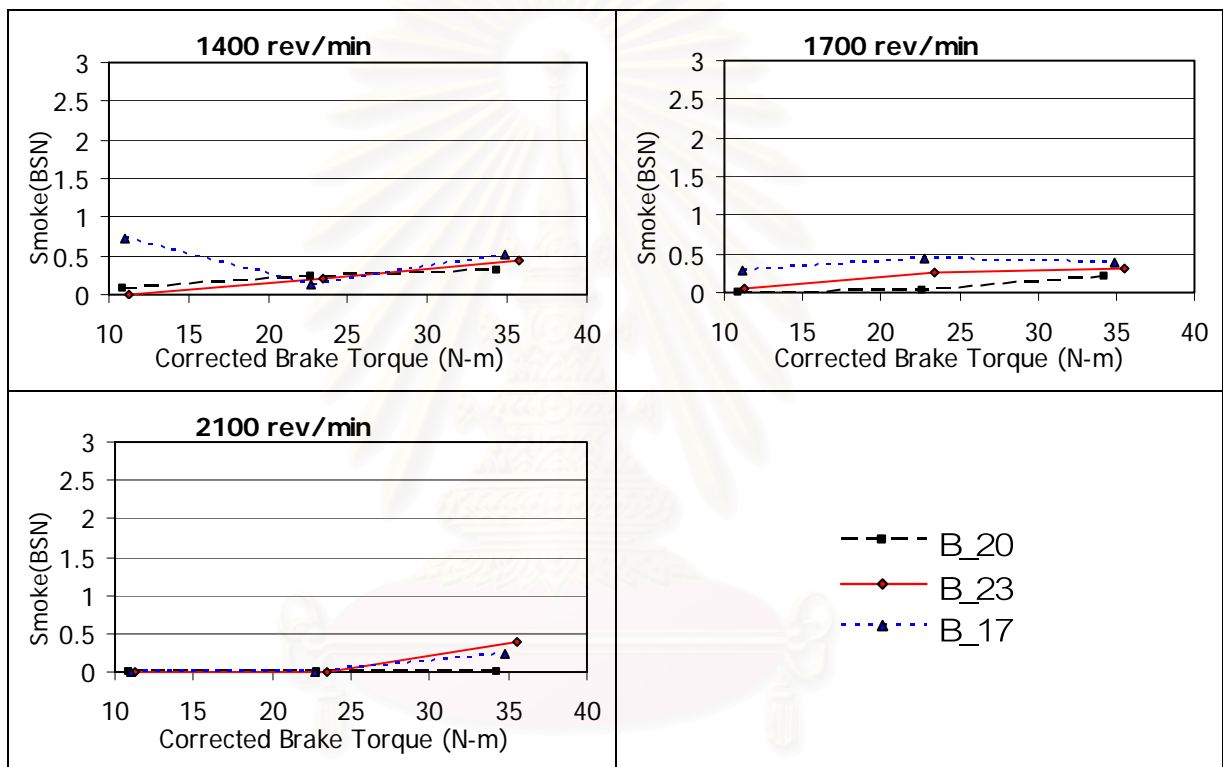
รูปที่ 5-23 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาทีของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง



### จ. ค่าควันดำ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าควันดำและค่าแรงบิดเบรกที่ ความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาที ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 5-24

จากรูปที่ 5-24 พบว่าค่าควันดำจากการเปลี่ยนองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทุกจุดทดสอบและทุกองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และมีค่าควันดำไม่เกิน 0.7 BSN



รูปที่ 5-24 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าควันดำที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,400 1,700 และ 2,100 รอบต่อนาทีของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง

### 5.3 การทดสอบความทนทาน

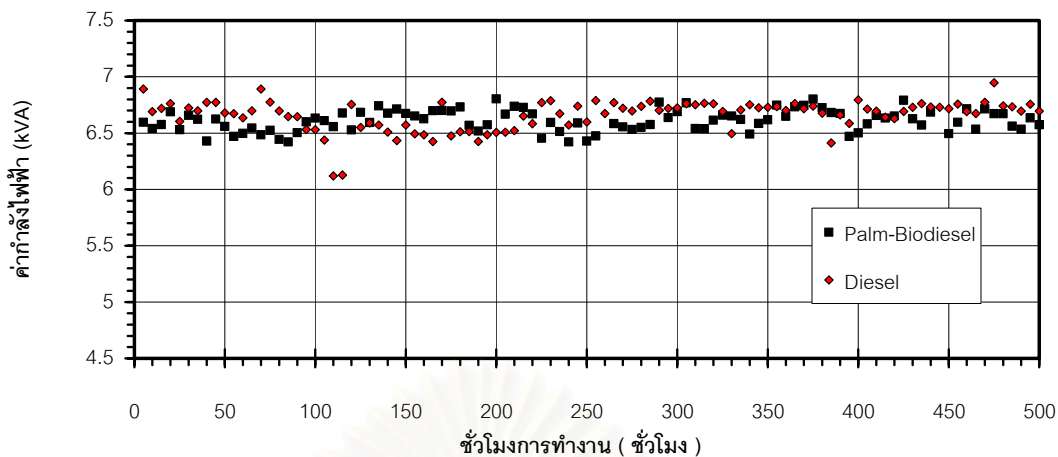
ผลจากการทดสอบความทนทานโดยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ด้วยการนำไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและทำการทดสอบตามวัฏจักรภาระจำลอง เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงร่วมเมื่อนำมาใช้กันอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลารวมกว่า 500 ชั่วโมงทำงานนั้น ในระหว่างการทดสอบดังกล่าวได้ตรวจวัดค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ค่าความต่างศักย์และค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาค่ากำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้หลอดไฟฟ้าเป็นตัวสร้างภาระให้กับเครื่องยนต์และใช้เพื่อการอ้างอิงและควบคุมสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ให้เป็นไปตามวัฏจักรภาระจำลองที่กำหนดทุกๆ ช่วงเวลาที่เท่าๆ กัน ซึ่งผลของค่ากำลังไฟฟ้า อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

#### 5.3.1 ผลระหว่างการทดสอบความทนทาน

##### ก. ค่ากำลังไฟฟ้า

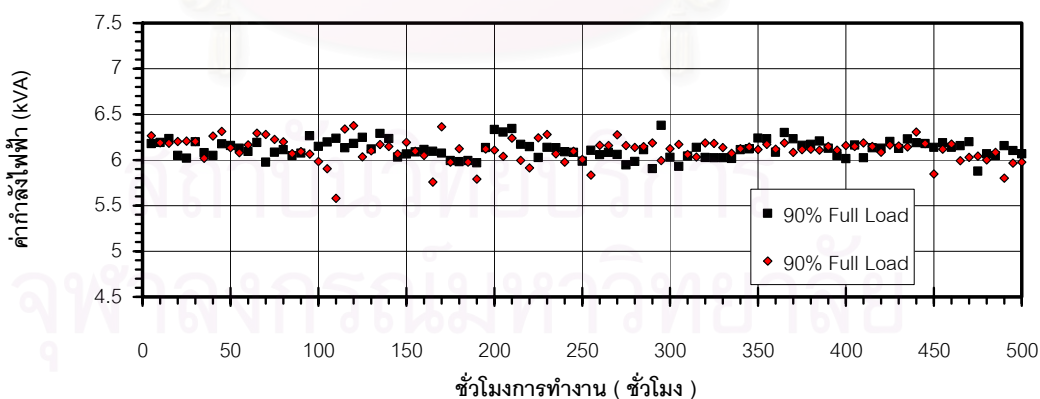
เพื่อให้แน่ใจว่าการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เป็นไปตามสภาพการทำงานที่กำหนดไว้จึงได้ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 5-25 รูปที่ 5-26 และรูปที่ 5-27

สภาวะการทำงานเพื่อให้แน่ใจได้ว่าภาระของเครื่องยนต์มีค่าที่ใกล้เคียงกันตลอดทำการทดสอบ โดยที่สภาวะการทำงานที่ 1 จะมีค่ากำลังไฟฟ้าที่เฉลี่ย 6.50 kVA สภาวะการทำงานที่ 2 จะมีค่ากำลังไฟฟ้าที่เฉลี่ย 6.12 kVA และสภาวะการทำงานที่ 3 จะมีค่ากำลังไฟฟ้าที่เฉลี่ย 5.60 kVA ตามลำดับ ซึ่งเมื่อปรับแก้ไขตามค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามค่าที่ทดสอบสมรรถนะและค่าความสูญเสียในระบบสายพานจะได้กำลังเครื่องยนต์ที่สภาวะการทำงานที่ 1 จะมีค่ากำลังประมาณ 9.2 กิโลวัตต์ ที่สภาวะการทำงานที่ 2 จะมีค่ากำลังประมาณ 8.3 กิโลวัตต์ ที่สภาวะการทำงานที่ 3 จะมีค่ากำลังที่ประมาณ 7.4 กิโลวัตต์



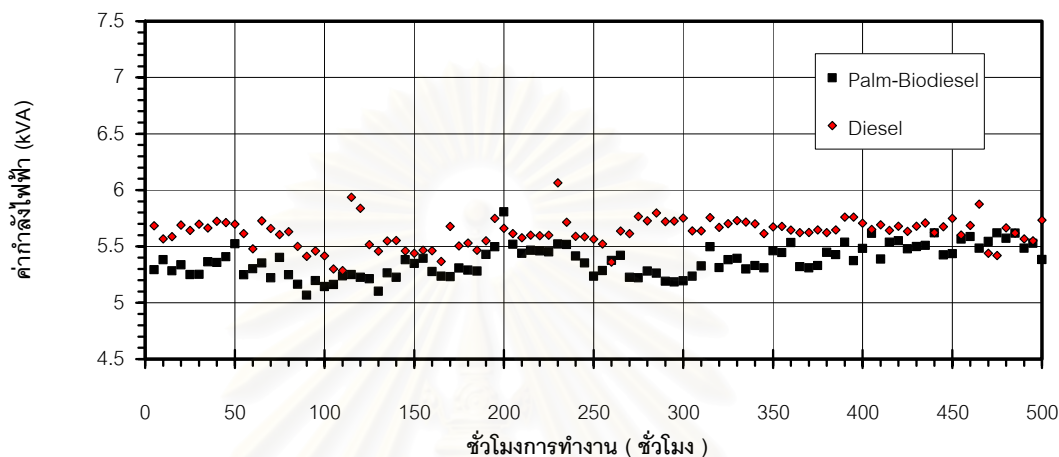
รูปที่ 5-25 แสดงค่ากำลังของเครื่องยนต์ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

จากรูปที่ 5-25 พบว่าสภาวะการทำงานที่ 1 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีค่าความแตกต่างของภาวะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ที่ค่าเฉลี่ย  $6.50 \pm 0.18$  kVA ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (Percent Confident) และมีค่าสูงสุด 6.89 kVA และมีค่าต่ำสุด 4.47 kVA และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล สภาวะการทำงานที่ 1 ค่าความแตกต่างของภาวะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ที่ค่าเฉลี่ย  $6.59 \pm 0.07$  kVA ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และมีค่าสูงสุด 6.89 kVA และมีค่าต่ำสุด 6.12 kVA



รูปที่ 5-26 แสดงค่ากำลังของเครื่องยนต์ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

รูปที่ 5-26 สภาวะการทำงานที่ 2 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ที่ค่าเฉลี่ย  $6.12 \pm 0.07$  kVA ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และมีค่าสูงสุด 6.42 kVA และมีค่าต่ำสุด 5.57 kVA และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลพบว่า สภาวะการทำงานที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ที่ค่าเฉลี่ย  $6.12 \pm 0.06$  kVA ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และมีค่าสูงสุด 6.38 kVA และมีค่าต่ำสุด 5.58 kVA

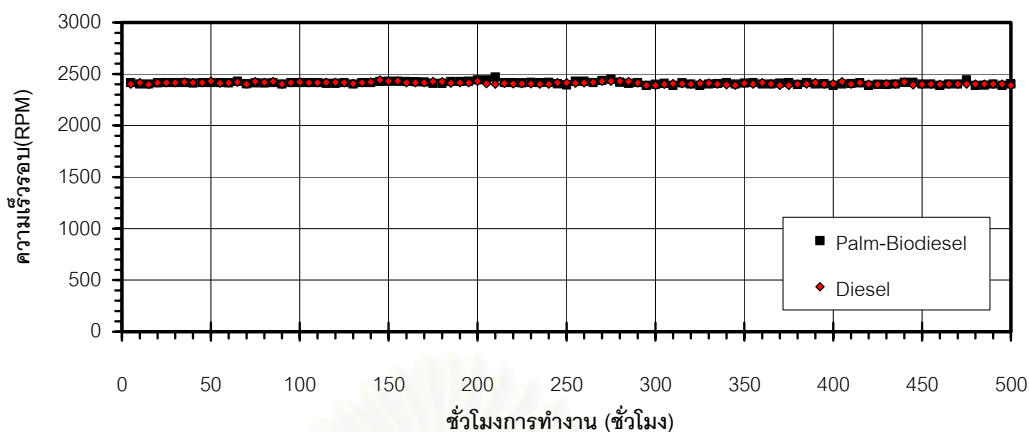


รูปที่ 5-27 แสดงค่ากำลังของเครื่องยนต์ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

รูปที่ 5-27 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลสภาวะการทำงานที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ที่ค่าเฉลี่ย  $5.57 \pm 0.05$  kVA ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และมีค่าสูงสุด 5.94 kVA และมีค่าต่ำสุด 5.29 kVA แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เครื่องยนต์ทำงานตลอดระยะเวลาการทดสอบความทนทานมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดสอบและ เครื่องยนต์ที่ใช้ปาล์มไบโอดีเซล สภาวะการทำงานที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ที่ค่าเฉลี่ย  $5.60 \pm 0.07$  kVA ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และมีค่าสูงสุด 6.16 kVA และมีค่าต่ำสุด 5.23 kVA แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เครื่องยนต์ทำงานตลอดระยะเวลาการทดสอบความทนทานมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดสอบ

### ข. ความเร็วรอบ

ความเร็วรอบระหว่างทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล แสดงในรูปที่รูปที่ 5-28 ที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ระหว่างการทดสอบพบว่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันทั้งสองชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน



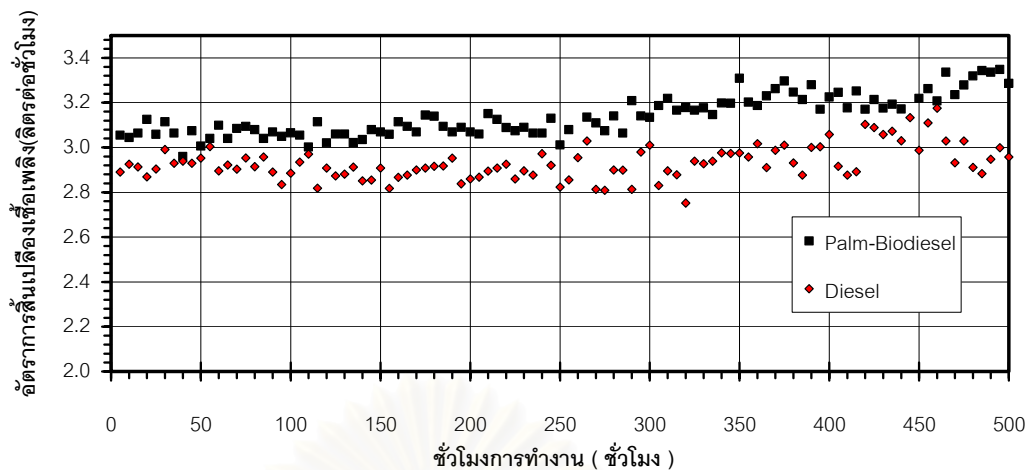
รูปที่ 5-28 แสดงค่ากำลังของเครื่องยนต์ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### ค. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 แสดงในรูปที่ รูปที่ 5-29 รูปที่ 5-30 และรูปที่ 5-31 เมื่อพิจารณาพบว่าแนวโน้มของทั้ง 3 สภาวะการทำงานมีลักษณะที่คล้ายกัน ซึ่งจะพิจารณาอย่างละเอียด ดังนี้

รูปที่ 5-29 แสดงสภาวะการทำงานที่ 1 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลพบว่าระหว่างทำการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 0 ถึง 320 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอประมาณ 2.90 ลิตรต่อชั่วโมง ตั้งแต่ในชั่วโมงที่ 320 ถึง 500 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่มีค่าสูงขึ้นกว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของการทดสอบที่ผ่านมาอย่างค่อยเป็นค่อยไป จนกระทั่งมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประมาณ 3.0 ลิตรต่อชั่วโมง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่สภาวะการทำงานที่ 1 พบว่าระหว่างทำการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 0 ถึง 250 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงที่สม่ำเสมอประมาณ 3.05 ลิตรต่อชั่วโมง ตั้งแต่ในชั่วโมงที่ 250 ถึง 500 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่มีค่าสูงขึ้นโดยมีอัตราคงที่ จนกระทั่งมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประมาณ 3.3 ลิตรต่อชั่วโมง



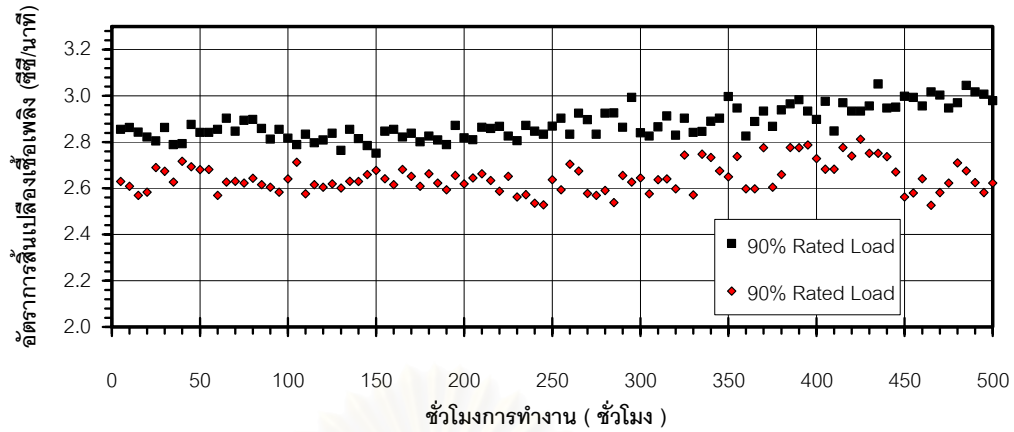


รูปที่ 5-29 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ (ลิตรต่อชั่วโมง) ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

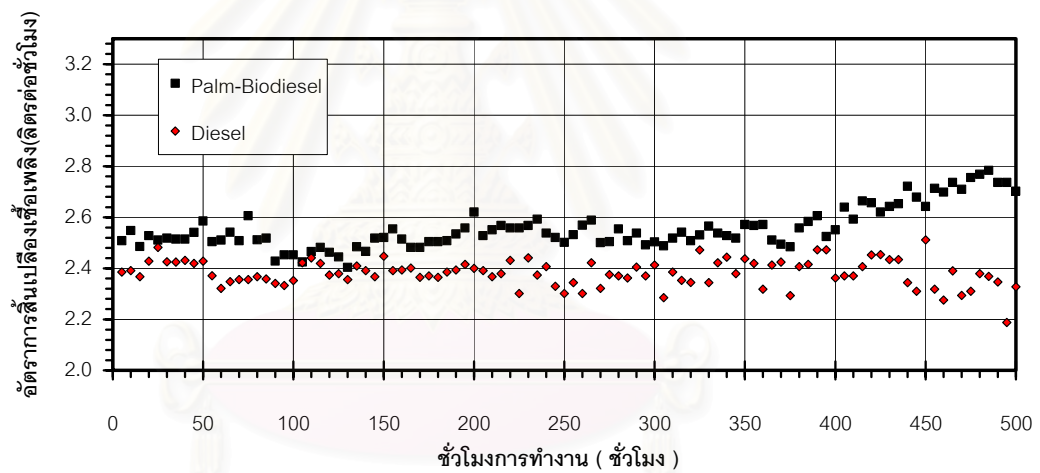
รูปที่ 5-30 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในสภาวะการทดสอบที่ 2 และ 3 พบว่าระหว่างทำการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 0 ถึง 320 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ และมีค่าประมาณ 2.65 ลิตรต่อชั่วโมง และ 2.35 ลิตรต่อชั่วโมง ใน สภาวะการทดสอบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งในชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 500 ที่สภาวะการทำงานที่ 2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีการกระจายของค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

รูปที่ 5-31 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่สภาวะการทำงานที่ 2 พบว่าระหว่างทำการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 0 ถึง 300 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอประมาณ 2.85 ลิตรต่อชั่วโมง ตั้งแต่ในชั่วโมงที่ 300 ถึง 500 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่มีค่าสูงขึ้นโดยมีอัตราค่าที่ จนกระทั่งมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประมาณ 3.0 ลิตรต่อชั่วโมง

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่สภาวะการทำงานที่ 3 พบว่าระหว่างทำการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 0 ถึง 375 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงที่สม่ำเสมอประมาณ 2.50 ลิตรต่อชั่วโมง ตั้งแต่ในชั่วโมงที่ 375 ถึง 500 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่มีค่าสูงขึ้นโดยมีอัตราค่าที่ จนกระทั่งมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประมาณ 2.7 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5-30 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ลิตรต่อชั่วโมง) ของเครื่องยนต์ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-31 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ (ลิตรต่อชั่วโมง) ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### ง. อุณหภูมิไอเสีย

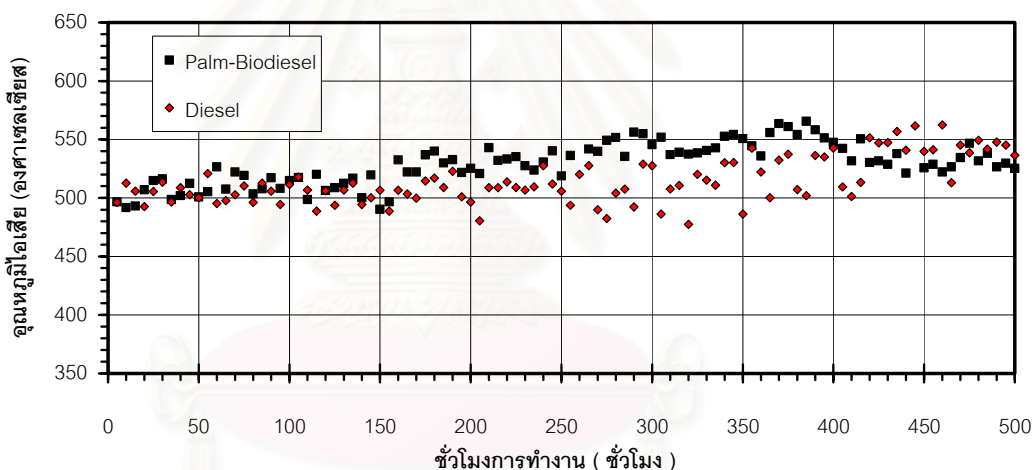
อุณหภูมิไอเสียระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 แสดงในรูปที่ 5-32 รูปที่ 5-33 และรูปที่ 5-34 เมื่อพิจารณาพบว่าแนวโน้มของทั้ง 3 สภาวะการทำงานมีลักษณะที่คล้ายกัน ซึ่งจะพิจารณารายละเอียด ดังนี้

เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลสภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 พบว่าระหว่างทำการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 0 ถึง 275 อุณหภูมิไอเสียมีค่าที่สม่ำเสมอประมาณ 500, 445 และ 400

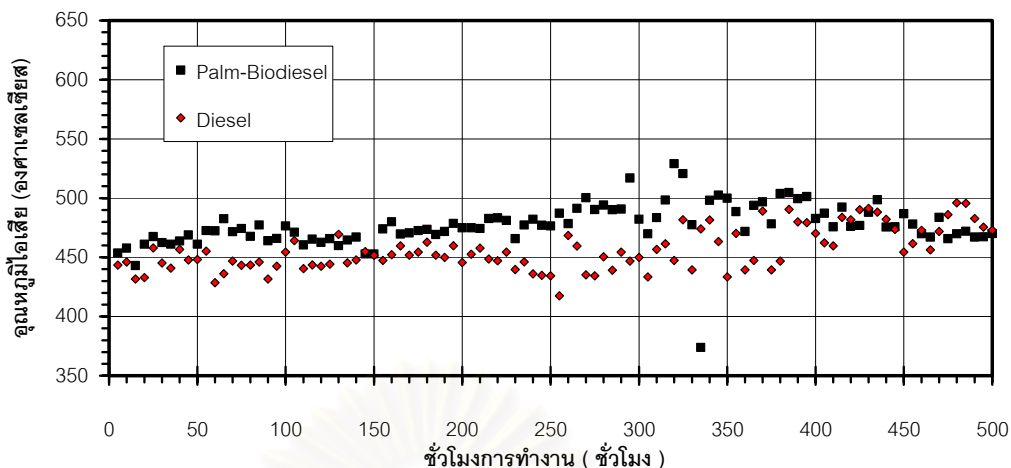
องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยหลังจากชั่วโมงที่ 275 ถึง 500 อุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงขึ้นกว่าค่าอุณหภูมิไอเสียของการทดสอบที่ผ่านมาอย่างค่อยเป็นค่อยไปในทุกสภาวะการทำงาน เมื่อชั่วโมงการทำงานที่ 500 ที่ทุกสภาวะการทำงานมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 30-40 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลสภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 ระหว่างทำการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 0 ถึง 150 อุณหภูมิไอเสียมีค่าที่สม่ำเสมอประมาณ 500, 450 และ 410 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยหลังจากชั่วโมงที่ 150 ถึง 400 อุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงขึ้นกว่าค่าอุณหภูมิไอเสียของการทดสอบที่ผ่านมามีอัตราการเพิ่มอย่างคงที่ในทุกสภาวะการทำงาน เมื่อชั่วโมงการทำงานที่ 400 ที่ทุกสภาวะการทำงานมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส หลังจากชั่วโมงที่ 400 อุณหภูมิไอเสียมีค่าสม่ำเสมอประมาณ 500, 460 และ 420 องศาเซลเซียส

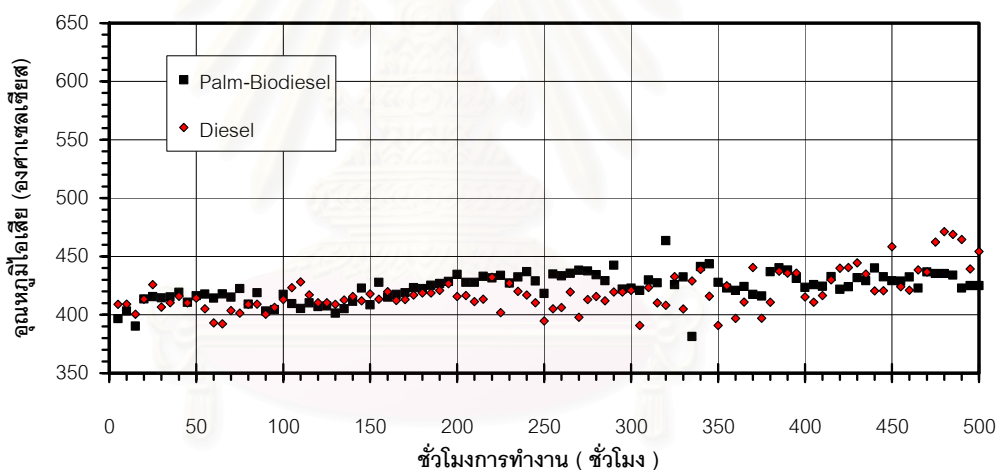
การเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีอุณหภูมิในการดำเนินงานสูงกว่าทุกสภาวะการทำงาน และมีค่าค่อนข้างสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเกือบตลอดช่วงการทดสอบ



รูปที่ 5-32 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสีย(องศาเซลเซียส) ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-33 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสีย(องศาเซลเซียส) ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-34 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสีย(องศาเซลเซียส) ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

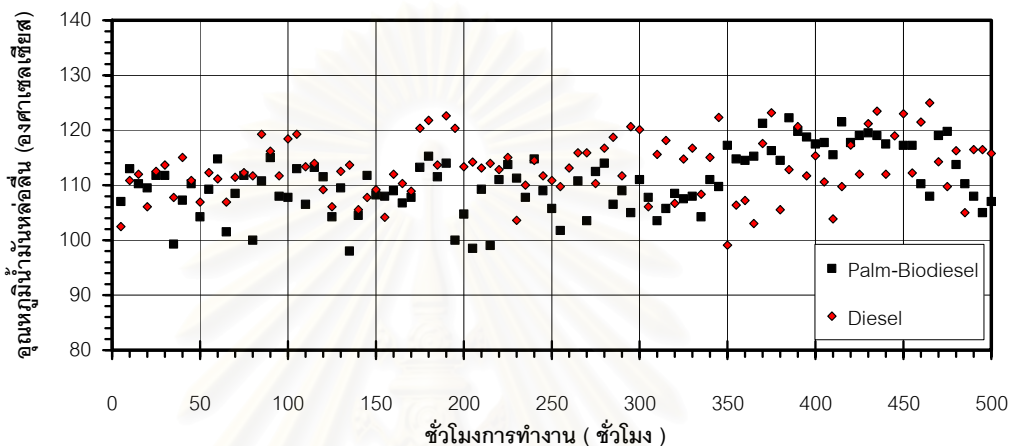
#### จ. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงดังรูปที่ 5-35รูปที่ 5-36 และรูปที่ 5-37

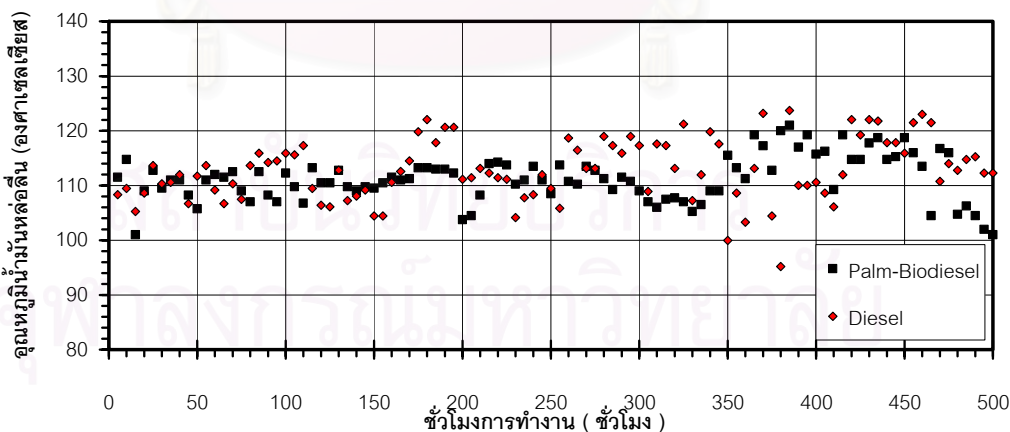
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลโดยจากรูป พบว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น มีการแกว่งตัว 100-120 องศาเซลเซียส ในชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 500 เมื่อพิจารณาละเอียด โดยแยกเป็นสภาวะ

เดียวกัน ดังรูปที่ 5-35 รูปที่ 5-36 และรูปที่ 5-37 ผลออกมาว่ามีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันทั้ง 3 สภาวะการทำงาน

เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลโดยหลังจาก 350 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็น มีการแกว่งตัวเพิ่มขึ้น 90-110 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาละเอียด โดยแยกเป็นที่สภาวะเดียวกัน พบว่ามีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันในสภาวะที่ 1 และ 2 แต่ในสภาวะที่ 3 อุณหภูมิ น้ำมันหล่อเย็นมีการแกว่งตัว 90-100 องศาเซลเซียสตลอดชั่วโมงที่ทำการทดลอง

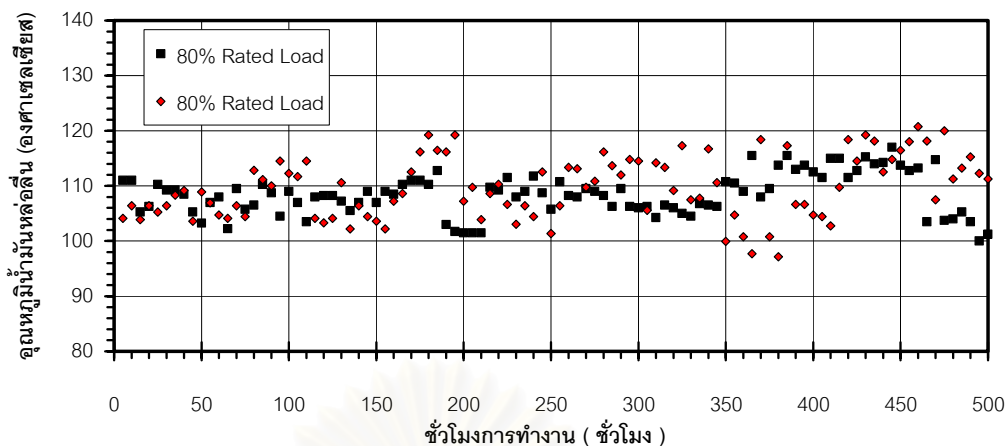


รูปที่ 5-35 แสดงอุณหภูมิ น้ำมันหล่อเย็นระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-36 แสดงอุณหภูมิ น้ำมันหล่อเย็นระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล





รูปที่ 5-37 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

#### จ. ปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

เมื่อพิจารณาปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลแสดงดังรูปที่ 5-38 แนวโน้มปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นมี ปริมาณที่ใกล้เคียงกันที่โดยแบ่งเป็นช่วงตามการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นได้ดังนี้

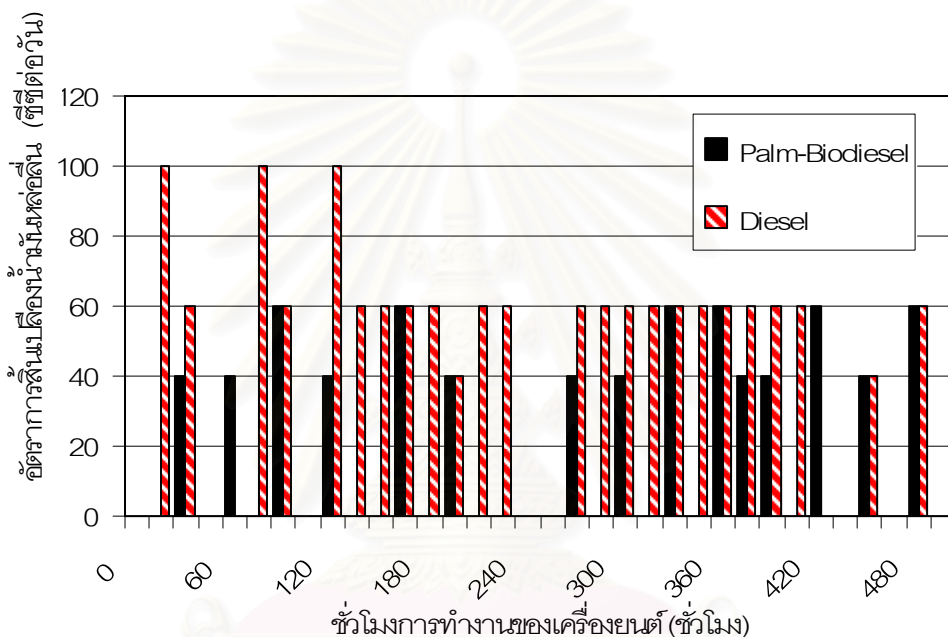
##### เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล

- ช่วงอายุการใช้งานเครื่องยนต์ 0-110 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลือง น้ำมันหล่อลื่นเฉลี่ยเท่ากับ 52.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน
- ช่วงอายุการใช้งานเครื่องยนต์ 110-220 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลือง น้ำมันหล่อลื่นเฉลี่ยเท่ากับ 14 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน
- ช่วงอายุการใช้งานเครื่องยนต์ 220-320 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลือง น้ำมันหล่อลื่นเฉลี่ยเท่ากับ 57.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน
- ช่วงอายุการใช้งานเครื่องยนต์ 320-420 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลือง น้ำมันหล่อลื่นเฉลี่ยเท่ากับ 50.0 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน
- ช่วงอายุการใช้งานเครื่องยนต์ 420-500 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลือง น้ำมันหล่อลื่นเฉลี่ยเท่ากับ 20.0 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน

##### เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

- ช่วงอายุการใช้งานเครื่องยนต์ 0-110 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลือง น้ำมันหล่อลื่นเฉลี่ยเท่ากับ 45 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน

- ช่วงอายุการใช้งานเครื่องยนต์ 110-220 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นเฉลี่ยเท่ากับ 14 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน
- ช่วงอายุการใช้งานเครื่องยนต์ 220-320 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นเฉลี่ยเท่ากับ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน
- ช่วงอายุการใช้งานเครื่องยนต์ 320-420 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นเฉลี่ยเท่ากับ 33.3 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน
- ช่วงอายุการใช้งานเครื่องยนต์ 420-500 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นเฉลี่ยเท่ากับ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน



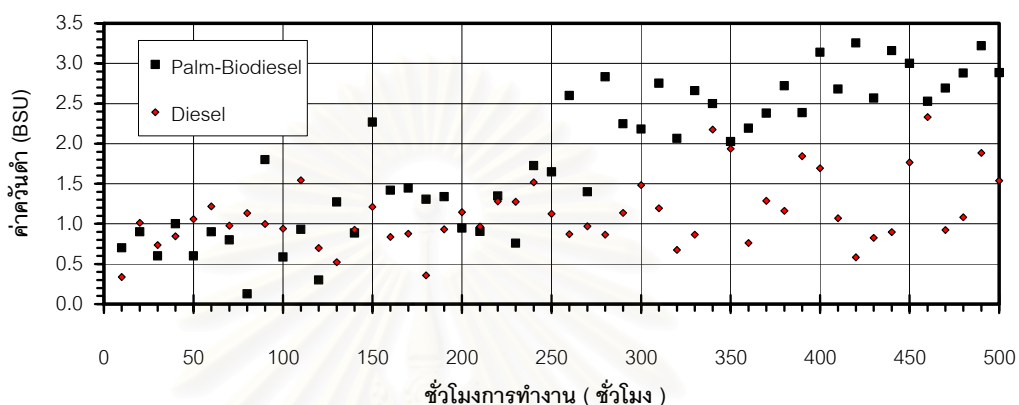
รูปที่ 5-38 แสดงอัตราการกินน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

**ข. ค่าคว้นด้า**

ความสัมพันธ์ระหว่างชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์กับค่าคว้นด้าเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล แสดงดังรูปที่ 5-39

จากรูปที่ 5-39 พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล แสดงแนวโน้มค่าคว้นด้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่คงที่ ตั้งแต่ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 500 โดยเริ่มจากประมาณ 0.8 BSN ถึง 1.5 BSN โดยมีการกระจายตัวของข้อมูลเริ่มต้นประมาณ ± 0.3 BSN จนถึง ± 0.5 BSN ที่ชั่วโมงการทำงานที่ 500

ผลปรากฏว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลแสดงแนวโน้มค่าควันดามีแนวโน้มแบ่งออกเป็นสองช่วง ช่วงแรกเป็นช่วงที่เพิ่มขึ้นโดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่คงที่เริ่มจากประมาณ 0.7 BSN ถึง 1.5 BSN ในช่วงการทำงานที่ 0 ถึง 250 ช่วงที่ 2 ตั้งแต่ช่วงการทำงานที่ 250 ถึง 500 โดยเริ่มจากประมาณ 2.0 BSN ถึง 3.0 BSN โดยมีการกระจายตัวของข้อมูลตลอดค่าการทดลองประมาณ  $\pm 0.3$  BSN



รูปที่ 5-39 แสดงค่าควันดามีระหว่างทำการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### 5.3.2 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

ผลจากการวิเคราะห์สามารถแบ่งออกเป็น 6 ส่วนด้วยกัน โดยส่วนแรกแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่สองเป็นผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่สามแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารปรุงแต่งในน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งทั้งสามส่วนใช้ในการตรวจสอบและอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น และส่วนที่สี่แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะจากการสึกหรอ ซึ่งจะครอบคลุมถึงผลจากการกระบวนการเฟอร์โรกราฟีเพื่อใช้ศึกษาถึงลักษณะ รูปร่างและขนาดของโลหะ โดยช่วงเวลาในการพิจารณาสามารถแบ่งเป็น 6 ช่วง ตามระยะการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น คือ

- ชั่วโมงที่ -20 ถึง 0 คือ ช่วงของการรันอินเครื่องยนต์(ใช้น้ำมันดีเซล)
- ชั่วโมงที่ 0 ถึง 110
- ชั่วโมงที่ 110 ถึง 220
- ชั่วโมงที่ 220 ถึง 320
- ชั่วโมงที่ 320 ถึง 420

- ชั่วโมงที่ 420 ถึง 500

ในการวิเคราะห์จะนำเสนอเป็น 2 รูปแบบคือ แสดงค่าตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ชั่วโมงที่ -20 ถึงชั่วโมงที่ 500 ตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลและเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และ แสดงค่าตามอายุการใช้งานของ น้ำมันหล่อลื่น (oil hr) โดยพิจารณาแยกเครื่องยนต์ที่ใช้ชนิดน้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลออกจากกันเพื่ออำนวยความสะดวกเปรียบเทียบและศึกษาแนวโน้มต่างๆ ในการวิเคราะห์

ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่สุ่มได้ในแต่ละครั้งได้มีการเปรียบเทียบกับค่าขอบเขตการเตือนสิ่งผิดปกติซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระดับ (แสดงในใบรายงานผลการวิเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่น ดังแสดงในภาคผนวก ฉ) คือ ระดับ "C" – Caution ซึ่งเป็นระดับเตือนขั้นเริ่มต้นถึงความผิดปกติต่อน้ำมันหล่อลื่นที่ควรเริ่มติดตามและเอาใจใส่ และระดับ "A"- Abnormal (หรือ Critical) ซึ่งเป็นระดับการเตือนขั้นวิกฤตซึ่งแสดงถึงสภาพน้ำมันหล่อลื่นหรือการสึกหรอของเครื่องจักรอยู่ในขอบเขตที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรได้ ขอบเขตการเตือนสิ่งผิดปกติทั้งสองระดับนี้อ้างอิงและกำหนดจากหลักสถิติที่สะสมจากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ลักษณะเดียวกันเป็นจำนวนมาก

### 5.3.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นอันมีผลต่อความสามารถในการหล่อลื่นและสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่สนใจจะติดตามผลในช่วงการทดสอบความทนทาน ประกอบด้วย ผลของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 °C ค่าความเป็นด่างรวม (TBN) ค่าออกซิเดชัน และ ค่าไนเตรชัน แสดงในรูปที่ 5-38 และรูปที่ 5-39

#### ก. ค่าความหนืดที่ 100 °C

จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดที่ 100 องศาเซลเซียส รูปที่ 5-40 ผลปรากฏว่าแนวโน้มค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นสามารถแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 ช่วง

ช่วงแรก 0-320 ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มคงที่ในทางกลับกันเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าลดลง โดยมีแนวโน้มคงที่ โดยที่ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ 100 และ 110 ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าต่ำจนมีค่าเกินระดับการเตือนภัยขั้นต้น

ช่วงที่สอง ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ 320-500 เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลยังมีแนวโน้มที่คล้ายเดิมคือเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ แตกต่างจากเดิมคือมีค่าสูงสุดของความหนืดที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่ออายุการใช้งานของเครื่องยนต์ที่ 420 ชั่วโมงค่าความหนืดมีค่าเกินค่าเตือนภัยขั้นแรก โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลค่าความหนืดมีลักษณะเพิ่มสูงขึ้นถึงจุดหนึ่งแล้วลดลงมา

ใกล้เคียงกับค่าความหนืดเริ่มต้น ทั้งนี้สาเหตุอาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำในปริมาณที่สูง ในช่วงโงมการทำงานของเครื่องยนต์ 0-300 ชั่วโมง ขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เมื่อค่าควันค่าสูงขึ้น ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

การพิจารณาตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซล แสดงในรูปที่ 5-41 ปรากฏว่ามีแนวโน้มคล้ายกันตลอดช่วงระยะเวลาการทดสอบ และเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมี ค่าความหนืดในช่วงโงมการทดสอบ 320-420 มีค่าสูงกว่าช่วงการทดสอบอื่น

### ข. ค่าออกซิเดชัน และไนเตรชัน

จากการวิเคราะห์ค่าออกซิเดชัน และไนเตรชัน เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันทั้งสองแสดงในรูปที่ 5-40 ค่าออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่นทั้งสองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่าออกซิเดชันของเครื่องยนต์ดีเซลมีสาเหตุมาจากความร้อน เนื่องจากโดยปกติแล้วทุกๆ  $10^{\circ}\text{C}$  ที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่เกินกว่า  $70^{\circ}\text{C}$  อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า แต่สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลค่าออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นคาดว่ามีผลมาจาก 3 สาเหตุ สาเหตุแรกมาจากการปนเปื้อนของน้ำในน้ำมันหล่อลื่นสามารถดูได้จากรูปที่ 5-42 ซึ่งในช่วงโงมการทำงานที่ 0 ถึง 320 มีการปนเปื้อนของน้ำในปริมาณสูงซึ่งน้ำเป็นสาเหตุหลักในการเกิดการออกซิเดชัน และเมื่อช่วงโงมการทำงานของเครื่องยนต์ช่วงโงมที่ 320 ถึง 500 ปริมาณน้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นมีปริมาณลดลง ทำให้อัตราการเกิดออกซิเดชันลดลง สาเหตุถัดมาคือก๊าซโบล์วบาย(Blow By Gas) เป็นก๊าซที่ถูกความดันจากการเผาไหม้ลงไปใอ่างน้ำมันเครื่องมีส่วนผสมของสารที่เป็นสารชีวภาพ ซึ่งโดยปกติจะมีค่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สูง ทำให้ค่าออกซิเดชันของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก็ยังมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างน้อยประมาณ 1 เท่า ซึ่งไม่เหมือนกับการปนเปื้อนของน้ำการตรวจด้วยวิธีอ่าน spectum ของแสงไม่สามารถอ่านค่าน้ำมันที่ไม่ใช่ น้ำมันดีเซลได้

ค่าไนเตรชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันโดยสามารถแบ่งช่วงพิจารณาออกเป็นสองช่วงการทดสอบช่วงแรกช่วงโงมการทำงานของเครื่องยนต์ 0-320 ค่าไนเตรชันมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มที่คงตัวทั้งเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยค่าไนเตรชันของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่า น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเล็กน้อย

ช่วงที่สองช่วงโงมการทำงานของเครื่องยนต์ 320-420 และ 420-500 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าไนเตรชันสูงขึ้น ถึงแม้ว่า ช่วงโงมการทำงาน 420-500 จะมีการตกลงเล็กน้อยของค่าไนเตรชัน ในทางกลับกันช่วงโงมการทำงานเดียวกัน โดยค่าออกซิ

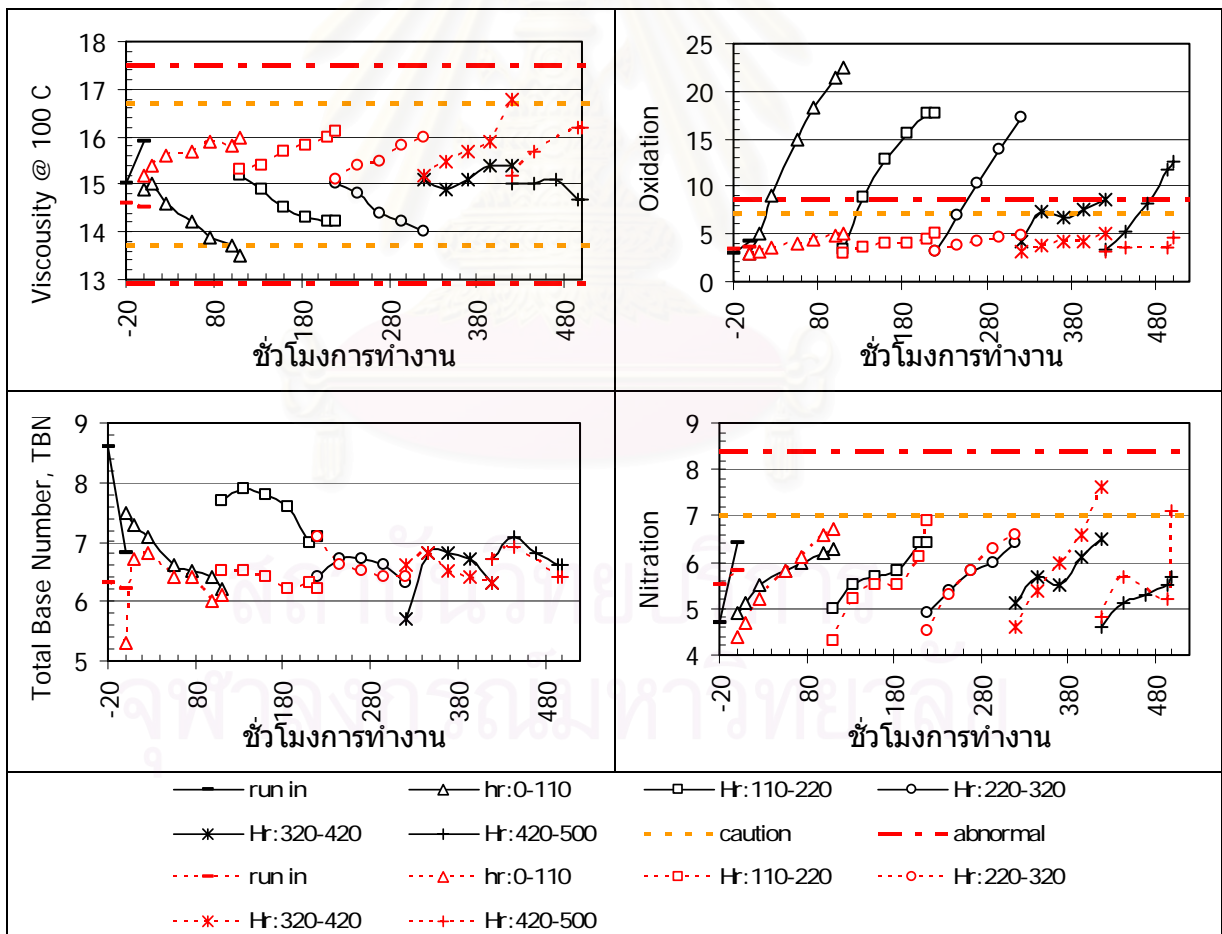


เดชันสูงเกินค่าวิกฤตตั้งแต่ชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นประมาณชั่วโมงที่ 30 ของเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลอัตราการผลิต

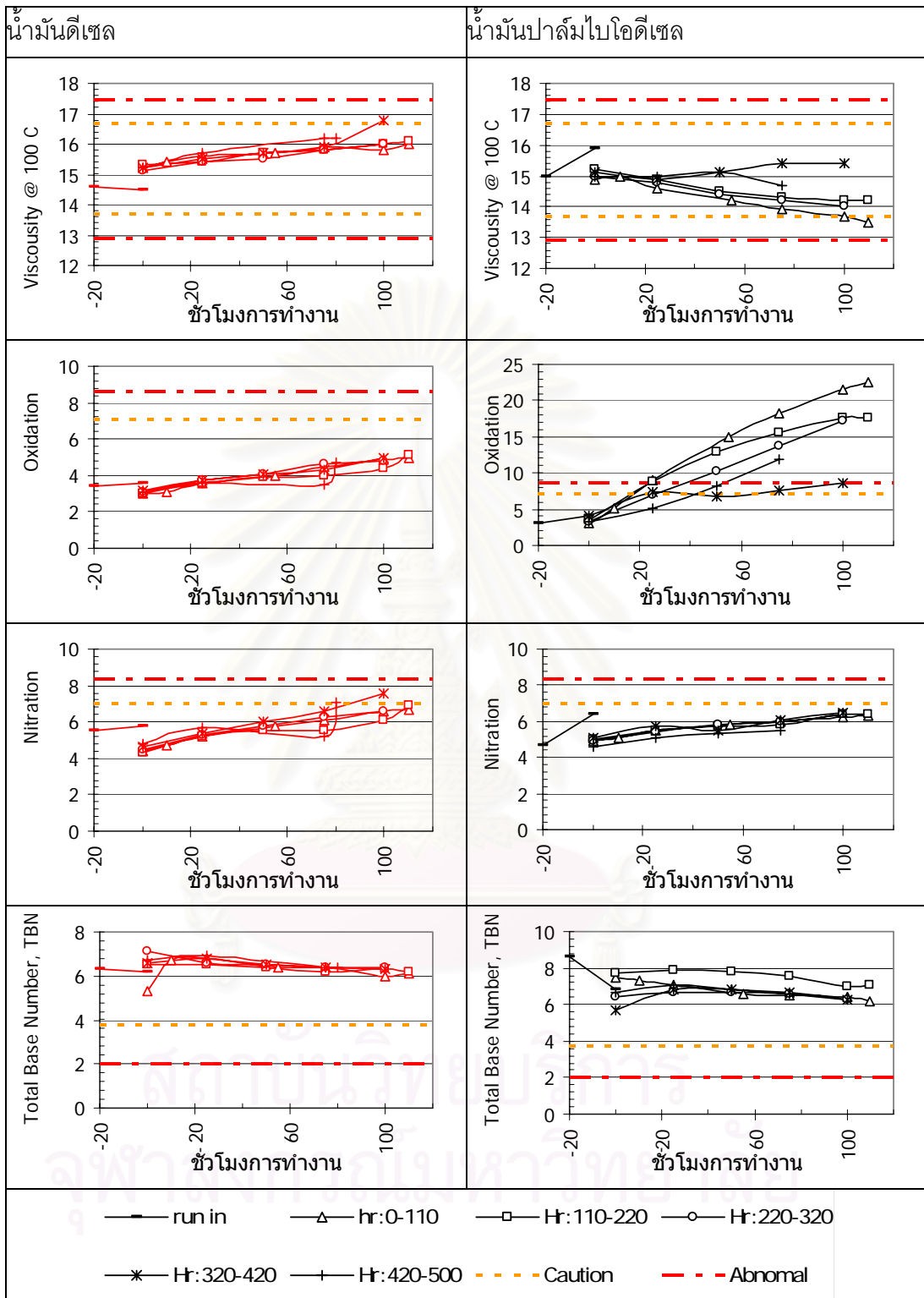
เมื่อพิจารณาค่าออกซิเดชันและค่าไนเตรชันของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยใช้อายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นพบว่า ค่าออกซิเดชัน และค่าไนเตรชันมีค่าที่มีแนวโน้มเดียวกัน และค่าไนเตรชันมีค่าเกินค่าเตือนภัยระดับแรก ที่ชั่วโมง 420 และ 500

**ค. ค่าความเป็นด่างรวม (Total Base Number, TBN)**

จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความเป็นด่างรวมมีแนวโน้มที่ลดลงตามสภาพการเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันหล่อลื่นเนื่องมาจากการใช้งาน แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด และไม่มีความแตกต่างกันเมื่อพิจารณาจากอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น ยกเว้นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ช่วงการใช้งานชั่วโมงที่ 110-220 ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงอื่น ประมาณ 1 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย



รูปที่ 5-40 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทานตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-41 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทานตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซล(ซ้าย) กับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา)

### 5.3.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น

ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น ที่สนใจจะติดตามผลในช่วงการทดสอบความทนทานประกอบด้วย การปนเปื้อนของ ซิลิกอน, โซเดียม, น้ำ, เหม่า และ น้ำมันเชื้อเพลิงแสดงในรูปที่ รูปที่ 5-42 และ รูปที่ 5-43 โดยจำแนกตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ และอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตามลำดับ

#### ก. การปนเปื้อนของซิลิกอน และ โซเดียม

จากการวิเคราะห์ผลออกมาว่าความสัมพันธ์การปนเปื้อนของ ซิลิกอนและโซเดียม มีแนวโน้มเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของทั้งปริมาณซิลิกอนและโซเดียมสาเหตุหลักมาจาก ผุ่นละออง จากภายนอก การทดสอบความทนทานที่ไม่สามารถควบคุมปริมาณของผุ่นละอองได้ จึงทำให้การปนเปื้อนของซิลิกอนและโซเดียม โดยมีค่าสูงเกินกว่าระดับค่าเตือนทั้งสองระดับ โดยเฉพาะในช่วงชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 0-110 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล พบว่าอัตราการเพิ่มของปริมาณซิลิกอนและโซเดียมของเครื่องยนต์ สูงกว่าช่วงอื่นๆอย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณการปนเปื้อนของซิลิกอนและโซเดียมที่มีค่าคงที่ และมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ค่าการปนเปื้อนของซิลิกอนเกินระดับการเตือนขึ้นวิกฤต ทุกอายุของน้ำมันหล่อลื่น

เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าซิลิกอนที่สูงอย่างไม่มีแนวโน้มอย่างชัดเจน โดยที่ทุกช่วงที่ทำการทดสอบการปนเปื้อนของซิลิกอนจะมีค่าเกินค่าเตือนภัยทั้งสองระดับ อีกทั้งยังพบว่าการปนเปื้อนของโซเดียมของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีอัตราการเพิ่มขึ้นของโซเดียมมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล

#### ข. การปนเปื้อนของน้ำ

จากการวิเคราะห์รูปที่ 5-42 พบว่าทั้งเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันทั้งสองชนิดมีปริมาณการปนเปื้อนของน้ำ ต่ำกว่าระดับเตือนภัยทั้งสองระดับ

โดยเมื่อพิจารณาตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ที่ชั่วโมงที่ 320-420 และ 420-500 มีปริมาณการปนเปื้อนของน้ำ ลดต่ำลง

#### ค. การปนเปื้อนของเหม่า

จากรูปที่ 5-42 เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลจากการวิเคราะห์พบว่าค่าการปนเปื้อนของเหม่าสามารถแบ่งพิจารณาเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกอายุการทำงานชั่วโมงที่ 0 ถึง 320 การปนเปื้อนของเหม่าในน้ำมันหล่อลื่นพิจารณาตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย

อัตราคงที่ โดยมีค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 1.5 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลซึ่งมีค่าสูงสุดประมาณ ร้อยละ 0.8 จะเห็นได้ว่าการปนเปื้อนของเขม่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลมีค่าที่สูงกว่าอย่างชัดเจน

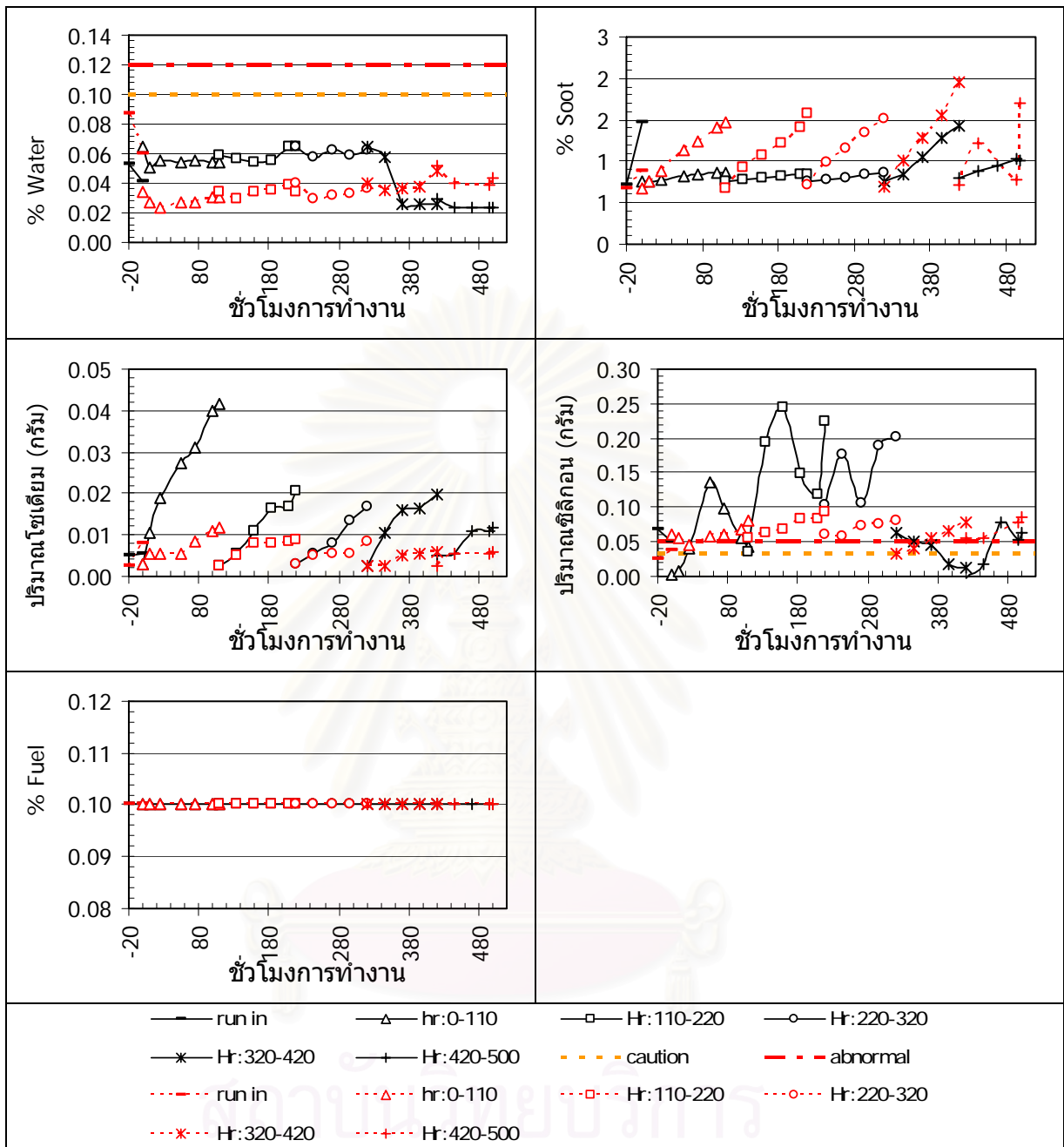
ช่วงที่ 2 คืออายุการใช้งานของเครื่องยนต์ 320 ถึง 500 ซึ่งปริมาณเขม่าในน้ำมันหล่อลื่น มีอัตราการเพิ่มที่สูงขึ้นโดยมีค่าการปนเปื้อนของเขม่าสูงสุดร้อยละ 2 ถึงแม้ว่าในช่วงชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ 495 การปนเปื้อนของน้ำมันจะไม่เป็นไปตามแนวโน้ม แต่โดยรวมยังถือว่าการปนเปื้อนของน้ำมันมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงเช่นเดิม

เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีผลคล้ายกันกล่าวคือในช่วงชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าเขม่าที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าสูงสุดร้อยละ 1.4 เขม่าที่เพิ่มขึ้นมีสมมุติฐานว่าเป็นการเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และมีค่าสอดคล้องกับค่าควันดำที่เพิ่มขึ้นระหว่างการทดสอบความทนทาน

เขม่ายังเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นเช่น ส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของความหนืดที่ได้วิเคราะห์ ก่อนหน้านี้ อีกทั้งพบว่าอัตราการเพิ่มของปริมาณเขม่ามีการเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับชั่วโมงการใช้งานที่เพิ่มขึ้น

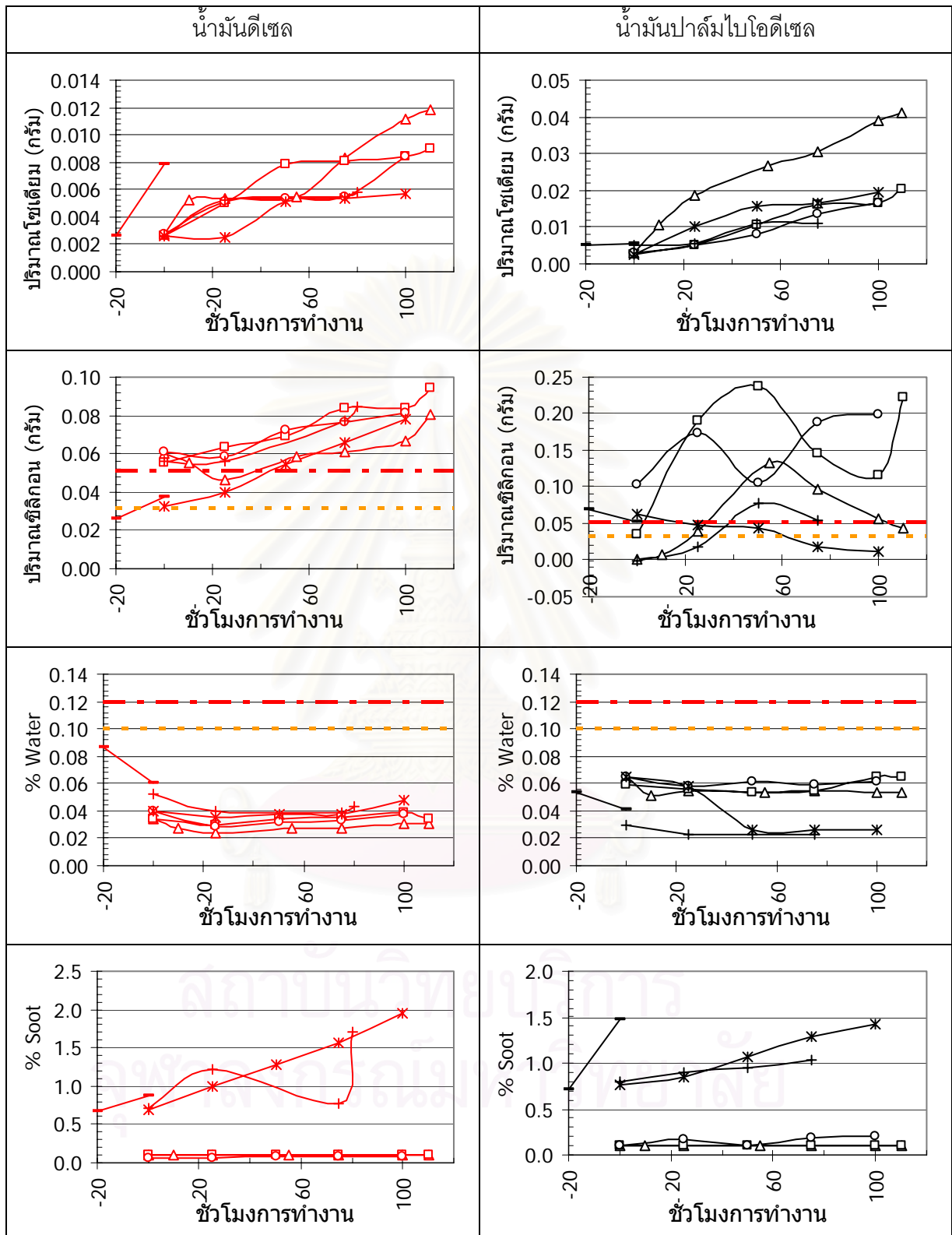
### ง. การปนเปื้อนของเชื้อเพลิง

จากการวิเคราะห์พบว่าค่าการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงมีค่าคงที่ ที่ร้อยละ 0.1 ทั้งน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล

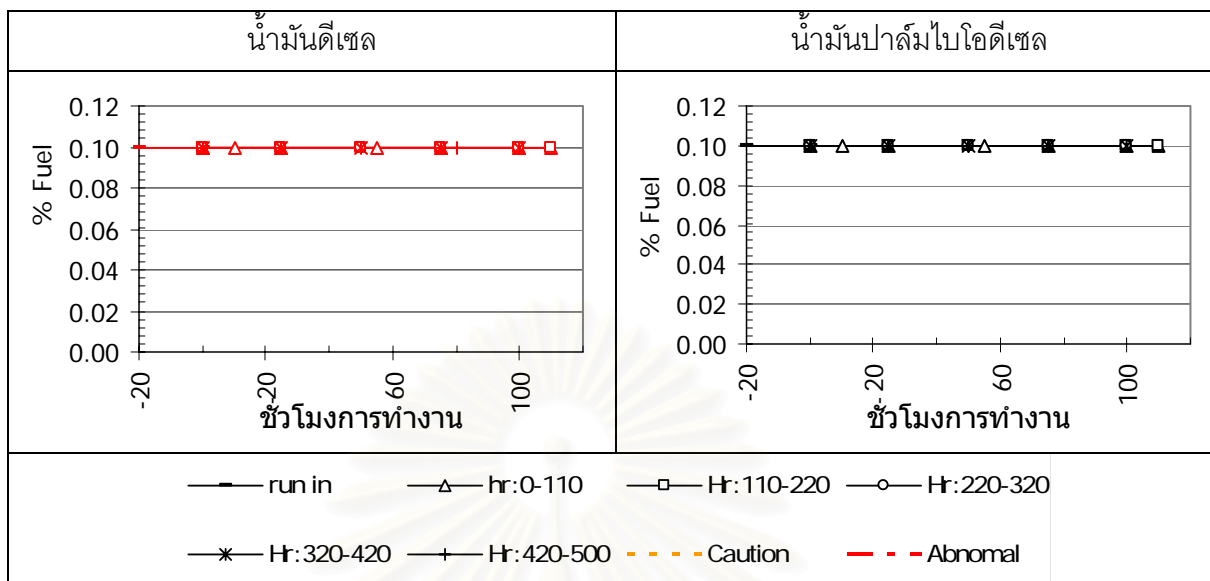


รูปที่ 5-42 แสดงปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทานตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล





รูปที่ 5-43 แสดงปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทานตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซล(ซ้าย) และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา)



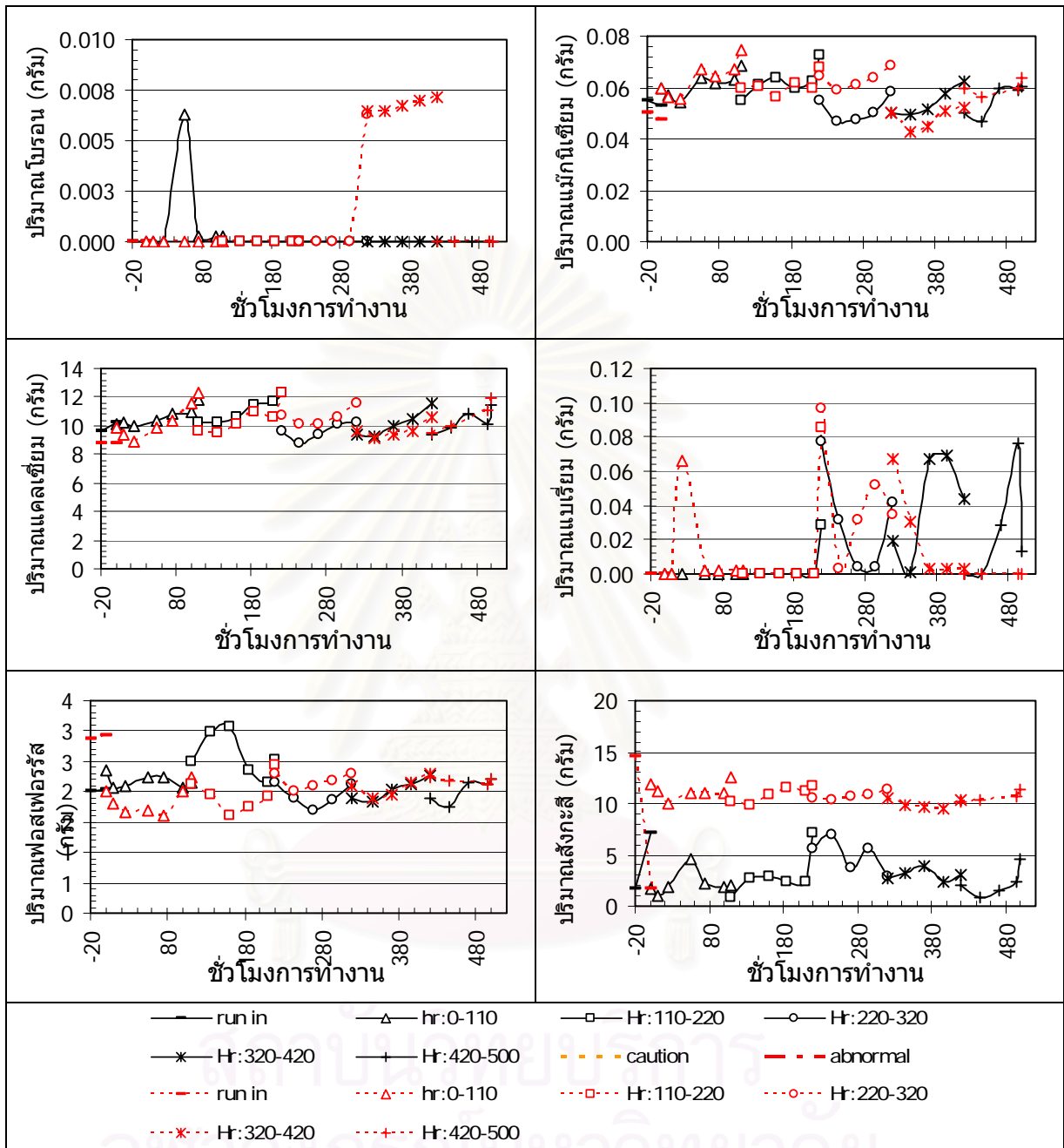
รูปที่ 5-43 แสดงปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทานตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซล(ข้าว) และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา) (ต่อ)

### 5.3.2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารปรุงแต่ง

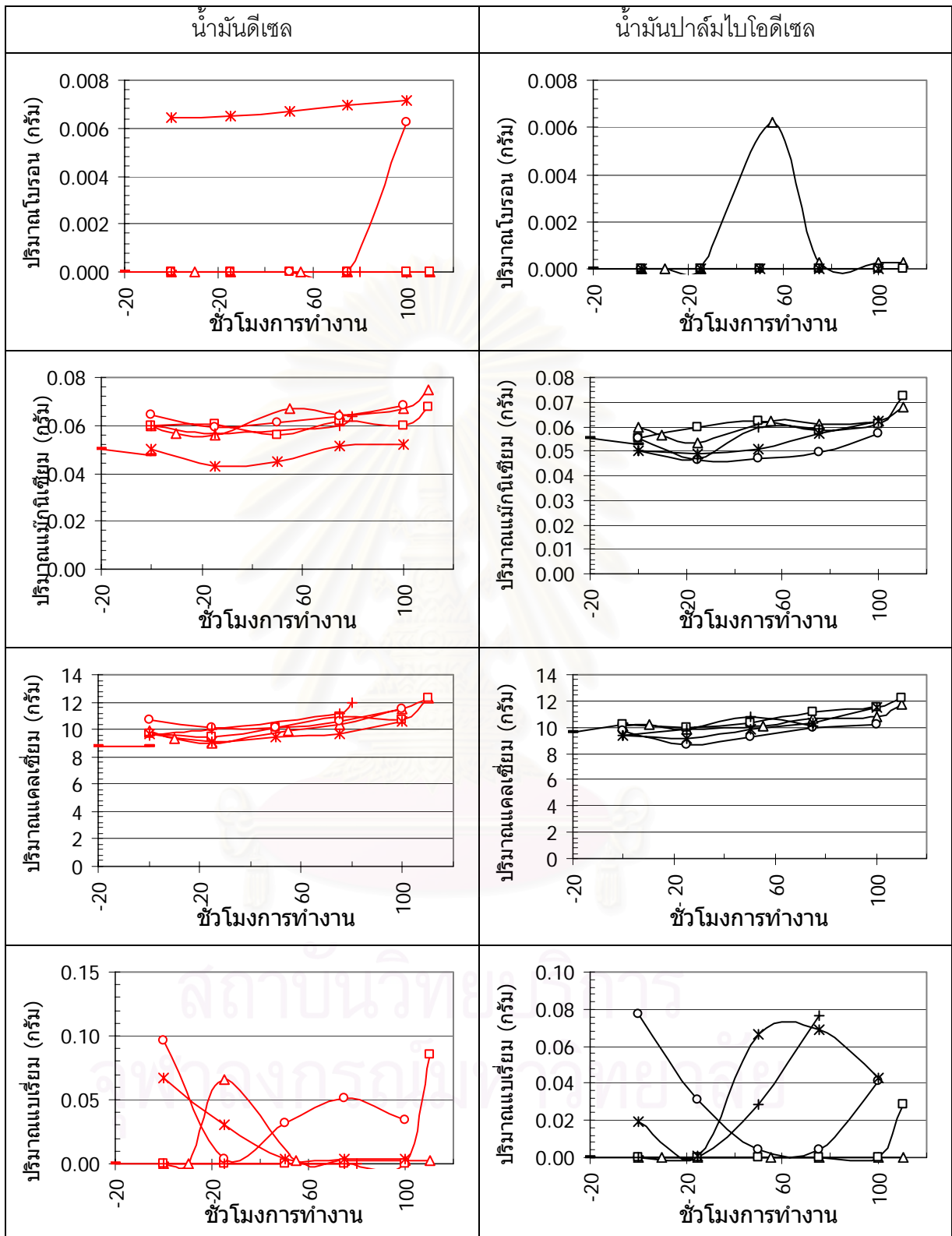
ปริมาณสารปรุงแต่งของน้ำมันหล่อลื่น ที่สนใจจะติดตามผลในช่วงการทดสอบความทนทานประกอบด้วย แมกนีเซียม, ฟอสฟอรัส, แคลเซียม แสดงในรูปรูปที่ 5-44 และรูปที่ 5-45

รูปที่ 5-44พบว่าปริมาณสะสมสารปรุงแต่งน้ำมันหล่อลื่น มีค่าแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ ยกเว้น จากที่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ชั่วโมงที่ 320 ถึง 420 ซึ่งพบค่าปริมาณโบรอน 0.006-0.008 กรัม ซึ่งไม่เป็นไปตามแนวโน้มที่เกิดขึ้นรูปที่ 5-45

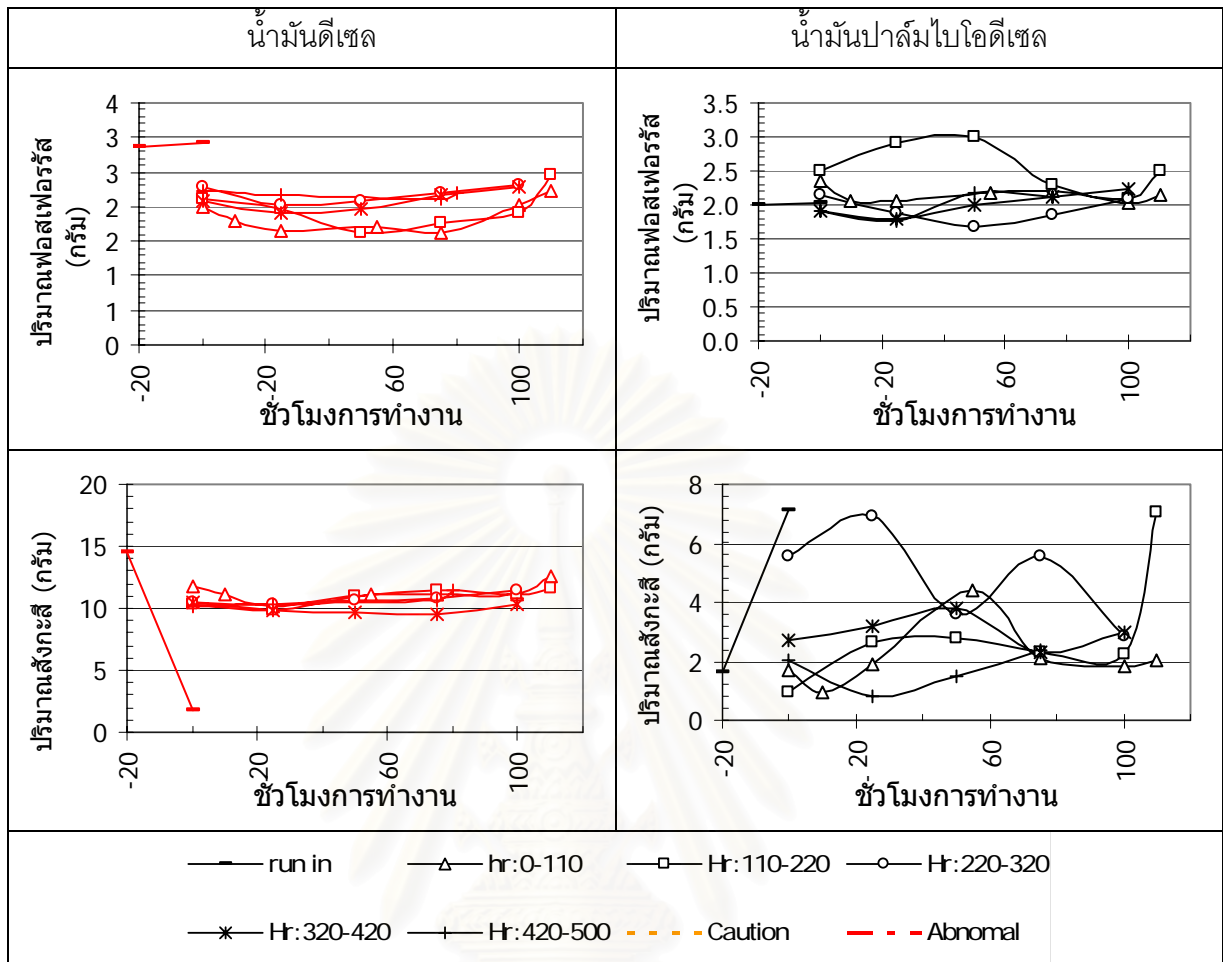
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-44 แสดงปริมาณสารปรุงแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-45 แสดงปริมาณสารปรุงแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซล (ซ้าย) และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา)

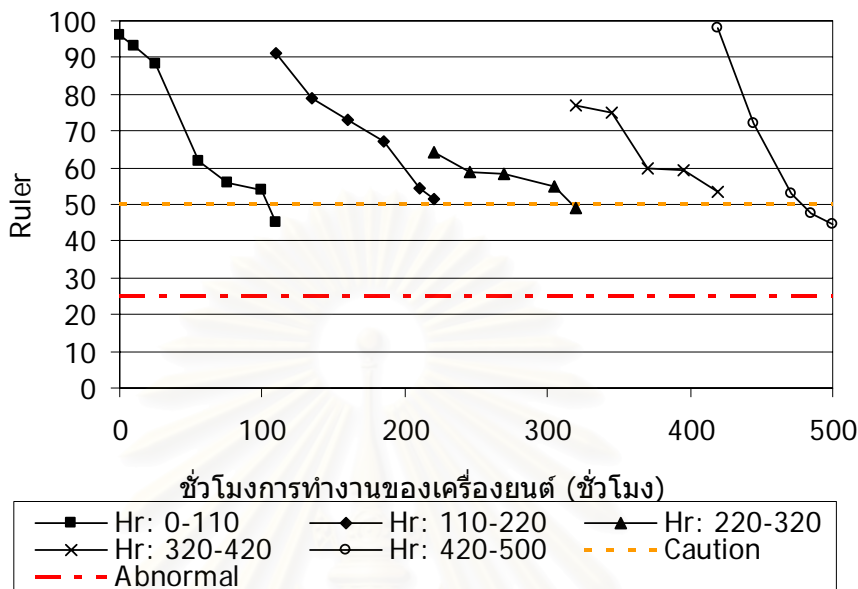


รูปที่ 5-45 แสดงปริมาณสารปรุงแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซล (ซ้าย) และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา) (ต่อ)

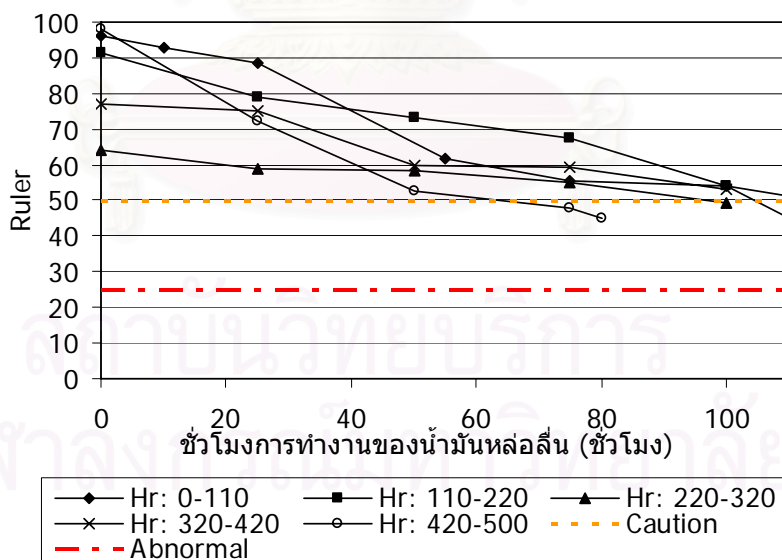
จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น การเกิดออกซิเดชันที่เกินค่าวิกฤต, ค่าการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น และค่าปริมาณสารปรุงแต่ง ซึ่งมีค่าความหนืดสูงเกินกว่าระดับการเตือนขั้นวิกฤต เพื่อพิจารณาถึงช่วงเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น โดยพิจารณาจากหลายๆ องค์ประกอบด้วยกัน เช่น ค่าความหนืด, ค่า TBN, ZDDP ทั้งนี้ค่าความหนืดสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากหลายสาเหตุ อาทิการเกิดออกซิเดชัน การปนเปื้อนของฝุ่น การปนเปื้อนของน้ำ และการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง ค่า ZDDP สามารถดูได้จากปริมาณสังกะสีและปริมาณฟอสฟอรัสซึ่งแนวโน้มที่ไม่แน่นอน ค่า TBN สามารถบอกถึงการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันหล่อลื่นจากการบอกถึงค่าการลดลงของความเป็นเบส เนื่องจากการทำงานของกระบวนการออกซิเดชันซึ่งทำให้เกิดเป็นกรดมาหักล้างกันทั้งหมดข้างต้นเป็นตัวการทำให้น้ำมันเครื่องเกิดการเสื่อมสภาพ แต่เนื่องจากความไวของข้อมูลต่ำทำให้ไม่สามารถเห็นถึงเวลาการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นที่แน่นอนได้



ค่า Ruler ย่อมาจาก Remaining Useful Life Evaluation Routine ซึ่งเป็นการทดสอบ เพื่อสังเกตการณ์การลดลงของสารต้านการเกิดอนุมูลอิสระ(Antioxidant Additive) ใน น้ำมันหล่อลื่น เพื่อใช้ในการเลือกช่วงเวลาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม



รูปที่ 5-46 แสดงค่า Ruler ของมันหล่อลื่นโดยตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ตลอดการทดสอบความทนทาน ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-44 แสดงค่า Ruler ของมันหล่อลื่นโดยตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

จากรูปที่ 5-43 พบว่าค่า Ruler มีค่าลดลงเมื่อชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้นโดยมีค่าตั้งต้นที่ประมาณร้อยละ 95 จากการทดสอบความทนทาน 500 ชั่วโมงผลออกมาว่ามีค่าแต่ละระดับเดือนภัยที่ 1 ทั่วๆ รอบการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น

และจากรูปที่ 5-44 พบว่าค่า Ruler มีแนวโน้มในการลดลงมีทิศทาง และอัตราใกล้เคียงกัน และพบว่าการใช้น้ำมันเครื่องเกินอายุการใช้งานที่แนะนำมาเกินค่าเดือนภัยที่ 1

สรุปได้ว่าช่วงเวลาที่การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นในอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นประมาณ 75 ชั่วโมง

#### 5.3.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะจากการสึกหรอ

โลหะที่เกิดจากการสึกหรอในเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากชิ้นส่วนและที่มาที่ต่างกัน ดังนี้

เหล็ก	- กระจกสูบ , แหวนลูกสูบ , ลูกสูบ(เป็นส่วนผสมระหว่างเหล็กกับอลูมิเนียม), เพลาข้อเหวี่ยง, ก้านสูบ, เพลาลูกเบี้ยว, วาล์ว
โครเมียม	- เคลือบผิวแหวนอัดตัวที่ 1 และแหวนน้ำมัน
ตะกั่ว	- แบริงก้านสูบ , บุชก้านสูบ
ทองแดง	- แบริงก้านสูบ , บุชก้านสูบ
อลูมิเนียม	- ลูกสูบ
นิกเกิล	- ก้านวาล์ว , ปาวาล์ว

ผลของปริมาณเหล็ก, โครเมียม, ตะกั่ว, ทองแดง, อลูมิเนียม และนิกเกิล สะสมในน้ำมันหล่อลื่นในหน่วยกรัม แสดงในรูปที่ 5-47 และในรูปที่ 5-48 ดังนี้

#### ก. ปริมาณเหล็ก

จากรูปที่ 5-47 การวิเคราะห์พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ปริมาณเหล็กมีอัตราการเพิ่มลดลงตามชั่วโมงการทำงานที่สูงขึ้น และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีได้ผลในทางตรงกันข้าม กล่าวคือปริมาณเหล็กมีอัตราการเพิ่ม ที่สูงขึ้นเมื่อมีชั่วโมงการทำงานที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งปริมาณเหล็กสะสมยังเกินค่าการเตือนทั้งสองระดับอีกด้วย

จากรูปที่ 5-47 เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลในการทดสอบความทนทาน ชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงที่ประมาณ 40 ค่าการปนเปื้อนของเหล็ก มีค่าเกินค่าวิกฤตของเหล็กหรือมีค่าเกินระดับเดือนภัยที่ 2 และเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการทำงานของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 5-47 เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล โดยการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงที่ประมาณ 30 ค่าการปนเปื้อนของเหล็ก มีค่าเกินค่าวิกฤตของเหล็กหรือมีค่าเกินระดับเดือนภัยที่ 2 และลดลงเมื่ออายุการทำงานของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

ทั้งนี้คาดว่า การลดลงของปริมาณเหล็กที่พบในน้ำมันหล่อลื่นเกิดจากการสึกหรอที่น้อยลง เนื่องจาก การสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ค่อนข้างถึงจุดที่คงที่ ในทางกลับกันปริมาณเหล็กที่มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกๆรอบการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องแสดงถึงเครื่องยนต์ที่อยู่ในสภาวะเสื่อมสภาพ

### **ข. ปริมาณโครเมียม**

ผลการวิเคราะห์พบปริมาณโครเมียม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การตรวจพบโครเมียมมีค่าไม่คงที่ ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากมีปริมาณน้อย และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าเกินระดับเตือนภัยระดับที่ 1 ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ชั่วโมงที่ 110, 370, 395 และ 420 แต่มีค่าไม่เกินระดับเตือนภัยระดับที่ 2

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีแนวโน้มของปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล มีค่าไม่เกินระดับเตือนภัยทั้งสองระดับ

การเพิ่มขึ้นของการสึกหรอของโครเมียมคาดว่าเกิดจากแหวนอัดที่ 1 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างปกติไม่มีความแตกต่างกันในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันทั้งสองชนิด

### **ค. ปริมาณตะกั่ว**

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณตะกั่ว เพียงเล็กน้อย โดยปริมาณตะกั่วสะสมยังไม่เกินค่าการเตือนทั้งสองระดับ

ปริมาณตะกั่วที่เพิ่มขึ้นคาดว่า เป็นสารที่เคลือบอยู่บนผิวของแบร็ง และ บุช การพบปริมาณตะกั่วในปริมาณน้อยแสดงถึง มีการหล่อลื่นอย่างเพียงพอในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันทั้งสองชนิด

### **ง. ปริมาณทองแดง**

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณทองแดง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นมีค่ามากขึ้น โดยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้ปริมาณทองแดงของทั้งสองเครื่องยนต์มีค่าสะสมยังไม่เกินค่าการเตือนทั้งสองระดับ

### **จ. ปริมาณอลูมิเนียม**

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณอลูมิเนียม มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มของปริมาณเหล็กกล่าวคือ เมื่อมีอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าสูงขึ้น จะพบปริมาณอลูมิเนียมเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 5-47 ปริมาณอนุมิเนียมสะสมยังเกินค่าการเตือนภัยทั้งสองระดับทุกช่วงในการทดสอบ โดยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย มีค่าเกินระดับวิกฤตที่ชั่วโมงการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นประมาณชั่วโมงที่ 50

จากรูปที่ 5-47 ปริมาณอนุมิเนียมสะสมของเครื่องยนต์น้ำมันดีเซลมีค่าเกินระดับวิกฤตที่ชั่วโมงการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นประมาณชั่วโมงที่ ประมาณ 60 สูงกว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเล็กน้อย

ทั้งนี้ปริมาณอนุมิเนียมที่เพิ่มขึ้นคาดว่ามาจาก 2 สาเหตุ สาเหตุแรกคือการใช้แวนอัด 1 ที่เกิดการสัมผัสผัดันในทุกวัฏจักรการทำงานทำให้เกิดการสึกหรอขึ้นทั้งแวน 1 และลูกสูบ อันเป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนของโครเมียม และอนุมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่นตามลำดับ สาเหตุที่ 2 มาจากการสึกหรอที่ด้านข้างหัวลูกสูบจากการเสียดสีกับปลอกสูบ อันเป็นสาเหตุการเพิ่มขึ้นของการปนเปื้อนของเหล็ก และอนุมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่น

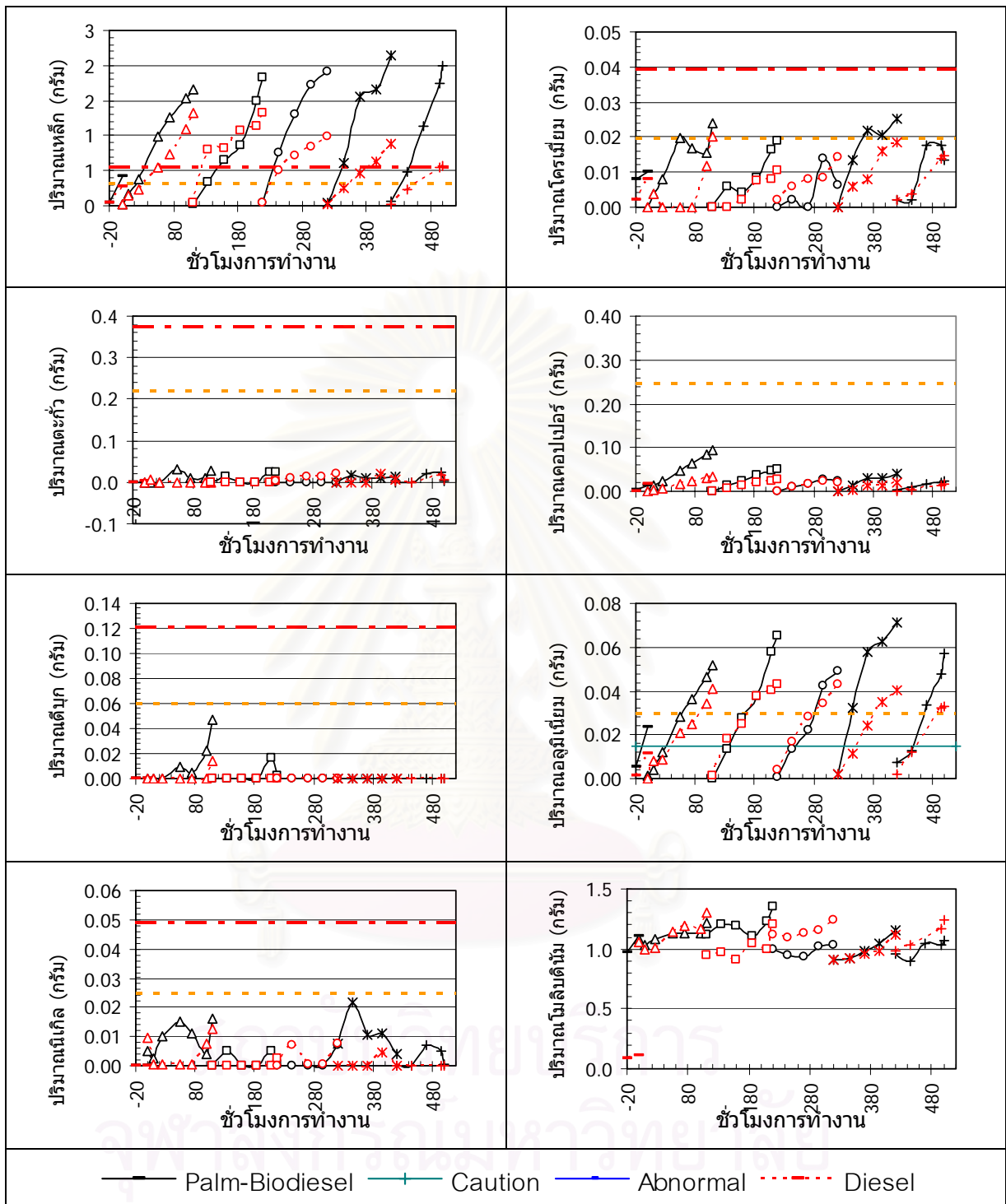
### จ. ปริมาณนิกเกิล

การตรวจพบนิกเกิล ปรากฏว่ามีค่าที่ไม่คงที่ และมีค่าการปนเปื้อนน้อย ไม่เกินค่าการเตือนทั้งสองระดับ

### ข. ปริมาณโมลิบดีนัม

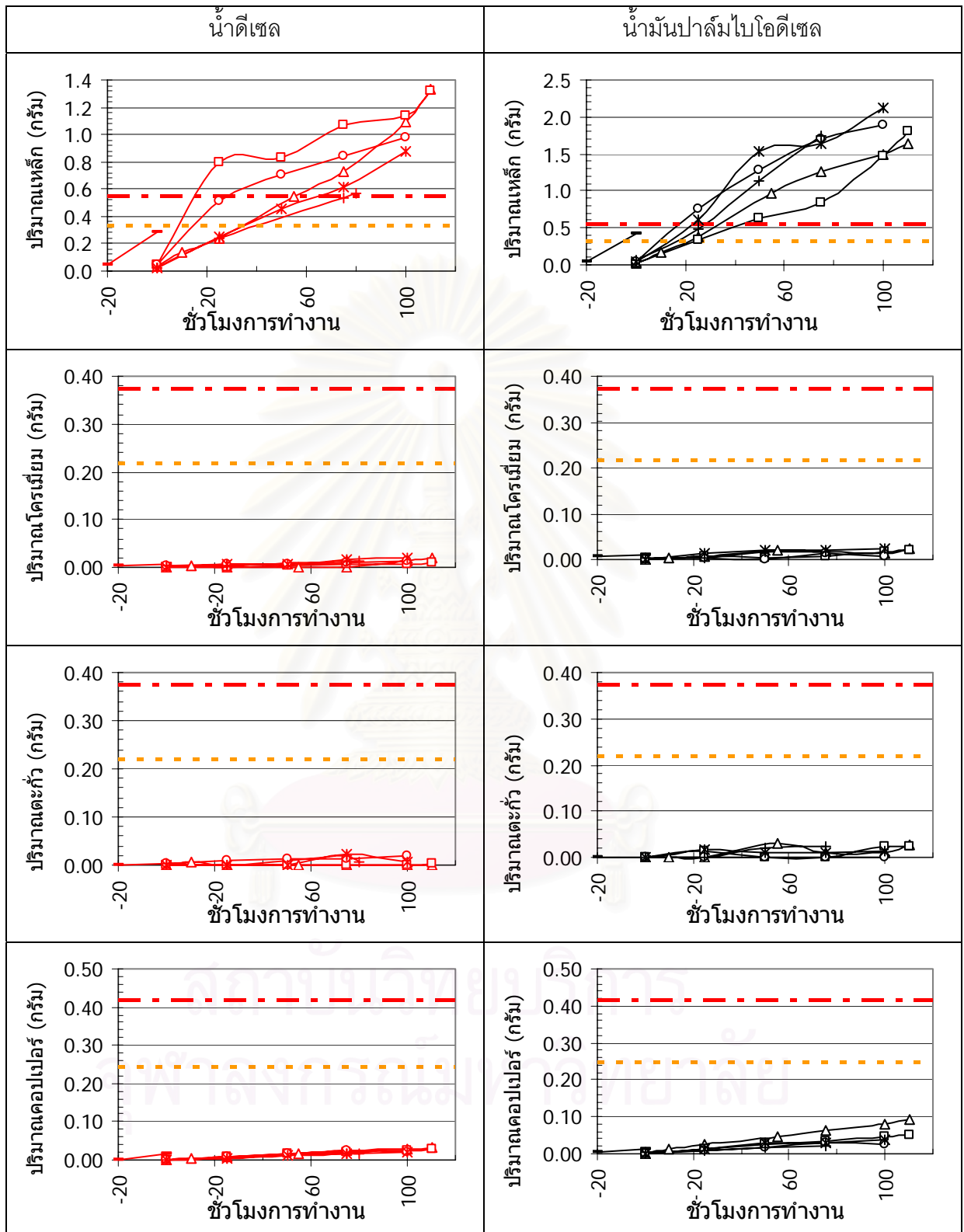
การตรวจโมลิบดีนัม พบปริมาณโมลิบดีนัมที่มากขึ้นเมื่ออายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณโมลิบดีนัมมีค่าที่ไม่คงที่ และมีค่าการปนเปื้อนน้อย ไม่เกินค่าการเตือนทั้งสองระดับอีกด้วย และมีค่าไม่แตกต่างกันของทั้งสองเครื่องยนต์

จากผลของการวิเคราะห์ปริมาณโลหะที่สะสมในน้ำมันหล่อลื่น จะเห็นได้ว่าปริมาณเหล็ก และอนุมิเนียมมีค่าสะสมมีปริมาณที่สูงเกินค่าการเตือนขั้นวิกฤต และโลหะที่เหล็กมีปริมาณอยู่ในระดับไม่เกินระดับเตือนภัยที่ 1 และประมาณของโลหะที่พบจากการใช้เครื่องยนต์ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน

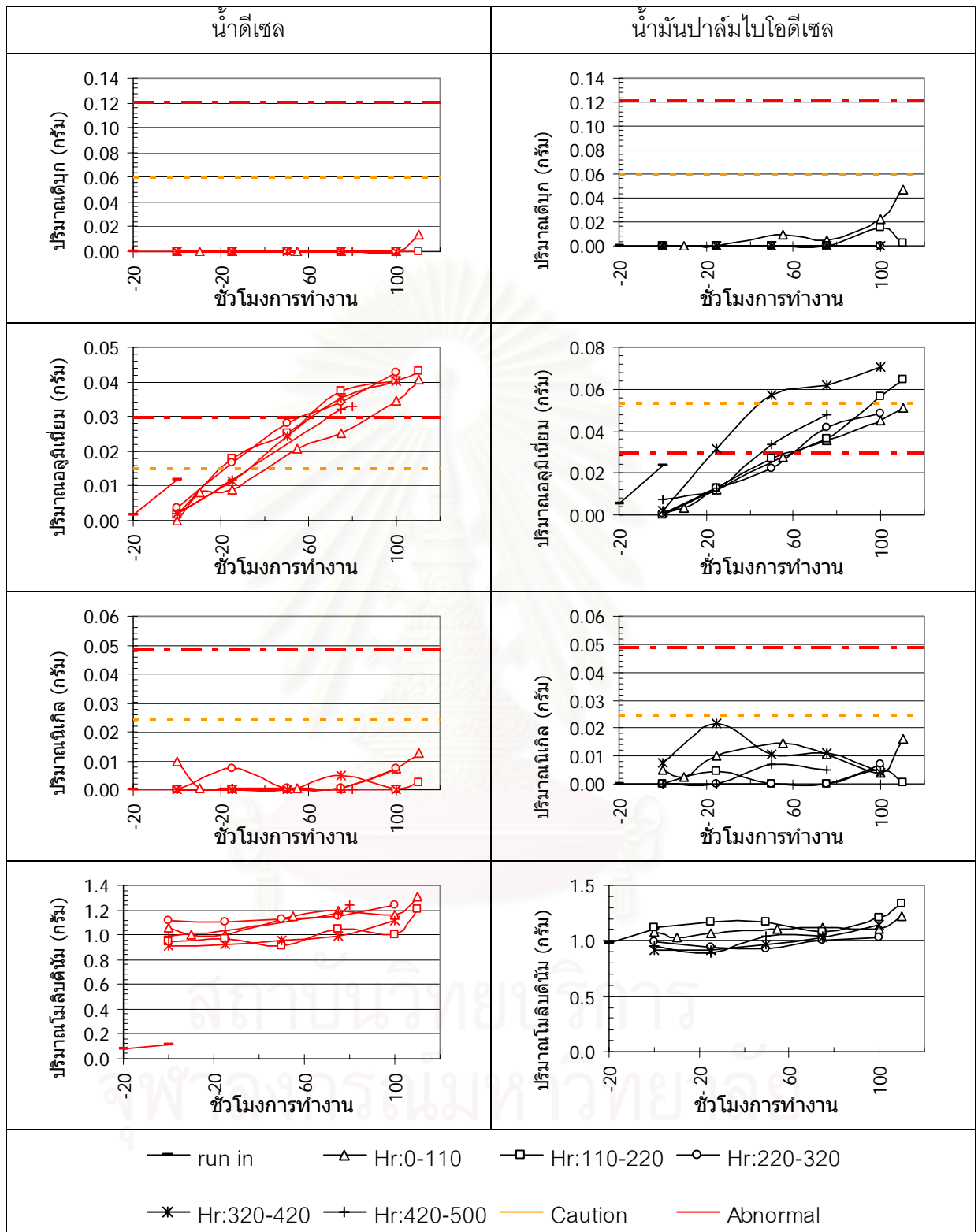


รูปที่ 5-47 แสดงปริมาณโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล





รูปที่ 5-48 แสดงปริมาณโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ ระหว่างทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลและ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-48 แสดงปริมาณโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ ระหว่างทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลและ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### 5.3.2.5 ผลจากกระบวนการเฟอโรกราฟฟีน้ำมันดีเซล

เนื่องจากปริมาณโลหะของการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล เพิ่มขึ้นสูงมาก ผิดปกติ จึงได้นำกระบวนการเฟอโรกราฟฟีมาใช้ร่วมในการวิเคราะห์ผลข้อมูล ตลอดจนทดสอบความทนทาน

การวิเคราะห์เฟอโรแกรมเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ด้วยการศึกษาลักษณะ รูปร่าง ขนาดของเศษโลหะที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์ในเชิงปริมาณและค่าตัวเลขในการตัดสินใจได้

โดยในการพิจารณาจะทำการแยกพิจารณาตามช่วงเวลาที่ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ช่วง ดังนี้ ช่วงของการรันอินเครื่องยนต์ ชั่วโมงที่การทำงานของเครื่องยนต์ -20 ถึง 0 (ใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว) ชั่วโมงที่ 0 ถึง 110 ชั่วโมงที่ 110 ถึง 220 ชั่วโมงที่ 220 ถึง 320 ชั่วโมงที่ 320 ถึง 420 และชั่วโมงที่ 420 ถึง 500 โดยชั่วโมงที่ 0 ถึง 500 จะใช้น้ำมันที่ทำการทดสอบกล่าวคือน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลโดยแยกไปแต่ละการทดสอบ

#### ก. ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 (รันอิน)

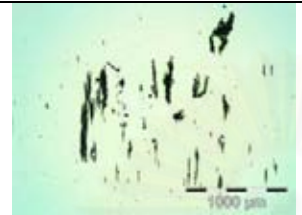


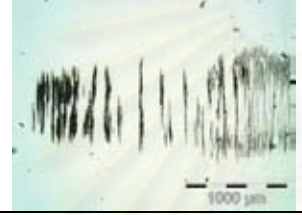
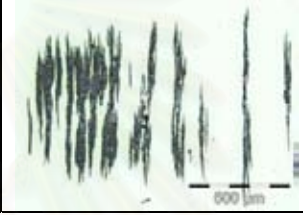
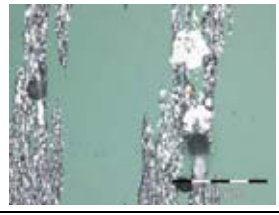
ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 แสดง ภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรแกรมดัง และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรแกรม ดังตารางที่ 5-2

โดยชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 นี้จะพบอนุภาคการสึกหรอแบบเสียดสีปรกติเป็นส่วนใหญ่ โดยมีอนุภาคขนาด 2-3 ไมครอน

จากภาพถ่าย 500 เท่า สามารถเห็น อนุภาค การสึกหรอจากการล้า ขนาดประมาณ 50 ไมครอน

โดยอายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นที่ 20 พบโลหะ black oxide เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยโลหะ black oxide นี้มีสาเหตุเกิดจากการขาดน้ำมันหล่อลื่น หรือเกิดการเสียดสีกันของโลหะจนทำให้เกิดความร้อนสูง

ตารางที่ 5-1 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	-20			
20	0			

ตารางที่ 5-2 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอริโรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0

Working (hr)	- 2 0			2 0		
Oil Hour (hr)	0			0		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
	Normal Rubbing Wear	80	2 - 3	F	8 0	2 - 3
Fatigue Wear	20	20-50	F	1 0	10-30	F
Black Oxides	10	10-20	F			
Dirt and Dust	10	10-80	C	1 0	10-50	C

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,

C : Contaminant Particle

**ข. ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110**

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 5-3 ตารางที่ 5-3 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ดังตารางที่ 5-4

ในชั่วโมงการทำงานที่ 0-110 นี้อนุภาคที่พบส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโลหะที่เกิดจากการสึกหรอจากการเสียดสีแบบปกติ ขนาด 2-3 ไมครอน

ตลอดช่วงการทำงานของชั่วโมงการทำงานที่ 0 -110 นี้การสึกหรอจากการล้าขนาด 5-50 โดยในชั่วโมงที่ 0-100 จะมีขนาดที่ค่อนข้างคงที่ และมีขนาดที่เพิ่มสูงขึ้นในชั่วโมงการทำงานที่ 110 ยกเว้นชั่วโมงการทำงานที่ 10 พบอนุภาคโลหะจากการสึกหรอจากการล้าขนาด 120 ไมครอน

ชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น 0-10 และ 100-110 พบโลหะ black oxide ขนาด 10-50 ไมครอน ซึ่งเกิดจากการที่ขาดสารหล่อลื่นอย่างพอเพียง

ชั่วโมงการทำงาน 0 – 110 พบสิ่งปนเปื้อนจากสารอโลหะ จำพวกฝุ่นมีขนาด ใกล้เคียงกัน คือ 10-100 micron คาดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด Third body abrasive wear เกิดเป็น Cutting wear อนุภาคขนาด 10-30 ไมครอน ซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่ปกติที่จะพบในการทำงานปกติใน ชั่วโมงการทำงานที่ 0-25

ตารางที่ 5-3 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	0			
10	10			
25	25			



ตารางที่ 5-3 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110 (ต่อ)

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
55	55			
75	75			
100	100			
110	110			

ตารางที่ 5-4 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110

Working (hr)	0			10			25		
Oil Hour (hr)	0			10			25		
Wear & Contaminant Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
	Normal Rubbing Wear	70	2 - 3	F	50	2 - 3	F	90	2 - 3
Fatigue Wear	10	10-30	F	25	20-120	F	5	5 - 10	F
Cutting Wear	5	20-30	F	5	20-30	F			
Black Oxides	5	10-20	F	10	20-50	F			
Dirt and Dust	10	10-50	C	10	10-80	C	5	10-80	C

ตารางที่ 5-4 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110 (ต่อ)

Working (hr)	5 5			7 5		
Oil Hour (hr)	5 5			7 5		
Wear & Contaminant Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	90	2 - 3	F	90	2 - 3	F
Fatigue Wear	5	10-50	F	5	5-10	F
Black Oxides	5	10-50	C			
Dirt and Dust				5	10-50	C

ตารางที่ 5-4 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110 (ต่อ)

Working (hr)	1 0 0			1 1 0		
Oil Hour (hr)	1 0 0			1 1 0		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	70	2 - 3	F	70	2 - 3	F
Fatigue Wear	10	10-20	F	10	10-50	F
Black Oxides	10	20-50		10	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-100	C	10	10-100	C

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,

C : Contaminant Particle

### ค. ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220

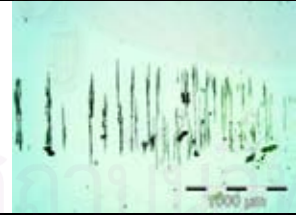

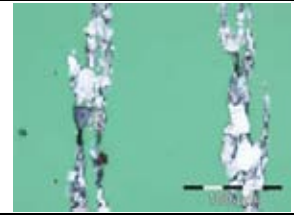
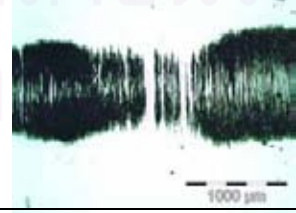
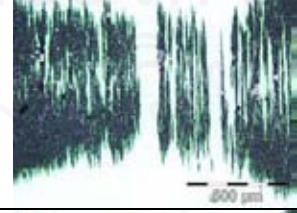
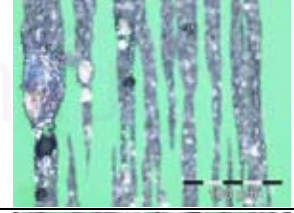
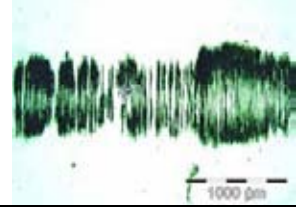
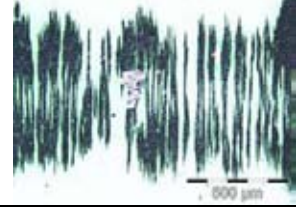

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 5-5 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ดังตารางที่ 5-6

ในชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นที่ 0-75 นี้อนุภาคที่ส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโลหะที่เกิดจากการสึกหรือจากการเสียดสีแบบปกติ ขนาด 2-3 ไมครอน โดยในช่วงชั่วโมงนี้มีค่าการสึกหรือจากการล้าตัวที่ขนาดใหญ่ขึ้นจาก 10-80 ไมครอนในชั่วโมงน้ำมันหล่อลื่นที่ 0 ไปยัง 20-100 ไมครอนที่ชั่วโมงที่น้ำมันหล่อลื่น 75 เช่นเดียวกับช่วงชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 110 ถึง 220

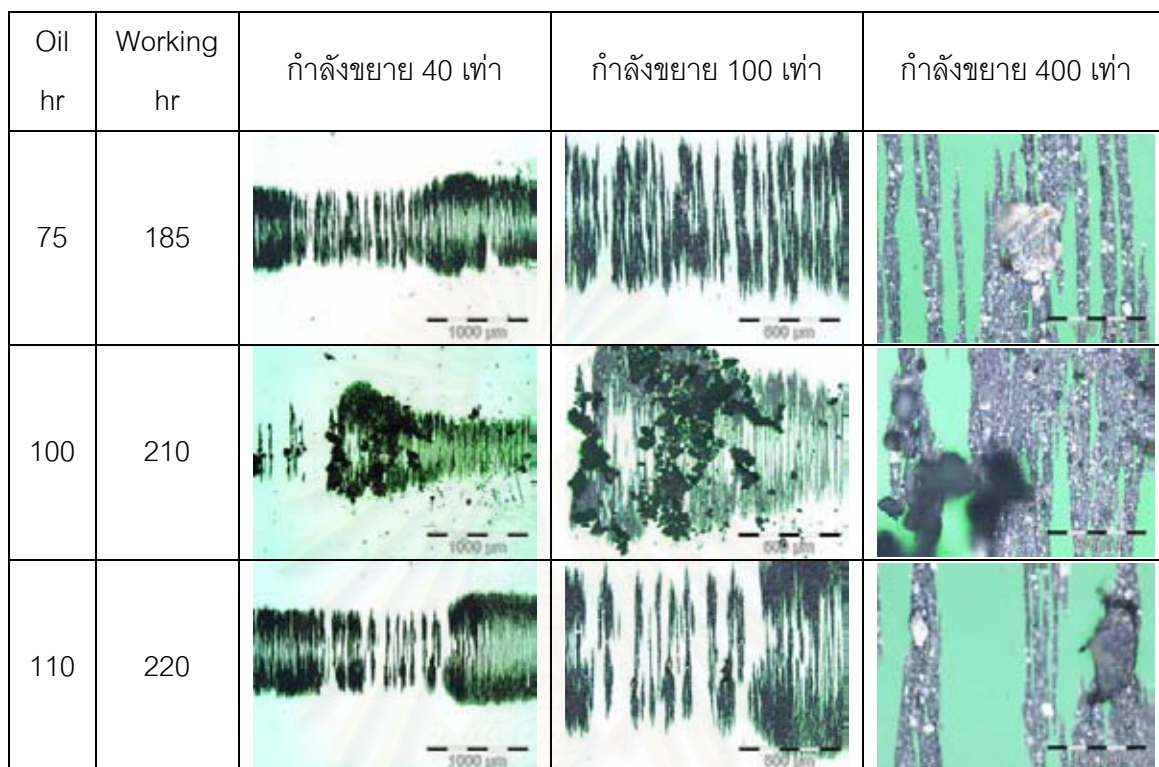
อายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นที่ 25-110 พบโลหะการสึกหรือเริ่มพบโลหะ black oxide ขนาด 10-20 ไมครอน และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออายุน้ำมันหล่อลื่น 75-110 ชั่วโมง โดยจากรูปขยาย 100 เท่าพบว่า มีโลหะ black oxide เป็นจำนวนมากขนาด 20-200 ไมครอน

ชั่วโมงการทำงานน้ำมันหล่อลื่น 0-110 พบสิ่งปนเปื้อนจากสารอโลหะ จำพวกฝุ่นมีขนาด 10-100 ไมครอน เป็นสาเหตุความสึกหรือแบบ abrasive wear ที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5-5 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	110			
25	135			
50	160			

ตารางที่ 5-5 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220 (ต่อ)



ตารางที่ 5-6 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอริโรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220

Working (hr)	1 1 0			1 3 5			1 6 0		
Oil Hour (hr)	0			2 5			5 0		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	80	2 - 3	F	70	2 - 3	F	70	2 - 3	F
Fatigue Wear	10	10-80	F	15	20-80	F	15	20-80	F
Black Oxides	5	10-20	F	5	10-20	F	5	10-20	F
Dirt and Dust	5	10-50	-	10	10-100	C	10	10-100	C



ตารางที่ 5-6 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220(ต่อ)

Working (hr)	1 8 5			2 1 0			2 2 0		
Oil Hour (hr)	7 5			1 0 0			1 1 0		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	65	2 - 3	F	40	2 - 3	F	40	2 - 3	F
Fatigue Wear	20	20-120	F	20	20-50	F	20	10-30	F
Black Oxides	5	10-20	F						
Dirt and Dust	10	10-100	C	30	20-200	F	30	20-150	F

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,

C : Contaminant Particle

### ง. ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320 แสดง ภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 5-7 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ดังตารางที่ 5-8

ในช่วงต้นของชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320 พบ cutting wear คาดว่ามีสาเหตุมาจากอนุภาคโลหะขนาด 10-100 ไมครอนตลอดช่วงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น

ในชั่วโมงการทำงานที่ 110-220 นี้ อนุภาคที่เป็นอนุภาคโลหะที่เกิดจากการสึกหรอจากการเสียดสีแบบปกติ ขนาด 2-3 ไมครอน ระดับการให้น้ำหนักเป็นครั้งหนึ่ง

ลำดับต่อมาคือโลหะการสึกหรอจากการล่าขนาด 10-100 ไมครอนซึ่งพบตลอดช่วงการทดสอบชั่วโมงการทำงานที่ 220-320 นี้

โลหะ black oxide ขนาด 10-50 ไมครอน และมีค่าสูงขึ้นมากในช่วงอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น 50 ชั่วโมง โดยมีขนาด 10-50 ไมครอนซึ่งพบตลอดช่วงการทดสอบชั่วโมงการทำงานที่ 220-320 นี้



**จ. ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420**



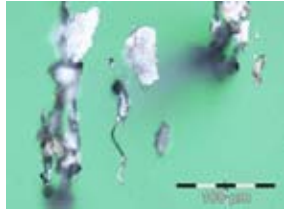
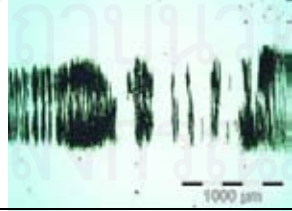
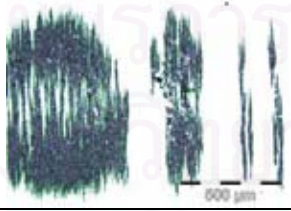

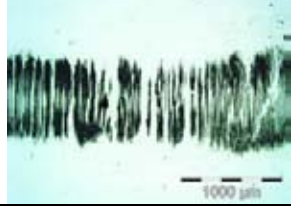


ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420 แสดง ภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 5-7 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ดังตารางที่ 5-10

ในชั่วโมงการทำงานที่ 320-420 นี้อนุภาคที่พบส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโลหะที่เกิดจากการสึกหรอจากการเสียดสีแบบปกติ ขนาด 2-3 ไมครอน

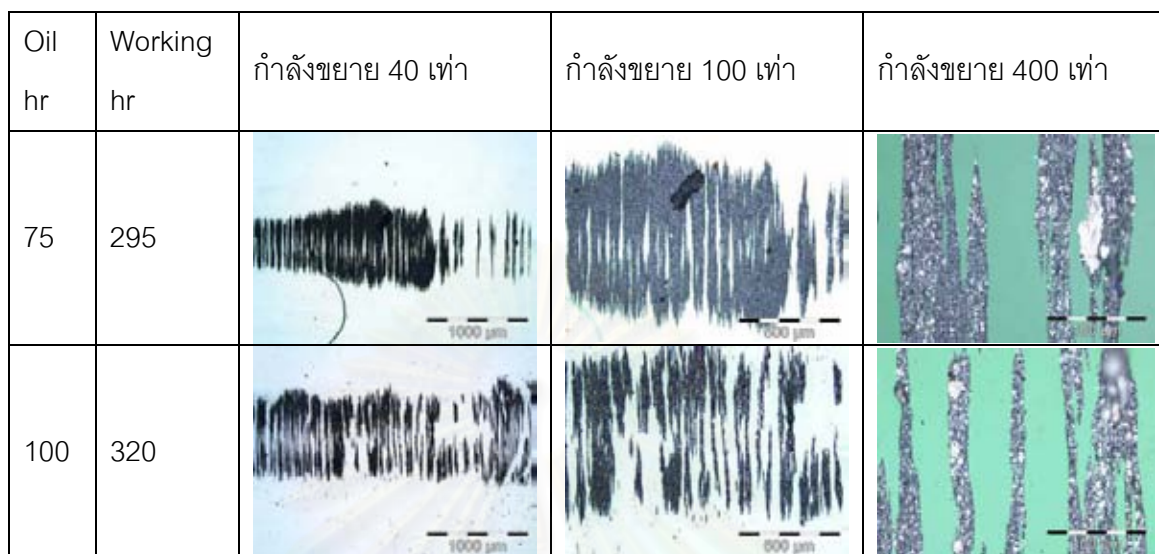
ตลอดอายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น พบโลหะสึกหรอจากการล้าขนาด 10-20ไมครอน และโลหะ black oxide ขนาด 10-50 ไมครอน และเมื่ออายุน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง การเกิดการสึกหลอจากการล้า ขนาด 300 ไมครอนซึ่งจะเห็นได้จากภาพขยาย 100 เท่า ทั้งนี้สาเหตุการเกิดการสึกหรอเนื่องจากการล้าขนาดใหญ่ เกิดจากการที่วัสดุมีแรงเค้นจากการยืดที่สูงทำให้พื้นผิวของวัสดุแตกออก หรือจากการที่ผิวของวัสดุถูกกดทับอย่างหนัก หรือจากสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

อายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น 25-75 พบสิ่งปนเปื้อนจากสารอโลหะ จำพวกฝุ่นมีขนาด 10-50 ไมครอน เป็นสาเหตุความสึกหรอแบบ abrasive wear

ตารางที่ 5-7 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	220			
25	245			
50	270			

ตารางที่ 5-7 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320(ต่อ)



ตารางที่ 5-8 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320


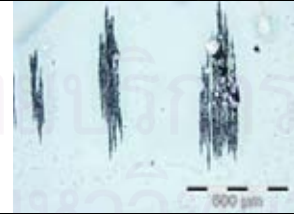

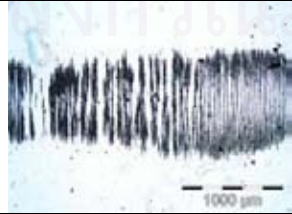


Working (hr)	2 2 0			2 4 5			2 7 0		
Oil Hour (hr)	0			2 5			5 0		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	40	2 - 3	F	40	2 - 3	F	40	2 - 3	F
Fatigue Wear	30	10-50	F	30	10-50	F	30	10-50	F
Sliding Wear							10	100-200	F
Cutting Wear	10	10-50	F	10	10-50	F	10	10-50	F
Black Oxides	10	10-50	F	5	10-50	F	5	10-50	F

ตารางที่ 5-8 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอริโรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320 (ต่อ)

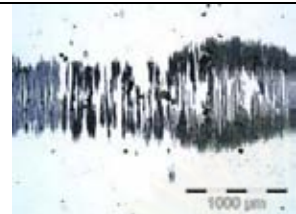
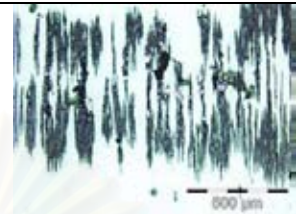
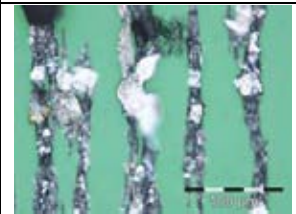

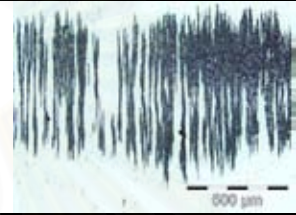
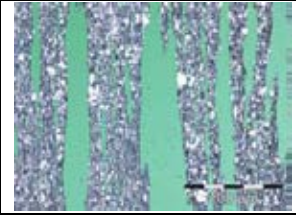
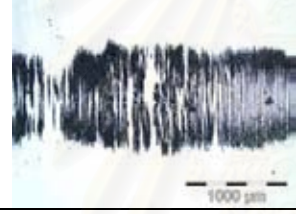

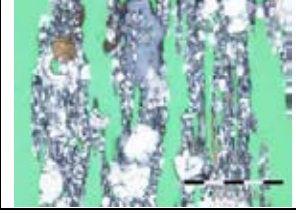
Working (hr)	2 9 5			3 2 0		
Oil Hour (hr)	7 5			1 0 0		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	40	2 - 3	F	50	2 - 3	F
Fatigue Wear	40	20-60	F	30	20-30	F
Black Oxides	10	20-50	F	10	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-100	C	10	10-50	C

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,  
C : Contaminant Particle

ตารางที่ 5-9 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	320			
25	345			

ตารางที่ 5-9 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420 (ต่อ)

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
50	370			
75	395			
100	420			

ตารางที่ 5-10 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอริโรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420

Working (hr)	3 2 0			3 3 0			3 4 5		
Oil Hour (hr)	0			1 0			2 5		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	30	3 - 5	F	55	3 - 5	F	30	3 - 5	F
Fatigue Wear	60	20-80	F	30	20-40	F	40	20-40	F
Black Oxides	10	5-15	F	10	5-15	F	10	5-15	F
Dirt and Dust	-	-	-	5	5-10	C	10	5-10	C



ตารางที่ 5-10 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420 (ต่อ)

Working (hr)	3 7 0			3 9 5			4 2 0		
Oil Hour (hr)	5 0			7 5			1 0 0		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	Size (Micron)	Particle Type	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	65	3 - 5	F	50	3 - 5	F	60	3 - 5	F
Fatigue Wear	20	20-50	F	30	20-80	F	30	20-40	F
Sliding Wear							10	5 0	F
Black Oxides	5	5-10	F						
Dirt and Dust	10	10-20	C	20	20-40	C			

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,

C : Contaminant Particle

### จ. ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500



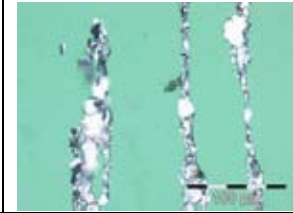
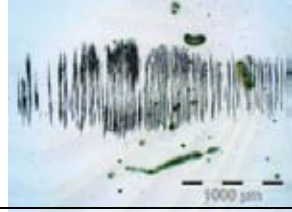
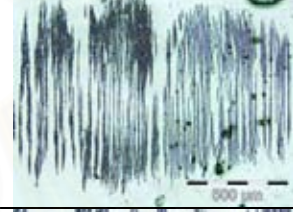
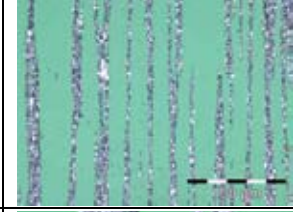
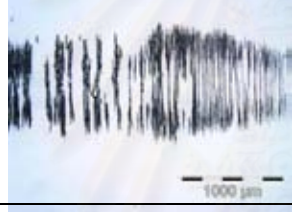
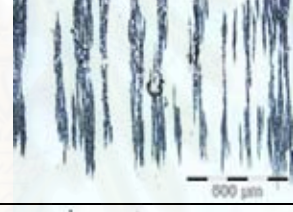


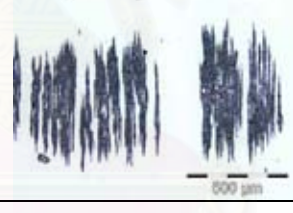
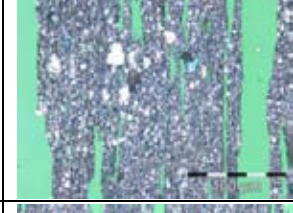
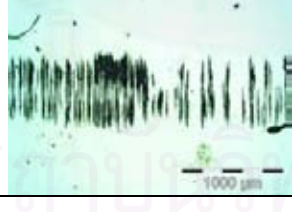
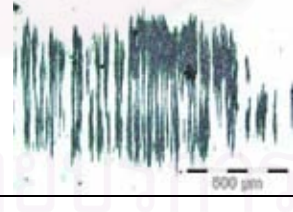
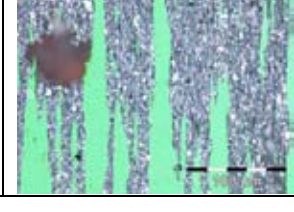
ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 5-11 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ดังตารางที่ 5-12

ในชั่วโมงการทำงานที่ 420-500 นี้อนุภาคที่พบส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโลหะที่เกิดการสึกหรอจากการเสียดสีแบบปกติ ขนาด 2-3 ไมครอน

อายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น 50-80 พบสิ่งปนเปื้อนจากสารอโลหะ จำพวกฝุ่นมีขนาด 10-20 ไมครอน เพิ่มขึ้นกว่าปกติเป็นสาเหตุความสึกหรอแบบ abrasive wear



ตารางที่ 5-11 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	420			
25	445			
50	470			
75	495			
80	500			

ตารางที่ 5-12 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอริโรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500

Working (hr)	4 2 0			4 4 5		
Oil Hour (hr)	0			2 5		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	90	2 - 3	F	90	2 - 3	F
Fatigue Wear	5	10-20	F	-	-	-
Dirt and Dust	-	20-50	C	10	10-50	C

ตารางที่ 5-12 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอริโรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500 (ต่อ)

Working (hr)	4 7 0			4 9 5			5 0 0		
Oil Hour (hr)	5 0			7 5			8 0		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	50	2 - 3	F	90	2 - 3	F	90	2 - 3	F
Fatigue Wear	10	20-50	F						
Cutting Wear	20	20-30	F						
Dirt and Dust	20	10-50	C	10	10-50	C	10	10-50	C

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,

C : Contaminant Particle

### 5.3.2.6 ผลการทดสอบความทนทานเมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

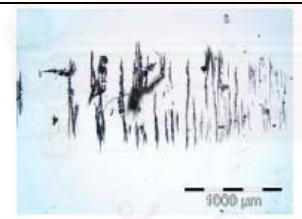
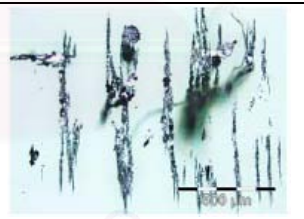
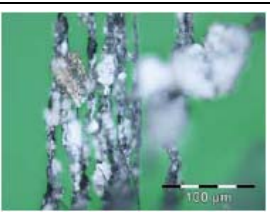
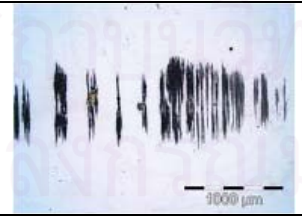

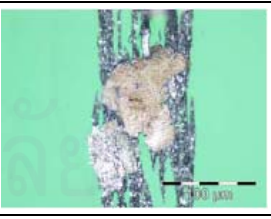
#### ก. ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 (รันอิน)

ผลการวิเคราะห์ห้้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 แสดง ภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 5-13 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ดังตารางที่ 5-14

โดยชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 นี้จะพบอนุภาคการสึกหรอแบบเสียดสีปกติเป็นส่วนใหญ่ โดยมีอนุภาคขนาด 2-3 ไมครอน และมีการสึกหรอจาก Sliding ของเครื่องจักรขนาด 10-30 ไมครอน และอนุภาคปนเปื้อนอื่นๆเนื่องจากการรันอินของเครื่องยนต์

จากภาพขยาย 400 เท่า สามารถเห็น อนุภาค โลหะมีลักษณะเป็นขีด ขนาดประมาณ 500 ไมครอน ซึ่งเป็น Cutting wear สาเหตุอาจมาจากการขูดขีดกันของวัสดุสองชนิด ของเครื่องยนต์ซึ่งจะเกิดในขณะรันอิน ซึ่งหน้าสัมผัสของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ยังมีความหยาบของผิวอยู่

ตารางที่ 5-13 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	-20			
20	0			

ตารางที่ 5-14 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรโรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0

Working (hr)	- 2 0			0		
Oil Hour (hr)	0			2 0		
Wear & Contaminants Particles	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	70	2 - 3	F *	8 0	2 - 3	F
Fatigue Wear	-	-	-	1 0	20-50	F
Sliding Wear	10	10-30	F	-	-	-
Dirt and Dust	20	10-100	C	1 0	10-50	C

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,  
C : Contaminant Particle

#### ข. ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรโรแกรมดังตารางที่ 5-15 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรโรแกรม ดังตารางที่ 5-16

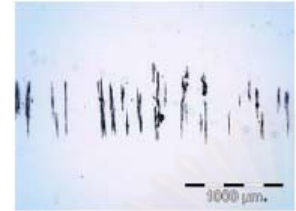
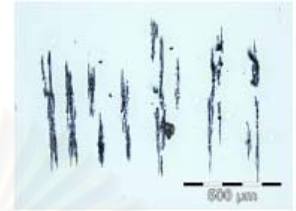
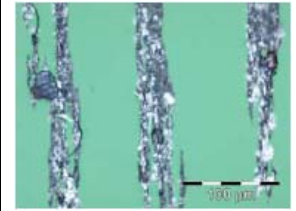
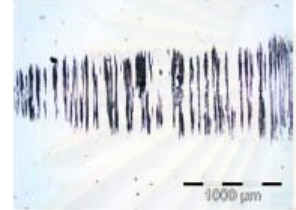
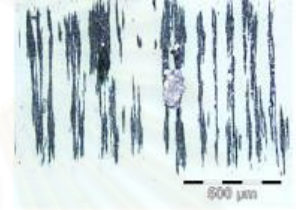
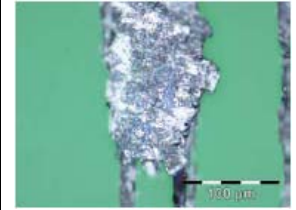
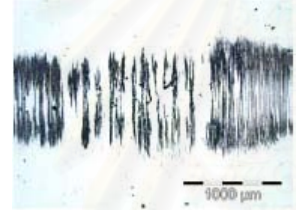

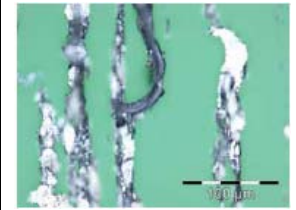
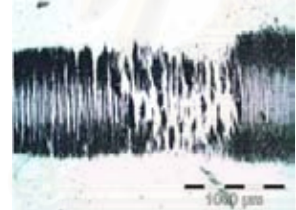

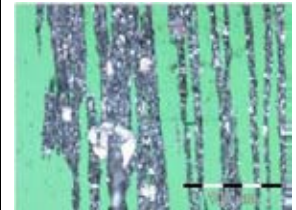
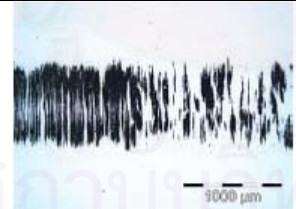
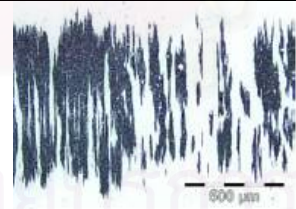
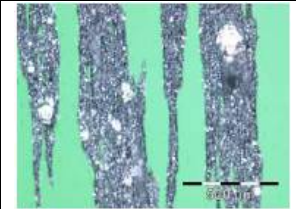
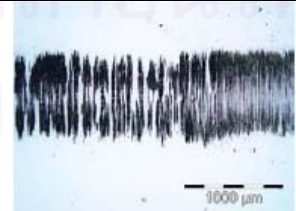
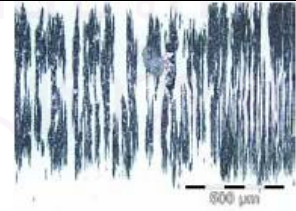

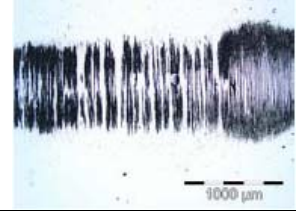

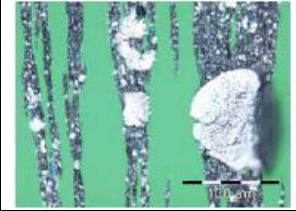
ในชั่วโมงการทำงานที่ 0-110 นี้อนุภาคส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโลหะที่เกิดจากการสึกหรอจากการเสียดสีแบบปกติ ขนาด 2-3 ไมครอน

ชั่วโมงการทำงาน 10-100 พบการสึกหรอจากการล้าขนาด 20-80 และโลหะ black oxide ขนาด 20 ไมครอน ในปริมาณที่น้อยและอยู่ในปริมาณปลอดภัยจึงไม่นำมาพิจารณา

ชั่วโมงการทำงาน 25 – 100 พบสิ่งปนเปื้อนจากสารอโลหะ จำพวกฝุ่นมีขนาด ใกล้เคียงกันคือ 10-50 micron จากภาพถ่าย 500 เท่า สามารถเห็นความสึกหรอจาก abrasive wear สามารถเห็น อนุภาคเป็นเส้นขนาด 100 ไมครอน คาดว่ามีสาเหตุมาจากสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ใช่โลหะ ซึ่งจัดเป็น Third body abrasive wear



ตารางที่ 5-15 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	0			
10	10			
25	25			
50	50			
75	75			
100	100			
110	110			



ตารางที่ 5-16 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรโรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110

Working (hr)	0			1 0			2 5		
Oil Hour (hr)	0			1 0			2 5		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Particles									
Normal Rubbing Wear	90	2 - 3	F	85	2 - 3	F	80	2 - 3	F
Fatigue Wear	-	-	-	5	20-80	F	5	10-20	F
Cutting Wear	-	-	-	-	-	-	5	10-20	F
Black Oxides	-	-	-	5	20-20	F	10	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-20	C	5	10-20	C	5	10-50	C

ตารางที่ 5-16 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรโรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110 (ต่อ)

Working (hr)	5 5			7 5		
Oil Hour (hr)	5 5			7 5		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Particles						
Normal Rubbing Wear	75	2 - 3	F	75	2 - 3	F
Fatigue Wear	10	20-30	F	10	10-20	F
Black Oxides	5	10-20	F	5	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-50	C	10	10-30	C

ตารางที่ 5-16 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 110 (ต่อ)

Working (hr)	1 0 0			1 1 0		
Oil Hour (hr)	1 0 0			1 1 0		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Particles						
Normal Rubbing Wear	70	2 - 3	F	70	2 - 3	F
Fatigue Wear	10	20-100	F	10	20-60	F
Cutting Wear	-	-	-	5	20-50	F
Black Oxides	10	10-20	F	5	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-150	C	10	10-80	C

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,

C : Contaminant Particle




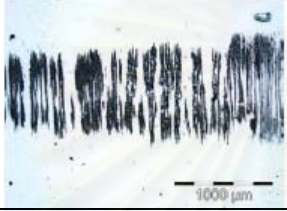
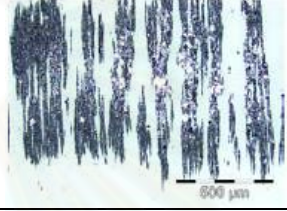
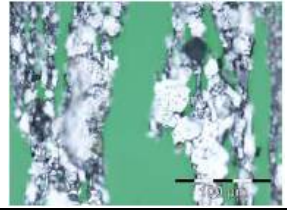
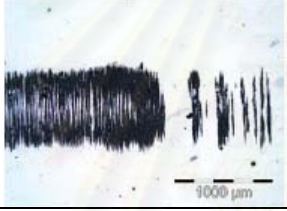
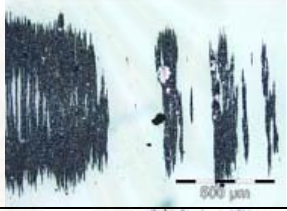
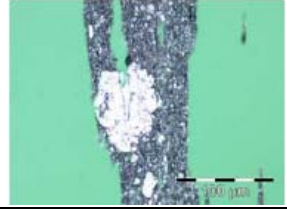
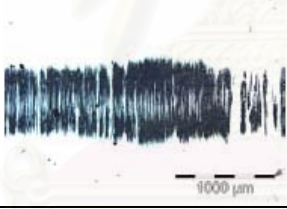
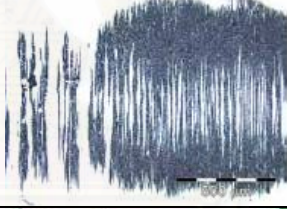
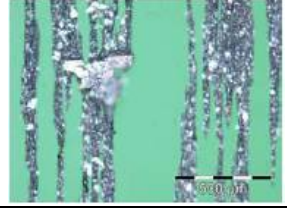
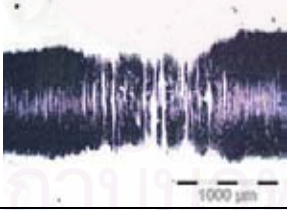
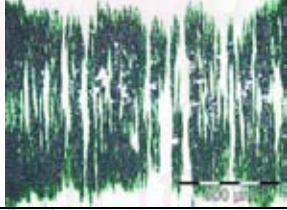
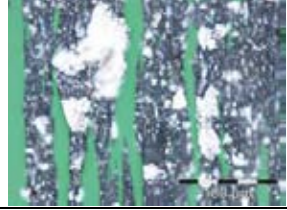



### ค. ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 220 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 5-17 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ดังตารางที่ 5-18 ในชั่วโมงการทำงานที่ 110-220 นี้อนุภาคส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโลหะที่เกิดจากการสึกหรือจากการเสียดสีแบบปกติ ขนาด 2-3 ไมครอน

อายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น 25-110 พบโลหะสึกหรือจากการล้าขนาด 20-80 ไมครอน และโลหะ black oxide ขนาด 10-20 ไมครอน และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออายุ น้ำมันหล่อลื่น 75-110 ชั่วโมง

ชั่วโมงการทำงานที่ 75 พบสิ่งปนเปื้อนจากสารอโลหะ จำพวกฝุ่นมีขนาด 10-50 ไมครอน เป็นสาเหตุของความสึกหรือแบบ abrasive wear

ตารางที่ 5-17 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	110			
25	135			
50	160			
75	185			
100	210			
110	220			

ตารางที่ 5-18 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220

Working (hr)	1 1 0			1 3 5			1 6 0		
Oil Hour (hr)	0			2 5			5 0		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	90	2 - 3	F	60	2 - 3	F	70	2 - 3	F
Fatigue Wear	-	-	-	20	20-60	F	10	20-80	F
Black Oxides	-	-	-	10	10-20	F	5	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-20	C	10	10-100	C	15	10-80	C

ตารางที่ 5-18 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 220 (ต่อ)

Working (hr)	1 8 5			2 1 0			2 2 0		
Oil Hour (hr)	7 5			1 0 0			1 1 0		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	70	2 - 3	F	80	2 - 3	F	60	2 - 3	F
Fatigue Wear	10	10-50	F	30	20-80	F	20	20-30	F
Black Oxides	10	5-10	F				-	-	-
Dirt and Dust	10	10-50	C	10	10-20	F	10	10-20	F

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,

C : Contaminant Particle

### ง. ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดัง และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ดังตารางที่ 5-20 และตารางที่ 5-21

ในชั่วโมงการทำงานที่ 110-220 นี้อนุภาคที่ส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโลหะที่เกิดจากการสึกหรอจากการเสียดสีแบบปกติ ขนาด 2-3 ไมครอน

อายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น 0 และ 50 ชั่วโมง พบโลหะการสึกหรอจากการล้าขนาด 20-30 ไมครอน และโลหะ black oxide ขนาด 20-50 ไมครอน และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออายุ น้ำมันหล่อลื่นที่ 75-110 ชั่วโมง และมีค่าสูงขึ้นมากในช่วงอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นที่ 50 ชั่วโมง โดยมีขนาด 10-50 ไมครอน

### จ. ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420 แสดง ภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตาราง 5-21 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ดังตารางที่ 5-22

ในชั่วโมงการทำงานที่ 320-420 นี้อนุภาคที่ส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโลหะที่เกิดการสึกหรอจากการเสียดสีแบบปกติ ขนาด 2-3 ไมครอนเป็นหลัก

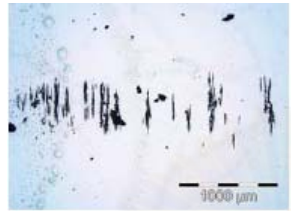
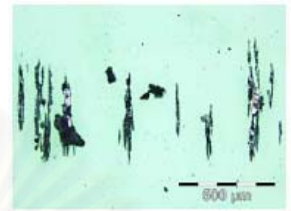
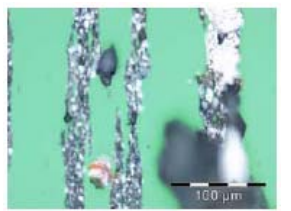
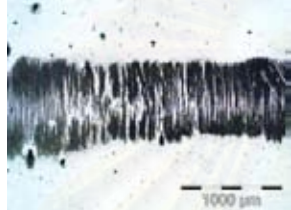
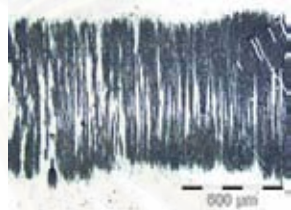
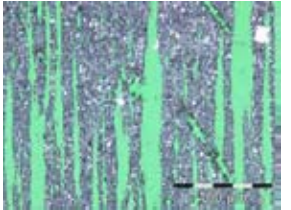



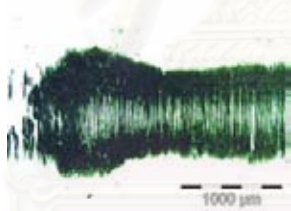
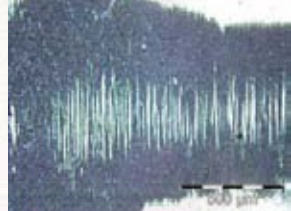
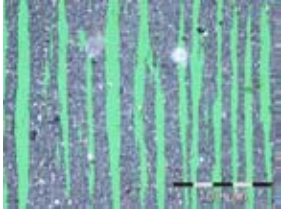
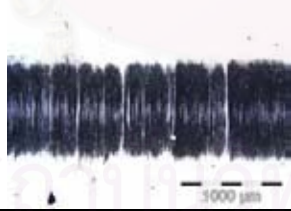

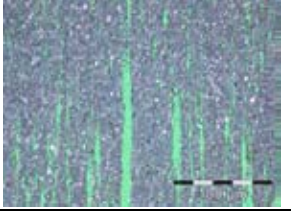
โดยที่ชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นที่ 75 -100 พบโลหะสึกหรอจากการล้าขนาด 20-100 ไมครอนจำนวนมาก สามารถดูได้จากรูปขยาย 100 เท่าของชั่วโมงการทำงานที่ 420

พบโลหะ black oxide ขนาด 10-50 ไมครอน และเมื่ออายุ น้ำมันหล่อลื่น 20-50 ชั่วโมง

อายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น 25-100 พบสิ่งปนเปื้อนจากสารโลหะ จำพวกฝุ่นมีขนาด 10-50 ไมครอน ซึ่งเป็นสาเหตุความสึกหรอแบบ abrasive wear



ตารางที่ 5-19 แสดง ภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	220			
25	245			
50	270			
75	295			
100	320			

ตารางที่ 5-20 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการการทำงานที่ 220 ถึง 320

Working (hr)	2 2 0			2 4 5		
Oil Hour (hr)	0			2 5		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Particles						
Normal Rubbing Wear	70	2 - 3	F	90	2 - 3	F
Fatigue Wear	10	20-30	F			
Black Oxides	10	20-50	F			
Dirt and Dust	10	10-20	C	10	10-20	C


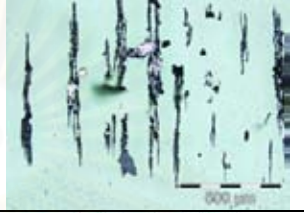
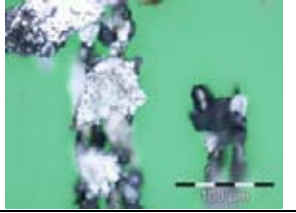
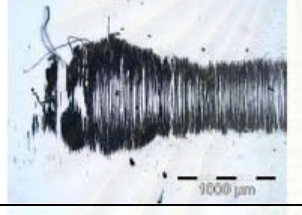
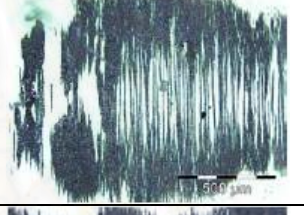

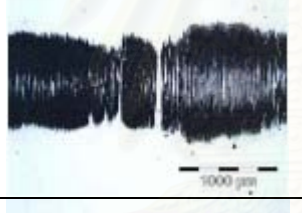
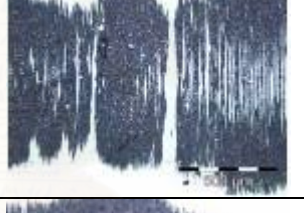
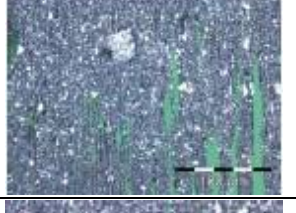
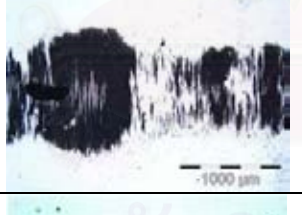
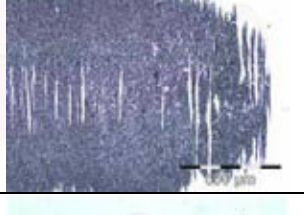
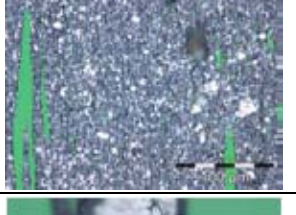
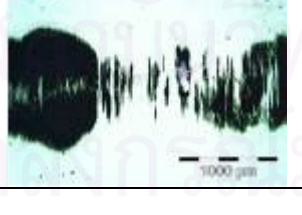


ตารางที่ 5-20 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการการทำงานที่ 220 ถึง 320 (ต่อ)

Working (hr)	2 9 5			3 0 5			3 2 0		
Oil Hour (hr)	5 0			7 5			1 0 0		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Particles									
Normal Rubbing Wear	75		F	90	2 - 3	F	80	2 - 3	F
Fatigue Wear	10		F						
Black Oxides	5		F						
Dirt and Dust	10		C	10	10-20	C	20	10-20	C

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,

C : Contaminant Particle

ตารางที่ 5-21 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอริโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	320			
25	345			
50	370			
75	395			
100	420			

ตารางที่ 5-22 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420

Working (hr)	3 2 0			3 4 5		
Oil Hour (hr)	0			2 5		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Particles						
Normal Rubbing Wear	40	2 - 3	F	70	2 - 3	F
Fatigue Wear	20	20-80	F	10	10-20	F
Black Oxides	30	10-50	F	10	10-20	F
Dirt and Dust	10	10-50	C	10	10-50	C

ตารางที่ 5-22 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ในน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 320 ถึง 420 (ต่อ)

Working (hr)	3 7 0			3 9 5			4 2 0		
Oil Hour (hr)	5 0			7 5			1 0 0		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Particles									
Normal Rubbing Wear	80	2 - 3	F	70	2 - 3	F	70	2 - 3	F
Fatigue Wear	10	10-20	F	10	10-50	F	10	10-300	F
Black Oxides	5	5-10	F	10	10-20	F	10	10-20	F
Dirt and Dust	5	10-50	C	10	10-50	C	10	10-50	C

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,

C : Contaminant Particle



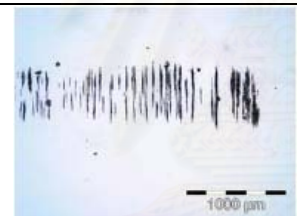
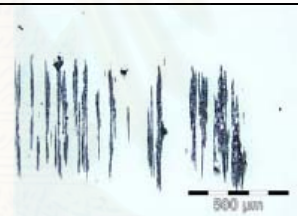
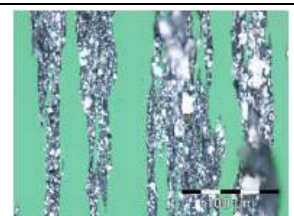
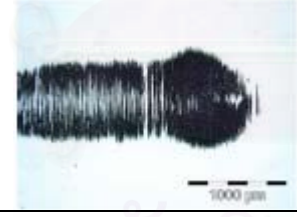

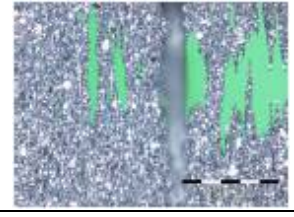
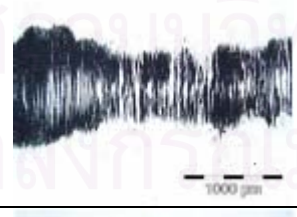

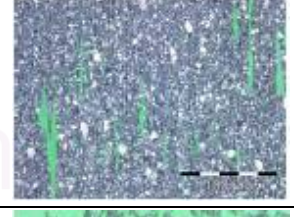
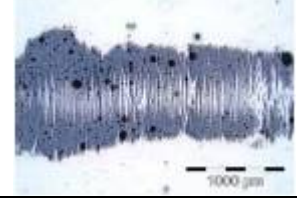
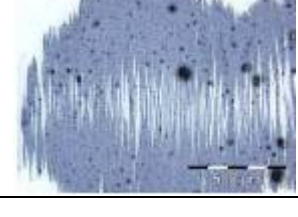
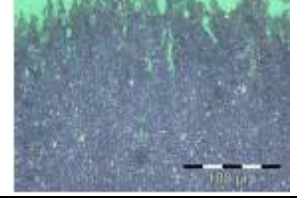
**จ. ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500**

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมดังตารางที่ 5-23 และแสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม ดังตารางที่ 5-24

ในชั่วโมงการทำงานที่ 420-500 นี้ อนุภาคที่พบส่วนใหญ่เป็นอนุภาคโลหะที่เกิดการสึกหรอจากการเสียดสีแบบปกติ ขนาด 2-3 ไมครอน

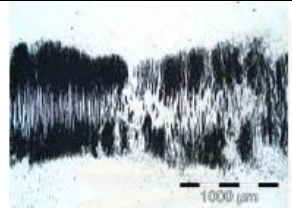
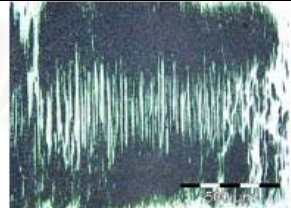
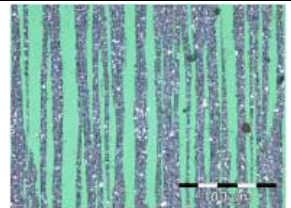
อายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น 25-50 พบสิ่งปนเปื้อนจากสารอโลหะ จำพวกฝุ่นมีขนาด 10-20 ไมครอน เป็นผลทำให้เกิด cutting wear ขนาด 100ไมครอน ดังเห็นได้ในรูปชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น 50

ตารางที่ 5-23 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
0	420			
25	445			
50	470			
75	495			



ตารางที่ 5-23 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอโรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500 (ต่อ)

Oil hr	Working hr	กำลังขยาย 40 เท่า	กำลังขยาย 100 เท่า	กำลังขยาย 400 เท่า
80	500			

ตารางที่ 5-24 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอโรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500

Working (hr)	4 2 0			4 4 5		
Oil Hour (hr)	0			2 5		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Particles						
Normal Rubbing Wear	95	2 - 3	F	80	2 - 3	F
Dirt and Dust	5	10-20	C	20	10-20	C

ตารางที่ 5-24 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ระหว่างทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 500 (ต่อ)

Working (hr)	4 7 0			4 8 5			5 0 0		
Oil Hour (hr)	5 0			7 5			8 0		
Wear & Contaminants	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type	% Rating	Size (Micron)	Particle Type
Particles									
Normal Rubbing Wear	80	2 - 3	F	80	2 - 3	F	80	2 - 3	F
Black Oxides				5	5-10	F			
Dirt and Dust	20	10-20	C	15	10-20	C	20	5-10	C

\* F : Ferrous Wear Particle, N : Non Ferrous Wear Particle,

C : Contaminant Particle

### 5.3.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบความทนทานเมื่อน้ำมันดีเซล

สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซลทดสอบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน 500 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องยนต์มาตรฐานตามที่ได้ผลิตได้แนะนำมา เพื่อศึกษาอิทธิพลของการสึกหรอจากการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ โดยจะทดสอบเก็บค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระสูงสุด และ สภาวะภาระบางส่วน ค่าสมรรถนะ อาทิ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ค่าแรงบิดเบรก ค่าอุณหภูมิต่างๆของเครื่องยนต์ระหว่างการทำงาน และค่าควินด้า

#### 5.3.3.1 สภาวะภาระสูงสุด

##### ก. ผลของแรงบิดเบรก

ผลของแรงบิดเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-49

จากรูปที่ 5-49 ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดหลังการทดสอบความทนทาน สร้างได้มีค่าใกล้เคียงกับก่อนการทดสอบความทนทาน ตลอดทุกรอบความเร็วในการทดลอง โดยที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,200 ถึง 2,400 แรงบิดที่หลังการทดสอบความทนทานสร้างได้มีค่าต่ำกว่าก่อนทดสอบเพียง

0.30-1.17 N-m คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างได้ร้อยละ 0.7-2.8 โดยแรงบิดสูงสุดที่สามารถสร้างได้ของภายหลังการทดสอบความทนทาน เกิดขึ้นที่ 1,400 รอบต่อนาที โดยมีแรงบิด 45.4 N-m

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุดเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบความทนทาน สามารถสร้างกำลังได้ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ก่อนการทดสอบความทนทาน โดยแรงบิดเบรกมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลตลอดทุกช่วงความเร็ว ประมาณร้อยละ 0.7-2.8

### **ข. ผลของกำลังเบรก**

ผลของกำลังเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-49

จากรูปที่ 5-49 ค่ากำลังเบรกมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าแรงบิดเบรก กล่าวคือ ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน มีค่าใกล้เคียงกันโดยภายหลังการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์มีกำลังเบรคน้อยกว่าเล็กน้อย 0.03-0.24 kW คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 0.4-2.7 ที่ทุกความเร็วรอบในการทดสอบ กำลังสูงสุดที่สามารถสร้างได้ก่อนการทดสอบความทนทานเท่ากับ 9.19 kW ที่ 2,100 รอบต่อนาที และกำลังเบรกสูงสุดเมื่อใช้ภายหลังการทดสอบความทนทานเท่ากับ 9.05 kW ที่ 2,100 รอบต่อนาที เช่นเดียวกัน

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุด ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบความทนทานมีค่าใกล้เคียงกัน โดยภายหลังการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์สร้างกำลังได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 0.4-2.7 ตลอดช่วงความเร็วรอบในการทดสอบ

### **ค. ผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก**

ผลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-49

จากรูปที่ 5-49 ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ได้ก่อนการทดสอบความทนทาน มีค่าสูงกว่าหลังการทดสอบ 1-15 g/kW-h ทุกช่วงความเร็ว 1,200-2,400 รอบต่อนาที คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 0.5-5.1 ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดที่ได้ก่อนการทดสอบความทนทานมีค่า 267 g/kW-h ที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที และค่าต่ำสุดหลังการทดสอบความทนทานมีค่า 265 g/kW-hr ที่ความเร็วเดียวกัน 1,600 รอบต่อนาที ค่าแตกต่างได้ร้อยละ 6.67

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน อัตราการสิ้นเปลืองเบรกก่อนการทดสอบความทนทาน สูงกว่าค่าที่ได้หลังจากทดสอบความทนทานทุกช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 0.5 ถึง 5.1

### ง. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก

ผลของแรงบิดเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-49

จากรูปที่ 5-49 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกมีแนวโน้มเดียวกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรก กล่าวคือ ภายหลังจากการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ดีขึ้นร้อยละ 0.5 -5.1 ที่ทุกจุดในการทดสอบ

โดยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดก่อนและหลังการใช้งาน อยู่ที่ความเร็วรอบเดียวกันที่ 1,600 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงมีค่า 31.4 และ 34.7 ตามลำดับ

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกก่อนการทดสอบความทนทาน ต่ำกว่าค่าที่ได้หลังจากทดสอบความทนทานทุกช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 0.5 ถึง 5.1

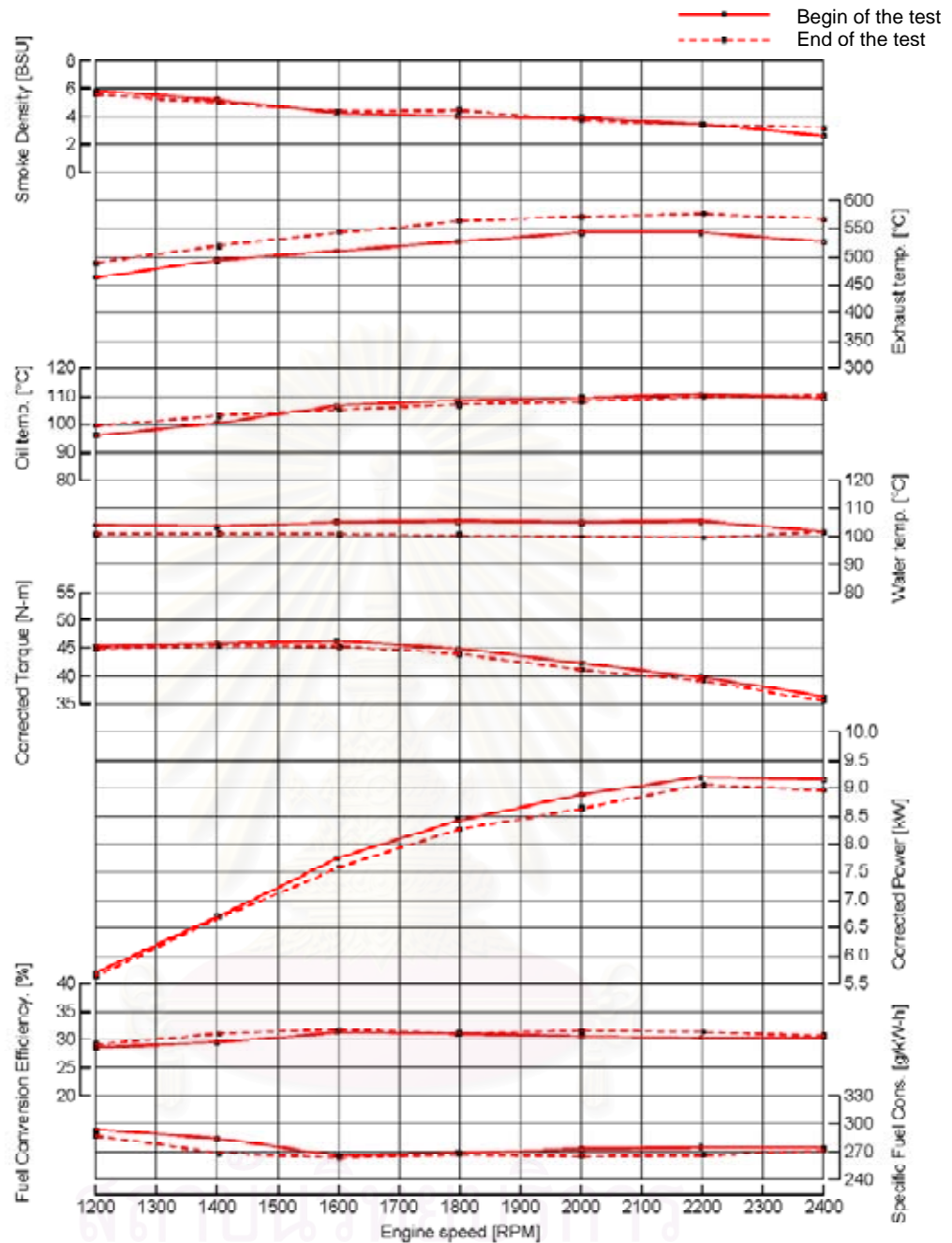
จากการทดสอบสังเกตเห็นว่าเมื่อผ่านการใช้งานเป็นเวลา 500 ชั่วโมง การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลที่สภาวะภาระสูงสุดมีค่าประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยที่มีสมรรถนะใกล้เคียงของเดิม แสดงถึงสภาพของเครื่องยนต์ที่ยังมีความสมบูรณ์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ

### จ. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-49

จากรูปที่ 5-49 ค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นก่อนการทดสอบความทนทานมีค่าไม่แตกต่างกันกับหลังการทดสอบ โดยมีค่าการแกว่งตัวไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 111 องศาเซลเซียสเท่ากัน ที่ความเร็วรอบ 2,100 และ 2,400 รอบต่อนาที ตามลำดับ

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของ เครื่องยนต์ก่อนและหลังการใช้งานด้วยน้ำมันดีเซล มีค่าไม่ต่างกัน



รูปที่ 5-49

กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรงบิดเบรก กำลังเบรก อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก(bsfc) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิไอเสีย และค่าควันทันที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล



### จ. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-49

จากรูปที่ 5-49 ค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นก่อนการทดสอบความทนทานมี โดยมีค่าต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 106 องศาเซลเซียสเท่ากัน ที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อ นาที

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ก่อนการทดสอบมีค่าต่ำกว่าหลังการทดสอบความทนทานทุกความเร็วในการทดสอบ ประมาณร้อยละ 5 ของการทดสอบ

### ข. อุณหภูมิไอเสีย

อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-49

จากรูปที่ 5-49 ก่อนการทดสอบความทนทานค่าอุณหภูมิไอเสียมีค่าต่ำกว่า 24-40 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 5.0-7.6 โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ความเร็วรอบ 2,100 รอบต่อ นาที มีอุณหภูมิไอเสีย 542 และ 576 องศาเซลเซียส ก่อนและหลังการทดสอบความทนทานตามลำดับ

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุด ก่อนการทดสอบความทนทานค่าอุณหภูมิไอเสียมีค่าต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 5-7.6 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ

### ช. ค่าควันดำ

ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-49

จากรูปที่ 5-49 หลังการทดสอบความทนทาน มีค่าควันดำต่ำไม่แตกต่างกับก่อนการทดสอบความทนทาน โดยมีค่าความแตกต่างอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.5 BSN

## 5.3.3.2 สภาวะภาระบางส่วน ที่ความเร็วรอบคงที่

### ก. ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและค่าแรงบิดเบรก ความเร็วรอบคงที่ เปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แสดงดังรูปที่ 5-50

รูปที่ 5-50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับแรงบิดเบรก ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1,200, 1,400, 1,600, 1,800, 2,000, 2,200 และ 2,400 รอบต่อ นาทีของเครื่องยนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกก่อนทดสอบความ

ทนทานมีค่าสูงกว่าภายหลังทดสอบความทนทานเฉลี่ยร้อยละ 3-4 ในเกือบทุกจุดที่ทำ การทดสอบ

ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกดต่ำสุดก่อนการทดสอบความทนทานมีค่า 232 g/kW-h เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรค 33 N-m ส่วนค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกดต่ำสุดหลังการทดสอบความทนทาน 213 g/kW-h เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรค 33 N-m

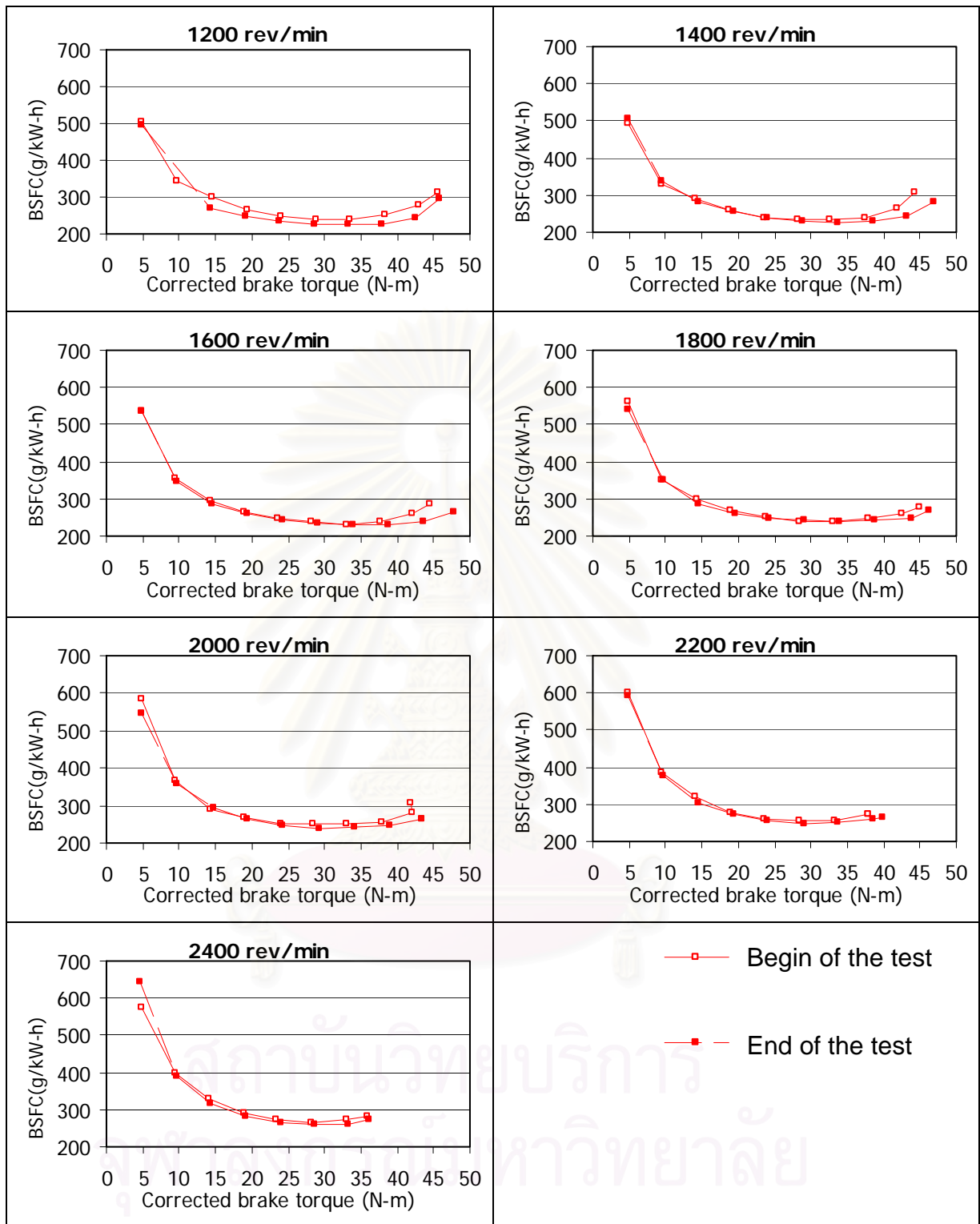
สรุปผลการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วน อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าต่ำลงเมื่อผ่านการทดสอบความทนทานร้อยละ 3-4 สอดคล้องกับที่สภาวะภาระสูงสุด

### **ข. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเบรค**

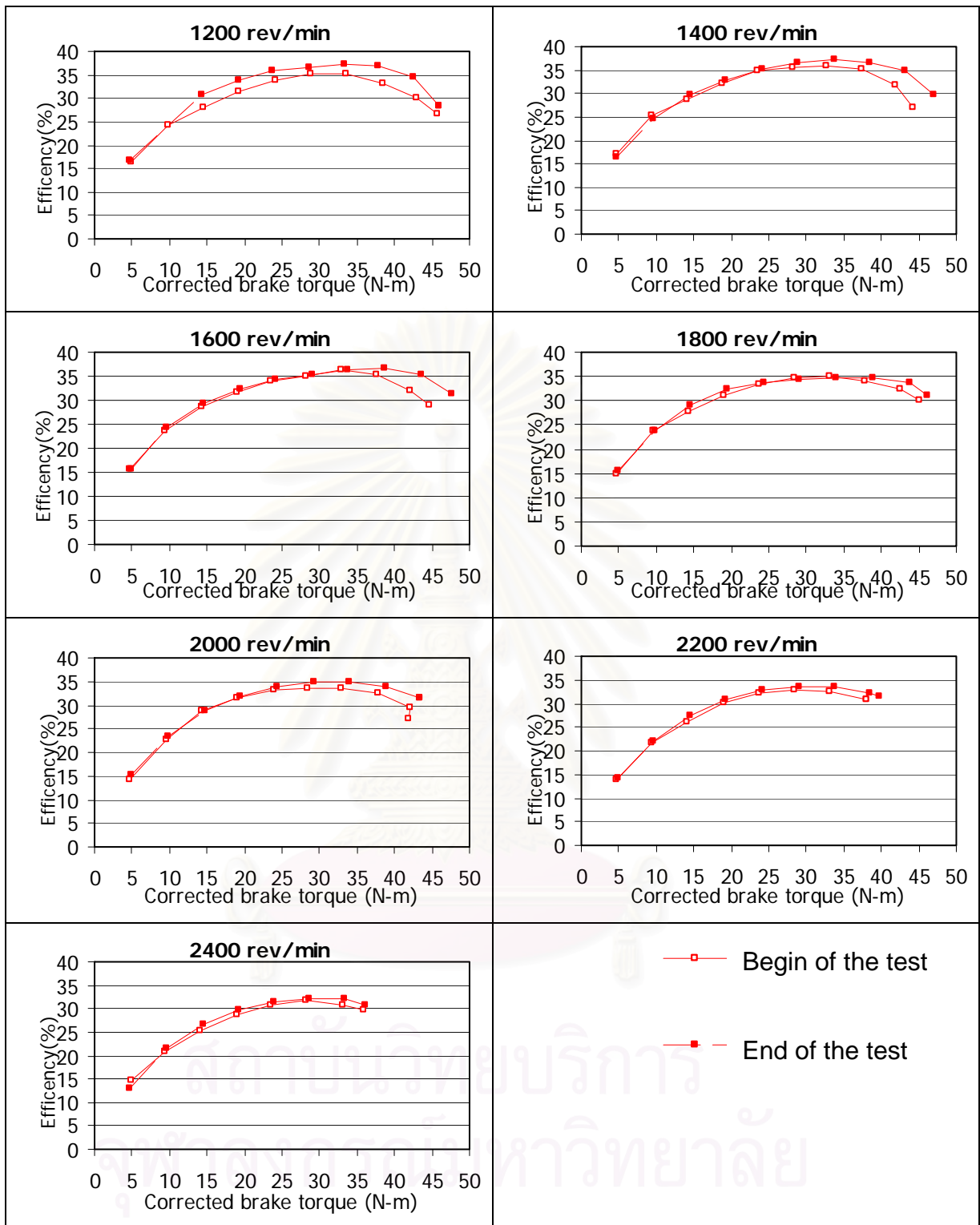
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคและค่าแรงบิดเบรคที่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ 1,200, 1,400, 1,600, 1,800, 2,000, 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาทีของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แสดงดังรูปที่ 5-51

จากรูปที่ 5-51 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคมีแนวโน้มเดียวกับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ กล่าวคือพบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคก่อนการทดสอบความทนทานต่ำกว่า ภายหลังการทดสอบความทนทานร้อยละ 3-4 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคสูงสุดก่อนการทดสอบความทนทานมีค่า 36.7 เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรค 33 N-m ส่วนค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคสูงสุดหลังการทดสอบความทนทาน 37.3 เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที และที่แรงบิดมีค่าเท่ากับ 38 N-m

สรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคที่ได้จากภายหลังการทดสอบความทนทานมีค่าสูงกว่า ก่อนการทดสอบความทนทานร้อยละ 3-4 ซึ่งประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคที่สภาวะภาระสูงสุด และแสดงให้เห็นว่าการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลที่สภาวะภาระสูงสุดมีค่าประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยที่มีสมรรถนะใกล้เคียงของเดิม แสดงถึงสภาพของเครื่องยนต์ที่ยังมีความสมบูรณ์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ



รูปที่ 5-50 แสดงค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล



รูปที่ 5-51 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล

### ค. อุณหภูมิไอเสีย

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียและค่าแรงบิดเบรกที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แสดงดังรูปที่ 5-50

รูปที่ 5-50 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน พบว่าก่อนการทดสอบความทนทานมีค่าอุณหภูมิไอเสียที่ต่ำกว่าทุกจุดทดสอบ โดยคิดเป็นร้อยละ 5-10 โดยค่าอุณหภูมิไอเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเร็วรอบการทำงานสูงขึ้น

### ง. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นและค่าแรงบิดเบรก ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แสดงดังรูปที่ 5-53

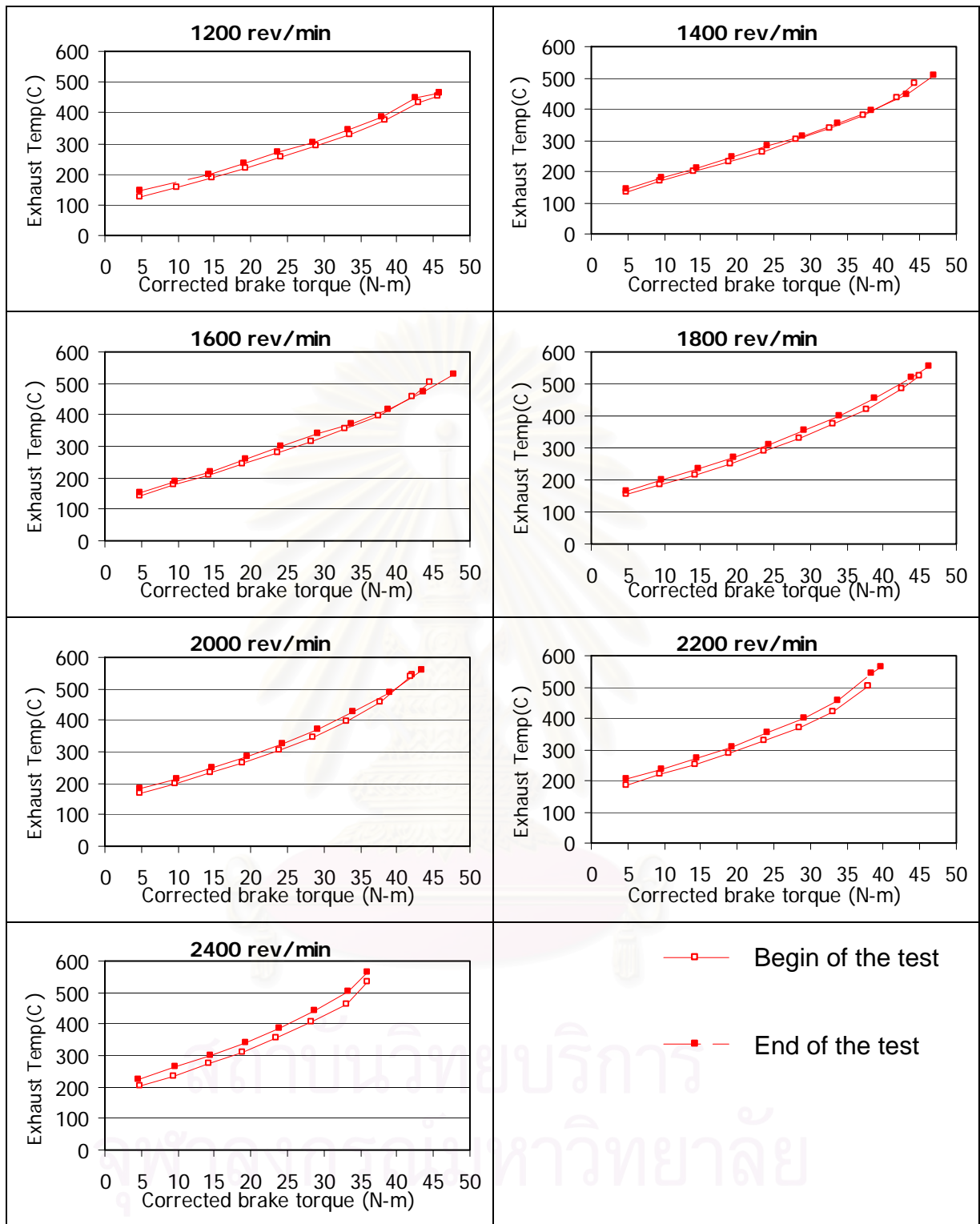
รูปที่ 5-53 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นพบว่า อุณหภูมิจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเร็วรอบการทำงานสูงขึ้น โดยก่อนการทดสอบมีค่ามากกว่า อุณหภูมิภายหลังการทดสอบความทนทาน ทุกจุดที่ทำการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 15.9 ซึ่งมีผลสอดคล้องกับการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด

### จ. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

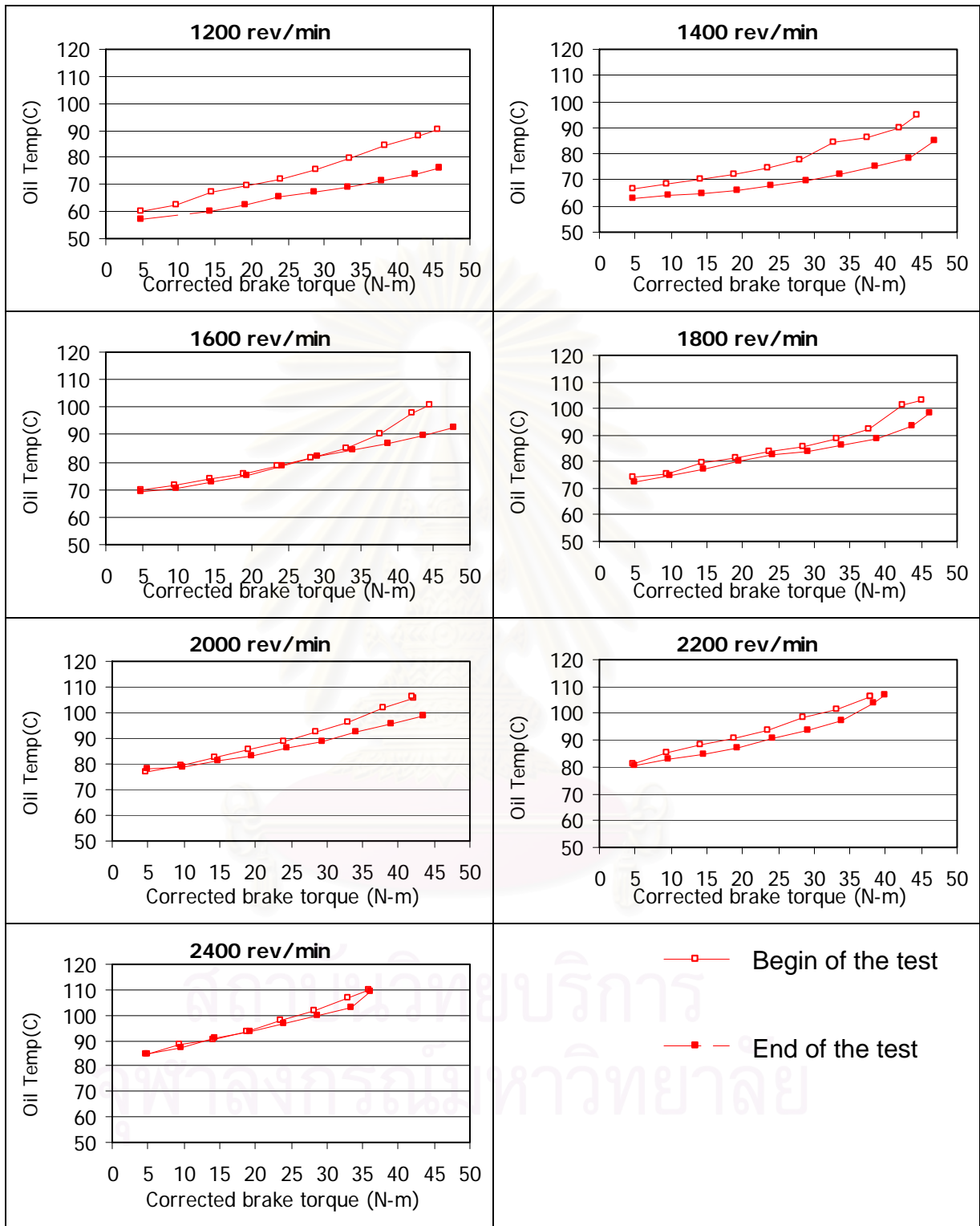
ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและค่าแรงบิดเบรกที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แสดงดังรูปที่ 5-54

รูปที่ 5-54 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเร็วรอบการทำงานสูงขึ้น โดยก่อนการทดสอบมีค่ามากกว่า อุณหภูมิภายหลังการทดสอบความทนทาน ทุกจุดที่ทำการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 0-15.7 ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

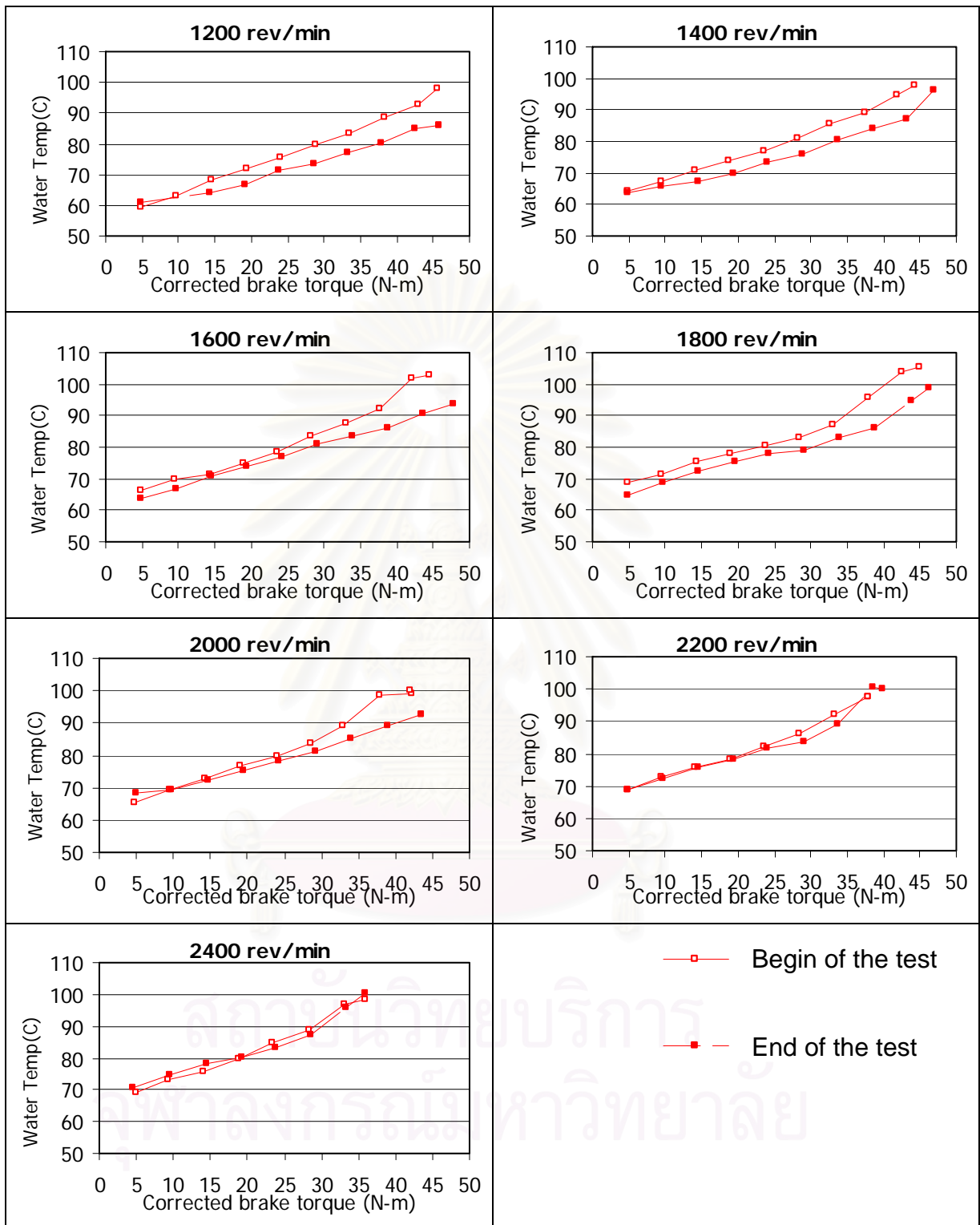




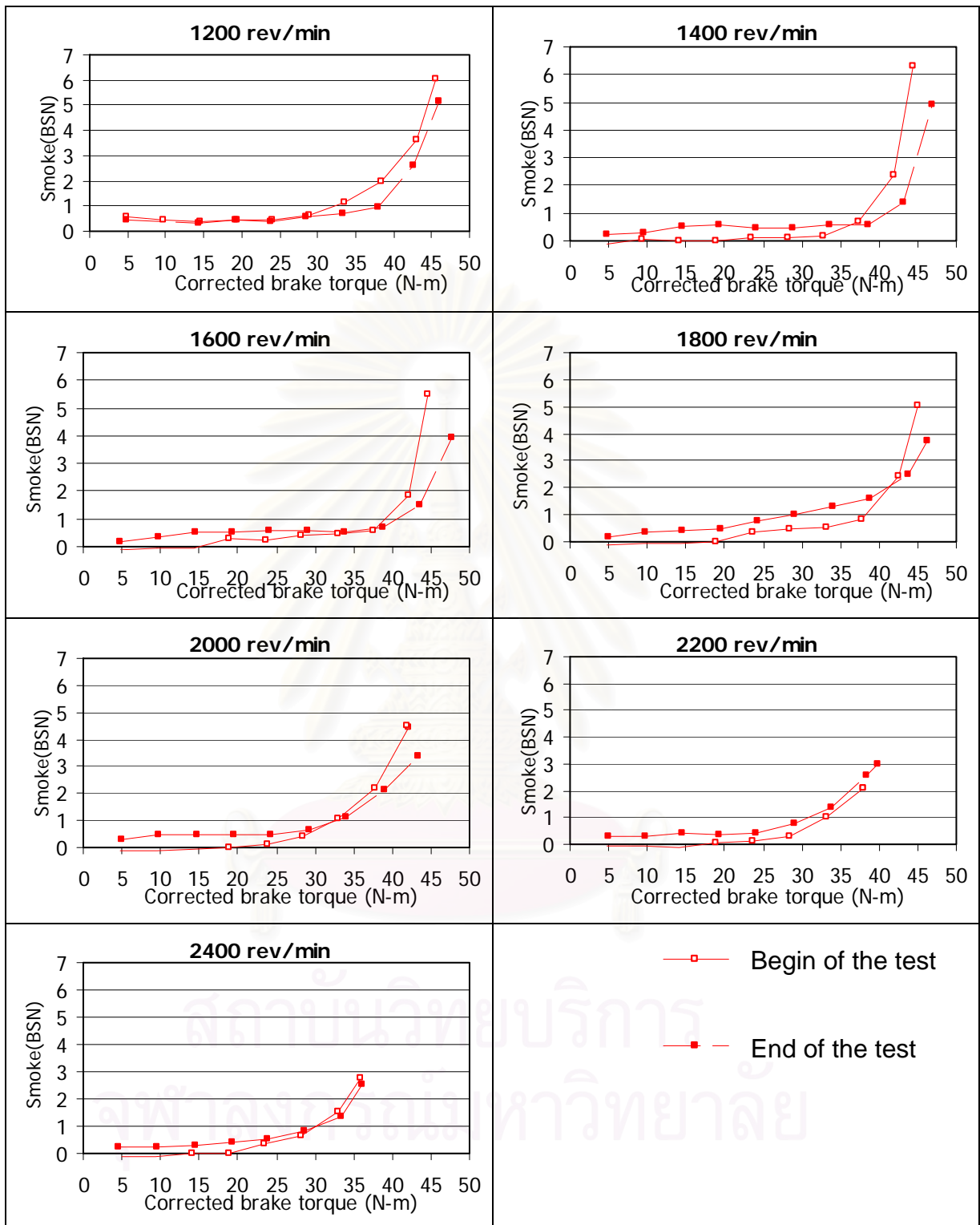
รูปที่ 5-52 แสดงอุณหภูมิไอเสีย เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล



รูปที่ 5-53 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นและค่าแรงบิดเบรก เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล



รูปที่ 5-54 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อน และหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล



รูปที่ 5-55 แสดงค่าควันดำเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันดีเซล

### จ. ค่าควันท้า

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าควันท้าและค่าแรงบิดเบรก ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเมื่อ สามารถนำมาเปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แสดงดังรูปที่ 5-55

จากรูปที่ 5-55 ค่าควันท้าจากการใช้น้ำมันดีเซลก่อนการทดสอบความทนทานมีค่าต่ำกว่าค่าควันท้าจากการใช้น้ำมันดีเซลหลังการทดสอบการทำงานที่มีค่าแรงบิดมากกว่า 35 N-m 0 – 1.5 BSN โดยเชื้อเพลิงทั้งสองมีแนวโน้มคล้ายกันคือที่สภาวะภาระบางส่วนค่าควันท้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงบิดเบรกที่เพิ่มขึ้น

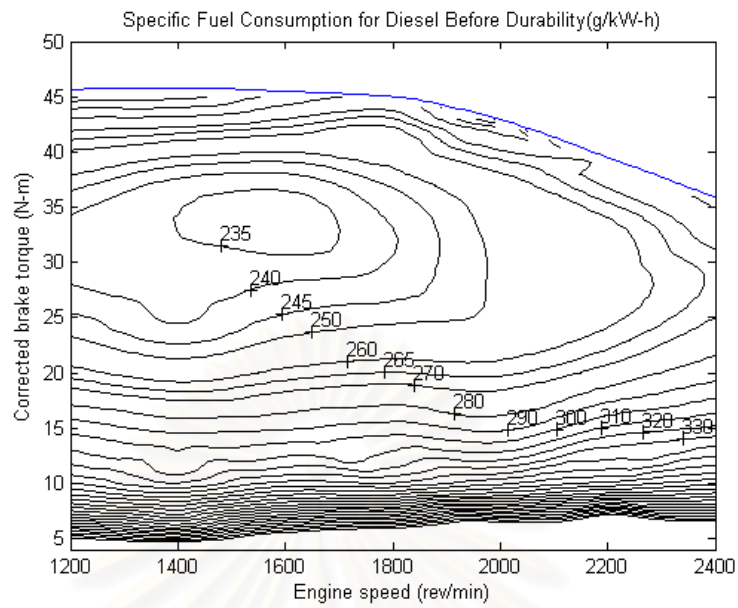
### 5.3.3.3 แผนภูมิแสดงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ (Engine Map)

#### ก. แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเบรก

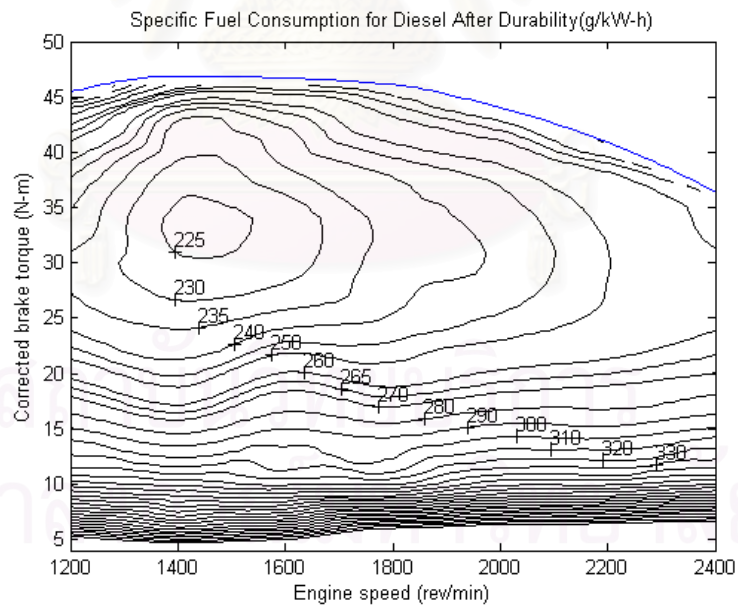
ผลการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถแสดงในแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเบรก โดยแผนภูมิสมรรถนะที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เปรียบเทียบกับ ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงดังรูปที่ 5-56 และรูปที่ 5-57 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5-56 และ รูปที่ 5-57 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เมื่อมองภาพรวมของแผนภูมิ พบว่า แนวของเส้นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกคงที่ จากก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน มีลักษณะที่คล้ายกันคือแนวโน้มของจุดศูนย์กลางของแผนภูมิซึ่งแสดงถึงค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดอยู่ในช่วงความเร็วที่กว้างตั้งแต่ 1,400 ถึง 1,600 รอบต่อนาที ที่ช่วงแรงบิดประมาณ 30-35 N-m เมื่อพิจารณาเส้นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกคงที่พบว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่เท่ากันบนแผนภูมิก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน พบว่าภายหลังการทดสอบความทนทานมีบริเวณกว้างกว่า สมรรถนะภายหลังการทดสอบความทนทานเล็กน้อย





รูปที่ 5-56 แผนภูมิอัตราการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลก่อนการทดสอบความทนทานเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น g/kW-h



รูปที่ 5-57 แผนภูมิอัตราการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลภายหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็นองศาเซลเซียส

### **ข. แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก**

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน ของเครื่องยนต์ก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปของแผนภูมิ ดังรูปที่ 5-58 และรูปที่ 5-59 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบผลระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน สรุปได้ดังนี้

จากแผนภูมิที่ได้พบว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระบางส่วน ของเครื่องยนต์ก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แนวโน้ม ส่วนในช่วงภาระต่ำ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระบางส่วน ของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันดีเซลก่อนและหลัง มีค่าใกล้เคียงกัน โดยหลังการทดสอบมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย

### **ค. แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย**

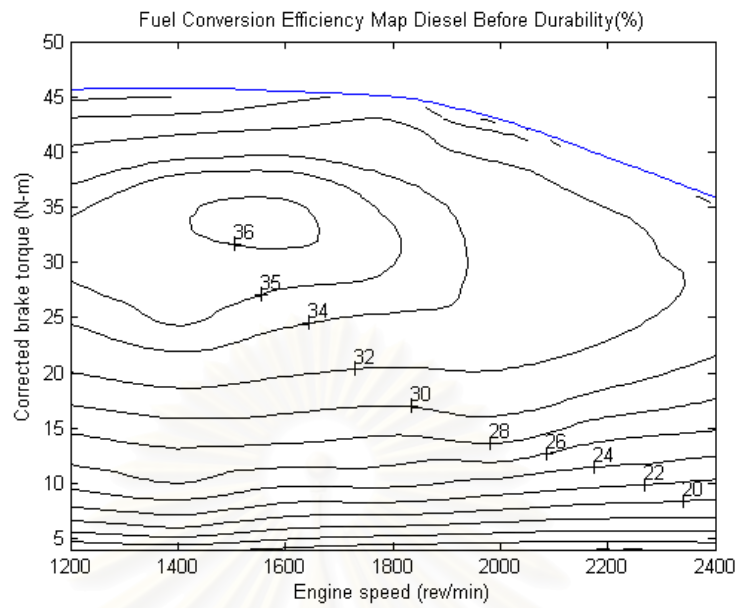
ผลการวัดค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย โดยอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ ก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-60 และรูปที่ 5-61 ตามลำดับ

อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าอุณหภูมิไอเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น

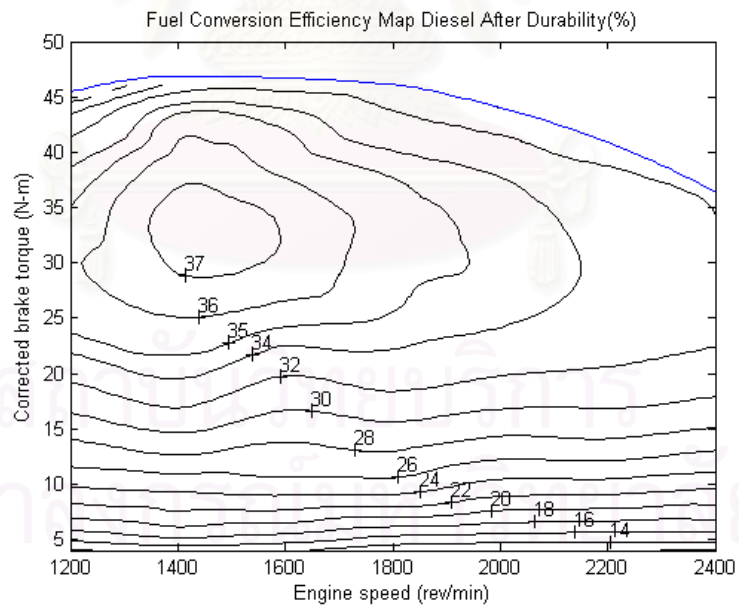
### **ง. แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น**

ผลการวัดค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น โดยอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-62 และรูปที่ 5-63 ตามลำดับ

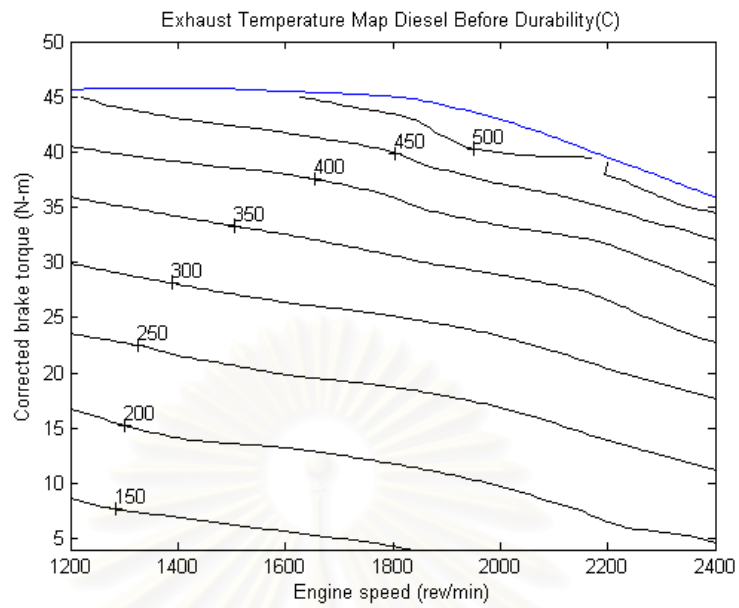
อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระบางส่วน ก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น



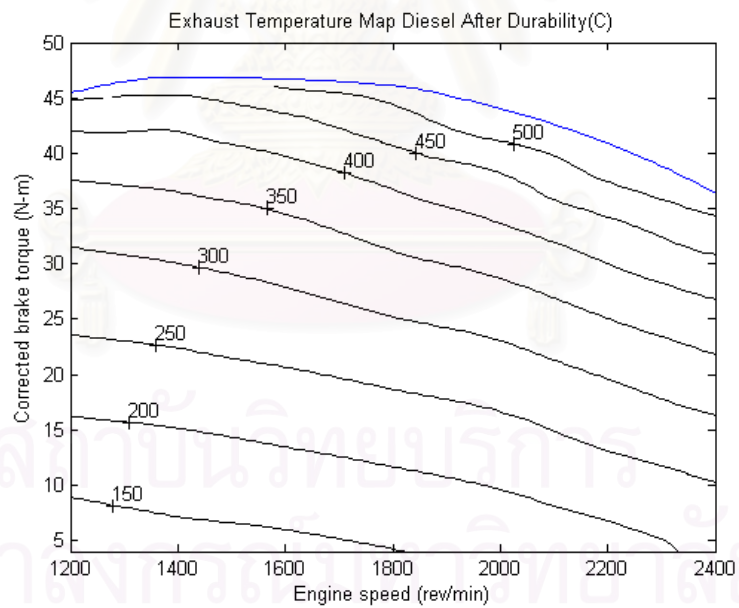
รูปที่ 5-58 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกเมื่อใช้น้ำมันดีเซลก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบและค่าแรงบิด หน่วยเป็น %



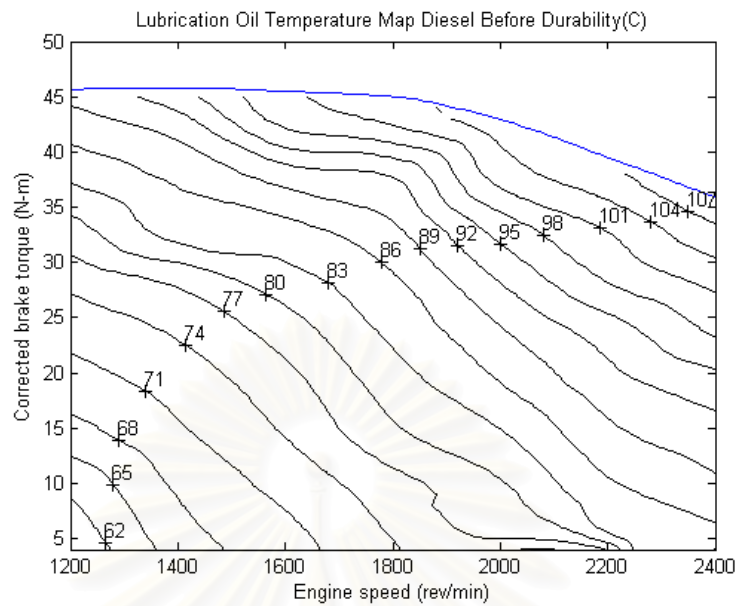
รูปที่ 5-59 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกเมื่อใช้น้ำมันดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น %



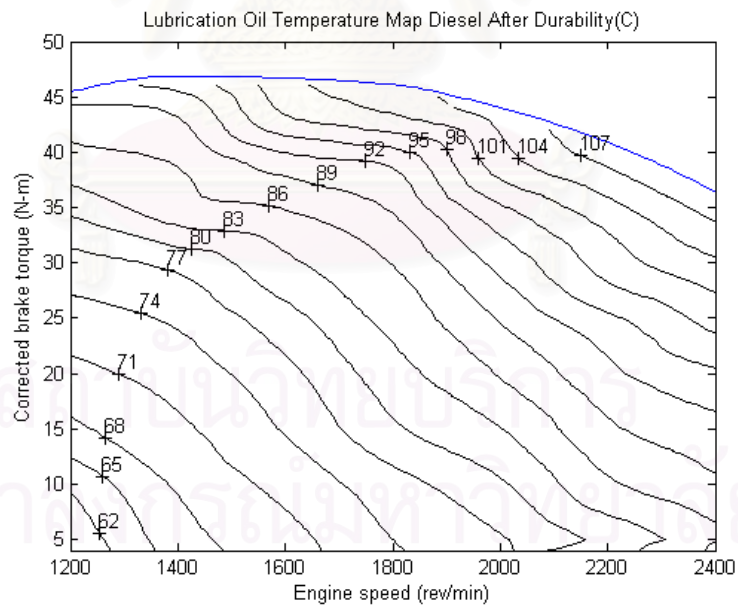
รูปที่ 5-60 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส



รูปที่ 5-61 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส

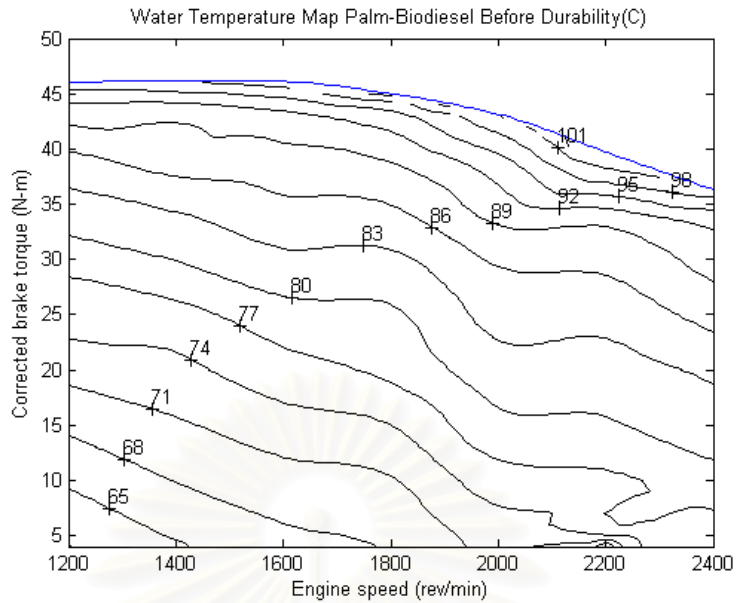


รูปที่ 5-62 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส

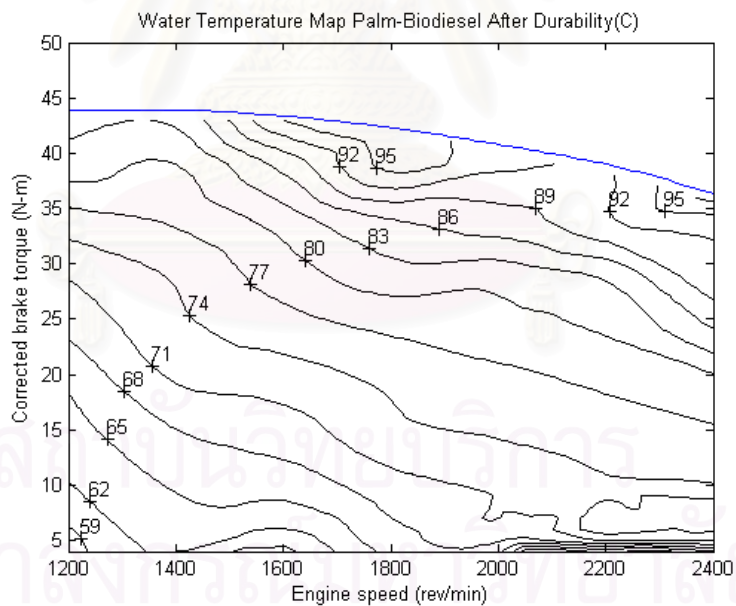


รูปที่ 5-63 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส





รูปที่ 5-64 แผนภูมิอุณหภูมิหมักน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบ ความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส



รูปที่ 5-65 แผนภูมิอุณหภูมิหมักน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล หลังการทดสอบ ความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส

### จ. แผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น

ผลการวัดค่าอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น โดยอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-62 และรูปที่ 5-63 ตามลำดับ

อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระบางส่วน ก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น

### 5.3.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลทดสอบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน 500 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องยนต์มาตรฐานตามที่ได้ผู้ผลิตได้แนะนำมา เพื่อศึกษาอิทธิพลของการสีกหรือจากการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ โดยจะทดสอบเก็บค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระสูงสุด และ สภาวะภาระบางส่วน ค่าสมรรถนะ อาทิ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ค่าแรงบิดเบรก ค่าอุณหภูมิต่างๆของเครื่องยนต์ระหว่างการทำงาน และค่าควินด้า

#### 5.3.4.1 สภาวะภาระสูงสุด

##### ก. ผลของแรงบิดเบรก

ผลของแรงบิดเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-66

จากรูปที่ 5-66 ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดหลังการทดสอบความทนทาน สร้างได้ต่ำกว่าก่อนการทดสอบความทนทาน 1.9-4.0 N-m ตลอดทุกรอบความเร็วในการทดลอง คิดเป็นร้อยละ 5.4-10.1 โดยแรงบิดสูงสุดที่สามารถสร้างได้ของภายหลังการทดสอบความทนทาน เกิดขึ้นที่ 1,600 รอบต่อนาที โดยมีแรงบิด 41.32 N-m

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุดเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบความทนทานแรง บิดเบรกมีค่าน้อยกว่าก่อนการทดสอบความทนทานตลอดทุกช่วงความเร็ว ประมาณร้อยละ 5.4-10.1

##### ข. ผลของกำลังเบรก

ผลของกำลังเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-66

จากรูปที่ 5-66 ค่ากำลังเบรรมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าแรงบิดเบรรม กล่าวคือ ภายหลังจากทดสอบความทนทานเครื่องยนต์มีกำลังเบรรมน้อยกว่า 0.47-0.69 kW คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 5.25-10.2 ที่ทุกความเร็วรอบในการทดสอบ กำลังสูงสุดที่สามารถสร้างได้ก่อนการทดสอบความทนทานเท่ากับ 9.00 kW ที่ 2,200 รอบต่อนาที และกำลังเบรรมสูงสุดเมื่อใช้ภายหลังจากทดสอบความทนทานเท่ากับ 8.48 kW ที่ 2,400 รอบต่อนาที

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุด ค่ากำลังเบรรมของเครื่องยนต์ภายหลังจากทดสอบความทนทานเครื่องยนต์สร้างกำลังได้ต่ำกว่าน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลร้อยละ 5.25-10.2 ตลอดช่วงความเร็วรอบในการทดสอบ

### **ค. ผลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรรม**

ผลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรรมที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-66

จากรูปที่ 5-66 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรรมที่ได้ก่อนการทดสอบความทนทานมีค่าต่ำกว่าหลังการทดสอบ 21-60 g/kW-h ทุกช่วงความเร็ว 1,200-2,400 รอบต่อนาที คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 7.4-20.6 ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรรมต่ำสุดที่ได้ก่อนการทดสอบความทนทานมีค่า 288 g/kW-h ที่ความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที และค่าต่ำสุดหลังการทดสอบความทนทานมีค่า 309 g/kW-h ที่ความเร็วเดียวกัน 2,200 รอบต่อนาที

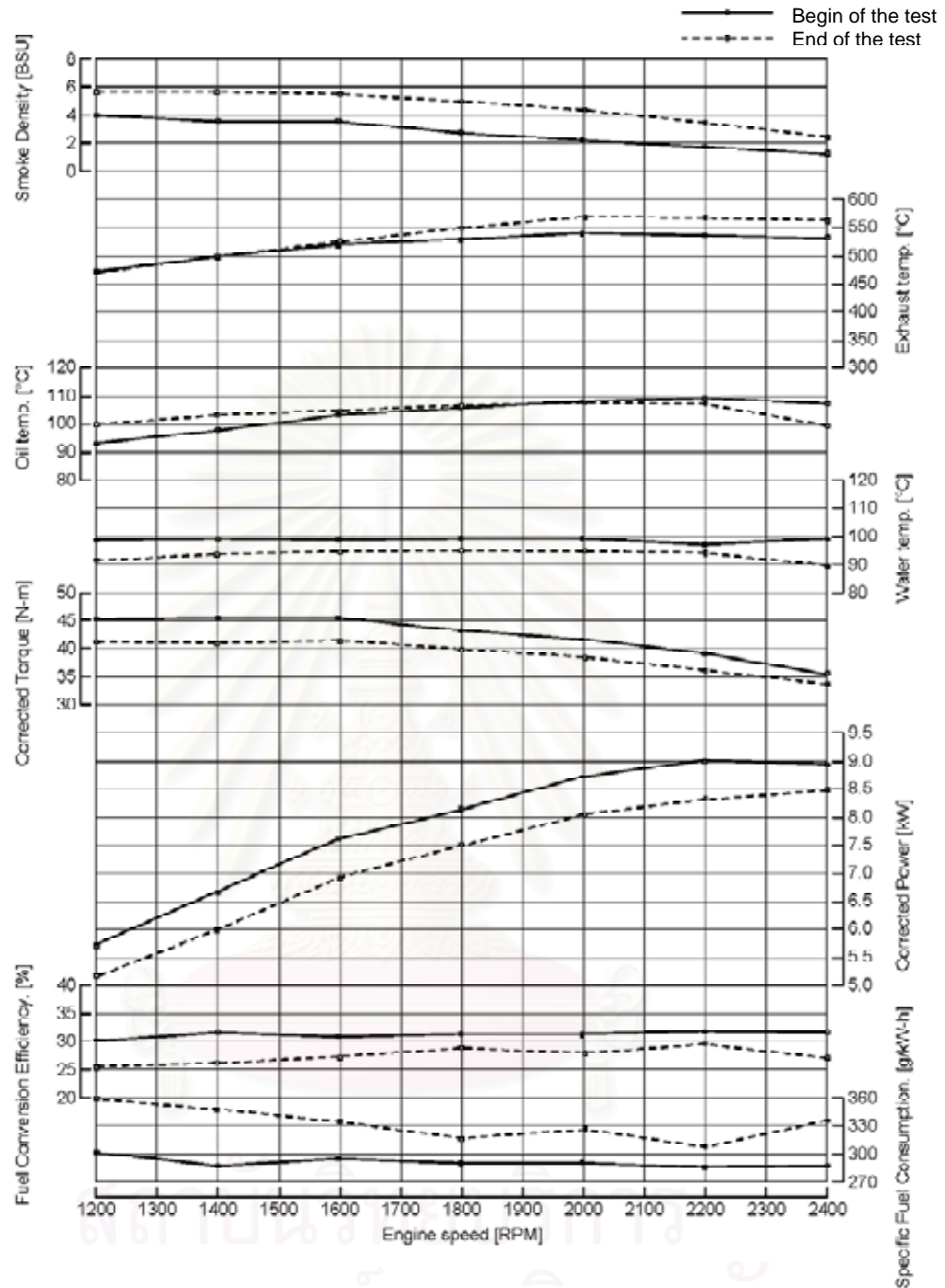
สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน อัตราการสิ้นเปลืองเบรรมก่อนการทดสอบความทนทาน ต่ำกว่าค่าที่ได้หลังจากทดสอบความทนทานทุกช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 7.4 ถึง 20.6

### **ง. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรรม**

ผลของแรงบิดเบรรมที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-66

จากรูปที่ 5-66 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรรมมีแนวโน้มเดียวกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรรม กล่าวคือ ภายหลังจากการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรรมต่ำลงขึ้นร้อยละ 7-17 ที่ทุกจุดในการทดสอบ

โดยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรรมสูงสุดก่อนและหลังการใช้งาน อยู่ที่ความเร็วรอบเดียวกันที่ 2,200 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงมีค่า 33.4 และ 31.4 ตามลำดับ



รูปที่ 5-66

กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าแรงบิดเบรก กำลังเบรก อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก(bsfc) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิไอเสีย และค่าควันท่ำที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกก่อนการทดสอบความทนทาน ต่ำกว่าค่าที่ได้ หลังจากทดสอบความทนทานทุกช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 7.0 ถึง 17.1

จากการทดสอบสังเกตเห็นว่าเมื่อผ่านการใช้งานเป็นเวลา 500 ชั่วโมง การทำงานของ เครื่องยนต์ปาล์มไบโอดีเซลที่สภาวะภาระสูงสุดมีค่าประสิทธิภาพลดลงอย่างชัดเจน

### จ. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-66

จากรูปที่ 5-66 ค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นก่อนการทดสอบความทนทานมีค่าใกล้เคียงกัน กับหลังการทดสอบ ตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ โดยเครื่องยนต์ก่อนการ ทดสอบความทนทานจะมีอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมากกว่าในช่วงรอบสูง และเครื่องยนต์หลังการ ทดสอบความทนทานจะมีอุณหภูมิสูงกว่าในรอบต่ำ โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 109 องศาเซลเซียส เท่ากัน ที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที ก่อนทดสอบความทนทาน

สรุปได้ว่าสภาวะภาระสูงสุดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ก่อนและหลังการใช้งาน ด้วยน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย

### ฉ. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-66

จากรูปที่ 5-66 ค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นก่อนการทดสอบความทนทานมีค่าสูงกว่าหลังการ ทดสอบความทนทาน 5-10 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ โดยมีความแตกต่างสูงสุดที่ความเร็ว 2,400 รอบต่อนาที โดยก่อนทดสอบความทนทานมีอุณหภูมิ สูงสุดที่ 100 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที และหลังทดสอบความทนทานมี อุณหภูมิสูงสุดที่ 96 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของ เครื่องยนต์ก่อนมีค่าสูงกว่าหลัง การทดสอบความทนทาน 5-10 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ

### ช. อุณหภูมิไอเสีย

อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-66



จากรูปที่ 5-66 ก่อนการทดสอบความทนทานค่าอุณหภูมิไอเสียมีค่าต่ำกว่า 24-40 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 0-7 โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ความเร็วรอบ 2,100 รอบต่อนาที มีอุณหภูมิไอเสีย 542 และ 576 องศาเซลเซียส ก่อนและหลังการทดสอบความทนทานตามลำดับ

สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุด ก่อนและหลังการทดสอบความทนทานค่าอุณหภูมิไอเสียมีค่าไม่แตกต่างกันโดยมีการแกว่งตัวร้อยละ 0-7.0 ตลอดช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ

### ข. ค่าควันดำ

ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-66

จากรูปที่ 5-66 หลังการทดสอบความทนทาน มีค่าควันดำภายหลังการทดสอบความทนทานมีค่าสูงกว่า ก่อนการทดสอบอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 2.2 BSN ที่ทุกความเร็วรอบในการทดสอบ

### 5.3.4.2 สภาวะภาระบางส่วน ที่ความเร็วรอบคงที่

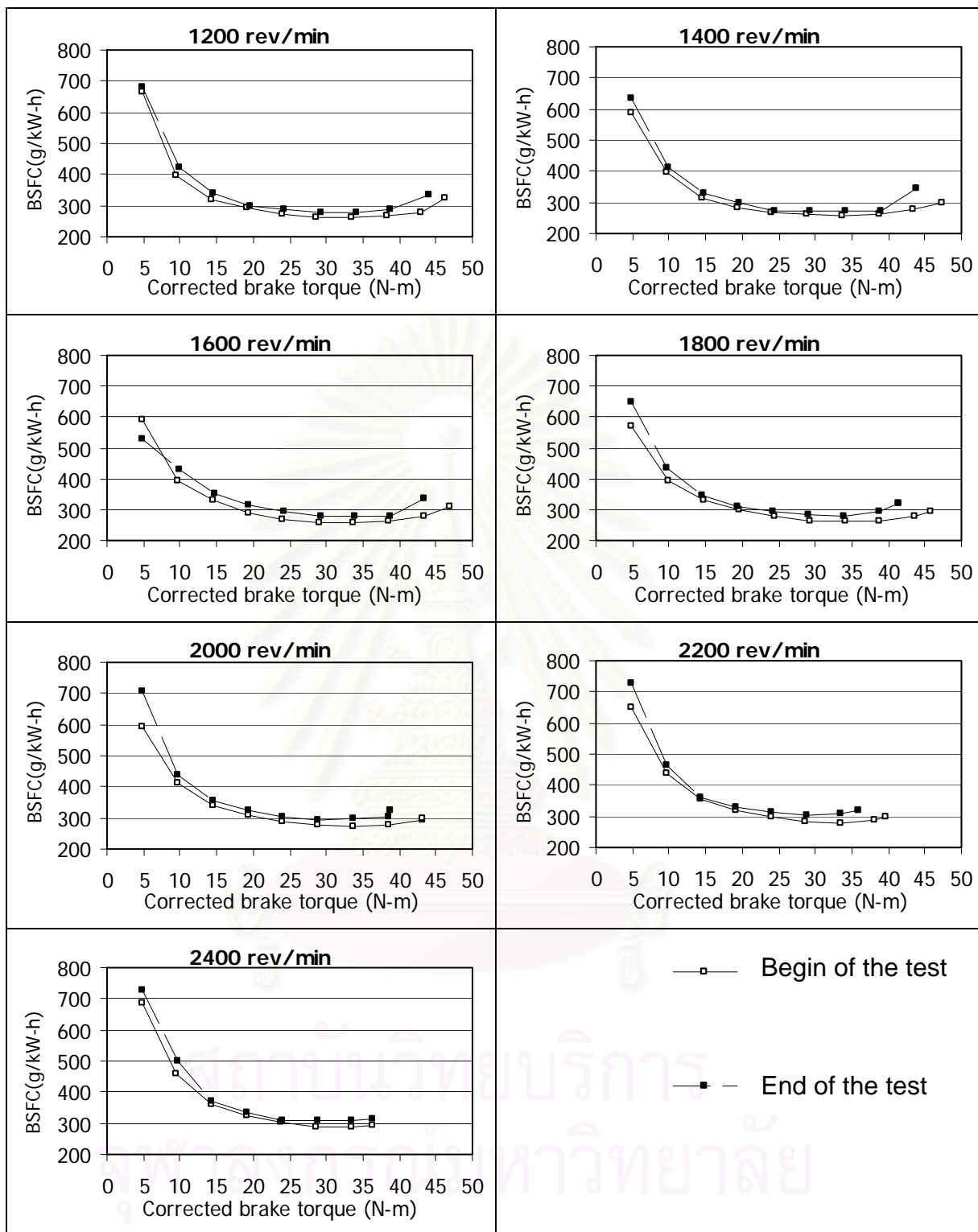
#### ก. ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและค่าแรงบิดเบรกที่ความเร็วรอบคงที่ เปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทาน แสดงดังรูปที่ 5-67

รูปที่ 5-67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับแรงบิดเบรก ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1,200-2,400 รอบต่อนาทีของเครื่องยนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกก่อนทดสอบความทนทานมีค่า ต่ำกว่า ภายหลังทดสอบความทนทานเฉลี่ยร้อยละ 3-9 ในเกือบทุกจุดที่ทำการทดสอบ

ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดก่อนการทดสอบความทนทานมีค่า 232 g/kW-h เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรก 33 N-m ส่วนค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดหลังการทดสอบความทนทาน 270 g/kW-h เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที ค่าแรงบิดที่ 33 N-m

สรุปผลการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วน อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้นเมื่อผ่านการทดสอบความทนทานร้อยละ 3-9 สอดคล้องกับที่สภาวะภาระสูงสุด



รูปที่ 5-67 แสดงค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบ ก่อน และหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### ข. ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเบรก

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกและค่าแรงบิดเบรกที่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการทดสอบความทนทานเมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลแสดงดังรูปที่ 5-68

จากรูปที่ 5-68 พบว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกมีแนวโน้มเดียวกับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ กล่าวคือพบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกก่อนการทดสอบความทนทานสูงกว่า ภายหลังจากทดสอบความทนทานร้อยละ 3-9 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดก่อนการทดสอบความทนทานมีค่า 35.3 เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรก 33 N-m ส่วนค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดหลังการทดสอบความทนทาน 34.3 เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที และที่แรงบิดมีค่าเท่ากับ 33 N-m

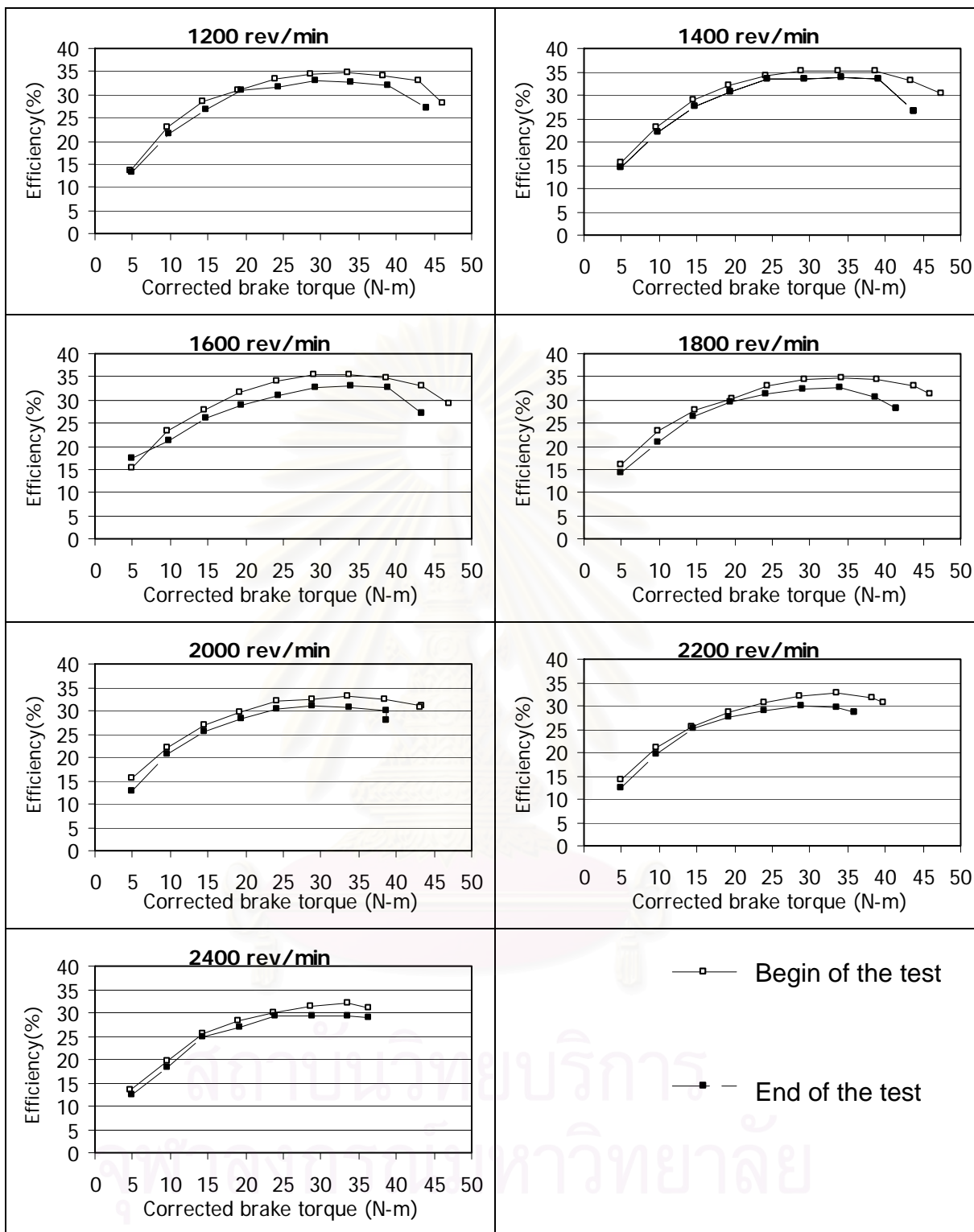
สรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ได้ภายหลังจากทดสอบความทนทานมีค่าต่ำกว่า ก่อนการทดสอบความทนทานร้อยละ 3-9 ซึ่งประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุด และแสดงให้เห็นว่าการทำงานของเครื่องยนต์ปาล์มไบโอดีเซลที่สภาวะภาระสูงสุดมีค่าประสิทธิภาพที่ต่ำลง

### ค. อุณหภูมิไอเสีย

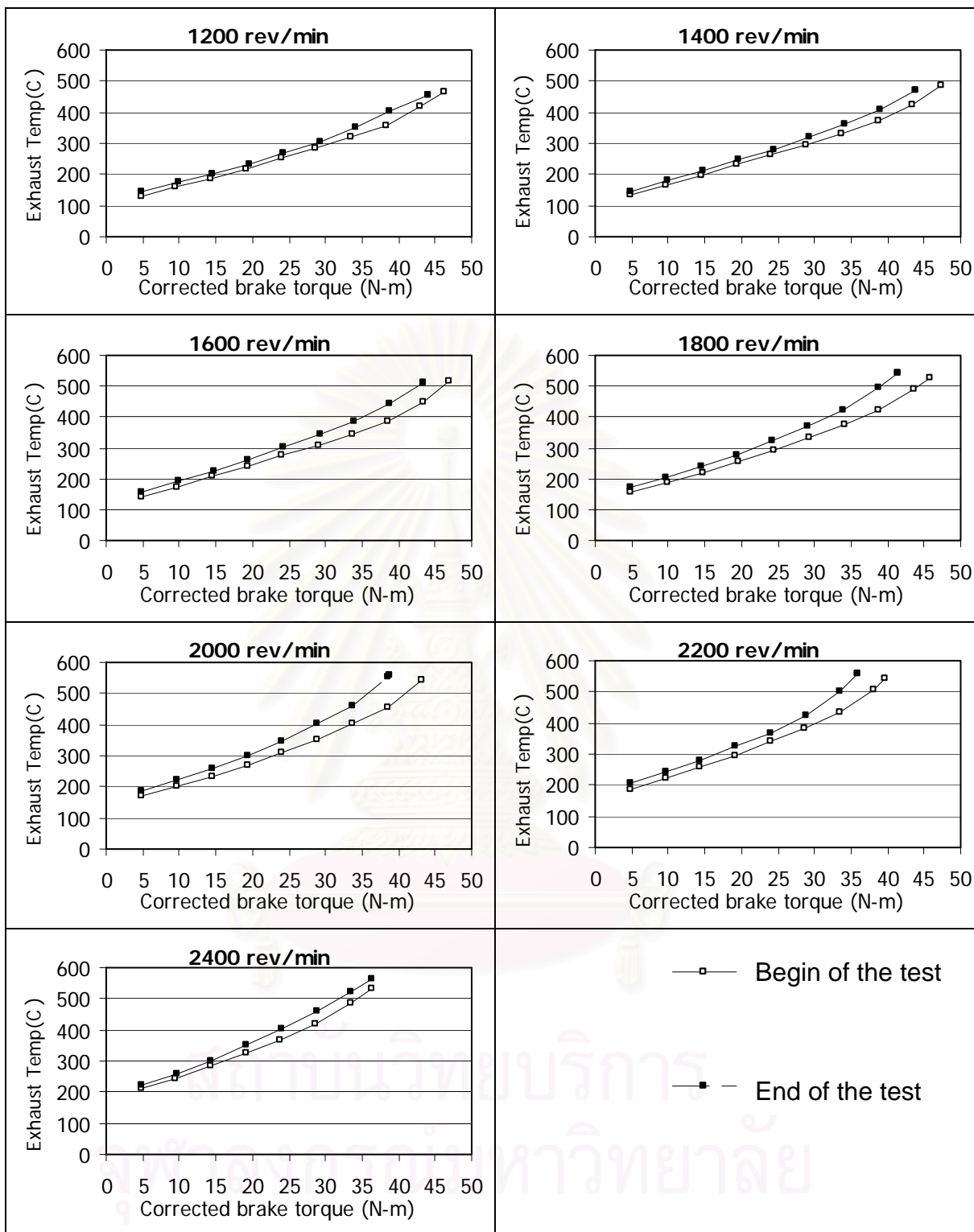
อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนและหลังการทดสอบความทนทานดังแสดงในรูปที่ 5-69 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5-69 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างก่อนการทดสอบความทนทานพบอุณหภูมิไอเสียที่สูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 6-12 โดยภายหลังจากทดสอบความทนทานทุกจุดที่ทำการทดสอบ โดยค่าอุณหภูมิไอเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น

สรุปได้ว่าอุณหภูมิไอเสียเมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลภายหลังจากทดสอบความทนทานมีค่าสูงกว่าก่อนการทดสอบความทนทาน ทุกจุดที่ทำการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วนร้อยละ 6-



รูปที่ 5-68 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาทีเปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-69 แสดงอุณหภูมิไอเสีย เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



### ง. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่นดังแสดงในรูปที่ 5-70

จากรูปที่ 5-70 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระบางส่วน ก่อนการทดสอบความทนทาน มีค่าสูงกว่าภายหลังทดสอบความทนทานอย่างชัดเจน โดยคิดเป็นร้อยละ 3-15 โดยค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น

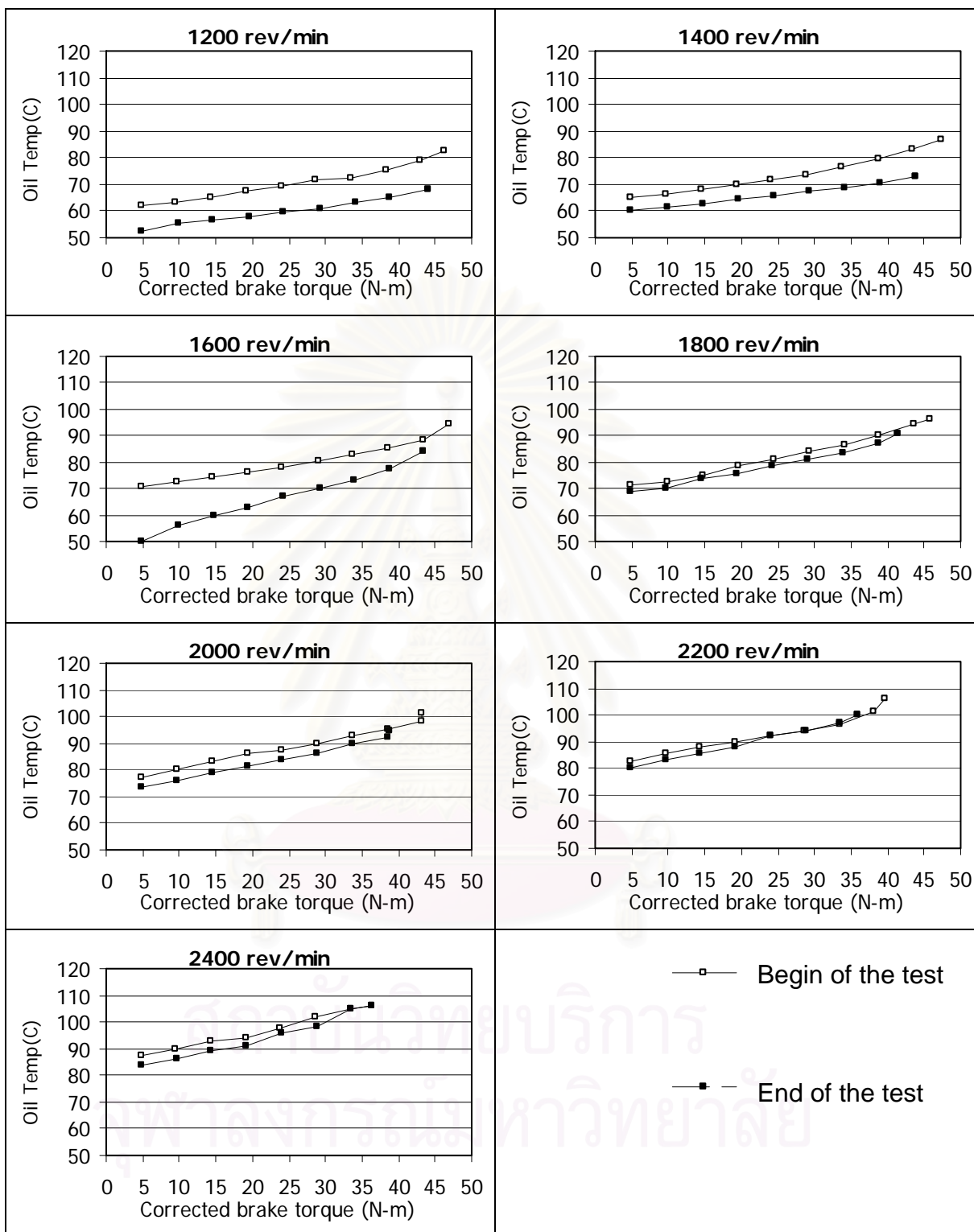
สรุปได้ว่าอุณหภูมิต่ำที่สภาวะภาระบางส่วน ก่อนการทดสอบความทนทานมีอุณหภูมิสูงกว่าหลังการทดสอบความทนทาน โดยคิดเป็นร้อยละ 3-15

### จ. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

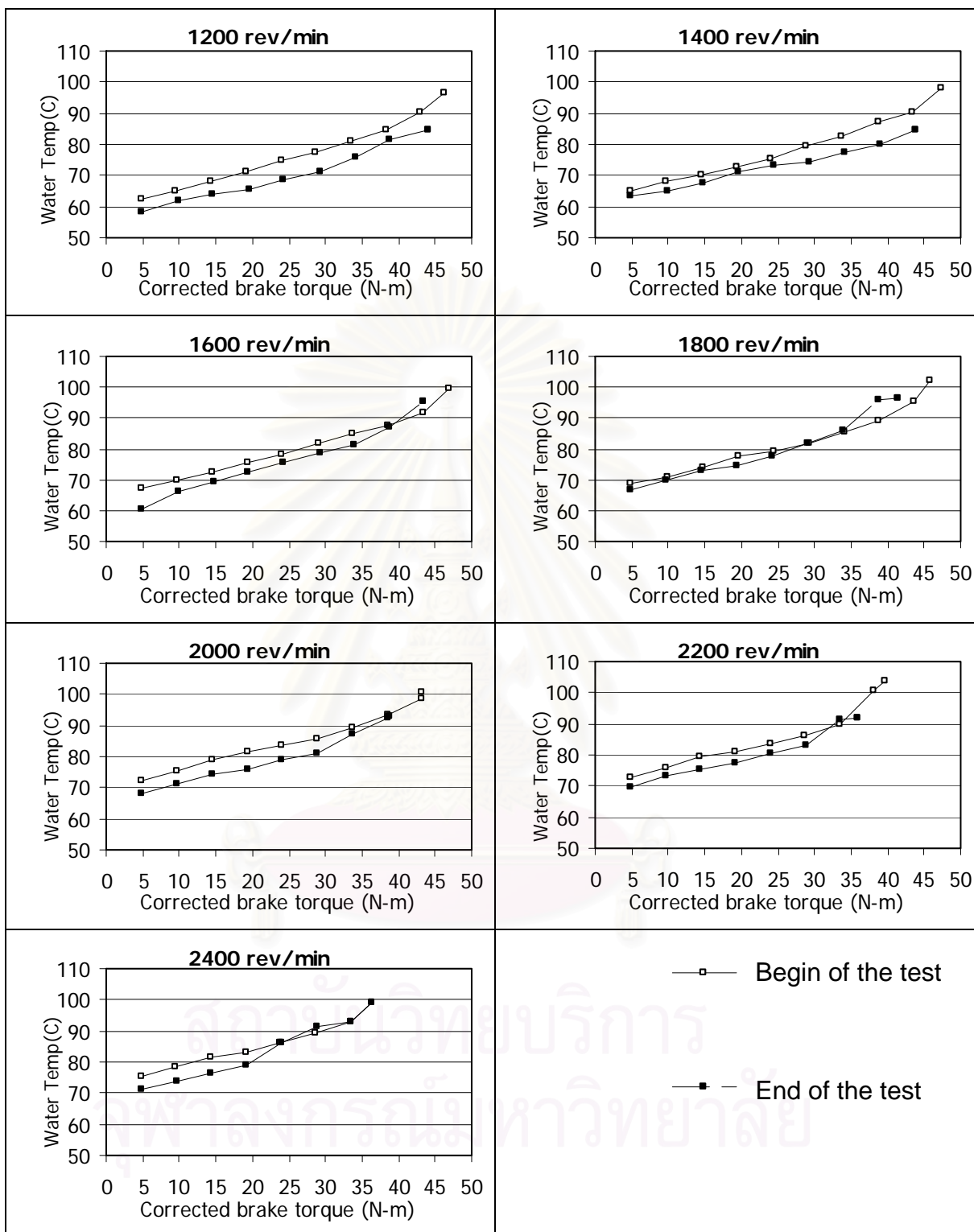
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 5-71

จากรูปที่ 5-71 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระบางส่วน ก่อนการทดสอบความทนทานอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น มีค่าสูงกว่าภายหลังทดสอบความทนทานอย่างชัดเจน โดยคิดเป็นร้อยละ 3-15 โดยค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น

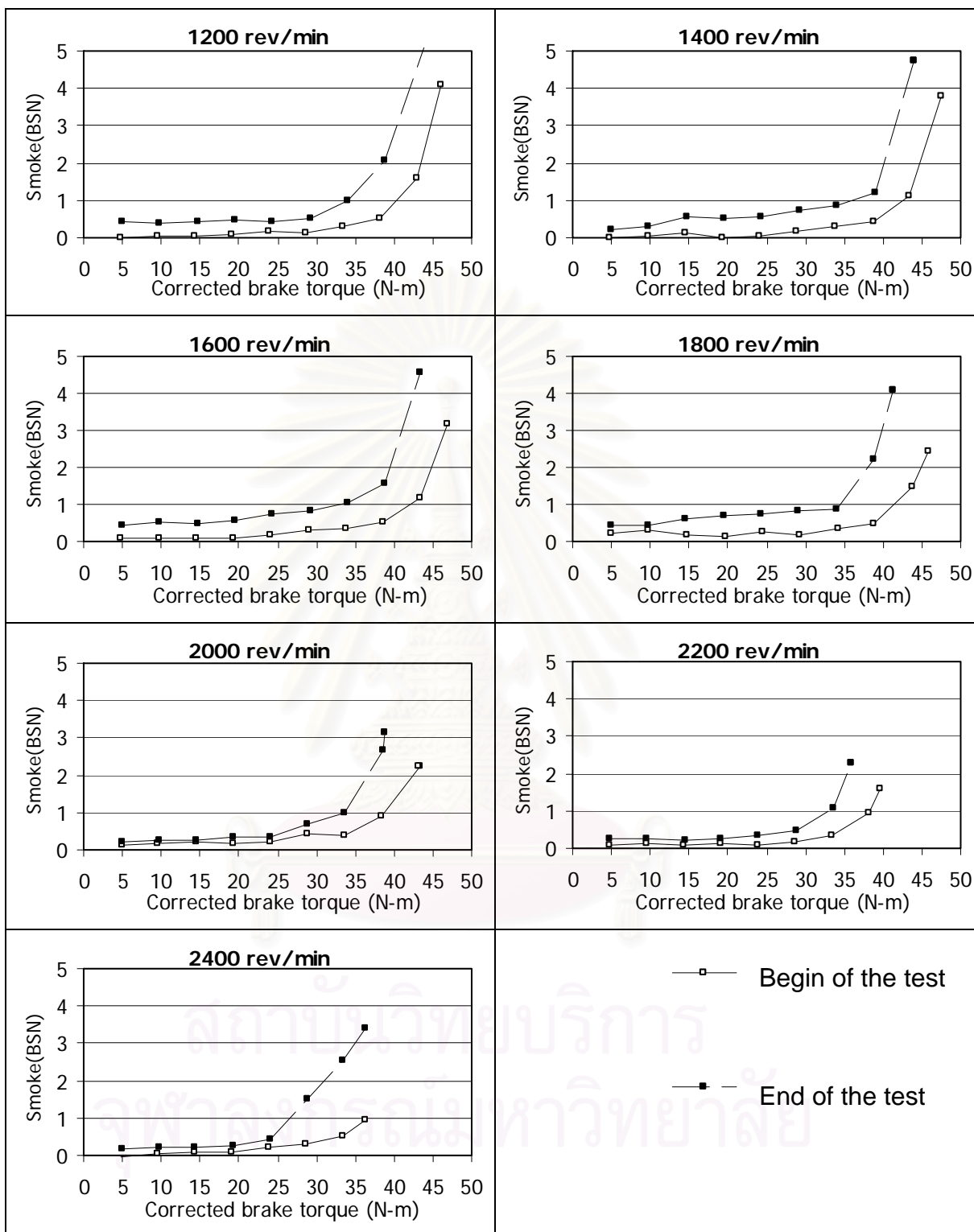
สรุปได้ว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระบางส่วน ก่อนการทดสอบความทนทานมีอุณหภูมิต่ำกว่าหลังการทดสอบความทนทาน โดยคิดเป็นร้อยละ 3-15



รูปที่ 5-70 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อน และหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-71 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อน และหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-72 แสดงค่าควันดำเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที เปรียบเทียบเมื่อก่อนและหลังการทดสอบความทนทานน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### จ. ค่าควันท้า

จากการวัดค่าควันท้าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วนก่อนและหลังการทดสอบความทนทานสามารถนำมาเปรียบเทียบและแสดงไว้ในรูปที่ 5-72

จากรูปที่ 5-72 ค่าควันท้าจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนการทดสอบความทนทานมีค่าต่ำกว่าค่าควันท้าจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังการทดสอบในทุกช่วงของการทำงาน 0 – 2.1 BSN โดยเชื้อเพลิงทั้งสองมีแนวโน้มคล้ายกันคือที่สภาวะภาระบางส่วนค่าควันท้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงบิดเบรกที่เพิ่มขึ้น

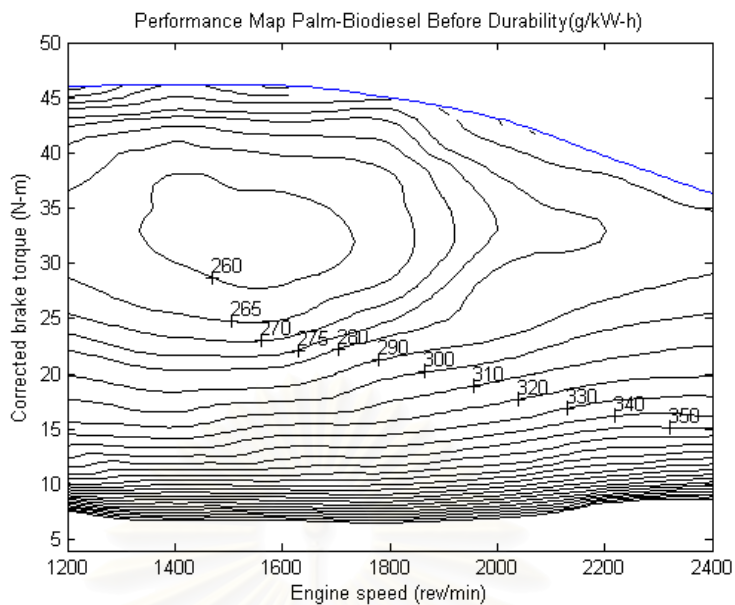
#### 5.3.4.3 แผนภูมิแสดงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ (Engine Map)

##### ก. แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเบรก

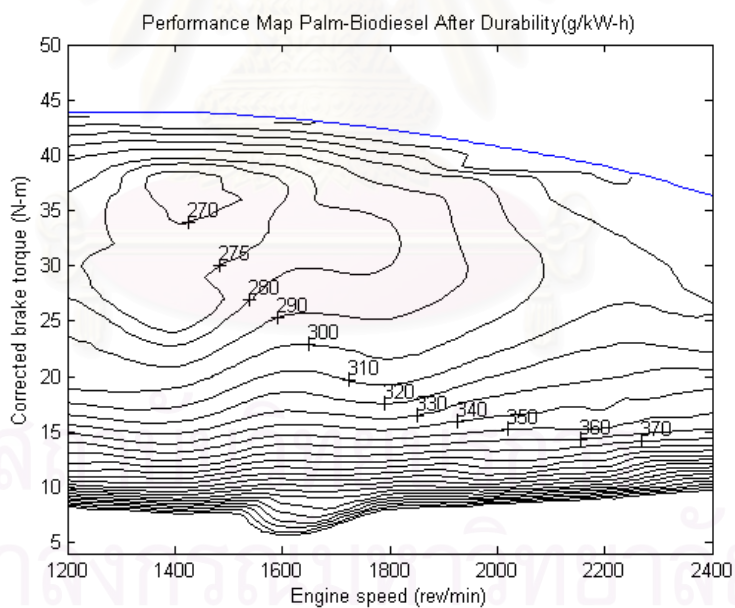
ผลการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถแสดงในแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเบรก โดยแผนภูมิสมรรถนะที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบก่อนและหลังทดสอบความทนทาน แสดงดังรูปที่ 5-56 และรูปที่ 5-57 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5-73 และรูปที่ 5-74 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เมื่อมองภาพรวมของแผนภูมิ พบว่า แนวของเส้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกคงที่ จากก่อนและหลังการทดสอบความทนทานมีลักษณะที่คล้ายกันคือแนวโน้มของจุดศูนย์กลางของแผนภูมิซึ่งแสดงถึงค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดอยู่ในช่วงความเร็วที่กว้างตั้งแต่ 1,400 ถึง 1,600 รอบต่อนาที ที่ช่วงแรงบิดประมาณ 30-35 N-m เมื่อพิจารณาเส้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกคงที่พบว่าที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่เท่ากันบนแผนภูมิก่อนใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีพื้นที่มากกว่าบนแผนภูมิล้างใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ถ้าพิจารณาผลที่ตำแหน่งค่าแรงบิดเบรกและความเร็วรอบเดียวกันพบว่าน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนการทดสอบความทนทานให้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำกว่าน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังการทดสอบความทนทาน





รูปที่ 5-73 แผนภูมิคุณหมุมิตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น g/kW-h

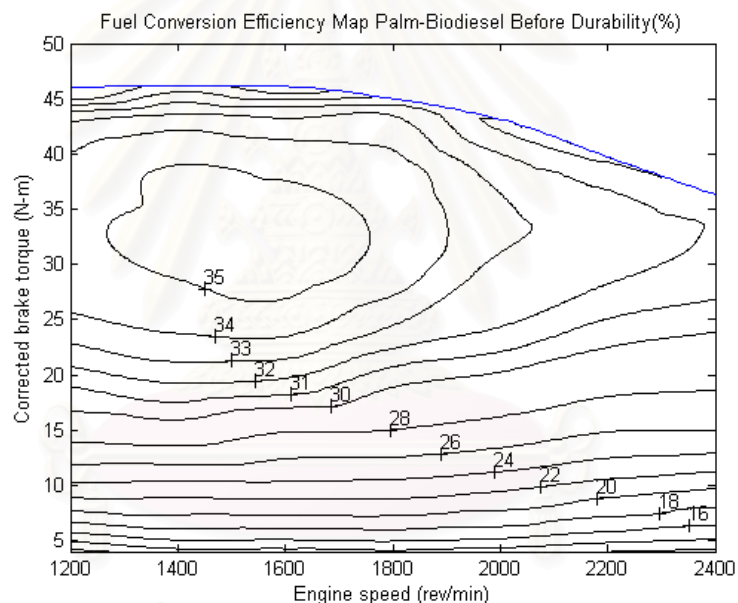


รูปที่ 5-74 แผนภูมิคุณหมุมิตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น g/kW-h

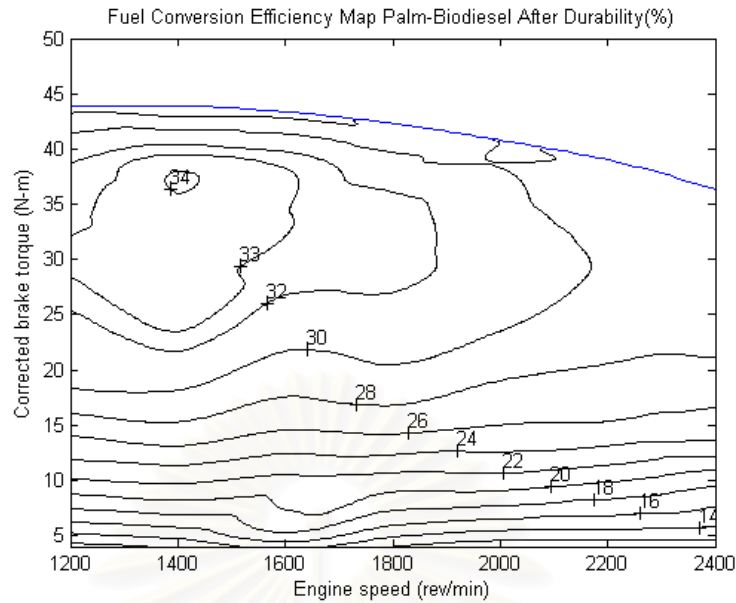
### ข. แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนและหลังการทดสอบ ความทนทาน แสดงในรูปของแผนภูมิ ดังรูปที่ 5-75 รูปที่ 5-76 ตามลำดับ โดยสรุปการเปรียบเทียบ ผลได้ดังนี้

จากแผนภูมิที่ได้พบว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระ บางส่วน ของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังการทดสอบความทนทานมีค่าน้อย กว่าน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนการทดสอบความทนทานอย่างชัดเจนในช่วงภาระสูง ส่วนในช่วง ภาระต่ำประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระบางส่วน ของเครื่องยนต์จากการ ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล มีค่าใกล้เคียงกับดีเซล



รูปที่ 5-75 แผนภูมิค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น %



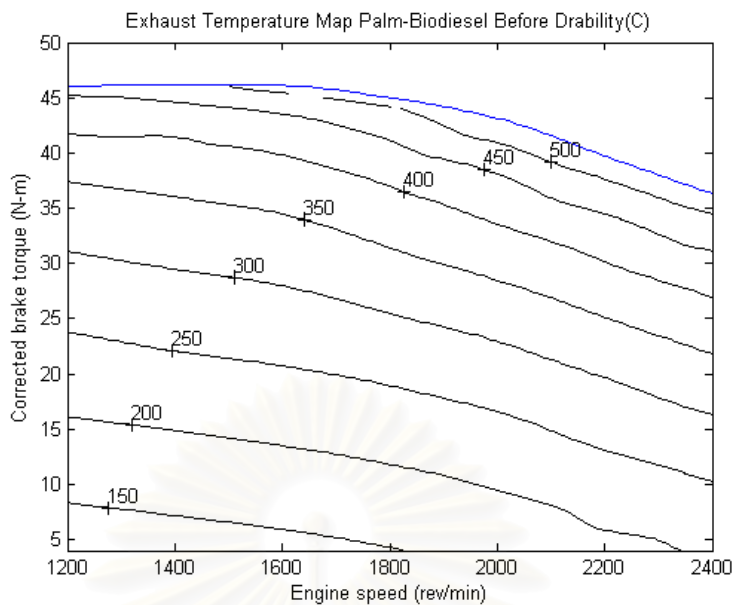
รูปที่ 5-76 แผนภูมิค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น %

### ค. แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย

ผลการวัดค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย โดยอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนการทดสอบความทนทาน และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-77 และรูปที่ 5-78 ตามลำดับ

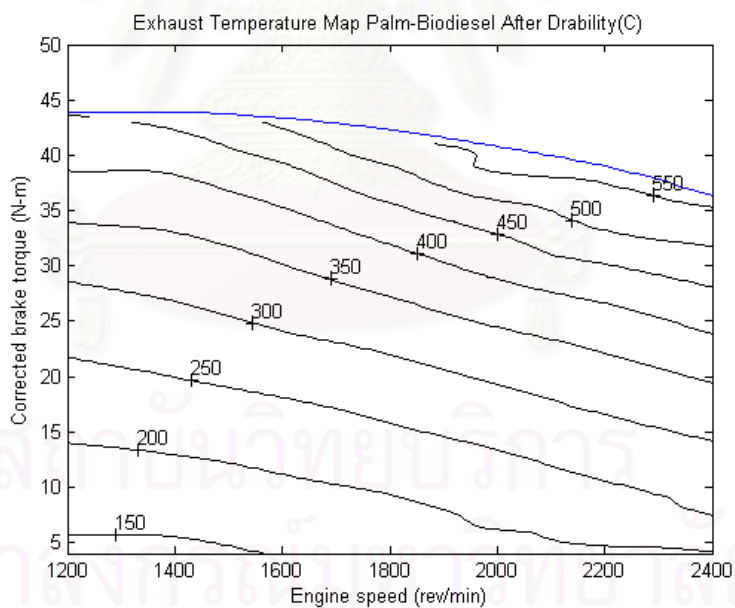
อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนการทดสอบความทนทานและ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังการทดสอบความทนทาน มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน โดยค่าอุณหภูมิไอเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น

สรุปได้ว่าอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน ทั้งที่ช่วงสภาวะภาระสูงสุด และช่วงสภาวะภาระบางส่วน



รูปที่ 5-77

แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส



รูปที่ 5-78

แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส

### ง. แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

ผลการวัดค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย โดยอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนและหลังการทดสอบความทนทานแสดงในรูปที่ 5-79 และรูปที่ 5-80 ตามลำดับ

อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนการทดสอบความทนทานและ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังการทดสอบความทนทาน มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน โดยค่าอุณหภูมิไอเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น

สรุปได้ว่าอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน มีค่าใกล้เคียงกัน หลังการทดสอบความทนทานมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ทั้งที่ช่วงสภาวะภาระสูงสุด และช่วงสภาวะภาระบางส่วน

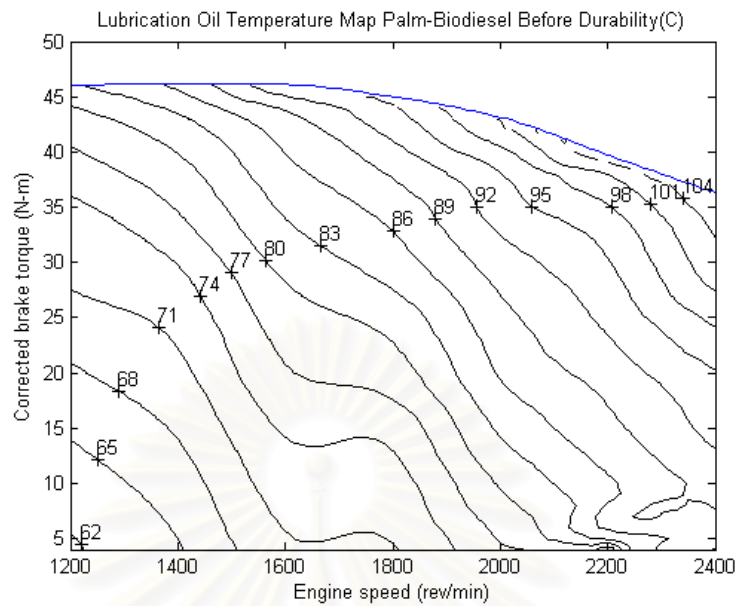
### จ. แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

ผลการวัดค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุด และสภาวะภาระบางส่วน สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นโดยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงในรูปที่ 5-79 และรูปที่ 5-80 ตามลำดับ

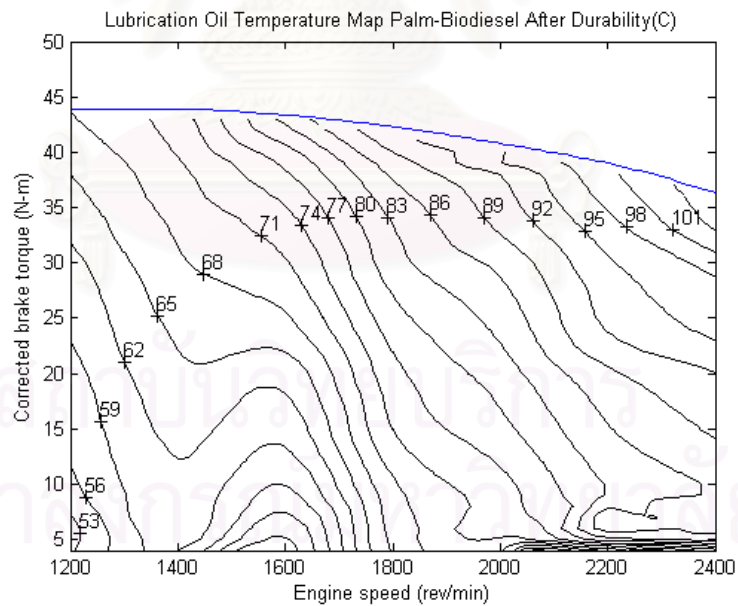
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนการทดสอบความทนทานและ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังการทดสอบความทนทาน มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น

สรุปได้ว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน ทั้งที่ช่วงสภาวะภาระสูงสุด และช่วงสภาวะภาระบางส่วน

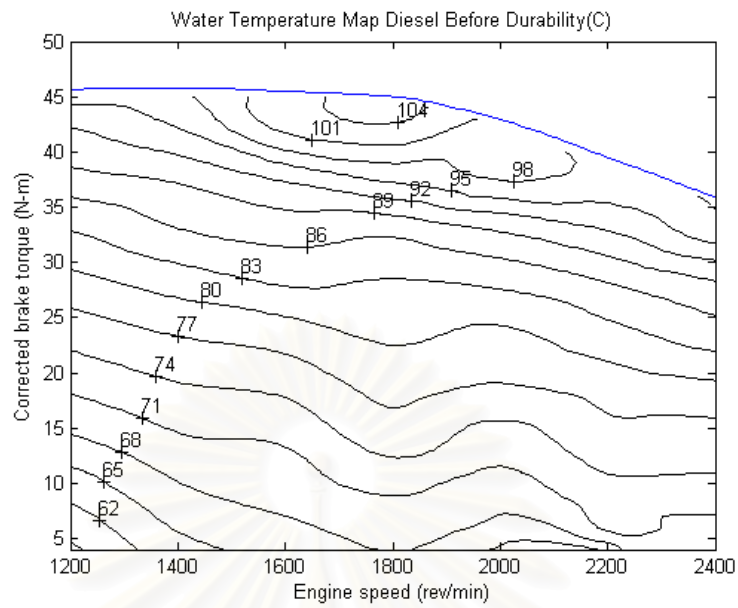




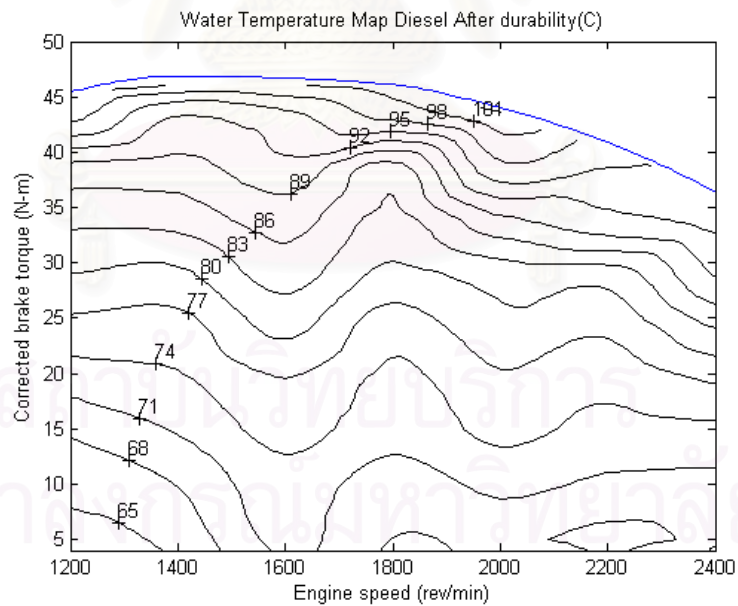
รูปที่ 5-79 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส



รูปที่ 5-80 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส



รูปที่ 5-81 แผนภูมิอุณหภูมิหมื่นน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส



รูปที่ 5-82 แผนภูมิอุณหภูมิหมื่นน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล หลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบกับความเร็วรอบ และค่าแรงบิด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส

### 5.3.5 ผลการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง และการรั่วของหัวฉีด

ผลการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(Nozzle Injection Pressure) ที่สภาวะก่อนการทดสอบความทนทาน และหลังการทดสอบความทนทานที่ 500 ชั่วโมงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล แสดงค่าเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 5-25

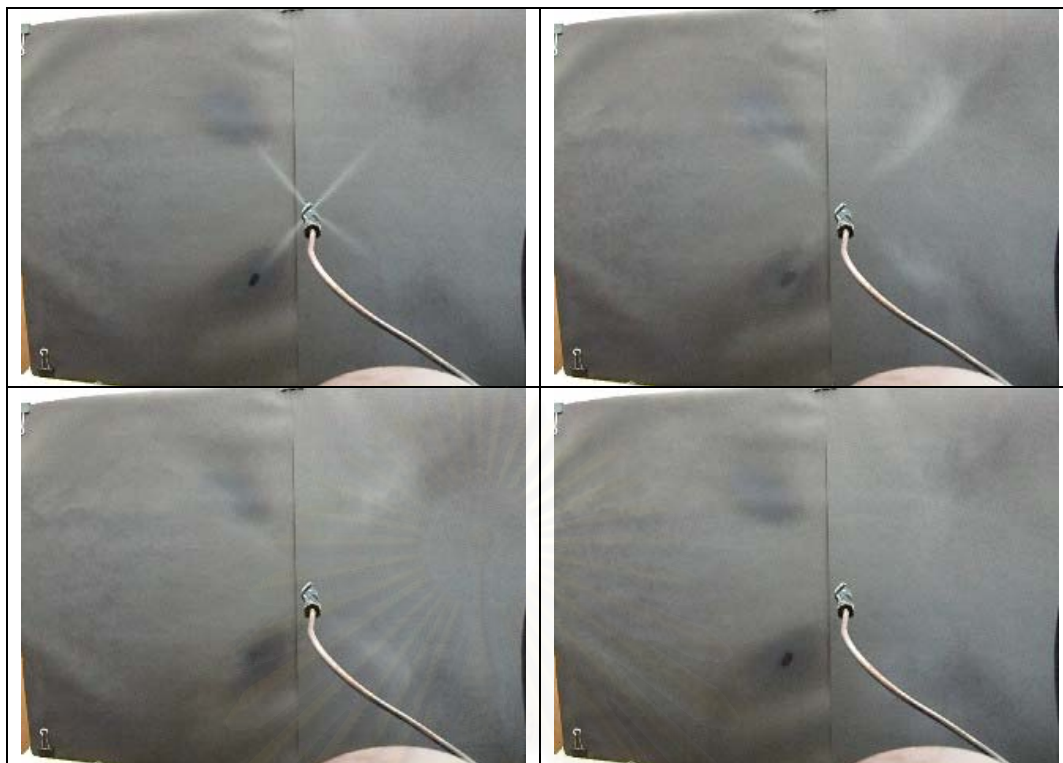
ตารางที่ 5-25 แสดงข้อมูลความดันที่ใช้ในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

รายการ	ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง ( $\text{kg/cm}^3$ )	
	หัวฉีดใหม่	หลัง 320 ชั่วโมง
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล	245-250	245-250
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	245-250	210-220

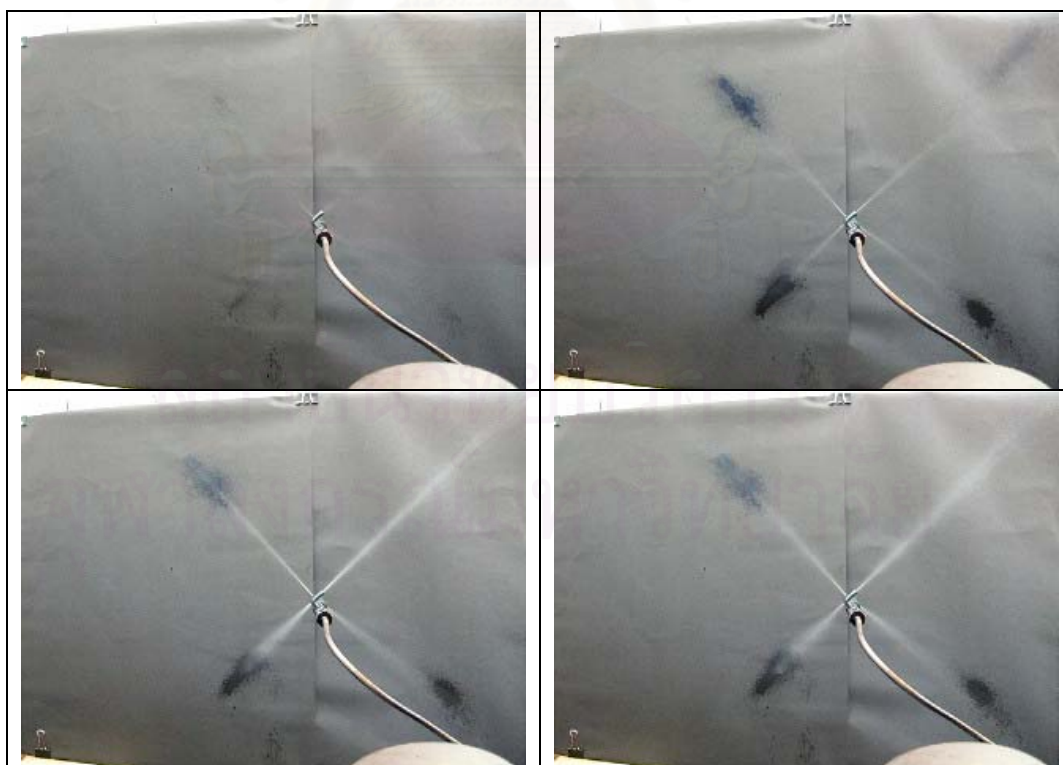
จากตารางที่ 5-25 ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงจากการทดสอบความทนทานเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังการทดสอบความทนทานค่าความดันในการเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากเกิดการรั่วของหัวฉีดเมื่อถึงความดัน 210-220  $\text{kg/cm}^3$  หกก่อนถึงค่าความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสม

การทดสอบการรั่วของหัวฉีด (Fuel Thightness of Needle Valve Seat) มีไว้เพื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงออกไปจากหัวฉีดก่อนถึงค่าความดันที่เหมาะสม โดยทำการเพิ่มความดันให้กับหัวฉีด 210  $\text{kg/cm}^3$  และค้างไว้โดยไม่มีภาระไหลของเชื้อเพลิงที่ปลายหัวฉีด

ผลการทดสอบพบว่าหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลไม่ปรากฏการไหลออกมาที่ปลายหัวฉีด ขณะที่เครื่องยนต์ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีน้ำมันหยดออกมาหลังจากค้างที่ความดันที่กำหนดไม่นาน



รูปที่ 5-83 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน จากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล



รูปที่ 5-84 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน จากหัวฉีดเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

อย่างไรก็ตามจากผลที่พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังการทดสอบความทนทานมี อุณหภูมิไอเสียและค่าควันดำสูงขึ้น คาดว่าน่าจะมาจากการเผาไหม้ที่ด้อยกว่า ดังนั้นจึงมุ่ง สมมุติฐานว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากการฉีดเชื้อเพลิงที่ต่างกัน จึงทำการตรวจสอบเปรียบเทียบ ลักษณะการฉีดเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 5-83 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง จากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลและรูปที่ 5-84 เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลัง ผ่านการทดสอบความทนทาน พบว่ามุมของสเปรย์มีความแตกต่างกัน โดยในรูปแบบของสเปรย์ ของหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีมุมแคบกว่าหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน ดีเซล โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีลักษณะสเปรย์เกิดเป็นหยดเชื้อเพลิง พุ่งออกมา เป็นสายของน้ำมัน ซึ่งแสดงถึงการอุดตันที่หัวฉีด

จากมุมของสเปรย์ที่แคบกว่าของหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลนี้มีส่วน ให้ละอองฝอยมีขนาด droplet ใหญ่กว่าน่าจะส่งผลให้การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบ ความทนทานเกิดขึ้นด้อยกว่า ตามสมมุติฐานข้างต้น

### 5.3.6 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วน

หลังการทดสอบความทนทาน ได้ทำการถอดชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์เพื่อทำการ ตรวจสอบสภาพเปรียบเทียบ ระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลที่ได้ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และ เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบความทนทาน 500 ชั่วโมง ภายใต้วัฏจักร การทดสอบเดียวกัน อีกทั้งได้ทำการถ่ายภาพประกอบเพื่อใช้ในการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในของ เครื่องยนต์ ซึ่งชิ้นส่วนที่ทำการตรวจพินิจประกอบไปด้วย ฝาสูบ ผนังกระบอกสูบ ลูกสูบ บ่าวาล์ว ไอดีและไอเสียที่ฝาสูบ วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย ก้านวาล์วไอดี ก้านวาล์วไอเสีย หัวฉีด และ แบริ่ง ก้านสูบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 5.3.6.1 ฝาสูบ

รูปที่ 5-85 และ รูปที่ 5-86 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน ของ เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ตามลำดับ

จากรูปที่ 5-85 แสดงภาพถ่ายฝาสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลพบว่าลูกสูบมีสีดำ พบ ฝุ่นเขม่าดำตกค้างกระจายอยู่น้อย โดยมีสีน้ำตาล-เทา ติดแน่นตามทิศทางของสเปรย์ที่ออกมา จากหัวฉีด บริเวณหน้าวาล์วพบคราบสีน้ำตาลอ่อน-ขาว คล้ายฝ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ เนื่องจากความร้อนสูง





รูปที่ 5-85 แสดงภาพถ่ายฝาสอบหลังจากการทดสอบความทนทาน ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล



รูปที่ 5-86 แสดงภาพถ่ายฝาสอบหลังจากการทดสอบความทนทาน ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

จากรูปที่ 5-86 แสดงภาพถ่ายฝาสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลทางเลือก พบปริมาณเขม่าแข็งเป็นชั้นบางๆ ปกคลุมทั่วทั้งฝาสูบ บริเวณหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีคราบเขม่าแข็งสีดำ อยู่ตามทิศทางการฉีดน้ำมัน คาดว่าเกิดขึ้นภายหลังการสูญเสียความสามารถการสเปรย์ ให้เป็นละอองฝอยทำให้ส่วนน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่เป็นของเหลวได้ไปสัมผัสกับฝาสูบ ทำให้เป็นส่วนของน้ำมันได้รับการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จึงเกิดเป็นเขม่าแข็งเป็นคราบติดอยู่ตามทิศทางการสเปรย์ของหัวฉีดดังกล่าว

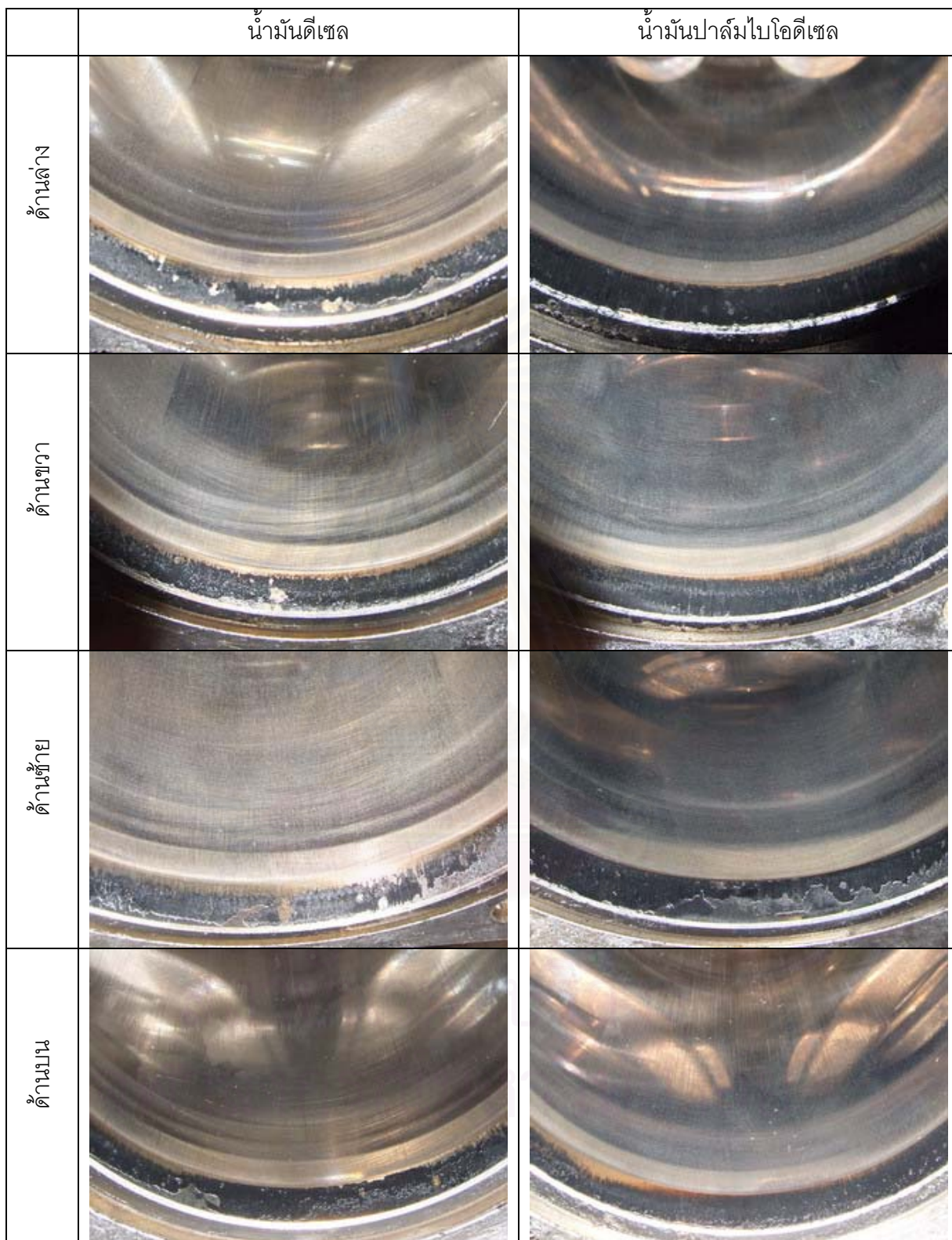
จากรูปที่ 5-86 การที่หน้าวาล์วมีสีส้ม-แดง ซึ่งเป็นเถ้าจากการเผาไหม้ซึ่งมีลักษณะเฉพาะของน้ำมันปาล์ม ดังเห็นได้ในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันปาล์ม ส่วนใหญ่ของคราบสีส้มแดงจะเห็นที่หน้าวาล์วไอเสียได้อย่างชัดเจน รอยเถ้าจากการเผาไหม้สีส้ม-แดงนี้ยังพบอยู่ทั่วทั้งฝาสูบ โดยส่วนใหญ่พบภายนอกบริเวณที่เป็นหลุมลูกสูบดังที่แสดงในรูป

### 5.3.6.2 ผนังกระบอกสูบ

รูปที่ 5-87 แสดงภาพถ่ายสภาพภายในผนังกระบอกสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน ในแต่ละด้าน 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านล่าง คือส่วนที่ผนังกระบอกสูบด้านที่ติดกับส่วนฐานของเครื่องยนต์ ด้านบน คือผนังกระบอกสูบในด้านบนติดกับหม้อน้ำ และในด้านซ้าย และด้านขวา คือผนังกระบอกสูบฝั่งซ้ายและฝั่งขวาเมื่อหันหน้าเข้าเครื่องยนต์ตามลำดับ

จากรูปที่ 5-87 ซึ่งแสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล พบปริมาณเขม่าในปริมาณมากกว่าที่พบในเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล โดยเฉพาะใน ด้านล่างจะมีคราบเขม่าหนา กว่าในทุกๆด้าน และตามมาด้วยด้านซ้าย และด้านขวา

ยังพบว่าการสึกหรอที่เกิดจากผนังกระบอกสูบไม่สามารถสังเกตเห็นได้ แต่ลักษณะของผนังกระบอกสูบโดยทั่วไปซึ่งควรจะมีลักษณะเป็นเส้นขีดไขว้ (cross-hatching) ยังคงสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิด



รูปที่ 5-87 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบหลัง ภายหลังจากการทดสอบความทนทานของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล(ซ้าย) เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา)



### 5.3.6.3 ลูกสูบ

รูปที่ 5-88 แสดงภาพถ่ายด้านบนของลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลภายหลังการทดสอบความทนทาน พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีลักษณะเป็นสีเทาดำ และมีสีดำ ติดแน่นตามทิศทางของสเปรย์ที่ออกมาจากหัวฉีด ที่ฉีดไปมุม 4 มุมที่หลุมบนหัวฉีด พบว่าขอบลูกสูบด้านขวา และล่างขวา มีคราบเขม่าแข็งสีดำติดอยู่ สาเหตุอาจเนื่องมาจากคราบน้ำมันเชื้อเพลิงที่วิ่งไปชนและเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดเป็นคราบเขม่าแข็งสีดำติดอยู่ตามลำดับ

รูปที่ 5-89 แสดงภาพถ่ายด้านบนของลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ภายหลังการทดสอบความทนทาน พบว่าลูกสูบด้านบนมีสีเทา พบคราบติดแน่นตามทิศทางของสเปรย์ที่ออกมาจากหัวฉีดน้อยกว่าน้ำมันดีเซล พบคราบสีแดงภายในหลุมลูกสูบ อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นลักษณะของน้ำมันปาล์มที่ถูกเผาไหม้ได้กล่าวมาข้างต้น ที่ตำแหน่งวาล์วพบว่ามีการชนกันของวาล์วไอเสียกับลูกสูบระหว่างการทดสอบความทนทาน พบว่าขอบลูกสูบด้านขวา และล่างขวา มีคราบเขม่าแข็งสีดำติดอยู่ เช่นเดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล แต่มีปริมาณเขม่าแข็งที่หนากว่า

จากรูปที่ 5-90 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลภายหลังการทดสอบความทนทาน พบปริมาณเขม่าบริเวณขอบบนของลูกสูบค่อนข้างน้อย และสังเกตเห็นได้ชัดที่ด้านขวาล่าง ซึ่งตรงกันกับที่พบด้านบนของลูกสูบ พบรอยขีดขูดทั้งขนาดใหญ่และเล็กโดยรอบขอบบนของลูกสูบ ไม่พบเขม่าบริเวณร่องแหวนพบคราบเขม่าเกาะตัวสะสมในร่องแหวน และปากแหวน

จากรูปที่ 5-91 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล พบปริมาณเขม่าและรอยขีดขูดบริเวณขอบบนของลูกสูบในปริมาณมากกว่าที่พบในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยพบมากที่ด้านล่าง และข้างขวาของลูกสูบ ไม่พบคราบเขม่าที่บริเวณร่องแหวน และปากแหวนเช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล

สรุปได้ว่าการใช้้ำมันปาล์มไบโอดีเซลสามารถสังเกตพบความแตกต่าง จากสภาพของลูกสูบ โดยปริมาณเขม่าแข็งที่เกิดจากการเผาไหม้มากกว่า

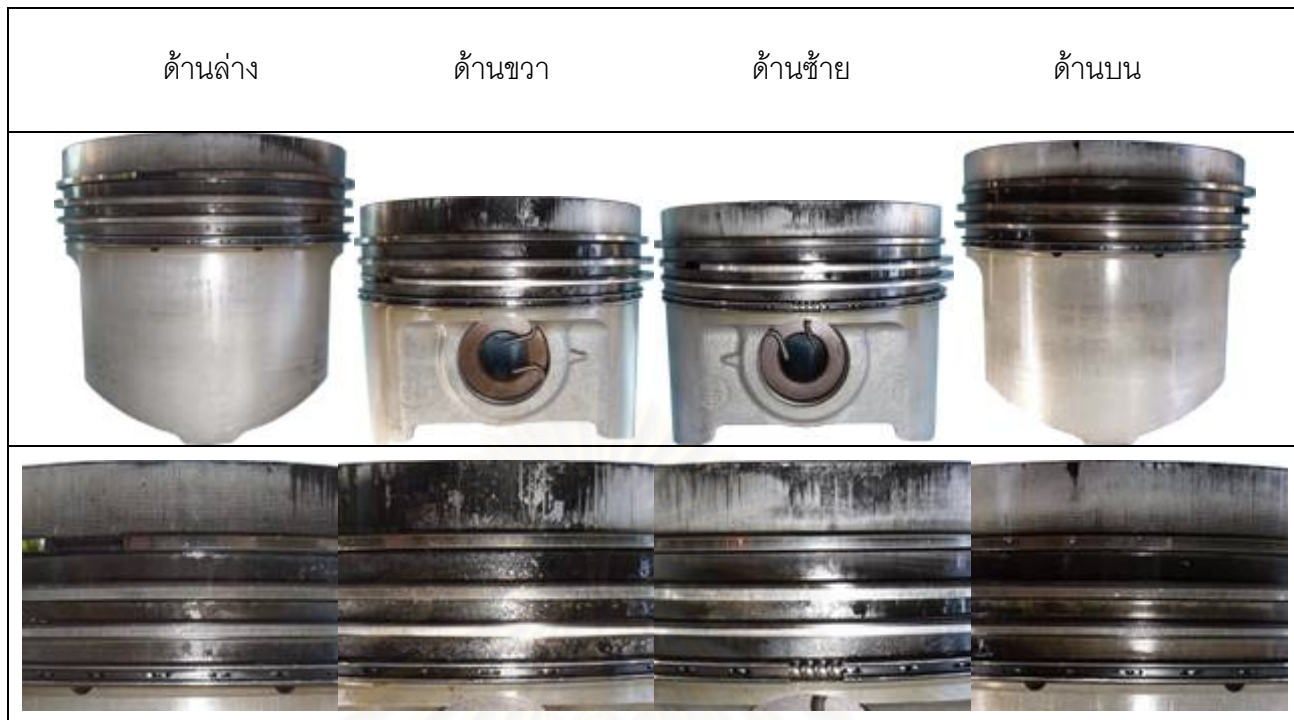


รูปที่ 5-88 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อน้ำมันดีเซล

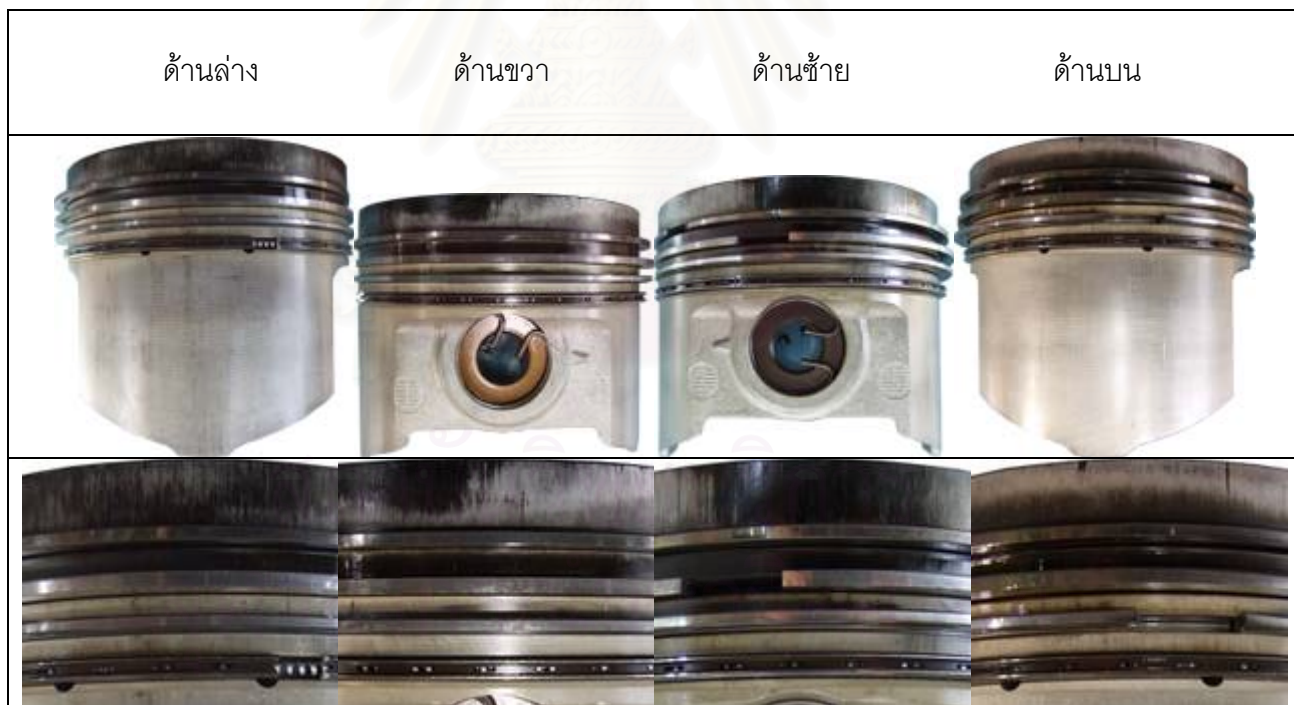


รูปที่ 5-89 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล





รูปที่ 5-90 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อน้ำมันดีเซลและภาพขยาย



รูปที่ 5-91 ลูกสูบจากการทดสอบความทนทานเมื่อน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและภาพขยาย

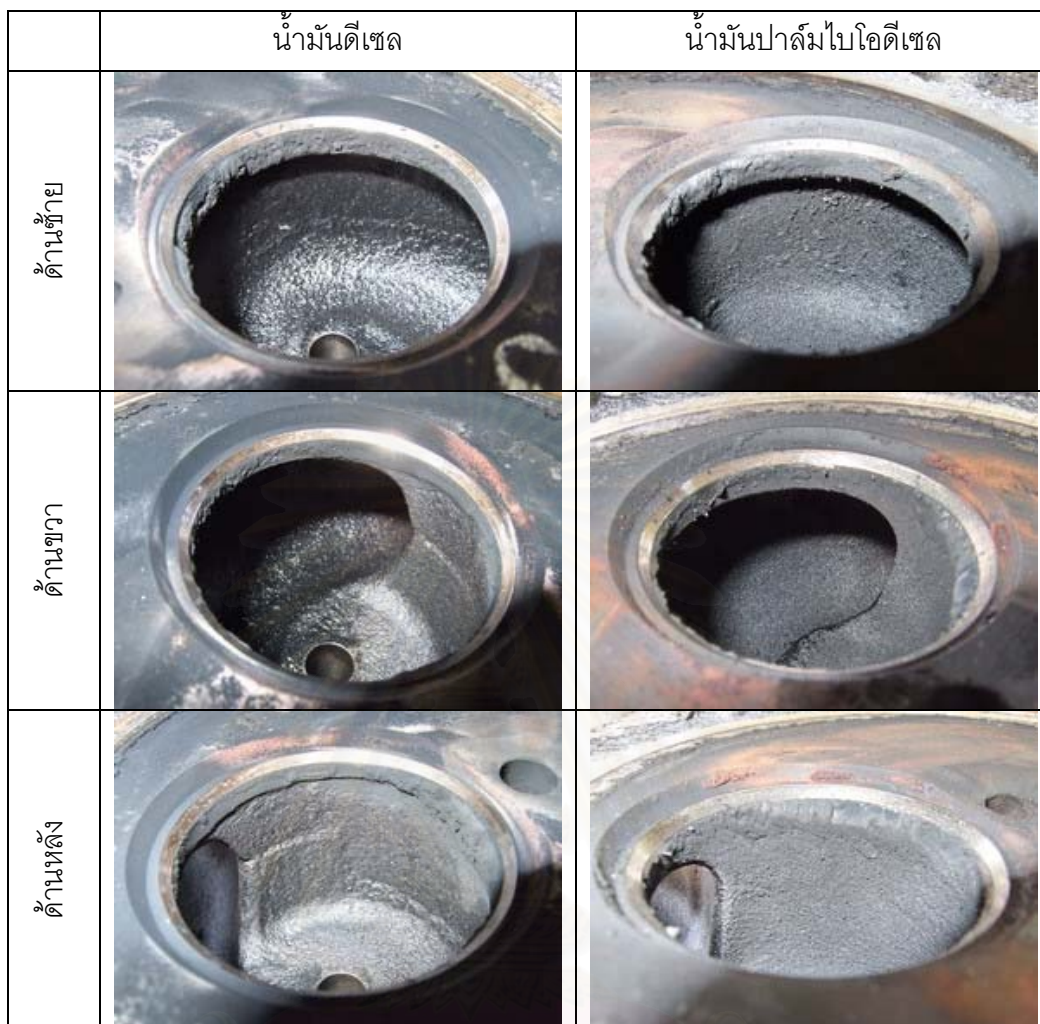
### 5.3.6.4 บำวาล์วไอดีและบ้ำวาล์วไอเสียที่ฝาสือบ

รูปที่ 5-92 และรูปที่ 5-93 แสดงภาพถ่ายบ้ำวาล์วไอดีและไอเสีย จากบนฝาสือบทั้ง 4 มุม จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามลำดับ จากการตรวจพินิจและเปรียบเทียบรูปทั้งสอง ไม่พบความแตกต่างที่บ้ำวาล์ว โดยบ้ำวาล์วของทั้งสองเครื่องยนต์มีสภาพที่ใกล้เคียงกันมีหน้าสัมผัสที่เรียบมีร่องรอยของการสึกหรอเป็นจุดเล็กๆอยู่ในปริมาณที่น้อยทั้งสองเครื่องยนต์

จากรูปบ้ำวาล์วไอดีสังเกตเห็นว่าช่องทางอากาศเข้าพบว่า ปริมาณเขม่าเหนียวสะสมจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีปริมาณมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และที่วาล์วไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีเขม่าที่หลุดออกมาจากการถอดวาล์วมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล



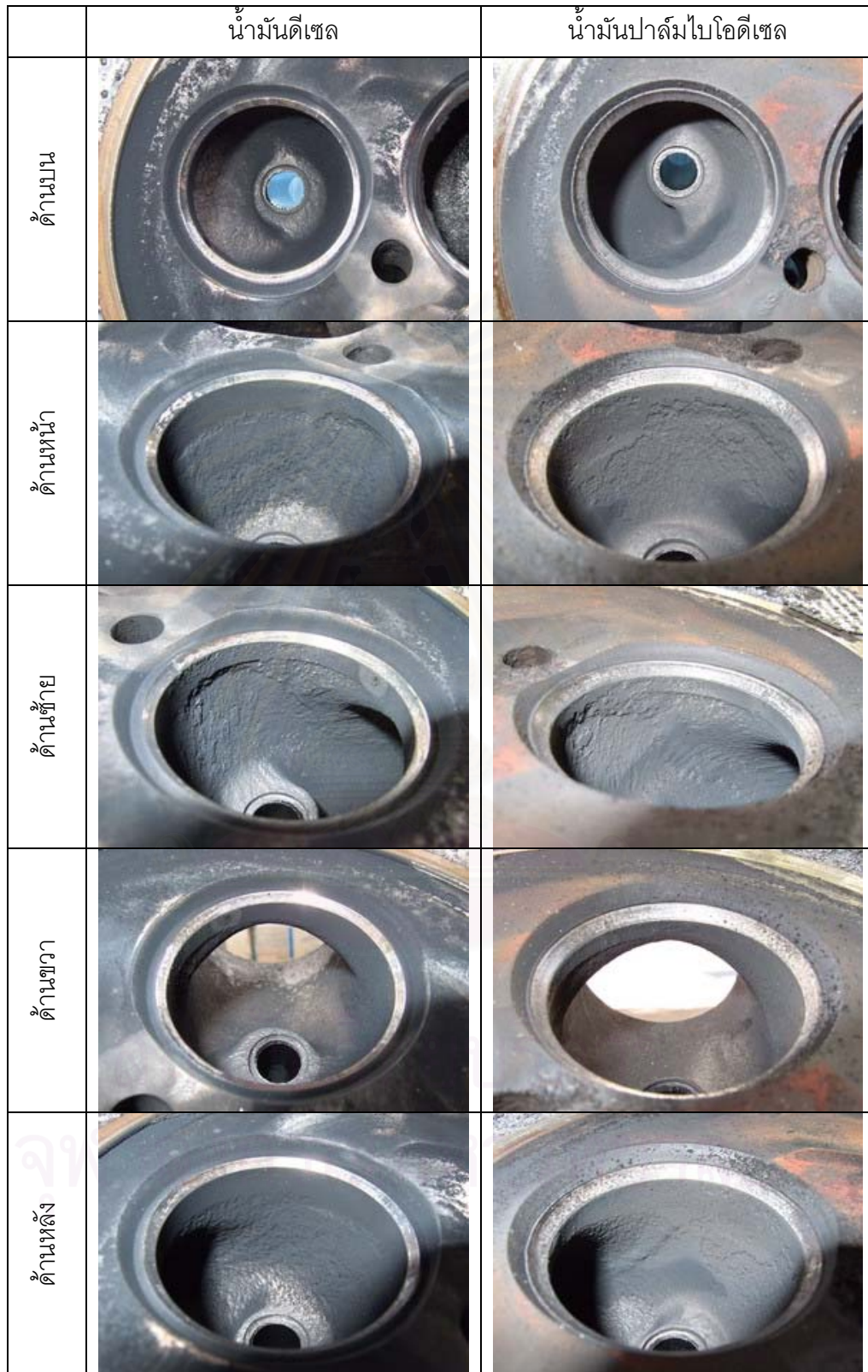
รูปที่ 5-92 แสดงภาพถ่ายบ้ำวาล์วไอดีเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล(ซ้าย) และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา)



รูปที่ 5-92 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล(ซ้าย) และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา) (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 5-93 แสดงภาพถ่ายปาวาล์วไอดีเสียเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (ซ้าย) และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ขวา)

### 5.3.6.5 วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย

รูปที่ 5-94 และรูปที่ 5-95 แสดงภาพถ่ายของวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามลำดับ พบว่าบริเวณหลังวาล์วไอดีของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีคราบเขม่าเกาะกระจายอยู่ด้านหลังวาล์วไอดีในปริมาณมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยที่หลังวาล์วไอดีของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีสีส้ม แดำที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันปาล์ม

ก้านวาล์วไอดีของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล พบว่ามีปริมาณเขม่าดำนิ่มสะสมที่มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจน

รูปที่ 5-96 และรูปที่ 5-97 แสดงภาพถ่ายของวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามลำดับ พบว่าวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณเขม่าที่มากกว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเล็กน้อย

รูปที่ 5-98 และรูปที่ 5-99 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอดี และก้านวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยทำการถ่ายภาพทั้ง 4 มุมรอบก้านวาล์ว ซึ่งเกิดการสึกหรอที่ตำแหน่งที่ก้านวาล์วเสียดสีกับปลอกนำวาล์ว(Valve Guide) พบว่าการสึกหรอที่ก้านวาล์วระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองใกล้เคียงกัน โดยการสึกหรอบนก้านวาล์วไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย





รูปที่ 5-94 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจากที่ใช้ น้ำมันดีเซล



รูปที่ 5-95 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจากที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-96 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจากที่ใช้ น้ำมันดีเซล

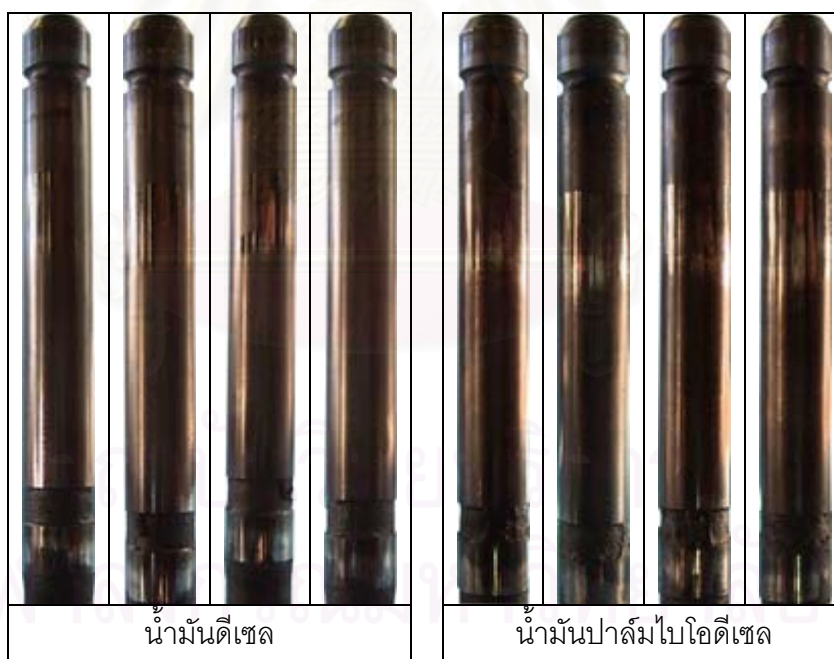


รูปที่ 5-97 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจากที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### 5.3.6.6 ก้านวาล์วไอดีและก้านวาล์วไอเสีย



รูปที่ 5-98 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล



รูปที่ 5-99 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

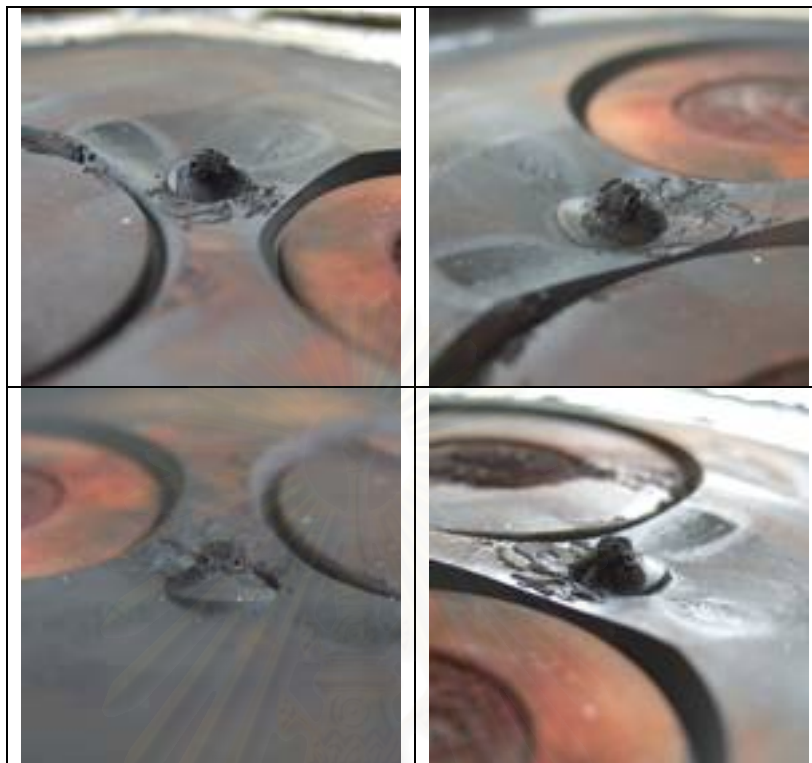
### 5.3.6.7 หัวฉีด

รูปที่ 5-100 และรูปที่ 5-101 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลและ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนถอดออกจากฝาสูบตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดที่ปลายของหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เนื่องจากมีก้อนของเขม่าดำ และแข็งสะสมอยู่ที่ปลายของหัวฉีด และสภาพโดยรอบหัวฉีดมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันคือมีคราบเขม่าดำ และแข็งเกาะตัวในอยู่ในแนวสเปรย์ของหัวฉีด ซึ่งแตกต่างจากหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจน



รูปที่ 5-100 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ก่อนถอดออกจากฝาสูบ

สถาบันวิจัยและพัฒนา  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-101 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลก่อนถอดออกจากฝาสูบ

รูปที่ 5-102 และรูปที่ 5-103 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามลำดับ เช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้นพบแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดที่ปลายของหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล มีลักษณะเป็นก้อนของเขม่าแข็งสะสมอยู่ที่ปลายของหัวฉีด ทำให้หัวฉีดมีลักษณะที่เล็ก คาดว่าเกิดขึ้นภายหลังการสูญเสียความสามารถในการหยุดการรั่ว (Leak) ของเชื้อเพลิงทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อมีความดันในท่อความดันที่ยังไม่ถึงความดันในการเปิดหัวฉีดแต่มีการซึมของเชื้อเพลิงออกมาเป็นหยดออกอยู่ที่หัวฉีด น้ำมันที่มันองอยู่ที่หัวฉีดเมื่อถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงเกิดเป็นคราบแข็งเกาะติดอยู่บริเวณหัวฉีดดังรูป

พบว่าหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีสีดำและมีลักษณะมีคราบฝุ่นเขม่าเกาะที่ปลายหัวฉีดซึ่งฝุ่นเขม่าดังกล่าวสามารถหลุดออกได้อย่างง่ายดาย และพบว่าขนาดรูหัวฉีดสามารถสังเกตเห็นได้โดยง่ายและมีขนาดใหญ่กว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล





รูปที่ 5-102 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล







รูปที่ 5-103 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

### 5.3.6.8 แบริ่งก้านสูบ

จากรูปที่ 5-104 ซึ่งแสดงแบริ่งก้านสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ซึ่งไม่พบสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับผิวแบริ่ง มีรอยขีดข่วนขนาดเล็กอยู่ทั่วไป และพบคราบน้ำมันหล่อลื่นและรอยจุดซึ่งเกิดการสึกหรอในปริมาณเล็กน้อย

จากรูปที่ 5-105 ซึ่งแสดงแบริ่งก้านสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งพบคราบหลุมวงกลมกระจายอยู่ในแบริ่ง เห็นได้ชัดเจน ทั้งขึ้นส่วนบนและขึ้นส่วนล่างของแบริ่ง ซึ่งคราบลักษณะเป็นวงกลมที่พบน่าจะเกิดจากสภาพของการขาดสารหล่อลื่นอย่างพอเพียง จึงมีการสึกหรอเกิดขึ้นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล



	น้ำมันดีเซล	น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล
ชั้นล่าง ด้านหน้า		
ชั้นบน ด้านหน้า		

รูปที่ 5-104 แสดงภาพถ่ายแบริ่งก้านสูบจากที่ใช้ น้ำมันดีเซลหลังผ่าน การทดสอบความทนทาน(ซ้าย)แสดงภาพถ่ายแบริ่งก้านสูบจากที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลหลังผ่าน การทดสอบความทนทาน(ขวา)

### 5.3.7 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

หลังจากทำการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองเครื่องยนต์แล้วได้ทำ ความสะอาดคราบตะกอนและเขม่าออก เพื่อทำการชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกับน้ำหนักของชิ้นส่วน ก่อนการทดสอบที่ได้ทำการชั่งไว้ก่อนแล้ว ด้วยตาชั่ง Denver Instrument Company รุ่น TC-205 ความละเอียด 0.1 mg การเปรียบเทียบมุ่งเน้นตรวจ 3 กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันเชื้อเพลิง คือ กลุ่ม ชิ้นส่วนจากห้องเผาไหม้ กลุ่มชิ้นส่วนหัวฉีด และกลุ่มชิ้นส่วนปั๊มหัวฉีด

ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้แสดงดังตารางที่ 5-26 ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วน หัวฉีดแสดงดังตารางที่ 5-27 และผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิงแสดงดังตาราง 5-28

ตารางที่ 5-26 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้ ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ปาล์มไบโอดีเซล

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 500 ชม.	% ความแตกต่าง	ก่อนการทดสอบ	หลัง 500 ชม.	% ความแตกต่าง
แหวนอัด 1	14.023	14.015	0.057	14.008	13.993	0.108
แหวนอัด 2	16.411	16.313	0.597	16.348	16.210	0.842
แหวนอัด 3	15.180	15.132	0.316	15.171	15.106	0.426
แหวนน้ำมัน	9.181	9.158	0.246	9.187	9.181	0.061
บุช ก้านสูบ	51.619	51.518	0.195	51.620	51.450	0.329
ลูกสูบ	612.712	611.825	0.145	612.705	611.752	0.156
สลักลูกสูบ	236.477	236.410	0.028	236.861	236.848	0.005

ตารางที่ 5-27 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีดก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ปาล์มไบโอดีเซล

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 500 ชม.	เปลี่ยนแปลง %	ก่อนการทดสอบ	หลัง 500 ชม.	เปลี่ยนแปลง %
เข็มหัวฉีด	3.069	3.068	0.010	3.068	3.066	0.039
ชิ้นส่วนต่อเข็มหัวฉีด	3.419	3.419	0.003	3.419	3.419	0.000

ตารางที่ 5-28 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิง ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ปาล์มไบโอดีเซล

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 500 ชม.	เปลี่ยนแปลง %	ก่อนการทดสอบ	หลัง 500 ชม.	เปลี่ยนแปลง %
วาล์วกันย้อนกลับ	0.988	0.987	0.101	0.988	0.987	0.101
เรือนวาล์วกันย้อนกลับ	8.092	8.092	0.000	8.092	8.091	0.012
ลูกสูบ	14.441	14.44	0.007	14.441	14.44	0.007

จากตารางที่ 5-26 พบว่าผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีน้ำหนักลดลงในปริมาณสูงกว่าชิ้นส่วนจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล แหวนอัดตัวที่ 1 ซึ่งลดลงถึงร้อยละ 0.108 มากกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลซึ่งลดลงร้อยละ 0.057 บุชก้านสูบเมื่อใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีน้ำหนักลดลงประมาณร้อยละ 0.329 ซึ่งสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลซึ่งลดลงร้อยละ 0.195 และลูกสูบพบว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล มีค่าการลดลงใกล้เคียงกันดังตารางข้างต้น

จากตารางที่ 5-27 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีด พบว่าไม่เห็นถึงความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิด

จากตารางที่ 5-28 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิงหัวฉีด พบว่าไม่เห็นถึงความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิด

จากการเปรียบเทียบน้ำมันหนักก่อนและหลังเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบความทนทานแล้วพบว่าทั้งเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล มีน้ำหนักที่ลดลง ทุกชิ้นส่วนที่ทำการทดสอบ โดยการลดลงของน้ำหนักชิ้นส่วนที่ลดลงมีค่าน้อยมากคิดเป็นไม่ถึงร้อยละ 0.5

## บทที่ 6

### สรุปผล และข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผล

จากผลการทดสอบพบว่าสามารถใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก การใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีผลทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ด้อยลง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกมีค่าใกล้เคียงเดิม โดยมีค่าวันดำที่ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

หลังจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลภายใต้สภาวะภาระจำลองเป็นระยะเวลานาน พบว่าเครื่องยนต์มีสมรรถนะแรงบิดต่ำลง โดยที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และค่าควันดำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับระบบการจ่ายเชื้อเพลิง เช่น การลดลงของความดันเริ่มฉีดของเชื้อเพลิง

#### 6.1.1 เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

1. การใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลให้ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดในแต่ละความเร็วรอบต่ำกว่าค่าแรงบิดสูงสุดที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซล โดยมีค่าแรงบิดเบรกต่างกันสูงสุดร้อยละ 7.7
2. ที่สภาวะภาระสูงสุด น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่สูงกว่าค่าที่ได้จากน้ำมันดีเซลทุกความเร็วรอบในการทดลอง โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่างกันสูงสุดร้อยละ 6.7
3. ที่สภาวะภาระบางส่วนค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลในทุกจุดทดสอบ โดยเฉลี่ยเป็นร้อยละ 10.5
4. ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพจากการใช้น้ำมันดีเซลร้อยละ 0.5 – 2.3 เนื่องจากค่าพลังงานความร้อนของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่น้อยกว่า
5. อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล โดยน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลจะสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อความเร็วรอบต่ำ และดีเซลจะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อความเร็วรอบมีค่าสูงขึ้น แต่ไม่พบค่าความแตกต่างกันที่สภาวะภาระบางส่วน

6. ค่าควันท้าจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าค่าควันท้าจากการใช้น้ำมันดีเซลใน ยานการทำงานที่แรงบิดเบรกปานกลางถึงแรงบิดเบรกสูงสุด ส่วนยานการทำงานที่แรงบิด เบรกต่ำค่าควันท้าที่ได้จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยเชื้อเพลิงทั้งสองมีแนวโน้ม คล้ายกันคือที่สภาวะภาระบางส่วนค่าควันท้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงบิดเบรกที่เพิ่มขึ้นและ น้อยลงตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน
7. การเปลี่ยนของศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลต่อแรงบิดเบรกที่เพิ่มขึ้นขององศาการฉีดน้ำมัน เชื้อเพลิงล่าช้าที่สภาวะภาระสูงสุด ทุกช่วงความเร็วที่ทำการทดสอบ โดยที่องศาการฉีด น้ำมันเชื้อเพลิงมาตรฐานและ องศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงล่วงหน้ามีค่าใกล้เคียงกัน
8. การเปลี่ยนของศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรก ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง และค่าควันท้าที่สภาวะบางส่วนไม่แตกต่างกัน เมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงล่วงหน้าหรือล่าช้า

### 6.1.2 เปรียบเทียบผลจากการนำน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมาใช้ในเครื่องยนต์ อย่างต่อเนื่องภายใต้ภาระจำลอง

1. ค่าแรงบิดเบรกหลังผ่านการทดสอบความทนทานนาน 500 ชั่วโมง มีค่าลดลงในทุก ความเร็วรอบ โดยมีค่าลดลงระหว่าง 1.9-4.0 N-m คิดเป็นความแตกต่างร้อยละ 5.4-10.1
2. ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกหลังผ่านการทดสอบความทนทานนาน 500 ชั่วโมงมีค่าลดลงตลอดทั้งสภาวะภาระบางส่วนและสภาวะภาระสูงสุด ที่ทำการทดสอบร้อย ละ 5.7-17.0
3. อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกหลังผ่านการทดสอบความทนทานนาน 500 ชั่วโมงมี การเพิ่มขึ้นที่สภาวะภาระบางส่วน และที่สภาวะภาระสูงสุดอย่างชัดเจน โดยมีค่าเพิ่มขึ้น ระหว่าง 21-60 g/kW-hr คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดร้อยละ 20.6
4. อุณหภูมิไอเสียหลังผ่านการทดสอบความทนทานมีค่าไม่แตกต่างกันในรอบการทำงานต่ำ แต่เมื่อมีความเร็วรอบสูงอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีความแตกต่างสูงสุดร้อยละ 7
5. ค่าควันท้าระหว่างการทดสอบความทนทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น โดยสามารถแบ่งออกเป็นสองช่วง โดยช่วงแรกค่าควันท้ามีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน ดีเซล ตั้งแต่ชั่วโมงการทดสอบความทนทาน 0 ถึง 250 ชั่วโมง และค่าควันท้าสูงขึ้นอย่าง รวดเร็วและมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล
6. ภายหลังจากทดสอบ 500 ชั่วโมง ค่าควันท้าหลังทดสอบความทนทาน จากการทดสอบที่ สภาวะภาระบางส่วนพบว่าที่ค่าแรงบิดสูง ค่าควันท้ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ทุกความเร็ว รอบเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ



### 6.1.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

1. จากคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทาน ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลต่ำลงเมื่อชั่วโมงอายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นมีค่ามากขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลตลอดการทดสอบ และมีค่าเกินค่าระดับการเตือนขั้นวิกฤต หลังจากชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 100 และ 110
2. จากคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทาน ปริมาณการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่น จากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจน และมีค่าเกินระดับเตือนภัยทั้งสองระดับในทุกๆช่วงการอายุการใช้งาน น้ำมันหล่อลื่นที่ประมาณชั่วโมงที่ 30
3. จากคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทาน ปริมาณการเกิดไนเตรชันและTBN ในแต่ละอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น ของเครื่องยนต์น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล มีค่าใกล้เคียงกับค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล
4. ผลการวิเคราะห์สามปรงแต่ง การประเมินการวัดปริมาณสาร Antioxidant โดยวิธีการวัดแบบ Ruler ของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลต่ำลงเมื่อชั่วโมงอายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นมีค่ามากขึ้น และมีค่าเกินค่าระดับการเตือนภัยขั้นที่ 1 เล็กน้อยหลังชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ชั่วโมงที่ 110 320 495 และ500 ซึ่งอาจบอกได้ว่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นมีสภาพที่เหมาะสมกับช่วงเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นที่อายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นที่ 100-110 ชั่วโมง
5. ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะปนเปื้อนจากการสึกหรอปริมาณโลหะเหล็ก โครเมียม และอลูมิเนียม ตกค้างในปริมาณสูงกว่าปริมาณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลตลอดการทดสอบ
6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะปนเปื้อนจากการสึกหรอ เมื่อทำการใช้งานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเกินอายุของน้ำมันหล่อลื่น 10 ชั่วโมง (อายุน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง) พบปริมาณ เหล็ก และอลูมิเนียม สูงขึ้นในอัตราปกติ
7. ผลจากการถ่ายภาพรูปโลหะด้วยวิธีเฟอโรโกราฟีของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล พบอนุภาคโลหะสึกหรอจากการเสียดสีปกติเป็นหลัก

#### 6.1.4 ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์

1. หลังการทดสอบเป็นเวลา 500 ชั่วโมง ปรากฏเป็นเขม่าสีดําแข็งบริเวณปากของกระบอกสูบ และด้านข้างของหัวลูกสูบอย่างชัดเจน และมีเขม่าสีดํานิ้มนั้นเหนียวเกาะอยู่บริเวณก้านวาล์วไอดีเป็นจำนวนมาก
2. หลังการทดสอบความทนทาน ฝาสูบมีคราบเขม่าสีแดงส้มเข้มติดอยู่บริเวณฝาสูบ และหัวฉีดมีก้อนเขม่าขนาดใหญ่ติดอยู่ที่ปลายหัวฉีดและบริเวณรอบส่วนปลายหัวฉีดพบปริมาณเขม่าหนาในปริมาณที่มากตามทิศทางการสเปรย์ เห็นได้อย่างชัดเจน
3. หลังการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ผนังของห้องเผาไหม้ และสภาพวาล์วที่ฝาสูบ โดยการใช้้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเป็นเวลา 320 ชั่วโมง มีสภาพคล้ายกับที่พบในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล
4. น้ำหนักแวนอัด และลูกสูบ มีค่าลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำหนักชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

#### 6.1.5 ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลต่อระบบการจ่ายเชื้อเพลิง

1. หลังการทดสอบความทนทานพบว่า หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลไม่สามารถหาความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากเกิดการรั่วของเชื้อเพลิงออกจากหัวฉีดที่ความดัน 210-220 kg/cm<sup>2</sup> ซึ่งเป็นความดันก่อนที่จะถึงความดันที่เหมาะสมในการฉีดเชื้อเพลิง
2. หลังการทดสอบความทนทานการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซลมีลักษณะสเปรย์หัวฉีดที่ไม่เป็นละอองฝอย มีลักษณะเป็นเส้นของของเหลวที่ถูกฉีดมาเป็นเส้นหยดออกจากหัวฉีด ต่างจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งมีลักษณะสเปรย์ที่เป็นละอองฝอย
3. หลังการทดสอบความทนทานหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีการรั่วของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ปลายหัวฉีดเมื่อคํางความดันไว้ที่ 200 kg/cm<sup>2</sup> โดยที่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลไม่มีการรั่วซึมเกิดขึ้น
4. ชิ้นส่วนโลหะภายในหัวฉีดชิ้นที่สัมผัสกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีสีของเนื้อโลหะที่เปลี่ยนไปเป็นสีส้มดํา อาจเกิดจากความป็นกรดของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลทำให้เกิดเป็นสนิมขึ้น และอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงมีค่าต่ำลงภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 500 ชั่วโมง
5. หลังการทดสอบความทนทานปั๊มเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันทั้งสองชนิดสามารถสร้างความดันได้สูงกว่าความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดใหม่ทั้งสองชนิด

### 6.1.6 ข้อสังเกตที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ

1. เครื่องยนต์ปาล์มไบโอดีเซลสามารถทำงานได้อย่างปกติตลอดการทดสอบสมรรถนะ และความทนทาน
2. การใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลระหว่างการทดสอบ ไม่พบปัญหาของการสตาร์ทติดยากขณะเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ
3. ระหว่างการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลพบปริมาณตะกอนที่ก้นกระบอกไส้กรองในปริมาณมาก ซึ่งสามารถทำความสะอาดและใช้งานไส้กรองเดิมได้ต่อไปจึงไม่พบปัญหาการอุดตันของไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงตามอายุการใช้งานของไส้กรอง (100 ชั่วโมง)

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

การนำน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์เกะจรขนาดเล็กชนิดห้องเผาไหม้โดยตรง มีผลกระทบหลักในการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล คือการเสียดของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง การเลือกชนิดของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีลักษณะที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

เนื่องจากน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีปริมาณตะกอนมาก จึงต้องกำหนดระยะเวลาทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงให้สั้นลง ซึ่งจากการวิจัยไม่พบคราบยางเหนียวที่ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง พบเพียงแต่ปริมาณตะกอนและเศษไฟเบอร์ที่ก้นกระบอกไส้กรอง ซึ่งสามารถทำความสะอาดและใช้งานไส้กรองเดิมได้ต่อไป

## 6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการเสนอแนะและความคิดเห็นต่องานวิจัยที่จะพัฒนาต่อไปซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ทดสอบผลกระทบจากการเป็นกรดของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล และคุณสมบัติน้ำมันที่มีผลกับหัวฉีดเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเอาน้ำมันเชื้อเพลิงไปใช้
2. ควรมีการศึกษาถึงสารชะล้าง (Detergent) ที่ใช้ผสมกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดคราบเขม่าและตะกอนในห้องเผาไหม้, ฝาสูบและที่ปลายหัวฉีด

## 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] สุรพล ราษฎร์นุ้ย. วิศวกรรมกรรมการบำรุงรักษา. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2545.
- [4] ปรีชา อ่องอารีย์ และคนอื่นๆ. การใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล (รายงานการวิจัย). วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
- [5] Focus Laboratories Ltd. Oil Analysis the complete course for maintenance professionals, (เอกสารประกอบการสัมมนา 15-17 ตุลาคม 2546).
- [6] 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]
- [7] Yusuf Ali, and M.A. Hanna. Alternative diesel fuels from vegetable oils. Bioresource Technology 50 (21 July 1994): 153-163.
- [8] 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.
- [9] 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).
- [10] Pacific regional biomass energy program. News Archive February 2002 [Online]. Available from : <http://www.pacificbiomass.org/archives/news0202.cfm> [November 2003]
- [11] 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.
- [12] 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]

- [13] McCutchen, R. Vegetable oil as a diesel fuel-soybean oil. In Beyond the Energy Crisis -- Opportunity and Challenge Volume III Third International Conference on Energy Use Management. Berlin (West), 1679-86. Oxford, 1981
- [14] Bacon, D. M., F. Brear, I. D. Moncrieff, and K. L. Walker. The use of vegetable oils in straight and modified form as diesel engine fuels. In Beyond the Energy Crisis -- Opportunity and Challenge Volume III, Third International Conference on Energy Use Management. Berlin (West), 1525-33. Oxford, 1981
- [15] Fuls J, Hawkins CS, Hugo FJC. Tractor engine performance on sunflower oil fuel. J Agric. Engng. Res. 30, 29, 1984.
- [16] 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).
- [17] Phan Minh Duc. การศึกษาการเผาไหม้ของระบบเชื้อเพลิงร่วมที่ใช้ ก๊าซหุงต้มในเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ลว่งหน้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาคุยฎีบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549
- [18] คณิต วัฒนวิเชียร, วรวิมล กฤษดาธิการ. การพัฒนาเชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซลสูตรน้ำ. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 2550



## บรรณานุกรม

- [1] Owen, K., and Trevor Coley. Automotive Fuels Reference Book. 2<sup>nd</sup> edition. United states of America: Society of Automotive Engineers, 1995.
- [2] Whith, F.M. Fluid Mechanics. 4<sup>th</sup> edition. Boston: McGraw-Hill, 1999.
- [3] Blaich, B. Diesel Fuel Injection. 1<sup>st</sup> 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 ราษฎร์นุ้ย. วิศวกรรมกลหล่อลื่นเบื้องต้น. ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [10] กิตติ ภัคดีวัฒนกุล และจำลอง ทรูสุดสาหะ. Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์ บริษัท เคทีพี คอมพิวเตอร์ คอนซัลท์ จำกัด. พิมพ์ครั้งที่ 11
- [11] Gary L.Borman and Kenneth W.Ragland. Combustion Engineering. McGRAW-Hill International Editions
- [12] Ferdinand P.Beer E.Russell Johnston,Jr. Mechanics of Materials. Mc Graw Hill 2<sup>nd</sup> Edition

[13] Greene, A.B., and G. G. Lucas. Testing of internal combustion engines, The English Universities Press, 1969.

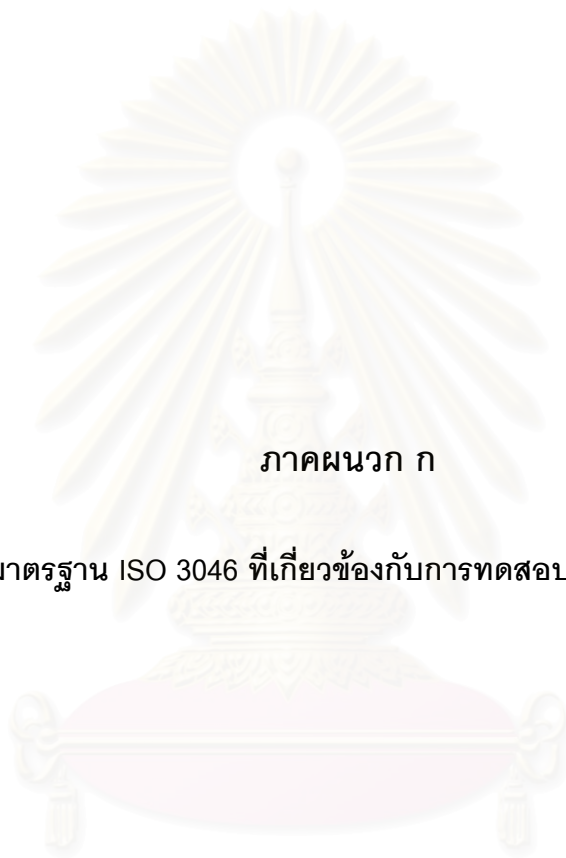


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

มาตรฐาน ISO 3046 ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบเครื่องยนต์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## มาตรฐาน ISO 3046 ที่เกี่ยวข้องกับ การทดสอบเครื่องยนต์ [15]

### 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 propel 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.

## ก.6. Auxiliaries

### ก.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.)

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

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

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

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

## ก.7 Declarations of power

### ก.7.1 Introduction

#### ก.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.

#### ก.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.

#### ก.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 on 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 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).

### **ก.7.3 Kinds of power output**

#### **ก.7.3.1 continuous power**

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

#### **ก.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 permitted 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.

#### **ก.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).

## **ก.8. Declarations of fuel consumption**

### **ก.8.1 Definitions**

#### **ก.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).

#### **ก.8.1.2 Specific fuel consumption**

The fuel consumption per unit of power.

#### **ก.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.

### **ก.8.2 Reference calorific value of fuels**

#### **ก.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).

#### **ก.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.

#### **ก.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.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Table n-1 - Numerical values for power adjustment

Engine type	Condition		Formula reference	Factor	Exponents		
				a	m	n	q
Compression ignition oil 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
		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 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 aspired, mechanically pressure charge or turbocaharged 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.

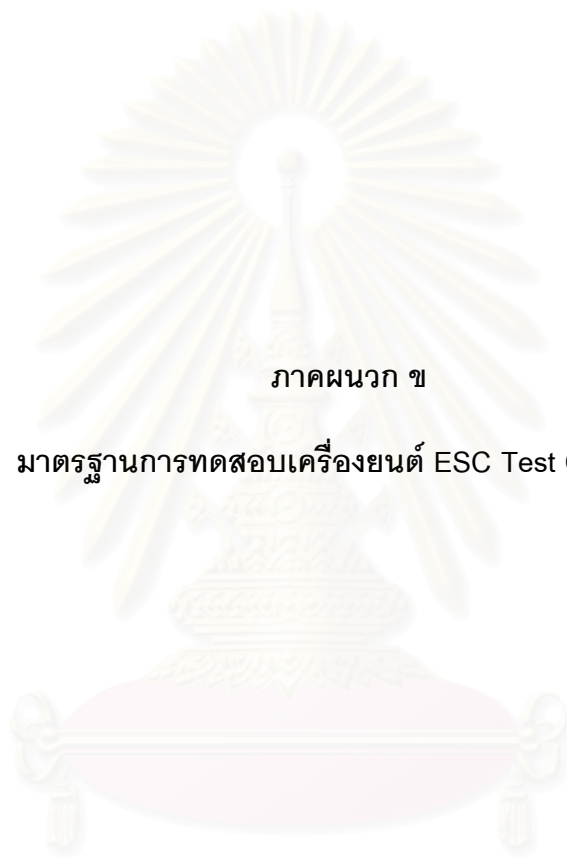
n) A schedule recommended maintenance and overhaul periods.

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

มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ ESC Test Cycle[26]

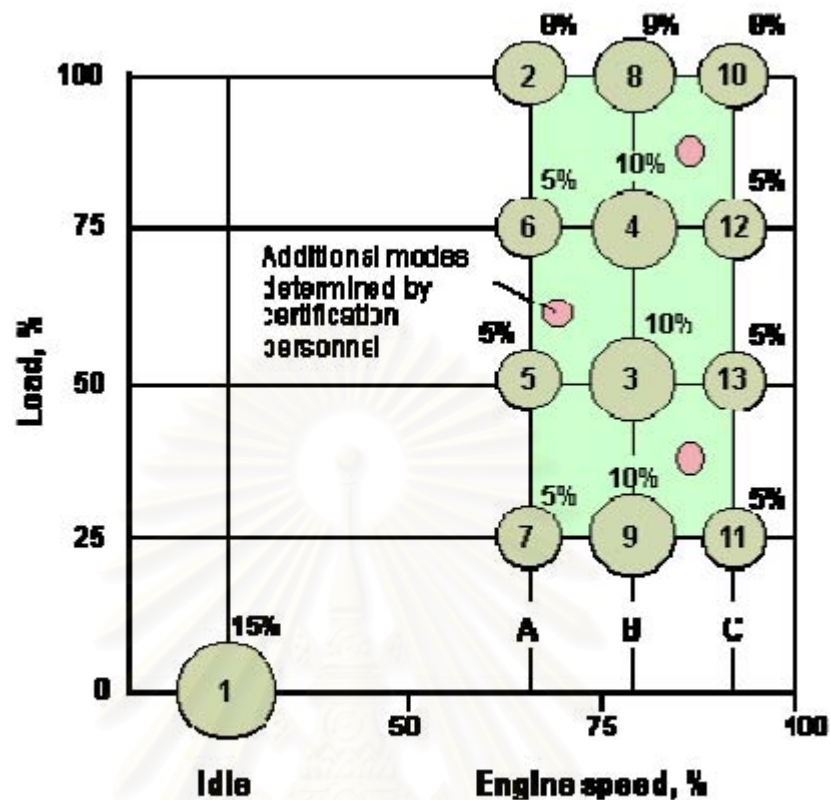
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



The ESC test cycle (also known as OICA/ACEA cycle) has been introduced, together with the ETC (European Transient Cycle) and the ELR (European Load Response) tests, for emission certification of heavy-duty diesel engines in Europe starting in the year 2000 (Directive 1999/96/EC of December 13, 1999). The ESC is a 13-mode, steady-state procedure that replaces the R-49 test. The engine is tested on an engine dynamometer over a sequence of steady-state modes (Table 1, Figure 1). The engine must be operated for the prescribed time in each mode, completing engine speed and load changes in the first 20 seconds. The specified speed shall be held to within  $\pm 50$  rpm and the specified torque shall be held to within  $\pm 2\%$  of the maximum torque at the test speed. Emissions are measured during each mode and averaged over the cycle using a set of weighting factors. Particulate matter emissions are sampled on one filter over the 13 modes. The final emission results are expressed in g/kWh.

During emission certification testing, the certification personnel may request additional random testing modes within the cycle control area (Figure 1). Maximum emission at these extra modes are determined by interpolation between results from the neighboring regular test modes.

Mode	Engine Speed	% Load	Weight factor, %	Duration
1	Low idle	0	15	4 minutes
2	A	100	8	2 minutes
3	B	50	10	2 minutes
4	B	75	10	2 minutes
5	A	50	5	2 minutes
6	A	75	5	2 minutes
7	A	25	5	2 minutes
8	B	100	9	2 minutes
9	B	25	10	2 minutes
10	C	100	8	2 minutes
11	C	25	5	2 minutes
12	C	75	5	2 minutes
13	C	50	5	2 minutes



**Figure 1.** European Stationary Cycle (ESC)

The engine speeds are defined as follows:

1. The high speed  $n_{hi}$  is determined by calculating 70% of the declared maximum net power. The highest engine speed where this power value occurs (i.e. above the rated speed) on the power curve is defined as  $n_{hi}$ .

2. The low speed  $n_{lo}$  is determined by calculating 50% of the declared maximum net power. The lowest engine speed where this power value occurs (i.e. below the rated speed) on the power curve is defined as  $n_{lo}$ .

3. The engine speeds A, B, and C to be used during the test are then calculated from the following formulas:

$$A = n_{lo} + 0.25(n_{hi} - n_{lo})$$

$$B = n_{lo} + 0.50(n_{hi} - n_{lo})$$

$$C = n_{lo} + 0.75(n_{hi} - n_{lo})$$

The ESC test is characterized by high average load factors and very high exhaust gas

temperatures. as Euro I ... V. Sometimes Arabic numerals are also used (Euro 1 ... 5). We will use Roman numerals when referencing standards for heavy-duty engines, and reserve Arabic numerals for light-duty vehicle standards. The heavy-duty engine regulations were originally introduced by the Directive 88/77/EEC, followed by a number of amendments. In 2005, the regulations were re-cast and consolidated by the Directive 05/55/EC. The emission standards apply to all motor vehicles with a “technically ermissible maximum laden mass” over 3,500 kg, equipped with compression ignition engines or positive ignition natural gas or LPG engines.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

การวัดอัตราการไหลของอากาศ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

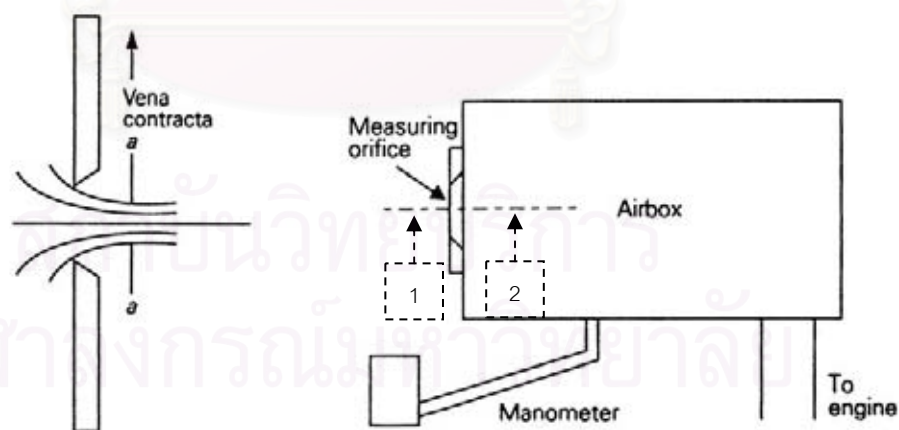
### การวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยวิธี Air box method [16]

การวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยวิธี Air box method เป็นการวัดโดยใช้แผ่นออริฟิซ ประกอบกับถังพักอากาศ ซึ่งถังพักอากาศจะช่วยลดการกระเพื่อมของอากาศที่ถูกดูดตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ ทำให้อากาศที่ไหลผ่านออริฟิซมีอัตราการไหลที่สม่ำเสมอสามารถวัดความดันตกคล่อมได้ถูกต้องมากขึ้น

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออริฟิซโดยประมาณ ที่อัตราการไหลต่างๆ แสดงดังตาราง ค-1

ตาราง ค-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 ค-1 แสดงภาพการวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยวิธี Air box method [16]

ภาพถ่ายแสดงการไหลของอากาศผ่านแผ่น orifice plate

ภาพขวาแสดงภาพ Orifice flow meter



ปริมาณของถังที่เล็กที่สุดที่จะทำให้ไม่เกิดการกระเพื่อมของอากาศที่ไหล ได้ถูกวิเคราะห์ โดย Kastner [16] ดังสมการ (ค-1)

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

โดยที่	$V_b$	คือ ปริมาตรถังพักอากาศที่เล็กที่สุด ( $\text{m}^3$ )
	$K$	คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 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

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

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 $9.807 \text{ m/s}^2$
		ตัวห้อย 1 และ 2 คือตำแหน่งสภาวะ 1 และ 2 ในรูป ข-1 ขวา ตามลำดับ

เนื่องจากสภาวะ 1 เป็นอากาศนิ่ง และทั้งสองสภาวะอยู่ในระดับความสูงเดียวกัน ดังนั้น จะได้ความเร็วของอากาศ ตามสมการที่ (ค-5)

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

การไหลผ่าน orifice จะเกิด Vena contracta ซึ่งจะทำให้การไหลจริงน้อยกว่าทฤษฎีเสมอ ดังนั้นเมื่อคิดการไหลแบบคงตัว จะได้อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ คือ

$$\dot{m}_a = C_{DO} \rho_{air} v A_o \quad (ค-4)$$

โดยที่  $C_{DO}$  คือ Discharge coefficient ของ orifice plate  
 $A_o$  คือขนาดของ orifice ( $m^2$ )

การวัดผลต่างความดันตกคร่อม orifice plate จะวัดโดยใช้मानมิเตอร์ ซึ่งจะได้ค่า head ในหน่วย mm.H<sub>2</sub>O ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาผลต่างความดันตกคร่อม orifice plate ได้จากสมการ

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

โดยที่  $\Delta h$  คือ ผลต่าง Head ที่อ่านได้จากमानมิเตอร์ (mmH<sub>2</sub>O)  
 $\rho_{H_2O}$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ ( $kg/m^3$ ) เท่ากับ  $997 \text{ kg/m}^3$

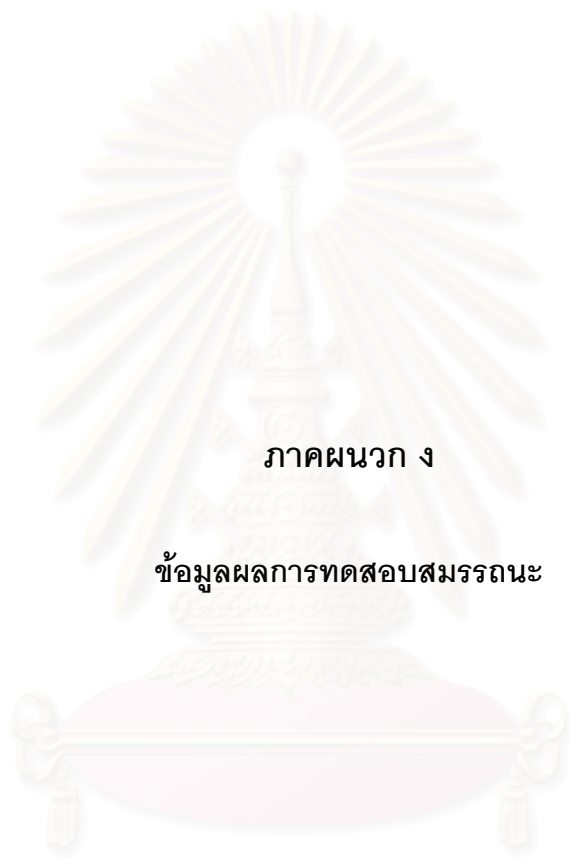
เมื่อนำสมการ (ค-5) และ (ค-7) มาแทนลงในสมการ (ค-6) จะได้สมการที่นำไปใช้งาน คือ

$$\dot{m}_a = C_{DO} A_o \sqrt{2 \rho_{air} \rho_{H_2O} g \Delta h} \quad (ค-6)$$

ดังนั้นจากสมการ (ค-2) และ (ค-8) จะสามารถหาอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศ และ Equivalent ratio ได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

$$\text{Equivalent ratio} = \frac{(F/A)}{(F/A)_s}$$



ภาคผนวก ง

ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-1 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่สภาวะภาวะสูงสุด

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2578	0.03	100.8	307.9	0.983	0.980	1.003	0.01	0.01	0.03	0.183	73783	73556	0.1	177	83.2	73.6	34.7	0.2
2498	25.59	100.8	309.7	0.977	0.973	1.004	6.69	6.51	24.89	0.620	333	332	25.2	372	96.3	88.5	36.5	0.8
2449	37.69	101.5	308.7	0.986	0.984	1.002	9.67	9.51	37.08	0.743	277	276	30.3	540	108.5	97.7	35.5	2.6
2397	38.29	101.5	308.8	0.986	0.984	1.002	9.61	9.45	37.66	0.744	279	278	30.1	538	109.3	97.8	35.6	2.7
2347	39.38	101.5	308.4	0.987	0.985	1.002	9.68	9.53	38.78	0.680	253	252	33.2	542	108.4	97.9	35.3	3.0
2297	40.24	101.5	308.5	0.987	0.985	1.002	9.68	9.53	39.62	0.736	274	273	30.6	541	110.8	97.4	35.3	3.2
2250	41.14	101.5	309.0	0.985	0.982	1.003	9.69	9.52	40.42	0.754	280	279	30.0	542	111.2	98.2	35.9	3.3
2197	42.25	101.5	308.4	0.987	0.985	1.002	9.72	9.57	41.61	0.758	281	280	29.9	551	110.9	98.1	35.3	3.5
2098	43.28	101.4	308.7	0.986	0.983	1.002	9.51	9.35	42.57	0.728	275	275	30.5	545	110.1	98.7	35.5	3.8
1999	44.72	101.4	309.2	0.984	0.981	1.003	9.36	9.19	43.88	0.709	273	272	30.8	544	109.6	99.6	36.1	4.0
1799	46.93	101.4	306.3	0.993	0.992	1.001	8.84	8.77	46.55	0.684	278	278	30.1	531	108.3	100.5	33.2	4.1
1601	48.49	101.4	307.5	0.989	0.987	1.002	8.13	8.03	47.87	0.629	279	278	30.1	505	106.5	98.7	34.3	4.4
1399	48.27	101.3	306.7	0.991	0.990	1.002	7.07	7.00	47.76	0.561	286	285	29.3	482	100.5	99.2	33.6	5.2
1202	47.37	101.3	306.5	0.992	0.990	1.001	5.96	5.91	46.92	0.498	301	300	27.9	451	95.9	99.1	33.3	5.8

ตารางที่ ง-2 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1203	0.01	101.5	309.2	0.985	0.983	1.003	0.00	0.00	0.01	0.074	166593	166154	0.1	95	56.7	61.2	36.0	0.5
1203	5.20	101.5	309.8	0.983	0.980	1.003	0.66	0.64	5.10	0.092	507	505	16.6	132	59.9	63.3	36.6	0.6
1201	10.33	101.5	309.5	0.984	0.981	1.003	1.30	1.27	10.13	0.123	342	341	24.5	161	62.6	66.5	36.3	0.4
1198	14.62	101.4	309.8	0.982	0.979	1.003	1.83	1.80	14.31	0.151	297	296	28.3	184	66.9	68.1	36.7	0.5
1204	19.85	101.4	310.1	0.981	0.978	1.003	2.50	2.45	19.41	0.182	261	260	32.2	219	69.8	72.3	37.0	0.6
1200	24.35	101.4	310.6	0.979	0.976	1.004	3.06	2.99	23.76	0.204	240	239	35.1	248	72.2	75.8	37.4	0.6
1206	29.99	101.4	310.4	0.980	0.977	1.004	3.79	3.70	29.29	0.246	234	233	35.9	289	75.3	80.2	37.2	0.7
1203	34.69	101.3	311.8	0.975	0.971	1.005	4.37	4.24	33.67	0.290	239	238	35.2	323	79.4	83.6	38.7	1.0
1202	39.62	101.3	311.6	0.975	0.971	1.004	4.99	4.84	38.46	0.342	247	246	34.1	372	84.2	87.9	38.5	2.3
1200	44.58	101.2	311.7	0.975	0.970	1.005	5.60	5.43	43.24	0.430	276	275	30.4	437	87.8	99.0	38.5	4.0
1242	47.08	101.2	312.7	0.971	0.966	1.005	6.13	5.92	45.47	0.556	327	325	25.8	455	90.4	101.8	39.6	6.4



ตารางที่ ง-3 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1400	-0.01	101.2	312.6	0.971	0.966	1.005	0.00	0.00	0.00	0.062	295837	-294294	0.0	105	63.3	63.1	39.4	0.4
1400	4.81	101.1	313.2	0.969	0.963	1.006	0.70	0.68	4.63	0.099	505	502	16.7	135	66.5	65.8	40.0	0.3
1402	10.09	101.1	312.1	0.972	0.967	1.005	1.48	1.43	9.76	0.141	342	341	24.6	167	68.3	68.0	38.9	0.2
1398	14.79	101.4	305.9	0.994	0.993	1.001	2.17	2.15	14.69	0.168	279	279	30.1	195	70.3	71.1	32.8	0.4
1401	19.65	101.4	305.4	0.996	0.996	1.001	2.88	2.87	19.57	0.197	246	246	34.0	225	72.1	73.6	32.2	0.4
1401	24.58	101.4	304.8	0.998	0.998	1.000	3.61	3.60	24.54	0.234	234	234	35.8	254	74.3	76.0	31.6	0.5
1402	29.51	101.4	304.4	1.000	1.000	1.000	4.33	4.33	29.50	0.272	226	226	37.1	286	77.4	79.8	31.3	0.4
1404	34.39	101.5	305.4	0.997	0.996	1.001	5.05	5.03	34.24	0.315	224	224	37.4	320	84.1	84.4	32.3	0.5
1402	39.30	101.5	305.2	0.997	0.997	1.001	5.77	5.75	39.17	0.369	230	230	36.4	355	86.4	88.4	32.1	0.6
1400	44.24	101.4	305.5	0.996	0.996	1.001	6.48	6.46	44.05	0.438	243	243	34.5	403	89.8	93.4	32.3	1.3
1332	48.81	101.4	305.5	0.996	0.996	1.001	6.81	6.78	48.60	0.553	292	292	28.6	468	94.6	104.6	32.3	6.3

ตารางที่ ง-4 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,600 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1595	0.02	101.2	309.9	0.979	0.976	1.004	0.00	0.00	0.02	0.083	95824	95473	0.1	117	68.7	68.6	36.7	-0.1
1600	4.95	101.2	309.6	0.981	0.977	1.003	0.83	0.81	4.84	0.117	509	508	16.5	147	69.9	71.7	36.4	-0.1
1604	9.86	101.2	308.7	0.984	0.981	1.003	1.66	1.62	9.67	0.155	336	335	25.0	178	71.8	72.6	35.5	-0.1
1598	14.73	101.4	308.5	0.986	0.984	1.002	2.46	2.42	14.49	0.202	294	294	28.5	207	74.1	71.9	35.4	0.0
1600	19.68	101.3	308.9	0.983	0.980	1.003	3.30	3.23	19.29	0.243	265	264	31.7	246	75.8	76.8	35.8	0.0
1601	24.56	101.3	309.1	0.983	0.980	1.003	4.12	4.03	24.07	0.275	240	240	34.9	284	78.3	80.7	35.9	0.3
1596	29.46	101.3	309.0	0.983	0.980	1.003	4.93	4.83	28.89	0.313	229	228	36.7	317	81.7	84.3	35.8	0.2
1598	34.43	101.3	309.0	0.984	0.981	1.003	5.76	5.65	33.78	0.364	227	227	36.9	350	85.1	87.3	35.8	0.3
1599	39.31	101.4	308.6	0.986	0.983	1.003	6.58	6.47	38.64	0.430	235	234	35.7	389	90.0	91.2	35.4	0.3
1602	44.22	101.4	308.9	0.985	0.982	1.003	7.42	7.29	43.42	0.503	244	243	34.4	445	98.1	94.4	35.8	1.1
1598	48.45	101.4	308.4	0.986	0.984	1.002	8.11	7.98	47.68	0.626	278	277	30.2	511	100.6	102.9	35.3	5.2

ตารางที่ ง-5 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,800 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1799	0.01	101.4	308.6	0.986	0.983	1.003	0.00	0.00	0.01	0.104	151904	151514	0.1	126	72.1	65.8	35.5	-0.1
1796	4.95	101.4	308.4	0.986	0.984	1.002	0.93	0.92	4.87	0.145	562	560	14.9	157	74.0	67.9	35.2	-0.1
1800	9.85	101.3	308.6	0.985	0.983	1.003	1.86	1.82	9.68	0.174	337	336	24.9	188	75.6	69.2	35.5	0.0
1797	14.76	101.3	308.2	0.986	0.984	1.002	2.78	2.73	14.52	0.222	288	287	29.1	220	79.3	72.0	35.1	0.0
1800	19.66	101.3	308.0	0.987	0.985	1.002	3.70	3.65	19.35	0.265	257	257	32.6	254	81.5	73.2	34.8	-0.1
1799	24.55	101.3	307.8	0.987	0.985	1.002	4.63	4.56	24.19	0.311	242	241	34.7	289	83.7	75.2	34.7	0.4
1798	29.49	101.3	307.9	0.987	0.985	1.002	5.55	5.47	29.03	0.367	238	237	35.3	329	85.6	79.3	34.7	0.8
1799	34.42	101.3	308.0	0.986	0.984	1.002	6.48	6.38	33.86	0.426	237	236	35.5	375	88.6	82.1	34.9	1.2
1802	39.31	101.2	308.4	0.985	0.982	1.003	7.42	7.28	38.61	0.498	242	241	34.7	426	92.1	84.9	35.3	1.8
1801	44.23	101.2	308.4	0.985	0.982	1.003	8.34	8.19	43.43	0.605	261	260	32.2	493	101.1	99.3	35.3	2.9
1797	46.92	101.2	308.3	0.985	0.982	1.003	8.83	8.68	46.10	0.678	277	276	30.4	532	103.1	102.4	35.1	4.9

ตารางที่ ง-6 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,000 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1995	-0.02	101.2	306.9	0.990	0.988	1.002	0.00	0.00	-0.02	0.132	-95251	-95080	-0.1	139	74.1	65.4	33.7	0.1
1997	4.94	101.2	307.2	0.989	0.987	1.002	1.03	1.02	4.87	0.166	580	579	14.5	171	76.6	68.7	34.0	-0.1
2000	9.88	101.2	306.9	0.990	0.988	1.002	2.07	2.04	9.75	0.208	362	362	23.1	202	79.5	71.7	33.7	-0.1
2001	14.80	101.2	307.4	0.988	0.985	1.002	3.10	3.06	14.58	0.256	297	297	28.2	234	82.7	74.7	34.3	-0.1
1994	19.70	101.2	307.3	0.988	0.986	1.002	4.11	4.05	19.41	0.301	264	263	31.8	268	85.9	76.5	34.2	-0.1
1999	24.59	101.2	307.3	0.988	0.986	1.002	5.15	5.08	24.24	0.353	247	246	34.0	307	88.8	79.3	34.1	0.0
1998	29.54	101.2	307.6	0.987	0.985	1.002	6.18	6.08	29.08	0.414	241	240	34.8	348	92.3	81.4	34.5	0.3
2000	34.31	101.2	307.8	0.986	0.984	1.002	7.18	7.07	33.76	0.484	242	242	34.6	393	96.2	88.2	34.7	1.1
2005	39.22	101.2	307.9	0.986	0.984	1.002	8.24	8.10	38.58	0.569	249	248	33.7	459	102.2	97.2	34.7	2.2
2001	44.18	101.2	308.1	0.985	0.983	1.003	9.26	9.10	43.42	0.702	273	272	30.7	535	105.3	103.6	35.0	3.7
1999	45.24	101.2	308.0	0.986	0.984	1.002	9.47	9.32	44.50	0.737	280	279	30.0	551	106.0	104.8	34.9	4.4

ตารางที่ ง-7 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 2.200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2197	0.07	101.4	308.5	0.986	0.983	1.003	0.02	0.02	0.07	0.137	29794	29719	0.3	154	77.8	65.4	35.4	0.0
2202	5.06	101.4	310.3	0.980	0.977	1.004	1.17	1.14	4.95	0.187	577	575	14.6	188	80.8	67.0	37.1	0.0
2200	9.87	101.4	310.5	0.979	0.976	1.004	2.27	2.22	9.63	0.232	368	366	22.9	220	85.3	70.2	37.4	0.0
2200	14.77	101.4	311.9	0.975	0.971	1.004	3.40	3.30	14.33	0.282	298	297	28.2	255	88.1	72.7	38.7	0.0
2200	19.66	101.3	311.6	0.976	0.972	1.004	4.53	4.40	19.10	0.339	269	268	31.2	292	90.7	74.9	38.4	0.0
2199	24.57	101.3	311.7	0.975	0.971	1.004	5.66	5.50	23.86	0.398	253	252	33.2	332	93.4	77.5	38.6	0.1
2201	29.49	101.3	312.3	0.973	0.969	1.005	6.80	6.58	28.56	0.471	250	248	33.7	378	98.3	80.9	39.1	0.3
2202	34.35	101.3	312.5	0.973	0.968	1.005	7.92	7.67	33.25	0.553	251	250	33.5	431	101.4	90.4	39.3	0.9
2200	39.25	101.3	312.3	0.973	0.968	1.005	9.04	8.76	38.01	0.651	259	258	32.5	509	106.3	94.5	39.2	2.5
2199	42.48	101.3	313.8	0.968	0.963	1.006	9.78	9.42	40.89	0.763	281	279	30.0	563	109.4	96.7	40.7	3.6



ตารางที่ ง-8 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2396	0.05	101.2	309.4	0.981	0.977	1.003	0.01	0.01	0.05	0.157	45143	44988	0.2	173	83.2	68.7	36.3	0.1
2401	4.99	101.1	310.2	0.978	0.974	1.004	1.26	1.22	4.87	0.206	590	587	14.3	209	84.9	68.9	37.0	0.0
2402	9.86	101.1	311.2	0.974	0.970	1.005	2.48	2.41	9.57	0.264	383	381	22.0	242	88.2	69.9	38.1	0.0
2401	14.79	101.1	311.6	0.973	0.968	1.005	3.72	3.60	14.32	0.319	309	307	27.3	278	90.6	72.9	38.5	0.0
2400	19.66	101.1	312.2	0.971	0.967	1.005	4.94	4.78	19.01	0.377	275	273	30.7	317	93.7	76.9	39.0	0.0
2401	24.59	101.1	311.8	0.972	0.968	1.005	6.18	5.98	23.79	0.446	260	259	32.4	363	98.2	82.7	38.7	0.3
2407	29.35	101.1	312.2	0.971	0.966	1.005	7.40	7.15	28.35	0.530	258	256	32.7	408	102.0	88.7	39.0	0.6
2401	34.36	101.0	312.1	0.971	0.966	1.005	8.64	8.35	33.19	0.630	262	261	32.1	476	106.5	92.7	38.9	1.5
2398	37.55	101.0	311.4	0.973	0.968	1.005	9.43	9.13	36.36	0.696	266	264	31.7	536	109.7	94.6	38.3	2.5

ตารางที่ 9- แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ที่สภาวะภาระสูงสุด

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2544	0.06	100.8	311.1	0.973	0.968	1.005	0.01	0.01	0.05	0.194	46757	46526	0.2	186	87.5	69.8	38.0	0.2
2497	31.63	100.8	311.9	0.970	0.964	1.006	8.27	7.97	30.50	0.681	297	295	30.9	451	93.3	87.0	38.8	0.4
2448	37.33	100.8	312.2	0.969	0.963	1.006	9.57	9.22	35.96	0.804	302	301	30.3	548	103.2	98.8	39.1	1.3
2397	37.05	100.8	312.6	0.967	0.962	1.006	9.30	8.95	35.63	0.749	290	288	31.6	531	107.4	99.1	39.4	1.2
2349	37.29	100.8	312.4	0.968	0.962	1.006	9.17	8.83	35.88	0.734	288	286	31.8	521	108.7	97.9	39.2	1.1
2298	38.29	100.8	312.3	0.968	0.962	1.006	9.21	8.87	36.84	0.753	294	292	31.2	526	109.1	97.3	39.2	1.5
2249	39.51	100.8	312.4	0.968	0.962	1.006	9.31	8.95	38.02	0.741	287	285	32.0	528	109.3	97.6	39.2	1.6
2198	40.66	100.8	312.4	0.968	0.962	1.006	9.36	9.00	39.12	0.749	288	286	31.8	535	109.3	97.2	39.2	1.8
2098	42.22	100.8	312.5	0.967	0.962	1.006	9.28	8.92	40.61	0.754	293	291	31.3	538	108.9	97.3	39.4	1.8
1998	43.24	100.8	312.2	0.969	0.963	1.006	9.05	8.71	41.65	0.736	293	291	31.3	539	108.1	99.3	39.0	2.3
1798	44.96	100.8	312.7	0.967	0.961	1.006	8.47	8.14	43.21	0.687	292	291	31.4	528	105.9	99.2	39.5	2.8
1597	47.20	100.8	312.1	0.969	0.963	1.006	7.90	7.61	45.47	0.651	297	295	30.9	518	103.3	98.8	38.9	3.6
1399	47.24	100.8	312.0	0.969	0.964	1.006	6.92	6.67	45.53	0.556	289	288	31.7	498	97.8	99.0	38.8	3.6
1205	47.04	100.8	312.3	0.968	0.963	1.006	5.94	5.72	45.30	0.500	303	302	30.2	471	93.1	98.6	39.2	4.0

ตารางที่ ง-10 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ที่ความเร็วรอบ 1,200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1198	0.01	100.8	309.6	0.977	0.973	1.004	0.00	0.00	0.01	0.071	179729	178992	0.1	96	60.5	59.0	36.4	0.0
1202	4.94	100.9	309.7	0.977	0.973	1.004	0.62	0.60	4.80	0.115	668	665	13.7	127	61.8	62.5	36.5	0.0
1203	9.85	100.9	310.2	0.976	0.971	1.004	1.24	1.20	9.56	0.137	397	395	23.1	158	63.4	65.2	37.0	0.0
1203	14.73	100.9	310.3	0.976	0.971	1.004	1.86	1.80	14.31	0.166	322	321	28.4	188	65.1	68.2	37.1	0.0
1203	19.63	100.9	310.4	0.975	0.971	1.004	2.47	2.40	19.06	0.202	294	293	31.1	220	67.3	71.3	37.3	0.1
1198	24.59	100.9	310.0	0.977	0.973	1.004	3.08	3.00	23.92	0.234	274	272	33.5	251	69.1	74.7	36.8	0.2
1196	29.48	101.0	310.0	0.977	0.973	1.004	3.69	3.59	28.69	0.272	265	264	34.6	282	71.2	77.2	36.9	0.1
1202	34.41	101.0	310.1	0.977	0.973	1.004	4.33	4.22	33.49	0.316	263	262	34.9	319	73.1	81.1	36.9	0.3
1199	39.33	101.0	310.2	0.977	0.973	1.004	4.94	4.80	38.27	0.367	267	266	34.2	358	75.6	84.4	37.0	0.5
1197	44.17	101.0	310.0	0.978	0.974	1.004	5.54	5.39	43.01	0.427	278	277	33.0	417	78.7	90.1	36.9	1.6
1190	47.31	101.1	309.7	0.979	0.976	1.004	5.90	5.75	46.15	0.532	325	323	28.2	464	82.6	96.5	36.5	4.1

ตารางที่ ง-11 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ที่ความเร็วรอบ 1,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1395	0.03	101.1	308.6	0.983	0.980	1.003	0.00	0.00	0.03	0.083	74198	73972	0.1	103	63.8	60.6	35.5	0.1
1395	4.94	101.1	309.2	0.981	0.978	1.003	0.72	0.71	4.83	0.118	590	588	15.5	135	64.9	65.2	36.0	0.0
1398	9.85	101.1	308.6	0.983	0.980	1.003	1.44	1.41	9.65	0.159	398	397	23.0	166	66.5	67.9	35.4	0.0
1398	14.73	101.1	308.4	0.984	0.981	1.003	2.16	2.12	14.45	0.190	317	316	28.8	197	68.2	70.3	35.3	0.1
1400	19.67	101.2	308.3	0.984	0.982	1.003	2.88	2.83	19.31	0.228	285	284	32.0	231	70.0	72.9	35.1	0.0
1400	24.56	101.2	308.8	0.983	0.980	1.003	3.60	3.53	24.06	0.268	268	267	34.1	264	71.6	75.2	35.7	0.0
1402	29.51	101.2	309.1	0.982	0.979	1.003	4.33	4.24	28.89	0.314	261	260	35.0	296	73.6	79.3	35.9	0.2
1403	34.37	101.2	308.3	0.985	0.982	1.003	5.05	4.96	33.75	0.364	259	259	35.2	332	76.6	82.6	35.1	0.3
1398	39.32	101.2	307.7	0.987	0.984	1.002	5.76	5.67	38.71	0.417	261	260	35.1	374	79.3	87.1	34.5	0.4
1405	44.23	101.2	308.3	0.985	0.982	1.003	6.51	6.39	43.45	0.499	276	275	33.1	426	83.0	90.3	35.1	1.1
1403	48.36	101.2	308.7	0.983	0.980	1.003	7.11	6.97	47.41	0.593	300	299	30.4	488	86.9	98.3	35.6	3.8

ตารางที่ ง-12 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ที่ความเร็วรอบ 1,600 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1595	0.12	101.2	308.1	0.985	0.982	1.003	0.02	0.02	0.12	0.094	16228	16185	0.6	114	69.2	65.2	35.0	0.0
1603	4.91	101.1	307.7	0.986	0.984	1.002	0.82	0.81	4.83	0.136	592	591	15.4	143	70.7	67.4	34.5	0.1
1601	9.86	101.1	307.4	0.987	0.985	1.002	1.65	1.63	9.71	0.181	394	393	23.2	175	72.3	69.8	34.3	0.1
1603	14.76	101.1	307.5	0.986	0.984	1.002	2.48	2.44	14.52	0.227	329	328	27.8	207	74.2	72.4	34.4	0.1
1597	19.65	101.1	307.6	0.986	0.983	1.003	3.29	3.23	19.33	0.262	287	287	31.8	240	76.4	75.5	34.5	0.1
1601	24.56	101.1	308.0	0.985	0.982	1.003	4.12	4.04	24.12	0.305	267	266	34.2	275	78.2	78.2	34.9	0.2
1603	29.46	101.1	307.7	0.986	0.983	1.003	4.94	4.86	28.96	0.355	259	258	35.3	307	80.4	81.7	34.5	0.3
1603	34.36	101.1	307.7	0.985	0.983	1.003	5.77	5.67	33.77	0.413	258	257	35.5	344	82.9	84.9	34.6	0.3
1597	39.29	101.1	307.4	0.986	0.984	1.002	6.57	6.46	38.65	0.479	263	262	34.8	388	85.4	87.7	34.3	0.5
1601	44.23	101.0	307.8	0.985	0.982	1.003	7.41	7.28	43.44	0.573	278	277	32.9	447	88.5	91.9	34.7	1.2
1597	47.84	101.0	307.8	0.985	0.982	1.003	8.00	7.86	46.98	0.695	313	312	29.2	519	94.5	99.7	34.6	3.2



ตารางที่ ง-13 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ที่ความเร็วรอบ 1,800 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1800	0.17	101.4	305.2	0.997	0.996	1.001	0.03	0.03	0.17	0.119	13567	13558	0.7	125	69.3	67.5	32.1	0.0
1799	4.94	101.4	305.0	0.997	0.997	1.000	0.93	0.93	4.92	0.148	572	571	16.0	154	71.2	68.6	31.9	0.2
1800	9.84	101.4	305.1	0.997	0.996	1.001	1.85	1.85	9.80	0.202	393	393	23.2	186	72.7	70.7	32.0	0.3
1803	14.77	101.4	305.2	0.997	0.996	1.001	2.79	2.78	14.71	0.254	328	328	27.8	221	74.9	73.8	32.0	0.2
1803	19.68	101.4	305.1	0.997	0.996	1.001	3.72	3.70	19.61	0.310	300	300	30.4	255	78.4	77.5	31.9	0.1
1803	24.57	101.4	305.4	0.996	0.995	1.001	4.64	4.62	24.45	0.356	276	276	33.0	292	80.9	79.3	32.3	0.3
1801	29.46	101.3	305.8	0.994	0.993	1.001	5.56	5.52	29.25	0.408	264	264	34.5	332	84.2	81.8	32.7	0.2
1802	34.36	101.3	305.6	0.994	0.993	1.001	6.49	6.44	34.13	0.473	263	262	34.7	374	86.7	85.5	32.5	0.3
1799	39.28	101.3	306.8	0.990	0.989	1.002	7.40	7.32	38.84	0.546	266	265	34.4	421	90.0	89.1	33.6	0.5
1799	44.20	101.3	306.6	0.991	0.989	1.002	8.33	8.24	43.72	0.642	278	277	32.9	488	94.4	95.3	33.4	1.5
1802	46.45	101.2	306.9	0.990	0.988	1.002	8.76	8.66	45.88	0.713	293	292	31.2	525	96.0	102.1	33.8	2.4

ตารางที่ ง-14 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ที่ความเร็วรอบ 2,000 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1994	0.01	101.2	306.8	0.989	0.987	1.002	0.00	0.00	0.01	0.133	212467	212065	0.0	138	75.6	69.9	33.7	0.1
1996	4.97	101.2	307.1	0.988	0.986	1.002	1.04	1.02	4.90	0.172	594	593	15.4	169	77.2	72.2	34.0	0.1
2000	9.82	101.1	308.0	0.985	0.983	1.003	2.06	2.02	9.65	0.235	411	410	22.2	201	80.1	75.4	34.8	0.2
2002	14.74	101.1	307.6	0.986	0.984	1.002	3.09	3.04	14.50	0.292	340	339	26.9	235	83.2	78.9	34.5	0.2
2003	19.66	101.1	307.7	0.986	0.983	1.003	4.12	4.05	19.33	0.354	310	309	29.5	271	86.0	81.4	34.5	0.2
2001	24.56	101.1	308.0	0.985	0.982	1.003	5.15	5.05	24.12	0.409	286	286	31.9	310	87.7	83.7	34.8	0.2
2000	29.43	101.1	308.1	0.984	0.981	1.003	6.16	6.05	28.88	0.480	281	280	32.6	354	89.9	85.7	35.0	0.4
2002	34.33	101.1	308.6	0.983	0.980	1.003	7.20	7.05	33.63	0.550	275	274	33.3	401	92.7	89.5	35.4	0.4
1997	39.22	101.0	308.1	0.984	0.981	1.003	8.20	8.05	38.48	0.639	281	280	32.6	455	95.3	93.6	34.9	0.9
2007	44.26	101.0	308.9	0.981	0.978	1.003	9.30	9.10	43.28	0.759	294	293	31.1	543	98.2	98.9	35.8	2.2
1996	44.24	101.0	309.5	0.979	0.975	1.004	9.25	9.02	43.14	0.768	299	298	30.6	544	101.3	100.4	36.4	2.2

ตารางที่ ง-15 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ที่ความเร็วรอบ 2.200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2196	-0.02	101.0	308.1	0.983	0.980	1.003	-0.01	-0.01	-0.02	0.154	102272	-101969	-0.1	154	81.5	71.0	34.9	0.1
2198	4.91	101.0	308.3	0.982	0.979	1.003	1.13	1.11	4.81	0.205	653	651	14.0	187	82.8	73.0	35.2	0.1
2196	9.85	101.0	308.5	0.982	0.978	1.003	2.27	2.22	9.64	0.275	437	436	20.9	222	85.3	76.1	35.4	0.1
2201	14.70	100.9	308.8	0.981	0.977	1.003	3.39	3.31	14.36	0.336	357	355	25.6	260	87.9	79.4	35.7	0.1
2200	19.64	100.9	309.1	0.979	0.976	1.004	4.52	4.42	19.17	0.402	320	319	28.6	296	89.9	81.2	36.0	0.1
2202	24.56	100.9	309.6	0.978	0.974	1.004	5.66	5.51	23.92	0.471	300	298	30.6	339	92.3	83.6	36.5	0.1
2199	29.52	100.9	310.3	0.975	0.971	1.004	6.80	6.60	28.67	0.539	285	284	32.1	385	94.3	86.1	37.2	0.2
2198	34.38	100.9	309.7	0.978	0.974	1.004	7.91	7.70	33.47	0.616	280	279	32.7	436	96.6	89.7	36.5	0.3
2200	39.27	100.9	310.0	0.976	0.972	1.004	9.05	8.80	38.18	0.728	290	289	31.6	509	101.2	100.7	36.9	0.9
2202	40.94	100.9	310.6	0.974	0.970	1.005	9.44	9.16	39.71	0.780	298	296	30.8	545	105.9	103.7	37.5	1.6

ตารางที่ ง-16 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ที่ความเร็วรอบ 2,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2396	0.05	100.9	309.4	0.978	0.974	1.004	0.01	0.01	0.05	0.163	42629	42461	0.2	175	86.6	72.9	36.3	0.0
2396	4.94	100.9	310.0	0.976	0.972	1.004	1.24	1.20	4.80	0.236	687	684	13.3	210	87.6	75.5	36.9	0.0
2397	9.82	100.9	310.0	0.976	0.972	1.004	2.46	2.39	9.54	0.316	462	460	19.8	245	90.0	78.4	36.9	0.0
2396	14.77	100.9	310.3	0.975	0.971	1.004	3.71	3.60	14.34	0.371	360	358	25.4	283	92.7	81.7	37.1	0.1
2394	19.68	100.9	310.8	0.974	0.969	1.005	4.93	4.78	19.07	0.444	324	323	28.2	324	94.3	83.1	37.7	0.1
2395	24.52	100.9	310.6	0.974	0.970	1.005	6.15	5.96	23.78	0.522	306	304	30.0	369	97.7	86.2	37.4	0.2
2392	29.52	100.9	310.6	0.975	0.970	1.005	7.40	7.18	28.64	0.597	291	289	31.5	418	102.1	89.4	37.4	0.3
2400	34.47	100.9	310.6	0.975	0.970	1.005	8.66	8.41	33.44	0.690	287	285	31.9	484	104.6	92.8	37.4	0.5
2397	37.49	100.9	311.1	0.973	0.968	1.005	9.41	9.11	36.29	0.770	295	293	31.1	533	106.2	99.2	38.0	1.0

ตารางที่ ง-17 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel องศาฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 20 BTDC ที่สภาวะภาระสูงสุด

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2553	-0.75	102.0	302.7	1.011	1.013	0.998	-0.20	-0.20	-0.76	0.163	-2920	-2926	-3.1	188	86.9	70.4	29.5	0.0
2536	10.98	102.0	302.6	1.011	1.013	0.998	2.92	2.95	11.12	0.336	415	416	21.9	267	91.2	75.0	29.5	0.0
2514	22.09	102.0	303.0	1.010	1.011	0.998	5.81	5.88	22.34	0.516	319	320	28.5	359	96.1	80.7	29.8	0.2
2479	34.02	102.0	303.2	1.009	1.010	0.998	8.83	8.92	34.37	0.683	279	279	32.7	472	99.8	85.0	30.0	0.5
2468	36.72	101.9	303.9	1.006	1.008	0.999	9.49	9.56	37.00	0.758	288	288	31.7	508	102.4	87.8	30.7	0.8
2401	38.25	101.6	304.8	1.000	1.001	1.000	9.61	9.62	38.27	0.790	296	296	30.8	548	104.8	95.6	31.6	1.0
2100	44.43	101.6	304.5	1.001	1.001	1.000	9.77	9.78	44.49	0.737	272	272	33.6	564	108.2	97.5	31.4	1.8
1703	49.33	101.6	304.3	1.002	1.002	1.000	8.80	8.81	49.44	0.669	274	274	33.3	554	109.6	100.1	31.2	2.0
1395	49.24	101.6	304.3	1.002	1.002	1.000	7.20	7.21	49.34	0.551	276	276	33.1	521	108.9	99.8	31.1	2.3
1190	47.76	101.6	304.0	1.003	1.003	1.000	5.95	5.97	47.92	0.438	265	265	34.4	481	105.6	98.2	30.8	2.2



ตารางที่ ง-18 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel องศาฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 20 BTDC ที่ความเร็วรอบ 1,400 1700 2100 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1410	10.86	101.6	304.0	1.003	1.003	0.999	1.60	1.61	10.90	0.160	359	359	25.4	177	82.4	68.3	30.8	0.1
1401	22.65	101.6	303.8	1.003	1.004	0.999	3.32	3.33	22.73	0.247	268	268	34.0	256	85.9	74.6	30.6	0.2
1406	34.31	101.5	304.2	1.001	1.002	1.000	5.05	5.06	34.36	0.347	247	248	36.8	339	93.1	81.7	31.0	0.3
1699	10.87	101.6	303.6	1.004	1.005	0.999	1.93	1.94	10.92	0.201	375	375	24.3	191	83.2	69.6	30.4	0.0
1696	22.62	101.6	303.9	1.003	1.003	1.000	4.02	4.03	22.70	0.313	281	281	32.5	275	88.3	76.6	30.7	0.0
1698	34.26	101.5	304.5	1.000	1.001	1.000	6.09	6.09	34.28	0.438	259	259	35.2	369	95.4	81.9	31.3	0.2
2100	10.89	101.6	304.1	1.002	1.003	1.000	2.39	2.40	10.92	0.269	404	404	22.5	226	87.4	72.6	30.9	0.0
2094	22.77	101.6	304.5	1.001	1.001	1.000	4.99	5.00	22.79	0.412	297	297	30.7	315	91.8	78.1	31.4	0.0
2094	34.31	101.5	304.8	1.000	0.999	1.000	7.52	7.52	34.29	0.569	272	272	33.5	418	98.5	85.0	31.6	0.0

ตารางที่ ง-21 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel องศาดีนน้ำมันเชื้อเพลิง 23 BTDC ที่สภาวะภาระสูงสุด

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2555	0.00	101.8	302.0	1.012	1.014	0.998	0.00	0.00	0.00	0.163	666739	668086	0.0	180	93.0	76.1	28.8	0.0
2535	11.09	101.8	301.9	1.012	1.014	0.998	2.94	2.99	11.24	0.338	413	414	22.0	255	94.8	77.7	28.7	0.0
2520	22.25	101.8	302.0	1.011	1.013	0.998	5.87	5.95	22.55	0.500	306	307	29.7	343	97.4	81.1	28.8	0.1
2501	33.66	101.8	301.9	1.012	1.014	0.998	8.81	8.93	34.11	0.705	288	288	31.6	451	101.6	87.8	28.8	0.0
2488	36.57	101.8	302.1	1.011	1.013	0.998	9.53	9.65	37.05	0.731	276	277	32.9	483	105.3	91.7	28.9	0.3
2398	39.88	101.8	301.9	1.012	1.014	0.998	10.02	10.15	40.43	0.773	278	278	32.7	505	108.9	93.5	28.7	0.4
2101	44.74	101.8	301.9	1.012	1.014	0.998	9.84	9.98	45.36	0.722	264	265	34.4	508	109.7	94.8	28.7	1.1
1702	49.67	101.8	301.1	1.014	1.017	0.998	8.85	9.00	50.51	0.641	261	261	34.9	510	109.3	96.8	28.0	1.6
1392	50.11	101.8	301.1	1.014	1.017	0.998	7.31	7.43	50.95	0.520	256	257	35.5	484	107.3	97.2	28.0	1.7
1145	46.25	101.8	301.0	1.015	1.017	0.997	5.54	5.64	47.05	0.395	256	257	35.5	433	103.2	94.0	27.8	2.0

ตารางที่ ง-22 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel องศาดีดน้ำมันเชื้อเพลิง 23 BTDC ที่ความเร็วรอบ 1,400 1700 2100rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	°C	°C	°C	°C	BSN
1411	11.04	101.9	300.8	1.016	1.019	0.997	1.63	1.66	11.24	0.154	341	342	26.7	174	85.5	72.6	27.6	0.0
1398	22.94	101.8	300.2	1.018	1.021	0.997	3.36	3.43	23.42	0.250	268	269	33.9	251	86.4	77.3	27.0	0.2
1407	35.00	101.8	300.5	1.016	1.019	0.997	5.16	5.26	35.67	0.352	246	246	37.0	337	92.1	85.1	27.4	0.4
1700	11.05	101.9	300.7	1.016	1.019	0.997	1.97	2.01	11.26	0.206	376	377	24.1	188	85.6	73.0	27.6	0.0
1703	22.98	101.8	300.3	1.017	1.020	0.997	4.10	4.18	23.44	0.329	289	290	31.4	272	87.7	77.9	27.2	0.3
1697	34.90	101.8	300.9	1.015	1.018	0.997	6.20	6.31	35.52	0.452	262	263	34.7	361	94.2	85.0	27.7	0.3
2104	11.02	101.9	300.5	1.017	1.020	0.997	2.43	2.48	11.24	0.278	412	413	22.1	220	88.3	75.6	27.4	0.0
2095	23.03	101.8	300.6	1.016	1.019	0.997	5.05	5.15	23.47	0.412	294	295	30.9	305	91.9	80.8	27.4	0.0
2093	34.98	101.8	301.2	1.014	1.017	0.998	7.67	7.79	35.56	0.565	265	266	34.2	406	97.9	87.8	28.0	0.4

ตารางที่ ง-25 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel องศาดีนน้ำมันเชื้อเพลิง 17 BTDC ที่สภาวะภาวะสูงสุด

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2550	-0.33	101.7	303.6	1.004	1.005	0.999	-0.09	-0.09	-0.33	0.163	-6755	-6760	-1.3	194	90.5	73.3	30.5	0.0
2527	11.01	101.6	303.5	1.005	1.005	0.999	2.91	2.93	11.07	0.353	436	436	20.9	272	93.0	76.7	30.4	0.0
2466	22.44	101.6	303.6	1.004	1.005	0.999	5.79	5.82	22.55	0.498	309	309	29.5	360	99.8	84.0	30.4	0.2
2447	34.45	101.6	303.6	1.004	1.005	0.999	8.83	8.87	34.62	0.696	284	284	32.1	492	104.4	89.2	30.4	0.3
2445	37.24	101.6	303.9	1.003	1.004	0.999	9.53	9.57	37.38	0.728	275	275	33.1	534	107.8	92.2	30.8	0.3
2399	41.36	101.6	304.3	1.002	1.002	1.000	10.39	10.42	41.46	0.858	297	297	30.7	624	113.2	100.4	31.1	1.5
2098	48.55	101.6	304.9	1.000	1.000	1.000	10.67	10.67	48.54	0.960	324	324	28.1	661	115.6	105.1	31.8	4.5
1707	52.27	101.6	304.7	1.001	1.001	1.000	9.34	9.35	52.31	0.841	324	324	28.1	597	113.9	102.7	31.5	5.7
1410	52.47	101.6	304.5	1.001	1.001	1.000	7.75	7.76	52.54	0.724	337	337	27.1	554	110.9	101.5	31.4	6.1
1241	52.12	101.6	304.4	1.002	1.002	1.000	6.77	6.79	52.22	0.640	340	340	26.8	525	107.7	100.3	31.2	6.5

ตารางที่ ง-26 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel องศาฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 17 BTDC ที่ความเร็วรอบ 1,400 1700 2100rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	°C	°C	°C	°C	BSN
1429	10.98	101.7	302.9	1.007	1.008	0.999	1.64	1.66	11.06	0.163	357	357	25.5	177	79.3	69.5	29.8	0.7
1405	22.47	101.7	302.5	1.008	1.010	0.999	3.31	3.34	22.69	0.252	274	274	33.2	258	84.5	73.5	29.4	0.1
1407	34.51	101.7	302.7	1.008	1.010	0.999	5.08	5.13	34.84	0.355	252	252	36.2	350	90.0	80.8	29.6	0.5
1705	11.04	101.7	303.1	1.006	1.007	0.999	1.97	1.99	11.12	0.205	374	374	24.4	192	80.9	69.7	30.0	0.3
1692	22.51	101.7	302.9	1.007	1.009	0.999	3.99	4.02	22.71	0.312	281	282	32.4	275	86.6	75.4	29.7	0.4
1699	34.52	101.7	302.6	1.009	1.010	0.998	6.14	6.21	34.88	0.441	258	259	35.2	382	91.7	81.0	29.4	0.4
2104	10.95	101.7	303.4	1.005	1.006	0.999	2.41	2.43	11.02	0.270	403	403	22.6	228	84.3	72.2	30.3	0.0
2094	22.55	101.7	302.9	1.008	1.009	0.999	4.94	4.99	22.75	0.418	305	305	29.9	319	90.6	78.2	29.7	0.0
2101	34.49	101.8	302.9	1.008	1.009	0.999	7.59	7.66	34.80	0.596	283	283	32.2	439	96.6	84.8	29.8	0.2



ตารางที่ ง-29 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุด

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2543	0.03	100.8	307.9	0.983	0.980	1.003	0.01	0.01	0.03	0.175	71780	71560	0.1	177	83.2	73.6	0.6	0.2
2497	25.59	100.8	309.7	0.977	0.973	1.004	6.69	6.51	24.89	0.524	282	281	29.8	372	96.3	88.5	0.5	0.8
2447	37.35	100.9	312.7	0.968	0.962	1.006	9.57	9.20	35.92	0.755	284	282	29.7	528	108.5	104.2	0.4	2.6
2397	37.80	100.9	312.2	0.969	0.964	1.006	9.49	9.14	36.42	0.728	276	275	30.5	526	109.3	101.8	0.4	2.7
2350	38.59	100.9	311.4	0.972	0.967	1.005	9.50	9.18	37.31	0.747	283	282	29.7	530	108.4	108.1	0.4	2.9
2298	39.30	100.9	311.2	0.973	0.968	1.005	9.46	9.15	38.03	0.730	278	276	30.3	533	110.8	106.7	0.4	3.1
2248	40.16	100.9	311.6	0.971	0.966	1.005	9.45	9.13	38.79	0.717	273	272	30.8	537	111.2	106.3	0.4	3.3
2197	41.38	100.9	311.8	0.970	0.965	1.005	9.52	9.19	39.94	0.731	276	275	30.4	542	110.9	105.3	0.4	3.5
2099	42.53	100.9	311.6	0.971	0.966	1.005	9.35	9.03	41.08	0.685	264	262	31.9	542	110.1	104.8	0.4	3.7
2001	43.83	100.9	311.4	0.972	0.967	1.005	9.18	8.88	42.37	0.699	274	273	30.7	541	109.6	104.9	0.4	4.0
1797	46.33	100.9	311.4	0.972	0.967	1.005	8.72	8.43	44.78	0.656	271	269	31.1	526	108.3	105.3	0.4	4.1
1598	47.64	100.9	310.2	0.975	0.971	1.004	7.97	7.74	46.26	0.592	267	266	31.5	510	106.5	105.2	0.4	4.3
1400	46.98	100.8	309.5	0.977	0.973	1.004	6.89	6.71	45.74	0.545	285	284	29.5	494	100.5	103.5	0.5	5.2
1202	46.49	100.8	309.4	0.978	0.974	1.004	5.85	5.70	45.27	0.478	294	293	28.6	463	95.9	104.1	0.5	5.8

ตารางที่ ง-30 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1196	0.02	101.2	302.8	1.003	1.003	0.999	0.00	0.00	0.02	0.068	89008	89053	0.1	93	56.7	55.2	0.7	0.3
1200	4.93	101.1	303.9	0.998	0.998	1.000	0.62	0.62	4.92	0.087	506	506	16.5	128	59.9	59.2	0.7	0.6
1197	9.83	101.1	305.1	0.994	0.993	1.001	1.23	1.22	9.76	0.118	344	344	24.3	157	62.6	63.3	0.7	0.5
1192	14.78	101.1	306.4	0.990	0.988	1.002	1.85	1.82	14.60	0.153	299	298	28.1	186	66.9	68.1	0.7	0.4
1192	19.65	101.1	307.7	0.985	0.983	1.003	2.45	2.41	19.31	0.181	266	265	31.5	218	69.8	72.0	0.6	0.4
1199	24.54	101.1	308.1	0.984	0.981	1.003	3.08	3.02	24.08	0.212	248	247	33.9	254	72.2	75.5	0.6	0.4
1195	29.47	101.0	308.3	0.983	0.980	1.003	3.69	3.62	28.90	0.245	239	239	35.1	292	75.3	79.5	0.6	0.6
1198	34.42	101.0	309.5	0.979	0.976	1.004	4.32	4.21	33.58	0.287	239	238	35.1	330	79.4	83.6	0.6	1.1
1177	39.31	101.0	309.4	0.979	0.976	1.004	4.85	4.73	38.36	0.340	252	251	33.3	374	84.2	88.7	0.6	2.0
1201	44.23	101.0	310.3	0.977	0.972	1.004	5.56	5.41	43.01	0.432	279	278	30.1	431	87.8	92.8	0.5	3.7
1197	47.00	101.0	310.5	0.976	0.972	1.004	5.89	5.72	45.66	0.516	316	314	26.7	452	90.4	98.0	0.5	6.0

ตารางที่ ง-31 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1397	-0.02	101.0	310.3	0.976	0.972	1.004	0.00	0.00	-0.02	0.072	100631	-100207	-0.1	103	63.3	59.2	0.5	0.0
1405	4.93	100.9	312.6	0.968	0.962	1.006	0.73	0.70	4.74	0.100	497	495	16.9	134	66.5	64.4	0.5	-0.1
1394	9.82	100.8	313.0	0.966	0.960	1.006	1.43	1.38	9.43	0.133	333	331	25.3	168	68.3	67.5	0.5	0.1
1396	14.72	100.8	313.7	0.964	0.958	1.007	2.15	2.06	14.10	0.176	294	293	28.6	200	70.3	70.7	0.5	0.0
1401	19.63	100.8	313.4	0.965	0.959	1.006	2.88	2.76	18.83	0.210	262	261	32.1	233	72.1	73.8	0.4	0.0
1400	24.55	100.8	313.4	0.965	0.959	1.006	3.60	3.45	23.54	0.242	242	241	34.8	263	74.3	77.2	0.5	0.1
1399	29.47	100.8	314.6	0.961	0.954	1.007	4.32	4.12	28.12	0.284	237	235	35.6	301	77.4	81.2	0.4	0.1
1398	34.38	100.7	315.2	0.958	0.951	1.008	5.03	4.79	32.70	0.328	235	233	35.9	338	84.1	85.7	0.4	0.2
1391	39.28	100.7	315.3	0.958	0.951	1.008	5.72	5.44	37.35	0.380	239	237	35.3	379	86.4	89.2	0.4	0.7
1393	44.21	100.7	316.6	0.954	0.946	1.009	6.45	6.10	41.82	0.476	266	264	31.8	436	89.8	94.6	0.4	2.4
1402	46.88	100.7	316.8	0.953	0.945	1.009	6.88	6.51	44.31	0.596	312	309	27.1	480	94.6	98.0	0.4	6.3

ตารางที่ ง-32 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,600 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1596	0.04	100.7	312.8	0.966	0.960	1.006	0.01	0.01	0.04	0.086	47239	46945	0.2	113	68.7	63.5	0.5	-0.1
1599	4.93	100.7	312.1	0.968	0.962	1.006	0.83	0.79	4.75	0.124	540	537	15.6	144	69.9	66.3	0.5	-0.1
1594	9.83	100.7	312.5	0.967	0.961	1.006	1.64	1.58	9.44	0.162	356	353	23.7	176	71.8	69.7	0.5	-0.1
1596	14.74	100.7	310.7	0.972	0.967	1.005	2.46	2.38	14.26	0.202	295	293	28.5	207	74.1	71.5	0.6	-0.1
1597	19.61	100.7	311.6	0.970	0.964	1.006	3.28	3.16	18.91	0.243	267	265	31.6	243	75.8	74.9	0.6	0.3
1595	24.54	100.7	312.3	0.967	0.961	1.006	4.10	3.94	23.59	0.283	249	247	33.8	279	78.3	78.5	0.6	0.2
1592	29.48	100.7	312.8	0.966	0.959	1.006	4.92	4.72	28.29	0.327	240	238	35.2	315	81.7	83.4	0.5	0.4
1602	34.35	100.7	312.7	0.966	0.960	1.006	5.76	5.53	32.98	0.372	232	231	36.2	354	85.1	87.4	0.5	0.5
1600	39.27	100.7	313.6	0.963	0.957	1.007	6.58	6.29	37.56	0.435	238	237	35.4	395	90.0	92.4	0.5	0.6
1587	44.21	100.6	314.3	0.961	0.954	1.007	7.35	7.01	42.16	0.538	264	262	32.0	456	98.1	101.8	0.4	1.9
1593	46.78	100.6	314.6	0.960	0.953	1.007	7.81	7.44	44.57	0.629	290	288	29.1	503	100.6	102.8	0.4	5.5

ตารางที่ ง-33 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,800 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1795	0.00	100.7	310.3	0.974	0.969	1.005	0.00	0.00	0.00	0.105	2338764	-2327715	0.0	123	72.1	65.5	0.6	0.0
1799	4.92	100.7	310.1	0.974	0.970	1.005	0.93	0.90	4.77	0.145	565	562	14.9	153	74.0	68.6	0.5	-0.1
1796	9.84	100.7	310.8	0.972	0.967	1.005	1.85	1.79	9.51	0.181	353	351	23.8	185	75.6	71.4	0.5	0.0
1801	14.74	100.7	311.0	0.972	0.967	1.005	2.78	2.69	14.25	0.233	301	300	27.9	217	79.3	75.7	0.5	-0.1
1798	19.63	100.8	311.0	0.972	0.967	1.005	3.70	3.57	18.98	0.277	270	268	31.2	252	81.5	78.1	0.5	0.0
1799	24.56	100.8	311.7	0.970	0.965	1.005	4.63	4.46	23.69	0.324	252	251	33.4	288	83.7	80.7	0.5	0.3
1800	29.45	100.8	311.4	0.971	0.966	1.005	5.55	5.36	28.44	0.373	242	240	34.8	330	85.6	82.9	0.5	0.5
1794	34.34	100.8	311.9	0.969	0.964	1.006	6.45	6.22	33.11	0.431	240	239	35.0	374	88.6	87.0	0.5	0.6
1783	39.23	100.8	312.2	0.969	0.963	1.006	7.32	7.05	37.78	0.504	248	246	34.0	421	92.1	96.0	0.5	0.8
1794	44.12	100.8	312.5	0.968	0.962	1.006	8.29	7.97	42.44	0.600	261	259	32.3	484	101.1	103.9	0.5	2.5
1796	46.96	100.8	313.5	0.965	0.959	1.006	8.83	8.47	45.01	0.686	280	278	30.1	527	103.1	105.2	0.4	5.0



ตารางที่ ง-34 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,000 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1999	-0.02	100.9	309.8	0.977	0.973	1.004	0.00	0.00	-0.02	0.125	122758	-122255	-0.1	133	74.1	63.2	0.5	-0.1
1999	4.91	100.9	310.3	0.975	0.971	1.004	1.03	1.00	4.77	0.167	585	583	14.4	166	76.6	65.5	0.4	-0.1
2004	9.82	100.9	309.7	0.977	0.973	1.004	2.06	2.01	9.56	0.211	368	367	22.8	199	79.5	69.6	0.4	-0.1
2002	14.79	100.9	309.8	0.977	0.973	1.004	3.10	3.02	14.39	0.252	293	291	28.7	232	82.7	72.9	0.4	0.0
1997	19.60	100.9	311.4	0.972	0.967	1.005	4.10	3.96	18.95	0.305	268	266	31.4	266	85.9	76.9	0.4	0.0
1990	24.58	100.8	309.6	0.977	0.973	1.004	5.12	4.98	23.92	0.360	253	252	33.2	305	88.8	79.7	0.4	0.1
2003	29.47	100.8	311.4	0.971	0.966	1.005	6.18	5.97	28.47	0.430	251	249	33.6	346	92.3	83.9	0.4	0.4
2005	34.38	100.8	313.0	0.966	0.960	1.006	7.22	6.93	33.01	0.505	252	250	33.5	396	96.2	89.3	0.4	1.1
1992	39.36	100.8	312.8	0.967	0.961	1.006	8.21	7.89	37.81	0.590	259	257	32.6	460	102.2	98.6	0.4	2.2
1995	44.20	100.7	314.7	0.961	0.954	1.007	9.23	8.81	42.15	0.730	284	282	29.6	543	105.3	99.1	0.3	4.5
1998	43.99	100.7	314.6	0.961	0.954	1.007	9.20	8.78	41.95	0.794	311	308	27.1	539	106.0	100.0	0.3	4.5

ตารางที่ ง-35 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2.200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2193	0.00	100.7	311.8	0.969	0.964	1.006	0.00	0.00	0.00	0.143	1031522	1025761	0.0	150	77.8	65.0	0.4	0.0
2192	4.92	100.7	311.1	0.971	0.966	1.005	1.13	1.09	4.75	0.189	604	601	13.9	183	80.8	68.8	0.4	-0.1
2204	9.82	100.7	310.8	0.972	0.967	1.005	2.27	2.19	9.49	0.243	387	385	21.8	219	85.3	73.0	0.4	-0.1
2203	14.71	100.7	312.0	0.968	0.962	1.006	3.39	3.27	14.16	0.302	321	319	26.3	252	88.1	76.0	0.4	-0.1
2198	19.67	100.7	312.2	0.967	0.962	1.006	4.53	4.35	18.91	0.351	279	277	30.2	288	90.7	78.4	0.4	0.1
2196	24.53	100.7	311.6	0.969	0.964	1.006	5.64	5.44	23.65	0.410	261	260	32.2	327	93.4	82.1	0.4	0.1
2197	29.42	100.7	310.3	0.973	0.969	1.005	6.77	6.55	28.49	0.481	256	255	32.8	367	98.3	86.4	0.5	0.3
2196	34.32	100.7	310.7	0.972	0.967	1.005	7.89	7.63	33.20	0.567	258	257	32.6	421	101.4	92.4	0.5	1.0
2196	39.28	100.7	311.1	0.971	0.966	1.005	9.03	8.73	37.94	0.687	274	272	30.8	501	106.3	97.6	0.5	2.1
2196	39.28	100.7	311.1	0.971	0.966	1.005	9.03	8.73	37.94	0.687	274	272	30.8	501	106.3	97.6	0.5	2.1

ตารางที่ ง-36 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2396	0.03	100.9	312.4	0.969	0.964	1.006	0.01	0.01	0.03	0.161	80689	80240	0.1	165	83.2	67.1	0.4	-0.1
2400	5.06	100.9	312.1	0.970	0.965	1.005	1.27	1.23	4.88	0.204	578	575	14.6	201	84.9	68.9	0.4	-0.1
2403	9.77	100.9	312.9	0.967	0.962	1.006	2.46	2.37	9.40	0.274	402	399	21.0	236	88.2	73.0	0.4	-0.1
2406	14.67	100.9	311.7	0.971	0.966	1.005	3.70	3.57	14.17	0.339	331	329	25.5	272	90.6	75.8	0.4	0.0
2398	19.61	100.9	311.6	0.971	0.966	1.005	4.92	4.76	18.94	0.400	292	291	28.8	311	93.7	79.7	0.4	0.0
2403	24.48	100.8	313.8	0.964	0.958	1.007	6.16	5.90	23.45	0.469	274	273	30.7	357	98.2	84.6	0.4	0.3
2401	29.49	100.8	313.4	0.965	0.959	1.006	7.41	7.11	28.29	0.548	266	265	31.7	404	102.0	89.0	0.4	0.7
2399	34.38	100.8	312.7	0.967	0.961	1.006	8.64	8.30	33.05	0.657	274	272	30.8	465	106.5	97.1	0.4	1.5
2397	37.59	100.8	314.6	0.961	0.954	1.007	9.44	9.01	35.87	0.743	283	281	29.7	533	109.7	98.4	0.4	2.8

ตารางที่ ง-37 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุด

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2552	-0.46	101.4	310.9	0.979	0.975	1.004	-0.12	-0.12	-0.45	0.175	-5113	-5093	-1.6	205	86.7	73.9	0.5	0.2
2502	25.87	101.4	311.4	0.977	0.973	1.004	6.78	6.59	25.17	0.518	275	274	30.6	424	93.5	85.0	0.5	0.9
2450	33.64	101.4	312.8	0.972	0.968	1.005	8.63	8.35	32.54	0.639	267	265	31.5	514	100.6	97.2	0.5	1.5
2399	36.76	101.4	312.2	0.974	0.969	1.005	9.23	8.95	35.64	0.701	273	272	30.8	566	110.5	101.8	0.5	3.2
2347	37.21	101.4	313.2	0.971	0.966	1.005	9.15	8.83	35.93	0.688	271	269	31.1	562	110.6	101.7	0.5	2.8
2300	38.35	101.4	312.8	0.972	0.967	1.005	9.24	8.93	37.09	0.687	268	267	31.4	567	110.6	101.8	0.5	2.9
2250	39.07	101.3	313.0	0.971	0.966	1.005	9.21	8.89	37.75	0.684	268	266	31.5	569	110.5	101.0	0.5	3.1
2202	40.35	101.3	311.0	0.977	0.973	1.004	9.30	9.05	39.27	0.692	268	267	31.4	576	109.9	99.6	0.5	3.4
2101	41.78	101.3	312.5	0.973	0.968	1.005	9.19	8.90	40.44	0.682	267	266	31.5	576	109.0	99.3	0.5	3.7
2001	42.62	101.3	312.8	0.972	0.967	1.005	8.93	8.63	41.20	0.661	267	265	31.6	571	108.1	100.0	0.5	3.7
1800	45.43	101.3	313.1	0.971	0.966	1.005	8.56	8.27	43.87	0.640	269	268	31.3	563	107.1	100.6	0.5	4.5
1603	46.69	101.3	312.3	0.973	0.968	1.005	7.84	7.59	45.20	0.577	265	264	31.7	542	105.3	100.8	0.5	4.4
1403	47.03	101.3	312.8	0.971	0.966	1.005	6.91	6.68	45.44	0.518	270	269	31.2	519	103.0	101.1	0.5	5.0
1201	46.38	101.3	313.1	0.970	0.965	1.005	5.84	5.63	44.76	0.468	289	287	29.1	489	99.5	100.7	0.5	5.6

ตารางที่ ง-38 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1201	0.06	101.1	312.6	0.970	0.965	1.005	0.01	0.01	0.06	-0.005	-2245	-2233	-3.7	107	52.5	57.8	0.5	0.3
1201	4.92	101.1	312.3	0.971	0.966	1.005	0.62	0.60	4.76	0.086	500	497	16.8	144	56.8	60.8	0.5	0.4
1201	14.76	101.1	312.1	0.972	0.967	1.005	1.86	1.80	14.27	0.141	273	272	30.8	201	60.2	64.0	0.5	0.3
1204	19.79	101.1	311.8	0.973	0.968	1.005	2.49	2.41	19.15	0.172	248	247	34.0	234	62.5	66.9	0.5	0.4
1199	24.63	101.1	312.4	0.971	0.965	1.005	3.09	2.99	23.78	0.202	235	234	35.8	269	65.6	71.2	0.5	0.4
1198	29.47	101.1	311.7	0.973	0.968	1.005	3.70	3.58	28.53	0.235	229	228	36.7	302	67.4	73.4	0.5	0.6
1196	34.45	101.1	311.9	0.972	0.967	1.005	4.32	4.17	33.32	0.271	226	225	37.2	342	69.2	76.9	0.5	0.7
1206	39.29	101.1	312.4	0.970	0.965	1.005	4.96	4.79	37.92	0.315	228	227	36.9	386	71.1	80.2	0.5	1.0
1196	44.16	101.1	312.5	0.970	0.965	1.005	5.53	5.34	42.61	0.374	244	242	34.5	448	73.5	85.1	0.5	2.6
1203	47.53	101.1	312.3	0.971	0.966	1.005	5.99	5.78	45.90	0.495	297	296	28.3	462	76.0	86.1	0.5	5.1
1203	47.53	101.1	312.3	0.971	0.966	1.005	5.99	5.78	45.90	0.495	297	296	28.3	462	76.0	86.1	0.5	5.1



ตารางที่ ง-39 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1398	0.06	101.2	309.8	0.981	0.977	1.003	0.01	0.01	0.05	0.071	31519	31410	0.3	112	62.5	63.3	0.5	0.2
1395	4.93	101.2	310.4	0.979	0.975	1.004	0.72	0.70	4.81	0.102	510	508	16.5	142	63.1	63.8	0.5	0.2
1400	9.80	101.2	309.7	0.981	0.977	1.003	1.44	1.40	9.57	0.136	341	340	24.6	178	64.1	65.7	0.5	0.3
1405	14.76	101.2	309.4	0.982	0.978	1.003	2.17	2.13	14.45	0.171	283	282	29.7	211	65.0	67.4	0.5	0.5
1404	19.72	101.2	309.4	0.981	0.978	1.003	2.90	2.84	19.29	0.207	257	256	32.7	246	66.0	69.6	0.5	0.6
1405	24.60	101.2	309.6	0.981	0.978	1.003	3.62	3.54	24.05	0.241	239	238	35.1	282	67.9	73.2	0.5	0.5
1399	29.48	101.2	309.4	0.982	0.978	1.003	4.32	4.22	28.84	0.276	230	229	36.5	315	69.5	76.2	0.5	0.5
1401	34.43	101.2	309.3	0.982	0.978	1.003	5.05	4.94	33.68	0.316	225	225	37.3	353	72.4	80.5	0.5	0.6
1404	39.40	101.2	309.9	0.980	0.977	1.004	5.79	5.66	38.49	0.370	230	229	36.5	393	75.3	83.9	0.5	0.6
1400	44.28	101.2	309.9	0.980	0.977	1.004	6.49	6.34	43.25	0.436	242	241	34.7	445	78.3	87.2	0.5	1.4
1405	47.93	101.3	309.2	0.982	0.979	1.003	7.05	6.91	46.93	0.556	284	283	29.6	510	85.0	96.5	0.5	4.9

ตารางที่ ง-40 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,600 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1598	-0.15	101.3	308.9	0.984	0.981	1.003	-0.02	-0.02	-0.14	0.086	-12712	-12677	-0.7	119	68.4	59.9	0.5	0.4
1597	4.94	101.3	308.9	0.984	0.982	1.003	0.83	0.81	4.85	0.123	536	535	15.7	152	69.2	63.5	0.5	0.2
1598	9.86	101.3	308.9	0.984	0.982	1.003	1.65	1.62	9.68	0.159	346	345	24.2	186	70.5	66.6	0.6	0.3
1600	14.79	101.4	308.6	0.985	0.983	1.003	2.48	2.44	14.53	0.197	286	285	29.4	221	72.9	70.6	0.6	0.5
1604	19.70	101.4	308.3	0.986	0.984	1.002	3.31	3.26	19.38	0.238	259	259	32.4	260	75.3	74.1	0.6	0.5
1606	24.54	101.4	308.6	0.985	0.983	1.003	4.13	4.06	24.12	0.281	245	244	34.2	299	78.3	77.0	0.6	0.6
1598	29.52	101.4	308.2	0.987	0.984	1.002	4.94	4.86	29.06	0.325	237	237	35.4	339	82.0	80.9	0.6	0.6
1599	34.34	101.4	308.0	0.987	0.985	1.002	5.75	5.66	33.83	0.367	230	229	36.5	373	84.4	83.4	0.6	0.5
1604	39.35	101.4	308.1	0.987	0.985	1.002	6.61	6.51	38.74	0.421	229	229	36.6	418	87.0	85.9	0.6	0.7
1599	44.20	101.4	307.9	0.988	0.986	1.002	7.40	7.30	43.56	0.488	237	237	35.4	474	89.4	90.4	0.6	1.5
1596	48.44	101.4	308.0	0.987	0.985	1.002	8.10	7.98	47.73	0.601	267	267	31.4	529	92.8	93.8	0.6	4.0

ตารางที่ ง-41 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,800 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1800	0.08	101.4	308.0	0.988	0.986	1.002	0.01	0.01	0.08	0.101	24682	24630	0.3	128	70.0	56.6	0.6	0.4
1803	4.98	101.4	307.6	0.989	0.988	1.002	0.94	0.93	4.92	0.141	540	539	15.5	166	72.3	64.8	0.6	0.2
1800	9.89	101.4	307.9	0.989	0.987	1.002	1.86	1.84	9.76	0.182	352	351	23.9	199	74.7	68.6	0.6	0.4
1800	14.78	101.4	307.6	0.989	0.988	1.002	2.79	2.75	14.59	0.223	288	288	29.1	233	77.1	72.5	0.6	0.4
1799	19.74	101.4	307.4	0.990	0.988	1.002	3.72	3.67	19.51	0.269	260	259	32.3	271	80.3	75.6	0.6	0.5
1802	24.62	101.4	307.5	0.990	0.988	1.002	4.65	4.59	24.32	0.321	249	248	33.7	312	82.3	77.9	0.6	0.8
1802	29.47	101.4	307.5	0.990	0.988	1.002	5.56	5.49	29.11	0.376	243	243	34.5	357	84.0	79.2	0.6	1.0
1804	34.36	101.4	307.3	0.990	0.988	1.002	6.49	6.42	33.96	0.435	241	241	34.8	402	86.4	82.9	0.6	1.3
1801	39.32	101.4	307.4	0.990	0.988	1.002	7.42	7.33	38.85	0.497	241	241	34.7	453	88.7	86.0	0.6	1.6
1805	44.24	101.4	307.1	0.991	0.989	1.002	8.36	8.27	43.75	0.577	249	248	33.7	518	93.4	94.9	0.6	2.5
1797	46.72	101.4	307.2	0.990	0.989	1.002	8.79	8.69	46.20	0.657	269	269	31.2	556	98.1	98.6	0.6	3.7

ตารางที่ ง-42 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,000 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$	P	Px		average	sfc	sfc	$\eta_f$	Ex	OT	WT	AIT	SD
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	°C	°C	°C	°C	BSN
2003	0.18	101.7	306.0	0.997	0.997	1.001	0.04	0.04	0.18	0.116	10790	10785	0.8	148	76.4	67.7	0.7	0.6
2007	4.97	101.7	307.3	0.993	0.992	1.001	1.04	1.04	4.93	0.159	548	547	15.3	181	77.9	68.1	0.7	0.3
2011	9.85	101.7	307.2	0.993	0.992	1.001	2.07	2.06	9.77	0.206	358	358	23.4	214	79.0	69.5	0.7	0.4
2000	14.83	101.7	306.6	0.995	0.994	1.001	3.11	3.09	14.75	0.252	292	292	28.7	249	81.2	72.5	0.6	0.5
2008	19.60	101.7	307.0	0.994	0.993	1.001	4.12	4.09	19.46	0.301	262	262	31.9	286	83.4	75.3	0.6	0.5
1998	24.54	101.7	307.2	0.993	0.992	1.001	5.13	5.09	24.34	0.352	247	247	34.0	327	86.1	78.1	0.6	0.5
2004	29.53	101.7	307.3	0.992	0.991	1.001	6.20	6.14	29.27	0.415	241	241	34.8	373	88.5	81.2	0.6	0.6
2004	34.36	101.7	307.1	0.993	0.992	1.001	7.21	7.15	34.08	0.483	241	241	34.8	426	92.3	85.4	0.6	1.1
2006	39.32	101.7	307.3	0.992	0.991	1.001	8.26	8.19	38.97	0.569	248	248	33.8	489	95.5	89.3	0.6	2.1
2002	43.84	101.7	307.6	0.991	0.990	1.002	9.19	9.10	43.40	0.680	266	266	31.5	558	98.6	92.8	0.6	3.4
2002	43.84	101.7	307.6	0.991	0.990	1.002	9.19	9.10	43.40	0.680	266	266	31.5	558	98.6	92.8	0.6	3.4

ตารางที่ ง-43 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2.200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2202	-0.12	101.7	308.0	0.990	0.989	1.002	-0.03	-0.03	-0.12	0.138	-18127	-18096	-0.5	164	79.1	65.0	0.6	0.5
2202	4.96	101.7	309.1	0.987	0.985	1.002	1.14	1.13	4.89	0.189	595	594	14.1	203	80.8	69.0	0.6	0.3
2203	9.84	101.7	308.6	0.988	0.986	1.002	2.27	2.24	9.71	0.239	379	378	22.2	238	82.9	72.4	0.6	0.3
2201	14.79	101.6	309.0	0.987	0.984	1.002	3.41	3.36	14.56	0.289	305	305	27.5	272	85.0	75.7	0.6	0.4
2202	19.62	101.6	309.0	0.987	0.985	1.002	4.52	4.45	19.31	0.343	273	273	30.7	309	87.4	78.1	0.6	0.4
2201	24.53	101.6	309.4	0.985	0.983	1.003	5.66	5.56	24.11	0.402	256	255	32.8	353	90.8	81.8	0.6	0.4
2204	29.50	101.6	308.7	0.987	0.985	1.002	6.81	6.71	29.07	0.472	250	249	33.6	402	93.8	83.6	0.6	0.8
2200	34.42	101.6	309.8	0.984	0.981	1.003	7.93	7.78	33.78	0.553	251	250	33.4	458	97.1	89.2	0.6	1.4
2201	39.29	101.6	310.4	0.982	0.979	1.003	9.05	8.86	38.45	0.657	261	260	32.1	542	103.8	100.4	0.6	2.6
2202	40.73	101.6	310.8	0.981	0.977	1.003	9.39	9.18	39.80	0.694	266	265	31.6	565	106.7	99.8	0.6	3.0



ตารางที่ ง-44 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2393	-0.29	101.5	310.6	0.981	0.977	1.003	-0.07	-0.07	-0.29	0.158	-7797	-7770	-1.1	186	82.7	67.4	0.6	0.2
2411	4.76	101.5	311.0	0.979	0.976	1.004	1.20	1.17	4.64	0.215	645	643	13.0	225	84.6	70.9	0.6	0.2
2402	9.84	101.5	311.1	0.979	0.976	1.004	2.47	2.41	9.60	0.269	392	390	21.4	263	87.0	74.5	0.6	0.2
2402	14.77	101.5	310.8	0.980	0.977	1.004	3.72	3.63	14.43	0.326	316	315	26.6	299	90.8	78.4	0.6	0.3
2400	19.73	101.5	311.3	0.978	0.974	1.004	4.96	4.83	19.23	0.389	282	281	29.8	341	93.5	80.4	0.6	0.4
2398	24.52	101.5	311.2	0.979	0.975	1.004	6.16	6.00	23.91	0.456	267	266	31.5	386	96.6	83.4	0.6	0.5
2402	29.48	101.5	312.0	0.976	0.972	1.004	7.41	7.21	28.65	0.536	260	259	32.3	441	99.8	87.5	0.5	0.8
2399	34.25	101.5	311.4	0.978	0.974	1.004	8.60	8.38	33.35	0.628	263	262	32.0	501	103.0	95.9	0.5	1.4
2398	37.01	101.5	311.4	0.977	0.973	1.004	9.30	9.05	36.03	0.708	274	273	30.6	566	109.1	100.3	0.5	2.5

ตารางที่ ง-45 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุด

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2544	0.06	100.8	311.1	0.973	0.968	1.005	0.01	0.01	0.05	0.194	46757	46526	0.2	186	87.5	69.8	0.5	0.2
2497	31.63	100.8	311.9	0.970	0.964	1.006	8.27	7.97	30.50	0.681	297	295	30.9	451	93.3	87.0	0.5	0.4
2448	37.33	100.8	312.2	0.969	0.963	1.006	9.57	9.22	35.96	0.804	302	301	30.3	548	103.2	98.8	0.5	1.3
2397	37.05	100.8	312.6	0.967	0.962	1.006	9.30	8.95	35.63	0.749	290	288	31.6	531	107.4	99.1	0.5	1.2
2349	37.29	100.8	312.4	0.968	0.962	1.006	9.17	8.83	35.88	0.734	288	286	31.8	521	108.7	97.9	0.5	1.1
2298	38.29	100.8	312.3	0.968	0.962	1.006	9.21	8.87	36.84	0.753	294	292	31.2	526	109.1	97.3	0.5	1.5
2249	39.51	100.8	312.4	0.968	0.962	1.006	9.31	8.95	38.02	0.741	287	285	32.0	528	109.3	97.6	0.5	1.6
2198	40.66	100.8	312.4	0.968	0.962	1.006	9.36	9.00	39.12	0.749	288	286	31.8	535	109.3	97.2	0.5	1.8
2098	42.22	100.8	312.5	0.967	0.962	1.006	9.28	8.92	40.61	0.754	293	291	31.3	538	108.9	97.3	0.5	1.8
1998	43.24	100.8	312.2	0.969	0.963	1.006	9.05	8.71	41.65	0.736	293	291	31.3	539	108.1	99.3	0.5	2.3
1798	44.96	100.8	312.7	0.967	0.961	1.006	8.47	8.14	43.21	0.687	292	291	31.4	528	105.9	99.2	0.5	2.8
1597	47.20	100.8	312.1	0.969	0.963	1.006	7.90	7.61	45.47	0.651	297	295	30.9	518	103.3	98.8	0.5	3.6
1399	47.24	100.8	312.0	0.969	0.964	1.006	6.92	6.67	45.53	0.556	289	288	31.7	498	97.8	99.0	0.5	3.6
1205	47.04	100.8	312.3	0.968	0.963	1.006	5.94	5.72	45.30	0.500	303	302	30.2	471	93.1	98.6	0.5	4.0

ตารางที่ ง-46 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1198	0.01	100.8	309.6	0.977	0.973	1.004	0.00	0.00	0.01	0.071	179729	178992	0.1	96	60.5	59.0	0.6	0.0
1202	4.94	100.9	309.7	0.977	0.973	1.004	0.62	0.60	4.80	0.115	668	665	13.7	127	61.8	62.5	0.6	0.0
1203	9.85	100.9	310.2	0.976	0.971	1.004	1.24	1.20	9.56	0.137	397	395	23.1	158	63.4	65.2	0.6	0.0
1203	14.73	100.9	310.3	0.976	0.971	1.004	1.86	1.80	14.31	0.166	322	321	28.4	188	65.1	68.2	0.6	0.0
1203	19.63	100.9	310.4	0.975	0.971	1.004	2.47	2.40	19.06	0.202	294	293	31.1	220	67.3	71.3	0.6	0.1
1198	24.59	100.9	310.0	0.977	0.973	1.004	3.08	3.00	23.92	0.234	274	272	33.5	251	69.1	74.7	0.6	0.2
1196	29.48	101.0	310.0	0.977	0.973	1.004	3.69	3.59	28.69	0.272	265	264	34.6	282	71.5	77.2	0.6	0.1
1202	34.41	101.0	310.1	0.977	0.973	1.004	4.33	4.22	33.49	0.316	263	262	34.9	319	72.4	81.1	0.6	0.3
1199	39.33	101.0	310.2	0.977	0.973	1.004	4.94	4.80	38.27	0.367	267	266	34.2	358	75.6	84.4	0.7	0.5
1197	44.17	101.0	310.0	0.978	0.974	1.004	5.54	5.39	43.01	0.427	278	277	33.0	417	78.7	90.1	0.6	1.6
1190	47.31	101.1	309.7	0.979	0.976	1.004	5.90	5.75	46.15	0.532	325	323	28.2	464	82.6	96.5	0.7	4.1

ตารางที่ ง-47 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1395	0.03	101.1	308.6	0.983	0.980	1.003	0.00	0.00	0.03	0.083	74198	73972	0.1	103	63.8	60.6	0.7	0.1
1395	4.94	101.1	309.2	0.981	0.978	1.003	0.72	0.71	4.83	0.118	590	588	15.5	135	64.9	65.2	0.7	0.0
1398	9.85	101.1	308.6	0.983	0.980	1.003	1.44	1.41	9.65	0.159	398	397	23.0	166	66.5	67.9	0.7	0.0
1398	14.73	101.1	308.4	0.984	0.981	1.003	2.16	2.12	14.45	0.190	317	316	28.8	197	68.2	70.3	0.7	0.1
1400	19.67	101.2	308.3	0.984	0.982	1.003	2.88	2.83	19.31	0.228	285	284	32.0	231	70.0	72.9	0.7	0.0
1400	24.56	101.2	308.8	0.983	0.980	1.003	3.60	3.53	24.06	0.268	268	267	34.1	264	71.6	75.2	0.7	0.0
1402	29.51	101.2	309.1	0.982	0.979	1.003	4.33	4.24	28.89	0.314	261	260	35.0	296	73.6	79.3	0.6	0.2
1403	34.37	101.2	308.3	0.985	0.982	1.003	5.05	4.96	33.75	0.364	259	259	35.2	332	76.6	82.6	0.7	0.3
1398	39.32	101.2	307.7	0.987	0.984	1.002	5.76	5.67	38.71	0.417	261	260	35.1	374	79.3	87.1	0.7	0.4
1405	44.23	101.2	308.3	0.985	0.982	1.003	6.51	6.39	43.45	0.499	276	275	33.1	426	83.0	90.3	0.6	1.1
1403	48.36	101.2	308.7	0.983	0.980	1.003	7.11	6.97	47.41	0.593	300	299	30.4	488	86.9	98.3	0.7	3.8

ตารางที่ ง-48 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,600 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1595	0.12	101.2	308.1	0.985	0.982	1.003	0.02	0.02	0.12	0.094	16228	16185	0.6	114	69.2	65.2	0.7	0.0
1603	4.91	101.1	307.7	0.986	0.984	1.002	0.82	0.81	4.83	0.136	592	591	15.4	143	70.7	67.4	0.7	0.1
1601	9.86	101.1	307.4	0.987	0.985	1.002	1.65	1.63	9.71	0.181	394	393	23.2	175	72.3	69.8	0.7	0.1
1603	14.76	101.1	307.5	0.986	0.984	1.002	2.48	2.44	14.52	0.227	329	328	27.8	207	74.2	72.4	0.7	0.1
1597	19.65	101.1	307.6	0.986	0.983	1.003	3.29	3.23	19.33	0.262	287	287	31.8	240	76.4	75.5	0.7	0.1
1601	24.56	101.1	308.0	0.985	0.982	1.003	4.12	4.04	24.12	0.305	267	266	34.2	275	78.2	78.2	0.7	0.2
1603	29.46	101.1	307.7	0.986	0.983	1.003	4.94	4.86	28.96	0.355	259	258	35.3	307	80.4	81.7	0.7	0.3
1603	34.36	101.1	307.7	0.985	0.983	1.003	5.77	5.67	33.77	0.413	258	257	35.5	344	82.9	84.9	0.7	0.3
1597	39.29	101.1	307.4	0.986	0.984	1.002	6.57	6.46	38.65	0.479	263	262	34.8	388	85.4	87.7	0.7	0.5
1601	44.23	101.0	307.8	0.985	0.982	1.003	7.41	7.28	43.44	0.573	278	277	32.9	447	88.5	91.9	0.7	1.2
1597	47.84	101.0	307.8	0.985	0.982	1.003	8.00	7.86	46.98	0.695	313	312	29.2	519	94.5	99.7	0.6	3.2

ตารางที่ ง-49 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,800 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1800	0.17	101.4	305.2	0.997	0.996	1.001	0.03	0.03	0.17	0.119	13567	13558	0.7	125	69.3	67.5	0.8	0.0
1799	4.94	101.4	305.0	0.997	0.997	1.000	0.93	0.93	4.92	0.148	572	571	16.0	154	71.2	68.6	0.8	0.2
1800	9.84	101.4	305.1	0.997	0.996	1.001	1.85	1.85	9.80	0.202	393	393	23.2	186	72.7	70.7	0.9	0.3
1803	14.77	101.4	305.2	0.997	0.996	1.001	2.79	2.78	14.71	0.254	328	328	27.8	221	74.9	73.8	0.9	0.2
1803	19.68	101.4	305.1	0.997	0.996	1.001	3.72	3.70	19.61	0.310	300	300	30.4	255	78.4	77.5	0.8	0.1
1803	24.57	101.4	305.4	0.996	0.995	1.001	4.64	4.62	24.45	0.356	276	276	33.0	292	80.9	79.3	0.8	0.3
1801	29.46	101.3	305.8	0.994	0.993	1.001	5.56	5.52	29.25	0.408	264	264	34.5	332	84.2	81.8	0.8	0.2
1802	34.36	101.3	305.6	0.994	0.993	1.001	6.49	6.44	34.13	0.473	263	262	34.7	374	86.7	85.5	0.8	0.3
1799	39.28	101.3	306.8	0.990	0.989	1.002	7.40	7.32	38.84	0.546	266	265	34.4	421	90.0	89.1	0.8	0.5
1799	44.20	101.3	306.6	0.991	0.989	1.002	8.33	8.24	43.72	0.642	278	277	32.9	488	94.4	95.3	0.8	1.5
1802	46.45	101.2	306.9	0.990	0.988	1.002	8.76	8.66	45.88	0.713	293	292	31.2	525	96.0	102.1	0.7	2.4



ตารางที่ ง-50 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,000 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1994	0.01	101.2	306.8	0.989	0.987	1.002	0.00	0.00	0.01	0.133	212467	212065	0.0	138	75.6	69.9	0.8	0.1
1996	4.97	101.2	307.1	0.988	0.986	1.002	1.04	1.02	4.90	0.172	594	593	15.4	169	77.2	72.2	0.8	0.1
2000	9.82	101.1	308.0	0.985	0.983	1.003	2.06	2.02	9.65	0.235	411	410	22.2	201	80.1	75.4	0.7	0.2
2002	14.74	101.1	307.6	0.986	0.984	1.002	3.09	3.04	14.50	0.292	340	339	26.9	235	83.2	78.9	0.7	0.2
2003	19.66	101.1	307.7	0.986	0.983	1.003	4.12	4.05	19.33	0.354	310	309	29.5	271	86.0	81.4	0.7	0.2
2001	24.56	101.1	308.0	0.985	0.982	1.003	5.15	5.05	24.12	0.409	286	286	31.9	310	87.7	83.7	0.7	0.2
2000	29.43	101.1	308.1	0.984	0.981	1.003	6.16	6.05	28.88	0.480	281	280	32.6	354	89.9	85.7	0.7	0.4
2002	34.33	101.1	308.6	0.983	0.980	1.003	7.20	7.05	33.63	0.550	275	274	33.3	401	92.7	89.5	0.7	0.4
1997	39.22	101.0	308.1	0.984	0.981	1.003	8.20	8.05	38.48	0.639	281	280	32.6	455	95.3	93.6	0.7	0.9
2007	44.26	101.0	308.9	0.981	0.978	1.003	9.30	9.10	43.28	0.759	294	293	31.1	543	98.2	98.9	0.7	2.2
1996	44.24	101.0	309.5	0.979	0.975	1.004	9.25	9.02	43.14	0.768	299	298	30.6	544	101.3	100.4	0.7	2.2

ตารางที่ ง-51 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2.200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2196	-0.02	101.0	308.1	0.983	0.980	1.003	-0.01	-0.01	-0.02	0.154	102272	-101969	-0.1	154	81.5	71.0	0.7	0.1
2198	4.91	101.0	308.3	0.982	0.979	1.003	1.13	1.11	4.81	0.205	653	651	14.0	187	82.8	73.0	0.7	0.1
2196	9.85	101.0	308.5	0.982	0.978	1.003	2.27	2.22	9.64	0.275	437	436	20.9	222	85.3	76.1	0.7	0.1
2201	14.70	100.9	308.8	0.981	0.977	1.003	3.39	3.31	14.36	0.336	357	355	25.6	260	87.9	79.4	0.7	0.1
2200	19.64	100.9	309.1	0.979	0.976	1.004	4.52	4.42	19.17	0.402	320	319	28.6	296	89.9	81.2	0.7	0.1
2202	24.56	100.9	309.6	0.978	0.974	1.004	5.66	5.51	23.92	0.471	300	298	30.6	339	92.3	83.6	0.7	0.1
2199	29.52	100.9	310.3	0.975	0.971	1.004	6.80	6.60	28.67	0.539	285	284	32.1	385	94.3	86.1	0.6	0.2
2198	34.38	100.9	309.7	0.978	0.974	1.004	7.91	7.70	33.47	0.616	280	279	32.7	436	96.6	89.7	0.6	0.3
2200	39.27	100.9	310.0	0.976	0.972	1.004	9.05	8.80	38.18	0.728	290	289	31.6	509	101.2	100.7	0.6	0.9
2202	40.94	100.9	310.6	0.974	0.970	1.005	9.44	9.16	39.71	0.780	298	296	30.8	545	105.9	103.7	0.6	1.6

ตารางที่ ง-52 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2396	0.05	100.9	309.4	0.978	0.974	1.004	0.01	0.01	0.05	0.163	42629	42461	0.2	175	86.6	72.9	0.6	0.0
2396	4.94	100.9	310.0	0.976	0.972	1.004	1.24	1.20	4.80	0.236	687	684	13.3	210	87.6	75.5	0.6	0.0
2397	9.82	100.9	310.0	0.976	0.972	1.004	2.46	2.39	9.54	0.316	462	460	19.8	245	90.0	78.4	0.6	0.0
2396	14.77	100.9	310.3	0.975	0.971	1.004	3.71	3.60	14.34	0.371	360	358	25.4	283	92.7	81.7	0.6	0.1
2394	19.68	100.9	310.8	0.974	0.969	1.005	4.93	4.78	19.07	0.444	324	323	28.2	324	94.3	83.1	0.6	0.1
2395	24.52	100.9	310.6	0.974	0.970	1.005	6.15	5.96	23.78	0.522	306	304	30.0	369	97.7	86.2	0.6	0.2
2392	29.52	100.9	310.6	0.975	0.970	1.005	7.40	7.18	28.64	0.597	291	289	31.5	418	102.1	89.4	0.6	0.3
2400	34.47	100.9	310.6	0.975	0.970	1.005	8.66	8.41	33.44	0.690	287	285	31.9	484	104.6	92.8	0.6	0.5
2397	37.49	100.9	311.1	0.973	0.968	1.005	9.41	9.11	36.29	0.770	295	293	31.1	533	106.2	99.2	0.6	1.0

ตารางที่ ง-53 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel หลังทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุด

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2545	-0.75	101.4	310.1	0.982	0.978	1.003	-0.20	-0.19	-0.73	0.208	-3758	-3746	-2.4	204	86.0	70.5	0.6	1.2
2496	24.25	101.4	310.7	0.979	0.975	1.004	6.34	6.18	23.66	0.580	330	328	27.8	423	90.4	79.4	0.5	1.4
2448	32.50	101.4	311.3	0.977	0.973	1.004	8.33	8.11	31.63	0.741	320	319	28.6	530	95.4	86.7	0.5	2.0
2400	34.68	101.4	311.5	0.977	0.973	1.004	8.72	8.48	33.73	0.816	337	336	27.2	562	99.4	89.5	0.5	2.5
2347	35.92	101.4	310.7	0.979	0.975	1.004	8.83	8.61	35.03	0.773	315	314	29.0	576	102.1	91.4	0.6	3.0
2299	36.12	101.4	311.9	0.975	0.971	1.004	8.70	8.44	35.06	0.762	316	314	29.0	568	104.5	93.6	0.5	3.1
2247	36.44	101.4	311.2	0.977	0.973	1.004	8.58	8.35	35.47	0.761	320	318	28.6	569	106.9	93.7	0.5	3.3
2200	37.21	101.3	311.8	0.975	0.971	1.005	8.57	8.32	36.11	0.736	309	308	29.6	568	107.3	94.1	0.5	3.5
2099	38.43	101.3	311.1	0.977	0.973	1.004	8.45	8.22	37.39	0.741	316	315	29.0	573	107.7	94.5	0.5	4.1
2002	39.48	101.3	311.1	0.977	0.973	1.004	8.28	8.05	38.42	0.754	328	327	27.9	568	107.6	94.8	0.5	4.4
1800	40.97	101.3	311.6	0.975	0.971	1.004	7.72	7.50	39.78	0.681	317	316	28.8	549	106.6	94.9	0.5	5.0
1599	42.59	101.3	311.8	0.975	0.970	1.005	7.13	6.92	41.32	0.667	337	335	27.2	524	105.0	94.4	0.5	5.5
1398	42.17	101.3	311.6	0.975	0.971	1.005	6.17	5.99	40.93	0.598	349	347	26.2	499	103.1	93.5	0.5	5.6
1197	42.56	101.3	312.2	0.973	0.968	1.005	5.33	5.16	41.21	0.535	361	359	25.4	469	99.9	91.4	0.5	5.6

ตารางที่ ง-54 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1198	0.01	100.8	309.6	0.977	0.973	1.004	0.00	0.00	0.01	0.071	179729	178992	0.1	96	60.5	59.0	0.6	0.0
1204	4.97	101.4	306.8	0.992	0.990	1.001	0.63	0.62	4.92	0.119	683	682	13.4	144	52.2	58.2	0.7	0.4
1202	9.92	101.4	306.9	0.991	0.989	1.002	1.25	1.24	9.81	0.147	424	423	21.5	176	55.4	61.8	0.7	0.4
1198	14.81	101.4	307.0	0.991	0.989	1.002	1.86	1.84	14.65	0.177	343	342	26.6	204	56.8	63.8	0.7	0.4
1203	19.71	101.4	306.9	0.991	0.989	1.002	2.48	2.46	19.50	0.204	296	296	30.8	234	57.8	65.6	0.7	0.5
1201	24.53	101.4	306.9	0.991	0.989	1.002	3.09	3.05	24.27	0.247	289	288	31.6	269	59.4	68.6	0.7	0.4
1201	29.52	101.4	306.8	0.991	0.990	1.002	3.71	3.67	29.22	0.284	276	275	33.1	305	60.7	71.3	0.7	0.5
1198	34.38	101.4	306.6	0.992	0.990	1.001	4.31	4.27	34.05	0.333	278	278	32.8	351	63.2	75.9	0.7	1.0
1208	39.23	101.4	306.6	0.992	0.990	1.001	4.96	4.91	38.86	0.394	286	286	31.9	403	65.4	81.4	0.7	2.1
1206	44.46	101.4	306.7	0.992	0.990	1.001	5.61	5.56	44.03	0.522	335	334	27.3	453	68.2	84.7	0.7	5.2
1206	44.46	101.4	306.7	0.992	0.990	1.001	5.61	5.56	44.03	0.522	335	334	27.3	453	68.2	84.7	0.7	5.2

ตารางที่ ง-55 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1400	-0.02	101.4	306.9	0.992	0.990	1.001	0.00	0.00	-0.02	0.098	119198	-119023	-0.1	112	58.5	57.5	0.7	0.5
1402	4.96	101.4	306.7	0.992	0.991	1.001	0.73	0.72	4.92	0.128	633	632	14.4	146	60.4	63.5	0.7	0.2
1400	9.92	101.4	306.4	0.993	0.992	1.001	1.45	1.44	9.84	0.166	412	411	22.2	179	61.3	65.2	0.7	0.3
1397	14.84	101.4	306.3	0.993	0.992	1.001	2.17	2.15	14.73	0.200	331	331	27.5	213	62.7	67.8	0.7	0.5
1410	19.68	101.4	306.2	0.994	0.992	1.001	2.91	2.88	19.53	0.239	297	296	30.8	247	64.2	71.2	0.7	0.5
1405	24.56	101.4	306.2	0.994	0.992	1.001	3.61	3.59	24.37	0.275	274	274	33.3	282	65.6	73.2	0.7	0.6
1403	29.54	101.4	306.1	0.994	0.993	1.001	4.34	4.31	29.33	0.330	274	274	33.3	320	67.3	74.5	0.7	0.7
1400	34.35	101.4	306.1	0.994	0.993	1.001	5.03	5.00	34.10	0.378	270	270	33.8	360	68.8	77.6	0.7	0.9
1407	39.35	101.4	306.2	0.994	0.993	1.001	5.80	5.75	39.06	0.440	273	273	33.4	409	70.7	80.1	0.7	1.2
1401	44.24	101.4	306.2	0.993	0.992	1.001	6.49	6.44	43.89	0.619	343	343	26.6	471	73.1	84.5	0.7	4.8
1401	44.24	101.4	306.2	0.993	0.992	1.001	6.49	6.44	43.89	0.619	343	343	26.6	471	73.1	84.5	0.7	4.8



ตารางที่ ง-56 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,600 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1614	-0.05	101.6	306.9	0.993	0.992	1.001	-0.01	-0.01	-0.05	0.116	-49861	-49804	-0.2	128	41.9	46.4	0.8	0.5
1602	4.97	101.6	307.2	0.993	0.991	1.001	0.83	0.83	4.92	0.122	529	528	17.2	158	49.7	60.3	0.8	0.4
1608	9.90	101.6	307.2	0.993	0.991	1.001	1.67	1.65	9.82	0.198	429	428	21.3	191	56.0	66.1	0.8	0.5
1604	14.82	101.6	307.6	0.991	0.990	1.002	2.49	2.46	14.67	0.242	350	349	26.1	224	59.9	69.5	0.8	0.5
1610	19.66	101.6	307.2	0.992	0.991	1.001	3.31	3.28	19.48	0.290	315	315	29.0	261	62.8	72.4	0.8	0.6
1600	24.57	101.6	307.4	0.992	0.990	1.001	4.12	4.08	24.33	0.336	294	294	31.1	302	67.2	75.7	0.7	0.8
1601	29.54	101.6	307.7	0.991	0.989	1.002	4.95	4.90	29.22	0.385	280	279	32.6	342	70.3	78.6	0.7	0.8
1604	34.41	101.6	307.8	0.991	0.989	1.002	5.78	5.71	34.03	0.443	276	276	33.0	386	73.2	81.5	0.7	1.0
1608	39.29	101.6	307.8	0.990	0.989	1.002	6.62	6.54	38.85	0.513	279	278	32.7	444	77.5	86.8	0.7	1.5
1601	43.86	101.6	307.9	0.990	0.988	1.002	7.35	7.27	43.36	0.684	335	334	27.3	514	84.2	95.5	0.7	4.5
1601	43.86	101.6	307.9	0.990	0.988	1.002	7.35	7.27	43.36	0.684	335	334	27.3	514	84.2	95.5	0.7	4.5

ตารางที่ ง-57 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,800 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
1803	-0.04	101.7	308.5	0.989	0.987	1.002	-0.01	-0.01	-0.04	0.133	-61731	-61606	-0.1	135	66.4	59.9	0.7	0.5
1804	4.98	101.7	308.7	0.988	0.986	1.002	0.94	0.93	4.91	0.169	648	646	14.1	171	68.6	66.5	0.7	0.4
1801	9.89	101.7	308.7	0.988	0.986	1.002	1.86	1.84	9.75	0.226	437	436	20.9	203	70.4	69.6	0.7	0.4
1805	14.77	101.7	308.7	0.988	0.986	1.002	2.79	2.75	14.56	0.269	347	346	26.3	241	73.8	73.1	0.6	0.6
1804	19.69	101.7	308.9	0.987	0.985	1.002	3.72	3.67	19.40	0.320	309	309	29.5	278	75.7	74.6	0.6	0.7
1799	24.57	101.7	308.6	0.988	0.986	1.002	4.63	4.56	24.23	0.377	293	293	31.1	321	78.3	77.5	0.6	0.8
1804	29.47	101.7	308.5	0.989	0.987	1.002	5.57	5.49	29.08	0.435	281	281	32.4	369	81.2	81.9	0.6	0.8
1801	34.45	101.7	308.9	0.987	0.985	1.002	6.50	6.40	33.95	0.506	280	280	32.6	425	83.3	85.9	0.6	0.9
1802	39.35	101.7	309.3	0.986	0.984	1.002	7.42	7.30	38.71	0.612	297	296	30.8	495	87.2	95.7	0.6	2.2
1804	42.12	101.7	309.7	0.985	0.982	1.003	7.96	7.82	41.37	0.715	323	322	28.3	542	91.0	96.4	0.6	4.1
1804	42.12	101.7	309.7	0.985	0.982	1.003	7.96	7.82	41.37	0.715	323	322	28.3	542	91.0	96.4	0.6	4.1

ตารางที่ ง-58 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,000 rev/min

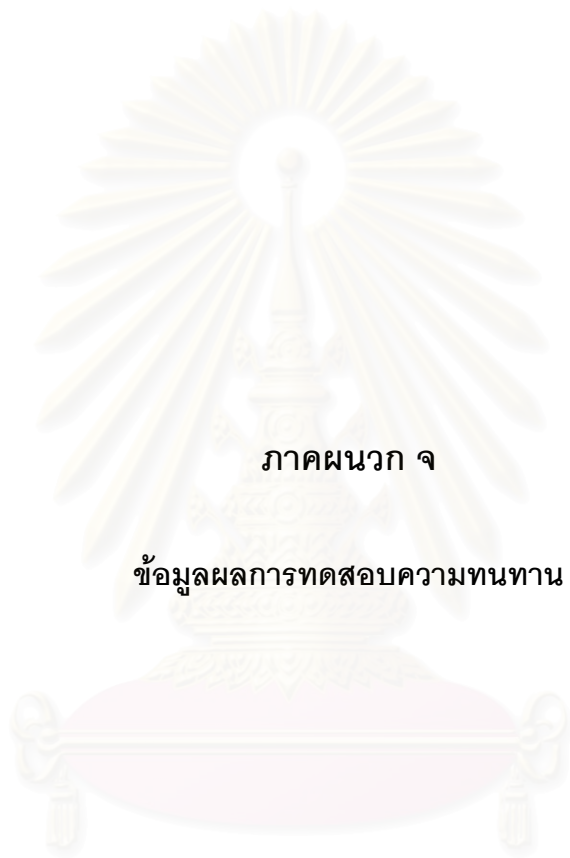
Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2003	-0.16	101.7	309.6	0.985	0.983	1.003	-0.03	-0.03	-0.15	0.146	-16168	-16126	-0.6	149	70.6	61.0	0.6	0.5
1997	5.02	101.7	309.0	0.987	0.985	1.002	1.05	1.03	4.94	0.207	709	707	12.9	188	73.5	68.1	0.6	0.2
2004	9.85	101.7	309.7	0.985	0.982	1.003	2.07	2.03	9.68	0.252	439	438	20.8	222	75.9	71.3	0.6	0.3
1996	14.74	101.7	310.1	0.984	0.981	1.003	3.08	3.02	14.46	0.306	357	356	25.6	259	78.8	74.2	0.6	0.3
2003	19.72	101.7	309.4	0.986	0.983	1.003	4.14	4.07	19.39	0.373	324	324	28.2	301	81.2	76.1	0.6	0.3
2005	24.53	101.7	309.9	0.984	0.982	1.003	5.15	5.06	24.08	0.433	303	302	30.2	346	83.7	78.8	0.6	0.3
1999	29.49	101.7	310.1	0.984	0.981	1.003	6.17	6.05	28.92	0.503	294	293	31.1	402	86.1	81.2	0.6	0.7
2008	34.34	101.6	309.9	0.984	0.981	1.003	7.22	7.08	33.69	0.598	298	297	30.7	461	89.8	87.5	0.6	1.0
2000	39.36	101.6	309.8	0.984	0.981	1.003	8.25	8.09	38.63	0.701	306	305	29.9	552	92.5	92.3	0.6	2.7
2001	39.54	101.6	310.2	0.983	0.980	1.003	8.29	8.12	38.75	0.753	327	326	27.9	560	94.7	93.0	0.6	3.2
2001	39.54	101.6	310.2	0.983	0.980	1.003	8.29	8.12	38.75	0.753	327	326	27.9	560	94.7	93.0	0.6	3.2

ตารางที่ ง-59 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2.200 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2204	-0.33	101.6	310.6	0.982	0.978	1.003	-0.08	-0.07	-0.32	0.172	-8220	-8193	-1.1	169	77.7	65.2	0.6	0.2
2195	4.94	101.6	311.1	0.980	0.976	1.004	1.14	1.11	4.82	0.230	730	727	12.5	206	80.1	69.5	0.6	0.2
2203	9.87	101.6	310.9	0.981	0.977	1.003	2.28	2.23	9.65	0.293	463	461	19.7	243	83.0	73.3	0.5	0.2
2207	14.77	101.6	311.0	0.980	0.977	1.004	3.41	3.33	14.42	0.343	362	361	25.2	281	85.5	75.4	0.6	0.2
2198	19.70	101.6	311.8	0.977	0.974	1.004	4.53	4.41	19.18	0.419	333	332	27.5	324	87.8	77.4	0.5	0.3
2202	24.49	101.6	310.7	0.981	0.978	1.003	5.65	5.52	23.94	0.495	316	315	29.0	368	92.2	80.3	0.6	0.4
2191	29.49	101.6	311.1	0.980	0.976	1.004	6.77	6.60	28.78	0.576	307	306	29.8	427	93.8	83.2	0.6	0.5
2194	34.43	101.6	311.6	0.978	0.974	1.004	7.91	7.70	33.54	0.682	310	309	29.5	504	97.1	91.2	0.6	1.1
2204	36.85	101.6	311.3	0.979	0.975	1.004	8.51	8.30	35.94	0.758	321	319	28.5	559	100.3	91.7	0.5	2.3
2204	36.85	101.6	311.3	0.979	0.975	1.004	8.51	8.30	35.94	0.758	321	319	28.5	559	100.3	91.7	0.5	2.3

ตารางที่ ง-60 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน Palm-Biodiesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,400 rev/min

Speed	Torque	relative condition		Correction factor			Power	Corrected Power	Corrected Torque	Fuel Consumption	Specific fuel cons.	Corrected sfc	Fuel Conv. Eff.	Exhaust Temp	Oil Temp	Water Temp	Air Intake	smoke
		px	Tx	k	$\alpha$	$\beta$												
(RPM)	(N-m)	(kPa)	(K)				(kW)	(kW)	(N-m)	(g/s)	(g/kW-hr)	(g/kW-hr)	%	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	BSN
2399	-0.33	101.5	310.3	0.982	0.979	1.003	-0.08	-0.08	-0.32	0.193	-8415	-8387	-1.1	186	81.5	66.1	0.6	0.3
2399	5.01	101.5	310.6	0.981	0.977	1.003	1.26	1.23	4.90	0.255	730	727	12.5	225	83.7	71.0	0.6	0.2
2389	9.91	101.5	309.9	0.983	0.980	1.003	2.48	2.43	9.71	0.344	499	498	18.3	260	86.2	73.7	0.6	0.2
2401	14.70	101.5	310.7	0.980	0.977	1.004	3.70	3.61	14.36	0.380	370	369	24.7	302	89.2	76.5	0.6	0.2
2399	19.74	101.5	310.8	0.980	0.976	1.004	4.96	4.84	19.27	0.466	338	337	27.1	349	91.3	79.1	0.6	0.3
2401	24.62	101.5	310.7	0.980	0.976	1.004	6.19	6.04	24.04	0.537	312	311	29.3	402	95.8	86.0	0.6	0.4
2399	29.49	101.5	310.8	0.979	0.976	1.004	7.41	7.23	28.77	0.640	311	310	29.4	459	98.1	91.2	0.6	1.5
2400	34.47	100.9	310.6	0.975	0.970	1.005	8.66	8.41	33.44	0.751	312	310	29.4	524	104.6	92.8	0.6	2.5
2397	37.49	100.9	311.1	0.973	0.968	1.005	9.41	9.11	36.29	0.823	315	313	29.1	563	106.2	99.2	0.6	3.4



ภาคผนวก จ

ข้อมูลผลการทดสอบความทนทาน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ง-1 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 0-15

Load	FC (cc./min)			Speed Rpm	temp (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.95	47.95	47.95	2400	488	86	86	27	26	30	60	30.2	226.4	6.84	0	0
	47.09	47.95	47.95	2400	488	106	95	29	26	33	60	30.4	227.3	6.91	1	1
	48.83	47.95	47.95	2404	500	108	96	30	26	33	56	30.4	227.3	6.91	2	2
	48.83	48.83	48.83	2392	507	110	97	31	27	35	52	30.4	227.2	6.91	3	3
90 %	43.95	43.95	43.95	2406	442	109	95	32	28	35	48	27.4	228.5	6.26		
	43.95	43.95	43.95	2406	443	108	95	32	28	36	46	27.4	228.6	6.26		
	43.95	43.95	43.95	2406	442	109	96	32	28	36	46	27.4	228.8	6.27		
	43.23	43.23	43.95	2406	445	109	97	33	29	36	45	27.4	228.6	6.26	4	4
80 %	39.36	39.36	39.95	2415	407	104	92	34	29	36	43	24.7	230.0	5.68		
	39.95	39.95	39.95	2392	410	104	91	34	29	34	42	24.7	230.1	5.68		
	39.36	39.36	39.95	2392	410	104	93	34	30	34	40	24.7	230.2	5.69		
	39.95	39.95	39.95	2392	407	104	92	34	30	36	40	24.7	230.1	5.68	5	5
Full	48.83	48.83	47.95	2400	506	113	99	35	30	37	37	29.8	226.6	6.75		
	48.83	48.75	48.83	2395	515	113	100	37	31	39	33	28.9	226.0	6.52	6	6
	48.83	49.75	48.83	2400	519	113	102	37	31	39	33	29.8	226.0	6.73	7	7
	47.95	48.83	48.83	2406	509	104	100	35	31	38	33	30.0	225.6	6.76	8	8
90 %	43.23	43.95	43.95	2398	445	109	97	36	31	34	32	27.2	227.7	6.18		
	43.23	43.23	43.23	2397	445	110	96	37	31	39	32	27.2	227.7	6.19		
	43.23	43.23	43.23	2395	445	110	96	37	31	39	32	27.2	227.7	6.19		
	43.95	43.95	43.23	2406	447	110	96	36	31	39	32	27.2	227.7	6.19	9	9
80 %	39.95	39.95	39.95	2391	410	106	94	36	31	36	33	24.6	226.0	5.56		
	39.95	39.95	39.95	2406	409	106	94	36	31	38	34	24.5	227.5	5.57		
	39.95	39.95	39.36	2406	409	106	94	35	30	38	35	24.5	227.5	5.57		
	39.95	39.36	39.95	2406	407	106	94	35	30	38	36	24.5	227.0	5.56	10	10
Full	47.95	47.09	47.09	2392	503	109	101	34	30	35	39	29.0	226.3	6.56		
	48.83	48.83	47.95	2398	506	113	103	34	29	37	41	29.9	226.1	6.76	11	11
	48.83	49.75	48.83	2400	506	113	103	33	29	37	41	30.0	226.6	6.79	12	12
	48.83	49.75	48.83	2392	506	113	103	32	29	36	42	29.9	226.4	6.77	13	13
90 %	43.23	42.53	42.53	2398	429	102	96	32	28	35	44	27.2	226.7	6.17		
	42.53	42.53	42.53	2392	433	106	97	32	28	35	44	27.2	226.7	6.17		
	42.53	43.23	43.23	2389	430	106	96	32	28	35	47	27.3	227.6	6.20		
	43.23	42.53	43.23	2398	433	106	97	32	28	35	47	27.3	227.6	6.20	14	14
80 %	39.95	39.95	39.95	2396	401	104	90	32	27	33	47	24.6	227.0	5.58		
	39.36	39.36	38.78	2375	401	104	93	31	27	34	46	24.6	227.1	5.59		
	39.36	39.36	39.36	2375	400	104	93	31	27	34	46	24.5	227.5	5.57		
	39.36	39.36	39.36	2392	398	103	92	31	27	34	46	24.7	227.0	5.61	15	15

ตารางที่ ง-2 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 15-30

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.09	47.95	47.09	2380	485	94	92	27	24	31	62	29.8	227.0	6.76	15	15
	47.95	47.95	47.95	2392	491	109	97	28	26	34	55	29.8	227.0	6.76	16	16
	47.95	47.09	47.95	2390	496	111	99	30	26	35	51	29.9	226.0	6.76	17	17
	47.95	48.83	47.95	2389	497	111	99	31	27	34	50	29.9	226.1	6.76	18	18
90 %	43.23	42.53	43.23	2400	433	109	95	31	27	34	48	27.3	227.6	6.21		
	43.23	43.23	42.53	2406	433	109	96	31	27	34	48	27.3	227.0	6.20		
	42.53	43.23	43.93	2406	433	109	96	31	27	34	48	27.3	227.2	6.20		
	43.23	42.53	43.23	2406	431	109	96	32	28	34	46	27.2	227.3	6.19	19	19
80 %	40.57	39.95	41.20	2396	413	106	95	32	29	35	42	25.2	229.3	5.78		
	40.57	39.95	40.57	2401	413	106	94	32	29	34	41	25.0	228.8	5.72		
	40.57	40.57	40.57	2404	413	106	94	32	29	35	42	24.5	228.8	5.61		
	39.95	40.57	40.57	2406	413	106	95	33	29	35	42	24.7	228.8	5.65	20	20
Full	48.83	47.95	47.95	2390	500	105	99	33	29	35	40	29.1	226.7	6.60		
	47.95	47.95	47.95	2383	505	113	102	33	30	37	37	29.3	226.6	6.64	21	21
	47.95	48.83	48.83	2383	506	115	104	35	31	37	31	29.0	226.6	6.57	22	22
	48.83	49.75	47.95	2389	509	116	107	35	31	39	29	29.2	226.4	6.61	23	23
90 %	44.69	45.47	44.69	2406	454	113	101	35	32	39	28	27.4	228.8	6.27		
	44.69	44.69	44.69	2406	456	113	101	36	32	39	28	27.5	228.8	6.29		
	44.69	44.69	44.69	2406	459	114	101	35	32	39	28	26.8	229.0	6.14		
	45.47	44.69	44.69	2406	461	114	102	36	32	39	28	26.8	228.8	6.13	24	24
80 %	41.20	41.86	41.20	2406	425	112	99	37	32	39	28	24.6	228.8	5.63		
	41.20	41.86	41.20	2406	427	112	99	37	32	39	29	24.7	228.9	5.65		
	41.20	41.20	41.86	2406	425	112	99	37	32	39	29	24.6	229.0	5.63		
	41.20	41.20	41.20	2406	425	85	70	38	31	39	30	24.7	228.9	5.65	25	25
Full	49.75	50.71	50.71	2406	521	114	103	35	31	39	30	29.4	228.1	6.71		
	50.71	50.71	49.75	2406	520	114	102	35	30	39	35	29.4	228.5	6.72	26	26
	49.75	48.83	48.83	2392	506	113	101	34	29	39	37	29.6	226.8	6.71	27	27
	49.75	48.83	49.75	2392	505	113	103	34	29	35	38	29.8	226.8	6.76	28	28
90 %	43.95	43.95	44.69	2405	448	111	99	34	29	37	38	27.3	228.8	6.25		
	44.69	44.69	44.69	2389	447	111	99	34	28	37	39	27.3	228.8	6.25		
	44.69	44.69	44.69	2392	442	110	99	33	28	37	39	27.0	228.8	6.18		
	44.69	44.69	44.69	2392	442	110	99	33	28	37	39	26.8	228.8	6.13	29	29
80 %	41.20	41.20	41.20	2392	407	106	92	32	28	36	40	24.9	228.8	5.70		
	40.57	40.57	39.95	2392	408	106	92	32	28	36	40	25.0	228.8	5.72		
	39.95	40.57	39.95	2392	404	106	93	32	28	35	41	25.0	228.8	5.72		
	39.95	39.95	39.95	2389	406	106	98	32	28	35	41	24.3	232.8	5.66	30	30

ตารางที่ ง-3 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 30-45

Load	FC (sec / 50 cc.)			Speed RPM	Temperature (°C)								Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil	
Full	48.83	47.95	49.75	2392	491	108	95	27	24	28	55	29.7	228.8	6.80	30	30	
	48.83	49.75	48.83	2392	491	108	95	29	25	32	55	29.4	228.5	6.72	31	31	
	48.83	47.95	48.83	2400	494	106	100	32	27	35	43	28.9	227.6	6.58	32	32	
	48.83	48.83	48.83	2406	509	110	101	32	27	36	44	29.2	229.5	6.70	33	33	
90 %	43.23	43.95	43.95	2406	439	110	99	32	28	35	42	26.3	229.5	6.04			
	43.95	43.95	43.95	2399	442	111	99	34	28	36	42	26.3	229.5	6.04			
	43.23	43.95	43.95	2404	442	111	99	34	28	37	40	25.9	229.6	5.95			
	43.23	43.95	43.95	2403	439	111	99	34	28	37	41	26.4	229.5	6.06	34	34	
80 %	40.57	40.57	40.57	2392	410	108	97	34	29	37	39	24.9	233.0	5.80			
	39.95	40.57	39.95	2392	410	109	97	34	29	37	39	24.0	239.4	5.75			
	40.57	39.95	40.57	2394	410	109	97	34	29	38	38	24.3	229.5	5.58			
	40.57	40.57	40.57	2392	410	109	99	35	29	38	38	24.1	229.5	5.53	35	35	
Full	48.83	48.83	48.83	2407	503	114	101	37	31	40	33	29.5	229.7	6.78			
	48.83	48.83	48.83	2392	509	115	105	37	31	40	33	29.9	229.7	6.87	36	36	
	48.83	48.83	48.83	2392	512	115	103	37	31	41	30	29.2	229.9	6.71	37	37	
	49.75	49.75	48.83	2406	509	115	103	38	31	42	29	29.3	229.9	6.74	38	38	
90 %	45.47	44.69	45.47	2392	457	112	101	38		42	30	27.2	229.9	6.25			
	45.47	44.69	45.47	2392	457	112	100	38	31	42	29	27.2	229.8	6.25			
	45.47	45.47	45.47	2392	454	112	101	37	31	41	29	27.3	229.8	6.27			
	44.69	45.47	45.47	2392	457	112	101	37	31	40	29	27.3	229.8	6.27	39	39	
80 %	40.57	40.57	40.57	2392	419	111	99	38	31	37	28	24.7	229.6	5.67			
	40.57	40.57	40.57	2392	416	109	97	37	31	39	28	25.0	229.6	5.74			
	40.57	40.57	40.57	2392	414	109	97	38	31	40	28	24.8	229.5	5.69			
	40.57	39.95	40.57	2392	413	109	98	37	31	39	28	25.2	229.6	5.79	40	40	
Full	47.95	48.83	47.95	2385	503	111	105	37	30	39	32	29.5	229.4	6.77			
	48.83	48.83	49.75	2408	506	114	105	35	29	39	35	29.5	230.1	6.79	41	41	
	49.75	48.83	48.83	2406	500	109	97	35	29	38	36	29.7	229.9	6.83	42	42	
	48.83	48.83	48.83	2406	500	110	97	34	28	39	38	29.2	229.7	6.71	43	43	
90 %	44.69	44.69	44.69	2400	448	106	93	34	28	37	39	27.3	229.6	6.27			
	44.69	44.69	45.47	2400	448	106	92	33	28	37	39	27.4	229.6	6.29			
	44.69	45.47	44.69	2378	448	106	93	33	28	37	39	27.9	229.6	6.41			
	45.47	44.69	44.69	2400	445	108	93	33	27	36	40	27.4	229.5	6.29	44	44	
80 %	40.57	40.57	40.57	2408	413	104	92	33	27	36	40	25.0	229.5	5.74			
	39.95	39.95	40.57	2392	410	104	91	32	27	35	41	25.0	229.3	5.73			
	39.95	39.95	40.57	2392	409	104	90	33	27	35	41	24.8	229.4	5.69			
	40.57	40.57	39.95	2410	407	102	89	32	27	35	40	24.8	229.5	5.69	45	45	

ตารางที่ ง-4 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 45-60

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	48.83	49.75	48.83	2405	491	95	89	26	23	30	54	29.1	229.2	6.67	45	45
	48.83	48.83	48.83	2378	499	108	95	27	24	33	48	29.0	228.4	6.62	46	46
	48.83	48.83	49.75	2407	500	111	98	29	26	34	45	29.5	229.0	6.76	47	47
	49.75	49.75	49.75	2419	509	114	102	32	27	32	40	29.1	229.4	6.68	48	48
90 %	44.69	44.69	44.69	2408	448	113	99	33	28	35	39	26.8	229.5	6.15		
	44.69	44.69	44.69	2405	447	112	98	32	28	35	39	26.9	229.4	6.17		
	45.47	45.47	45.47	2405	448	111	97	32	28	36	37	26.4	229.5	6.06		
	45.47	40.57	45.47	2405	448	111	98	33	28	36	36	26.8	229.4	6.15	49	49
80 %	39.95	40.57	40.57	2411	413	110	96	34	29	36	33	24.8	229.4	5.69		
	40.57	40.57	40.57	2405	413	109	94	34	29	36	33	24.9	229.4	5.71		
	39.95	40.57	40.57	2405	414	109	95	35	29	37	32	24.8	232.8	5.77		
	40.57	40.57	40.57	2405	416	109	94	35	29	37	31	24.5	229.4	5.62	50	50
Full	50.71	49.75	49.75	2419	520	100	90	36	30	37	30	29.4	229.5	6.75		
	49.75	49.75	50.71	2392	515	114	100	36	30	39	29	29.5	228.8	6.75	51	51
	50.71	49.75	49.75	2392	521	118	102	38	31	39	28	28.8	228.3	6.58	52	52
	50.71	49.75	49.75	2495	525	118	102	38	31	40	28	28.9	228.9	6.62	53	53
90 %	44.69	44.69	44.69	2405	457	114	101	38	31	37	28	26.5	229.8	6.09		
	44.69	44.69	44.69	2405	454	114	101	38	31	37	28	26.5	229.7	6.09		
	44.69	44.69	44.69	2405	454	113	101	38	31	40	28	26.6	230.1	6.12		
	44.69	44.69	44.69	2405	454	113	99	38	31	40	30	26.2	230.0	6.03	54	54
80 %	39.36	39.36	40.57	2405	416	109	94	37	30	35	32	24.5	229.5	5.62		
	39.36	39.36	40.57	2392	401	106	95	37	30	37	34	24.7	228.8	5.65		
	39.36	39.36	39.36	2419	404	106	93	37	30	36	34	24.4	228.8	5.58		
	39.36	39.36	38.76	2405	398	106	87	37	30	37	34	24.5	228.6	5.60	55	55
Full	47.95	47.95	47.95	2405	494	105	94	34	28	35	42	29.5	228.8	6.75		
	47.95	48.83	48.95	2405	497	113	99	33	28	35	45	29.1	228.8	6.66	56	56
	48.83	47.95	48.83	2392	497	113	99	34	28	36	41	29.2	228.8	6.68	57	57
	47.95	47.95	47.95	2417	491	113	99	33	27	35	43	28.2	228.8	6.45	58	58
90 %	42.53	42.53	42.53	2405	430	111	96	32	27	35	44	26.8	228.8	6.13		
	43.23	43.23	43.23	2405	429	109	95	32	27	35	44	27.0	228.8	6.18		
	42.53	42.53	43.23	2408	427	109	95	32	27	35	44	27.0	228.8	6.18		
	42.53	43.23	42.53	2407	427	109	95	32	27	35	44	27.0	228.8	6.18	59	59
80 %	38.22	38.78	38.22	2402	395	106	91	32	27	34	45	23.9	228.4	5.46		
	38.78	38.78	38.78	2405	392	104	92	32	26	34	47	24.1	228.5	5.51		
	38.78	38.78	38.78	2400	392	104	91	32	26	33	50	24.1	228.5	5.51		
	38.78	38.78	38.78	2402	392	104	91	32	26	33	50	23.8	228.5	5.44	60	60

ตารางที่ ง-5 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 60-75

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.95	48.83	47.95	2406	490	93	88	30	24	30	55	29.0	228.8	6.64	60	60
	47.95	47.95	47.95	2378	494	109	95	30	25	32	53	29.5	227.1	6.70	61	61
	48.83	48.83	49.75	2376	501	113	96	32	26	33	47	29.5	227.6	6.71	62	62
	49.75	49.75	48.75	2401	504	113	97	32	26	33	47	29.5	228.7	6.75	63	63
90 %	43.95	43.95	43.95	2405	436	109	93	32	26	34	46	26.8	228.8	6.13		
	43.23	43.95	43.23	2406	435	106	92	32	26	33	46	27.7	228.8	6.34		
	43.95	43.23	43.95	2405	436	106	93	33	27	34	44	27.8	228.8	6.36		
	43.95	43.95	43.95	2405	436	105	92	32	27	34	44	27.7	228.8	6.34	64	64
80 %	39.36	38.78	38.78	2405	392	104	90	32	27	34	43	25.1	228.1	5.73		
	39.36	38.78	38.78	2405	392	104	91	34	27	34	43	25.1	228.2	5.73		
	38.78	39.36	39.36	2405	392	104	90	34	27	34	43	25.1	228.1	5.73		
	39.36	39.36	39.36	2405	392	104	91	34	28	35	42	25.1	228.2	5.73	65	65
Full	48.83	48.83	48.83	2368	503	106	97	34	29	35	40	30.6	228.7	7.00		
	47.95	47.95	48.83	2404	500	113	101	37	29	35	36	30.0	228.7	6.86	66	66
	47.95	47.95	48.83	2419	500	113	99	37	30	37	35	30.0	228.8	6.86	67	67
	47.95	47.95	48.83	2378	506	113	102	37	31	39	34	30.0	228.0	6.84	68	68
90 %	43.95	43.95	43.23	2414	445	111	99	37	31	39	31	27.5	228.8	6.29		
	43.95	43.23	43.23	2405	447	111	99	37	31	39	31	27.4	228.8	6.27		
	43.95	44.69	43.23	2416	445	111	99	38	31	39	31	27.5	228.8	6.29		
	44.69	44.69	43.23	2406	448	109	99	38	31	35	31	27.4	228.8	6.27	69	69
80 %	39.36	39.36	39.95	2405	404	106	94	37	31	38	31	24.7	228.7	5.65		
	39.36	39.36	39.36	2405	404	106	94	38	31	36	31	24.7	228.7	5.65		
	38.78	39.36	39.36	2405	401	106	94	37	31	38	32	24.8	228.7	5.67		
	38.78	39.36	38.78	2405	404	106	94	37	31	37	33	24.8	228.6	5.67	70	70
Full	48.83	48.83	47.95	2405	503	111	99	36	29	37	42	29.8	228.6	6.81		
	49.75	49.75	49.75	2378	512	112	101	37	30	37	42	29.7	228.1	6.77	71	71
	49.75	48.83	49.75	2392	512	113	103	36	29	37	42	29.5	228.5	6.74	72	72
	48.83	49.75	48.83	2390	512	113	103	36	29	37	40	29.6	228.8	6.77	73	73
90 %	43.95	43.23	43.95	2405	442	110	94	35	29	37	41	27.1	228.8	6.20		
	43.23	43.23	43.23	2405	442	108	92	35	29	36	42	27.3	228.8	6.25		
	43.95	43.95	43.95	2405	445	106	91	34	29	37	42	27.1	228.8	6.20		
	43.95	43.95	43.95	2405	442	106	92	34	29	36	42	27.3	228.8	6.25	74	74
80 %	39.36	39.36	38.78	2405	403	105	93	34	29	36	43	24.5	228.2	5.59		
	39.36	39.36	39.95	2405	403	104	91	34	29	36	43	24.5	228.1	5.59		
	39.36	38.78	38.78	2405	401	104	89	34	29	36	43	24.6	228.1	5.61		
	38.76	39.95	39.36	2410	397	104	89	34	28	36	43	24.7	228.1	5.63	75	75

ตารางที่ ง-6 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 75-90

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	48.83	48.83	48.83	2392	488	102	93	35	26	32	51	30.0	228.7	6.86	75	75
	47.95	47.36	48.83	2378	488	114	99	35	26	34	52	29.1	228.7	6.66	76	76
	47.95	47.95	47.95	2378	500	115	98	37	27	35	51	29.2	228.1	6.66	77	77
	49.75	49.75	48.83	2378	507	115	99	37	28	35	49	29.0	227.8	6.61	78	78
90 %	43.95	44.69	43.95	2405	442	113	96	37	29	37	46	26.9	228.8	6.15		
	44.69	43.69	43.95	2405	443	113	96	37	29	37	44	27.3	228.7	6.24		
	43.95	43.95	43.95	2405	442	113	95	38	29	37	45	26.9	228.8	6.15		
	43.95	43.23	44.69	2405	445	115	102	38	29	37	43	27.3	228.8	6.25	79	79
80 %	39.36	39.36	39.95	2405	407	113	98	38	30	37	42	24.6	228.7	5.63		
	39.36	39.36	39.95	2405	410	113	99	38	30	37	43	24.5	228.7	5.60		
	39.36	39.36	39.36	2405	410	113	99	39	30	37	42	24.4	228.7	5.58		
	39.36	39.36	39.36	2405	407	112	99	38	31	37	42	24.1	237.1	5.71	80	80
Full	49.75	49.75	49.75	2378	506	118	105	40	31	39	40	29.3	228.8	6.70		
	49.75	48.83	48.83	2405	515	120	103	40	31	40	40	29.1	228.8	6.66	81	81
	49.75	48.83	48.83	2419	519	120	103	41	31	42	40	29.1	228.8	6.66	82	82
	48.83	48.83	49.75	2419	509	120	104	40	30	39	40	28.7	228.8	6.57	83	83
90 %	43.95	43.23	43.23	2405	445	116	100	40	30	38	40	26.7	228.8	6.11		
	43.95	43.95	43.23	2405	445	115	99	40	30	39	44	26.5	228.8	6.06		
	43.23	43.95	43.23	2405	445	115	99	40	30	39	43	26.4	228.8	6.04		
	43.23	43.95	43.95	2405	447	116	101	40	30	39	43	26.5	228.8	6.06	84	84
80 %	39.36	39.36	38.78	2419	410	112	95	40	31	38	42	24.1	228.7	5.51		
	39.36	39.36	39.36	2420	409	111	97	40	31	39	42	23.9	228.7	5.47		
	39.36	39.36	39.36	2419	409	111	97	40	31	39	42	24.1	228.8	5.51		
	39.36	39.36	39.36	2419	407	111	97	40	31	39	41	24.1	228.8	5.51	85	85
Full	48.83	47.95	47.95	2400	503	109	101	40	30	38	42	29.4	228.8	6.73		
	47.95	47.95	47.95	2400	506	119	105	40	30	39	42	28.8	227.8	6.56	86	86
	48.83	47.95	47.95	2380	506	119	105	39	29	38	46	29.2	228.8	6.68	87	87
	47.95	48.83	47.95	2378	506	119	106	39	29	38	46	28.9	228.8	6.61	88	88
90 %	43.23	43.23	43.23	2405	429	114	100	39	29	38	48	26.6	228.8	6.09		
	43.23	43.95	43.23	2406	433	113	100	39	29	38	48	27.1	228.8	6.20		
	43.95	43.23	43.95	2407	430	115	101	38	29	36	48	26.4	228.8	6.04		
	42.53	43.23	43.95	2416	433	114	101	39	29	37	48	26.4	228.8	6.04	89	89
80 %	39.36	38.76	39.36	2392	401	111	95	38	29	37	49	23.6	228.6	5.39		
	38.76	39.36	38.76	2392	401	111	98	38	29	37	50	23.5	228.6	5.37		
	38.78	38.78	38.76	2392	400	110	94	38	29	37	50	23.7	228.5	5.42		
	39.36	39.36	38.76	2392	398	109	95	38	29	37	50	23.9	228.6	5.46	90	90



ตารางที่ ง-7 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 90-105

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	46.26	46.26	46.26	2384	488	102	91	34	26	33	59	28.9	228.9	6.62	90	90
	47.09	46.26	47.09	2371	491	113	97	34	26	34	58	28.7	228.0	6.54	91	91
	48.83	47.95	47.95	2388	500	115	97	35	26	35	59	28.3	228.8	6.48	92	92
	47.09	47.95	47.95	2388	497	116	98	35	27	35	54	28.4	228.8	6.50	93	93
90 %	43.23	43.23	42.53	2412	442	115	96	36	28	36	52	26.6	228.0	6.06		
	43.23	43.23	42.53	2409	442	114	95	35	28	36	53	26.5	228.8	6.06		
	43.23	43.23	42.53	2414	442	114	97	36	28	36	52	26.6	228.8	6.09		
	43.23	43.23	43.23	2414	442	114	96	36	28	36	52	26.4	228.8	6.04	94	94
80 %	38.78	38.78	38.78	2402	404	115	95	35	29	35	50	24.0	228.6	5.49		
	38.78	38.78	38.78	2402	404	114	95	37	29	36	50	23.8	228.7	5.44		
	39.36	38.78	38.78	2400	407	114	95	37	29	36	49	23.9	228.7	5.47		
	38.78	38.78	39.36	2388	409	114	95	37	29	37	48	23.8	228.7	5.44	95	95
Full	47.95	47.95	47.95	2391	509	115	99	38	30	36	47	28.9	228.8	6.61		
	47.95	47.95	47.95	2388	509	120	103	37	31	38	43	28.5	228.4	6.51	96	96
	47.95	47.95	47.95	2388	512	120	103	39	31	39	44	28.7	228.8	6.57	97	97
	47.95	48.83	48.83	2388	514	119	102	38	31	36	45	28.1	228.8	6.43	98	98
90 %	43.95	43.95	43.95	2415	454	116	99	38	31	37	46	26.1	228.8	5.97		
	43.95	43.95	43.95	2415	454	115	100	39	31	38	47	26.2	228.8	5.99		
	43.95	43.95	43.95	2415	454	116	100	39	31	37	46	26.2	228.8	5.99		
	43.95	43.95	44.69	2415	454	115	100	39	31	37	45	26.1	228.8	5.97	99	99
80 %	37.36	39.36	39.36	2415	412	113	95	38	31	37	45	23.5	228.8	5.38		
	39.36	39.36	39.36	2405	413	112	95	39	31	38	46	23.5	228.7	5.37		
	39.36	39.36	39.36	2400	413	112	96	39	31	37	46	23.7	228.7	5.42		
	39.36	39.36	39.36	2394	413	112	95	39	31	37	46	24.0	228.8	5.49	100	100
Full	47.95	47.95	47.95	2406	512	116	103	38	31	38	50	28.2	228.8	6.45		
	48.83	48.83	47.95	2378	512	120	105	37	30	37	51	28.3	228.8	6.48	101	101
	49.75	49.75	49.75	2378	524	121	106	36	30	37	53	28.4	228.1	6.48	102	102
	49.75	48.83	49.75	2389	521	120	104	35	29	36	57	28.0	226.7	6.35	103	103
90 %	45.47	44.69	45.47	2405	463	116	101	36	29	36	58	26.0	227.8	5.92		
	45.47	45.47	45.47	2404	463	115	101	35	29	35	59	25.8	227.8	5.88		
	44.69	44.69	44.69	2400	463	115	101	35	29	35	58	25.8	227.9	5.88		
	45.47	45.47	45.47	2392	466	115	101	35	29	35	58	26.1	227.5	5.94	104	104
80 %	40.57	40.57	39.95	2397	426	113	98	35	29	34	59	23.3	227.3	5.30		
	39.95	40.57	39.95	2396	424	112	97	35	29	34	59	23.4	227.1	5.31		
	39.95	40.57	40.57	2396	422	111	98	35	28	35	62	23.3	227.2	5.29		
	40.57	40.57	40.57	2405	419	111	97	34	28	35	62	23.3	227.2	5.29	105	105

ตารางที่ ง-8 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 105-120

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	48.83	47.95	47.09	2405	500	113	97	34	27	34	73	29.7	207.6	6.17	105	105
	47.09	48.83	47.95	2405	497	116	99	35	27	35	69	29.0	207.6	6.02	106	106
	50.71	51.71	50.71	2446	534	112	101	37	28	36	60	28.8	227.9	6.56	107	107
	50.71	50.71	51.71	2446	494	112	85	37	29	37	55	26.6	215.3	5.73	108	108
90 %	41.20	41.80	43.23	2419	424	118	99	40	31	40	49	26.6	209.6	5.58		
	43.23	43.23	43.23	2425	442	116	101	40	31	40	49	26.7	209.6	5.60		
	43.23	43.23	43.23	2427	446	118	101	40	31	39	49	26.6	209.5	5.57		
	43.23	43.23	43.23	2432	448	118	102	40	31	40	49	26.6	209.6	5.58	109	109
80 %	39.95	40.57	39.95	2419	425	115	99	41	32	40	48	24.9	210.7	5.25		
	40.57	41.20	40.57	2419	427	115	99	40	32		49	25.1	211.2	5.30		
	40.57	40.57	41.20	2419	434	114	99	42	32	39	47	25.0	210.6	5.27		
	40.57	41.20	41.20	2419	425	113	98	40	32	40	48	25.3	210.7	5.33	110	110
Full	47.07	46.26	46.26	2405	491	111	101	41	32	39	48	28.5	208.1	5.93		0
	47.09	47.09	47.09	2392	470	114	91	40	32	41	46	28.1	208.6	5.86	111	1
	46.26	46.26	45.47	2418	488	120	107	42	32	39	47	28.1	207.4	5.83	112	2
	47.95	48.83	47.95	2419	504	111	95	37	28	33	71	31.3	220.2	6.89	113	3
90 %	43.23	43.95	43.23	2421	444	110	93	38	28	33	73	28.3	224.5	6.35		
	43.95	43.23	43.23	2419	442	109	101	37	28	33	73	28.1	224.5	6.31		
	43.95	43.95	43.23	2419	445	111	94	38	28	33	73	28.3	224.5	6.35		
	43.95	43.23	43.95	2419	442	109	95	38	28	35	72	28.3	224.0	6.34	114	4
80 %	40.57	40.57	40.57	2419	416	104	91	39	28	33	70	26.6	222.6	5.92		
	39.95	39.95	40.57	2419	416	104	89	41	28	31	64	26.8	222.5	5.96		
	40.57	39.95	39.95	2419	416	104	88	41	28	31	68	26.6	222.5	5.92		
	40.57	40.57	39.95	2419	419	104	88	40	28	31	68	26.7	222.5	5.94	115	5
Full	47.95	47.95	47.95	2380	499	106	94	40	28	31	69	30.6	219.4	6.71		
	47.95	48.83	48.83	2405	512	109	96	40	27	31	71	30.9	220.4	6.81	116	6
	49.75	48.83	47.95	2419	506	111	96	40	27	31	75	30.4	221.4	6.73	117	7
	48.83	47.95	48.83	2418	506	111	96	39	27	30	75	30.4	222.4	6.76	118	8
90 %	43.23	43.23	43.95	2405	442	106	93	40	27	31	72	28.4	223.4	6.34		
	43.23	43.23	43.95	2405	442	106	93	40	27	31	71	28.4	224.4	6.37		
	43.23	43.95	43.23	2404	442	106	93	40	27	31	71	28.4	225.4	6.40		
	43.23	43.23	43.23	2405	442	106	93	40	27	31	71	28.2	226.4	6.38	119	9
80 %	39.36	39.95	39.36	2405	410	104	89	40	26	31	72	25.6	227.4	5.82		
	39.36	39.95	39.36	2405	410	104	89	40	26	31	72	25.3	228.4	5.78		
	39.36	39.36	39.36	2405	410	102	89	40	26	30	73	25.6	229.4	5.87		
	39.95	39.95	39.36	2405	410	103	89	40	26	30	73	25.5	230.4	5.88	120	10

ตารางที่ ง-9 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 120-135

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.95	47.09	47.95	2405	488	100	88	36	26	32	75	30.4	219.4	6.67	120	10
	47.95	47.95	47.95	2392	494	110	92	36	27	32	74	29.5	219.1	6.46	121	11
	48.83	47.09	47.95	2392	494	108	95	37	27	32	70	29.5	219.7	6.48	122	12
	47.95	47.95	47.95	2391	497	108	96	38	28	33	66	30.0	219.7	6.59	123	13
90 %	43.95	43.95	43.95	2427	445	106	94	39	29	34	64	27.3	220.2	6.01		
	43.95	43.23	43.23	2405	442	105	92	39	29	34	63	27.4	221.3	6.06		
	43.95	43.23	43.23	2405	444	106	93	39	29	34	63	27.5	220.5	6.06		
	43.23	43.23	44.69	2405	444	106	93	39	29	35	61	27.2	220.5	6.00	124	14
80 %	39.95	39.95	39.95	2405	413	106	91	39	30	34	60	24.7	220.4	5.44		
	39.36	39.36	39.36	2405	413	105	92	40	30	35	59	24.8	220.4	5.47		
	39.36	39.95	39.95	2405	404	102	87	40	30	36	59	25.4	219.6	5.58		
	39.36	39.36	39.95	2405	410	103	91	40	30	37	59	25.4	219.5	5.58	125	15
Full	47.01	47.09	47.09	2389	492	104	93	42	31	37	58	29.7	218.4	6.49		
	47.09	47.95	47.09	2388	497	113	99	41	31	38	55	29.6	219.0	6.48	126	16
	48.83	48.83	48.83	2405	515	116	101	43	32	39	50	29.7	228.5	6.79	127	17
	48.83	48.83	48.83	2405	521	116	101	44	32	40	49	30.0	220.0	6.60	128	18
90 %	42.53	43.23	42.53	2405	511	111	99	45	32	39	48	27.7	219.1	6.07		
	43.95	43.23	43.23	2405	454	113	100	45	32	40	47	28.1	219.4	6.17		
	43.23	43.95	43.95	2405	454	113	99	44	32	40	47	27.8	218.4	6.07		
	43.95	43.23	43.23	2402	457	114	101	44	32	40	48	27.9	218.4	6.09	129	19
80 %	38.78	39.95	39.36	2394	416	112	97	45	32	40	47	24.9	218.7	5.45		
	38.78	39.36	39.36	2400	414	110	97	44	32	40	46	25.0	219.0	5.48		
	39.36	39.36	39.36	2405	416	111	97	45	32	40	47	24.9	218.9	5.45		
	38.78	39.36	39.36	2405	388	110	96	41	32	38	47	25.0	218.5	5.46	130	20
Full	47.95	48.83	48.83	2405	516	114	99	45	32	39	46	30.0	219.1	6.57		
	47.95	47.95	47.95	2393	512	115	100	42	32	39	47	29.7	219.7	6.53	131	21
	48.83	48.83	48.83	2399	512	114	99	41	31	39	51	29.9	220.0	6.58	132	22
	48.83	48.83	48.83	2405	509	111	97	41	30	38	60	30.0	220.4	6.61	133	23
90 %	43.95	44.69	44.69	2405	448	109	93	40	30	35	62	27.9	220.5	6.15		
	43.95	43.23	43.23	2405	447	108	93	39	30	36	63	28.0	220.5	6.17		
	43.95	43.95	43.23	2405	443	106	92	39	29	35	64	28.0	220.5	6.17		
	43.95	43.95	43.23	2405	442	106	92	39	29	35	64	28.0	220.5	6.17	134	24
80 %	39.95	40.57	40.57	2405	413	103	88	38	29	35	64	25.3	220.1	5.57		
	39.95	39.95	39.95	2405	413	102	91	38	29	35	64	25.3	220.2	5.57		
	40.57	39.95	40.57	2405	413	102	90	38	29	35	65	25.2	219.8	5.54		
	39.95	39.95	39.95	2405	410	102	89	38	29	35	65	25.1	219.8	5.52	135	25

ตารางที่ ง-10 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 135-150

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.09	47.09	47.09	2401	488	95	89	32	26	32	76	29.7	218.5	6.49	135	25
	47.95	48.83	47.95	2402	498	110	95	32	27	33	72	29.7	219.6	6.52	136	26
	47.09	47.09	48.83	2414	494	106	93	33	28	33	69	29.4	220.0	6.47	137	27
	47.09	47.09	47.09	2414	496	111	95	34	28	33	65	29.8	220.2	6.56	138	28
90 %	43.95	43.95	43.95	2402	449	108	92	34	28	35	63	28.3	218.4	6.18		
	43.95	43.95	43.95	2402	448	108	94	34	28	35	62	28.3	218.4	6.18		
	43.95	43.95	43.23	2403	445	109	93	34	29	35	61	28.0	218.4	6.12		
	43.95	43.90	43.23	2403	447	109	94	34	29	35	60	28.0	218.4	6.12	139	29
80 %	39.95	39.95	39.95	2415	416	106	91	35	29	35	60	25.2	220.0	5.54		
	39.95	39.95	39.95	2415	416	106	94	34	29	36	60	25.2	219.9	5.54		
	39.36	39.95	39.95	2415	414	106	94	35	29	36	60	25.4	219.9	5.59		
	39.95	39.95	39.36	2415	415	106	95	36	29	36	68	25.2	219.8	5.54	140	30
Full	47.95	47.95	46.26	2402	485	97	91	36	30	36	57	29.0	218.4	6.33		
	47.09	47.95	47.75	2402	502	110	98	35	30	38	57	29.7	219.6	6.52	141	31
	47.95	47.95	47.95	2402	506	113	101	37	31	39	52	29.3	219.9	6.44	142	32
	47.09	47.09	47.95	2402	506	111	99	37	31	37	50	29.3	219.7	6.44	143	33
90 %	43.95	43.95	44.69	2415	457	111	97	37	31	39	50	27.7	219.1	6.07		
	43.95	43.95	44.69	2415	454	109	96	38	31	39	51	27.7	219.1	6.07		
	44.69	44.69	43.95	2415	454	109	95	37	31	39	52	27.7	219.1	6.07		
	44.69	44.69	43.95	2415	452	109	95	37	31	39	51	27.6	219.2	6.05	144	34
80 %	39.36	39.95	39.95	2403	412	105	92	38	31	39	52	24.8	219.8	5.45		
	39.36	39.36	39.36	2402	410	104	92	39	31	39	50	24.6	219.2	5.39		
	39.36	39.36	39.36	2402	412	104	92	37	31	39	49	25.1	219.1	5.50		
	39.36	39.36	39.36	2402	412	104	92	37	31	39	49	25.0	219.9	5.50	145	35
Full	47.95	48.83	47.95	2415	507	109	98	37	31	35	52	29.8	219.7	6.55		
	47.95	47.95	48.83	2405	506	111	97	36	31	38	52	29.8	219.8	6.55	146	36
	48.83	48.83	47.95	2411	506	110	97	36	29	37	63	29.9	220.5	6.59	147	37
	48.83	48.83	48.83	2412	505	108	96	33	28	35	69	29.9	220.5	6.59	148	38
90 %	43.95	44.69	44.69	2415	452	105	91	33	28	35	69	28.2	220.4	6.22		
	44.69	44.69	44.69	2415	453	104	92	33	28	33	69	28.0	220.1	6.16		
	44.69	44.69	44.69	2415	451	104	91	32	28	34	68	28.2	220.2	6.21		
	44.69	44.69	44.69	2415	449	104	90	32	28	35	67	28.1	220.2	6.19	149	39
80 %	41.20	41.20	40.57	2410	419	104	89	32	28	35	67	25.2	219.9	5.54		
	40.57	40.57	40.57	2410	419	104	88	32	28	35	67	25.3	219.9	5.56		
	40.57	40.57	40.57	2410	417	104	89	32	28	35	68	23.4	219.9	5.15		
	40.57	41.20	41.20	2403	415	102	89	32	28	35	68	25.1	219.4	5.51	150	40

ตารางที่ ง-11 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 150-165

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.09	46.26	46.26	2401	482	99	91	30	26	31	67	29.9	218.4	6.53	150	40
	46.26	46.26	47.95	2396	488	105	91	30	26	32	66	29.9	218.5	6.53	151	41
	47.09	47.09	47.09	2396	489	106	93	31	26	33	63	29.8	218.4	6.51	152	42
	47.09	47.09	47.95	2396	494	106	94	32	27	34	58	29.3	218.4	6.40	153	43
90 %	44.69	43.95	43.95	2410	445	104	91	32	28	35	56	27.9	218.1	6.08		
	43.95	44.69	43.95	2410	447	104	91	33	28	35	56	27.9	219.1	6.11		
	43.35	43.95	43.95	2410	448	104	92	33	29	35	54	27.9	219.1	6.11		
	43.95	43.95	43.95	2410	448	105	94	34	29	36	52	27.7	219.1	6.07	154	44
80 %	39.36	39.36	39.95	2412	413	103	89	34	29	36	50	24.8	219.8	5.45		
	39.95	39.95	39.95	2410	413	102	89	34	29	36	50	25.0	219.7	5.49		
	39.95	39.95	39.95	2410	413	102	90	34	30	37	49	24.9	219.7	5.47		
	39.95	39.95	39.95	2414	413	102	91	35	30	37	49	24.8	219.7	5.45	155	45
Full	46.26	47.95	47.95	2423	503	109	99	36	31	39	45	29.4	220.5	6.48		
	47.49	47.95	47.95	2423	506	111	99	36	32	39	42	29.6	220.1	6.51	156	46
	47.95	47.95	47.95	2423	509	114	101	37	32	40	42	29.3	220.5	6.46	157	47
	47.95	47.95	47.95	2423	506	114	101	38	33	40	39	29.4	220.5	6.48	158	48
90 %	43.23	43.23	43.95	2410	454	112	98	37	33	41	39	28.0	218.4	6.12		
	43.23	43.95	43.95	2410	451	110	96	38	32	41	39	27.7	218.4	6.05		
	43.23	43.23	43.23	2410	451	110	97	38	32	40	40	27.7	218.4	6.05		
	43.95	43.95	43.95	2410	451	111	97	38	32	41	39	27.4	218.4	5.98	159	49
80 %	39.95	39.95	39.95	2412	421	109	94	39	32	38	40	24.8	219.8	5.45		
	39.95	39.95	39.95	2411	419	108	93	38	32	39	39	24.9	219.8	5.47		
	39.36	39.95	39.95	2411	419	106	93	39	32	40	40	24.8	219.8	5.45		
	39.95	39.95	39.95	2410	419	106	92	40	32	39	40	24.9	219.8	5.47	160	50
Full	46.26	47.09	47.09	2423	491	106	96	37	31	39	40	29.5	219.6	6.48		
	47.95	47.95	47.95	2410	500	111	98	37	31	39	40	29.3	220.5	6.46	161	51
	48.83	47.95	47.95	2399	509	111	97	37	30	38	41	28.9	219.1	6.33	162	52
	48.83	48.83	48.83	2410	512	113	98	37	30	37	44	29.2	220.3	6.43	163	53
90 %	45.47	44.69	44.69	2426	463	113	98	37	29	37	46	25.9	223.4	5.79		
	44.69	44.69	44.69	2415	463	113	97	37	29	37	46	25.7	223.3	5.74		
	44.69	44.69	43.95	2433	454	112	95	37	29	37	46	25.7	223.8	5.75		
	44.69	44.69	44.69	2423	457	112	96	37	29	37	45	25.8	223.2	5.76	164	54
80 %	39.95	39.95	39.95	2413	393	110	91	37	29	35	46	24.3	221.3	5.38		
	39.36	39.36	39.36	2413	413	109	91	37	29	36	46	24.4	221.5	5.40		
	39.95	39.95	40.57	2413	417	108	91	37	29	36	45	24.2	221.2	5.35		
	40.57	40.57	40.57	2413	425	109	93	37	29	36	46	24.2	220.5	5.34	165	55

ตารางที่ ง-12 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 165-180

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.09	47.95	47.09	2386	479	93	86	29	24	29	77	31.1	220.7	6.86	165	55
	47.95	48.83	47.95	2406	503	111	93	31	25	31	71	30.4	223.3	6.79	166	56
	49.75	48.83	47.95	2408	506	115	97	34	26	33	61	30.4	223.2	6.79	167	57
	48.83	48.83	48.83	2400	509	116	97	35	27	35	57	29.8	223.2	6.65	168	58
90 %	43.95	43.95	43.95	2412	451	115	96	36	27	35	56	28.5	223.0	6.36		
	44.69	43.95	43.95	2401	453	115	97	37	28	36	55	28.6	223.2	6.38		
	43.95	44.69	43.95	2400	451	114	96	37	29	35	53	28.4	223.2	6.34		
	44.69	43.95	44.69	2400	451	113	94	37	28	35	52	28.6	223.1	6.38	169	59
80 %	39.95	39.36	39.36	2401	413	112	93	38	29	35	50	25.4	224.0	5.69		
	39.36	39.36	39.36	2401	413	112	94	38	29	36	49	25.1	223.9	5.62		
	39.36	39.36	39.36	2400	413	113	96	38	29	38	47	25.5	223.9	5.71		
	39.36	39.36	39.36	2400	412	113	96	38	29	38	48	25.4	224.0	5.69	170	60
Full	47.09	47.95	47.09	2388	502	111	98	39	30	38	45	29.8	222.1	6.62		
	47.95	47.95	48.83	2388	512	122	103	38	31	40	40	29.0	223.2	6.47	171	61
	48.83	48.83	48.83	2386	518	124	103	39	32	40	40	28.7	223.2	6.41	172	62
	49.75	48.83	49.73	2390	524	124	101	40	32	41	39	28.6	223.7	6.40	173	63
90 %	43.23	43.23	43.23	2412	454	120	99	40	32	41	38	26.4	226.1	5.97		
	43.95	43.23	43.23	2412	454	120	100	40	32	41	40	26.4	226.3	5.97		
	43.23	43.23	43.95	2413	454	120	100	40	32	41	40	26.4	226.4	5.98		
	44.69	43.23	43.23	2413	454	120	100	40	32	41	40	26.4	226.6	5.98	174	64
80 %	39.36	39.95	39.95	2413	418	116	97	41	32	41	40	24.4	226.0	5.51		
	39.36	39.95	39.36	2413	419	116	98	41	32	41	42	24.4	226.0	5.51		
	39.36	39.36	39.36	2413	416	116	97	40	32	41	42	24.4	226.0	5.51		
	39.36	39.36	39.36	2413	413	115	97	39	31	40	44	24.2	226.3	5.48	175	65
Full	47.95	48.83	47.95	2386	509	118	101	40	31	39	47	29.7	222.5	6.61		
	48.83	48.83	48.83	2386	517	123	103	38	31	39	48	27.9	223.3	6.23	176	66
	48.83	48.83	47.95	2386	518	122	104	38	31	40	49	29.6	223.7	6.62	177	67
	48.83	48.83	48.83	2386	522	124	104	39	30	39	52	29.4	223.9	6.58	178	68
90 %	44.69	44.69	44.69	2400	463	122	101	40	30	39	46	27.4	225.2	6.17		
	44.69	44.69	44.69	2400	463	122	102	40	30	38	46	27.2	225.4	6.13		
	43.95	44.69	43.95	2398	463	122	102	39	30	38	46	27.3	225.3	6.15		
	43.95	43.95	43.95	2400	460	122	101	39	30	38	46	26.8	225.2	6.04	179	69
80 %	39.36	39.36	39.36	2399	419	120	97	38	30	38	48	24.3	224.7	5.46		
	39.36	39.36	39.36	2398	419	120	99	39	30	38	48	24.5	224.9	5.51		
	39.36	39.93	39.36	2398	416	119	99	39	30	38	48	24.8	224.9	5.58		
	39.36	39.36	39.36	2394	419	119	99	38	29	38	49	24.8	224.6	5.57	180	70



ตารางที่ ง-13 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 180-195

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	48.83	48.83	47.95	2386	504	104	91	32	26	32	74	30.0	222.0	6.66	180	70
	47.95	48.83	47.09	2386	509	115	99	34	26	33	69	29.4	221.7	6.52	181	71
	48.83	48.83	48.83	2372	506	120	100	36	28	38	60	28.7	223.2	6.41	182	72
	49.75	48.83	48.83	2396	515	115	99	36	29	36	57	29.0	223.2	6.47	183	73
90 %	43.95	43.23	43.95	2393	454	119	99	36	29	37	55	26.1	228.1	5.95		
	43.95	43.95	43.23	2387	451	118	98	37	29	37	55	26.4	228.1	6.02		
	43.95	43.95	43.23	2389	450	118	98	37	29	36	54	26.0	228.2	5.93		
	43.95	43.95	43.23	2387	451	118	98	37	29	36	53	26.3	228.1	6.00	184	74
80 %	40.57	39.36	39.36	2400	419	116	97	37	29	36	54	24.4	226.7	5.53		
	39.36	39.95	39.95	2399	419	116	95	38	30	37	52	23.7	226.7	5.37		
	40.57	39.95	39.36	2387	419	116	97	38	30	37	52	24.3	226.3	5.50		
	39.95	39.36	39.36	2391	416	116	97	38	30	37	52	24.1	226.6	5.46	185	75
Full	49.75	48.83	48.83	2401	521	122	101	39	31	39	48	28.8	223.3	6.43		
	48.83	48.83	48.83	2400	518	122	101	39	31	39	46	28.9	223.5	6.46	186	76
	49.75	49.75	48.83	2400	521	122	101	39	30	37	52	28.8	224.0	6.45	187	77
	49.75	49.75	48.83	2400	529	124	104	39	30	40	52	28.4	223.9	6.36	188	78
90 %	43.23	43.23	43.23	2410	454	122	100	40	30	40	51	25.5	226.2	5.77		
	43.23	43.23	43.23	2401	451	121	100	40	30	41	50	25.6	226.1	5.79		
	43.23	43.23	43.23	2403	451	121	99	40	31	42	48	25.7	226.1	5.81		
	43.23	43.23	43.23	2413	442	119	97	41	31	40	51	25.5	227.4	5.80	189	79
80 %	39.95	39.36	39.95	2400	425	118	97	41	30	40	50	24.5	226.7	5.55		
	39.95	39.95	39.95	2396	419	116	97	42	30	39	51	24.7	226.6	5.60		
	39.95	39.95	39.95	2386	419	115	97	42	30	39	51	24.3	226.3	5.50		
	39.95	39.95	39.95	2386	419	115	97	42	30	39	51	24.5	226.6	5.55	190	80
Full	47.95	47.95	47.95	2386	502	118	101	39	30	37	52	29.3	221.9	6.50		
	47.09	47.09	47.09	2386	500	122	101	39	29	39	53	29.1	221.4	6.44	191	81
	47.09	47.09	47.09	2386	500	121	100	39	29	39	54	29.4	221.5	6.51	192	82
	47.09	47.09	47.09	2386	500	121	101	39	29	39	55	29.3	221.4	6.49	193	83
90 %	43.95	43.95	44.69	2400	457	120	102	39	29	39	56	26.6	228.9	6.09		
	43.95	43.95	43.95	2400	463	121	101	39	29	39	56	26.8	228.8	6.13		
	43.95	43.95	43.95	2400	457	121	101	39	29	38	56	26.6	229.3	6.10		
	44.69	44.69	45.47	2400	461	121	101	39	29	37	56	26.9	228.9	6.16	194	84
80 %	40.57	40.57	39.95	2400	430	120	101	38	29	38	56	25.5	226.8	5.78		
	40.57	40.57	40.57	2400	425	120	100	38	29	37	57	25.3	226.8	5.74		
	40.57	39.95	39.95	2400	425	119	99	37	29	37	57	25.3	226.7	5.74		
	39.95	39.95	39.95	2400	425	119	100	38	29	37	58	25.3	226.8	5.74	195	85

ตารางที่ ง-14 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 195-210

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.95	47.95	47.95	2386	496	106	94	33	26	34	75	29.7	222.1	6.60	195	85
	47.95	47.95	47.09	2386	497	119	100	33	26	35	72	29.6	222.3	6.58	196	86
	47.09	47.09	47.95	2386	494	115	96	35	27	35	69	28.9	222.6	6.43	197	87
	47.09	47.95	47.95	2399	497	113	93	37	27	35	67	28.8	222.6	6.41	198	88
90 %	43.95	43.23	43.95	2398	448	112	92	37	27	35	67	26.7	228.8	6.11		
	43.23	43.23	43.23	2395	443	111	92	38	28	35	66	26.8	228.7	6.13		
	43.95	43.95	43.95	2390	445	111	92	37	28	35	65	26.7	228.8	6.11		
	43.95	43.95	43.23	2395	445	111	92	35	28	38	64	26.6	228.8	6.09	199	89
80 %	40.57	39.36	39.95	2393	416	108	89	38	29	36	61	24.8	226.7	5.62		
	39.95	39.95	39.95	2387	416	106	89	37	29	36	60	25.0	226.6	5.67		
	39.95	39.95	39.95	2393	413	108	91	38	29	37	60	25.0	226.6	5.67		
	40.57	39.95	39.95	2387	416	108	92	38	29	37	59	25.1	226.6	5.69	200	90
Full	47.95	47.09	47.95	2386	410	109	97	38	30	38	56	29.0	222.0	6.44		
	48.83	49.75	48.83	2413	518	115	97	37	30	37	57	29.3	226.1	6.62	201	91
	47.09	47.09	47.09	2393	494	116	97	37	29	35	56	28.8	225.2	6.49	202	92
	47.75	47.09	47.09	2400	498	116	97	38	28	35	72	28.7	225.7	6.48	203	93
90 %	44.69	44.69	44.69	2400	454	113	96	37	28	36	67	26.4	228.8	6.04		
	43.95	43.95	44.69	2400	454	113	94	37	28	35	67	26.5	229.4	6.08		
	43.95	43.95	43.95	2399	454	113	96	37	29	36	66	26.6	229.2	6.10		
	43.23	43.95	43.23	2399	447	106	92	37	29	34	63	26.0	228.4	5.94	204	94
80 %	39.36	39.36	39.95	2398	416	110	93	36	29	36	63	25.0	226.5	5.66		
	39.95	39.36	40.57	2399	416	110	93	37	29	36	61	24.8	226.5	5.62		
	39.95	39.95	39.95	2400	416	110	93	37	29	36	59	24.7	226.3	5.59		
	39.95	39.95	39.95	2396	416	110	95	37	29	36	60	24.7	226.0	5.58	205	95
Full	47.09	47.95	46.26	2389	491	102	94	38	29	35	61	29.0	222.7	6.46		
	48.83	48.83	47.95	2399	515	118	99	37	28	35	62	28.9	224.0	6.47	206	96
	48.83	48.83	48.83	2386	512	116	100	37	28	35	64	29.4	224.5	6.60	207	97
	47.95	48.83	48.83	2387	515	116	101	35	28	35	65	29.2	224.6	6.56	208	98
90 %	44.69	43.95	43.95	2412	457	113	96	36	28	35	64	29.1	231.7	6.74		
	44.69	44.69	43.95	2413	458	113	97	37	28	35	65	26.4	230.1	6.07		
	43.95	44.69	44.69	2413	457	113	96	36	28	36	66	26.3	229.8	6.04		
	44.69	43.95	44.69	2413	457	113	97	37	28	36	66	26.5	230.2	6.10	209	99
80 %	39.36	39.95	39.36	2386	412	106	90	36	28	33	64	24.8	226.7	5.62		
	39.36	39.36	39.36	2386	410	104	89	36	28	33	64	24.4	226.7	5.53		
	39.36	39.36	39.95	2386	412	102	88	35	28	33	65	24.6	226.5	5.57		
	39.36	39.36	39.36	2386	410	103	88	35	28	33	65	24.7	226.0	5.58	210	100

ตารางที่ ง-15 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 210-225

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.98	48.83	48.83	2390	512	106	94	31	26	34	62	30.3	222.6	6.74	210	100
	48.83	50.71	48.83	2400	515	116	99	32	27	35	58	29.9	224.6	6.72	211	101
	47.95	47.95	47.95	2386	505	116	99	33	27	36	57	29.3	224.0	6.56	212	102
	47.95	47.95	47.95	2386	501	116	100	34	27	37	56	29.4	223.9	6.58	213	103
90 %	43.95	43.23	43.93	2413	451	115	98	34	27	36	56	26.4	228.1	6.02		
	43.23	43.95	43.23	2386	439	112	93	35	27	37	55	26.3	225.7	5.94		
	44.69	43.95	44.69	2413	451	111	94	35	28	35	55	26.4	227.0	5.99		
	43.95	43.95	43.95	2413	451	111	94	34	28	35	54	26.6	226.8	6.03	214	104
80 %	38.78	38.78	39.95	2400	413	109	91	35	28	36	53	24.7	226.2	5.59		
	39.95	40.57	39.36	2400	413	108	91	36	28	35	53	24.7	226.7	5.60		
	39.95	39.36	39.95	2400	413	109	91	35	29	36	52	24.9	226.7	5.64		
	39.95	39.35	39.95	2400	413	110	92	36	29	36	51	24.6	226.2	5.56	215	105
Full	48.83	48.83	48.83	2386	512	110	96	34	29	36	51	29.8	221.8	6.61		
	48.83	48.83	48.83	2389	512	113	97	34	30	35	51	29.8	221.5	6.60	216	106
	49.75	47.95	48.83	2386	515	114	98	34	30	37	49	29.5	221.2	6.53	217	107
	49.75	47.95	47.95	2386	514	114	98	34	30	36	48	29.8	221.5	6.60	218	108
90 %	43.23	43.23	43.95	2403	455	114	95	37	30	35	47	26.9	221.3	5.95		
	43.95	43.23	43.95	2402	454	114	97	36	30	37	45	26.9	220.8	5.94		
	42.53	43.23	42.53	2399	439	109	91	35	30	34	46	26.8	220.1	5.90		
	42.53	42.53	42.53	2397	439	109	93	35	30	34	47	26.6	220.4	5.86	219	109
80 %	40.57	40.57	40.57	2398	448	110	93	34	29	37	48	24.7	225.9	5.58		
	40.57	40.57	40.57	2400	425	111	93	34	29	37	48	24.8	226.4	5.61		
	40.57	41.20	40.57	2398	427	111	92	35	29	37	48	24.8	226.6	5.62		
	39.95	39.95	40.57	2397	427	110	91	35	29	37	49	24.6	226.4	5.57	220	110
Full	47.09	47.95	47.95	2386	509	105	93	34	28	35	55	30.8	222.5	6.85		
	47.95	47.09	47.95	2386	509	115	98	34	29	36	56	30.5	222.5	6.79	221	1
	48.83	47.09	47.09	2409	508	120	100	33	29	37	53	30.0	224.0	6.72	222	2
	48.83	47.09	47.09	2409	508	120	100	33	29	37	53	30.0	224.0	6.72	223	3
90 %	43.95	43.95	43.95	2413	454	113	94	31	28	35	66	27.1	227.3	6.16		
	43.95	43.95	43.95	2413	454	111	93	31	27	34	67	27.4	227.0	6.22		
	43.95	44.69	44.69	2413	454	111	91	31	27	34	67	27.7	226.8	6.28		
	44.69	44.69	43.95	2413	454	110	93	31	27	34	68	27.8	227.0	6.31	224	4
80 %	38.22	38.78	38.22	2413	403	108	87	31	27	34	68	25.4	221.7	5.63		
	38.22	38.22	38.22	2413	401	106	87	31	27	34	67	25.4	221.8	5.63		
	38.22	38.22	38.22	2413	401	106	87	31	27	34	66	25.2	221.7	5.59		
	38.22	38.78	38.78	2413	401	106	87	31	27	34	65	24.2	229.3	5.55	225	5

ตารางที่ ง-16 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 225-240

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)								Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil	
Full	47.95	47.95	47.95	2386	497	92	85	28	25	30	68	30.9	221.5	6.84	225	5	
	47.95	47.95	47.95	2372	504	108	94	27	26	31	62	30.6	221.2	6.77	226	6	
	47.09	47.09	47.95	2373	503	106	91	30	26	32	58	30.3	221.2	6.70	227	7	
	49.75	49.75	49.75	2386	521	109	92	32	27	32	58	30.6	223.2	6.83	228	8	
90 %	42.53	42.53	42.53	2400	440	105	89	32	27	32	39	28.1	224.5	6.31			
	43.23	42.53	42.53	2405	439	104	88	32	27	32	52	27.9	224.4	6.26			
	42.53	42.53	43.23	2404	439	103	89	32	28	32	54	28.1	224.1	6.30			
	43.23	42.53	42.53	2405	439	104	88	33	28	32	54	27.9	224.2	6.26	229	9	
80 %	40.57	40.57	40.57	2405	425	103	87	34	29	33	48	27.1	223.3	6.05			
	40.57	41.20	41.20	2405	427	102	87	34	29	33	48	27.1	223.3	6.05			
	40.57	40.57	40.57	2405	426	104	87	34	29	34	50	27.1	223.5	6.06			
	40.57	40.57	40.57	2405	428	103	88	34	29	33	50	27.3	223.3	6.10	230	10	
Full	47.95	47.95	47.95	2404	506	103	91	34	30	36	45	30.1	223.2	6.72			
	47.95	47.95	47.95	2391	509	113	97	34	30	37	42	29.9	222.7	6.66	231	11	
	47.95	47.95	47.95	2391	512	113	97	35	31	38	40	29.9	222.6	6.66	232	12	
	47.95	47.95	47.95	2391	509	111	95	37	31	38	39	29.9	222.5	6.65	233	13	
90 %	42.53	42.53	42.53	2418	439	109	92	37	31	37	39	26.4	228.1	6.02			
	42.53	43.23	43.23	2418	448	108	92	37	31	37	39	27.0	226.7	6.12			
	43.23	42.53	43.23	2418	448	108	92	37	31	37	38	26.8	226.8	6.08			
	43.23	42.53	43.23	2418	448	108	93	37	31	37	39	26.7	226.7	6.05	234	14	
80 %	39.36	39.36	39.36	2403	422	106	92	37	31	37	39	25.5	223.2	5.69			
	39.36	39.36	39.36	2403	419	106	91	37	31	37	39	25.5	223.2	5.69			
	39.36	39.95	39.36	2404	419	106	91	37	31	37	38	25.6	223.2	5.71			
	39.95	40.57	39.36	2401	419	106	91	37	31	37	39	25.8	223.2	5.76	235	15	
Full	49.75	50.71	50.71	2391	539	113	99	34	30	36	41	29.9	223.4	6.68			
	50.71	50.71	50.71	2391	539	114	97	34	30	36	42	29.8	223.9	6.67	236	16	
	48.83	48.83	48.83	2405	515	115	100	34	29	35	48	29.3	222.7	6.53	237	17	
	48.83	47.95	47.95	2405	515	115	99	34	29	34	49	28.8	222.6	6.41	238	18	
90 %	42.53	42.53	41.86	2418	436	111	96	32	28	34	51	27.0	222.9	6.02			
	41.86	41.86	41.86	2415	436	109	95	32	28	34	52	26.7	222.0	5.93			
	42.53	42.53	42.52	2411	435	108	94	32	28	33	53	26.9	221.9	5.97			
	41.86	42.53	42.53	2410	435	106	94	32	28	33	54	27.0	221.8	5.99	239	19	
80 %	39.95	40.57	39.95	2406	419	106	92	31	28	29	54	24.7	224.7	5.55			
	39.95	39.95	39.95	2405	416	104	91	31	28	33	53	24.8	224.7	5.57			
	39.95	40.57	39.95	2405	415	104	91	31	28	33	54	25.0	224.6	5.62			
	39.95	39.95	40.57	2405	416	103	88	31	27	32	54	25.0	224.7	5.62	240	20	

ตารางที่ ง-17 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 240-255

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	48.83	48.83	52.24	2401	518	104	94	32	25	31	67	30.5	223.3	6.81	240	20
	48.83	48.83	48.83	2401	514	113	95	32	26	32	54	30.5	223.2	6.81	241	21
	47.95	47.09	47.09	2406	505	113	97	33	27	34	48	29.8	223.2	6.65	242	22
	48.83	48.83	47.95	2403.00	509	116	99	35	28	34	46	29.9	223.7	6.69	243	23
90 %	41.89	42.53	41.86	2401	436	112	95	36	28	35	45	27.3	222.9	6.09		
	42.53	42.53	42.53	2404.00	433	112	94	36	28	35	45	27.5	222.9	6.13		
	41.86	41.86	41.86	2402	436	111	93	36	29	35	44	27.2	223.0	6.07		
	41.86	41.86	42.53	2403	433	113	97	36	29	35	43	27.4	222.7	6.10	244	24
80 %	38.78	38.78	38.78	2401	410	113	97	37	29	36	41	25.0	223.7	5.59		
	38.78	38.78	38.78	2401	410	113	97	37	29	36	42	24.9	223.8	5.57		
	39.36	38.78	38.78	2401	410	113	97	37	30	36	41	25.1	223.5	5.61		
	38.78	38.78	38.78	2401	410	111	94	37	30	37	40	24.9	223.5	5.57	245	25
Full	45.47	45.47	44.69	2401	506	102	92	38	30	37	39	28.2	227.0	6.40		
	47.95	47.95	47.95	2405	506	116	100	36		37		29.7	223.9	6.65	246	26
	47.09	47.09	47.09	2410	503	113	95	36		35		29.6	224.7	6.65	247	27
	47.95	47.95	47.95	2408	506	112	94	36		35		29.8	224.6	6.69	248	28
90 %	43.95	43.95	43.95	2415	454	111	92	37		33		27.3	226.8	6.19		
	43.95	43.95	43.95	2418	457	111	93	36		33		27.4	226.9	6.22		
	43.95	43.95	43.95	2418	454	111	92	37		33		27.4	227.0	6.22		
	43.95	43.95	43.95	2405	371	105	88	37		33		24.2	222.9	5.39	249	29
80 %	38.22	38.22	38.22	2409	395	106	89	35		33		24.9	222.6	5.54		
	38.22	38.22	38.22	2408	395	88	70	35		32		25.2	222.6	5.61		
	38.78	38.78	38.78	2408	395	106	89	35		33		25.1	222.6	5.59		
	38.22	38.22	38.22	2406	392	104	89	35		33		24.8	222.5	5.52	250	30
Full	47.09	47.09	47.95	2391	475	99	86	32	26	31	52	30.1	224.6	6.76		
	47.95	47.95	47.95	2391	500	111	91	34	27	31	51	30.3	225.4	6.83	251	31
	47.95	47.95	47.09	2405	498	113	91	35	26	30	50	29.5	228.1	6.73	252	32
	47.95	47.09	47.09	2405	500	116	95	35	26	30	50	29.9	228.8	6.84	253	33
90 %	43.23	43.23	43.23	2405	442	114	91	36		30		27.1	228.2	6.18		
	43.23	43.23	43.23	2404	400	105	86	35		29		24.1	231.5	5.58		
	43.23	43.23	43.23	2405	432	96	86	36		30		26.6	226.9	6.04		
	43.23	43.23	43.23	2398	394	108	87	35		28		23.9	231.5	5.53	254	34
80 %	39.36	39.36	39.36	2391	404	106	86	34		28		23.8	231.0	5.50		
	39.36	39.36	39.36	2393	404	106	87	35		28		24.0	231.2	5.55		
	38.78	38.78	38.78	2391	407	108	87	35		28		24.0	231.1	5.55		
	38.78	38.78	38.78	2391	404	105	86	34		28		23.8	230.9	5.50	255	35

ตารางที่ ง-18 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 255-270

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	50.71	48.83	49.75	2401	516	104	91	34	26	31	42	30.3	223.2	6.76	255	35
	49.75	49.75	49.75	2401	518	114	95	35	27	33	40	29.6	223.2	6.61	256	36
	49.75	49.75	41.75	2401	521	115	97	33	27	36	40	29.8	223.3	6.65	257	37
	50.71	49.75	50.71	2401.00	524	119	97	33	29	36	36	30.0	222.4	6.67	258	38
90 %	43.95	45.47	44.69	2401	469	119	98	33	29	35	33	27.3	228.3	6.23		
	45.47	45.47	45.47	2401	471	119	99	39	25	35	45	26.8	228.1	6.11		
	44.69	44.69	44.69	2401	466	119	99	39	25	35	45	27.1	228.1	6.18		
	45.47	45.47	45.47	2401	466	119	100	39	26	35	44	26.8	228.3	6.12	259	39
80 %	38.22	38.22	38.22	2401	404	114	95	40	26	35	44	23.4	230.1	5.38		
	38.22	38.22	38.22	2401	406	113	94	40	26	35	44	23.3	230.1	5.36		
	38.78	38.78	38.78	2401	407	113	94	40	27	35	44	23.1	230.0	5.31		
	38.22	38.22	38.22	2401	406	113	94	40	27	35	42	23.4	230.1	5.38	260	40
Full	48.83	50.71	48.83	2399	516	101	91	36	27	32	48	30.6	222.5	6.81		
	50.71	51.71	49.75	2415	527	119	97	35	27	32	42	30.4	224.1	6.81	261	41
	50.71	50.71	50.71	2404	533	123	103	37	26	31	43	30.0	224.4	6.73	262	42
	50.71	51.71	50.71	2402	533	121	99	31	26	35	45	30.0	224.3	6.73	263	43
90 %	44.69	44.69	44.69	2401	463	118	97	36	26	30	46	27.3	228.0	6.22		
	44.69	43.35	44.69	2401.00	457	116	97	37	25	30	48	27.0	228.2	6.16		
	44.69	44.69	44.69	2401.00	457	116	97	37	25	30	48	27.0	228.1	6.16		
	44.69	44.69	44.69	2401	459	115	96	37	25	30	47	26.7	228.1	6.09	264	44
80 %	39.95	40.57	39.95	2401	422	113	93	37	25	30	47	25.0	226.7	5.67		
	39.95	40.57	39.95	2401	419	113	94	36	25	30	47	24.9	226.6	5.64		
	40.57	40.57	40.57	2401	419	113	94	36	25	30	46	24.6	226.4	5.57		
	40.57	40.57	40.57	2401	416	113	94	36	25	31	45	25.0	226.6	5.67	265	45
Full	47.09	46.26	45.47	2401	482	116	97	35	25	31	46	29.4	226.7	6.66		
	46.26	46.26	47.09	2401	485	116	97	36	25	30	45	29.5	226.7	6.69	266	46
	47.95	47.09	47.95	2401	497	115	95	35	25	29	45	30.0	225.2	6.76	267	47
	47.09	47.09	47.09	2400	494	115	95	35	25	29	46	30.1	225.2	6.78	268	48
90 %	43.23	42.53	43.23	2401	436	113	92	35	24	29	48	27.5	227.4	6.25		
	42.53	42.53	43.23	2401	434	113	93	35	24	28	48	27.6	227.4	6.28		
	43.23	43.23	43.23	2401	436	113	93	35	24	28	48	27.7	227.3	6.30		
	42.53	43.53	42.53	2401	433	113	94	35	24	29	47	27.6	227.3	6.27	269	49
80 %	38.78	38.22	38.72	2401	400	111	90	35	24	28	49	24.3	231.6	5.63		
	38.78	38.78	38.22	2401	398	110	88	35	24	28	49	24.2	231.5	5.60		
	38.78	38.78	38.78	2401	397	110	89	35	24	29	49	24.2	231.5	5.60		
	38.78	38.78	38.78	2401	395	109	89	35	24	29	49	24.3	231.5	5.63	270	50



ตารางที่ ง-19 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 270-285

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.09	46.26	46.26	2401	476	101	89	32	23	26	55	30.6	221.3	6.77	270	50
	47.95	47.09	47.09	2401	482	112	93	32	24	27	55	30.4	221.2	6.72	271	51
	47.09	47.09	46.26	2401	482	113	92	34	24	28	56	30.1	221.2	6.66	272	52
	46.26	47.09	46.26	2401	488	115	94	35	24	30	53	30.0	221.2	6.64	273	53
90 %	42.53	42.53	42.53	2401	435	113	93	37	24	31	53	27.3	226.5	6.18		
	43.23	42.53	42.53	2401	433	113	93	37	24	31	50	27.3	226.2	6.18		
	43.23	43.23	43.23	2401	435	113	92	37	25	31	46	27.1	226.6	6.14		
	43.23	42.53	42.53	2401	433	113	93	37	25	31	44	27.1	226.5	6.14	274	54
80 %	39.36	39.78	39.36	2401	413	111	90	38	25	32	42	25.3	228.8	5.79		
	39.36	39.36	39.36	2401	412	111	90	38	26	32	41	25.1	228.8	5.74		
	39.95	39.95	39.95	2401	413	111	91	38	27	32	40	25.3	228.8	5.79		
	39.36	39.95	39.36	2401	413	111	91	38	27	32	38	25.1	228.7	5.74	275	55
Full	47.09	47.09	47.95	2401	491	104	94	38	27	33	34	30.5	221.6	6.76		
	47.95	48.83	47.95	2401	506	120	100	39	28	35	30	30.1	222.8	6.71	276	56
	48.83	48.83	49.75	2401	509	121	100	39	29	34	29	30.2	222.7	6.73	277	57
	48.83	48.83	47.95	2401	509	122	101	40	30	36	28	30.3	223.2	6.76	278	58
90 %	42.53	43.23	42.53	2401	448	120	99	40	29	35	28	27.0	227.2	6.13		
	43.23	43.23	43.23	2401	448	119	99	40	29	36	28	27.1	226.8	6.15		
	43.23	43.95	43.23	2401	453	119	99	41	29	36	28	27.1	226.7	6.14		
	43.23	43.23	43.23	2401	451	119	100	41	29	36	27	26.9	227.8	6.13	279	59
80 %	39.36	39.36	39.95	2401	416	116	97	42	29	36	28	25.1	228.5	5.74		
	39.36	39.36	39.36	2401	416	116	96	41	29	36	27	25.0	228.8	5.72		
	39.95	39.36	39.95	2401	416	116	97	41	29	36	27	25.0	228.7	5.72		
	39.36	39.36	39.36	2401	413	115	96	40	29	36	29	25.1	228.6	5.74	280	60
Full	48.83	47.09	47.95	2401	500	111	97	40	29	35	31	30.4	222.4	6.76		
	48.83	47.95	48.83	2401	512	122	102	39	28	34	38	30.3	222.5	6.74	281	61
	48.83	48.83	48.83	2401	509	120	97	39	27	32	44	30.5	223.7	6.82	282	62
	47.95	47.95	47.95	2401	507	122	101	38	26	32	49	30.4	223.9	6.81	283	63
90 %	42.53	41.86	42.53	2401	439	118	97	37	26	32	50	27.2	226.4	6.16		
	42.53	42.53	41.86	2401	439	118	97	37	26	32	50	27.1	226.1	6.13		
	42.53	41.86	42.53	2401	438	118	97	37	26	32	49	27.2	226.1	6.15		
	41.86	42.53	42.53	2401	439	116	95	37	26	32	49	27.2	226.1	6.15	284	64
80 %	39.36	39.36	39.36	2401	413	114	93	37	26	32	46	25.2	228.8	5.77		
	39.36	39.36	39.95	2401	413	114	94	37	26	32	45	25.4	228.8	5.81		
	39.36	39.95	38.78	2401	410	113	93	37	26	32	42	25.3	229.5	5.81		
	38.78	39.36	39.36	2401	410	113	93	37	26	32	42	25.3	229.5	5.81	285	65

ตารางที่ ง-20 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 285-300

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	45.47	44.26	45.47	2401	476	97	89	33	24	28	48	30.3	221.8	6.72	285	65
	47.09	46.26	46.26	2392	485	113	95	32	24	28	49	30.3	222.7	6.75	286	66
	47.95	47.95	47.95	2401	500	118	98	34	24	28	49	30.3	223.2	6.76	287	67
	47.95	47.95	47.95	2401	506	119	99	35	24	29	48	29.6	222.4	6.58	288	68
90 %	43.95	43.95	43.95	2400	454	118	96	35	25	29	45	27.1	227.4	6.16		
	43.95	44.69	43.95	2401	454	118	96	36	25	30	45	27.2	227.6	6.19		
	43.95	44.69	43.95	2401	454	114	95	35	25	31	45	27.3	227.4	6.21		
	44.69	44.69	44.69	2401	454	114	95	36	26	31	44	27.2	227.5	6.19	289	69
80 %	39.95	39.95	39.95	2401	419	113	94	36	26	32	44	25.0	228.8	5.72		
	39.95	39.95	39.95	2401	419	112	91	37	26	32	44	25.1	228.8	5.74		
	39.36	39.36	40.57	2401	419	111	94	37	27	33	44	25.0	229.0	5.73		
	41.20	41.20	39.50	2401	419	112	93	37	27	32	42	24.9	228.8	5.70	290	70
Full	47.95	47.35	48.83	2401	509	109	94	37	27	33	41	30.0	221.9	6.66		
	48.83	49.75	48.83	2387	524	122	104	39	28	35	38	30.1	222.5	6.70	291	71
	50.71	50.71	50.71	2415	542	124	105	40	29	36	34	30.2	224.6	6.78	292	72
	50.71	50.71	50.71	2415	540	128	107	40	30	37	31	30.0	224.7	6.74	293	73
90 %	44.69	43.95	43.23	2413	454	121	98	41	30	37	31	26.4	227.5	6.01		
	43.95	43.23	43.95	2415	451	119	98	41	30	37	31	26.6	227.5	6.05		
	43.95	42.53	43.95	2401	426	118	97	41	30	36	31	25.2	229.4	5.78		
	43.95	43.95	43.95	2404	454	119	97	41	30	35	31	27.0	227.4	6.14	294	74
80 %	39.36	39.36	39.36	2401	422	116	95	41	30	37	30	25.0	229.5	5.74		
	39.36	39.36	39.36	2402	419	114	95	41	30	36	30	25.0	229.5	5.74		
	39.95	39.36	39.95	2401	419	114	95	41	30	37	31	25.0	229.5	5.74		
	39.36	39.95	39.36	2401	416	114	94	41	30	36	30	24.8	229.4	5.69	295	75
Full	49.75	48.83	47.95	2401	512	108	98	41	30	35	30	30.1	222.6	6.70		
	50.71	50.71	51.71	2414	536	124	102	40	29	34	40	29.7	224.7	6.67	296	76
	51.71	51.71	50.71	2404	539	127	106	40	28	37	44	29.9	224.2	6.70	297	77
	49.75	49.75	48.83	2401	521	122	100	38	27	31	50	30.2	225.7	6.82	298	78
90 %	43.95	43.95	43.95	2401	451	120	97	37	27	31	54	26.9	227.4	6.12		
	43.95	43.95	43.95	2401	448	116	96	38	27	31	54	26.7	227.8	6.08		
	44.69	43.95	44.69	2401	451	116	97	38	27	31	52	27.0	227.7	6.15		
	43.95	43.95	43.95	2401	448	116	97	38	27	31	50	27.0	227.6	6.15	299	79
80 %	39.95	39.95	39.95	2401	422	115	95	37	27	32	46	25.1	229.3	5.76		
	39.95	40.57	40.57	2401	422	114	94	37	27	32	46	25.0	229.0	5.73		
	40.57	40.57	40.57	2401	422	114	95	37	27	31	46	25.1	228.8	5.74		
	39.95	39.95	39.95	2401	416	114	95	37	26	31	47	25.2	229.4	5.78	300	80

ตารางที่ ง-21 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 300-315

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	46.26	46.26	46.26	2401	473	96	87	32	23	27	58	32.2	210.1	6.77	300	80
	47.95	48.83	47.95	2401	494	108	91	30	23	28	49	31.5	212.8	6.70	301	81
	47.09	47.09	47.09	2401	488	110	91	32	23	28	47	31.7	215.1	6.82	302	82
	47.09	47.09	47.09	2401	488	111	90	32	23	28	49	31.3	215.7	6.75	303	83
90 %	42.53	43.23	42.53	2401	436	110	88	32	23	28	48	27.5	224.2	6.17		
	43.23	43.23	43.95	2401	433	109	88	32	23	28	48	27.6	224.3	6.19		
	43.23	42.53	43.23	2401	433	109	88	32	23	28	48	27.5	224.6	6.18		
	42.53	42.53	42.53	2401	430	109	89	32	23	28	49	27.4	224.5	6.15	304	84
80 %	38.22	38.22	38.22	2408	392	106	87	32	24	29	48	25.2	226.7	5.71		
	38.22	37.67	38.22	2401	392	106	87	33	24	29	47	24.8	226.0	5.60		
	37.67	37.67	38.22	2402	388	105	87	32	24	29	46	24.7	226.2	5.59		
	38.78	38.22	37.67	2401	390	104	86	33	24	29	45	25.0	226.0	5.65	305	85
Full	46.26	47.09	47.09	2401	488	111	92	34	25	31	44	31.8	214.9	6.83		
	48.83	48.83	48.83	2402	512	115	95	35	26	31	43	30.6	221.2	6.77	306	86
	48.83	47.95	48.83	2401	514	116	96	37	27	32	43	30.5	221.1	6.74	307	87
	48.83	48.83	48.83	2401	515	120	99	38	27	33	37	30.2	220.5	6.66	308	88
90 %	44.69	43.95	43.95	2401	457	118	99	39	28	34	36	26.7	226.7	6.05		
	43.23	43.95	43.95	2401	457	118	96	40	28	34	35	26.9	226.6	6.10		
	44.69	43.95	43.95	2401	457	118	97	39	28	34	34	26.6	226.4	6.02		
	43.23	43.95	43.95	2401	454	118	98	39	28	35	33	26.8	226.5	6.07	309	89
80 %	39.36	39.95	39.95	2413	423	114	95	40	29	35	31	25.2	224.3	5.65		
	39.95	39.95	39.36	2406	422	114	95	40	29	35	30	25.4	224.0	5.69		
	39.36	39.95	39.95	2404	424	114	95	40	29	35	30	25.2	224.0	5.64		
	39.36	39.95	39.95	2401	423	114	94	40	29	35	29	24.9	223.6	5.57	310	90
Full	46.26	46.26	47.09	2401	497	108	95	40	30	35	28	31.8	212.2	6.75		
	48.83	48.83	48.83	2401	517	120	99	41	30	35	26	31.8	212.9	6.77	311	91
	48.83	47.95	48.83	2401	515	123	103	40	30	35	26	31.8	212.9	6.77	312	92
	47.95	47.95	47.95	2401	512	122	101	39	29	35	29	31.8	212.9	6.77	313	93
90 %	44.69	43.95	43.95	2401	463	119	96	40	29	34	29	27.7	226.6	6.28		
	43.95	43.95	43.95	2401	460	118	96	39	29	34	29	27.4	226.4	6.20		
	44.69	43.95	43.95	2401	462	116	95	40	29	34	29	27.3	226.3	6.18		
	43.95	43.95	43.23	2401	459	116	95	39	29	34	29	24.3	224.9	5.47	314	94
80 %	39.36	38.22	38.78	2402	406	113	94	39	28	34	30	24.9	224.9	5.60		
	39.36	39.36	39.95	2401	413	114	94	37	26	32	45	25.4	228.8	5.81		
	39.36	39.95	38.78	2401	410	113	93	37	26	32	42	25.3	229.5	5.81		
	38.78	39.36	39.36	2401	410	113	93	37	26	32	42	25.3	229.5	5.81	315	95

ตารางที่ ง-22 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 315-330

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	45.47	44.69	45.47	2401	467	88	82	29	22	26	51	31.8	212.3	6.75	315	95
	45.47	46.26	46.26	2401	476	111	88	30	23	27	49	31.6	215.0	6.79	316	96
	45.47	46.26	45.47	2401	479	113	92	32	24	29	44	31.5	214.2	6.75	317	97
	46.26	46.26	47.09	2401	486	114	92	34	25	30	39	31.7	213.0	6.75	318	98
90 %	43.23	43.23	43.23	2401	448	114	91	34	26	31	38	27.5	225.4	6.20		
	42.53	43.23	43.23	2401	448	113	90	34	26	31	40	27.4	225.3	6.17		
	43.95	43.95	43.23	2401	447	113	91	34	26	31	40	27.6	225.1	6.21		
	43.23	43.23	43.23	2401	445	112	91	35	26	31	41	27.4	224.9	6.16	319	99
80 %	38.78	39.36	39.36	2401	405	110	87	35	26	31	40	25.2	224.6	5.66		
	38.78	38.78	38.22	2401	405	110	88	35	27	31	39	25.3	224.4	5.68		
	39.36	39.36	38.78	2401	410	109	87	36	27	31	39	25.4	222.3	5.65		
	39.36	39.36	39.36	2400	411	109	87	37	27	31	39	25.6	222.4	5.69	320	100
Full	47.95	48.83	48.83	2401	511	102	89	37	28	32	33	31.8	212.8	6.77		
	47.95	48.83	48.83	2401	512	115	95	35	28	32	31	31.4	212.9	6.69	321	1
	48.83	49.75	49.75	2401	523	120	100	38	29	34	30	31.5	212.7	6.70	322	2
	49.75	49.75	48.83	2401	533	122	101	38	29	34	29	31.1	212.9	6.62	323	3
90 %	45.47	46.26	46.26	2401	481	121	101	38	29	34	29	27.4	228.5	6.26		
	45.47	45.47	45.47	2401	481	122	101	38	29	34	29	26.9	228.8	6.15		
	46.26	46.26	45.47	2406	482	121	101	39	29	34	29	27.1	228.0	6.18		
	45.47	45.47	45.47	2401	481	121	101	39	28	34	30	26.8	228.6	6.13	324	4
80 %	41.20	41.20	41.20	2401	440	119	99	38	28	34	30	25.5	223.5	5.70		
	41.20	41.20	41.20	2414	439	119	97	38	28	34	30	25.4	223.9	5.69		
	41.20	41.20	41.20	2413	440	116	96	38	28	33		25.6	223.7	5.73		
	41.20	41.20	41.20	2415	410	115	96	38	27	33	32	25.4	224.1	5.69	325	5
Full	47.09	47.09	47.95	2401	494	106	95	37	27	32	32	25.4	223.9	5.69		
	47.09	48.83	48.83	2401	512	119	99	35	26	31	35	32.0	212.9	6.81	326	6
	48.83	48.83	48.83	2401	515	120	100	34	26	31	39	31.1	213.9	6.65	327	7
	50.71	50.71	50.71	2414	538	122	101	34	25	31	37	31.8	214.8	6.83	328	8
90 %	45.47	45.47	45.47	2401	466	116	96	34	25	31	37	26.8	228.0	6.11		
	42.53	40.57	41.86	2401	430	97	75	34	25	29	38	27.8	224.0	6.23		
	41.86	42.53	42.53	2401	430	106	89	34	25	29	39	27.1	224.5	6.08		
	42.53	40.86	42.53	2401	430	109	90	34	25	29	39	27.3	224.2	6.12	329	9
80 %	39.36	39.95	39.36	2401	406	109	87	33	25	29	39	26.2	220.3	5.77		
	39.36	38.78	38.78	2401	404	108	88	33	25	28	39	25.9	219.8	5.69		
	38.78	38.78	39.36	2401	404	108	87	33	25	28	40	25.9	219.8	5.69		
	38.78	38.78	38.78	2401	404	106	87	34	25	28	40	26.2	219.8	5.76	330	10

ตารางที่ ง-23 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 330-345

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.09	47.09	47.09	2388	485	96	84	28	21	25	58	30.7	217.5	6.68	330	10
	47.09	47.09	47.09	2387	494	111	88	30	21	25	58	30.4	217.2	6.60	331	11
	50.71	50.71	50.71	2401	533	115	94	31	23	27	49	30.7	219.4	6.74	332	12
	51.71	50.71	50.71	2401	530	111	91	32	24	28	46	30.9	220.1	6.80	333	13
90 %	45.47	45.47	45.47	2401	472	112	91	32	24	28	46	26.7	228.8	6.11		
	45.47	45.47	45.47	2401	471	112	90	33	24	29	45	26.7	228.8	6.11		
	46.26	45.47	46.26	2401	475	112	91	33	24	30	43	26.5	228.8	6.06		
	46.26	46.26	46.26	2401	476	112	91	33	25	30	44	26.3	228.5	6.01	334	14
80 %	36.12	39.36	41.20	2406	425	106	86	34	25	30	43	25.6	223.2	5.71		
	41.20	41.86	41.20	2401	433	108	87	34	25	30	41	25.8	222.7	5.75		
	40.57	40.57	40.57	2401	428	109	89	34	26	30	40	25.6	223.7	5.73		
	40.57	40.57	40.57	2401	428	109	88	35	26	30	39	25.4	223.7	5.68	335	15
Full	49.75	48.83	49.75	2401	519	104	91	36	26	32	38	30.8	218.2	6.72		
	50.71	48.83	49.75	2399	533	116	97	37	27	32	33	31.2	218.4	6.81	336	16
	48.83	48.83	49.75	2401	533	120	99	39	28	32	32	31.0	218.4	6.77	337	17
	50.71	49.75	49.75	2401	533	120	100	39	29	34	30	30.7	218.4	6.70	338	18
90 %	46.26	45.47	46.26	2414	481	120	99	40	29	35	29	27.1	227.0	6.15		
	45.47	45.47	45.47	2415	481	120	99	39	29	35	29	27.0	227.5	6.14		
	45.47	45.47	45.47	2415	481	119	99	39	29	35	29	26.7	227.1	6.06		
	45.69	44.69	45.47	2413	481	121	100	40	29	35	29	27.0	227.1	6.13	339	19
80 %	40.57	41.20	41.20	2401	440	119	99	40	29	33	29	25.8	223.8	5.77		
	41.20	40.57	40.57	2404	437	116	95	40	29	34	28	25.2	223.6	5.63		
	40.57	40.57	40.57	2401	440	116	96	40	29	35	28	25.5	223.4	5.70		
	40.57	40.57	40.57	2401	437	115	97	39	29	34	28	25.5	223.4	5.70	340	20
Full	47.95	47.95	47.95	2401	523	120	101	40	29	34	28	30.8	218.0	6.71		
	48.83	49.75	48.83	2401	524	122	102	39	28	34	26	30.9	217.7	6.73	341	21
	49.75	50.71	50.71	2401	536	124	103	38	27	34	33	30.7	218.7	6.71	342	22
	50.71	50.71	50.71	2401	536	123	102	37	26	31	34	30.8	219.1	6.75	343	23
90 %	44.09	43.95	44.69	2401	463	121	99	37	26	31	35	26.9	226.4	6.09		
	44.69	43.95	44.69	2401	463	116	96	37	26	31	34	27.1	226.6	6.14		
	45.47	43.95	44.69	2402	463	116	97	37	26	31	35	27.3	226.7	6.19		
	45.47	44.69	44.69	2405	463	116	97	37	26	30	36	27.1	226.7	6.14	344	24
80 %	39.95	39.36	39.36	2401	419	113	93	36	25	30	37	25.0	223.5	5.59		
	39.95	39.95	39.95	2401	414	111	91	36	25	30	37	25.0	223.5	5.59		
	39.95	39.95	39.36	2401	416	110	90	35	25	29	38	25.4	223.4	5.67		
	39.36	39.36	39.36	2401	413	109	89	35	24	29	40	25.1	223.4	5.61	345	25

ตารางที่ ง-24 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 345-360

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.09	47.09	47.09	2393	473	91	81	21	20	23	52	31.4	215.6	6.77	345	25
	49.75	48.83	48.83	2401	494	100	85	22	21	23	51	30.2	217.9	6.58	346	26
	50.71	50.71	50.71	2401	488	102	87	24	21	25	50	31.2	217.7	6.79	347	27
	51.71	51.71	50.71	2393	488	104	89	25	23	26	47	31.2	217.1	6.77	348	28
90 %	45.47	45.47	45.47	2415	436	102	87	26	23	26	46	27.6	224.6	6.20		
	43.95	43.95	43.23	2401	433	100	86	27	23	28	45	27.5	222.6	6.12		
	43.95	43.23	44.69	2401	433	99	85	27	23	28	45	27.1	222.4	6.03		
	43.95	43.23	43.23	2401	430	100	86	28	24	28	45	27.5	222.3	6.11	349	29
80 %	41.20	40.57	39.95	2401	392	101	85	28	24	29	44	26.0	218.5	5.68		
	40.57	40.57	40.57	2401	392	100	83	29	24	29	43	26.0	218.4	5.68		
	40.57	40.57	41.20	2401	388	100	84	28	25	29	42	26.0	218.4	5.68		
	40.57	40.57	40.57	2401	390	100	85	29	25	29	41	25.9	218.5	5.66	350	30
Full	49.75	47.95	48.83	2401	549	101	90	30	26	31	39	31.5	215.7	6.79		
	48.83	47.95	48.83	2401	543	106	91	30	27	31	37	31.3	215.7	6.75	351	31
	49.75	49.75	49.75	2401	543	109	93	31	28	32	33	31.0	217.1	6.73	352	32
	49.75	50.71	49.75	2401	536	110	96	31	28	31	32	30.7	217.1	6.66	353	33
90 %	45.47	45.47	45.47	2403	478	110	94	32	28	31	33	27.3	224.4	6.13		
	46.47	45.47	46.26	2401	472	109	94	32	28	32	35	27.3	224.0	6.12		
	45.47	45.47	45.47	2401	466	109	93	31	28	32	36	27.7	223.9	6.20		
	45.47	45.47	45.47	2402	463	108	94	31	28	32	35	27.8	224.6	6.24	354	34
80 %	39.95	39.95	40.57	2401	426	108	92	32	28	33	34	25.9	218.4	5.66		
	40.57	40.57	40.57	2401	425	103	89	32	28	32	34	26.1	218.4	5.70		
	40.57	40.57	39.95	2401	425	104	89	32	28	32	34	26.0	218.4	5.68		
	40.57	39.95	39.95	2401	422	104	89	32	28	32	34	26.0	218.4	5.68	355	35
Full	47.95	47.95	47.95	2401	506	101	90	31	28	32	34	31.2	215.8	6.73		
	50.71	50.71	50.71	2401	530	110	96	30	27	31	39	30.5	217.5	6.63	356	36
	51.71	51.71	51.71	2401	530	110	93	29	27	30	40	30.5	218.4	6.66	357	37
	50.71	50.71	50.71	2401	521	109	93	27	26	29	43	30.9	219.2	6.77	358	38
90 %	43.95	43.23	43.23	2401	439	104	89	28	26	28	43	28.0	219.1	6.13		
	42.53	43.95	43.23	2401	439	102	88	29	26	27	44	27.9	219.1	6.11		
	43.23	43.23	43.23	2401	439	104	89	28	26	29	44	27.9	219.1	6.11		
	43.23	43.23	43.23	2401	439	103	89	2	26	29	43	27.9	219.0	6.11	359	39
80 %	38.22	38.78	38.78	2401	395	102	87	27	26	29	42	26.4	212.8	5.62		
	39.36	38.78	38.78	2403	398	101	86	28	26	29	42	26.5	213.6	5.66		
	38.22	38.22	38.78	2402	398	101	87	28	26	29	42	26.6	213.7	5.68		
	38.78	38.22	38.78	2401	395	100	86	27	26	29	42	26.3	213.5	5.62	360	40



ตารางที่ ง-25 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 360-375

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	46.26	47.09	46.26	2401	475	95	86	26	24	26	54	31.7	210.4	6.67	360	40
	47.95	48.83	47.95	2415	500	104	88	25	23	26	55	31.8	212.3	6.75	361	41
	49.75	49.75	48.83	2408	512	106	91	24	23	26	58	31.9	213.6	6.81	362	42
	50.71	49.75	48.83	2415	512	106	91	25	23	26	57	31.9	213.7	6.82	363	43
90 %	43.23	43.23	43.23	2401	448	114	91	34	26	31	38	27.5	225.4	6.20		
	42.53	43.23	43.23	2401	448	113	90	34	26	31	40	27.4	225.3	6.17		
	43.95	43.95	43.23	2401	447	113	91	34	26	31	40	27.6	225.1	6.21		
	43.23	43.23	43.23	2401	445	112	91	35	26	31	41	27.4	224.9	6.16	364	44
80 %	39.95	40.57	39.95	2402	413	97	84	24	22	25	63	25.4	220.5	5.60		
	39.95	40.57	39.95	2402	410	99	85	24	22	25	64	25.3	220.5	5.58		
	40.57	40.57	40.57	2403	410	97	83	23	22	25	65	25.7	220.5	5.67		
	39.95	39.95	39.95	2403	409	97	84	24	22	25	66	25.6	220.5	5.64	365	45
Full	48.83	47.95	47.95	2401	512	102	92	33	25	30	44	31.8	212.0	6.74		
	49.75	49.75	49.75	2401	533	119	101	36	26	33	41	31.5	212.5	6.69	366	46
	50.71	49.75	50.71	2401	537	123	107	37	27	34	37	31.4	212.9	6.69	367	47
	51.71	50.71	49.95	2401	546	127	109	39	28	35	32	31.8	212.3	6.75	368	48
90 %	46.26	46.26	45.47	2401	490	123	106	39	29	36	31	27.6	218.5	6.03		
	45.26	46.26	46.26	2401	490	123	106	39	29	34	31	27.7	218.4	6.05		
	46.26	45.47	46.26	2401	487	123	107	40	29	35	31	27.9	218.4	6.09		
	47.09	47.09	47.09	2401	487	123	107	39	28	35	34	28.1	219.0	6.15	369	49
80 %	39.95	39.95	40.57	2404	446	122	103	39	28	35	34	26.3	218.8	5.75		
	40.57	40.57	40.57	2401	437	120	99	39	28	35	34	26.0	217.7	5.66		
	40.57	40.57	40.57	2401	440	116	99	37	28	32	35	25.7	218.1	5.61		
	40.57	40.57	39.95	2401	437	115	97	39	28	35	35	25.1	218.3	5.48	370	50
Full	51.71	51.71	51.71	2400	553	115	107	38	28	35	34	32.5	206.7	6.72		
	48.83	49.75	49.75	2401	530	125	111	38	28	34	34	31.7	212.2	6.73	371	51
	49.75	50.71	48.83	2401	533	127	111	38	28	33	38	31.9	212.1	6.77	372	52
	49.75	49.75	49.75	2401	533	125	111	37	27	32	40	31.8	212.2	6.75	373	53
90 %	43.23	43.23	43.23	2401	439	106	91	28	26	29	45	27.9	219.1	6.11		
	43.95	43.95	43.95	2401	439	104	88	27	26	29	49	28.0	219.1	6.13		
	43.23	43.23	43.23	2401	439	103	88	27	26	29	49	27.8	219.1	6.09		
	43.23	43.23	43.23	2401	439	104	89	28	16	29	47	27.9	219.1	6.11	374	54
80 %	38.22	38.22	38.22	2401	395	101	86	28	26	29	48	25.9	213.4	5.53		
	38.22	38.22	38.22	2402	398	101	86	27	26	29	49	26.5	213.5	5.66		
	38.22	38.22	38.22	2401	399	101	87	28	26	29	49	26.6	213.6	5.68		
	38.22	38.22	38.22	2401	395	101	86	27	26	29	49	26.8	213.5	5.72	375	55

ตารางที่ ง-26 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 375-390

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.95	47.95	47.95	2413	500	104	88	25	19	26	32	31.2	212.2	6.62	375	55
	48.83	48.83	48.83	2411	500	105	89	25	22	26	47	31.1	212.2	6.60	376	56
	49.75	49.75	49.75	2415	515	106	91	24	20	26	58	31.6	213.9	6.76	377	57
	48.83	48.83	48.83	2411.00	512	106	90	25	20	26	53	31.5	213.6	6.73	378	58
90 %	43.95	43.95	43.95	2415	441	81	62	29	25	26	40	27.5	223.5	6.15		
	43.95	43.95	43.95	2401	448	97	86	25	21	26	59	27.1	223.2	6.05		
	44.69	44.69	44.69	2401	448	102	86	24	18	25	21	27.6	222.8	6.15		
	44.69	44.69	44.69	2401	448	101	88	24	18	25	56	27.5	222.9	6.13	379	59
80 %	39.95	39.95	39.95	2402	413	99	84	24	19	25	37	25.8	220.5	5.69		
	39.95	39.95	39.95	2405	410	97	84	24	18	25	35	25.3	220.5	5.58		
	40.57	40.57	40.57	2401	409	96	84	24	18	25	48	25.5	220.5	5.62		
	39.95	39.95	39.95	2401	409	96	82	24	20	25	52	25.4	220.5	5.60	380	60
Full	40.57	40.57	40.57	2401	410	99	83	24	21	25	46	25.3	220.5	5.58		
	48.83	48.83	48.83	2400	512	104	92	33	25	31	30	31.6	211.7	6.69	381	61
	50.71	50.71	50.71	2401	539	123	107	38	33	34	41	31.2	212.9	6.64	382	62
	51.71	51.71	51.71	2401	546	125	109	39	34	35	68	31.8	212.1	6.74	383	63
90 %	47.09	47.09	47.09	2401	490	124	107	39	34	35	51	28.0	219.1	6.13		
	46.26	46.26	46.26	2401	493	123	106	40	29	36	35	27.8	219.8	6.11		
	45.47	45.47	45.47	2401	490	124	107	39	28	35	58	27.7	218.4	6.05		
	46.26	46.26	46.26	2401	487	123	107	39	33	35	45	28.1	218.4	6.14	384	64
80 %	39.95	39.95	39.95	2401	437	119	99	39	31	35	43	26.1	217.9	5.69		
	39.95	39.95	39.95	2401	437	118	99	39	30	35	37	25.9	217.8	5.64		
	40.57	40.57	40.57	2401	437	115	97	40	34	35	49	25.7	217.9	5.60		
	40.57	40.57	40.57	2401	437	118	99	40	34	35	54	25.9	218.3	5.65	385	65
Full	48.83	48.83	48.83	2401	532	125	110	38	27	34	33	31.9	211.9	6.76		
	50.71	50.71	50.71	2401	533	127	111	38	33	34	38	31.9	212.1	6.77	386	66
	49.75	49.75	49.75	2401	530	118	106	35	27	33	30	29.5	223.3	6.59	387	67
	50.71	50.71	50.71	2401	549	113	101	33	29	34	58	29.2	223.7	6.53	388	68
90 %	46.26	46.26	46.26	2401	478	110	98	33	30	34	62	28.2	218.4	6.16		
	46.26	46.26	46.26	2401	481	112	99	33	28	34	36	28.2	218.3	6.16		
	46.26	46.26	46.26	2401	478	109	97	33	27	34	33	28.2	218.4	6.16		
	46.26	46.26	46.26	2401	481	110	99	33	23	33	65	28.0	218.4	6.12	389	69
80 %	41.20	41.20	41.20	2401	434	108	94	33	29	33	55	26.4	217.9	5.75		
	41.86	41.86	41.86	2401	437	106	93	32	25	33	45	26.5	217.4	5.76		
	40.57	40.57	40.57	2401	434	106	93	32	25	33	40	26.4	218.0	5.76		
	41.20	41.20	41.20	2401	436	106	95	32	26	33	47	26.5	217.6	5.77	390	70

ตารางที่ ง-27 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 390-405

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)								Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil	
Full	47.95	47.95	47.95	2401	518	108	97	35	27	32	43	29.8	222.6	6.63	390	70	
	48.83	48.83	48.83	2401	521	104	96	35	31	32	42	29.6	222.8	6.59	391	71	
	51.71	51.71	51.71	2401	552	122	104	38	32	35	67	29.3	223.7	6.55	392	72	
	51.71	51.71	51.71	2401	549	113	101	33	28	34	48	29.4	223.2	6.56	393	73	
90 %	46.26	46.26	46.26	2401	478	110	97	33	25	34	51	27.5	218.0	6.00			
	47.09	47.09	47.09	2401	481	111	99	34	27	34	47	28.1	218.4	6.14			
	46.26	46.26	46.26	2401	478	110	97	33	26	34	27	28.1	218.4	6.14			
	46.26	46.26	46.26	2401	478	110	98	33	28	34	30	28.2	218.4	6.16	394	74	
80 %	41.20	41.20	41.20	2401	434	108	94	33	27	33	34	26.4	217.9	5.75			
	41.20	41.20	41.20	2401	437	106	93	33	25	33	65	26.5	217.4	5.76			
	40.57	40.57	40.57	2401	434	106	94	33	25	33	52	26.5	217.8	5.77			
	41.86	41.86	41.86	2401	436	106	94	32	25	33	28	26.5	217.0	5.75	395	75	
Full	50.71	50.71	50.71	2401	549	115	105	33	27	33	42	30.0	223.8	6.71			
	49.75	49.75	49.75	2360	543	115	102	32	28	33	65	31.7	217.0	6.88	396	76	
	51.71	51.71	51.71	2401	543	114	99	32	23	33	60	31.5	218.3	6.88	397	77	
	51.71	51.71	51.71	2401	536	116	105	32	27	32	40	30.6	219.2	6.71	398	78	
90 %	45.47	45.47	45.47	2401	478	113	103	30	21	30	50	28.1	218.4	6.14			
	45.47	45.47	45.47	2404	472	111	96	30	23	31	62	28.2	218.3	6.16			
	45.47	45.47	45.47	2401	466	110	101	29	20	30	26	28.3	218.3	6.18			
	45.47	45.47	45.47	2401	463	109	96	29	22	30	32	28.2	218.4	6.16	399	79	
80 %	39.95	39.95	39.95	2401	419	105	94	29	24	29	34	26.2	218.4	5.72			
	38.78	38.78	38.78	2401	413	103	93	28	23	29	52	26.2	218.2	5.72			
	39.36	39.36	39.36	2401	415	105	96	29	24	29	30	26.1	218.4	5.70			
	39.36	39.36	39.36	2401	413	105	98	28	20	29	26	26.1	217.8	5.68	400	80	
Full	48.83	48.83	48.83	2401	509	111	99	29	22	29	41	32.2	208.6	6.72			
	47.95	47.95	47.95	2401	509	111	99	29	26	29	61	32.2	208.1	6.70	401	81	
	48.83	48.83	48.83	2401	509	110	97	28	21	29	47	32.3	208.8	6.74	402	82	
	48.83	48.83	48.83	2401	509	111	99	27	22	28	50	32.1	208.4	6.69	403	83	
90 %	45.47	45.47	45.47	2401	459	109	97	27	19	28	53	28.5	218.4	6.22			
	45.47	45.47	45.47	2401	462	109	97	28	19	28	48	28.2	217.9	6.14			
	43.95	43.95	43.95	2401	463	109	98	29	21	29	56	28.1	218.1	6.13			
	43.95	43.95	43.95	2401	463	109	97	28	24	29	49	28.0	217.8	6.10	404	84	
80 %	39.36	39.36	39.36	2401	408	104	89	27	20	28	42	25.8	219.1	5.65			
	39.36	39.36	39.36	2401	413	106	92	28	24	28	52	25.8	219.2	5.66			
	39.95	39.95	39.95	2401	410	104	91	27	20	28	51	25.7	219.1	5.63			
	39.36	39.36	39.36	2401	410	103	90	28	24	28	58	25.8	219.4	5.66	405	85	

ตารางที่ ง-28 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 405-420

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	47.09	47.09	47.09	2401	494	102	88	24	20	26	61	32.5	207.4	6.74	405	85
	47.95	47.95	47.95	2387	497	104	88	24	17	26	21	32.2	207.0	6.67	406	86
	47.95	47.95	47.95	2401	506	104	91	25	23	26	43	32.3	208.1	6.72	407	87
	48.83	48.83	48.83	2401	506	105	90	25	18	25	32	32.0	207.8	6.65	408	88
90 %	43.95	43.95	43.95	2403	454	104	89	25	22	26	60	28.4	217.7	6.18		
	43.95	43.95	43.95	2401	454	104	89	27	21	27	28	28.1	217.6	6.11		
	45.47	45.47	45.47	2401	466	109	93	31	24	32	42	27.7	223.9	6.20		
	45.47	45.47	45.47	2402	463	108	94	31	21	32	24	27.8	224.6	6.24	409	89
80 %	39.95	39.95	39.95	2400	416	102	87	29	20	28	52	26.3	217.3	5.71		
	39.36	39.36	39.36	2401	416	104	87	27	22	28	34	26.2	217.7	5.70		
	39.36	39.36	39.36	2396	416	102	87	29	22	28	27	26.1	217.2	5.67		
	39.36	39.36	39.36	2401	416	103	87	29	23	29	63	26.1	217.5	5.68	410	90
Full	47.95	47.95	47.95	2401	506	102	91	30	25	30	42	32.2	207.3	6.68		
	47.95	47.95	47.95	2399	503	106	95	30	28	30	51	32.1	206.7	6.64	411	91
	47.09	47.09	47.09	2389	509	114	102	32	23	31	34	31.7	206.8	6.56	412	92
	49.75	49.75	49.75	2401	533	116	102	34	30	34	44	32.2	208.1	6.70	413	93
90 %	46.26	46.26	46.26	2401	484	113	101	34	26	34	31	28.3	218.4	6.18		
	46.26	46.26	46.26	2401	484	113	99	34	25	35	55	28.3	218.4	6.18		
	47.09	47.09	47.09	2401	481	111	96	34	31	34	61	28.0	218.4	6.12		
	45.47	45.47	45.47	2402	484	111	97	34	23	34	32	28.0	218.5	6.12	414	94
80 %	40.57	40.57	40.57	2402	428	108	93	34	28	34	37	25.9	218.4	5.66		
	39.95	39.95	39.95	2401	428	110	99	34	28	34	57	25.7	218.7	5.62		
	39.95	39.95	39.95	2401	434	111	98	34	27	33	57	26.0	218.4	5.68		
	39.95	39.95	39.95	2401	428	111	100	34	31	34	49	25.7	218.5	5.62	415	95
Full	50.71	50.71	50.71	2401	546	113	101	34	31	33	35	32.3	205.6	6.64		
	51.71	51.71	51.71	2401	549	114	101	34	25	34	37	32.0	205.4	6.57	416	96
	52.74	52.74	52.74	2401	555	118	105	35	27	34	41	31.4	207.7	6.52	417	97
	51.71	51.71	51.71	2401	558	124	110	39	31	33	46	32.6	208.0	6.78	418	98
90 %	46.26	46.26	46.26	2401	483	122	107	39	28	33	62	28.2	218.2	6.15		
	45.47	45.47	45.47	2413	481	122	107	38	32	33	68	27.8	218.4	6.07		
	45.47	45.47	45.47	2401	480	122	103	38	28	32	53	27.9	218.0	6.08		
	45.47	45.47	45.47	2415	481	122	105	39	32	32	41	27.6	218.4	6.03	419	99
80 %	41.20	41.20	41.20	2407	438	120	99	38	29	33	61	26.0	218.7	5.69		
	40.57	40.57	40.57	2412	440	115	101	38	28	32	48	26.1	218.4	5.70		
	40.57	40.57	40.57	2409	440	120	103	38	27	32	41	26.0	218.4	5.68		
	41.20	41.20	41.20	2406	440	119	106	38	31	32	51	25.9	218.4	5.66	420	100

ตารางที่ ง-29 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 420-435

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	49.75	49.75	49.75	2401	518	86	84	31	23	28	30	32.0	207.4	6.64	420	0
	51.71	51.71	51.71	2401	555	120	107	32	27	28	29	32.2	207.8	6.69	421	1
	51.71	51.71	51.71	2401	558	120	104	34	24	30	38	32.6	207.4	6.76	422	2
	52.74	52.74	52.74	2401	558	122	105	35	29	31	69	32.2	207.4	6.68	423	3
90 %	47.09	47.09	47.09	2401	490	120	100	35	29	31	62	28.4	218.6	6.21		
	47.09	47.09	47.09	2401	490	120	101	35	30	31	62	28.3	218.7	6.19		
	46.26	46.26	46.26	2401	490	119	102	36	27	32	46	28.0	218.4	6.12		
	47.09	47.09	47.09	2402	489	119	102	37	27	32	46	28.1	218.4	6.14	424	4
80 %	41.86	41.86	41.86	2415	443	114	99	38	32	33	66	25.6	220.5	5.64		
	40.57	40.57	40.57	2409	437	114	99	38	32	33	71	25.6	220.5	5.64		
	40.57	40.57	40.57	2404	443	115	99	38	31	33	34	25.5	220.5	5.62		
	40.57	40.57	40.57	2414	437	114	97	39	30	33	58	25.5	220.5	5.62	425	5
Full	50.71	50.71	50.71	2401	536	118	103	38	28	34	68	31.9	209.2	6.67		
	49.75	49.75	49.75	2401	536	120	104	39	29	35	51	32.3	208.8	6.74	426	6
	51.71	51.71	51.71	2415	558	123	105	40	31	36	72	32.1	209.8	6.73	427	7
	51.71	51.71	51.71	2412	559	124	107	41	36	36	71	32.3	209.5	6.77	428	8
90 %	46.26	46.26	46.26	2401	490	122	103	42	32	36	60	28.1	218.4	6.14		
	46.26	46.26	46.26	2401	493	122	103	42	36	36	48	28.2	218.4	6.16		
	45.47	45.47	45.47	2401	490	122	104	43	33	37	40	28.2	218.4	6.16		
	45.47	45.47	45.47	2401	490	122	102	43	31	37	67	28.2	218.4	6.16	429	9
80 %	40.57	40.57	40.57	2401	450	120	101	42	36	37	49	26.7	217.8	5.82		
	40.57	40.57	40.57	2401	443	120	101	42	35	37	42	25.6	218.5	5.59		
	40.57	40.57	40.57	2401	440	119	102	42	35	37	65	25.9	218.4	5.66		
	40.57	40.57	40.57	2401	443	119	101	42	37	37	64	25.9	218.3	5.65	430	10
Full	50.71	50.71	50.71	2401	555	118	104	42	35	37	51	32.7	207.4	6.78		
	51.71	51.71	51.71	2401	558	125	107	41	36	35	39	32.8	207.7	6.81	431	11
	51.71	51.71	51.71	2401	558	125	106	41	31	35	59	32.5	207.4	6.74	432	12
	50.71	50.71	50.71	2401	558	125	109	40	30	34	57	32.4	207.3	6.72	433	13
90 %	45.47	45.47	45.47	2401	490	122	104	40	35	34	60	28.0	218.4	6.12		
	46.26	46.26	46.26	2401	484	120	105	39	26	33	43	28.1	218.4	6.14		
	45.47	45.47	45.47	2401	490	125	108	40	34	34	38	28.1	218.4	6.14		
	46.26	46.26	46.26	2401	487	120	101	39	30	34	39	28.3	218.4	6.18	434	14
80 %	40.57	40.57	40.57	2401	437	118	100	39	30	33	50	26.1	218.4	5.70		
	40.57	40.57	40.57	2401	437	119	101	39	33	33	69	26.1	218.4	5.70		
	40.57	40.57	40.57	2401	433	119	101	39	30	32	63	26.2	218.1	5.71		
	40.57	40.57	40.57	2401	431	118	100	39	33	32	55	26.2	218.3	5.72	435	15

ตารางที่ ง-30 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 435-450

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)								Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil	
Full	48.83	48.83	48.83	2401	522	95	90	32	26	29	38	32.5	207.4	6.74	435	15	
	49.75	49.75	49.75	2401	526	111	97	33	30	29	57	32.3	207.6	6.71	436	16	
	51.71	51.71	51.71	2401	555	120	105	35	26	31	56	32.3	209.2	6.76	437	17	
	51.71	51.71	51.71	2401	560	122	108	36	27	31	44	32.2	208.9	6.73	438	18	
90 %	43.23	43.23	43.23	2401	460	118	100	36	31	31	51	27.4	223.9	6.13			
	52.74	52.74	52.74	2401	551	122	108	36	31	31	70	32.8	209.1	6.86			
	43.23	43.23	43.23	2401	460	116	101	36	26	31	51	27.3	223.8	6.11			
	43.23	43.23	43.23	2401	457	115	99	36	33	31	64	27.3	224.0	6.12	439	19	
80 %	39.36	39.36	39.36	2393	420	113	98	35	32	30	63	25.7	218.6	5.62			
	38.78	38.78	38.78	2401	422	113	98	36	28	31	37	25.6	219.1	5.61			
	38.78	38.78	38.78	2398	419	112	97	35	27	30	48	25.7	218.7	5.62			
	39.36	39.36	39.36	2389	419	112	97	36	30	30	41	25.8	218.6	5.64	440	20	
Full	51.71	51.71	51.71	2387	562	119	106	36	25	31	55	31.4	214.4	6.73			
	52.74	52.74	52.74	2401	564	120	107	36	30	31	65	31.6	214.5	6.78	441	21	
	51.71	51.71	51.71	2401	561	118	103	37	29	33	50	31.1	213.7	6.65	442	22	
	52.74	52.74	52.74	2410	561	120	103	37	33	32	56	31.5	214.7	6.76	443	23	
90 %	44.69	44.69	44.69	2418	474	120	101	37	30	34	56	28.0	220.0	6.16			
	44.69	44.69	44.69	2415	472	118	101	39	36	35	44	28.2	219.9	6.20			
	43.95	43.95	43.95	2415	474	118	101	40	35	35	75	28.1	220.0	6.18			
	44.69	44.69	44.69	2415	472	116	99	39	35	35	49	28.0	220.3	6.17	444	24	
80 %	38.78	38.78	38.78	2401	419	115	100	41	33	35	52	25.8	220.1	5.68			
	38.78	38.78	38.78	2401	419	114	99	41	33	36	61	25.8	219.9	5.67			
	38.22	38.22	38.22	2401	425	115	99	40	34	35	56	25.7	220.5	5.67			
	38.22	38.22	38.22	2401	418	114	99	41	31	36	51	25.8	220.1	5.68	445	25	
Full	48.83	47.95	47.95	2401	520	109	99	33	26	30	49	31.8	212.0	6.74			
	49.75	49.75	49.75	2401	541	124	109	36	25	33	45	31.5	212.5	6.69	446	26	
	50.71	49.75	50.71	2401	545	128	115	37	28	34	33	31.4	212.9	6.69	447	27	
	51.71	50.71	49.95	2401	553	131	117	39	31	35	43	31.8	212.3	6.75	448	28	
90 %	42.53	42.53	42.53	2415	454	116	98	42	33	38	57	27.0	218.7	5.90			
	43.23	43.23	43.23	2414	454	115	97	42	37	38	63	27.1	218.7	5.93			
	42.53	42.53	42.53	2404	451	116	101	42	35	38	46	24.8	228.0	5.65			
	42.53	42.53	42.53	2414	457	115	98	42	36	38	60	27.0	218.7	5.90	449	29	
80 %	41.86	41.86	41.86	2401	457	118	102	41	31	37	45	24.7	227.5	5.62			
	41.86	41.86	41.86	2401	461	116	101	40	35	37	68	26.3	224.6	5.91			
	41.86	41.86	41.86	2401	455	115	98	41	33	37	51	24.6	228.0	5.61			
	41.86	41.86	41.86	2401	459	116	102	40	34	37	63	26.1	224.6	5.86	450	30	



ตารางที่ ง-31 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 450-465

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	51.59	51.21	51.49	2407	527	86	89	32	24	28	36	32.5	208.1	6.76	450	30
	50.36	50.74	50.11	2401	529	111	102	32	28	29	43	32.4	208.0	6.74	451	31
	52.56	51.81	52.30	2401	553	125	112	35	30	31	58	32.6	209.2	6.82	452	32
	53.35	53.44	53.02	2401	556	127	115	36	27	31	43	32.1	209.1	6.71	453	33
90 %	43.70	43.14	43.92	2401	462	122	109	36	29	31	56	27.4	223.6	6.13		
	42.49	42.56	43.12	2401	459	122	108	36	28	31	31	27.3	223.9	6.11		
	42.56	42.72	42.79	2401	462	121	106	36	27	31	67	27.3	223.6	6.10		
	42.87	42.84	43.15	2401	462	121	106	36	28	31	65	27.4	223.8	6.13	454	34
80 %	38.68	37.97	38.14	2399	427	119	105	35	30	31	66	25.6	218.8	5.60		
	39.06	38.65	39.26	2392	426	117	104	35	27	30	68	25.5	218.6	5.57		
	38.51	38.17	38.55	2390	420	118	104	35	26	30	42	25.7	218.4	5.61		
	38.77	38.86	39.03	2389	423	118	103	36	26	30	48	25.7	218.5	5.62	455	35
Full	52.29	52.45	52.26	2387	559	121	112	35	32	31	60	31.3	213.6	6.69		
	53.28	53.77	53.67	2387	559	116	107	36	30	31	63	31.4	213.5	6.70	456	36
	52.67	52.49	52.25	2376	564	125	113	44	38	32	70	31.1	213.1	6.63	457	37
	53.02	53.21	53.72	2406	567	124	112	37	30	32	51	31.4	214.8	6.74	458	38
90 %	44.63	44.21	44.62	2415	472	124	108	38	32	34	50	28.1	219.8	6.18		
	43.84	44.09	44.27	2415	476	122	109	39	29	34	62	28.0	219.8	6.15		
	43.55	43.25	43.90	2415	472	123	108	40	29	35	64	28.0	220.0	6.16		
	43.94	44.25	43.84	2416	472	123	108	41	31	35	51	28.2	220.0	6.20	459	39
80 %	38.11	38.12	37.78	2401	423	121	106	41	29	35	57	25.9	220.5	5.71		
	38.11	38.03	38.43	2401	421	121	107	41	31	35	46	25.6	220.4	5.64		
	38.16	37.47	37.91	2401	425	121	107	41	32	36	43	25.7	220.4	5.66		
	37.64	38.00	37.34	2401	415	120	105	41	37	36	70	26.0	220.2	5.73	460	40
Full	47.44	51.17	46.71	2401	520	125	107	42	30	38	41	30.4	220.4	6.71		
	47.79	53.06	53.53	2401	507	125	109	42	31	38	51	30.4	220.4	6.70	461	41
	51.83	52.14	49.91	2401	499	125	109	42	37	38	77	30.4	220.4	6.70	462	42
	50.73	48.38	53.16	2401	525	125	112	42	37	37	49	29.8	220.9	6.58	463	43
90 %	42.13	42.43	41.65	2414	461	122	105	42	33	38	43	27.7	223.1	6.19		
	42.44	42.41	41.88	2415	455	121	104	41	30	38	38	27.8	222.9	6.21		
	42.02	42.04	41.63	2402	457	122	109	41	32	37	61	25.0	232.6	5.81		
	41.73	42.46	42.48	2402	453	121	104	42	33	37	48	24.8	232.3	5.76	464	44
80 %	39.00	39.43	39.41	2401	442	118	1	39	33	35	57	26.6	222.3	5.92		
	39.82	39.02	39.50	2401	443	119	1	39	35	35	44	26.4	222.2	5.87		
	40.41	39.93	40.55	2401	440	119	1	40	34	35	54	26.2	222.3	5.83		
	40.46	40.53	40.03	2401	430	118	1	40	33	35	68	26.4	222.7	5.88	465	45

ตารางที่ ง-32 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 465-480

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	46.08	54.78	45.87	2409	545	113	102	29	24	31	43	31.0	220.4	6.82	465	45
	48.20	49.97	52.72	2410	546	115	101	29	23	31	60	30.3	220.7	6.69	466	46
	46.67	48.11	51.15	2414	551	115	101	29	26	31	46	31.0	220.5	6.83	467	47
	47.14	48.27	47.35	2403	539	114	102	29	26	29	62	30.8	218.9	6.75	468	48
90 %	43.53	42.85	42.85	2401	476	113	101	28	24	29	63	27.8	217.7	6.05		
	42.85	43.53	43.53	2401	474	111	99	27	19	29	35	27.7	217.4	6.02		
	42.85	42.85	42.85	2401	466	109	95	27	24	29	52	27.7	217.5	6.02		
	42.85	42.85	42.85	2401	471	110	95	27	20	29	51	27.7	217.4	6.02	469	49
80 %	38.78	38.78	38.78	2401	436	108	93	28	23	28	63	24.6	221.5	5.45		
	37.67	37.67	37.67	2401	440	107	93	27	20	29	43	24.8	221.2	5.49		
	38.78	38.78	38.78	2401	434	108	93	27	21	29	24	24.6	221.3	5.44		
	37.67	37.67	37.67	2401	438	107	92	27	23	28	26	24.3	221.2	5.38	470	50
Full	53.13	49.98	51.30	2401	528	100	93	27	20	28	48	32.1	218.3	7.01		
	45.13	51.96	49.80	2401	548	113	102	26	22	28	54	31.8	218.6	6.95	471	51
	48.62	52.08	47.76	2401	546	113	104	26	21	28	40	32.0	219.0	7.01	472	52
	50.80	53.90	51.33	2401	532	113	102	26	21	28	51	31.4	217.2	6.82	473	53
90 %	44.23	44.23	44.23	2401	487	113	102	26	24	28	47	28.0	216.4	6.06		
	43.53	43.53	43.53	2401	485	113	102	27	20	29	26	28.2	216.6	6.11		
	43.53	43.53	43.53	2401	484	115	103	28	20	29	53	27.9	216.3	6.03		
	43.53	43.53	43.53	2401	489	115	103	29	23	30	24	27.6	216.2	5.97	474	54
80 %	38.22	38.22	38.22	2390	463	119	104	36	28	33	58	24.7	219.9	5.43		
	38.22	38.22	38.22	2387	462	120	107	37	31	35	48	24.7	219.7	5.43		
	38.22	38.22	38.22	2387	460	120	107	37	25	34	40	24.7	219.3	5.42		
	39.36	39.36	39.36	2401	465	121	107	38	28	35	57	24.5	220.5	5.40	475	55
Full	46.49	47.68	45.09	2401	554	113	102	40	35	33	62	31.2	216.2	6.74		
	48.28	52.82	53.49	2412	570	118	106	41	36	34	62	31.5	217.7	6.85	476	56
	49.32	44.83	49.54	2401	533	117	107	31	24	32	43	31.2	215.9	6.73	477	57
	51.38	47.54	45.75	2401	541	117	106	32	27	33	40	30.7	216.3	6.65	478	58
90 %	44.96	44.96	44.96	2401	497	113	101	32	22	34	30	28.1	215.7	6.06		
	45.71	45.71	45.71	2401	498	113	99	33	26	34	47	28.1	216.1	6.07		
	45.71	45.71	45.71	2401	504	113	100	34	27	33	34	28.1	215.7	6.06		
	44.23	44.23	44.23	2401	486	112	100	34	27	35	54	26.7	217.8	5.82	479	59
80 %	39.36	39.36	39.36	2401	472	111	97	34	25	34	38	25.8	218.4	5.63		
	39.95	39.95	39.95	2401	471	111	97	34	27	35	37	25.9	218.5	5.66		
	39.36	39.36	39.36	2401	472	111	97	34	23	35	27	26.2	218.7	5.73		
	39.95	39.95	39.95	2401	470	112	99	34	25	35	52	25.8	218.5	5.64	480	60

ตารางที่ ง-33 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 480-495

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	45.136	50.908	46.47	2401	538.55	86	90	35	26	32	49	30.488	224.03	6.8301	480	60
	47.091	45.496	48.911	2401	535.7	101	97	34	29	32	32	30.076	223.51	6.7223	481	61
	52.506	51.414	44.803	2401	537.19	117	105	35	29	35	42	29.561	223.51	6.6072	482	62
	48.583	47.317	48.107	2401	555.3	116	103	35	30	35	46	31.106	217.85	6.7763	483	63
90 %	44.231	44.231	44.231	2411	488.93	115	101	34	29	35	64	28.2	216.3	6.0997		
	44.959	44.959	44.959	2412	499.5	114	101	35	28	35	41	28.3	216.4	6.1241		
	44.959	44.959	44.959	2406	497.33	115	102	35	29	35	46	28.1	216.3	6.078		
	44.231	44.231	44.231	2412	496.75	115	101	35	30	35	63	27.9	216.2	6.032	484	64
80 %	39.871	39.437	39.113	2401	468.28	114	100	35	27	34	55	25.7	218.4	5.6129		
	39.113	39.541	39.739	2401	470.49	113	100	35	31	35	71	25.7	218.4	5.6129		
	39.549	39.723	38.961	2401	468.48	113	100	35	29	35	54	25.8	218.4	5.6347		
	39.316	39.828	39.512	2401	468.24	113	98	35	27	35	34	25.7	218.4	5.6129	485	65
Full	50.548	53.927	45.173	2401	546.72	115	103	35	24	35	38	30.797	217.74	6.7058		
	47.742	48.235	48.33	2389	549.87	117	103	34	25	34	49	30.591	217.85	6.6641	486	66
	46.629	50.796	53.296	2401	551.6	117	103	34	23	34	43	30.797	218.15	6.7185	487	67
	49.702	47.578	47.472	2401	542.57	117	104	32	28	32	67	30.591	218.57	6.6862	488	68
90 %	44.959	44.959	44.959	2403	499.54	115	100	32	22	32	35	27	218.7	5.9049		
	44.959	44.959	44.959	2401	504.28	115	100	32	26	33	39	28.1	215.7	6.0612		
	42.848	42.848	42.848	2406	466.9	115	100	32	23	33	34	25.7	220	5.654		
	42.193	42.193	42.193	2401	459.86	116	100	32	28	34	51	25.5	218.9	5.582	489	69
80 %	39.785	39.402	39.661	2401	463.2	115	99	33	26	34	49	25.5	218.8	5.5794		
	38.441	39.204	38.958	2401	465.61	116	100	33	25	34	56	25.5	218.5	5.5718		
	38.955	38.376	39.124	2401	465.45	115	99	34	24	34	58	25.4	218.7	5.555		
	39.239	38.846	39.268	2401	463.52	115	100	34	25	34	55	25.4	218.8	5.5575	490	70
Full	52.766	46.643	46.481	2401	548.62	117	103	32	23	33	64	30.694	221.97	6.813		
	47.888	51.401	53.747	2401	547.57	116	102	31	23	32	53	30.694	221.35	6.794	491	71
	49.104	50.541	52.759	2401	541.43	116	101	31	24	32	26	30.591	220.94	6.7586	492	72
	51.736	49.652	47.158	2401	542.72	117	104	31	25	31	40	30.179	220.52	6.6552	493	73
90 %	43.534	43.534	43.534	2401	473.48	111	98	30	23	30	56	27.7	215.7	5.9749		
	42.848	42.848	42.848	2400	480	113	97	30	26	31	33	27.5	215.7	5.9318		
	42.848	42.848	42.848	2401	474.08	113	98	30	23	31	32	28	215.7	6.0396		
	42.848	42.848	42.848	2400	474.51	112	97	30	22	31	59	27.4	215.8	5.9129	494	74
80 %	36.149	36.375	36.652	2401	439.77	112	96	30	24	31	46	25.2	220.5	5.5566		
	36.772	36.354	36.423	2398	438.99	113	96	31	27	31	36	25.2	220.3	5.5516		
	36.294	36.855	36.218	2388	440.73	112	96	31	23	31	42	25.1	220.4	5.532		
	36.668	36.632	36.181	2387	437.65	112	95	31	21	31	35	25.3	219.9	5.5635	495	75

ตารางที่ ง-34 แสดงข้อมูลระหว่างกาทดสอบความทนทาน Diesel ชั่วโมงที่ 495-500

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	46.835	50.617	47.36	2401	534.27	112	98	29	22	30	35	32.224	212.44	6.8457	495	75
	54.003	50.235	49.533	2401	557.19	118	104	30	26	32	65	32.118	212.03	6.8099	496	76
	50.878	48.321	44.55	2401	540.4	117	103	30	21	31	59	31.588	212.7	6.7186	20071209	77
	52.892	50.351	45.991	2398	513.8	116	103	31	25	31	58	29.998	213.58	6.4069	20071209	78
90 %	44.231	44.231	44.231	2388	480.13	112	97	29	21	31	47	28.5	213	6.0705		
	43.534	43.534	43.534	2387	489.31	113	98	30	21	30	57	28.5	212.9	6.0677		
	43.534	43.534	43.534	2387	484.26	112	96	29	19	30	32	28.7	212.9	6.1102		
	43.534	43.534	43.534	2391	438.06	112	97	29	21	31	35	25.9	218.4	5.6566	2E+07	79
80 %	38.22	38.22	38.22	2387	451.73	112	96	30	20	31	26	26.1	218.4	5.7002		
	38.78	38.78	38.78	2401	455.33	111	96	29	23	30	33	26.3	219.5	5.7729		
	39.36	39.36	39.36	2401	456.65	111	96	30	22	31	47	26	219.8	5.7148		
	38.78	38.78	38.78	2401	452.64	111	95	30	25	30	27	26.2	219.2	5.743	2E+07	80

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-35 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 0-15

Load	FC (cc./min)			Speed Rpm	temp (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	51.23	51.23	51.23	2425	496.03	96	86	33.356	29	27	56.253	34.3	195.1	6.69	0	0
	51.23	51.23	51.23	2416	501.05	108	92	36.894	29	27	35.331	33.9	194.6	6.60	1	1
	50.26	51.23	50.26	2407	501.08	112	92	39.641	30	27	53.627	34.1	193.8	6.61	2	2
	50.26	50.26	51.23	2402	488.11	112	97	33.392	31	27	29.951	33.5	193.7	6.49	3	3
90 %	47.57	47.57	48.44	2416	455.13	111	94	40.977	32	27	49.345	30.2	204.8	6.18		
	47.57	47.57	46.74	2416	454.16	111	95	42.922	33	28	56.652	30.1	204.7	6.16		
	47.57	47.57	47.57	2416	451.19	112	96	45.479	33	28	51.085	30.4	204.7	6.22		
	47.57	47.57	47.57	2416	454.22	112	94	37.154	33	27	55.885	30	204.7	6.14	4	4
80 %	42.29	41.63	42.29	2402	397.24	110	85	40.049	35	28	70.286	25.5	208.2	5.31		
	41.63	41.63	41.63	2402	396.27	111	92	38.632	35	28	44.528	25.3	208	5.26		
	42.29	41.63	42.29	2402	395.3	112	93	37.212	35	28	62.178	25.5	208.3	5.31		
	41.63	40.98	41.63	2402	397.32	111	93	49.375	35	29	66.981	25.4	208.1	5.29	5	5
Full	50.26	50.26	51.23	2402	489.38	113	104	38.509	31	30	44.053	33.7	193	6.50		
	51.23	50.26	51.23	2402	495.4	114	104	34.5	31	30	58.748	34.1	193.1	6.58	6	6
	50.26	50.26	50.26	2402	489.43	113	99	45.291	31	31	47.905	34.1	193.2	6.59	7	7
	51.23	51.23	51.23	2402	492.46	112	98	35.972	31	32	36.758	33.6	192.9	6.48	8	8
90 %	48.44	47.57	48.44	2403	458.48	116	102	40.191	35	36	40.947	30.6	202.8	6.21		
	47.57	47.57	47.57	2402	458.51	114	100	45.944	35	37	73.054	30.6	202.7	6.20		
	47.57	47.57	47.57	2402	457.54	114	100	36.503	35	37	46.799	30.4	202.7	6.16		
	47.57	47.57	47.57	2402	456.56	115	98	40.887	35	35	59.934	30.6	202.6	6.20	9	9
80 %	42.97	42.97	42.29	2416	404.59	111	96	42.174	35	35	73.183	25.5	210.2	5.36		
	42.29	42.29	42.29	2416	404.62	111	95	41.928	35	36	64.332	25.4	210.5	5.35		
	42.29	42.97	42.29	2416	401.65	111	95	45.63	35	36	74.77	25.7	210.5	5.41		
	42.29	42.29	42.29	2416	401.67	111	95	37.315	35	36	53.075	25.7	210.4	5.41	10	10
Full	51.23	51.23	51.23	2375	492.73	114	101	40.368	35	33	43.59	34.4	190.9	6.57		
	51.23	51.23	50.26	2375	495.75	114	103	37.54	35	32	64.066	34.4	190.9	6.57	11	11
	51.23	50.26	50.26	2376	491.78	107	101	47.144	32	32	55.051	34.6	191.6	6.63	12	12
	52.24	50.26	52.24	2375	491.81	106	100	36.628	31	32	41.919	34.1	191.7	6.54	13	13
90 %	46.74	48.44	46.74	2402	442.83	101	96	40.488	30	32	27.691	30.6	202.8	6.21		
	47.57	46.74	47.57	2402	443.86	102	96	39.155	31	32	32.9	30.6	202.9	6.21		
	47.57	47.57	48.44	2402	442.89	100	96	44.404	30	32	21.037	30.7	203	6.23		
	46.74	47.57	46.74	2402	442.91	101	98	35.026	30	32	26.182	31	203	6.29	14	14
80 %	42.29	40.98	42.29	2401	392.94	106	95	47.151	32	31	48.318	25.4	207.7	5.28		
	40.98	40.98	40.98	2399	389.97	105	93	40.766	31	32	42.905	25.4	207.1	5.26		
	40.98	41.63	40.98	2399	387.99	105	91	37.519	31	32	37.525	25.5	207.4	5.29		
	41.63	41.63	41.63	2398	390.02	105	90	44.593	31	31	33.381	25.6	207.3	5.31	15	15

ตารางที่ ง-36 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 15-30

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	53.28	52.24	53.28	2392	505.05	111	93	33.243	31	27	60.625	34.1	193.8	6.61	15	15
	53.28	52.24	53.28	2392	508.08	113	93	33.962	32	27	57.56	34.5	194.1	6.70	16	16
	51.23	50.26	51.23	2379	503.1	105	98	29.84	27	26	39.772	35.8	187.8	6.72	17	17
	51.23	52.24	51.23	2402	511.13	109	98	30.149	28	26	19.66	35.4	189.9	6.72	18	18
90 %	46.74	46.74	47.57	2415	462.16	109	96	35.426	30	31	33.044	30.2	201.1	6.07		
	46.74	47.57	46.74	2414	462.18	109	96	43.502	30	30	51.905	30.2	200.8	6.06		
	46.74	48.44	46.74	2409	460.21	109	96	33.194	30	30	22.79	30	200.7	6.02		
	46.74	46.74	46.74	2414	459.24	109	98	33.823	30	30	48.857	30.1	200.8	6.04	19	19
80 %	42.97	42.97	42.97	2416	414.26	107	95	41.586	31	26	42.094	25.5	209.7	5.35		
	41.63	41.63	41.63	2415	414.29	106	94	34.935	31	25	49.28	25.3	209.6	5.30		
	41.63	42.29	41.63	2416	411.32	106	94	45.911	31	25	60.826	25.5	209.7	5.35		
	42.29	42.29	41.63	2416	414.34	106	95	38.129	31	25	27.326	25.5	209.6	5.34	20	20
Full	51.23	50.26	51.23	2411	514.4	109	100	35.154	32	29	37.499	35.2	185.6	6.53		
	51.23	51.23	51.23	2402	514.42	113	102	45.736	33	29	61.714	35.3	185.6	6.55	21	21
	51.23	50.26	51.23	2403	516.45	112	102	36.218	32	30	31.022	35.2	185.6	6.53	22	22
	51.23	50.26	51.23	2403	514.48	113	101	35.579	34	29	48.75	35.2	184.8	6.50	23	23
90 %	47.57	46.74	46.74	2416	473.51	117	98	51.258	37	30	58.546	29.9	201.2	6.02		
	46.74	46.74	46.74	2416	468.53	115	97	50.002	37	31	50.52	30.1	201.7	6.07		
	46.74	45.93	46.74	2416	462.56	106	95	40.089	36	30	66.21	29.9	200.9	6.01		
	46.74	46.74	46.74	2416	465.59	113	96	46.874	36	31	56.94	29.8	200.8	5.98	24	24
80 %	42.29	41.63	42.29	2416	417.61	111	97	45.707	36	25	42.492	25.1	208.6	5.24		
	41.63	41.63	41.63	2416	417.64	111	96	46.672	36	31	57.795	25.2	208.1	5.24		
	41.63	41.63	41.63	2416	411.67	110	97	43.675	35	31	66.788	25.3	207.9	5.26		
	42.29	41.63	42.29	2416	414.69	109	97	43.287	35	31	40.942	25.3	207.9	5.26	25	25
Full	53.28	52.24	52.24	2416	523.75	112	95	46.279	32	32	44.472	35.5	187.9	6.67		
	51.23	52.24	51.23	2416	511.77	113	100	36.933	33	32	45.127	35	189.5	6.63	26	26
	52.24	52.24	52.24	2416	520.8	111	97	33.033	31	31	56.585	35.7	186.8	6.67	27	27
	51.23	51.23	51.23	2416	508.83	111	98	38.271	33	30	48.986	35.1	189.6	6.65	28	28
90 %	47.57	47.57	47.57	2416	462.85	111	98	36.01	33	30	46.193	30.6	203.5	6.23		
	47.57	46.74	47.57	2416	461.88	109	96	37.566	33	30	56.83	30.4	203.3	6.18		
	47.57	47.57	47.57	2416	461.91	109	97	42.696	33	30	66.824	30.5	203.4	6.20		
	48.44	48.44	48.44	2416	462.94	109	96	41.832	32	30	33.113	30.4	203.4	6.18	29	29
80 %	41.63	41.63	41.63	2416	414.96	110	92	42.423	35	31	75.151	25.2	207.7	5.23		
	42.29	41.63	42.29	2416	414.99	109	93	43.716	35	31	56.148	25.2	207.9	5.24		
	42.97	42.97	42.97	2415	415.02	109	93	46.303	35	31	67.612	25.2	208.6	5.26		
	40.98	41.63	40.98	2416	413.04	109	93	38.879	35	32	44.24	25.4	207.8	5.28	30	30



ตารางที่ ง-37 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 30-45

Load	FC (sec / 50 cc.)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	51.23	51.23	51.23	2426	500.04	81	91	41.665	28	27	51.389	34.9	188.6	6.58	30	30
	51.23	50.26	51.23	2416	496.07	105	86	40.186	28	27	39.262	35.2	188.6	6.64	31	31
	51.23	51.23	51.23	2416	497.1	102	94	31.996	28	29	33.516	35.2	188.9	6.65	32	32
	51.23	50.26	51.23	2416	501.12	109	94	40.948	28	29	34.65	35.1	188.7	6.62	33	33
90 %	45.93	46.74	45.93	2415	460.15	111	92	47.054	32	28	51.558	30.1	201.9	6.08		
	46.74	46.74	46.74	2416	463.18	111	93	43.406	33	28	34.109	30.3	201.9	6.12		
	46.74	46.74	45.93	2416	460.2	111	92	40.308	33	28	46.77	30	201.8	6.05		
	45.93	47.57	45.93	2416	460.23	111	93	40.561	33	29	43.958	30.1	201.7	6.07	34	34
80 %	42.29	41.63	42.29	2425	415.26	110	91	34.859	33	30	37.499	25.6	210.6	5.39		
	41.63	41.63	42.97	2425	415.28	109	90	37.672	34	30	50.059	25.5	210.2	5.36		
	41.63	41.63	41.63	2418	415.31	109	92	41.047	34	31	35.241	25.4	209.9	5.33		
	41.63	41.63	42.29	2424	415.34	109	91	45.098	33	31	56.964	25.5	210.4	5.37	35	35
Full	49.33	49.33	49.33	2402	503.39	103	98	34.474	33	32	35.664	34.4	186.2	6.41		
	49.33	49.33	49.33	2402	500.42	111	97	37.44	33	32	57.476	34.6	185.6	6.42	36	36
	49.33	49.33	49.33	2403	503.45	102	98	39.059	33	33	64.942	34.6	186	6.44	37	37
	49.33	49.33	49.33	2400	500.47	113	99	37.255	34	34	72.189	34.8	185.6	6.46	38	38
90 %	45.93	45.93	46.74	2415	463.5	111	99	41.054	35	36	46.713	30.2	201.5	6.09		
	46.74	46.74	46.74	2410	463.53	111	98	45.014	35	35	45.772	30	200.7	6.02		
	46.74	45.93	46.74	2413	464.55	111	98	44.604	35	36	43.665	30.1	200.8	6.04		
	46.74	46.74	46.74	2412	463.58	111	98	36.791	35	37	69.15	30.1	200.8	6.04	39	39
80 %	41.63	42.29	41.63	2416	420.61	109	95	43.319	35	37	56.769	25.5	210.3	5.36		
	42.29	42.29	42.29	2416	418.63	109	96	44.086	35	36	73.664	25.5	210.4	5.37		
	41.63	42.29	41.63	2417	418.66	108	96	40.662	35	37	37.9	25.5	210.7	5.37		
	41.63	41.63	41.63	2416	418.69	108	95	42.679	35	37	54.5	25.4	209.8	5.33	40	40
Full	50.26	50.26	50.26	2402	502.74	108	100	36.707	34	36	62.207	35	187	6.55		
	52.24	52.24	51.23	2419	518.77	111	104	40.092	31	36	62.816	35.2	190.5	6.71	41	41
	51.23	51.23	51.23	2416	512.8	111	104	36.81	34	35	62.787	34.9	188.8	6.59	42	42
	51.23	52.24	51.23	2416	515.82	111	102	46.538	34	34	58.739	35.1	189.6	6.65	43	43
90 %	47.57	47.57	47.57	2415	469.85	109	98	44.255	31	33	34.231	30.4	203.3	6.18		
	47.57	48.44	47.57	2416	466.88	108	98	37.519	31	33	29.573	30.3	203.6	6.17		
	48.44	47.57	48.44	2416	469.9	108	99	36.335	31	32	44.927	30.2	203.8	6.15		
	48.44	48.44	47.57	2416	468.93	108	99	40.246	31	32	50.206	30.4	204.1	6.20	44	44
80 %	42.97	42.97	42.29	2416	412.96	106	97	38.466	31	32	39.114	25.6	210.6	5.39		
	42.29	42.29	42.29	2417	409.98	105	94	32.95	30	32	56.11	25.7	210.6	5.41		
	42.29	42.29	41.63	2416	410.01	105	95	39.892	30	32	50.582	25.6	210.6	5.39		
	42.29	42.29	42.29	2416	410.04	105	95	31.808	30	32	57.093	25.8	210.7	5.44	45	45

ตารางที่ ง-38 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 45-60

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	50.26	50.26	49.33	2413	500.04	95	90	42.779	28	29	40.022	34.9	187.4	6.54	45	45
	50.26	50.26	50.26	2402	501.06	107	94	36.835	30	28	22.98	35	187.1	6.55	46	46
	50.26	50.26	50.26	2402	501.09	107	94	34.241	30	28	29.748	35.1	187	6.56	47	47
	49.33	50.26	50.26	2402	501.12	108	93	38.366	30	29	50.5	35.1	187.5	6.58	48	48
90 %	47.57	46.74	47.57	2416	461.14	106	89	43.298	30	27	31.669	30.2	202.8	6.12		
	47.57	47.57	47.57	2416	461.17	107	90	33.566	30	27	31.976	30.5	202.7	6.18		
	47.57	47.57	47.57	2416	461.2	105	89	36.969	30	27	51.401	30.5	202.9	6.19		
	46.74	47.57	46.74	2415	460.23	105	89	40.965	30	27	38.729	30.3	202.7	6.14	49	49
80 %	42.97	42.97	42.97	2429	416.25	104	89	39.96	30	27	37.641	26.1	213.4	5.57		
	43.67	42.97	43.67	2429	416.28	103	88	36.946	29	27	53.427	25.9	212.6	5.51		
	42.97	42.97	42.97	2429	416.31	103	87	38.758	30	28	50.233	25.9	212.8	5.51		
	42.29	43.67	42.97	2429	416.33	103	89	41.081	30	28	43.452	25.9	212.6	5.51	50	50
Full	50.26	50.26	50.26	2402	499.39	105	89	43.557	29	28	56.588	34.7	186.8	6.48		
	51.23	51.23	51.23	2401	507.41	110	98	32.796	31	30	60.501	34.7	186.6	6.48	51	51
	51.23	50.26	51.23	2402	504.44	110	98	34.173	31	31	36.31	34.8	186.6	6.49	52	52
	50.26	50.26	50.26	2402	510.47	112	100	44.385	33	33	59.718	34.5	186.5	6.43	53	53
90 %	47.57	47.57	47.57	2416	473.49	111	98	39.059	34	34	36.442	30.1	202.7	6.10		
	47.57	46.74	47.57	2416	472.52	111	98	36.332	34	33	52.423	30.3	203	6.15		
	47.57	47.57	46.74	2416	470.55	111	98	40.866	34	33	35.658	30.2	202.7	6.12		
	47.57	46.74	47.57	2416	473.58	111	100	50.318	35	34	50.709	30.3	202.5	6.14	54	54
80 %	41.63	41.63	41.63	2402	417.6	111	99	36.497	35	35	71.457	25.2	207	5.22		
	41.63	41.63	42.29	2416	416.63	101	95	42.933	34	37	37.652	25.1	207.8	5.22		
	41.63	41.63	42.29	2415	419.66	111	99	39.921	35	35	54.87	25.4	208.7	5.30		
	41.63	41.63	41.63	2416	416.68	105	98	46.987	34	38	55.712	25.3	207.7	5.25	55	55
Full	51.23	52.24	51.23	2408	527.74	113	104	43.791	35	35	54.026	34.6	187.1	6.47		
	51.23	52.24	51.23	2404	526.76	115	103	36.776	35	35	46.498	34.7	186.9	6.49	56	56
	51.23	52.24	51.23	2408	528.79	116	104	39.819	36	34	52.294	34.6	188	6.50	57	57
	51.23	51.23	53.28	2414	522.82	115	100	41.14	35	34	40.61	34.6	188.6	6.53	58	58
90 %	48.44	48.44	48.44	2429	479.84	113	98	44.32	35	33	69.937	30.4	204.6	6.22		
	47.57	48.44	47.57	2416	474.87	113	98	37.931	35	33	46.447	30.1	202.5	6.10		
	46.74	46.74	46.74	2408	467.9	111	97	37.244	35	33	49.563	30.1	201	6.05		
	47.57	46.74	47.57	2402	466.92	111	98	41.057	35	32	52.668	29.9	200.7	6.00	59	59
80 %	42.29	42.29	42.29	2416	416.95	109	95	49.035	35	32	68.838	25.4	210.3	5.34		
	41.63	40.98	41.63	2408	411.98	108	93	46.196	34	31	63.197	25.3	208.6	5.28		
	42.29	41.63	42.29	2416	414.01	108	93	44.416	34	31	65.284	25.4	209.7	5.33		
	41.63	41.63	41.63	2413	414.03	107	93	43.506	34	31	33.932	25.2	208.6	5.26	60	60

ตารางที่ ง-39 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 60-75

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	51.23	50.26	50.26	2416	502.03	85	86	35.264	29	27	37.384	34.9	188.6	6.58	60	60
	51.23	51.23	50.26	2393	505.06	106	92	37.871	28	27	31.337	34.8	186.6	6.49	61	61
	49.33	50.26	50.26	2388	505.09	106	92	35.189	28	29	37.761	34.9	186.4	6.51	62	62
	51.23	51.23	51.23	2405	518.11	109	97	32.935	31	32	59.262	35	188.6	6.60	63	63
90 %	48.44	48.44	48.44	2429	486.14	111	94	42.286	32	33	38.177	30.2	204.7	6.18		
	49.33	49.33	47.57	2429	486.17	112	95	46.724	33	34	53.991	30.3	204.7	6.20		
	48.44	48.44	49.33	2429	483.19	113	96	41.898	33	35	30.426	30.5	204.7	6.24		
	47.57	47.57	47.57	2428	474.22	110	94	42.742	30	28	37.359	30.2	203.4	6.14	64	64
80 %	43.67	42.97	43.67	2430	423.25	96	85	43.249	32	31	61.051	25.7	212.7	5.47		
	42.29	41.63	42.29	2415	414.27	105	92	45.951	33	32	46.592	25.4	208.6	5.30		
	41.63	41.63	42.97	2421	418.3	102	93	35.293	32	32	55.62	25.5	209.8	5.35		
	41.63	41.63	42.29	2414	415.33	106	93	43.71	33	33	55.334	25.4	208.6	5.30	65	65
Full	51.23	52.24	51.23	2416	525.38	113	104	38.681	35	34	57.415	34.6	189.6	6.56		
	53.28	51.23	52.24	2412	526.41	114	104	39.288	35	35	43.743	34.7	188.6	6.54	66	66
	50.26	50.26	50.26	2402	517.44	109	99	36.54	35	35	46.797	34.3	186.8	6.41	67	67
	51.23	51.23	52.24	2415	519.46	98	98	40.279	35	35	48.558	34.3	187.4	6.43	68	68
90 %	47.57	48.44	48.44	2416	480.49	114	102	47.084	36	35	74.001	30	202.1	6.06		
	46.74	46.74	46.74	2402	468.52	113	100	48.192	36	35	47.862	29.6	199.8	5.91		
	47.57	47.57	47.57	2402	469.54	112	100	43.591	36	35	66.703	29.9	199.8	5.97		
	47.57	46.74	47.57	2402	467.57	111	98	42.545	35	34	59.629	29.8	199.9	5.96	69	69
80 %	41.63	41.63	41.63	2402	416.6	111	96	42.454	35	34	71.45	25.1	207.7	5.21		
	41.63	42.29	41.63	2402	414.62	109	95	41.096	35	34	41.485	25.2	207.5	5.23		
	41.63	41.63	41.63	2402	414.65	109	95	41.454	35	34	42.951	25.1	207.6	5.21		
	42.29	41.63	42.29	2402	414.68	109	95	41.322	35	34	54.587	25.2	207.7	5.23	70	70
Full	51.23	51.23	51.23	2414	514.73	110	101	40.307	34	32	70.758	34.5	189.5	6.54		
	52.24	51.23	52.24	2403	517.76	113	103	38.028	34	31	38.488	34.5	189.3	6.53	71	71
	51.23	52.24	52.24	2402	520.78	113	101	34.594	33	32	53.569	34.3	189.2	6.49	72	72
	51.23	51.23	51.23	2402	523.81	111	100	44.236	33	32	40.449	34.5	189.4	6.53	73	73
90 %	48.44	47.57	48.44	2413	475.84	109	96	43.104	33	32	51.106	30.1	201.7	6.07		
	48.44	47.57	48.44	2415	474.87	109	96	43.759	33	32	35.783	30.1	201.8	6.07		
	47.57	48.44	48.44	2415	474.89	109	96	41.28	33	32	67.946	30.2	202	6.10		
	48.44	48.44	48.44	2415	471.92	109	98	36.548	33	32	49.19	30.2	201.9	6.10	74	74
80 %	43.67	42.97	43.67	2428	423.95	107	95	45.487	33	31	51.537	25.6	211.6	5.42		
	43.67	43.67	43.67	2428	422.97	107	93	45.565	34	32	61.814	25.5	211.6	5.40		
	42.97	42.97	42.97	2429	424	105	91	36.253	32	31	59.581	25.4	211.5	5.37		
	43.67	43.67	43.67	2428	419.03	104	90	40.426	32	31	36.794	25.6	211.7	5.42	75	75

ตารางที่ ง-40 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 75-90

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	50.26	51.23	50.26	2402	503.03	98	91	43.857	29	27	51.405	34.3	188.6	6.47	75	75
	52.24	51.23	52.24	2402	506.05	85	86	31.377	28	27	50.365	34.4	188.3	6.48	76	76
	52.24	50.26	52.24	2389	500.08	109	94	40.009	31	29	62.644	34.3	187.6	6.43	77	77
	51.23	51.23	51.23	2388	504.11	108	94	37.554	30	29	29.15	34.1	187.6	6.40	78	78
90 %	48.44	48.44	48.44	2415	467.13	107	92	33.088	31	28	36.604	30.1	202.7	6.10		
	48.44	48.44	48.44	2412	469.16	107	93	45.802	31	28	35.975	30.3	202.5	6.14		
	48.44	48.44	48.44	2415	468.19	107	92	35.012	31	28	38.556	30.5	202.7	6.18		
	47.57	48.44	47.57	2409	466.21	107	93	36.654	32	29	45.351	30	201.1	6.03	79	79
80 %	42.97	42.97	42.97	2429	419.24	107	91	34.113	32	30	64.441	25.7	212.4	5.46		
	41.63	41.63	41.63	2414	404.27	106	90	40.245	31	30	26.898	25	207.1	5.18		
	40.98	42.29	40.98	2416	406.3	106	92	45.287	32	31	53.897	24.9	207.5	5.17		
	41.63	41.63	40.98	2416	406.32	107	91	40.948	32	31	30.799	25	207.5	5.19	80	80
Full	50.26	50.26	50.26	2402	503.38	108	98	45.55	33	32	34	34.3	187.6	6.43		
	51.23	51.23	50.26	2394	506.4	110	97	45.579	33	32	67.449	34.3	186.9	6.41	81	81
	50.26	51.23	50.26	2401	508.43	112	98	39.446	35	33	42.121	34.3	187.6	6.43	82	82
	51.23	50.26	51.23	2396	512.46	113	99	45.136	36	34	70.678	34.3	186.7	6.40	83	83
90 %	47.57	47.57	47.57	2416	478.48	113	99	49.424	37	36	72.027	29.8	203.4	6.06		
	47.57	46.74	47.57	2416	475.51	113	98	43.572	38	35	53.461	29.8	202.7	6.04		
	48.44	47.57	48.44	2416	478.54	112	98	43.076	38	36	77.166	29.8	203.4	6.06		
	47.57	47.57	47.57	2416	476.56	112	98	51.98	38	37	69.484	29.7	202.7	6.02	84	84
80 %	42.29	41.63	42.29	2429	424.59	111	95	45.688	39	37	51.884	25.1	209.7	5.26		
	42.29	42.29	41.63	2427	418.62	110	96	39.883	38	36	53.721	24.7	207.7	5.13		
	41.63	42.29	41.63	2425	416.64	110	96	49.59	38	37	76.075	24.7	207.7	5.13		
	41.63	42.29	41.63	2427	415.67	110	95	42.597	38	37	77.096	24.7	207.8	5.13	85	85
Full	51.23	51.23	49.33	2407	506.73	112	100	41.669	37	36	51.686	34.3	187.5	6.43		
	51.23	51.23	51.23	2402	521.75	115	104	50.569	38	36	83.058	34.7	188.8	6.55	86	86
	51.23	51.23	51.23	2402	521.78	117	104	40.361	37	35	77.367	34.7	188.6	6.54	87	87
	51.23	51.23	52.24	2402	518.81	116	102	47.205	37	34	73.979	34.4	188.6	6.49	88	88
90 %	46.74	45.93	46.74	2404	463.83	101	98	38.074	35	33	47.837	30	202.7	6.08		
	46.74	46.74	46.74	2402	463.86	110	98	47.286	34	33	34.71	30	201.9	6.06		
	47.57	47.57	46.74	2402	463.89	111	99	48.932	35	32	75.838	30.1	201.9	6.08		
	46.74	47.57	46.74	2402	463.91	111	99	42.938	35	32	67.117	30.1	202	6.08	89	89
80 %	40.36	40.36	40.36	2402	405.94	109	97	45.915	35	32	70.07	24.7	204.7	5.06		
	39.76	40.98	39.76	2402	401.97	108	94	39.333	35	32	73.742	24.8	204.7	5.08		
	40.36	40.98	39.76	2402	400.99	109	95	40.745	35	32	52.714	24.7	204.7	5.06		
	40.98	40.98	40.98	2402	404.02	109	95	48.615	35	32	73.346	24.8	204.8	5.08	90	90

ตารางที่ ง-41 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 90-105

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	51.23	51.23	50.26	2402	509.02	107	97	42.534	28	27	17.376	34.8	190.1	6.62	90	90
	51.23	50.26	50.26	2394	509.05	109	98	43.151	28	27	52.154	34.8	189.4	6.59	91	91
	51.23	51.23	51.23	2396	507.07	108	96	43.95	29	27	54.153	34.8	189.6	6.60	92	92
	50.26	50.26	51.23	2399	507.1	108	94	39.323	29	27	32.06	34.8	189.6	6.60	93	93
90 %	47.57	47.57	47.57	2416	464.13	107	93	37.061	29	27	25.691	30.4	205.6	6.25		
	46.74	47.57	48.44	2416	467.16	107	91	42.555	29	28	27.283	30.5	205.6	6.27		
	47.57	47.57	47.57	2416	468.18	107	94	39.648	29	28	22.585	30.5	205.6	6.27		
	47.57	47.57	47.57	2416	464.21	107	94	43.262	30	27	27.498	30.5	205.5	6.27	94	94
80 %	40.36	40.98	40.36	2415	404.24	105	88	40.916	30	28	35.175	25.1	208	5.22		
	40.98	40.98	40.36	2415	404.26	105	90	37.108	30	28	53.354	25.1	207.6	5.21		
	41.63	40.36	41.63	2416	404.29	104	89	32.107	30	28	25.533	24.9	207.7	5.17		
	40.98	40.98	40.98	2416	404.32	104	89	41.776	30	29	55.375	25	207.4	5.19	95	95
Full	52.24	51.23	52.24	2409	513.37	103	95	42.482	31	30	37.347	35	191.1	6.69		
	51.23	50.26	50.26	2402	513.4	106	97	33.328	31	30	46.665	34.9	190.5	6.65	96	96
	52.24	50.26	50.26	2402	516.42	110	98	41.331	32	31	35.897	34.5	189.6	6.54	97	97
	51.23	50.26	51.23	2400	516.45	112	98	38.784	34	32	65.725	35.2	188.9	6.65	98	98
90 %	46.74	47.57	46.74	2416	476.48	110	101	40.234	37	36	73.354	30.1	204.3	6.15		
	47.57	46.74	46.74	2416	476.5	113	100	50.276	37	37	70.913	30.1	204.2	6.15		
	47.57	46.74	47.57	2416	477.53	113	101	48.693	37	37	44.354	30.2	204	6.16		
	46.74	46.74	45.93	2416	475.56	113	101	47.131	37	35	56.591	30	204.4	6.13	99	99
80 %	40.98	40.36	40.98	2423	419.59	111	96	49.415	37	35	82.924	24.8	207.9	5.16		
	40.98	40.98	41.63	2427	419.61	111	95	44.782	37	36	58.452	24.9	208.2	5.18		
	40.36	40.36	40.36	2427	419.64	111	98	49.512	37	36	56.31	24.8	208.4	5.17		
	40.98	41.63	40.98	2417	410.67	103	93	44.244	37	36	61.298	24.6	205.8	5.06	100	100
Full	51.23	51.23	50.26	2402	516.72	113	100	41.247	37	33	79.37	34.7	189.7	6.58		
	50.26	50.26	50.26	2402	516.75	113	98	38.13	35	32	52.979	34.9	189.6	6.62	101	101
	52.24	52.24	50.26	2403	517.77	113	97	40.338	35	32	50.208	34.7	190.2	6.60	102	102
	51.23	51.23	50.26	2402	518.8	113	101	40.104	35	32	59.719	34.9	190.2	6.64	103	103
90 %	45.93	46.74	45.93	2416	473.83	111	95	45.365	35	32	43.831	30.1	205	6.17		
	45.93	46.74	45.93	2416	469.85	110	94	48.388	34	32	51.867	30.3	204.9	6.21		
	46.74	46.74	46.74	2416	470.88	109	95	42.286	34	32	53.18	30.3	204.7	6.20		
	46.74	46.74	46.74	2416	469.91	109	92	45.065	34	32	58.159	30.3	204.7	6.20	104	104
80 %	40.36	40.36	40.36	2416	410.94	108	92	47.911	34	31	67.233	25	207.4	5.19		
	40.36	40.98	40.36	2416	407.96	107	91	46.113	33	32	49.574	24.8	207.4	5.14		
	40.36	39.76	40.36	2416	410.99	107	91	47.302	34	32	65.898	24.9	207.6	5.17		
	40.98	40.36	40.36	2416	408.02	106	89	45.092	33	31	65.976	24.9	206.8	5.15	105	105

ตารางที่ ง-42 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 105-120

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	50.26	50.26	50.26	2389	499.02	105	92	43.997	29	27	35.813	34.8	188.7	6.57	105	105
	51.23	49.33	49.33	2388	498.04	107	93	37.372	31	27	55.195	35	188.8	6.61	106	106
	49.33	50.26	50.26	2388	498.07	107	92	38.546	31	27	33.417	34.6	188.6	6.53	107	107
	50.26	49.33	50.26	2388	499.1	107	93	35.217	31	27	39.975	34.6	188.7	6.53	108	108
90 %	47.57	46.74	47.57	2416	461.12	107	92	41.861	31	28	33.408	30.4	204.7	6.22		
	48.44	46.74	47.57	2416	458.15	106	92	33.746	31	26	37.841	30.5	204.7	6.24		
	47.57	46.74	47.57	2416	461.18	107	92	36.247	31	28	55.336	30.4	204.7	6.22		
	46.74	46.74	46.74	2414	461.2	107	94	41.562	31	26	31.152	30.6	204.7	6.26	109	109
80 %	40.98	40.98	41.63	2416	405.23	104	89	40.659	31	27	50.082	25.2	208.5	5.25		
	40.98	40.36	40.98	2416	405.26	103	90	37.195	31	28	32.615	25	208.3	5.21		
	40.36	41.63	40.36	2416	405.28	104	91	36.865	31	27	62.949	25.3	208.2	5.27		
	41.63	41.63	41.63	2416	405.31	103	90	44.345	32	28	45.539	25.1	208	5.22	110	110
Full	52.24	52.24	52.24	2416	519.37	109	98	45.45	35	34	39.977	35	191.8	6.71		0
	52.24	52.24	52.24	2416	523.39	115	104	50.704	37	34	57.175	34.8	192.1	6.69	111	1
	52.24	51.23	51.23	2415	520.42	114	102	39.286	36	38	43.774	34.7	191.3	6.64	112	2
	51.23	51.23	52.24	2416	517.45	115	102	41.95	37	37	53.856	34.9	191.4	6.68	113	3
90 %	46.74	46.74	46.74	2407	465.47	115	101	40.551	39	35	85.072	30	203.8	6.11		
	46.74	47.57	46.74	2407	463.5	114	100	48.99	38	35	70.433	30	203.8	6.11		
	45.93	45.93	46.74	2413	465.53	113	100	40.644	38	35	57.516	30	204.2	6.13		
	46.74	45.93	46.74	2411	466.55	111	93	48.654	34	32	50.512	30.2	204.6	6.18	114	4
80 %	41.63	41.63	40.98	2420	411.58	107	92	44.506	34	31	52.442	25.1	209.1	5.25		
	41.63	41.63	41.63	2416	408.61	107	91	36.155	34	31	39.529	25.1	208.6	5.24		
	40.98	40.98	40.98	2422	409.63	109	92	43.309	34	31	70.124	25.1	209.5	5.26		
	41.63	40.98	41.63	2420	410.66	109	93	48.961	34	31	70.084	25.1	209.5	5.26	115	5
Full	50.26	50.26	50.26	2397	504.71	113	100	48.87	35	33	48.976	34.4	189.1	6.51		
	51.23	50.26	51.23	2397	505.74	111	96	39.247	35	32	69.508	34.7	188.8	6.55	116	6
	51.23	50.26	50.26	2395	506.77	111	98	47.683	34	32	48.572	34.3	188.7	6.47	117	7
	49.33	50.26	49.33	2402	507.8	111	98	42.419	34	32	70.284	34.7	189.7	6.58	118	8
90 %	46.74	46.74	46.74	2412	464.82	111	94	36.105	34	32	67.957	30.3	204.4	6.19		
	46.74	46.74	46.74	2410	462.85	111	97	41.668	34	31	65.064	30.3	204.5	6.20		
	45.93	47.57	45.93	2403	462.88	110	96	40.747	34	32	44.222	30.2	204.1	6.16		
	46.74	47.57	47.57	2411	459.9	110	96	44.319	34	32	66.861	30.2	204.3	6.17	119	9
80 %	42.29	41.63	42.29	2429	409.93	109	93	37.76	34	30	37.521	25.2	209.9	5.29		
	40.98	40.36	40.36	2416	405.96	108	93	44.589	34	30	39.33	25.1	208.4	5.23		
	40.36	40.36	41.63	2415	405.98	108	93	48.24	34	30	70.552	25.1	207.9	5.22		
	40.36	41.63	40.36	2413	406.01	108	92	36.048	34	31	55.682	24.9	207.3	5.16	120	10



ตารางที่ ง-43 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 120-135

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	52.24	50.26	52.24	2415	510.01	97	91	40.606	31	28	46.035	35.3	192	6.78	120	10
	50.26	50.26	51.23	2402	508.04	107	94	41.42	32	29	58.243	34.7	190.8	6.62	121	11
	50.26	50.26	50.26	2402	509.06	108	94	44.124	32	29	30.445	34.8	190.4	6.63	122	12
	51.23	52.24	51.23	2402	508.09	105	94	37.234	31	28	40.714	35.1	191.3	6.71	123	13
90 %	48.44	47.57	48.44	2429	471.12	109	95	47.43	33	29	49.135	30.6	208.2	6.37		
	46.74	46.74	46.74	2416	463.14	111	97	47.353	32	29	52.003	30.2	205.3	6.20		
	47.57	45.93	47.57	2408	463.17	111	97	43.515	33	30	53.227	30.2	204.8	6.18		
	47.57	47.57	46.74	2414	465.2	111	98	37.73	32	30	46.312	30.4	205.2	6.24	124	14
80 %	42.29	41.63	42.29	2429	410.23	109	93	48.355	34	30	58.689	25.2	209.9	5.29		
	40.36	40.36	40.36	2415	407.25	108	93	36.407	34	30	71.866	25.1	208	5.22		
	40.36	39.18	40.36	2407	406.28	108	94	45.543	34	30	37.493	25	207.4	5.19		
	40.98	40.36	40.36	2411	406.31	108	93	44.503	34	30	39.147	24.9	207.1	5.16	125	15
Full	50.26	50.26	51.23	2402	500.36	97	93	41.29	33	32	38.369	35	189.3	6.63		
	51.23	51.23	51.23	2403	521.39	115	101	43.288	35	34	47.855	35	190.8	6.68	126	16
	50.26	50.26	50.26	2383	505.41	112	99	41.095	35	33	74.569	34.2	187.6	6.42	127	17
	52.24	51.23	52.24	2406	522.44	114	101	43.091	36	34	40.443	34.9	190.7	6.66	128	18
90 %	45.93	45.93	45.93	2402	469.47	113	99	49.952	37	35	47.958	30.1	203.8	6.13		
	45.93	45.93	45.93	2402	467.49	112	99	49.526	37	34	73.229	30.1	203.2	6.12		
	46.74	45.93	46.74	2402	469.52	113	98	40.38	37	34	80.126	30.1	203.5	6.13		
	45.93	45.93	45.93	2402	432.55	113	99	50.779	37	34	51.61	30	203.4	6.10	129	19
80 %	40.36	40.36	39.76	2402	406.57	109	95	48.015	36	35	72.04	24.6	205.3	5.05		
	39.18	39.76	39.18	2402	399.6	108	93	44.322	38	37	83.157	24.8	204.8	5.08		
	39.76	39.76	40.36	2406	392.63	109	96	47.375	37	34	56.172	24.8	206.6	5.12		
	40.98	40.36	40.98	2416	406.66	103	92	51.143	37	35	69.093	24.9	207.1	5.16	130	20
Full	50.26	49.33	50.26	2429	521.71	96	92	40.726	35	34	40.107	35.3	193.1	6.82		
	49.33	49.33	49.33	2416	522.74	107	100	44.133	35	33	61.169	35.4	191.8	6.79	131	21
	52.24	50.26	52.24	2416	512.76	84	83	36.193	34	34	38.145	35.2	190.3	6.70	132	22
	50.26	51.23	50.26	2402	509.79	105	98	43.011	35	32	73.726	35.3	188.8	6.66	133	23
90 %	48.44	47.57	48.44	2416	457.82	111	97	36.45	35	30	65.781	30.6	206.6	6.32		
	47.57	46.74	47.57	2414	466.84	109	97	50.106	35	29	52.967	30.3	205.7	6.23		
	47.57	47.57	47.57	2416	466.87	109	97	39.019	35	29	44.645	30.5	206	6.28		
	47.57	46.74	47.57	2416	466.9	110	98	40.607	35	29	45.188	30.6	206.7	6.33	134	24
80 %	41.63	40.98	40.98	2416	406.92	106	93	35.536	34	29	69.927	25	208.7	5.22		
	41.63	40.98	40.98	2416	404.95	105	92	38.796	33	28	37.869	25.3	209	5.29		
	41.63	40.98	41.63	2416	403.98	105	92	37.18	33	27	62.202	25.1	209.6	5.26		
	41.63	42.29	41.63	2416	405	106	93	47.161	33	28	52.059	25.3	209.1	5.29	135	25

ตารางที่ ง-44 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 135-150

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	51.23	50.26	49.33	2402	498	99	93	39.96	29	25	20.323	35.2	189.7	6.68	135	25
	51.23	50.26	50.26	2402	498.03	101	93	33.604	29	26	31.072	35.4	189.6	6.71	136	26
	51.23	50.26	50.26	2392	501.06	109	98	34.476	31	27	57.605	35.2	188.8	6.65	137	27
	51.23	50.26	51.23	2389	504.09	109	98	44.705	31	30	50.938	35.4	188.4	6.67	138	28
90 %	46.74	43.67	46.74	2416	467.11	109	96	44.331	33	32	61.529	30.3	205.7	6.23		
	46.74	46.74	46.74	2416	467.14	109	96	38.344	33	32	47.211	30.3	205.6	6.23		
	47.57	48.44	46.74	2416	467.17	109	96	45.625	33	32	44.703	30.4	206	6.26		
	47.57	47.57	47.57	2416	467.19	109	98	48.374	33	32	55.76	30.3	205.2	6.22	139	29
80 %	41.63	40.98	40.98	2429	413.22	107	95	40.874	34	32	34.943	25.2	210.2	5.30		
	42.29	40.98	42.29	2429	415.25	107	94	45.689	34	34	43.062	25.1	210	5.27		
	40.36	40.98	40.36	2416	407.27	107	94	46.214	34	33	72.267	24.9	207.6	5.17		
	40.98	40.36	40.98	2416	410.3	107	95	48.081	35	34	66.08	24.9	207.4	5.16	140	30
Full	50.26	51.23	50.26	2402	519.35	108	100	39.982	35	34	47.649	33.5	199.7	6.69		
	51.23	51.23	51.23	2398	519.38	113	102	47.887	36	35	67.008	33.4	199.4	6.66	141	31
	52.24	52.24	52.24	2392	520.41	113	102	36.635	35	35	75.092	34.4	198.6	6.83	142	32
	51.23	51.23	51.23	2395	519.43	113	101	45.183	37	36	78.281	33.5	199.2	6.67	143	33
90 %	46.74	46.74	46.74	2427	454.46	111	98	37.816	35	33	58.497	30.5	197	6.01		
	46.74	46.74	45.15	2429	451.49	110	97	44.151	35	32	59.86	30.5	197.5	6.02		
	46.74	45.93	46.74	2429	452.52	109	95	38.148	34	32	44.397	30.6	197.7	6.05		
	47.57	45.15	45.93	2429	452.54	109	96	37.969	34	32	46.925	30.6	197.7	6.05	144	34
80 %	41.63	42.29	41.63	2442	422.57	109	97	48.693	37	35	44.446	25.1	212.8	5.34		
	41.63	42.29	41.63	2442	423.6	109	96	48.83	37	36	56.43	25.3	212.9	5.39		
	42.97	41.63	42.97	2443	422.62	109	97	45.023	37	35	80.058	25.3	213.1	5.39		
	41.63	41.63	41.63	2442	422.65	109	97	50.738	37	35	67.892	25.4	213	5.41	145	35
Full	51.23	51.23	50.26	2392	474.7	101	95	39.359	30	29	59.901	33.8	198.4	6.71		
	51.23	51.23	51.23	2388	507.73	111	100	45.12	31	29	56.981	33.1	198.4	6.57	146	36
	51.23	51.23	50.26	2375	470.76	110	97	42.023	31	29	51.437	33.7	197.4	6.65	147	37
	52.24	51.23	51.23	2387	507.78	111	98	37.392	31	30	44.486	34.1	198.6	6.77	148	38
90 %	45.93	45.93	46.74	2429	452.81	111	98	48.633	35	32	43.156	30.8	197.5	6.08		
	45.93	45.15	45.93	2429	451.84	109	96	47.199	34	32	53.969	30.6	197.7	6.05		
	45.15	45.93	45.93	2429	451.86	109	97	36.647	34	32	57.808	30.7	197.7	6.07		
	45.93	45.93	45.93	2429	454.89	109	96	39.546	33	31	46.096	30.7	197.3	6.06	149	39
80 %	42.29	42.29	41.63	2429	408.92	107	92	45.27	31	30	51.3	25.4	210.6	5.35		
	42.29	42.29	42.29	2429	407.95	106	93	38.098	31	29	39.717	25.3	210.6	5.33		
	41.63	41.63	41.63	2429	407.97	107	93	43.585	31	29	60.767	25.4	210.6	5.35		
	42.29	41.63	42.29	2429	409	108	93	38.337	31	30	56.453	25.4	211.2	5.36	150	40

ตารางที่ ง-45 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 150-165

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	51.23	51.23	51.23	2393	490.61	101	95	43.812	30	29	21.654	33.6	198.5	6.67	150	40
	50.26	51.23	50.26	2375	485.68	110	98	39.769	31	30	58.973	33.6	196.7	6.61	151	41
	51.23	51.23	51.23	2388	523.75	111	100	39.409	31	30	60.793	33.7	198.7	6.70	152	42
	51.23	50.26	51.23	2375	486.82	110	97	44.829	31	30	24.749	33.7	196.8	6.63	153	43
90 %	45.93	47.57	45.93	2429	464.41	109	95	42.138	33	32	59.682	30.8	195.9	6.03		
	47.57	47.57	47.57	2429	474.46	110	97	46.242	34	32	60.907	31.4	194.7	6.11		
	47.57	47.57	47.57	2428	477.52	111	98	47.963	34	33	67.793	31.3	194.7	6.09		
	48.44	47.57	48.44	2429	479.57	112	99	43.308	34	34	68.734	31.4	194.7	6.11	154	44
80 %	42.29	42.29	42.97	2430	427.62	109	95	47.339	34	32	59.756	25.3	212.7	5.38		
	42.29	42.29	42.29	2432	426.67	109	94	39.518	34	32	37.986	25.4	213	5.41		
	42.97	42.29	42.97	2429	429.72	109	95	36.079	34	33	63.934	25.3	212.7	5.38		
	42.29	42.29	43.67	2433	426.77	109	95	38.171	34	33	38.773	25.4	212.7	5.40	155	45
Full	52.24	52.24	52.24	2403	533.5	97	92	45.886	34	34	48.506	34.1	200.4	6.83		
	51.23	51.23	51.23	2375	529.57	113	100	44.186	35	34	60.478	33.3	196.7	6.55	156	46
	52.24	52.24	52.24	2375	533.64	113	100	45.973	35	34	46.226	33.5	196.4	6.58	157	47
	52.24	52.24	51.23	2375	532.71	113	100	44.951	35	34	40.533	33.3	196.5	6.54	158	48
90 %	47.57	47.57	47.57	2429	482.08	112	98	46.547	35	34	49.221	31.3	194.6	6.09		
	47.57	48.44	47.57	2429	482.14	112	98	47.228	35	34	51.194	31.3	194.7	6.09		
	46.74	48.44	46.74	2428	477.19	111	98	38.106	35	33	46.299	31.4	194.8	6.12		
	47.57	47.57	47.57	2428	478.24	111	98	46.727	34	32	46.712	31.6	194.8	6.16	159	49
80 %	41.63	42.29	41.63	2417	418.29	109	94	48.576	35	34	75.577	25.1	209.7	5.26		
	41.63	42.29	41.63	2420	416.34	109	95	41.196	35	33	38.406	25.1	209.7	5.26		
	42.29	41.63	41.63	2416	413.39	109	93	38.386	34	32	59.69	25.3	209.5	5.30		
	42.29	41.63	42.29	2416	412.45	107	92	42.526	34	32	38.11	25.2	209.4	5.28	160	50
Full	52.24	51.23	52.24	2390	524.4	95	93	39.293	31	31	37.475	33.8	199.2	6.73		
	51.23	51.23	51.23	2383	519.47	109	97	32.891	30	29	21.479	33.7	198.9	6.70	161	51
	50.26	51.23	51.23	2376	519.54	111	98	36.017	31	30	43.435	33.6	197.9	6.65	162	52
	52.24	52.24	52.24	2402	525.6	112	98	41.213	33	31	50.148	33.6	199.6	6.71	163	53
90 %	45.93	47.57	45.93	2427	468.76	111	98	43.817	33	32	30.168	31.1	196.1	6.10		
	47.57	46.74	47.57	2416	468.81	111	98	44.903	34	32	45.209	31.2	194.7	6.07		
	46.74	46.74	46.74	2429	468.86	111	97	47.576	34	32	51.561	31.3	195.7	6.13		
	47.57	47.57	47.57	2426	471.91	111	98	40.84	34	34	35.215	31.1	195.5	6.08	164	54
80 %	41.63	41.63	41.63	2416	418.96	111	95	47.308	34	32	54.122	25	209.4	5.24		
	41.63	40.98	41.63	2416	419.01	111	95	42.028	34	33	59.747	25	209.6	5.24		
	41.63	40.98	41.63	2416	416.07	110	96	45.679	35	34	38.534	25	209.2	5.23		
	40.98	40.98	40.98	2416	416.12	109	96	44.504	35	34	44.575	25.1	208.7	5.24	165	55

ตารางที่ ง-46 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 165-180

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	51.23	51.23	51.23	2391	520.16	97	93	39.426	29	26	30.962	33.8	198.9	6.72	165	55
	50.26	51.23	50.26	2375	520.22	111	97	44.802	31	30	33.503	34.1	197.7	6.74	166	56
	51.23	51.23	51.23	2375	522.29	111	97	41.409	31	30	33.432	33.9	197.7	6.70	167	57
	51.23	52.24	51.23	2394	526.36	112	99	42.922	32	32	38.405	33.4	198.8	6.64	168	58
90 %	47.57	46.74	47.57	2427	470.32	111	98	47.825	33	32	65.436	31	195.5	6.06		
	46.74	47.57	47.57	2421	470.37	112	98	38.189	34	34	46.517	31.1	195.1	6.07		
	47.57	46.74	47.57	2416	469.43	111	98	42.978	34	32	53.474	31.2	194.7	6.07		
	47.57	47.57	46.74	2429	472.48	111	97	42.948	34	34	47.187	31.1	196.1	6.10	169	59
80 %	41.63	41.63	41.63	2416	419.53	111	95	48.456	34	32	64.482	25.1	209.2	5.25		
	41.63	41.63	41.63	2415	419.58	111	95	46.218	34	32	68.345	25.1	208.7	5.24		
	40.98	40.98	41.63	2416	419.63	111	95	45.715	34	33	70.557	25	208.7	5.22		
	40.98	40.98	40.98	2416	416.68	111	95	40.865	35	32	50.867	25	208.7	5.22	170	60
Full	52.24	51.23	52.24	2416	536.05	109	99	36.868	35	35	76.014	33.6	200.4	6.73		
	53.28	52.24	53.28	2402	536.12	114	101	42.508	35	34	74.319	33.5	199.6	6.69	171	61
	52.24	52.24	51.23	2402	536.19	115	100	41.426	34	34	38.769	33.5	200	6.70	172	62
	53.28	52.24	53.28	2402	539.26	115	102	38.513	35	35	40.768	33.4	199.6	6.67	173	63
90 %	46.74	46.74	46.74	2411	472.99	114	100	48.034	35	34	47.067	31.1	192.8	6.00		
	46.74	45.93	46.74	2409	473.05	113	100	36.605	35	34	43.753	31.3	192.2	6.02		
	45.93	46.74	45.93	2412	472.1	113	99	44.258	35	33	53.067	31.1	193.1	6.01		
	47.57	46.74	47.57	2409	472.15	113	98	39.646	35	33	69.743	30.9	192.7	5.95	174	64
80 %	41.63	41.63	41.63	2428	426.2	112	96	40.273	35	33	38.692	25.1	211.1	5.30		
	41.63	41.63	42.29	2428	423.25	111	96	47.964	35	33	45.26	25.2	210.6	5.31		
	41.63	41.63	41.63	2427	423.3	111	95	36.899	35	33	66.997	25.3	211	5.34		
	42.29	41.63	41.63	2423	420.36	110	95	43.656	35	32	47.217	25.1	210.5	5.28	175	65
Full	52.24	52.24	52.24	2402	539.95	116	102	41.248	35	34	57.555	33.9	199.9	6.78		
	52.24	53.28	52.24	2402	540.01	115	102	48.505	35	34	46.135	33.7	199.5	6.72	176	66
	52.24	52.24	52.24	2402	540.08	115	102	50.112	36	34	72.837	33.5	199.8	6.69	177	67
	52.24	52.24	52.24	2403	540.15	115	101	38.442	36	34	69.906	33.6	200.3	6.73	178	68
90 %	46.74	47.57	46.74	2412	474.67	114	100	38.137	36	35	48.224	31.1	192.9	6.00		
	46.74	46.74	46.74	2412	472.72	113	98	38.178	35	33	74.269	31	193.2	5.99		
	47.57	46.74	47.57	2409	472.77	113	98	44.69	35	33	51.114	30.9	192.7	5.95		
	47.57	46.74	47.57	2406	473.82	113	98	43.539	35	34	40.619	31	192.8	5.98	179	69
80 %	41.63	41.63	42.29	2428	423.87	111	96	50.009	35	33	64.953	25.2	210.6	5.31		
	41.63	41.63	41.63	2427	423.92	111	95	37.394	35	33	74.211	25.2	210.6	5.31		
	41.63	41.63	41.63	2416	420.98	109	95	43.154	35	33	70.619	25.2	209	5.27		
	41.63	41.63	42.29	2428	421.03	110	95	48.921	35	33	52.521	25.1	210.3	5.28	180	70

ตารางที่ ง-47 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 180-195

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	52.24	51.23	52.24	2415	528.7	104	98	44.544	34	33	70.257	33.3	198.3	6.60	180	70
	52.24	50.26	52.24	2402	529.77	112	100	39.698	35	34	67.622	33.2	197.9	6.57	181	71
	51.23	52.24	51.23	2402	528.84	115	103	41.925	36	34	63.058	33.2	197.6	6.56	182	72
	50.26	52.24	51.23	2402	531.91	115	104	49.614	37	36	63.598	33.1	197.6	6.54	183	73
90 %	47.57	46.74	47.57	2428	469.23	113	99	37.881	36	36	43.449	30.5	197.2	6.01		
	47.57	46.74	45.93	2429	468.29	113	100	45.103	36	36	62.358	30.4	197.2	5.99		
	45.93	46.74	46.74	2428	468.34	113	100	43.889	36	37	50.152	30.3	197.2	5.98		
	45.93	47.57	46.74	2429	471.39	113	99	40.73	37	36	51.969	30.5	196.4	5.99	184	74
80 %	42.29	42.29	40.98	2415	421.44	113	100	42.358	37	36	80.889	24.8	207.8	5.15		
	41.63	41.63	41.63	2407	427.49	113	99	42.175	38	37	47.134	25.3	210	5.31		
	41.63	41.63	41.63	2415	424.54	113	98	52.208	38	37	83.68	25.4	210.4	5.34		
	42.29	41.63	42.29	2410	427.59	112	98	41.007	38	37	48.856	25.3	209.9	5.31	185	75
Full	51.23	51.23	51.23	2390	531.6	114	102	40.441	38	36	64.093	33.3	196.5	6.54		
	50.26	50.26	50.26	2388	532.67	116	104	44.17	38	37	57.959	33	195.8	6.46	186	76
	51.23	51.23	51.23	2393	530.74	111	102	47.758	38	36	73.638	33.5	196.3	6.58	187	77
	52.24	51.23	52.24	2386	535.8	115	104	47.171	39	38	54.129	33.2	195.6	6.49	188	78
90 %	46.74	45.93	46.74	2427	471.9	113	100	44.516	37	37	55.836	30.4	196.1	5.96		
	46.74	46.74	46.74	2425	472.96	113	100	49.393	37	37	69.335	30.3	195.8	5.93		
	45.93	45.93	46.74	2429	469.01	113	99	52.304	37	37	56.926	30.4	197.3	6.00		
	46.74	45.93	46.74	2429	473.06	113	100	51.55	37	37	67.62	30.5	196.2	5.98	189	79
80 %	42.97	42.29	42.29	2427	431.11	105	93	41.241	33	30	38.994	25.8	213.7	5.51		
	42.97	42.97	42.97	2426	431.16	104	92	46.519	33	30	55.409	25.7	213.5	5.49		
	41.63	42.29	41.63	2406	422.21	102	91	36.64	33	29	47.377	25.4	210.2	5.34		
	41.63	41.63	41.63	2406	422.27	101	89	43.021	32	29	65.782	25.6	210.1	5.38	190	80
Full	51.23	52.24	49.33	2402	511.49	91	88	44.542	32	29	55.668	33.4	195	6.51		
	52.24	50.26	52.24	2411	524.56	103	93	46.316	32	27	56.85	33.5	197.5	6.62	191	81
	51.23	52.24	52.24	2409	524.63	103	94	33.762	31	27	48.756	33.4	197.5	6.60	192	82
	52.24	52.24	50.26	2402	526.7	103	94	44.855	31	27	41.696	33.3	197.2	6.57	193	83
90 %	47.57	47.57	47.57	2429	479.58	116	101	50.874	37	34	47.049	31.1	197.2	6.13		
	48.44	47.57	47.57	2429	479.63	111	98	43.537	35	32	46.621	31.1	197.5	6.14		
	47.57	47.57	47.57	2429	479.68	115	100	51.814	37	34	77.156	31.1	196.6	6.11		
	48.44	48.44	48.44	2429	475.73	107	96	48.293	35	30	74.547	31.2	197.1	6.15	194	84
80 %	42.97	42.97	42.97	2416	428.78	102	87	38.527	31	27	63.071	25.9	213.4	5.53		
	42.29	42.97	42.29	2416	427.83	102	86	41.742	30	27	33.436	25.8	212	5.47		
	42.29	42.97	42.29	2418	428.89	102	85	38.601	30	27	29.816	25.8	213.2	5.50		
	42.29	42.97	42.29	2416	428.94	101	86	33.686	30	27	49.369	25.8	212.6	5.49	195	85

ตารางที่ ง-48 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 195-210

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	50.26	50.26	50.26	2416	519.25	100	89	40.88	30	27	24.403	34.3	196.2	6.73	195	85
	51.23	51.23	52.24	2402	528.32	107	93	36.173	30	27	22.874	34.6	197.6	6.84	196	86
	51.23	52.24	51.23	2402	528.39	107	93	43.085	29	26	45.763	34.6	197.5	6.83	197	87
	51.23	51.23	51.23	2402	525.46	105	94	36.759	29	26	19.897	34.5	197.4	6.81	198	88
90 %	45.15	47.57	45.15	2443	473.14	105	92	40.849	34	31	56.075	30.6	207.4	6.35		
	46.74	49.33	46.74	2443	480.2	105	93	45.478	34	30	56.014	31.1	204.7	6.37		
	47.57	47.57	47.57	2445	473.25	102	92	45.526	33	30	52.336	30.4	208.5	6.34		
	46.74	46.74	46.74	2443	473.3	103	92	46.927	34	30	69.611	30.2	208.2	6.29	199	89
80 %	44.4	44.4	43.67	2429	438.35	103	90	38.098	29	26	23.186	26.9	216.6	5.83		
	43.67	43.67	43.67	2429	434.4	101	89	40.372	29	25	47.453	26.9	215.7	5.80		
	43.67	43.67	44.4	2431	435.45	101	90	30.602	29	25	42.551	27.1	216.6	5.87		
	42.97	42.97	42.97	2426	429.51	101	89	35.941	29	25	45.536	26.8	213.7	5.73	200	90
Full	51.23	50.26	51.23	2443	520.14	86	87	38.938	31	29	52.639	34	196.6	6.68		
	51.23	49.33	51.23	2429	522.21	103	93	38.171	31	29	40.673	34.1	196.5	6.70	201	91
	50.26	52.24	50.26	2429	520.28	103	92	39.936	32	30	30.076	33.9	196.5	6.66	202	92
	52.24	50.26	52.24	2429	520.35	102	92	35.745	32	29	32.602	33.8	196	6.62	203	93
90 %	45.93	45.93	45.93	2443	468.82	105	92	35.827	34	30	59.596	29.5	210.9	6.22		
	48.44	47.57	48.44	2443	482.87	105	92	48.118	34	31	53.65	31	204.9	6.35		
	45.93	46.74	45.93	2443	473.92	104	92	35.647	34	30	48.549	30.4	208	6.32		
	46.74	46.74	47.57	2445	473.97	104	93	39.596	34	31	57.97	30.3	208.7	6.32	204	94
80 %	42.29	42.97	42.97	2421	427.02	100	87	40.162	29	25	23.381	26.7	213.5	5.70		
	41.63	41.63	42.29	2404	430.07	103	91	47.853	34	31	54.405	26.1	209.7	5.47		
	42.29	41.63	42.29	2402	427.12	102	91	49.827	35	31	37.355	26.1	209.1	5.46		
	41.63	42.29	41.63	2402	427.18	101	91	37.714	34	31	33.933	26.1	208.7	5.45	205	95
Full	52.24	52.24	52.24	2435	545.04	110	98	38.531	35	32	61.569	34.3	198	6.79		
	51.23	52.24	51.23	2431	542.11	109	99	37.888	35	32	46.945	33.8	197.7	6.68	206	96
	53.28	52.24	53.28	2430	542.18	109	98	46.998	35	31	46.474	34	197.7	6.72	207	97
	54.37	53.28	52.24	2434	542.25	109	96	37.732	34	30	36.2	34.1	198.1	6.76	208	98
90 %	47.57	47.57	46.74	2470	471.49	108	95	47.125	33	30	55.779	29.3	216.5	6.34		
	48.44	47.57	48.44	2470	478.54	109	96	42.158	33	30	37.503	29.7	214.6	6.37		
	47.57	47.57	46.74	2471	469.59	107	93	44.074	33	30	49.229	29.2	216.8	6.33		
	47.57	49.33	47.57	2470	477.64	109	95	38.265	33	30	32.157	29.5	214.4	6.32	209	99
80 %	41.63	42.29	42.97	2402	427.69	102	90	49.067	35	31	51.055	26	209.4	5.44		
	42.29	41.63	42.29	2402	427.74	102	91	46.591	34	31	73.05	26	208.2	5.41		
	41.63	41.63	41.63	2402	427.8	101	90	43.754	34	31	46.416	26.1	208.3	5.44		
	40.98	50.26	40.98	2402	427.85	101	90	39.311	34	32	33.566	26.2	208.6	5.47	210	100



ตารางที่ ง-49 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 210-225

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	52.24	52.24	52.24	2443	530.8	71	85	41.036	31	31	48.938	33.8	197.4	6.67	210	100
	52.24	51.23	51.23	2377	529.87	111	98	43.851	32	29	32.978	35	194.1	6.79	211	101
	53.28	52.24	53.28	2402	536.93	103	98	40.639	31	29	45.794	34.5	196.8	6.79	212	102
	52.24	51.23	51.23	2385	531	111	99	36.129	33	30	63.594	34.3	193.9	6.65	213	103
90 %	47.57	48.44	47.57	2416	482.05	112	100	37.168	32	32	50.46	31.4	197	6.19		
	46.74	47.57	47.57	2416	482.11	114	101	46.371	33	32	69.476	31.4	196.7	6.18		
	47.57	47.57	47.57	2416	482.16	115	102	45.047	33	32	57.642	31.4	196.8	6.18		
	47.57	48.44	47.57	2416	484.21	115	101	42.051	34	33	57.823	31.3	196.3	6.14	214	104
80 %	43.67	42.97	43.67	2415	440.26	111	96	47.781	35	33	54.51	26.2	210.7	5.52		
	42.29	42.29	42.97	2416	434.31	110	95	36.695	35	34	68.946	26.2	210.8	5.52		
	42.97	42.29	42.97	2402	428.36	109	96	42.96	35	35	52.589	25.9	208.1	5.39		
	42.29	42.97	42.29	2402	428.42	109	96	43.567	35	34	71.319	26	208.8	5.43	215	105
Full	51.23	52.24	51.23	2381	531.69	111	99	33.611	32	29	29.469	34.5	194.3	6.70		
	51.23	52.24	51.23	2388	531.76	111	98	37.62	33	31	41.735	34.2	194.5	6.65	216	106
	51.23	51.23	51.23	2378	534.83	111	98	39.398	33	31	64.474	34.5	193.6	6.68	217	107
	52.24	51.23	51.23	2382	534.9	111	99	41.554	33	31	62.231	34.3	193.8	6.65	218	108
90 %	47.57	47.57	46.74	2416	482.73	115	102	39.609	34	33	73.032	31.3	196.1	6.14		
	47.57	48.44	47.57	2416	482.78	115	101	48.202	34	33	52.461	31.3	196.5	6.15		
	47.57	48.44	47.57	2416	484.83	115	102	40.966	34	33	72.312	31.3	196.3	6.14		
	48.44	47.57	48.44	2416	482.88	112	98	43.45	34	31	67.224	31.3	196.5	6.15	219	109
80 %	43.67	43.67	42.97	2414	437.93	110	97	50	35	34	39.727	26.2	210.6	5.52		
	42.29	42.29	42.29	2402	428.98	109	96	46.925	35	34	44.162	26.1	209.5	5.47		
	42.29	42.29	42.29	2402	430.04	109	96	44.766	35	34	44.167	26	208.7	5.43		
	42.29	42.97	42.29	2402	429.09	109	96	39.186	35	34	54.591	26	208.8	5.43	220	110
Full	51.23	51.23	51.23	2402	534.59	113	100	50.853	36	33	64.565	33.6	192.8	6.48		
	50.26	51.23	51.23	2402	534.66	113	100	43.64	36	34	50.631	33.6	192.8	6.48	221	1
	52.24	51.23	51.23	2400	535.72	114	101	43.917	36	35	60.651	33.3	192.3	6.40	222	2
	51.23	51.23	51.23	2402	535.79	115	101	50.984	37	35	67.748	33.5	192.7	6.46	223	3
90 %	47.57	46.74	46.74	2415	483.4	114	99	45.563	37	35	66.468	31.1	193.9	6.03		
	46.74	48.44	47.57	2414	482.45	113	98	41.654	37	34	46.521	31.2	194	6.05		
	46.74	46.74	46.74	2415	479.5	114	99	50.973	38	35	73.125	31.1	193.7	6.02		
	46.74	47.57	46.74	2414	479.55	114	100	52.232	38	36	68.833	31	193.6	6.00	224	4
80 %	42.97	42.29	42.97	2407	435.6	113	96	43.699	37	35	56.971	26	209.8	5.45		
	42.97	42.29	42.97	2409	433.65	111	97	39.018	37	35	74.13	26	209.6	5.45		
	42.29	42.97	42.29	2409	432.71	111	97	39.976	37	35	65.743	26	209.7	5.45		
	43.67	42.29	41.63	2407	432.76	111	96	50.607	37	35	59.161	26	209.6	5.45	225	5

ตารางที่ ง-50 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 225-240

Load	FC (cc./min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	53.28	51.23	50.26	2382	527.34	111	98	45.527	33	31	40.126	35	193	6.76	225	5
	51.23	52.24	51.23	2383	527.41	111	98	44.913	33	32	62.429	33.3	192.8	6.42	226	6
	50.26	51.23	51.23	2375	527.48	112	98	40.609	33	32	42.444	34.1	191.9	6.54	227	7
	52.24	51.23	52.24	2385	527.55	111	99	42.814	33	32	64.341	34.5	193	6.66	228	8
90 %	45.93	45.93	45.93	2416	464.96	110	96	38.22	33	31	55.063	30.5	201.6	6.15		
	46.74	50.26	46.74	2423	465.02	110	96	37.468	33	31	35.402	30.4	201.6	6.13		
	46.74	46.74	46.74	2418	468.07	111	96	47.57	33	31	43.219	30.5	201.6	6.15		
	46.74	46.74	45.93	2419	465.12	110	97	43.598	33	31	68.54	30.4	201.6	6.13	229	9
80 %	43.67	43.67	43.67	2416	433.17	109	95	40.077	33	31	34.325	26.3	212.2	5.58		
	42.29	42.29	42.29	2402	427.22	108	93	35.825	33	31	54.156	26.2	209.7	5.49		
	42.97	42.97	42.29	2402	424.27	108	93	46.901	33	30	49.433	26.2	209.6	5.49		
	42.29	42.97	42.29	2402	424.33	107	93	34.993	32	30	41.185	26.3	209.7	5.52	230	10
Full	51.23	51.23	51.23	2402	522.24	103	97	38.221	31	29	31.197	33.8	193.4	6.54		
	51.23	51.23	51.23	2395	525.31	110	98	44.411	31	30	33.038	33.6	192.6	6.47	231	11
	52.24	50.26	50.26	2402	522.38	107	98	32.716	31	29	50.813	34	192.8	6.56	232	12
	51.23	50.26	51.23	2398	525.45	111	98	36.457	32	31	48.521	33.7	192.6	6.49	233	13
90 %	48.44	46.74	48.44	2417	475.64	111	97	44.129	33	31	59.671	31.1	196.6	6.11		
	47.57	47.57	47.57	2416	477.69	111	97	46.157	33	32	43.833	31.4	196.2	6.16		
	48.44	47.57	47.57	2416	477.74	111	97	41.545	33	32	68.351	31.3	195.8	6.13		
	48.44	47.57	48.44	2416	477.79	111	96	44.179	33	32	64.623	31.3	195.8	6.13	234	14
80 %	42.97	43.67	42.97	2405	433.84	109	94	47.548	34	32	46.689	26.2	210.5	5.52		
	43.67	42.97	43.67	2407	433.89	109	95	44.145	34	32	53.46	26.4	210.5	5.56		
	43.67	42.97	43.67	2406	433.95	109	95	40.773	34	32	63.254	26.3	210.4	5.53		
	42.97	42.29	42.97	2393	428	109	94	37.79	34	32	52.423	26.2	208.6	5.47	235	15
Full	52.24	52.24	50.26	2417	532.13	115	102	38.588	36	35	40.179	33.2	193.2	6.41		
	51.23	50.26	50.26	2416	529.2	114	100	43.833	36	34	58.923	33.3	192.8	6.42	236	16
	51.23	50.26	51.23	2412	529.27	115	100	41.982	36	34	45.437	33.4	192.7	6.44	237	17
	51.23	51.23	51.23	2423	532.34	115	101	44.487	36	34	75.781	33.2	193.2	6.41	238	18
90 %	47.57	47.57	47.57	2416	484.31	115	101	43.549	37	34	44.38	30.6	200.2	6.13		
	48.44	46.74	48.44	2418	481.36	113	100	43.226	37	35	57.417	30.4	200	6.08		
	47.57	46.74	47.57	2419	481.41	113	98	39.477	37	35	61.56	30.4	199.8	6.07		
	46.74	47.57	46.74	2421	481.46	113	100	45.012	37	35	80.985	30.4	200	6.08	239	19
80 %	42.29	42.29	42.29	2402	440.51	113	98	42.123	37	35	49.009	26	208.8	5.43		
	41.63	41.63	42.97	2402	437.56	112	98	45.164	37	35	81.747	25.9	208.7	5.41		
	42.29	42.29	42.29	2402	434.62	111	97	40.552	37	35	50.849	26	208.6	5.42		
	42.29	42.97	42.29	2401	434.67	111	97	51.373	37	35	69.823	25.9	208.6	5.40	240	20

ตารางที่ ง-51 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 240-255

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	53.28	52.24	53.28	2402	549.89	110	101	46.913	37	35	48.043	34.2	194.6	6.66	240	20
	52.24	51.23	52.24	2388	541.96	114	101	50.474	36	33	73.96	34.2	193.9	6.63	241	21
	52.24	51.23	52.24	2388	545.03	115	101	41.47	36	34	43.639	33.6	193.8	6.51	242	22
	52.24	52.24	51.23	2388	524.1	97	80	46.913	34	34	33.755	33.9	193.5	6.56	243	23
90 %	46.74	47.57	46.74	2402	478.87	111	97	39.708	35	32	38.723	31.3	194.5	6.09		
	47.57	46.74	47.57	2407	475.93	111	96	39.083	34	32	37.407	31.3	194.7	6.09		
	47.57	46.74	47.57	2408	476.98	111	96	47.205	35	32	39.785	31.2	195.1	6.09		
	47.57	46.74	47.57	2404	476.03	111	97	35.761	34	32	69.05	31.1	194.8	6.06	244	24
80 %	41.63	42.29	41.63	2416	429.08	109	94	38.352	33	32	60.851	25.6	209.4	5.36		
	42.29	42.29	42.29	2416	429.13	108	94	43.065	34	32	48.518	25.6	208.9	5.35		
	42.97	41.63	42.97	2416	429.18	109	93	48.692	34	32	47.974	25.6	209.2	5.36		
	41.63	41.63	40.98	2416	428.24	109	95	44.683	33	32	69.935	25.6	208.9	5.35	245	25
Full	50.26	50.26	49.33	2375	518.79	103	94	38.512	31	28	24.16	33.6	191.9	6.45		
	50.26	50.26	50.26	2375	518.85	109	96	45.455	32	30	59.949	33.3	191.6	6.38	246	26
	50.26	50.26	50.26	2375	518.92	107	95	33.684	31	29	46.011	33.6	191.8	6.44	247	27
	50.26	50.26	50.26	2375	518.99	104	94	38.705	31	28	27.28	33.6	191.8	6.44	248	28
90 %	48.44	49.33	48.44	2386	489.55	109	96	37.111	32	30	55.404	32.5	188.6	6.13		
	49.33	48.44	48.44	2385	486.6	109	96	45.446	32	30	55.63	32.5	188.3	6.12		
	47.57	45.93	47.57	2401	464.65	108	95	36.478	32	30	59.115	31.4	185.6	5.83		
	46.74	46.74	46.74	2402	464.7	108	94	42.338	32	29	57.705	31.6	185.6	5.86	249	29
80 %	42.29	41.63	42.29	2416	419.75	106	92	45.49	32	29	39.708	25.5	206.4	5.26		
	42.29	42.29	40.98	2416	417.8	106	91	33.729	32	29	64.95	25.4	206.5	5.25		
	41.63	40.98	41.63	2416	417.86	106	92	38.814	32	29	51.139	25.3	206.2	5.22		
	41.63	40.98	41.63	2416	417.91	105	92	39.85	32	29	27.127	25.4	205.3	5.21	250	30
Full	51.23	50.26	50.26	2401	522.68	70	84	45.715	31	29	56.317	33.4	192.6	6.43		
	51.23	52.24	51.23	2389	534.75	107	96	34.531	33	31	31.01	33.2	193.4	6.42	251	31
	51.23	51.23	51.23	2402	543.82	116	101	45.297	37	35	72.749	33.5	195.1	6.54	252	32
	52.24	51.23	52.24	2402	543.89	114	100	44.288	35	34	41.785	33.4	194.8	6.51	253	33
90 %	47.57	48.44	47.57	2429	487.22	114	97	38.832	36	35	47.85	30.6	199.7	6.11		
	49.33	47.57	49.33	2429	487.27	114	98	46.537	37	35	61.128	30.5	199.7	6.09		
	47.57	51.23	47.57	2429	487.32	113	98	39.345	37	35	67.943	30.6	199.6	6.11		
	48.44	47.57	48.44	2429	487.37	114	99	41.784	37	36	55.043	30.6	199.7	6.11	254	34
80 %	41.63	41.63	41.63	2416	436.42	111	95	42.83	36	35	46.807	25.4	209	5.31		
	42.29	41.63	40.98	2407	433.48	111	94	48.826	37	35	54.689	25.3	207.4	5.25		
	42.97	42.29	42.97	2407	433.53	110	94	47.998	36	35	43.857	25.3	207.5	5.25		
	42.97	42.29	42.97	2416	436.58	111	95	48.7	37	35	76.561	25.5	209.3	5.34	255	35

ตารางที่ ง-52 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 255-270

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	51.23	50.26	51.23	2429	532.44	111	98	48.25	34	34	54.699	33.1	194.6	6.44	255	35
	52.24	50.26	49.33	2428	529.51	113	97	48.668	34	33	40.62	32.6	198.9	6.48	256	36
	51.23	51.23	51.23	2422	529.58	113	97	48.614	34	32	57.666	32.3	198.4	6.41	257	37
	51.23	50.26	51.23	2421	529.64	113	97	40.784	34	33	51.374	32.5	198.5	6.45	258	38
90 %	47.57	47.57	47.57	2429	477.79	111	96	45.353	34	33	50.922	30	200.9	6.03		
	47.57	46.74	47.57	2429	478.84	111	95	47.785	34	32	70.89	30.1	200.7	6.04		
	46.74	46.74	46.74	2429	477.89	111	93	42.525	34	32	40.738	30.2	201	6.07		
	47.57	47.57	46.74	2429	478.94	110	94	38.343	34	32	38.365	30.2	201.5	6.09	259	39
80 %	42.29	41.63	42.29	2416	436.99	109	92	40.402	34	32	46.238	25.8	209.7	5.41		
	43.67	43.67	42.29	2417	434.04	109	91	42.085	34	32	43.158	25.8	209.8	5.41		
	42.97	42.97	43.67	2418	434.09	108	91	45.102	34	32	39.857	25.7	210.1	5.40		
	42.97	42.29	42.97	2403	428.15	107	91	36.018	33	32	36.826	25.4	207.9	5.28	260	40
Full	53.28	51.23	53.28	2388	542.33	110	97	47.309	33	32	59.787	33.1	199.9	6.62		
	52.24	51.23	51.23	2385	542.4	111	97	36.907	33	32	59.926	33.2	199.7	6.63	261	41
	52.24	52.24	52.24	2375	539.47	111	97	46.321	33	32	49.412	33.4	197.8	6.61	262	42
	52.24	53.28	52.24	2375	542.54	111	98	36.385	33	32	52.193	32.8	197.7	6.48	263	43
90 %	47.57	47.57	47.57	2415	491.46	111	95	39.93	33	31	57.831	30.8	197.7	6.09		
	50.26	48.44	48.44	2415	493.51	110	95	35.023	33	32	68.77	30.7	197.5	6.06		
	49.33	49.33	49.33	2416	491.56	110	94	38.999	33	32	56.441	30.7	197.5	6.06		
	49.33	48.44	49.33	2416	488.61	110	94	44.826	33	32	51.812	30.9	197.8	6.11	264	44
80 %	42.29	42.97	42.29	2419	437.66	109	93	43.725	33	31	52.045	25.7	210.4	5.41		
	42.97	43.67	42.97	2424	434.71	108	91	47.118	33	31	40.316	25.8	210.6	5.43		
	42.97	42.97	42.97	2419	434.77	108	91	35.53	33	31	64.252	25.8	210.4	5.43		
	43.67	44.4	43.67	2416	434.82	107	92	39.232	33	32	56.388	25.8	209.8	5.41	265	45
Full	51.23	52.24	53.28	2402	540.23	102	93	34.345	31	27	29.567	32.6	198.2	6.46		
	52.24	52.24	50.26	2403	537.3	106	98	39.071	31	29	51.537	32.6	199.7	6.51	266	46
	51.23	51.23	51.23	2403	541.37	108	97	34.667	32	29	61.26	33.1	198.9	6.58	267	47
	52.24	52.24	52.24	2403	540.43	98	93	44.043	31	27	41.544	33.4	199.6	6.67	268	48
90 %	51.23	47.57	51.23	2393	534.13	115	103	41.864	36	35	61.77	32.5	197.6	6.42		
	47.57	47.57	46.74	2454	489.18	113	100	49.217	36	35	54.424	29.8	200.5	5.97		
	47.57	47.57	47.57	2453	489.23	113	100	39.095	36	35	68.681	29.7	199.7	5.93		
	46.74	51.23	46.74	2448	488.28	113	100	43.032	36	35	70.188	29.6	199.6	5.91	269	49
80 %	41.63	41.63	42.29	2429	439.33	110	96	43.135	36	34	68.046	25.2	206.5	5.20		
	41.63	41.63	41.63	2430	441.39	110	97	41.55	37	35	61.558	25.1	207.3	5.20		
	42.29	41.63	41.63	2431	435.44	109	96	51.143	36	35	63.662	25.4	207.3	5.27		
	40.98	41.63	41.63	2430	436.49	109	95	41.887	36	35	57.466	25.3	206.8	5.23	270	50

ตารางที่ ง-53 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 270-285

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	51.23	51.23	50.26	2403	546.99	111	98	48.999	34	32	63.795	33.1	198.9	6.58	270	50
	52.24	51.23	51.23	2402	550.05	113	100	39.331	35	34	38.791	33	197.9	6.53	271	51
	51.23	51.23	51.23	2403	547.12	112	99	43.72	34	34	66.347	33.1	198.5	6.57	272	52
	52.24	51.23	50.26	2402	553.19	114	102	45.977	35	35	44.889	32.6	197.7	6.45	273	53
90 %	47.57	47.57	46.74	2451	491.7	113	100	46.656	36	36	78.607	29.7	199.8	5.93		
	47.57	47.57	46.74	2457	489.75	112	98	50.885	36	34	79.324	29.8	200.2	5.97		
	46.74	46.74	47.57	2446	489.8	113	99	48.334	36	35	58.851	29.9	199.7	5.97		
	47.57	46.74	47.57	2444	489.85	113	100	51.092	36	35	58.213	29.6	199.6	5.91	274	54
80 %	41.63	41.63	41.63	2430	438.9	109	95	42.437	36	35	48.287	25.2	206.6	5.21		
	41.63	41.63	41.63	2430	437.95	109	95	43.954	36	35	53.671	25.3	207.2	5.24		
	41.63	41.63	41.63	2430	436.01	109	95	44.37	36	35	55.64	25.3	206.9	5.23		
	42.29	41.63	42.29	2430	437.06	109	95	49.922	37	35	81.567	25.1	207.1	5.20	275	55
Full	52.24	52.24	52.24	2456	553.88	112	100	37.635	36	34	42.33	32.6	200.7	6.54		
	51.23	52.24	54.37	2448	553.95	114	102	48.537	36	35	60.655	32.8	200.6	6.58	276	56
	52.24	52.24	52.24	2450	554.02	115	103	38.7	35	35	70.916	32.9	200.6	6.60	277	57
	52.24	52.24	52.24	2430	545.09	115	101	46.276	35	34	75.333	32.7	198.2	6.48	278	58
90 %	48.44	48.44	49.33	2418	493.37	112	98	46.699	35	34	55.804	31.1	192.6	5.99		
	49.33	47.57	49.33	2421	495.42	111	98	41.242	35	32	71.042	31	192.6	5.97		
	48.44	48.44	48.44	2422	493.47	111	98	37.512	35	33	70.205	31	192.9	5.98		
	49.33	48.44	49.33	2424	493.52	111	98	37.947	34	32	58.317	31.1	192.8	6.00	279	59
80 %	42.29	42.97	43.67	2443	439.57	109	93	43.034	34	32	56.084	25.6	209.7	5.37		
	42.29	41.63	42.29	2416	427.62	107	93	48.133	34	33	54.847	25.3	205.2	5.19		
	42.97	42.97	42.97	2443	439.68	109	94	42.331	34	33	40.883	25.6	209.7	5.37		
	42.29	42.29	42.29	2417	430.73	108	93	45.073	34	32	59.251	25.3	205.4	5.20	280	60
Full	51.23	50.26	51.23	2397	530.77	100	95	36.547	33	32	32.319	33	197.2	6.51		
	51.23	51.23	51.23	2392	539.84	110	99	48.232	33	32	57.175	33.4	198.2	6.62	281	61
	51.23	51.23	51.23	2390	539.91	110	98	37.556	33	32	35.984	33.3	198.6	6.61	282	62
	51.23	50.26	51.23	2389	530.98	106	97	36.338	33	32	42.66	33.2	197.5	6.56	283	63
90 %	49.33	50.26	49.33	2389	509.04	110	99	47.71	33	32	45.822	32.6	196.6	6.41		
	48.44	46.74	48.44	2415	481.09	109	96	41.218	32	31	56.797	31	192.6	5.97		
	48.44	47.57	52.24	2417	486.14	109	96	37.385	33	32	36.332	31.1	193.4	6.01		
	48.44	47.57	48.44	2416	484.19	109	98	41.109	33	32	46.489	31.3	193.4	6.05	284	64
80 %	41.63	40.98	41.63	2425	431.24	107	93	42.748	32	31	60.434	25.4	207.2	5.26		
	42.29	41.63	41.63	2429	428.3	106	93	39.758	32	32	56.727	25.4	207.5	5.27		
	41.63	42.29	41.63	2430	428.35	106	93	40.597	32	32	28.905	25.3	207.6	5.25		
	42.29	41.63	42.29	2429	428.4	106	93	34.622	32	32	49.281	25.4	207.1	5.26	285	65

ตารางที่ ง-54 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 285-300

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	53.28	52.24	53.28	2416	555.53	108	96	35.631	31	29	49.549	33.8	202.5	6.84	285	65
	54.37	53.28	52.24	2403	555.6	111	100	43.484	32	31	57.805	33.4	200.7	6.70	286	66
	54.37	53.28	54.37	2426	555.67	105	98	44.725	30	29	45.551	33.9	202.6	6.87	287	67
	53.28	54.37	53.28	2403	557.74	112	100	41.528	33	32	42.539	33.3	200.6	6.68	288	68
90 %	48.44	45.93	48.44	2416	487.61	112	98	35.876	34	33	60.648	30.5	193.7	5.91		
	48.44	48.44	47.57	2416	491.66	111	98	48.991	35	34	51.63	30.7	193.3	5.93		
	48.44	46.74	48.44	2415	491.71	112	98	45.754	35	34	73.276	30.5	192.7	5.88		
	47.57	47.57	46.74	2414	491.76	111	98	49.111	35	34	50.03	30.6	192.8	5.90	289	69
80 %	42.29	41.63	42.29	2410	438.81	109	95	40.721	35	34	44.864	25.2	204.7	5.16		
	41.63	42.29	41.63	2410	437.86	109	96	43.365	35	34	51.418	25.1	204.7	5.14		
	42.29	42.29	44.4	2430	454.92	111	98	38.809	35	35	66.854	25.4	208	5.28		
	42.29	42.29	42.29	2408	437.97	109	95	43.121	35	34	73.622	25.3	204.7	5.18	290	70
Full	53.28	52.24	53.28	2404	559.43	113	104	39.211	35	34	50.575	33.3	200.7	6.68		
	51.23	51.23	51.23	2403	550.5	103	98	43.541	35	36	71.214	33.1	199.2	6.59	291	71
	53.28	52.24	53.28	2403	559.56	115	107	43.135	35	34	64.574	33.1	200.3	6.63	292	72
	52.24	52.24	52.24	2408	549.63	89	93	38.382	36	35	70.547	33.2	200	6.64	293	73
90 %	49.33	50.26	49.33	2389	523.28	113	102	42.5	36	34	54.036	32.4	197.6	6.40		
	49.33	50.26	49.33	2389	523.33	113	102	50.624	36	34	75.734	32.4	197.6	6.40		
	50.26	51.23	50.26	2389	510.38	108	96	42.902	34	32	40.185	32.3	196.8	6.36		
	49.33	50.26	49.33	2389	510.43	109	97	43.503	34	32	59.451	32.3	196.8	6.36	294	74
80 %	41.63	40.36	40.98	2389	423.48	106	90	42.25	32	30	43.554	25.3	204.3	5.17		
	42.29	42.29	40.98	2389	420.54	106	91	37.298	31	30	40.811	25.5	204.5	5.21		
	41.63	40.98	41.63	2389	423.59	107	90	40.855	32	30	51.2	25.3	204.1	5.16		
	42.29	42.29	40.98	2389	420.64	106	90	34.269	32	30	47.383	25.4	204.4	5.19	295	75
Full	53.28	52.24	53.28	2402	545.32	111	98	43.651	32	30	46.549	33.4	200.6	6.70		
	52.24	52.24	52.24	2389	545.39	111	98	42.255	32	30	57.168	33.4	198.8	6.64	296	76
	52.24	52.24	52.24	2389	545.46	111	98	40.3	32	30	63.82	33.6	199.5	6.70	297	77
	51.23	52.24	51.23	2403	545.53	111	98	35.643	32	30	32.832	33.5	200.6	6.72	298	78
90 %	49.33	50.26	49.33	2389	523.95	113	102	38.86	36	34	65.735	32.4	197.6	6.40		
	46.74	46.74	45.93	2403	468	108	93	42.585	32	30	28.34	30.3	194.7	5.90		
	45.93	46.74	45.93	2403	468.05	108	93	36.087	32	30	63.709	30.4	194.6	5.92		
	46.74	47.57	46.74	2403	468.1	107	92	47.344	32	30	51.44	30.3	194.6	5.90	299	79
80 %	40.98	40.98	40.98	2390	424.15	106	90	45.762	32	30	66.234	25.3	204.7	5.18		
	42.29	42.29	40.98	2389	421.21	106	91	38.742	31	30	60.187	25.5	204.5	5.21		
	41.63	45.93	41.63	2389	421.26	106	90	35.917	31	30	33.563	25.4	204.1	5.18		
	40.98	40.98	40.98	2389	424.31	106	89	44.751	32	30	50.456	25.4	204.7	5.20	300	80



ตารางที่ ง-55 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 300-315

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	53.28	54.37	53.28	2389	552.08	107	96	36.355	31	29	30.341	33.6	200.6	6.74	300	80
	53.28	53.28	52.24	2399	550.15	109	98	41.519	31	29	51.81	33.8	201.3	6.80	301	81
	53.28	53.28	53.28	2400	554.22	106	95	43.266	31	29	40.119	33.8	200.7	6.78	302	82
	53.28	52.24	52.24	2389	551.29	109	98	42.33	31	29	59.501	33.6	200.7	6.74	303	83
90 %	47.57	47.57	47.57	2406	471.52	106	92	32.584	31	29	36.455	30	196.5	5.90		
	48.44	47.57	47.57	2404	475.57	107	91	35.311	31	29	39.612	30.2	196.5	5.93		
	46.74	46.74	45.93	2416	466.62	107	94	37.138	31	30	60.16	30.1	197.5	5.94		
	46.74	45.93	46.74	2416	465.67	108	94	40.231	31	30	46.9	30.1	197.6	5.95	304	84
80 %	42.29	42.29	42.29	2430	432.72	107	91	40.719	31	29	40.207	25.7	210.5	5.41		
	40.98	40.98	40.36	2393	418.77	106	91	34.263	31	30	51.908	25.4	204.7	5.20		
	40.98	41.63	42.29	2389	415.83	106	91	36.828	31	30	23.476	25.3	204.7	5.18		
	40.98	41.63	40.98	2390	415.88	106	89	46.083	31	30	57.279	25.2	204.5	5.15	305	85
Full	53.28	54.37	53.28	2411	534.97	90	86	43.003	29	27	55.569	33.1	198.4	6.57		
	53.28	54.37	53.28	2401	540.04	108	97	37.029	31	29	42.059	33.1	197.7	6.54	306	86
	54.37	53.28	54.37	2402	538.11	108	96	44.09	31	28	31.227	32.9	197.8	6.51	307	87
	53.28	53.28	53.28	2403	535.18	108	96	45.177	31	29	30.398	33	198.4	6.55	308	88
90 %	50.26	49.33	51.23	2389	504.19	104	94	40.707	30	28	46.55	32.3	196.7	6.35		
	47.57	45.93	46.74	2389	478.24	106	94	40.858	31	29	55.982	31	190.7	5.91		
	46.74	46.74	46.74	2389	474.29	107	94	39.37	30	27	26.585	31	191.7	5.94		
	47.57	47.57	46.74	2389	477.34	107	94	41.4	30	29	37.642	31	192.1	5.96	309	89
80 %	42.29	41.63	42.29	2409	428.39	105	91	42.011	29	26	53.602	25.6	207.8	5.32		
	42.97	42.97	40.98	2412	431.45	104	90	43.627	30	24	25.984	25.8	207.7	5.36		
	41.63	41.63	41.63	2406	430.5	104	91	33.231	30	24	47.7	25.6	207.3	5.31		
	42.29	41.63	41.63	2403	428.55	104	90	34.735	29	24	21.843	25.7	207	5.32	310	90
Full	53.28	54.37	54.37	2403	538.87	100	93	38.654	30	27	40.334	33	197.9	6.53		
	51.23	51.23	51.23	2403	538.94	107	95	37.052	31	27	44.961	33	197.7	6.52	311	91
	53.28	53.28	53.28	2403	539.01	108	96	37.29	31	29	52.258	33.2	198.3	6.58	312	92
	52.24	53.28	52.24	2402	539.08	108	95	35.336	31	29	46.377	32.9	198	6.51	313	93
90 %	50.26	50.26	50.26	2403	497.86	108	95	45.469	31	29	25.274	32.5	198.2	6.44		
	48.44	48.44	48.44	2418	499.91	106	91	34.813	30	29	37.117	30.5	198.7	6.06		
	48.44	48.44	48.44	2417	497.96	107	94	34.316	30	29	51.846	30.4	198	6.02		
	46.74	46.74	47.57	2416	498.01	109	95	42.984	30	29	40.639	30.5	197.7	6.03	314	94
80 %	41.63	41.63	41.63	2414	428.06	108	92	43.667	30	28	28.683	25.7	208.6	5.36		
	42.29	42.29	41.63	2414	428.12	107	92	38.737	30	29	43.588	25.7	208.6	5.36		
	42.29	41.63	42.29	2413	424.17	106	91	40.273	31	29	26.433	25.7	208.2	5.35		
	42.97	45.15	42.97	2392	429.22	105	91	39.051	30	29	20.188	30.4	194.6	5.92	315	95

ตารางที่ ง-56 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 315-330

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	54.37	54.37	53.28	2403	536.63	108	94	34.304	30	28	42.674	33	199.7	6.59	315	95
	52.24	54.37	54.37	2403	536.7	109	95	42.968	30	28	47.029	33.3	199.7	6.65	316	96
	52.24	53.28	53.28	2403	536.76	108	95	43.143	30	28	22.46	33	199.7	6.59	317	97
	52.24	51.23	50.26	2403	539.83	109	96	42.207	30	28	31.558	33.2	199.7	6.63	318	98
90 %	46.74	46.74	46.74	2403	528.43	108	93	44.779	30	28	54.625	30.8	195.7	6.03		
	47.57	46.74	46.74	2403	528.48	108	93	34.758	30	28	20.923	30.8	195.1	6.01		
	47.57	46.74	47.57	2403	530.53	108	93	44.539	30	28	36.665	30.7	195.9	6.01		
	48.44	48.44	45.93	2403	528.58	107	93	44.755	30	28	57.362	30.9	196	6.06	319	99
80 %	42.29	40.98	42.29	2403	465.63	106	91	42.296	30	29	53.775	25.5	207.6	5.29		
	42.29	41.63	42.29	2404	462.68	106	92	36.825	30	29	42.053	25.6	207.4	5.31		
	41.63	41.63	41.63	2403	462.74	106	92	37.914	30	28	47.713	25.7	207.6	5.34		
	42.29	41.63	40.98	2403	462.79	106	92	43.748	30	29	29.845	25.6	207.2	5.30	320	100
Full	53.28	53.28	53.28	2389	537.52	105	94	39.552	29	28	29.08	33.5	200.1	6.70		
	54.37	54.37	53.28	2389	537.59	109	96	32.314	29	28	17.95	33.6	199.8	6.71	321	1
	52.24	52.24	52.24	2389	537.66	109	95	32.766	29	28	17.144	33.1	199.7	6.61	322	2
	52.24	51.23	51.23	2388	540.73	107	94	34.82	29	28	47.535	33.1	199.7	6.61	323	3
90 %	49.33	47.57	49.33	2391	527.1	107	93	41.682	29	28	48.979	31.3	193	6.04		
	49.33	47.57	48.44	2389	527.15	107	94	34.131	30	28	57.003	31.3	192.7	6.03		
	47.57	46.74	48.44	2389	514.2	107	95	42.767	30	28	51.582	31.1	192.6	5.99		
	48.44	49.33	48.44	2389	514.25	107	95	36.547	30	28	32.368	31.3	192.7	6.03	324	4
80 %	42.29	41.63	42.29	2408	427.3	105	91	37.046	29	27	53.772	25.6	208.6	5.34		
	42.29	42.29	42.29	2413	424.36	105	92	33.075	29	27	27.686	25.8	208.9	5.39		
	42.29	42.29	42.29	2407	427.41	105	92	35.767	29	27	26.161	25.8	208.6	5.38		
	42.29	42.29	41.63	2412	424.46	105	91	38.867	29	27	31.549	25.9	208.9	5.41	325	5
Full	54.37	54.37	53.28	2389	538.42	108	96	36.421	28	27	45.222	33.3	199.3	6.64		
	53.28	53.28	53.28	2389	540.49	109	95	34.751	29	28	46.545	33.4	199.6	6.67	326	6
	52.24	52.24	52.24	2389	541.55	108	96	35.018	29	28	26.192	33.4	199.7	6.67	327	7
	52.24	52.24	52.24	2389	541.62	107	95	39.466	31	29	49.81	33.2	199.7	6.63	328	8
90 %	47.57	46.74	47.57	2402	477.77	105	92	45.193	31	29	53.747	30.8	194.8	6.00		
	47.57	47.57	47.57	2402	477.82	106	93	40.77	31	29	34.614	31	194.7	6.04		
	47.57	46.74	47.57	2402	475.87	105	92	44.297	31	28	54.261	31	194.8	6.04		
	47.57	46.74	47.57	2403	477.92	105	93	42.144	31	29	42.453	30.9	194.9	6.02	329	9
80 %	42.97	43.67	42.97	2416	433.98	105	93	41.897	32	30	62.14	25.9	209.7	5.43		
	42.97	42.29	42.97	2416	437.03	105	91	35.087	31	30	46.65	25.8	209.8	5.41		
	42.97	42.97	42.97	2416	431.08	104	92	45.584	31	29	24.651	25.8	209.6	5.41		
	42.29	42.29	41.63	2402	427.13	104	92	41.906	31	30	38.201	25.7	207.2	5.33	330	10

ตารางที่ 57 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 330-345

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	54.37	54.37	53.28	2416	542.17	101	93	42.041	31	30	25.884	33.2	200.7	6.66	330	10
	53.28	53.28	53.28	2403	543.24	105	96	37.331	32	30	44.839	32.9	199.6	6.57	331	11
	51.23	50.26	51.23	2405	542.31	105	95	44.487	32	30	39.295	33.2	200.1	6.64	332	12
	51.23	52.24	51.23	2403	543.38	106	95	35.572	32	30	53.254	33.1	199.7	6.61	333	13
90 %	47.57	46.74	47.57	2414	266.34	103	91	37.82	33	32	65.715	30.6	197.7	6.05		
	47.57	47.57	47.57	2403	266.39	107	95	39.057	33	32	32.613	30.4	196.7	5.98		
	47.57	47.57	47.57	2411	481.44	108	94	35.725	33	31	64.934	30.6	197.3	6.04		
	47.57	46.74	47.57	2403	481.49	108	96	48.35	34	31	43.349	30.6	196	6.00	334	14
80 %	42.29	41.63	42.29	2403	346.54	107	92	46.668	34	32	42.902	25.7	207.3	5.33		
	42.29	41.63	42.29	2403	317.59	106	93	48.995	34	31	47.376	25.6	207.5	5.31		
	42.97	42.29	42.97	2403	430.65	107	92	44.3	33	31	58.406	25.4	207.3	5.27		
	42.97	42.29	41.63	2403	430.7	107	93	47.323	33	31	39.614	25.5	207.5	5.29	335	15
Full	55.5	54.37	55.5	2416	551.07	111	97	46.57	32	31	33.488	32.6	198.8	6.48		
	53.28	53.28	53.28	2416	551.14	111	98	46.284	32	31	30.291	32.7	199.6	6.53	336	16
	53.28	53.28	53.28	2416	555.21	111	97	34.192	32	31	64.094	32.5	199.2	6.47	337	17
	52.24	51.23	51.23	2417	553.27	111	96	35.59	32	31	58.032	32.5	199.4	6.48	338	18
90 %	48.44	48.44	48.44	2416	498.01	109	96	39.812	32	31	64.477	30.7	198.9	6.11		
	48.44	47.57	48.44	2416	498.06	109	93	37.13	32	31	30.102	30.8	198.6	6.12		
	47.57	49.33	46.74	2416	498.11	109	95	41.348	32	32	53.958	30.8	198.6	6.12		
	48.44	47.57	48.44	2416	498.16	109	95	41.057	32	31	31.03	30.8	198.5	6.11	339	19
80 %	42.29	42.29	42.97	2403	444.21	107	92	38.594	31	30	60.731	25.7	208.9	5.37		
	42.29	41.63	41.63	2389	438.27	106	91	34.362	31	30	45.965	25.6	206.6	5.29		
	42.29	42.29	42.29	2403	444.32	108	93	34.427	32	30	53.337	25.7	209.2	5.38		
	42.29	40.98	42.29	2389	438.37	105	91	43.943	31	30	26.819	25.6	206.4	5.28	340	20
Full	53.28	53.28	53.28	2416	552.96	106	95	42.537	31	30	32.627	33.1	200.2	6.63		
	54.37	54.37	54.37	2403	556.03	111	96	40.247	31	29	24.317	32.9	198.8	6.54	341	21
	52.24	52.24	52.24	2402	554.1	111	96	43.748	31	29	42.306	32.9	198.9	6.54	342	22
	53.28	53.28	53.28	2403	554.17	111	97	33.251	31	29	39.102	33.2	199.7	6.63	343	23
90 %	48.44	48.44	48.44	2406	504.68	109	96	43.146	30	30	58.768	30.9	197.5	6.10		
	47.57	48.44	47.57	2402	501.73	109	95	40.74	30	29	38.742	31.1	197	6.13		
	48.44	48.44	48.44	2403	501.78	109	96	34.589	31	29	33.398	31.2	196.9	6.14		
	47.57	49.33	49.33	2403	501.83	109	95	35.003	30	29	33.878	31	197	6.11	344	24
80 %	41.63	42.29	41.63	2390	445.89	107	92	41.957	31	30	48.649	25.5	207	5.28		
	41.63	41.63	41.63	2392	441.94	106	91	43.649	30	29	25.851	25.6	207.5	5.31		
	42.29	41.63	42.29	2393	444.99	107	93	38.346	31	30	40.637	25.8	207.6	5.36		
	42.29	42.29	42.29	2389	442.04	105	91	37.432	30	29	38.603	25.6	206.6	5.29	345	25

ตารางที่ ง-58 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 345-360

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	55.5	54.37	55.5	2388	552	115	106	45.952	35	34	66.15	32.9	201.2	6.62	345	25
	55.5	53.28	55.5	2378	549	117	104	43.306	35	34	41.815	32.8	200.8	6.59	346	26
	54.37	53.28	54.37	2388	550	119	105	40.336	35	34	60.707	32.7	201.7	6.60	347	27
	56.68	56.68	56.68	2389	552	118	106	39.312	35	32	44.235	32.9	202.7	6.67	348	28
90 %	50.26	50.26	50.26	2409	500	117	104	44.308	35	33	43.702	31.5	197.9	6.23		
	49.33	50.26	50.26	2415	500	115	103	39.178	35	32	43.034	31.5	198.4	6.25		
	49.33	50.26	49.33	2414	500	115	101	40.783	35	32	40.445	31.5	198.1	6.24		
	50.26	49.33	50.26	2408	500	115	102	47.287	34	32	57.611	31.5	197.8	6.23	349	29
80 %	42.97	42.97	42.97	2403	430	112	96	40.792	34	32	60.916	25.6	212.9	5.45		
	42.97	42.97	42.29	2412	428	110	96	41.366	34	32	48.153	25.7	212.8	5.47		
	42.97	42.97	42.97	2408	428	111	96	48.294	34	32	46.648	25.5	213.1	5.43		
	42.97	42.97	42.29	2416	425	110	96	39.706	34	32	54.71	25.7	213.7	5.49	350	30
Full	53.28	53.28	53.28	2403	544	113	101	43.656	33	31	43.629	33	204.6	6.75		
	52.24	53.28	53.28	2402	545	113	102	36.545	33	31	49.681	33.1	204.5	6.77	351	31
	53.28	54.37	53.28	2400	549	117	104	39.431	33	31	62.446	33.1	204.6	6.77	352	32
	54.37	52.24	54.37	2389	540	116	103	37.021	33	31	61.038	33	203.1	6.70	353	33
90 %	49.33	49.33	49.33	2416	488	113	99	36.696	33	31	48.622	31.2	199.9	6.24		
	48.44	49.33	48.44	2418	488	113	100	43.21	33	31	44.559	31.2	200.7	6.26		
	49.33	48.44	49.33	2418	490	113	100	40.942	33	31	56.581	31.2	200.3	6.25		
	49.33	49.33	49.33	2416	488	114	100	40.611	33	31	58.385	30.9	200.1	6.18	354	34
80 %	42.29	43.67	42.29	2403	425	111	95	34.581	33	31	47.337	25.6	213.3	5.46		
	42.29	42.97	42.29	2404	422	110	93	40.435	32	30	27.199	25.6	212.9	5.45		
	42.29	42.29	42.97	2403	422	111	95	45.067	33	31	47.02	25.5	212.9	5.43		
	43.67	43.67	42.97	2403	422	110	93	34.123	32	30	39.689	25.6	212.7	5.45	355	35
Full	54.37	53.28	54.37	2389	536	115	101	42.683	32	30	50.349	32.9	201.6	6.63		
	53.28	52.24	53.28	2389	536	114	101	45.435	32	30	48.635	32.9	202.5	6.66	356	36
	52.24	52.24	52.24	2398	534	115	101	38.441	32	29	52.437	32.7	202.7	6.63	357	37
	53.28	53.28	53.28	2393	537	114	100	37.765	32	30	40.84	33	202.2	6.67	358	38
90 %	47.57	47.57	46.74	2403	473	112	97	42.211	32	30	46.768	30.7	197.7	6.07		
	46.74	47.57	46.74	2402	472	111	97	44.867	32	29	49.421	30.7	197.7	6.07		
	46.74	46.74	46.74	2403	472	111	96	47.31	32	29	42.057	30.8	197.7	6.09		
	47.57	46.74	47.57	2403	470	111	95	37.045	32	29	43.984	30.8	198.3	6.11	359	39
80 %	42.29	42.29	42.97	2416	425	109	95	39.333	32	29	34.675	26	215.6	5.61		
	42.97	43.67	42.97	2416	419	109	93	47.146	32	30	60.726	25.7	214.4	5.51		
	42.97	42.97	43.67	2416	420	109	94	37.534	32	30	41.677	25.9	214.6	5.56		
	42.29	42.97	42.29	2416	419	109	93	44.07	32	30	58.582	25.5	214	5.46	360	40

ตารางที่ 59 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 360-375

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	54.37	54.37	54.37	2389	549	102	100	34.07	32	31	46.561	33.8	202.7	6.85	360	40
	54.37	54.37	54.37	2376	555	119	107	50.344	35	34	73.921	33.6	201.7	6.78	361	41
	52.24	52.24	52.24	2376	555	119	107	46.009	35	34	59.413	33.2	201.8	6.70	362	42
	54.37	54.37	54.37	2370	564	121	112	47.316	37	36	43.919	32.9	200.7	6.60	363	43
90 %	48.44	47.57	48.44	2403	494	120	108	39.754	37	35	56.59	30.5	206.1	6.29		
	48.44	48.44	48.44	2403	493	119	107	49.06	37	35	82.325	30.7	205.9	6.32		
	47.57	47.57	47.57	2403	491	119	107	45.713	37	35	62.481	30.7	205.8	6.32		
	47.57	49.33	48.44	2403	497	119	109	46.254	37	36	80.833	30.5	205.7	6.27	364	44
80 %	41.63	41.63	41.63	2403	428	117	102	40.416	38	36	67.373	25	210.7	5.27		
	42.29	42.29	42.29	2403	422	115	102	43.866	37	36	82.142	25.2	211.4	5.33		
	41.63	40.98	40.98	2413	422	116	103	42.562	38	35	52.432	25.1	211.5	5.31		
	42.29	42.29	42.29	2403	425	114	101	42.38	37	36	80.073	25.4	211.7	5.38	365	45
Full	56.68	54.37	54.37	2389	561	121	109	46.744	37	35	63.245	33	203.2	6.71		
	53.28	53.28	54.37	2389	561	123	110	38.761	37	35	82.818	33.1	202.9	6.72	366	46
	54.37	54.37	54.37	2390	564	121	108	38.65	36	34	51.662	33.4	204.7	6.84	367	47
	54.37	54.37	54.37	2389	568	120	107	46.071	35	33	38.077	33.1	203.1	6.72	368	48
90 %	48.44	49.33	48.44	2410	497	117	103	50.342	35	33	39.758	31.3	199.4	6.24		
	48.44	48.44	48.44	2410	497	118	104	43.704	35	33	64.911	31.3	199.2	6.23		
	49.33	49.33	49.33	2413	496	117	102	47.035	35	33	53.485	31.3	199.3	6.24		
	48.44	48.44	50.26	2414	497	117	103	38.552	35	33	44.457	31.2	199.3	6.22	369	49
80 %	41.63	41.63	40.98	2389	419	107	92	38.752	33	32	44.274	25.3	209.6	5.30		
	41.63	41.63	41.63	2389	419	105	92	35.908	33	32	44.838	25.5	209.6	5.34		
	40.98	41.63	41.63	2389	416	109	91	47.651	33	32	51.924	25.3	209	5.29		
	42.29	41.63	41.63	2389	416	111	95	38.387	33	32	49.721	25.4	208.9	5.31	370	50
Full	54.37	54.37	55.5	2403	555	111	103	38.034	33	31	52.15	33.5	205.7	6.89		
	54.37	55.5	55.5	2389	564	118	107	43.891	33	31	54.632	33.5	204.6	6.85	371	51
	55.5	54.37	55.5	2389	567	119	107	40.086	33	31	65.138	33.2	203.2	6.75	372	52
	54.37	55.5	54.37	2390	558	117	104	34.935	33	31	38.646	32.9	204.2	6.72	373	53
90 %	48.44	47.57	48.44	2417	476	112	98	43.889	33	31	32.891	30.6	201.7	6.17		
	48.44	47.57	47.57	2416	479	113	98	45.899	33	31	47.296	30.5	201.6	6.15		
	47.57	46.74	46.74	2416	479	113	98	43.488	33	31	51.519	30.6	201.6	6.17		
	48.44	47.57	48.44	2416	479	113	98	46.147	33	31	36.837	30.5	201.7	6.15	374	54
80 %	41.63	41.63	41.63	2389	419	110	96	45.294	32	31	29.664	25.4	209.6	5.32		
	41.63	41.63	40.98	2389	418	110	94	38.677	32	31	38.015	25.5	209.6	5.34		
	40.98	41.63	40.98	2389	413	109	95	46.611	32	30	59.154	25.4	209.7	5.33		
	42.29	40.98	40.98	2389	414	109	94	44.002	32	31	33.12	25.4	209.6	5.32	375	55

ตารางที่ ง-60 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 375-390

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	53.28	54.37	52.24	2389	549	110	98	31.998	30	29	56.858	33.4	204.5	6.83	375	55
	54.37	54.37	54.37	2389	549	112	100	34.647	30	29	54.27	33.3	204	6.79	376	56
	54.37	54.37	54.37	2376	558	117	103	45.108	32	32	46.35	33.2	202.2	6.71	377	57
	55.5	55.5	52.24	2366	561	119	103	45.965	35	32	54.073	32.7	200.7	6.56	378	58
90 %	49.33	47.57	49.33	2402	503	119	102	39.303	37	32	70.882	31.2	197.5	6.16		
	49.33	48.44	49.33	2400	503	121	104	44.649	37	33	47.945	31.2	197.3	6.16		
	48.44	48.44	49.33	2397	503	121	104	40.474	35	32	42.707	31.3	197.4	6.18		
	48.44	51.23	48.44	2398	506	119	104	41.535	36	34	54.944	31.4	197	6.19	379	59
80 %	42.97	42.97	42.97	2403	443	116	97	42.388	34	34	64.479	25.5	213.6	5.45		
	42.29	42.97	42.29	2403	437	113	96	42.029	34	34	69.009	25.7	213.3	5.48		
	42.97	42.29	42.97	2403	434	113	96	48.062	34	33	47.245	25.6	212.8	5.45		
	42.29	42.29	42.29	2403	434	113	96	45.101	34	32	57.289	25.4	213	5.41	380	60
Full	55.5	53.28	54.37	2389	561	120	109	45.272	35	34	38.895	33.1	203.2	6.73		
	52.24	53.28	52.24	2389	567	123	113	42.831	37	35	48.988	33.1	203.7	6.74	381	61
	53.28	53.28	52.24	2389	565	123	113	46.573	37	35	66.14	32.9	202.9	6.68	382	62
	54.37	53.28	55.5	2376	569	123	111	43.474	38	36	74.702	32.7	201.4	6.59	383	63
90 %	49.33	48.44	49.33	2416	503	121	109	49.169	38	36	47.102	31	200.6	6.22		
	49.33	49.33	49.33	2416	503	121	109	51.676	38	36	48.218	31.1	200.7	6.24		
	50.26	49.33	49.33	2416	506	121	109	49.734	39	36	87.822	30.9	200.6	6.20		
	50.26	48.44	50.26	2416	506	121	109	51.711	39	36	65.254	30.8	200.4	6.17	384	64
80 %	42.97	42.29	42.97	2403	443	116	99	52.137	39	37	63.3	25.3	213.6	5.40		
	42.29	49.33	42.29	2403	440	115	100	47.96	38	36	58.549	25.5	213.4	5.44		
	42.97	42.29	42.97	2403	443	116	99	49.587	38	36	82.205	25.5	213.3	5.44		
	41.63	42.29	42.29	2403	435	115	99	51.538	38	35	71.277	25.4	213.4	5.42	385	65
Full	54.37	56.68	54.37	2390	555	118	108	48.195	36	34	73.708	33	203.2	6.71		
	53.28	54.37	53.28	2391	556	120	108	46.039	36	32	75.4	32.8	204	6.69	386	66
	54.37	55.5	54.37	2378	555	121	108	47.624	36	34	51.286	32.7	200.9	6.57	387	67
	55.5	54.37	55.5	2389	567	120	106	47.613	36	33	72.344	33.1	203.2	6.73	388	68
90 %	49.33	50.26	49.33	2403	499	117	104	46.272	35	32	38.342	30.9	197.7	6.11		
	50.26	50.26	48.44	2403	500	117	103	37.874	35	32	38.905	31.1	197.7	6.15		
	49.33	50.26	49.33	2403	499	117	104	44.18	35	32	57.256	31	197.7	6.13		
	50.26	50.26	49.33	2403	500	117	103	46.733	35	32	46.747	31	197.6	6.13	389	69
80 %	42.97	42.97	43.67	2416	437	113	93	38.827	35	32	57.191	25.6	215.7	5.52		
	43.67	43.67	43.67	2416	445	116	95	46.702	35	32	52.213	25.7	215.7	5.54		
	43.67	43.67	43.67	2417	437	112	93	43.8	35	32	56.893	25.7	215.7	5.54		
	43.67	42.97	42.97	2416	434	111	94	40.165	35	32	60.997	25.7	215.5	5.54	390	70



ตารางที่ ง-61 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 390-405

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	53.28	52.24	52.24	2389	549	114	106	45.461	34	31	63.015	33	197.5	6.52	390	70
	53.28	52.24	53.28	2376	552	120	109	37.514	35	34	65.487	32.9	196.7	6.47	391	71
	52.24	53.28	52.24	2376	552	120	107	45.118	36	34	77.885	32.8	195.7	6.42	392	72
	53.28	53.28	53.28	2377	552	121	109	52.205	37	34	51.368	32.9	196.8	6.47	393	73
90 %	47.57	48.44	47.57	2406	499	120	109	51.708	37	35	71.625	30.7	196.7	6.04		
	48.44	48.44	48.44	2411	500	119	108	48.974	38	35	55.205	30.9	196.7	6.08		
	50.26	49.33	50.26	2403	503	119	107	48.839	38	35	67.352	30.8	196.4	6.05		
	49.33	49.33	49.33	2403	503	119	107	49.745	38	35	60.725	30.7	196.1	6.02	394	74
80 %	42.97	43.67	42.97	2403	443	117	100	44.78	37	35	49.527	25.6	211	5.40		
	41.63	42.29	41.63	2403	432	114	96	40.231	37	34	56.604	25.5	210.4	5.37		
	41.63	41.63	41.63	2403	425	113	97	49.838	37	34	77.457	25.5	210.4	5.37		
	41.63	41.63	41.63	2403	425	111	95	47.975	36	33	59.208	25.5	210.3	5.36	395	75
Full	54.37	53.28	53.28	2389	543	114	104	37.313	34	30	71.483	32.7	198.3	6.48		
	52.24	54.37	52.24	2376	549	118	105	39.851	35	31	64.87	32.9	196.6	6.47	396	76
	53.28	55.5	54.37	2389	549	119	106	47.806	35	31	61.899	32.9	198	6.51	397	77
	54.37	53.28	54.37	2376	549	119	107	49.118	35	32	46.098	33.1	197.5	6.54	398	78
90 %	47.57	48.44	47.57	2389	482	115	103	40.058	35	31	58.596	31.1	193.8	6.03		
	49.33	47.57	48.44	2389	488	116	104	35.62	34	31	50.716	31	193.6	6.00		
	48.44	49.33	48.44	2389	482	116	104	49.019	34	31	37.199	31.1	193.7	6.02		
	47.57	49.33	47.57	2389	479	116	104	43.436	34	31	44.618	31	193.7	6.00	399	79
80 %	42.97	42.97	42.29	2403	425	113	95	35.991	34	31	64.265	25.8	212	5.47		
	42.97	42.29	42.97	2404	422	111	95	41.655	34	31	58.757	25.7	211.9	5.45		
	42.29	42.29	42.29	2404	428	115	97	41.034	34	31	72.991	25.9	212.7	5.51		
	42.97	42.29	41.63	2409	419	111	94	39.34	34	31	48.912	25.9	212.5	5.50	400	80
Full	53.28	53.28	53.28	2402	540	115	104	46.437	33	31	37.71	33.4	200.9	6.71		
	54.37	54.37	54.37	2376	543	118	104	41.084	33	30	46.903	33	196.9	6.50	401	81
	54.37	54.37	53.28	2376	543	119	104	42.508	32	30	34.887	33	197.4	6.51	402	82
	54.37	54.37	55.5	2389	543	119	105	41.516	33	29	65.478	33.2	198.8	6.60	403	83
90 %	51.23	49.33	51.23	2403	488	115	102	40.474	33	30	49.361	31.3	196.8	6.16		
	50.26	50.26	51.23	2402	496	116	104	43.024	33	30	39.762	31.3	195.8	6.13		
	49.33	48.44	49.33	2403	484	117	104	48.07	33	29	32.294	31.5	197	6.21		
	47.57	49.33	47.57	2403	481	117	104	39.062	33	29	47.013	31.3	196.7	6.16	404	84
80 %	43.67	45.15	43.67	2419	428	113	94	40.012	33	29	45.683	26.1	215.1	5.61		
	42.97	44.4	42.97	2430	425	111	93	37.304	33	29	42.427	26.2	215.2	5.64		
	43.67	42.97	43.67	2425	425	111	93	36.415	32	29	50.34	26.3	215.2	5.66		
	45.15	44.4	45.15	2429	425	111	93	43.666	32	29	45.14	25.8	215.2	5.55	405	85

ตารางที่ ง-62 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 405-420

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	52.24	53.28	52.24	2403	531	113	100	43.14	30	27	51.251	33.8	201.3	6.80	405	85
	53.28	53.28	53.28	2392	531	115	101	42.247	31	27	43.89	33.3	200.6	6.68	406	86
	53.28	54.37	53.28	2389	534	117	102	37.436	32	30	43.641	33.1	198.6	6.57	407	87
	52.24	52.24	52.24	2389	531	117	102	41.856	33	30	38.695	32.9	199.6	6.57	408	88
90 %	48.44	48.44	48.44	2416	476	96	92	42.707	33	34	49.161	30.7	197.5	6.06		
	47.57	46.74	47.57	2403	475	112	99	39.017	33	32	33.102	30.7	196.1	6.02		
	45.15	48.44	45.15	2403	476	113	98	36.309	33	32	58.066	30.6	196	6.00		
	47.57	48.44	47.57	2403	476	116	102	37.888	34	33	60.791	30.7	195.8	6.01	409	89
80 %	42.97	42.97	42.97	2403	425	115	100	49.89	35	34	42.832	25.5	211.1	5.38		
	43.67	42.97	43.67	2403	424	115	98	45.718	35	33	64.147	25.5	211	5.38		
	42.97	43.67	42.97	2403	425	115	99	47.813	35	33	56.283	25.5	211.2	5.39		
	42.97	43.67	42.97	2403	424	115	99	41.899	35	34	47.586	25.6	211.1	5.40	410	90
Full	53.28	53.28	53.28	2389	543	119	109	44.458	35	33	46.197	33.1	199.7	6.61		
	54.37	53.28	54.37	2389	549	121	109	50.964	36	33	47.266	32.9	199.7	6.57	411	91
	54.37	54.37	55.5	2389	555	123	111	43.197	37	34	70.325	33.2	200.3	6.65	412	92
	54.37	55.5	54.37	2389	555	123	110	42.468	39	35	88.897	33.4	200.7	6.70	413	93
90 %	49.33	49.33	48.44	2414	494	120	107	45.385	38	36	73.041	30.9	197.4	6.10		
	50.26	50.26	50.26	2409	490	119	106	49.314	38	35	68.633	31.2	196.7	6.14		
	49.33	49.33	49.33	2416	494	119	107	45.204	38	35	57.393	31.2	197.1	6.15		
	49.33	49.33	49.33	2414	491	119	106	40.114	38	35	81.388	31.2	196.9	6.14	414	94
80 %	44.4	44.4	43.67	2416	434	116	101	43.011	37	35	71.12	25.9	214.2	5.55		
	44.4	45.15	44.4	2417	431	115	100	47.5	35	34	60.364	25.8	214.2	5.53		
	44.4	43.67	43.67	2417	434	115	100	48.165	36	35	59.918	25.9	214.4	5.55		
	45.15	44.4	45.15	2416	432	114	99	44.544	35	34	61.785	25.8	214.1	5.52	415	95
Full	53.28	53.28	53.28	2389	531	116	106	47.332	35	32	52.029	33.2	199.8	6.63		
	53.28	53.28	53.28	2388	528	118	105	42.268	34	31	45.912	33.4	200	6.68	416	96
	52.24	52.24	51.23	2388	531	119	106	39.713	34	31	71.271	33.3	200.1	6.66	417	97
	53.28	52.24	53.28	2378	531	118	106	46.588	34	30	59.526	33.2	199.7	6.63	418	98
90 %	49.33	48.44	49.33	2389	476	113	105	41.396	34	31	43.988	31.4	195.3	6.13		
	49.33	49.33	50.26	2389	476	115	104	38.325	34	30	67.112	31.5	194.8	6.14		
	48.44	47.57	48.44	2389	476	115	104	42.014	34	30	59.812	31.4	195	6.12		
	49.33	48.44	48.44	2389	476	116	104	40.493	34	31	52.511	31.3	195.5	6.12	419	99
80 %	44.4	45.15	44.4	2403	425	113	95	35.24	33	31	51.716	26.1	215.1	5.61		
	44.4	44.4	44.4	2403	422	111	96	36.894	33	30	46.354	26	213.3	5.55		
	43.67	44.4	43.67	2403	421	111	95	42.589	33	30	36.417	25.8	213.5	5.51		
	44.4	43.67	44.4	2403	419	111	95	44.954	33	30	67.867	25.9	213.7	5.53	420	100

ตารางที่ ง-63 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 420-435

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	53.28	54.37	54.37	2389	531	119	109	39.721	31	28	37.202	33.8	201.6	6.81	420	0
	53.28	53.28	53.28	2389	534	119	104	45.208	31	28	27.928	33.6	201.5	6.77	421	1
	52.24	54.37	52.24	2387	531	119	106	35.761	31	28	50.196	33.7	200.6	6.76	422	2
	53.28	55.5	53.28	2389	531	119	106	36.445	32	29	49.266	33.7	202.4	6.82	423	3
90 %	51.23	49.33	49.33	2403	478	115	100	36.033	32	29	41.261	31.2	199	6.21		
	48.44	48.44	49.33	2403	478	115	101	40.858	33	29	34.59	31.4	198.7	6.24		
	50.26	42.97	50.26	2403	479	115	100	36.106	33	30	59.406	31.5	199	6.27		
	48.44	49.33	49.33	2389	472	114	99	46.214	33	31	41.398	31	196.5	6.09	424	4
80 %	42.97	43.67	42.97	2400	424	112	95	48.082	35	31	42.468	25.8	213.3	5.50		
	43.67	43.67	43.67	2396	423	113	96	47.499	35	30	40.973	25.9	213	5.52		
	42.97	43.67	42.97	2394	424	113	96	50.119	36	31	49.751	25.6	212.4	5.44		
	44.4	45.15	44.4	2399	425	113	96	38.13	36	31	45.138	25.6	213	5.45	425	5
Full	52.24	53.28	52.24	2389	528	118	108	40.517	33	31	43.907	33.3	200.5	6.68		
	53.28	53.28	53.28	2389	528	119	107	34.483	33	31	61.384	33.4	200.4	6.69	426	6
	53.28	52.24	53.28	2377	528	120	111	36.642	35	32	73.392	33	199.3	6.58	427	7
	53.28	53.28	52.24	2376	531	121	111	40.885	35	34	71.838	33.1	198.3	6.56	428	8
90 %	49.33	48.44	49.33	2403	488	117	105	46.834	37	34	63.708	31.3	196.3	6.14		
	50.26	49.33	50.26	2403	488	118	104	45.288	36	34	73.099	31.1	196.7	6.12		
	48.44	49.33	48.44	2395	488	118	103	40.259	37	34	72.795	31.2	195.9	6.11		
	49.33	49.33	49.33	2389	488	118	105	40.549	37	34	64.213	31.4	195.3	6.13	429	9
80 %	44.4	44.4	44.4	2410	434	116	99	48.27	37	35	82.041	25.7	214.5	5.51		
	44.4	44.4	43.67	2404	431	115	98	51.357	37	35	45.486	25.7	213.7	5.49		
	42.97	43.67	44.4	2403	431	115	98	40.792	37	35	55.574	25.8	213.4	5.51		
	43.67	44.4	43.67	2403	431	115	98	50.595	37	35	54.019	25.7	213.3	5.48	430	10
Full	52.24	51.23	52.24	2374	537	119	110	49.37	36	34	63.175	33	197.4	6.51		
	54.37	53.28	53.28	2376	537	119	107	50.862	36	34	45.633	33.1	198.3	6.56	431	11
	54.37	54.37	52.24	2376	537	119	107	49.48	37	34	79.744	33.2	198.9	6.60	432	12
	53.28	53.28	54.37	2376	540	119	107	46.947	36	33	66.999	33.1	199.4	6.60	433	13
90 %	52.24	51.23	50.26	2403	500	119	104	49.947	36	33	77.61	31.3	197.8	6.19		
	50.26	50.26	50.26	2403	497	118	104	46.841	36	33	53.096	31.6	197.7	6.25		
	51.23	48.44	50.26	2403	498	119	104	37.881	36	33	63.693	31.8	197.8	6.29		
	52.24	51.23	52.24	2403	499	119	105	47.519	36	33	41.355	31.3	197.7	6.19	434	14
80 %	43.67	44.4	43.67	2403	431	115	98	37.698	36	34	69.762	25.9	213.1	5.52		
	43.67	44.4	43.67	2403	434	115	98	38.96	36	34	73.769	25.8	213.2	5.50		
	45.15	44.4	45.15	2403	427	113	96	37.984	36	34	74.114	25.7	213.6	5.49		
	43.67	45.15	43.67	2402	425	113	96	41.941	35	33	37.398	25.9	213.3	5.52	435	15

ตารางที่ ง-64 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 435-450

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)								Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil	
Full	52.24	53.28	51.23	2389	525	115	104	41.964	32	30	50.817	33.7	200.3	6.75	435	15	
	53.28	52.24	53.28	2382	522	118	106	46.163	33	30	54.191	33.5	199.9	6.70	436	16	
	52.24	52.24	53.28	2379	521	119	106	36.565	33	30	41.234	33.4	199.7	6.67	437	17	
	54.37	52.24	54.37	2376	517	118	104	41.254	33	30	57.337	33.3	199	6.63	438	18	
90 %	49.33	48.44	49.33	2416	476	115	98	39.211	34	31	72.711	30.4	203.3	6.18			
	49.33	48.44	49.33	2422	475	115	98	42.619	34	32	63.549	30.6	203.7	6.23			
	49.33	49.33	49.33	2417	475	114	97	37.04	35	32	44.734	30.3	203.4	6.16			
	49.33	49.33	48.44	2417	476	115	98	39.372	35	32	72.027	30.4	203.2	6.18	439	19	
80 %	45.93	45.15	45.93	2430	443	115	97	43.819	36	34	61.398	26.1	218.3	5.70			
	45.93	45.15	45.93	2419	440	114	95	51.096	36	34	49.175	26.1	216.2	5.64			
	45.15	45.15	45.15	2421	440	114	94	43.483	36	34	70.034	25.8	216.5	5.59			
	45.15	44.4	45.15	2423	437	114	96	47.189	36	34	68.175	25.7	216.2	5.56	440	20	
Full	52.24	51.23	52.24	2376	522	119	110	36.648	33	30	67.656	33.4	199.4	6.66			
	53.28	52.24	53.28	2376	522	119	109	47.983	34	29	52.541	33.5	199.8	6.69	441	21	
	53.28	53.28	53.28	2376	525	120	104	42.006	34	30	58.504	33.2	199.5	6.62	442	22	
	53.28	54.37	53.28	2377	525	119	106	41.724	34	32	40.542	33.2	199.6	6.63	443	23	
90 %	49.33	49.33	49.33	2416	476	116	98	37.909	35	33	43.02	30.4	203.3	6.18			
	49.33	48.44	49.33	2418	476	115	98	40.136	35	32	47.691	30.1	203.7	6.13			
	49.33	48.44	49.33	2419	475	114	97	47.88	35	32	68.965	30.4	203.6	6.19			
	49.33	49.33	49.33	2418	476	116	98	46.879	35	32	58.166	30.5	203.7	6.21	444	24	
80 %	43.67	50.26	43.67	2389	434	118	98	42.02	38	34	50.495	25.6	211.6	5.42			
	44.4	44.4	44.4	2392	432	117	98	49.716	38	35	74.198	25.5	212	5.41			
	44.4	43.67	44.4	2399	432	116	98	43.217	38	35	82.135	25.6	211.9	5.42			
	43.67	44.4	44.4	2397	432	117	99	50.021	38	35	48.748	25.7	212	5.45	445	25	
Full	54.37	54.37	54.37	2402	528	107	101	47.974	36	35	42.288	33.1	199.9	6.62			
	54.37	54.37	52.24	2389	525	121	108	49.554	37	34	74.087	32.7	197.8	6.47	446	26	
	53.28	53.28	53.28	2389	525	120	106	50.507	37	34	80.492	32.7	197.7	6.46	447	27	
	53.28	53.28	53.28	2381	525	121	108	49.701	38	34	78.378	32.6	197.4	6.44	448	28	
90 %	49.33	50.26	49.33	2403	487	119	104	43.298	38	36	63.405	31.5	196.6	6.19			
	50.26	49.33	50.26	2403	488	119	106	40.902	38	36	82.493	31.2	196.7	6.14			
	51.23	47.57	51.23	2399	484	119	106	40.588	38	36	64.571	31.1	196.3	6.10			
	50.26	50.26	50.26	2403	488	118	104	45.364	37	34	56.575	31.1	196.6	6.11	449	29	
80 %	43.67	43.67	43.67	2402	428	114	98	47.259	37	34	79.844	25.6	212.3	5.43			
	44.4	44.4	43.67	2402	428	114	98	47.53	37	34	64.992	25.6	212.7	5.45			
	44.4	44.4	44.4	2395	431	114	97	45.976	36	34	46.987	25.6	211.8	5.42			
	43.67	44.4	43.67	2392	430	113	97	37.657	36	34	48.73	25.7	211.7	5.44	450	30	

ตารางที่ ง-65 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 450-465

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	54.37	54.37	55.5	2395	528	116	105	43.525	35	32	45.693	33.3	199.6	6.65	450	30
	52.24	54.37	54.37	2402	528	115	106	38.38	36	32	69.334	33	200	6.60	451	31
	54.37	55.5	54.37	2389	531	119	106	46.107	36	32	75.277	32.7	199.6	6.53	452	32
	54.37	54.37	54.37	2389	528	119	106	49.558	35	32	70.557	33.1	199.7	6.61	453	33
90 %	49.33	49.33	50.26	2403	476	116	100	36.567	35	32	39.282	31	198.7	6.16		
	50.26	50.26	49.33	2403	479	116	102	48.948	35	32	42.969	31.6	198.6	6.28		
	49.33	49.33	50.26	2403	478	116	100	45.327	35	32	62.137	31	198.7	6.16		
	50.26	50.26	50.26	2403	479	116	103	41.024	35	32	66.234	31	198.6	6.16	454	34
80 %	45.15	45.15	44.4	2403	428	113	96	46.555	35	32	45.322	26	214	5.56		
	45.15	45.15	44.4	2403	431	112	97	46.489	35	32	39.686	26.2	213.8	5.60		
	45.93	45.15	45.93	2403	428	113	98	41.169	35	32	41.563	25.8	214.1	5.52		
	45.15	45.93	45.15	2403	428	113	97	36.641	35	32	38.32	26	214.2	5.57	455	35
Full	53.28	53.28	53.28	2392	520	91	92	32.417	31	30	58.922	33.7	200.7	6.76		
	52.24	53.28	54.37	2386	525	117	99	33.727	32	29	63.471	33.5	200.3	6.71	456	36
	54.37	53.28	54.37	2376	522	117	100	46.043	33	29	39.71	33.4	199.7	6.67	457	37
	53.28	53.28	53.28	2376	522	116	101	44.22	33	29	34.129	33.6	199.8	6.71	458	38
90 %	48.44	49.33	48.44	2389	470	115	99	44.767	33	29	51.884	31.6	195.7	6.18		
	49.33	48.44	49.33	2387	467	113	98	44.689	33	29	34.769	31.3	195.3	6.11		
	49.33	50.26	49.33	2389	470	113	98	46.906	33	30	46.685	31.4	195.6	6.14		
	49.33	49.33	50.26	2389	472	113	99	43.125	34	30	62.732	31.3	195.3	6.11	459	39
80 %	44.4	44.4	45.15	2402	428	113	95	36.607	34	32	51.394	26	214.5	5.58		
	45.93	45.93	45.93	2392	434	113	95	47.765	35	32	37.76	26.1	213.8	5.58		
	44.4	44.4	44.4	2403	434	113	95	47.11	34	32	44.272	26	215.2	5.60		
	45.15	44.4	45.15	2403	433	114	96	45.326	35	32	49.254	26	215.1	5.59	460	40
Full	55.5	56.68	55.5	2389	531	108	98	46.253	31	28	45.499	33.1	197.8	6.55		
	54.37	55.5	55.5	2389	525	107	98	35.553	32	27	38.913	32.8	198.1	6.50	461	41
	55.5	55.5	55.5	2389	525	109	96	34.873	31	27	31.214	33.1	197.7	6.54	462	42
	55.5	56.68	55.5	2387	525	108	96	33.961	31	27	33.22	33.1	197.8	6.55	463	43
90 %	50.26	50.26	49.33	2403	466	103	92	36.634	31	27	46.083	30.6	201.7	6.17		
	51.23	50.26	51.23	2403	467	105	92	32.459	31	27	45.207	30.3	201.7	6.11		
	50.26	51.23	50.26	2403	467	105	93	40.694	31	27	28.715	30.4	201.7	6.13		
	50.26	50.26	48.44	2402	468	105	92	39.742	31	27	38.547	30.8	201.6	6.21	464	44
80 %	45.93	45.15	45.93	2403	425	105	91	44.875	31	27	50.091	25.5	213	5.43		
	45.15	45.15	45.15	2403	422	103	90	42.977	31	27	52.991	25.9	212.9	5.51		
	45.15	45.15	46.74	2403	422	103	90	32.812	31	27	25.619	25.8	212.6	5.49		
	45.93	45.93	45.93	2403	422	103	90	37.23	31	27	62.316	25.9	212.5	5.50	465	45

ตารางที่ ง-66 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 465-480

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	54.37	53.28	54.37	2383	534	118	106	38.537	35	31	43.476	33.7	200.9	6.77	465	45
	54.37	53.28	54.37	2376	535	119	108	42.289	35	32	70.572	33.4	200	6.68	466	46
	53.28	53.28	54.37	2376	534	119	109	41.92	35	32	70.658	33.5	200.4	6.71	467	47
	53.28	55.5	53.28	2376	535	120	109	40.083	36	32	63.72	33.5	199.8	6.69	468	48
90 %	51.23	50.26	51.23	2402	482	117	102	37.618	36	34	56.215	31.3	197.7	6.19		
	48.44	49.33	48.44	2402	484	116	102	50.418	36	33	61.63	31.4	197.6	6.20		
	50.26	51.23	50.26	2403	484	117	102	42.005	37	33	77.844	31.4	197.7	6.21		
	50.26	49.33	50.26	2403	485	117	103	38.996	37	34	79.178	31.3	198	6.20	469	49
80 %	44.4	45.15	44.4	2403	436	115	100	50.09	35	34	51.74	25.8	214.6	5.54		
	45.15	45.15	45.93	2403	437	115	100	40.226	35	34	52.119	25.8	214.4	5.53		
	45.15	45.15	45.93	2403	437	115	101	40.82	35	34	75.487	25.8	214.5	5.53		
	45.15	45.15	45.15	2403	437	114	100	49.39	35	34	56.194	25.9	215.2	5.57	470	50
Full	54.37	54.37	54.37	2382	546	116	107	41.977	36	34	65.242	33.2	199.6	6.63		
	54.37	54.37	54.37	2378	546	121	112	48.648	37	34	69.498	33.3	200	6.66	471	51
	54.37	55.5	54.37	2377	546	121	113	42.892	37	34	49.318	33.3	200.1	6.66	472	52
	54.37	56.68	54.37	2389	549	121	112	40.737	37	34	81.28	33.5	201.1	6.74	473	53
90 %	49.33	49.33	49.33	2443	467	116	102	44.926	36	32	66.732	26.7	221.6	5.92		
	49.33	49.33	49.33	2443	464	116	102	42.996	37	33	81.138	26.6	221.5	5.89		
	49.33	47.57	49.33	2443	467	116	102	45.256	36	33	50.584	26.4	221.5	5.85		
	49.33	48.44	49.33	2443	465	116	101	43.092	36	32	63.914	26.4	221.6	5.85	474	54
80 %	46.74	45.93	46.74	2403	435	103	92	37.1	33	29	48.389	26.3	215.2	5.66		
	45.93	45.15	45.93	2403	437	104	93	41.287	33	29	40.559	26.3	215.2	5.66		
	45.93	45.93	45.93	2402	435	104	93	38.091	33	30	31.132	26.2	214.2	5.61		
	45.93	45.15	45.93	2402	434	104	93	36.777	33	30	36.851	25.9	214.2	5.55	475	55
Full	55.5	55.5	55.5	2367	531	115	106	40.773	29	27	48.94	33.7	198.6	6.69		
	55.5	55.5	55.5	2389	534	117	102	43.645	30	28	21.314	33.4	199.3	6.66	476	56
	54.37	53.28	54.37	2362	531	117	102	31.877	29	27	33.791	33.4	198.1	6.62	477	57
	56.68	56.68	55.5	2389	531	106	95	33.849	31	27	59.904	33.5	200.7	6.72	478	58
90 %	50.26	49.33	49.33	2389	470	104	94	39.923	32	29	38.572	30.5	197.7	6.03		
	48.44	49.33	48.44	2389	469	104	94	36.253	32	28	51.485	30.7	197.7	6.07		
	50.26	50.26	48.44	2389	470	106	94	47.286	32	29	66.667	30.7	197.7	6.07		
	49.33	50.26	50.26	2389	470	105	94	36.051	32	28	56.283	30.8	198	6.10	479	59
80 %	46.74	46.74	46.74	2403	434	104	93	37.025	33	29	38.81	25.8	214.3	5.53		
	45.93	45.93	45.93	2403	434	104	92	40.401	33	30	37.925	26.1	214.5	5.60		
	45.93	45.93	45.93	2403	436	104	93	35.866	33	30	39.969	25.9	214.4	5.55		
	45.93	45.93	45.93	2403	437	104	93	41.544	33	30	53.898	26.2	214.2	5.61	480	60



ตารางที่ ง-67 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทาน Palm-Biodiesel ชั่วโมงที่ 480-495

Load	FC (cc/min)			Speed RPM	Temperature (°C)							Generator			working hrs.	
	1	2	3		Exh (°C)	Oil (°C)	Wat (°C)	Air (°C)	amb (°C)	fuel (°C)	Rh. (%)	Current (Amp)	Volt (Volt)	Power (kVA)	engine	oil
Full	55.5	54.37	55.5	2389	537	109	104	39.651	33	30	43.271	32.9	198.5	6.53	480	60
	56.68	55.5	55.5	2389	540	111	104	45.769	34	30	62.402	33.2	198.7	6.60	481	61
	56.68	53.28	55.5	2389	537	110	104	41.856	34	30	40.029	33	198.1	6.54	482	62
	56.68	56.68	56.68	2389	539	111	104	44.957	34	30	39.139	33	199.3	6.58	483	63
90 %	50.26	52.24	50.26	2389	472	107	96	44.237	33	29	36.52	30.3	197.9	6.00		
	51.23	51.23	50.26	2389	470	105	95	41.433	33	29	45.141	30.3	198.2	6.01		
	50.26	49.33	50.26	2389	467	106	95	38.727	33	29	68.296	30.6	198.6	6.08		
	51.23	51.23	51.23	2402	479	107	93	47.272	33	29	52.582	30.6	199.7	6.11	484	64
80 %	46.74	45.93	46.74	2403	434	105	92	46.838	32	29	62.497	26.2	215.1	5.64		
	46.74	46.74	45.93	2403	434	105	92	46.135	32	29	39.345	26.1	214.7	5.60		
	45.93	46.74	45.93	2403	434	105	93	34.189	32	29	63.16	26.2	214.6	5.62		
	46.74	45.93	46.74	2403	434	106	92	37.724	32	29	65.737	26.1	214.9	5.61	485	65
Full	55.5	56.68	55.5	2389	531	108	98	37.658	31	28	55.999	33.1	197.8	6.55		
	54.37	55.5	55.5	2389	525	107	98	43.823	32	27	62.151	32.8	198.1	6.50	486	66
	55.5	55.5	55.5	2389	525	109	96	45.294	31	27	42.614	33.1	197.7	6.54	487	67
	55.5	56.68	55.5	2387	525	108	96	35.949	31	27	43.703	33.1	197.8	6.55	488	68
90 %	50.26	50.26	49.33	2403	466	103	92	44.261	31	27	48.296	30.6	201.7	6.17		
	51.23	50.26	51.23	2403	467	105	92	41.385	31	27	26.789	30.3	201.7	6.11		
	50.26	51.23	50.26	2403	467	105	93	32.487	31	27	45.934	30.4	201.7	6.13		
	50.26	50.26	48.44	2402	468	105	92	42.273	31	27	50.48	30.8	201.6	6.21	489	69
80 %	45.93	45.15	45.93	2403	425	105	91	42.694	31	27	51.883	25.5	213	5.43		
	45.15	45.15	45.15	2403	422	103	90	44.46	31	27	25.351	25.9	212.9	5.51		
	45.15	45.15	46.74	2403	422	103	90	42.147	31	27	51.623	25.8	212.6	5.49		
	45.93	45.93	45.93	2403	422	103	90	39.15	31	27	25.218	25.9	212.5	5.50	490	70
Full	54.37	56.68	54.37	2373	527	102	94	43.754	30	26	23.819	33	199.6	6.59		
	55.5	56.68	55.5	2376	531	108	98	39.623	30	26	46.585	33	199.3	6.58	491	71
	55.5	55.5	56.68	2389	530	105	96	41.525	29	25	35.882	33.5	200.8	6.73	492	72
	56.68	56.68	55.5	2389	531	105	95	33.898	29	24	39.354	33.2	200.4	6.65	493	73
90 %	50.26	51.23	50.26	2389	467	103	91	36.238	29	24	38.697	31	198.7	6.16		
	50.26	50.26	50.26	2389	467	102	91	42.083	29	24	53.527	30.6	198.7	6.08		
	50.26	49.33	50.26	2389	467	101	91	44.086	29	24	26.827	30.7	198.6	6.10		
	49.33	50.26	49.33	2389	468	102	91	30.293	28	24	27.474	30.6	198.5	6.07	494	74
80 %	45.93	45.15	45.93	2403	425	100	88	29.806	28	24	14.84	26	214.2	5.57		
	45.93	45.93	45.93	2403	425	100	87	34.262	28	24	43.289	25.9	214.1	5.55		
	45.93	45.15	45.93	2403	425	100	87	33.807	28	24	13.835	25.7	214	5.50		
	45.15	45.15	45.15	2403	425	100	86	42.009	28	24	40.974	25.7	213.7	5.49	495	75






ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ฉ-1 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบความทนทาน



## LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance

ISO 9001: 2000 Certified

Page 1 of 1

**Customer Code** : 28076 **Test ID Number** : New Oil Chang SAE 40 API CF

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd. **Unit Type** : NEW OIL

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanakorn Industrial Estate, T. Klong-Nuang, A. Klong-Luang Pathumthani 12120 **Unit Make** :

**Test code** : 80300 **Unit Model** :

**Lube System Capacity** : **Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** :

**Location** :

**Overall Condition Rating**  

Wear Condition	Oil Condition	Contamination
NORMAL	NORMAL	NORMAL

**Recommendations and Notes**

All tests appear normal for this type of new oil.

AS / AmS SMI

Condition History		Current Sample		Previous Sample		Alarm Limit Range
		Wear	Oil Cent.	Wear	Oil Cent.	
		N	N	N	N	Limit Name (Equipment / Oil): New Oil for Baseline Purposes
<b>FocusLab ID</b>		83504		65600		
<b>Date sampled</b>		25-Oct-07		30-Oct-08		
<b>Hours on Oil</b>		Not Available		Not Given		
<b>Hours on Unit</b>		Not Available		Not Given		
<b>Bottle ID</b>		867370		857795		
<b>Wear Condition</b>						
<b>Wear Element</b>	<b>Method</b>	<b>Unit</b>	<b>RDE fine</b>	<b>RFS coarse</b>	<b>RDE fine</b>	<b>RFS coarse</b>
Iron	D-6595	PPM	0.8		0.2	
Chromium	D-6595	PPM	0.0		0.0	
Lead	D-6595	PPM	0.0		0.2	
Copper	D-6595	PPM	0.0		0.0	
Tin	D-6595	PPM	0.0		0.0	
Aluminum	D-6595	PPM	0.1		0.5	
Nickel	D-6595	PPM	0.4		0.0	
Silver	D-6595	PPM	0.0		0.0	
Molybdenum	D-6595	PPM	37.5		49.8	
Titanium	D-6595	PPM	0.0		0.0	
<b>Oil Condition</b>						
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	158.3		143.1	
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	15.2		14.4	
Oxidation	FTIR	Abn	3.1		5.7	
Nitration	FTIR	Abn	4.4		5.6	
TAN	D-374	mg/100g			0.95	
TBN	D-473	mg/100g	6.5		6.2	
<b>Contamination</b>						
Water	FTIR	% (Wt)	0.030		0.077	
Fuel	SAW	% (Wt)	0.00		0.00	
Glycol	FTIR	Abn	0		0	
Soot	FTIR	% (Wt)	0.00		0.00	
Sodium	D-6595	PPM	1		1	
Silicon	D-6595	PPM	9.0		5.5	
<b>Additive Element</b>						
Boron	D-6595	PPM	0		0	
Magnesium	D-6595	PPM	14		10	
Calcium	D-6595	PPM	2210		1856	
Barium	D-6595	PPM	0		0	
Phosphorus	D-6595	PPM	450		477	
Zinc	D-6595	PPM	537		693	
<b>Additional Test</b>						
Flash Point	D-3820	°C				
Viscosity Index	D-2270					
Other						

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon data set 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

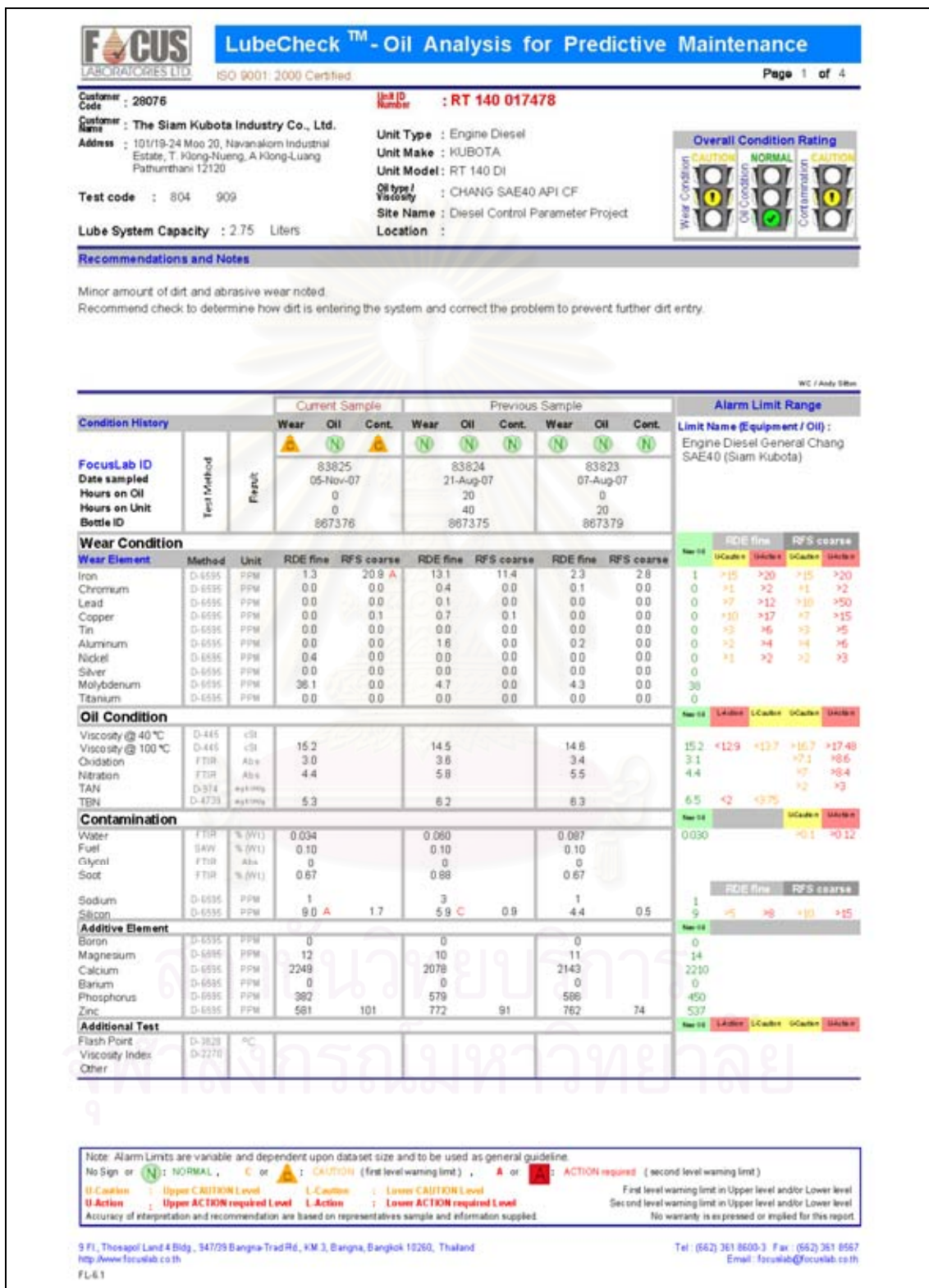
U: Action : Upper ACTION required Level    L: Action : Lower ACTION required Level    Second level warning limit in Upper level and/or Lower level

Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied.    No warranty is expressed or implied for this report.

9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
http://www.focuslab.co.th  
FL-61


Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-2 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0





รูปที่ ฉ-3 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 2 of 4

---

**Customer Code** : 26076

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF


**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**


Wear Condition

CAUTION




Oil Contamination

NORMAL




Contamination

CAUTION


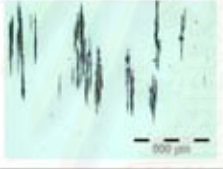
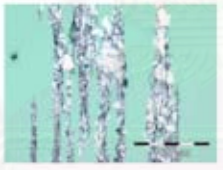


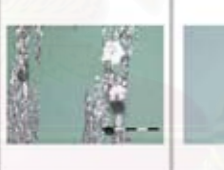



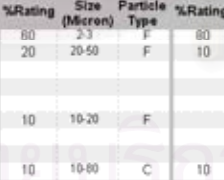
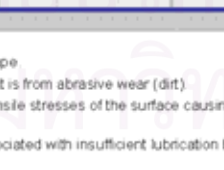



---

	Current Sample			Previous Sample		
	FocusLab ID	Date sampled	Hours on Oil	FocusLab ID	Date sampled	Hours on Oil
	83825	05-Nov-07	0	83824	21-Aug-07	0
	0		0	20		0
	0		0	40		20
	867376		867375	867375		867379
Volume of Sample Used	3.00 ml			ml		3.00 ml



Typical Normal Ferrogram.

	Current Sample			Previous Sample		
	Image of Wear & Contaminants Magnification 50X	Image of Wear & Contaminants Magnification 100X	Image of Wear & Contaminants Magnification 500X	Image of Wear & Contaminants Magnification 50X	Image of Wear & Contaminants Magnification 100X	Image of Wear & Contaminants Magnification 500X
						
						

Wear & Contaminants Particles	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	80	2-3	F	80	2-3	F			
Fatigue Wear	10	10-30	F	20	20-50	F	10	10-30	F			
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear	5	20-30	F									
Black Oxides	5	10-20	F	10	10-20	F						
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	10	10-50	C	10	10-80	C	10	10-50	C			

**Recommendations and Notes**

Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape  
 Cutting wear indicates abnormal wear mode in progress. Suspect it is from abrasive wear (dirt)  
 Fatigue wear found in the ferrogram These particles result from tensile stresses of the surface causing the fatigue cracks, excessive load, contamination (Dirt).  
 Black oxides in ferrogram can indicate insufficient lubrication. Associated with insufficient lubrication between metal surface


%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., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th



รูปที่ ๑-4 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
ชั่วโมงการทำงานที่ 10 ถึง 55



ISO 9001:2000 Certified

## LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance

Page 1 of 4

---

**Customer Code** : 28076

**Customer Name** : The Siam Kubota Industry Co., Ltd.

**Address** : 101/19-24 Moo 20, Navanokorn Industrial Estate, T. Klong-Nueng, A. Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF


**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**


Wear Condition

CAUTION




Oil Condition

NORMAL



Contamination

CAUTION



---

**Recommendations and Notes**

Minor amount of dirt and abrasive wear noted.  
Recommend check to determine how dirt is entering the system and correct the problem to prevent further dirt entry.  
All oil conditions and oil tests appear in normal working range.

WC / Andy Sittin

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range			
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Limit Name (Equipment / Oil) :			
FocusLab ID	Test Method							Engine Diesel General Chang SAE40 (Siam Kubota)			
Date sampled	Result	84082			84027						
Hours on Oil		09-Nov-07			07-Nov-07						
Hours on Unit		55			25						
Bottle ID		55			25						
		872554			867378						

Wear Condition		RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse		New Oil	
Wear Element	Method	Unit	U-Caution	L-Caution	U-Action	L-Action	U-Caution	L-Caution	U-Action	L-Action	
Iron	D-6595	PPM	25.4 A	21.6 A	10.9	5.9	6.6	27.5 A	1	>15	>20
Chromium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0	>1	>2
Lead	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0	>7	>12
Copper	D-6595	PPM	0.7	0.3	0.3	0.1	0.1	0.3	0	>10	>17
Tin	D-6595	PPM	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0	>3	>6
Aluminum	D-6595	PPM	2.8 C	1.4	1.2	0.0	1.1	0.0	0	>2	>4
Nickel	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	>1	>2
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0		
Molybdenum	D-6595	PPM	40.5	16.2	36.5	5.0	36.0	0.0	36		
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0		

Oil Condition		U-Caution		L-Caution		U-Action		L-Action	
Parameter	Method	Unit	U-Caution	L-Caution	U-Action	L-Action	U-Caution	L-Action	
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt							
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	15.7		15.6		15.4	15.2	
Oxidation	F719	Abn	4.0		3.6		3.1	3.1	
Nitration	F719	Abn	5.8		5.2		4.7	4.4	
TAN	D-974	mg/100g							
TBN	D-4739	mg/100g	6.4		6.8		6.7	6.5	

Contamination		U-Caution		L-Caution		U-Action		L-Action	
Parameter	Method	Unit	U-Caution	L-Caution	U-Action	L-Action	U-Caution	L-Action	
Water	F719	% (Wt)	0.027		0.024		0.027	0.030	
Fuel	SAW	% (Wt)	0.10		0.10		0.10		
Glycol	F719	Abn	0		0		0		
Soot	F719	% (Wt)	1.13		0.89		0.76		
Sodium	D-6595	PPM	2		2		2	1	
Silicon	D-6595	PPM	9.1 A	8.1	7.4 C	0.4	8.7 A	2.2	

Additive Element		U-Caution		L-Caution		U-Action		L-Action	
Element	Method	Unit	U-Caution	L-Caution	U-Action	L-Action	U-Caution	L-Action	
Boron	D-6595	PPM	0		0		0	0	
Magnesium	D-6595	PPM	14		12		12	14	
Calcium	D-6595	PPM	2312		2150		2227	2210	
Barium	D-6595	PPM	0		7		0	0	
Phosphorus	D-6595	PPM	337		340		364	450	
Zinc	D-6595	PPM	556	206	521	81	575	537	

Additional Test		U-Caution		L-Caution		U-Action		L-Action	
Parameter	Method	Unit	U-Caution	L-Caution	U-Action	L-Action	U-Caution	L-Action	
Flash Point	D-3828	°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.

9 Fl., Theopol Land 4 Bldg., 347/29 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-6.1

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-5 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 10 ถึง 55 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 2 of 4

---

**Customer Code** : 26076

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI


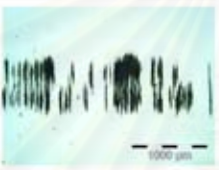
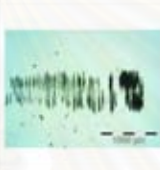



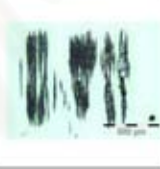
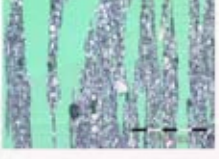
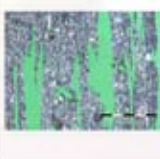

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :



---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	FocusLab ID	84082	84027	83926	
Date sampled	09-Nov-07	07-Nov-07	06-Nov-07		 Typical Normal Ferrogram
Hours on Oil	55	25	10		
Hours on Unit	55	25	10		
Bottle ID	872554	867378	867377		
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml		
Image of Wear & Contaminants Magnification 50X					
Image of Wear & Contaminants Magnification 100X					
Image of Wear & Contaminants Magnification 500X					

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	90	2-3	F	90	2-3	F	50	2-3	F
Fatigue Wear	5	5-10	F	5	5-10	F	25	20-120	F
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear							5	20-30	F
Black Oxides							10	20-50	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	5	10-50	C	5	10-80	C	10	10-80	C

**Recommendations and Notes**

Note increase in amount of visible ferrous particles since last sample was analyzed

Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.

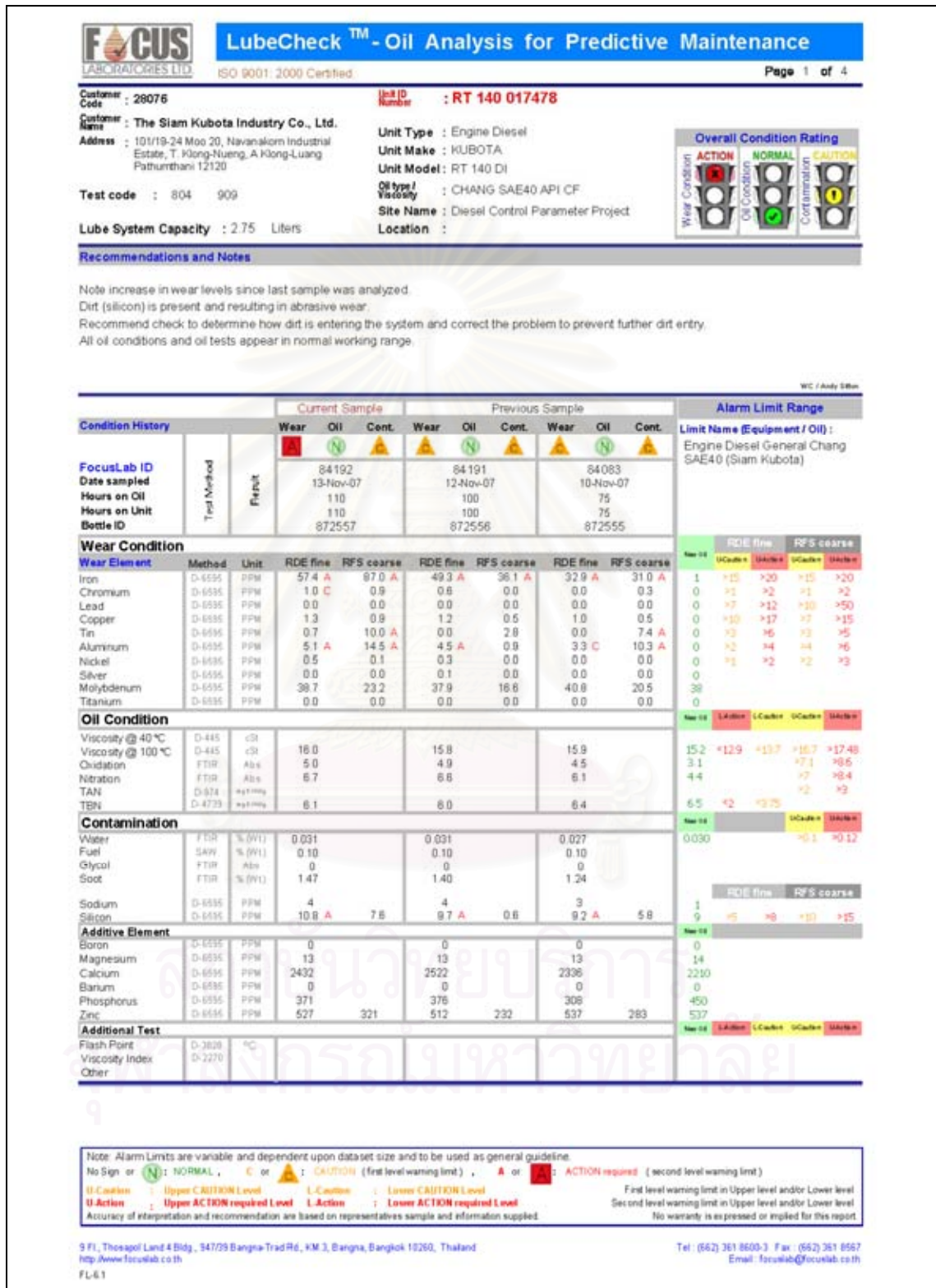
Note size of visible fatigue particles are stabilized since last sample was analyzed.

%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., Thosapoli Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61

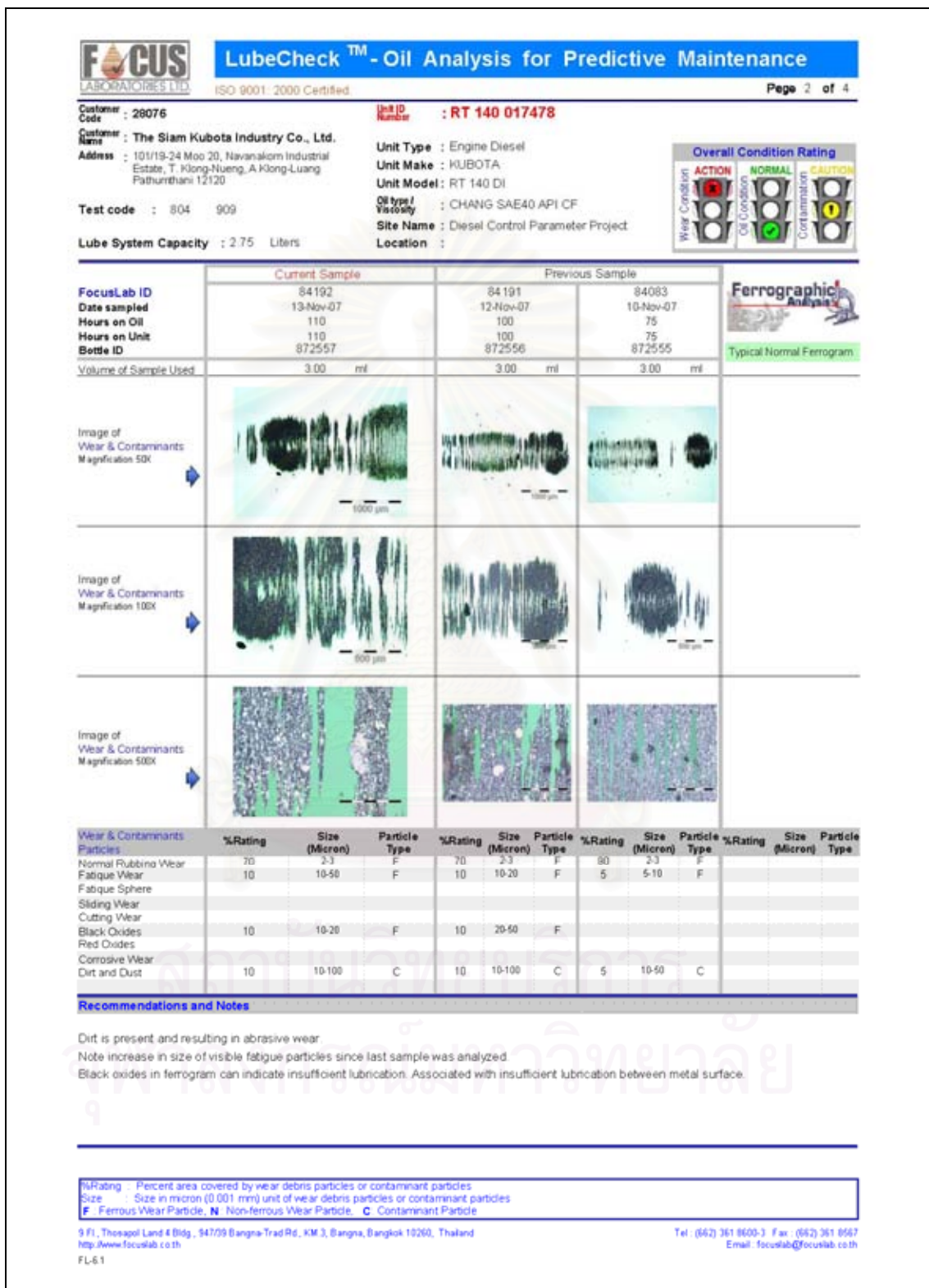
Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-6 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 75 ถึง 110

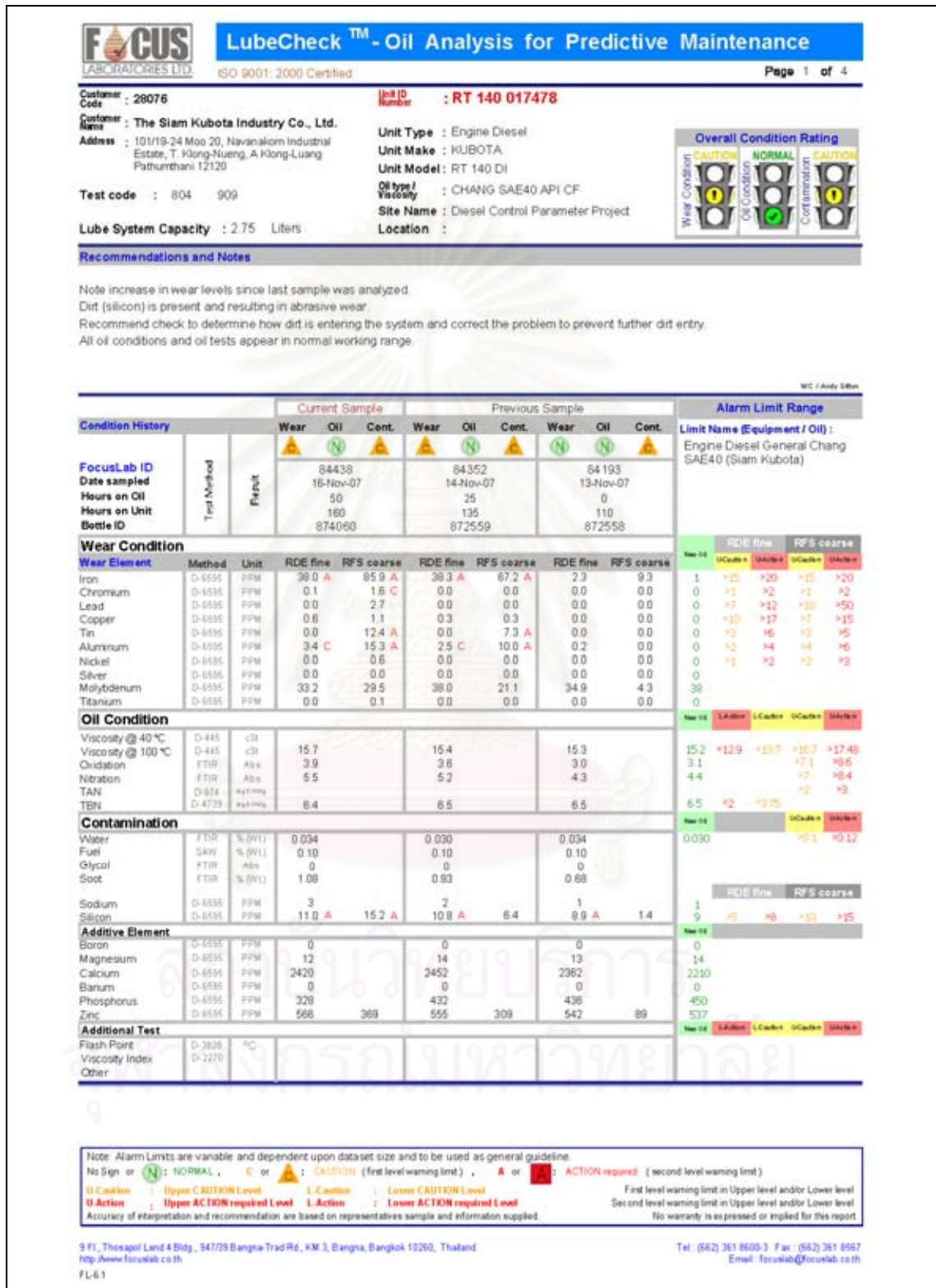





รูปที่ ฉ-7 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 75 ถึง 110 (ต่อ)



รูปที่ ๘-๘ แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 160



รูปที่ ๑-๙ แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 160 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 2 of 4

---

**Customer Code** : 26076

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF


**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**


Wear Condition

CAUTION




Oil Condition

NORMAL






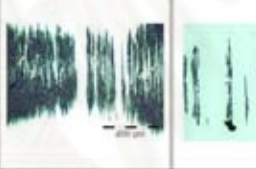


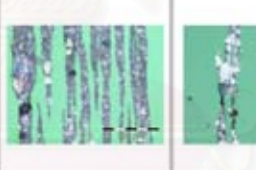



Contamination

CAUTION



---

FocusLab ID	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	84438	84352	84193	84193	
Date sampled	16-Nov-07	14-Nov-07	13-Nov-07	13-Nov-07	 <p>Typical Normal Ferrogram.</p>
Hours on Oil	50	25	0	0	
Hours on Unit	160	135	110	110	
Bottle ID	874060	872559	872558	872558	
Volume of Sample Used	ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	
Image of Wear & Contaminants Magnification 50X					
Image of Wear & Contaminants Magnification 100X					
Image of Wear & Contaminants Magnification 500X					

Wear & Contaminants Particles	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	65	2-3	N	70	2-3	F	80	2-3	F			
Fatigue Wear	20	20-120	F	15	20-80	F	10	10-80	F			
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear												
Black Oxides	5	10-20	F	5	10-20	F	5	10-20	F			
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	10	10-100	C	10	10-100	C	5	10-50	C			

**Recommendations and Notes**

Note increase in size of visible fatigue particles since last sample was analyzed.

Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.

Black oxides in ferrogram can indicate insufficient lubrication. Associated with insufficient lubrication between metal surface.


%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., Thosapoli Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th



รูปที่ ฉ-10 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 185 ถึง 220



ISO 9001:2000 Certified

## LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance

Page 1 of 4

---

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :



---

**Recommendations and Notes**

Note levels are stabilized or decreasing compared to results from last sample  
 Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear  
 Recommend check to determine how dirt is entering the system and correct the problem to prevent further dirt entry.  
 All oil conditions and oil tests appear in normal working range.

---

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	
<b>FocusLab ID</b>								
<b>Date sampled</b>		84599	84440	84439				
<b>Hours on Oil</b>		20-Nov-07	19-Nov-07	18-Nov-07				
<b>Hours on Unit</b>		110	100	75				
<b>Bottle ID</b>		220	210	185				
		872552	872551	872550				

---

Wear Condition		RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse	
Wear Element	Method	Unit	U-Action	L-Action	U-Action	L-Action	U-Action	L-Action	U-Action	L-Action	U-Action	L-Action	
Iron	D-6595	PPM	55.2 A	32.9 A	50.0 A	49.3 A	49.5 A	65.1 A	1	<15	>20	<15	>20
Chromium	D-6595	PPM	0.5	0.0	0.4	0.6	0.4	1.9 C	0	<1	>2	<1	>2
Lead	D-6595	PPM	0.1	0.0	0.0	1.6	0.0	5.3	0	<1	>12	<10	>50
Copper	D-6595	PPM	1.0	0.3	0.9	0.5	0.8	0.7	0	<10	>17	<7	>15
Tin	D-6595	PPM	0.0	0.8	0.0	4.8 C	0.0	12.9 A	0	<3	>6	<3	>5
Aluminum	D-6595	PPM	5.3 A	1.3	5.2 A	12.9 A	5.0 A	16.2 A	0	<3	>4	<4	>6
Nickel	D-6595	PPM	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0	<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	36.8	11.5	34.3	17.4	37.8	29.2	39				
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0				

---

Oil Condition		U-Action		L-Action		U-Action		U-Action	
Parameter	Method	Unit	U-Action	L-Action	U-Action	L-Action	U-Action	L-Action	
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt							
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	16.1		16.0		15.8	15.2	
Oxidation	FTIR	Abs	5.1		4.4		4.0	3.1	
Nitration	FTIR	Abs	6.9		6.1		5.5	4.4	
TAN	D-974	mg/100g						6.5	
TBN	D-4729	wt/100g	6.2		6.3		6.2		

---

Contamination		U-Action		U-Action	
Parameter	Method	Unit	U-Action	L-Action	U-Action
Water	FTIR	% (Wt)	0.034		0.039
Fuel	SAW	% (Wt)	0.10		0.10
Glycol	FTIR	Abs	0		0
Soot	FTIR	% (Wt)	1.57		1.40
Sodium	D-6595	PPM	3		3
Silicon	D-6595	PPM	12.6 A	10.6 C	12.6 A

---

Additive Element		U-Action		U-Action	
Element	Method	Unit	U-Action	L-Action	U-Action
Boron	D-6595	PPM	0		0
Magnesium	D-6595	PPM	12		13
Calcium	D-6595	PPM	2489		2590
Barium	D-6595	PPM	9		0
Phosphorus	D-6595	PPM	423		371
Zinc	D-6595	PPM	501	119	543

---

Additional Test		U-Action		U-Action	
Parameter	Method	Unit	U-Action	L-Action	U-Action
Flash Point	D-3828	°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-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.

9 Fl., Thosaporn Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-6.1

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-11 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 185 ถึง 220 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 2 of 4

---

**Customer Code** : 26076

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil Type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF


**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :

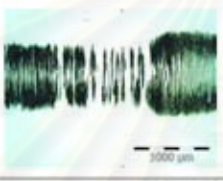
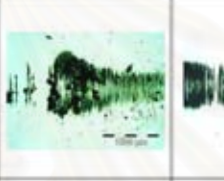

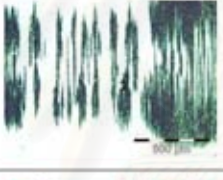


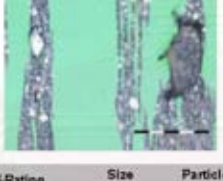
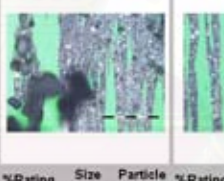

**Overall Condition Rating**  
 Wear Condition: CAUTION (Yellow)  
 Oil Condition: NORMAL (Green)  
 Contamination: CAUTION (Yellow)

---

	Current Sample			Previous Sample		
	84599	84440	84439	84440	84439	84439
<b>FocusLab ID</b>	84599	84440	84439	84440	84439	84439
<b>Date sampled</b>	20-Nov-07	19-Nov-07	18-Nov-07	19-Nov-07	18-Nov-07	18-Nov-07
<b>Hours on Oil</b>	110	100	75	100	75	75
<b>Hours on Unit</b>	220	210	185	210	185	185
<b>Bottle ID</b>	872552	872551	872550	872551	872550	872550
<b>Volume of Sample Used</b>	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml



Typical Normal Ferrogram.

Image of Wear & Contaminants Magnification 50X			
Image of Wear & Contaminants Magnification 100X			
Image of Wear & Contaminants Magnification 500X			

Wear & Contaminants Particles	Current Sample			Previous Sample 1			Previous Sample 2		
	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	40	2-3	F	40	2-3	F	30	2-3	F
Fatigue Wear	20	10-30	F	20	20-50	F	20	20-100	F
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides	30	20-150	F	30	20-200	F	10	10-20	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	10	10-80	C	10	10-100	C	10	10-100	C

**Recommendations and Notes**

Black oxides found in the ferrogram. Black oxide generation is an indication of high operating temperature due to inadequate lubrication.

Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.


Fatigue wear appears to be one of the major abnormal wear mode in progress. These particles result from tensile stresses of the surface causing the fatigue cracks, excessive load, contamination (Dirt).

**%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., Thosaporn Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-51

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-12 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 270



**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

ISO 9001:2000 Certified

Page 1 of 4

---

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :



---

**Recommendations and Notes**

Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
 Recommend check to determine how dirt is entering the system and correct the problem to prevent further dirt entry.  
 All oil conditions and oil tests appear in normal working range.

W.D./Andy Sittin

---

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range		
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.
FocusLab ID	Test Method	84828	84601	84600						
Date sampled	Result	24-Nov-07	22-Nov-07	20-Nov-07						
Hours on Oil		50	25	0						
Hours on Unit		270	245	220						
Bottle ID		874078	874063	872553						

---

Wear Element	Method	Unit	RDE fine		RFS coarse		RDE fine	RFS coarse		New Oil	U-Action		L-Action					
			U-Action	L-Action	U-Action	L-Action		U-Action	L-Action									
Iron	D-6535	PPM	32.7	A	26.7	A	24.3	A	48.3	A	1.9	6.9	1	>15	>20	>15	>20	
Chromium	D-6535	PPM	0.4		0.4		0.3		0.0		0.1	0.0	0	>1	>2	>1	>2	
Lead	D-6535	PPM	0.4		0.0		0.3		0.0		0.1	0.3	0	>7	>12	>10	>50	
Copper	D-6535	PPM	0.7		0.2		0.4		0.3		0.0	0.5	0	>10	>17	>7	>15	
Tin	D-6535	PPM	0.0		2.6		0.0		3.4	C	0.0	4.1	C	0	>3	>6	>3	>5
Aluminum	D-6535	PPM	3.8	C	10.2	A	2.3	C	11.2	A	0.5	0.0	0	>2	>4	>4	>6	
Nickel	D-6535	PPM	0.0		0.0		0.3		0.0		0.1	0.0	0	>1	>2	>2	>2	
Silver	D-6535	PPM	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	0.0	0					
Molybdenum	D-6535	PPM	40.6		14.7		41.0		19.7		38.4	16.1	38					
Titanium	D-6535	PPM	0.0		0.5		0.0		0.0		0.0	0.0	0					

---

Oil Condition		New Oil		U-Action		L-Action		U-Action		L-Action			
Viscosity @40 °C	D-445	cSt	15.5		15.4		15.1		15.2	<12.9	>13.7	>16.7	>17.48
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	4.1		3.7		3.1		3.1		>7.1	>8.6	
Oxidation	FTIR	Abn	5.8		5.3		4.5		4.4		>7	>8.4	
Nitration	FTIR	Abn	6.5		6.8		7.1		6.5	<2	>3.75	>2	>3
TAN	D-974	mg/100g											
TBN	D-4739	mg/100g											

---

Contamination		New Oil		U-Action		L-Action	
Water	FTIR	% (Wt)	0.032		0.028		0.040
Fuel	SAVV	% (Wt)	0.10		0.10		0.10
Glycol	FTIR	Abn	0		0		0
Soot	FTIR	% (Wt)	1.16		0.98		0.71

---

Additive Element		New Oil		U-Action		L-Action								
Sodium	D-6535	PPM	2		2		1							
Silicon	D-6535	PPM	11.4	A	8.1		9.6	A	11.8	C	9.2	A	14.0	C

---

Additional Test		New Oil		U-Action		L-Action	
Flash Point	D-3828	°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-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.

9 Fl., Thosaporn Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-6.1

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8547  
 Email: focuslab@focuslab.co.th



ปีที่ ๑-13 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 270 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 2 of 4

---

**Customer Code** : 26076

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil Type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF


**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**


Wear Condition

CAUTION




Oil Condition

NORMAL

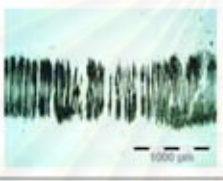






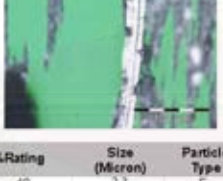
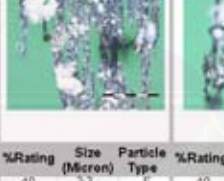
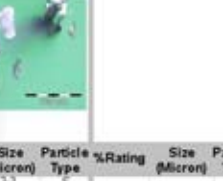


Contamination

CAUTION



---

	Current Sample			Previous Sample		
	FocusLab ID	Date sampled	Hours on Oil	FocusLab ID	Date sampled	Hours on Oil
	84528	24-Nov-07	50	84601	22-Nov-07	25
	270		270	245		220
	874078		874078	874063		872553
Volume of Sample Used	3.00 ml			3.00 ml		
Image of Wear & Contaminants Magnification 50X				 Typical Normal Ferrogram.		
Image of Wear & Contaminants Magnification 100X						
Image of Wear & Contaminants Magnification 500X						

Wear & Contaminants Particles	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	40	2-3	F	40	2-3	F	40	2-3	F			
Fatigue Wear	30	20-50	F	30	10-100	F	30	10-50	F			
Fatigue Sphere												
Sliding Wear	10	100-200	F									
Cutting Wear				10	20-50	F	10	10-50	F			
Black Oxides	10	20-50	F	5	10-50	F	10	10-50	F			
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	10	10-80	C	15	10-100	C	10	10-100	C			

**Recommendations and Notes**

Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.

Sliding wear noted in ferrogram. Sliding wear is generated due to excessive speed and/or load on surface contact.

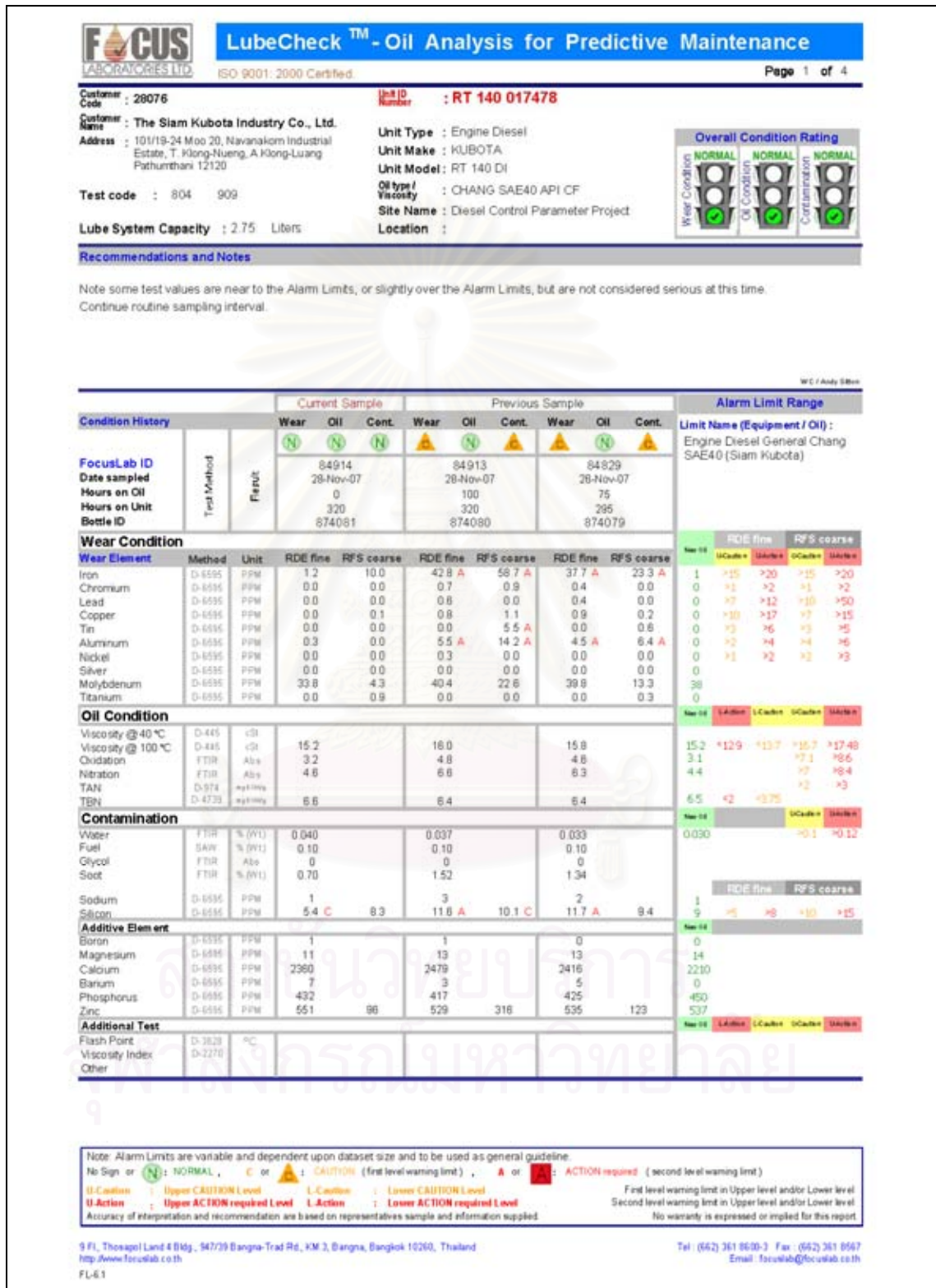
Black oxides in ferrogram can indicate insufficient lubrication. Associated with insufficient lubrication between metal surface.

%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., Thosaporn Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-51

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-14 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล  
ชั่วโมงการทำงานที่ 295 ถึง 320



รูปที่ ฉ-15 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 295 ถึง 320 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 2 of 4

---

**Customer Code** : 26076

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil Type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF


**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**


Wear Condition

NORMAL




Oil Condition

NORMAL





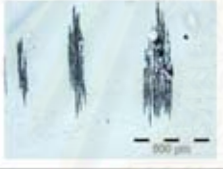







Contamination

NORMAL



---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	84914	84913	84913	84829	
<b>FocusLab ID</b>	84914	84913	84913	84829	 <p>Typical Normal Ferrogram.</p>
<b>Date sampled</b>	28-Nov-07	28-Nov-07	28-Nov-07	26-Nov-07	
<b>Hours on Oil</b>	0	100	100	75	
<b>Bottle ID</b>	874081	874080	874080	874079	
<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	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	Current Sample			Previous Sample		
				%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	50	2-3	F	40	2-3	F
Fatigue Wear	10	20-80	F	30	20-30	F	40	20-60	F
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear	10	20-50	F						
Black Oxides	5	20-30	F	10	10-20	F	10	20-50	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	5	10-50	C	10	10-50	C	10	10-100	C

**Recommendations and Notes**

Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape  
 Cutting wear indicates abnormal wear mode in progress. Suspect it is from abrasive wear (dirt).  
 Fatigue particles 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., Thosaporn Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th



รูปที่ ฉ-16 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 345 ถึง 395



**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

ISO 9001:2000 Certified

Page 1 of 4

**Customer Code :** 28076 **Unit ID Number :** RT 140 017478

**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 :** 804 909 **Unit Model :** RT 140 DI

**Lube System Capacity :** 2.75 Liters **Oil type / Viscosity :** CHANG SAE40 API CF


**Site Name :** Diesel Control Parameter Project

**Location :**

**Overall Condition Rating**


Wear Condition

CAUTION




Oil Condition

NORMAL



Contamination

CAUTION



**Recommendations and Notes**

Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
 Recommend check to determine how dirt is entering the system and correct the problem to prevent further dirt entry.  
 All oil conditions and oil tests appear in normal working range.

W.E./Andy Sittin

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range			
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	
FocusLab ID	Test Method										Limit Name (Equipment / Oil) : Engine Diesel General Chang SAE40 (Siam Kubota)
Date sampled	Result	85085			85084			84915			
Hours on Oil		03-Dec-07			01-Dec-07			29-Nov-07			
Hours on Unit		75			50			25			
Bottle ID		395			370			345			
		874086			874085			874084			

Wear Condition		RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse	
Wear Element	Method	Unit	U-CAUTION	L-CAUTION	U-ACTION	L-ACTION	U-CAUTION	L-CAUTION	U-ACTION	L-ACTION	U-CAUTION	L-CAUTION	U-ACTION
Iron	D-6535	PPM	28.3 A	27.6 A	21.2 A	34.1 A	11.9	33.6 A	1	>15	>20	>15	>20
Chromium	D-6535	PPM	0.8	0.2	0.4	0.8	0.3	0.0	0	>1	>2	>1	>2
Lead	D-6535	PPM	0.7	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0	>7	>12	>10	>50
Copper	D-6535	PPM	0.8	0.4	0.5	0.5	0.2	0.4	0	>10	>17	>7	>15
Tin	D-6535	PPM	0.0	4.0 C	0.0	7.1 A	0.0	0.0	0	>3	>6	>3	>5
Aluminum	D-6535	PPM	4.7 A	12.6 A	3.3 C	12.7 A	1.6	9.0 A	0	>2	>4	>4	>6
Nickel	D-6535	PPM	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	>1	>2	>2	>2
Silver	D-6535	PPM	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
Molybdenum	D-6535	PPM	35.3	14.9	35.5	20.2	35.7	16.8	38				
Titanium	D-6535	PPM	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.1	0				

Oil Condition		U-CAUTION		L-CAUTION		U-ACTION		L-ACTION	
Viscosity @40 °C	D-445	cSt							
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	15.9		15.7		15.5		15.2 <12.9
Oxidation	FTIR	Abn	4.3		4.1		3.7		3.1 <7.1
Nitration	FTIR	Abn	6.8		6.0		5.4		4.4 <7
TAN	D-574	mg/100g							6.5 <2
TBN	D-4739	mg/100g	6.4		6.5		6.8		6.5 <9.75

Contamination		U-CAUTION		L-CAUTION		U-ACTION		L-ACTION	
Water	FTIR	% (Wt)	0.036		0.037		0.035		0.030
Fuel	SAVV	% (Wt)	0.10		0.10		0.10		
Glycol	FTIR	Abn	0		0		0		
Soot	FTIR	% (Wt)	1.56		1.29		1.00		
Sodium	D-6535	PPM	2		2		1		
Silicon	D-6535	PPM	10.6 A	18.6 A	9.1 A	14.0 C	6.9 C	10.8 C	1 <9

Additive Element		U-CAUTION		L-CAUTION		U-ACTION		L-ACTION	
Boron	D-6535	PPM	1		1		1		0
Magnesium	D-6535	PPM	11		10		10		14
Calcium	D-6535	PPM	2264		2294		2311		2210
Barium	D-6535	PPM	0		0		3		0
Phosphorus	D-6535	PPM	433		406		410		450
Zinc	D-6535	PPM	481		148		515	248	540


Additional Test		U-CAUTION		L-CAUTION		U-ACTION		L-ACTION	
Flash Point	D-3828	°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.

9 Fl., Thosaporn Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8547  
 http://www.focuslab.co.th Email: focuslab@focuslab.co.th  
 FL-6.1

รูปที่ ฉ-17 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 345 ถึง 395 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 2 of 4

---

**Customer Code** : 26076

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI





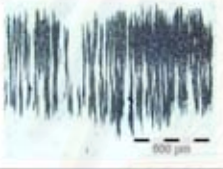





**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**  
 Wear Condition: CAUTION  
 Oil Condition: NORMAL  
 Contamination: CAUTION

---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	85085	85094	85094	84915	
<b>Date sampled</b>	03-Dec-07	01-Dec-07	01-Dec-07	28-Nov-07	 <p>Typical Normal Ferrogram.</p>
<b>Hours on Oil</b>	75	50	370	25	
<b>Hours on Unit</b>	395	370	874065	345	
<b>Bottle ID</b>	874066	874065	874065	874064	
<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 1			Previous Sample 2		
	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	50	2-3	F	45	2-3	F	50	2-3	F
Fatigue Wear	10	10-20	F	35	20-100	F	30	20-100	F
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides				10	10-80	F	10	20-80	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	10	10-50	C	10	10-100	C	10	10-100	C

**Recommendations and Notes**

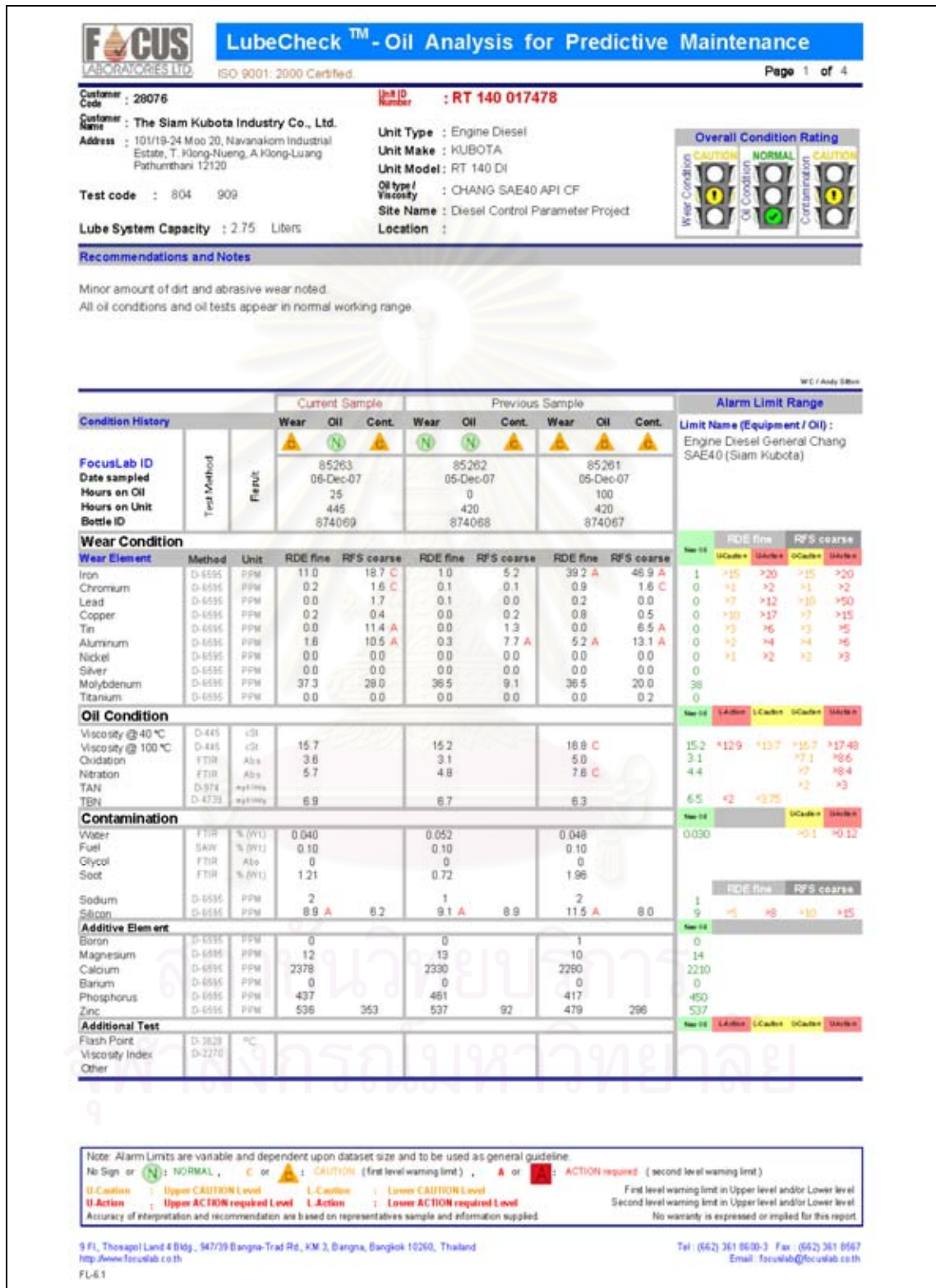
Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape  
 Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.

%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., Thosaporn Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61


Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-18 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 445





รูปที่ ฉ-19 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 445 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 2 of 4

---

**Customer Code** : 26076

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

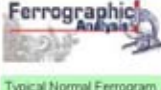
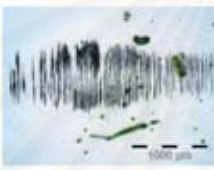


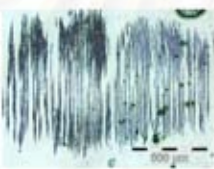


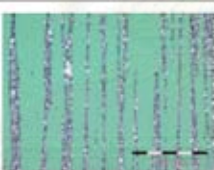


**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :



---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	85263	85262	85261	85261	
<b>Date sampled</b>	06-Dec-07	05-Dec-07	05-Dec-07	05-Dec-07	 <p>Typical Normal Ferrogram</p>
<b>Hours on Oil</b>	25	0	100	100	
<b>Hours on Unit</b>	445	420	420	420	
<b>Bottle ID</b>	874069	874068	874067	874067	
<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 1			Previous Sample 2		
	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	90	2-3	F	90	2-3	F	15	2-3	F
Fatigue Wear				5	10-20		50	20-100	F
Fatigue Sphere							5	20-50	F
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides							20	20-80	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	10	10-50	C	5	20-50	C	10	10-100	C

**Recommendations and Notes**

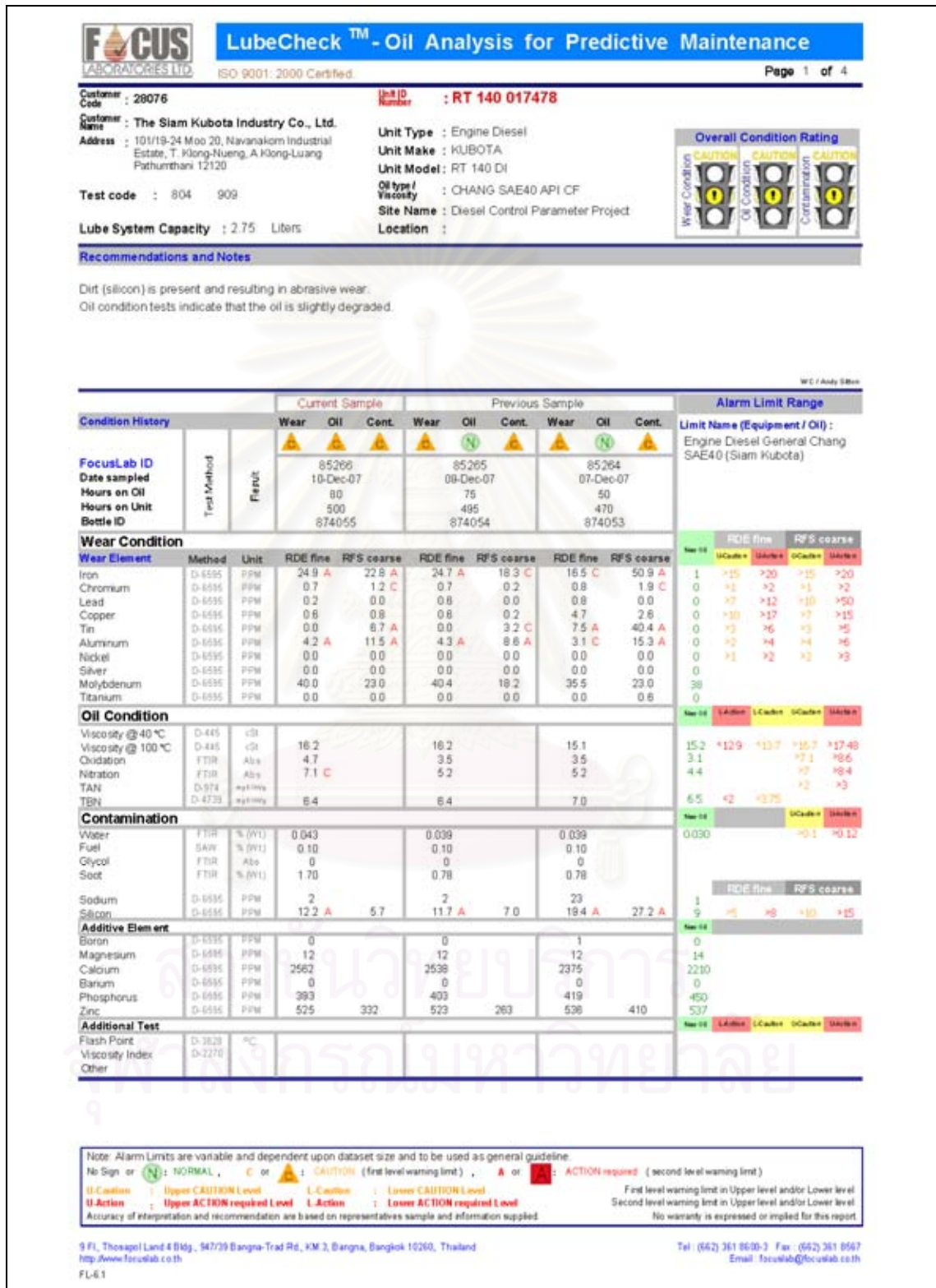
Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape  
 Minor amount of dirt and abrasive wear noted.

%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., Thosaporn Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-20 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 470 ถึง 500



รูปที่ ฉ-21 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล  
 ชั่วโมงการทำงานที่ 470 ถึง 500 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 2 of 4

---

**Customer Code** : 26076

**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** : 804 909

**Lube System Capacity** : 2.75 Liters

**Unit ID Number** : RT 140 017478

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

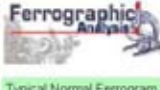
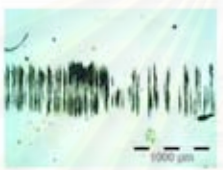






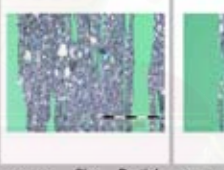

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Diesel Control Parameter Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**  
 Wear Condition: CAUTION (1)  
 Oil Condition: CAUTION (1)  
 Contamination: CAUTION (1)

---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	85266	85265	85264	85264	
<b>FocusLab ID</b>	85266	85265	85264	85264	 <p>Typical Normal Ferrogram</p>
<b>Date sampled</b>	10-Dec-07	09-Dec-07	07-Dec-07	07-Dec-07	
<b>Hours on Oil</b>	80	75	50	50	
<b>Bottle ID</b>	874055	874054	874053	874053	
<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 1			Previous Sample 2		
	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	90	2-3	F	90	2-3	F	50	2-3	F
Fatigue Wear							10	20-50	F
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear							20	20-30	F
Black Oxides									
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	10	10-50	C	10	10-50	C	20	10-50	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., Thosaporn Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th



รูปที่ ฉ-22 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0



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 TJ001

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Biodiesel 2 Project

**Location** :

Overall Condition Rating

Wear Condition <b>NORMAL</b>	Oil Condition <b>NORMAL</b>	Contamination <b>NORMAL</b>
---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

---

**Recommendations and Notes**  
( Biodiesel Durability : 0 hr )  
Note some test values are near to the Alarm Limits, or slightly over the Alarm Limits, but are not considered serious at this time.  
All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.

WC / Andy Sitt

Condition History	Test Method	Result	Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range			
			Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.		Wear	Oil	Cont.
			N	N	N	A	N	A		N	N	N
FocusLab ID			87147			85268			85267	Limit Name (Equipment / Oil) : Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)		
Date sampled			15-Jan-08			08-Dec-07			08-Dec-07			
Hours on Oil			0			20			0			
Hours on Unit			0			0			-20			
Bottle ID			874057			874056			874052			

Wear Element	Method	Unit	RDE fine		RFS coarse		RDE fine	RFS coarse	RDE fine	RFS coarse	New Oil	U-Action		L-Action	
			U-Action	L-Action	U-Action	L-Action						U-Action	L-Action		
Iron	D-6595	PPM	0.9	0.9	19.3	19.0	1.5	3.7	1	1	>15	>20	>15	>20	
Chromium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.5	2.6	0.4	0.3	0	0	>1	>2	>1	>2	
Lead	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0	0	>7	>12	>10	>50	
Copper	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.5	0.4	0.1	0.2	0	0	>10	>17	>7	>15	
Tin	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	15.3	0.0	1.5	0	0	>3	>6	>3	>5	
Aluminum	D-6595	PPM	0.2	0.0	3.2	12.1	0.7	0.1	0	0	>2	>4	>4	>6	
Nickel	D-6595	PPM	0.2	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	1	0	>1	>2	>2	>3	
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0	0					
Molybdenum	D-6595	PPM	37.1	0.3	39.6	27.7	36.1	9.1	34	0					
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.1	0	0					

Oil Condition	Method	Unit	RDE fine		RFS coarse		RDE fine	RFS coarse	New Oil	U-Action		L-Action	
			U-Action	L-Action	U-Action	L-Action							
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	154.8				15.0	15.0	158.0				
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	14.9			15.9	15.0	15.0	15.1	>12.8	>13.6	>16.6	>17.4
Oxidation	F719	Abn	3.0			4.1	3.0	3.0	3.0			>2.0	>3.0
Nitration	F719	Abn	4.8			6.4	4.7	4.7	4.7			>7	>6.4
TAN	D-974	mg/100g	0.90						100			>2	>3
TBN	D-4739	mg/100g	7.5			6.8	8.6	8.6	7.5	>2	>3.75		

Contamination	Method	Unit	RDE fine		RFS coarse		RDE fine	RFS coarse	New Oil	U-Action		L-Action	
			U-Action	L-Action	U-Action	L-Action							
Water	F719	% (Wt)	0.065			0.041	0.053	0.053	0.020			>0.1	>0.12
Fuel	SAW	% (Wt)	0.10			0.10	0.10	0.10					
Glycol	F719	Abn	0			0	0	0					
Soot	F719	% (Wt)	0.75			1.47	0.71	0.71					

Additive Element	Method	Unit	RDE fine		RFS coarse		RDE fine	RFS coarse	New Oil	U-Action		L-Action	
			U-Action	L-Action	U-Action	L-Action							
Boron	D-6595	PPM	0			0	0	0	0				
Magnesium	D-6595	PPM	12			11	12	12	12				
Calcium	D-6595	PPM	2296			2412	2344	2344	2267				
Barium	D-6595	PPM	0			0	0	0	0				
Phosphorus	D-6595	PPM	452			405	416	416	409				
Zinc	D-6595	PPM	519			86	375	527	104	515			

Additional Test	Method	Unit	RDE fine		RFS coarse		RDE fine	RFS coarse	New Oil	U-Action		L-Action	
			U-Action	L-Action	U-Action	L-Action							
Flash Point	D-3828	°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-Action**: Upper CAUTION Level, **L-Action**: 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  
 No warranty is expressed or implied for this report.  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied.

9 Fl., Theopol Land 4 Bldg., 347/29 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-6.1

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-23 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 3 of 7

---

**Customer Code** : 26076

**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 TJ001

**Unit Type** : Engine Diesel

**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI





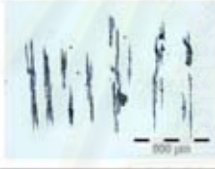





**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Biodiesel 2 Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**  
 Wear Condition: NORMAL  
 Oil Condition: NORMAL  
 Contamination: NORMAL

---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	87147	85268	85267	85267	
<b>FocusLab ID</b>	87147	85268	85267	85267	 <p>Typical Normal Ferrogram.</p>
<b>Date sampled</b>	15-Jan-08	09-Dec-07	06-Dec-07	06-Dec-07	
<b>Hours on Oil</b>	0	20	0	0	
<b>Hours on Unit</b>	0	0	-20	-20	
<b>Bottle ID</b>	874057	874056	874052	874052	
<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	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	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	70	2-3	F
Fatigue Wear				10	20-50	F			
Fatigue Sphere							10	10-30	F
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides									
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	10	10-20	C	10	10-50	C	20	10-200	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., Thosapoli Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-24 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 10 ถึง 55



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, Navanokorn Industrial Estate, T. Klong-Nueang, A. Klong-Luang Pathumthani 12120

**Test code :** 804 90400 90700 90900 91400

**Lube System Capacity :** 2.75 Liters

**Unit ID Number :** RT 140 TJ001

**Unit Type :** Engine Diesel


**Unit Make :** KUBOTA

**Unit Model :** RT 140 DI

**Oil type/Viscosity :** CHANG SAE-10 API CF

**Site Name :** Biodiesel 2 Project

**Location :**



---

**Recommendations and Notes**  
( Biodiesel Durability : 55 hrs )  
Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
Note : FTIR Peak for more information.

WC / Ando Siron

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range			
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	
<b>FocusLab ID</b>											
<b>Date sampled</b>											
<b>Hours on Oil</b>											
<b>Hours on Unit</b>											
<b>Bottle ID</b>											
		87150			87149			87148			
		18-Jan-08			16-Jan-08			15-Jan-08			
		55			25			10			
		55			25			10			
		874048			874047			874046			

---

Wear Element	Method	Unit	RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse	
			U-Action	L-Action	U-Action	L-Action	U-Action	L-Action	U-Action	L-Action	U-Action	L-Action		
Iron	D-6595	PPM	45.9 A	144.9 A	17.5 C	40.8 A	8.1	18.4 C	1	>15	>20	>15	>20	
Chromium	D-6595	PPM	1.0	1.2 C	0.4	0.5	0.2	0.0	0	>1	>2	>1	>2	
Lead	D-6595	PPM	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	>7	>12	>10	>10	
Copper	D-6595	PPM	1.9	0.2	1.0	1.0	0.5	0.2	0	>10	>17	>7	>15	
Tin	D-6595	PPM	0.5	9.7 A	0.0	3.3 C	0.0	0.6	0	>3	>6	>3	>5	
Aluminum	D-6595	PPM	3.8 C	17.9 A	1.6	5.8 C	0.5	0.0	0	>2	>4	>4	>6	
Nickel	D-6595	PPM	0.6	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	1	>1	>2	>2	>3	
Silver	D-6595	PPM	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0					
Molybdenum	D-6595	PPM	38.9	13.4	37.4	10.0	37.1	5.7	34					
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.1	0					

---

Oil Condition		Viscosity @ 40 °C		Viscosity @ 100 °C		Oxidation		Nitration		TAN		TBN	
Viscosity @ 40 °C	D-445	CS	137.0	144.9	151.5								
Viscosity @ 100 °C	D-445	CS	14.2	14.6	15.0								
Oxidation	FTIR	Abn	14.9	9.0	5.1								
Nitration	FTIR	Abn	5.8	5.5	5.1								
TAN	D-6174	wt/wtg	1.68	1.51	1.23								
TBN	D-6729	wt/wtg	6.6	7.1	7.3								

---

Contamination		Water		Fuel		Glycol		Soot	
Water	FTIR	% (Wt.)	0.054	0.055	0.051				
Fuel	SAN	% (Wt.)	0.10	0.10	0.10				
Glycol	FTIR	Abn	0	0	0				
Soot	FTIR	% (Wt.)	0.81	0.78	0.76				

---

Additive Element		Sodium		Silicon	
Sodium	D-6595	PPM	10	7	4
Silicon	D-6595	PPM	10.7 A	21.8 A	8.7 A 6.7 8.2 A 15

---

Additional Test		Flash Point		Viscosity Index		Other	
Flash Point	D-3028	°C					
Viscosity Index	D-2270						
Other							

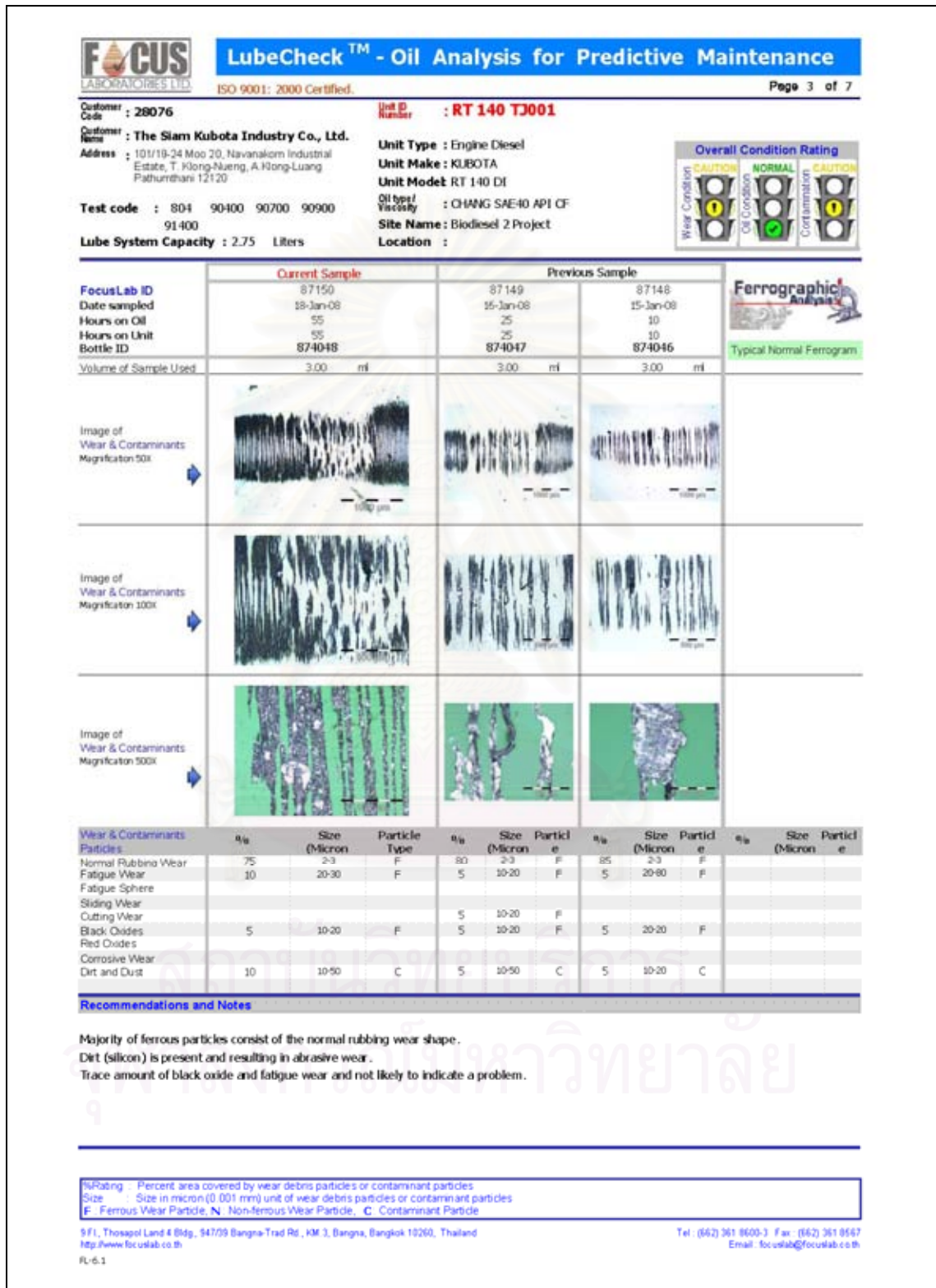
Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or (N): NORMAL, C or (A): CAUTION (first level warning limit), A or (R): ACTION required (second level warning limit)  
 U-Action: Upper CAUTION Level, L-Action: Lower CAUTION Level, First 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 representatives sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.

9/1, Thosapol Land 4 Bldg, 347/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.foculab.co.th  
 FL-6.1


Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 9567  
 Email: foculab@foculab.co.th



รูปที่ ฉ-25 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 10 ถึง 55 (ต่อ)



รูปที่ ฉ-26 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 75 ถึง 110



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 TJ001

**Unit Type** : Engine Diesel




**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Biodiesel 2 Project

**Location** :

**Overall Condition Rating**  




---

**Recommendations and Notes**  
 ( Biodiesel Durability : 100 hrs )  
 Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
 Oil condition tests indicate that the oil is slightly degraded.  
 Note : FT IR Peak for more information.

---

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	
FocusLab ID	87153				87152			Limit Name (Equipment / Oil) : Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)
Date sampled	22-Jan-08				21-Jan-08			
Hours on Oil	110				100			
Hours on Unit	110				100			
Bottle ID	867392				874050			

---

Wear Condition		RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse		
Wear Element	Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit		
Iron	D-6595	PPM	69.5	A	34.8	A	68.8	A	47.2	A	56.7	A	65.3	A
Chromium	D-6595	PPM	1.1	C	0.0		0.7		0.0		0.8		0.4	
Lead	D-6595	PPM	0.8		0.0		0.3		0.0		0.3		0.0	
Copper	D-6595	PPM	3.5		0.3		3.2		0.5		2.5		0.5	
Tin	D-6595	PPM	2.3		2.9		1.1		2.0		0.2		4.9	C
Aluminum	D-6595	PPM	6.4	A	10.4	A	5.9	A	11.0	A	4.7	A	13.8	A
Nickel	D-6595	PPM	0.8		0.0		0.1		0.0		0.4		0.0	
Silver	D-6595	PPM	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	
Molybdenum	D-6595	PPM	36.1		8.7		36.0		0.0		37.0		8.7	
Titanium	D-6595	PPM	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0		0.1	

---

Oil Condition		Viscosity @ 40 °C		Viscosity @ 100 °C		Oxidation		Nitration		TAN		TBN	
Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	126.4		127.2		131.8		158.1		158.1		158.1
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	13.5	C	13.7		13.9		15.1		12.8		13.6
Oxidation	FTIR	Abn	22.5	C	21.5		18.2		3.0		12.8		13.6
Nitration	FTIR	Abn	6.3		6.2		6.0		4.7		7.2		7.8
TAN	D-974	mg/100g	2.06	C	1.88		1.76		100		7.5		7.5
TBN	D-4733	mg/100g	6.2		6.4		6.5		7.5		7.5		7.5

---

Contamination		Water		Fuel		Glycol		Soot	
Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit
Water	FTIR	% (Wt)	0.054		0.054		0.055		0.020
Fuel	SAW	% (Wt)	0.10		0.10		0.10		
Glycol	FTIR	Abn	0		0		0		
Soot	FTIR	% (Wt)	0.87		0.87		0.85		

---

Additive Element		Sodium		Silicon	
Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit
Sodium	D-6595	PPM	14		11
Silicon	D-6595	PPM	12.6	A	5.0

---

Additional Test		Flash Point		Viscosity Index		Other	
Method	Unit	Value	Limit	Value	Limit	Value	Limit
Flash Point	D-3828	°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.

9 Fl., Thesapol Land 4 Bldg., 347/29 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-6.1

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th



รูปที่ ฉ-27 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 75 ถึง 110 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 3 of 7

---

**Customer Code** : 26076

**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 TJ001

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI


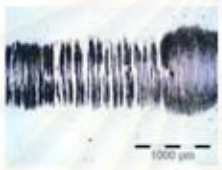








**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Biodiesel 2 Project

**Location** :



---

FocusLab ID	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	87153	87152	87151	87151	
<b>Date sampled</b>	22-Jan-08	21-Jan-08	19-Jan-08	19-Jan-08	 <p>Typical Normal Ferrogram.</p>
<b>Hours on Oil</b>	110	100	75	75	
<b>Hours on Unit</b>	110	100	75	75	
<b>Bottle ID</b>	867392	874050	874049	874049	
<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	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%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	75	2-3	F			
Fatigue Wear	10	20-80	F	10	20-100	F	10	10-20	F			
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear	5	20-50	F									
Black Oxides	5	10-20	F	10	10-20	F	5	10-20	F			
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	10	10-80	C	10	10-150	C	10	10-30	C			

**Recommendations and Notes**


Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape  
 Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
 Cutting wear indicates abnormal wear mode in progress. Suspect it is from abrasive wear (dirt)

%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., Thosapoli Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-28 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 160



**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 TJ001

**Unit Type :** Engine Diesel


**Unit Make :** KUBOTA

**Unit Model :** RT 140 DI

**Oil type / Viscosity :** CHANG SAE-40 API CF

**Site Name :** Biodiesel 2 Project

**Location :**



---

**Recommendations and Notes**  
( Biodiesel Durability : 160 hrs )  
Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.

KS / Andy Sittan

Condition History		Current Sample			Previous Sample			Alarm Limit Range					
		Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.	Wear	Oil	Cont.			
<b>FocusLab ID</b>	Test Method												
Date sampled	Perut												
Hours on Oil													
Hours on Unit													
Bottle ID													
		87463			87462			87154	Limit Name (Equipment / Oil): Engine Diesel Kubota Chang 40 (SK)				
		25-Jan-08			23-Jan-08			22-Jan-08					
		50			25			0					
		160			135			110					
		867395			867394			867393					

Wear Condition		RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse		RDE fine		RFS coarse	
Wear Element	Method	Unit											
Iron	D-6505	PPM	29.5	A	136.9	A	15.7	C	78.0	A	1.0	2.2	
Chromium	D-6505	PPM	0.2		0.9		0.3		1.0		0.0	0.0	
Lead	D-6505	PPM	0.0		0.0		0.4		0.7		0.0	0.0	
Copper	D-6505	PPM	1.0		1.9		0.5		1.4		0.0	0.0	
Tin	D-6505	PPM	0.0		9.3	A	0.0		8.2	A	0.0	0.0	
Aluminum	D-6505	PPM	3.7	C	23.0	A	1.8		15.3	A	0.0	0.0	
Nickel	D-6505	PPM	0.0		0.1		0.2		1.1		0.0	0.0	
Silver	D-6505	PPM	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	0.0	
Molybdenum	D-6505	PPM	41.3		18.3		43.1		12.6		41.3	0.0	
Titanium	D-6505	PPM	0.0		0.8		0.0		0.5		0.0	0.0	

Oil Condition		Viscosity @ 40 °C		Viscosity @ 100 °C		Oxidation		Nitration		TAN		TBN	
Method	Unit												
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt	140.8		147.5		158.3						
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	14.5		14.9		15.2						
Oxidation	FTIR	Abx	12.9		8.9		3.4						
Nitration	FTIR	Abx	5.7		5.5		5.0						
TAN	D-0794	mg/100g	1.25		0.96		1.07						
TBN	D-4739	mg/100g	7.8		7.9		7.7						

Contamination		Water		Fuel		Glycol		Soot	
Method	Unit								
Water	FTIR	% (wt.)	0.054		0.056		0.059		
Fuel	SARV	% (wt.)	0.30		0.30		0.30		
Glycol	FTIR	Abx	0		0		0		
Soot	FTIR	% (wt.)	0.79		0.77		0.75		

Additive Element		Sodium		Silicon		
Method	Unit					
Sodium	D-6505	PPM	4		2	
Silicon	D-6505	PPM	12.1	A	37.3	A

Additional Test		Flash Point		Viscosity Index		Other	
Method	Unit						
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, 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.

9/1, Thosapol Land 4 Bldg, 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-6.1

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-29 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 160 (ต่อ)



**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 TJ001

**Unit Type :** Engine Diesel


**Unit Make :** KUBOTA

**Unit Model :** RT 140 DI


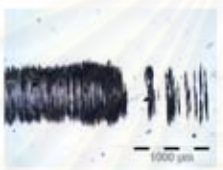


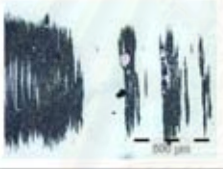





**Oil type / Viscosity :** CHANG SAE40 API CF

**Site Name :** Biodiesel 2 Project

**Location :**



---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	87463	87462	87154		
FocusLab ID	87463	87462	87154		 <p>Typical Normal Ferrogram</p>
Date sampled	25-Jan-08	23-Jan-08	22-Jan-08		
Hours on Oil	50	25	0		
Hours on Unit	160	135	110		
Bottle ID	867395	867394	867393		
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					

Wear & Contaminants Particles	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle	%Rating	Size (Micron)	Particle	%Rating	Size (Micron)	Particle
Normal Rubbing Wear	70	2-3	F	60	2-3	F	90	2-3	F			
Fatigue Wear	10	20-80	F	20	20-60	F						
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear												
Black Oxides	5	10-20	F	10	10-20	F						
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	15	10-80	C	10	10-100	C	10	10-20	C			

**Recommendations and Notes**

Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
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

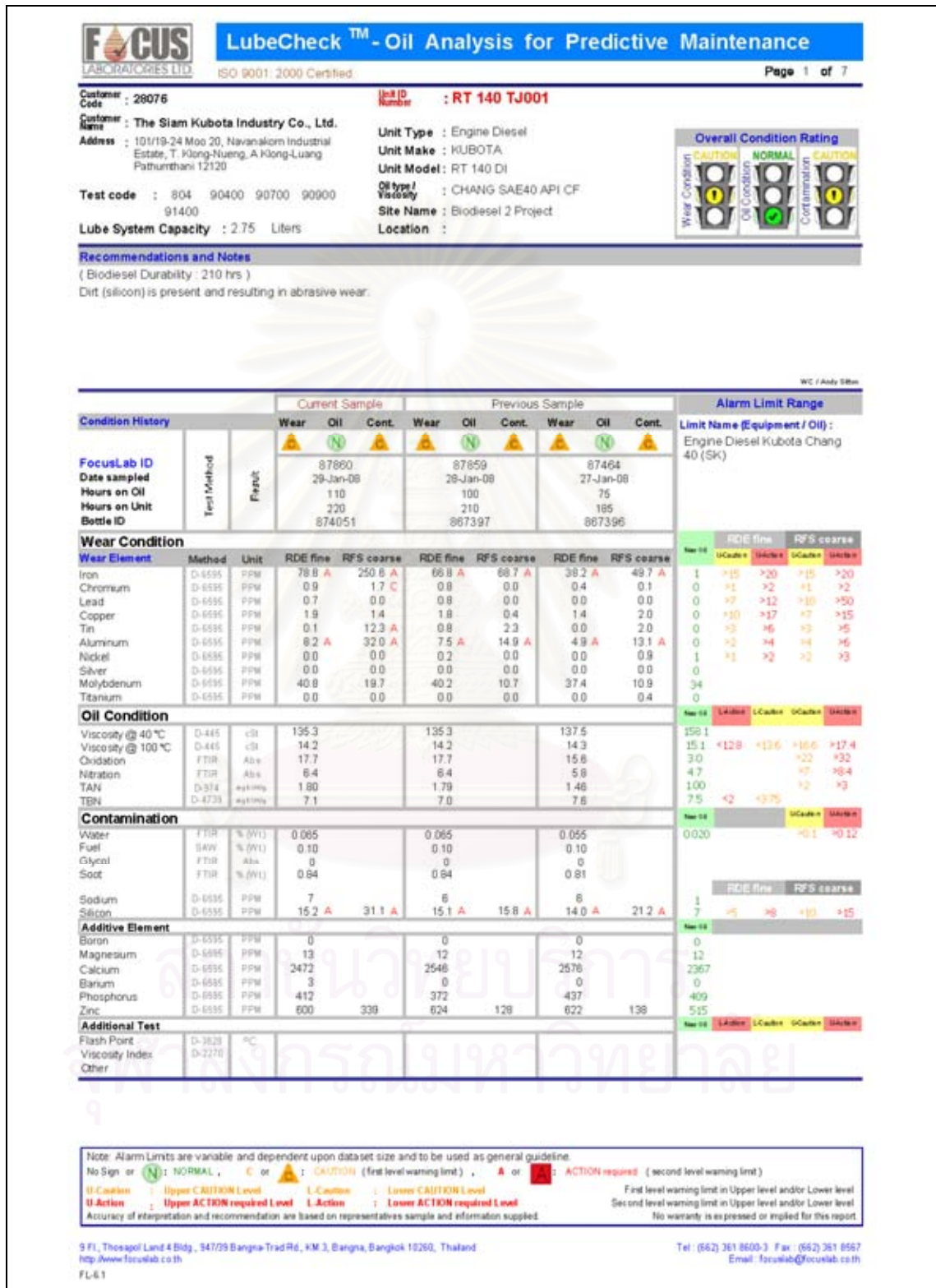
9/F1, Thosagol Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th


PL-6.1



รูปที่ ฉ-30 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 185 ถึง 220



รูปที่ ฉ-31 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 185 ถึง 220 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 26076

**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 TJ001

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

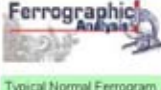
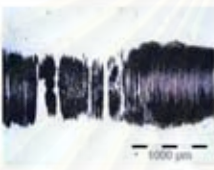
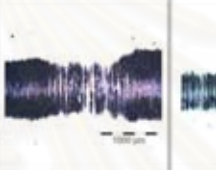




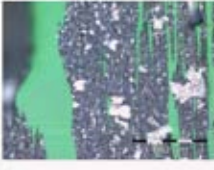


**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Biodiesel 2 Project

**Location** :



---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	87960	87859	87464	87464	
<b>FocusLab ID</b>	87960	87859	87464	87464	 <p>Typical Normal Ferrogram.</p>
<b>Date sampled</b>	29-Jan-08	28-Jan-08	27-Jan-08	27-Jan-08	
<b>Hours on Oil</b>	110	100	75	75	
<b>Hours on Unit</b>	220	210	185	185	
<b>Bottle ID</b>	874051	867397	867396	867396	
<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	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	Current Sample			Previous Sample		
				%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	60	2-3	F	80	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear	20	20-30	F	20	20-80	F	10	10-50	F
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides	10	10-20	F	10	10-20	F	10	5-10	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	10	10-50	C	10	10-50	C	10	10-50	C

**Recommendations and Notes**

Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape  
 Moderate amount of black oxide and fatigue wear.

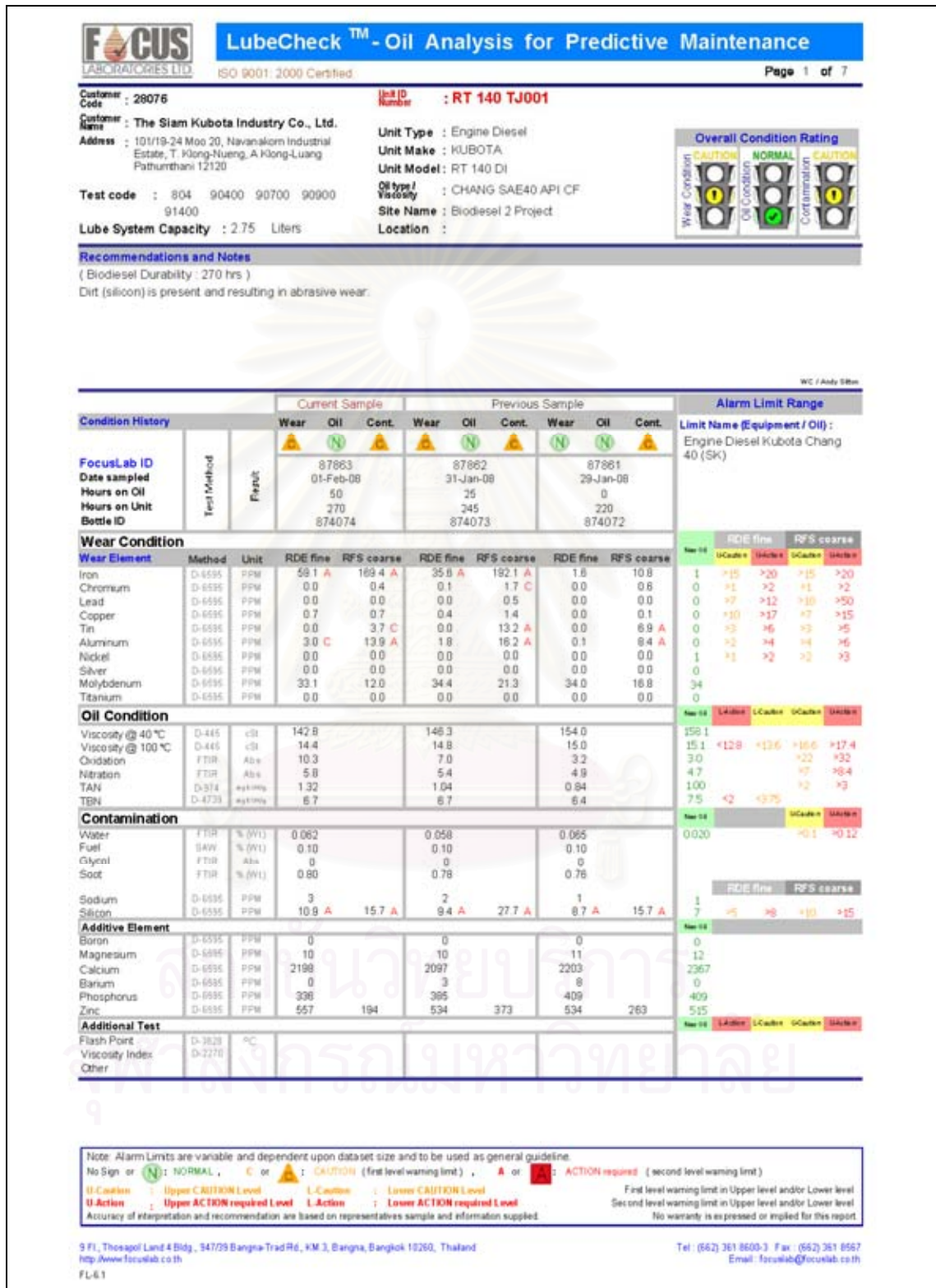
%Rating : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
 Size : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
 F : Ferrous Wear Particle, N : Non-ferrous Wear Particle, C : Contaminant Particle

9 Fl., Thosapoli Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61


Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th



รูปที่ ฉ-32 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 270



ปีที่ ๓-33 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 270 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 26076

**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 TJ001

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

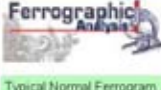

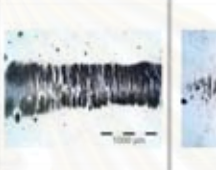



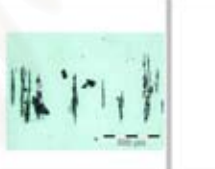

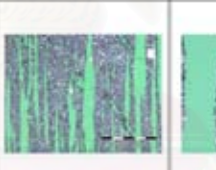

**Oil type / Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Biodiesel 2 Project

**Location** :



---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	87963	87862	87861	87861	
<b>FocusLab ID</b>	87963	87862	87861	87861	 <p>Typical Normal Ferrogram.</p>
<b>Date sampled</b>	01-Feb-08	31-Jan-08	29-Jan-08	29-Jan-08	
<b>Hours on Oil</b>	50	25	0	0	
<b>Hours on Unit</b>	270	245	220	220	
<b>Bottle ID</b>	874074	874073	874072	874072	
<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	50	2-3	F	90	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear	20	20-100	F				10	20-30	
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides	10	20-30	F				10	20-50	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	20	10-50	C	10	10-20	C	10	10-20	C

**Recommendations and Notes**

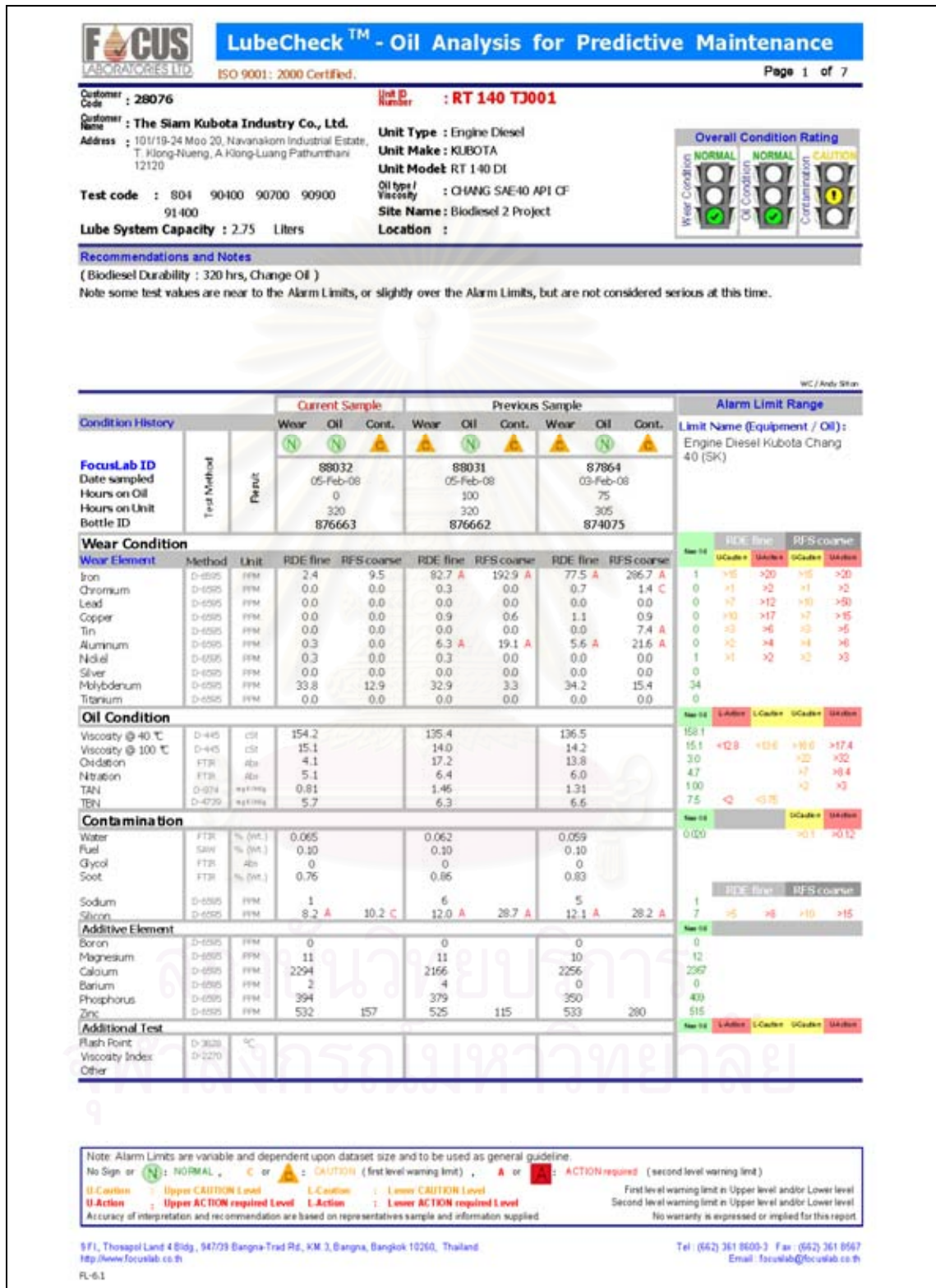
Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
Moderate amount of black oxide and fatigue wear.

%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., Thosapoli Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
http://www.focuslab.co.th  
FL-61


Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-34 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 295 ถึง 320





รูปที่ ฉ-35 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 295 ถึง 320 (ต่อ)



**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 TJ001

**Unit Type :** Engine Diesel


**Unit Make :** KUBOTA

**Unit Model :** RT 140 DI



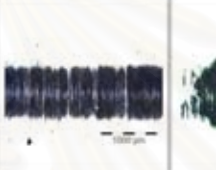


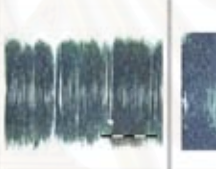


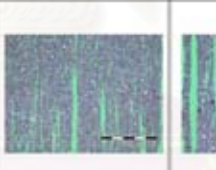

**Oil type / Viscosity :** CHANG SAE40 API CF

**Site Name :** Biodiesel 2 Project

**Location :**



---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	88032	88031	87864	874075	
FocusLab ID	88032	88031	87864	874075	 Typical Normal Ferrogram
Date sampled	05-Feb-08	05-Feb-08	03-Feb-08		
Hours on Oil	0	100	75		
Hours on Unit	320	320	305		
Bottle ID	876663	876662	874075		
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					

Wear & Contaminants Particles	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle	%Rating	Size (Micron)	Particle	%Rating	Size (Micron)	Particle
Normal Rubbing Wear	40	2-3	F	80	2-3	F	90	2-3	F			
Fatigue Wear	20	20-80	F									
Fatigue Sphere												
Sliding Wear												
Cutting Wear												
Black Oxides	30	10-50	F									
Red Oxides												
Corrosive Wear												
Dirt and Dust	10	10-50	C	20	10-20	C	10	10-20	C			

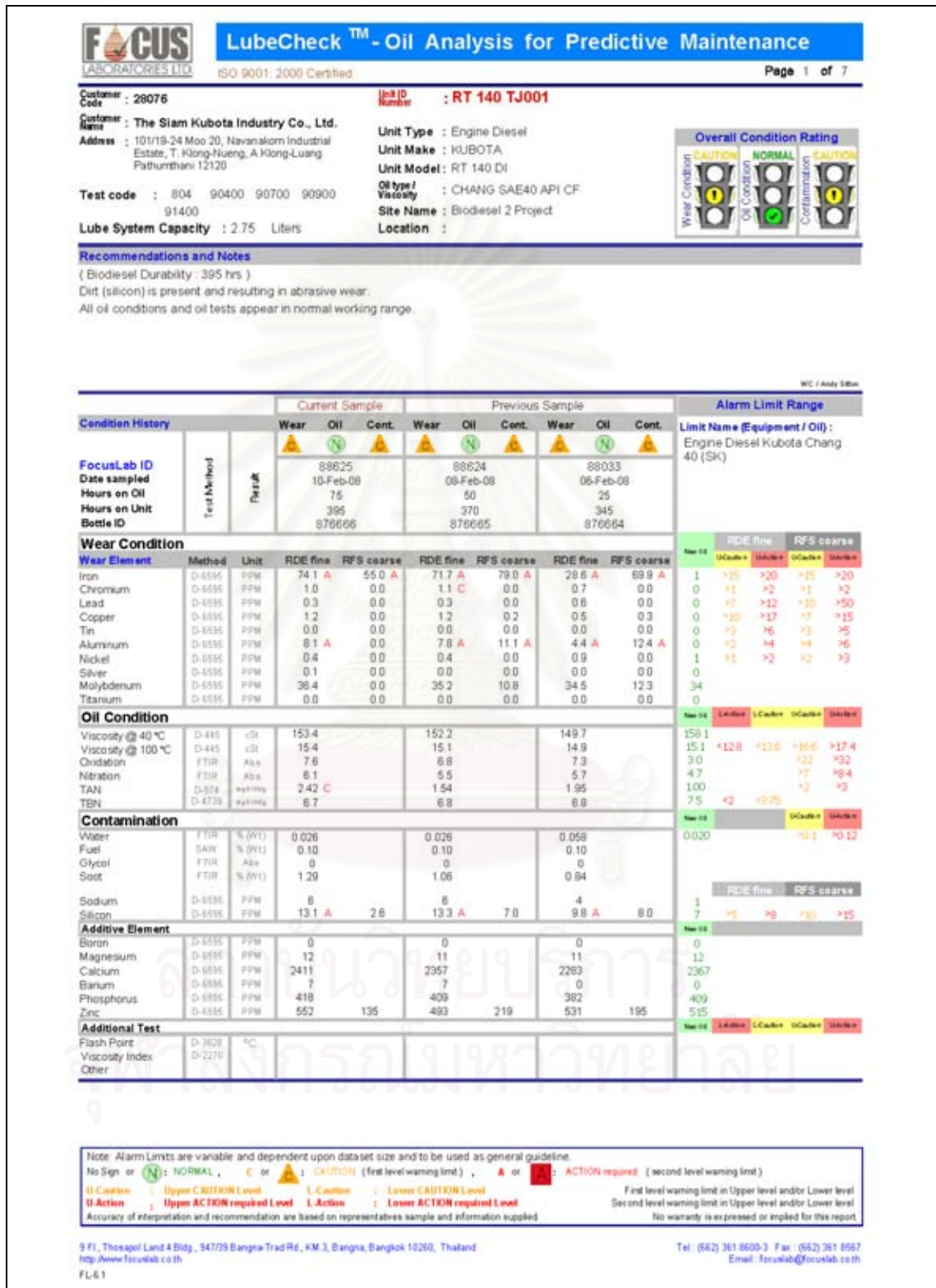
**Recommendations and Notes**

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/F1, Thosagol Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th  
 PL-6.1

รูปที่ ฉ-36 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 345 ถึง 395





รูปที่ ฉ-37 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 345 ถึง 395 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified








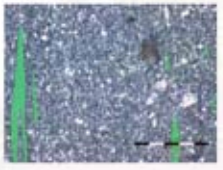
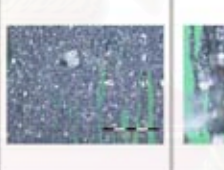

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 4 of 7

<p><b>Customer Code</b> : 26076</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> : 804 90400 90700 90900 91400</p> <p><b>Lube System Capacity</b> : 2.75 Liters</p>	<p><b>Unit ID Number</b> : RT 140 TJ001</p> <p><b>Unit Type</b> : Engine Diesel</p> <p><b>Unit Make</b> : KUBOTA</p> <p><b>Unit Model</b> : RT 140 DI</p> <p><b>Oil type / Viscosity</b> : CHANG SAE40 API CF</p> <p><b>Site Name</b> : Biodiesel 2 Project</p> <p><b>Location</b> :</p>
--	--

Overall Condition Rating

Wear Condition	Oil Condition	Contamination
CAUTION	NORMAL	CAUTION
⚠	✅	⚠

FocusLab ID	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	88625	88624	88033	88033	
Date sampled	10-Feb-08	08-Feb-08	08-Feb-08	08-Feb-08	 <p>Typical Normal Ferrogram.</p>
Hours on Oil	75	50	25	25	
Hours on Unit	395	370	345	345	
Bottle ID	876666	876665	876664	876664	
Volume of Sample Used	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	3.00 ml	
Image of Wear & Contaminants Magnification 50X					
Image of Wear & Contaminants Magnification 100X					
Image of Wear & Contaminants Magnification 500X					

Wear & Contaminants Particles	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	Current Sample			Previous Sample		
				%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	80	2-3	F	80	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear	10	10-20	F	10	10-20	F	10	10-20	F
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides	5	5-10	F	5	5-10	F	10	10-20	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	5	10-20	C	5	10-50	C	10	10-50	C

**Recommendations and Notes**

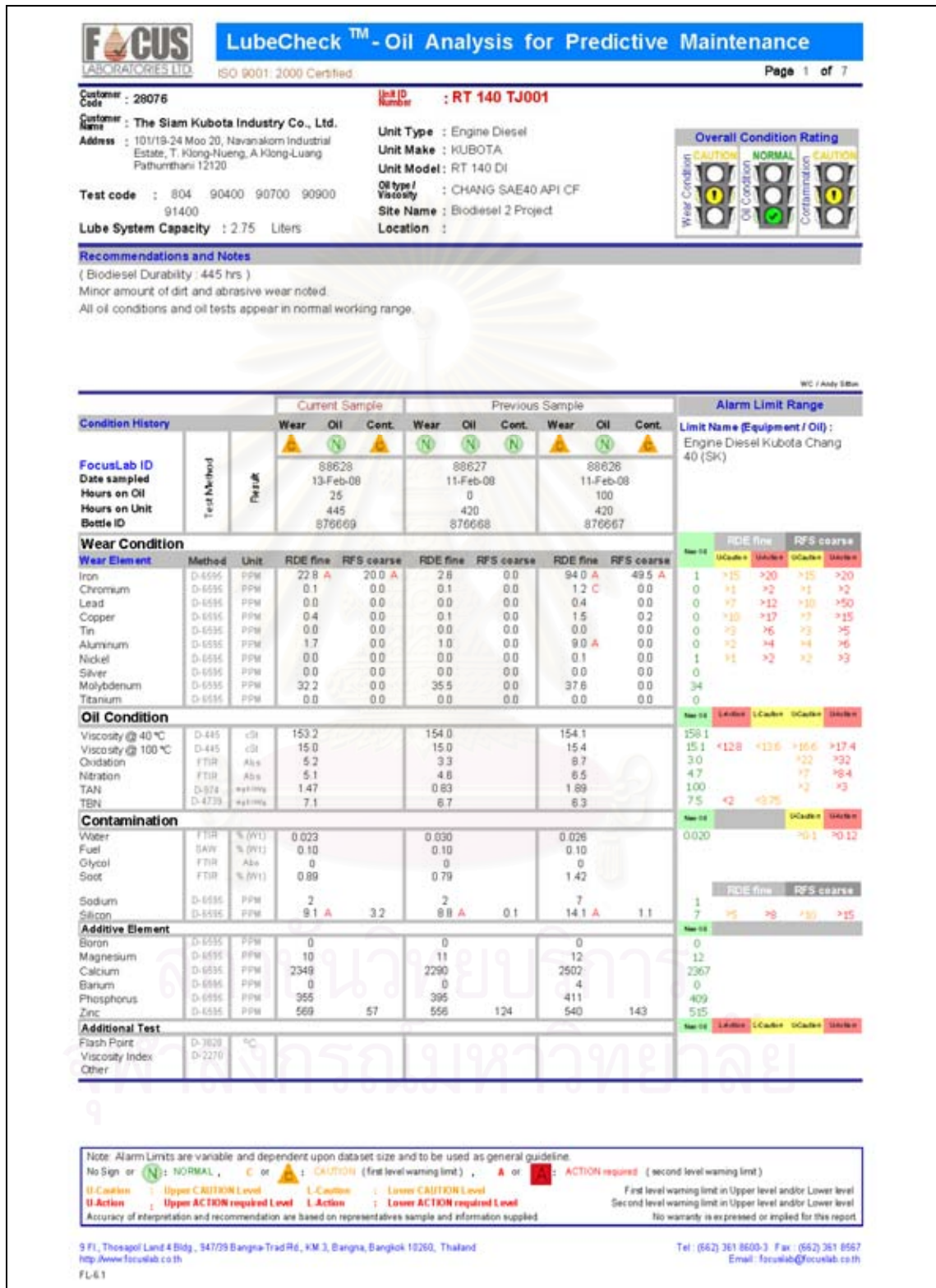
Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.  
Trace amount of black oxide and fatigue wear.

%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., Thosapoli Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th

รูปที่ ฉ-38 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 445



รูปที่ ฉ-39 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 420 ถึง 445 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 26076

**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 TJ001

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

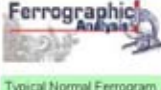






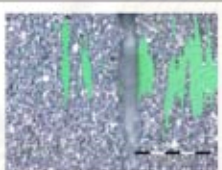

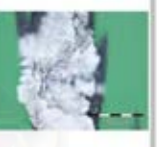
**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Biodiesel 2 Project

**Location** :



---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	88628	88627	88626	88626	
<b>Date sampled</b>	13-Feb-08	11-Feb-08	11-Feb-08	11-Feb-08	 <p>Typical Normal Ferrogram</p>
<b>Hours on Oil</b>	25	0	100	100	
<b>Hours on Unit</b>	445	420	420	420	
<b>Bottle ID</b>	876669	876668	876667	876667	
<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 1			Previous Sample 2		
	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type	%Rating	Size (Micron)	Particle Type
Normal Rubbing Wear	88	2-3	F	95	2-3	F	70	2-3	F
Fatigue Wear							10	10-300	F
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides							10	10-20	F
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	20	10-20	C	5	10-20	C	10	10-50	C

**Recommendations and Notes**

Majority of ferrous particles consist of the normal rubbing wear shape  
 Minor amount of dirt and abrasive wear noted.

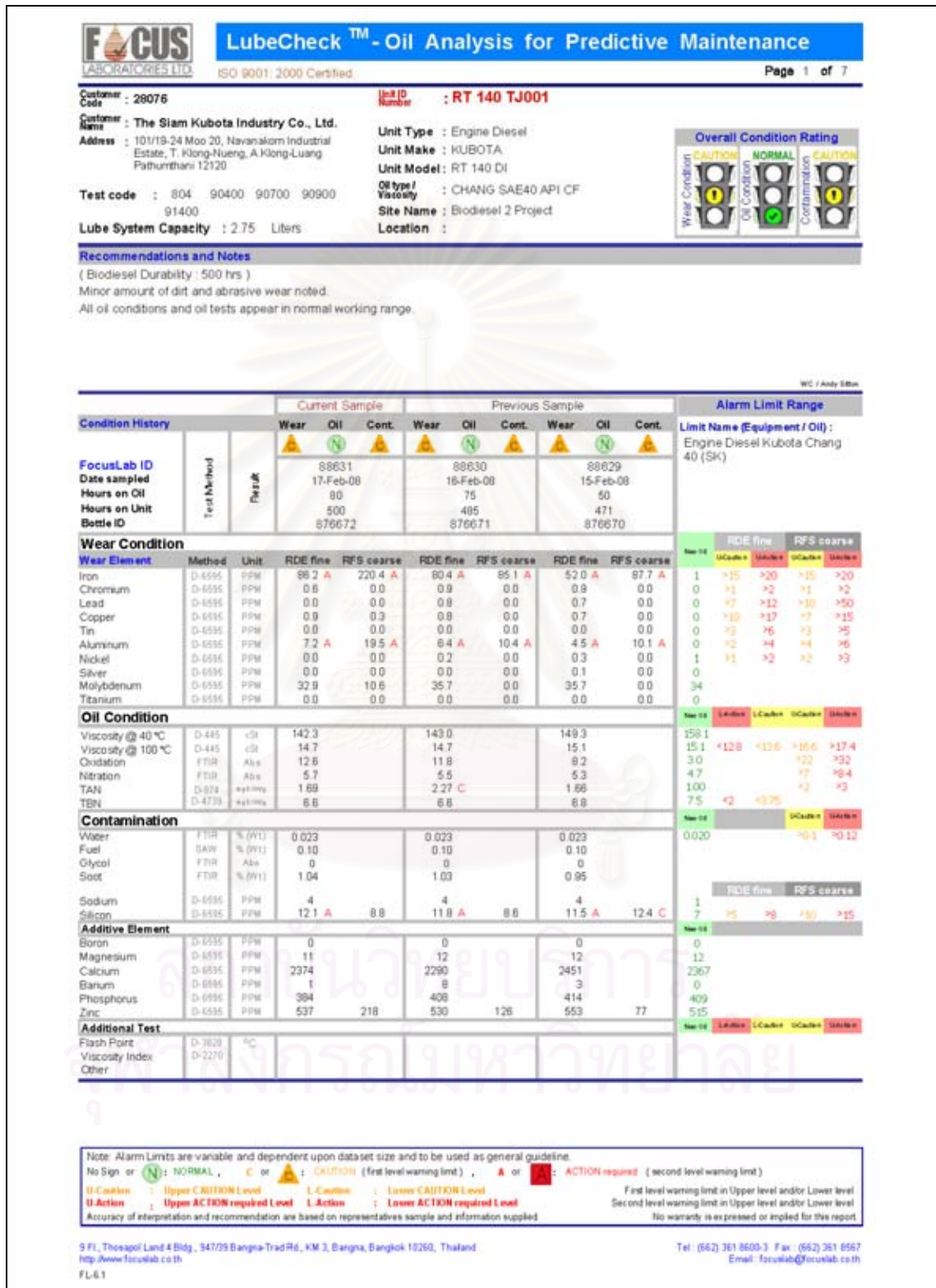
%Rating : Percent area covered by wear debris particles or contaminant particles  
 Size : Size in micron (0.001 mm) unit of wear debris particles or contaminant particles  
**F** Ferrous Wear Particle, **N** Non-ferrous Wear Particle, **C** Contaminant Particle

9 Fl., Thosapoli Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61


Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th



รูปที่ ฉ-40 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 470 ถึง 500



รูปที่ ฉ-41 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ชั่วโมงการทำงานที่ 470 ถึง 500 (ต่อ)



ISO 9001: 2000 Certified

**LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance**

Page 4 of 7

---

**Customer Code** : 26076

**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 TJ001

**Unit Type** : Engine Diesel


**Unit Make** : KUBOTA

**Unit Model** : RT 140 DI

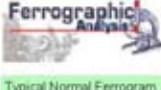
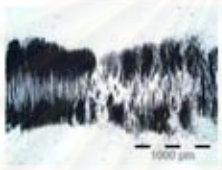
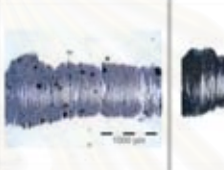

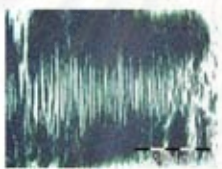
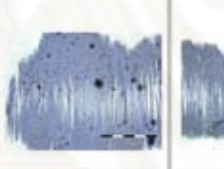

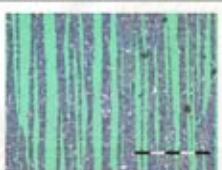
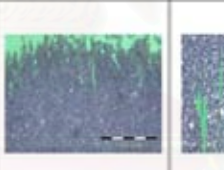

**Oil type/Viscosity** : CHANG SAE40 API CF

**Site Name** : Biodiesel 2 Project

**Location** :



---

	Current Sample		Previous Sample		Ferrographic Analysis
	88631	88630	88629		
<b>FocusLab ID</b>	88631	88630	88629		 <p>Typical Normal Ferrogram.</p>
<b>Date sampled</b>	17-Feb-08	16-Feb-08	15-Feb-08		
<b>Hours on Oil</b>	80	75	50		
<b>Hours on Unit</b>	500	495	471		
<b>Bottle ID</b>	876672	876671	876670		
<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>					

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	80	2-3	F
Fatigue Wear									
Fatigue Sphere									
Sliding Wear									
Cutting Wear									
Black Oxides				5	5-10	F			
Red Oxides									
Corrosive Wear									
Dirt and Dust	20	5-10	C	15	10-20	C	20	10-20	C

**Recommendations and Notes**

Minor amount of dirt and abrasive wear noted

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., Thosapoli Land 4 Bldg., 947/09 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand  
 http://www.focuslab.co.th  
 FL-61

Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567  
 Email: focuslab@focuslab.co.th



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอนันต์ จิตรานุกเคราะห์ เกิดเมื่อวันที่ 17 เดือน ธันวาคม พุทธศักราช 2525 ที่ อำเภอ บางรัก จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล (ยานยนต์) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีการศึกษา 2548 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีการศึกษา 2549 และสำเร็จการศึกษาในปี พุทธศักราช 2550



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย