ผลของการใช้น้ำมันปาล์มดีเซลในเครื่องยนต์ CI ขนาดเล็กที่ใช้ในการเกษตร

นายพิชญ์ ปริญญาจารย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5558-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21512218

EFFECTS OF USING PALM OIL BLENDING IN DIESEL FUEL FOR A SMALL AGRICULTURAL CI ENGINE

Mr.Pich Prinyachan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN 974-17-5558-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้น้ำมันปาล์มดีเซลในเครื่องยนต์ CI ขนาดเล็กที่ใช้ในการเกษตร
โดย	นายพิชญ์ ปริญญาจารย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สถาพร สุปรีชากร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉัตรชัย หงษ์อุเทน)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศุภวุฒิ จันทรานุวัฒน์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายพิชญ์ ปริญญาจารย์ : ผลของการใช้น้ำมันปาล์มดีเซลในเครื่องยนต์ CI ขนาดเล็กที่ใช้ในการเกษตร. (EFFECTS OF USING PALM OIL BLENDING IN DIESEL FUEL FOR A SMALL AGRICULTURAL CI ENGINE) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร, 280 หน้า. ISBN 974-17-5558-9

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าแบบหมุนวน โดยแบ่งการวิจัยออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนแรกทำการทดสอบเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันดีเซลที่ใช้ในงานวิจัย พบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่น้ำมันปาล์มดิบ 10% ซึ่งผ่านการอุ่นให้มีอุณหภูมิ 60°C ผสมกับน้ำมันดีเซล 90% ส่วนที่สองทำการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบที่สภาวะคงตัวที่ความเร็วรอบคงที่ระหว่างจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลและน้ำมันดีเซล ทั้งที่สภาวะภาระเต็มกำลังและที่สภาวะภาระบางส่วน ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ เมื่อนำมาปรับค่าเทียบกับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐาน พบว่าที่สภาวะเต็มกำลังแรงบิดเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย ค่า bsfc และค่าอุณหภูมิไอเสียที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าค่าจากการใช้น้ำมันดีเซล ค่าควันดำจากทั้งสองเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกันที่ช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ แต่ที่ช่วงความเร็วรอบสูงน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าควันดำที่สูงกว่า ส่วนที่สภาวะภาระบางส่วนพบว่าค่า bsfc ที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่า ค่าควันดำในช่วงแรงบิดต่ำมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงแรงบิดสูงค่าควันดำจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่า และค่าอุณหภูมิไอเสียใกล้เคียงกัน ส่วนที่สามทำการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์จากการใช้งานต่อเนื่องภายใต้ภาระจำลองเป็นเวลา 320 ชั่วโมง พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทานมีแรงบิดเบรกที่ลดลงชัดเจน bsfc มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ค่าควันดำมีค่าสูงขึ้นตามอายุการใช้งาน ผลจากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นพบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าเกินระดับการเตือนขั้นวิกฤตในชั่วโมงการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นที่ 100 และ 110 พบปริมาณโลหะตกค้างในน้ำมันหล่อลื่นสูงกว่าและมีค่าสูงเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้จุดสิ้นสุดอายุน้ำมันหล่อลื่น คือ 100 ชั่วโมงในทุกค่าที่ทำการตรวจวัด และพบปริมาณเหล็กและตะกั่วในปริมาณที่สูงมากเมื่อใช้งานเกินอายุ พบสภาพการสึกหรอในแบริ่งก้านสูบ ปริมาณเขม่าจับตัวหนาที่ปลายหัวฉีด คราบตะกอนสีแดงที่ฝาสูบในเครื่องยนต์ และปริมาณตะกอนในกระบอกไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากกว่าอีกด้วย

สรุปได้ว่าการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมาใช้งานต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นและทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นและทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงให้เร็วขึ้นเพื่อควบคุมการสึกหรอและตะกอนจากน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่อนิสิต.....พิชญ์ ปริญญาจารย์.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....คณิต วัฒนวิเชียร.....

ปีการศึกษา.....2546.....

4470437621 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

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

PICH PRINYACHAN : EFFECTS OF USING PALM OIL BLENDING IN DIESEL FUEL FO
A SMALL AGRICULTURAL CI ENGINE. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. KANI
WATTANAVICHIEN, Ph.D., 280 pp. ISBN: 974-17-5558-9.

In this study, the effect of using Crude Palm oil (CPO) diesel in a small swirl chambe diesel engine was studied which can be divided into three parts: First, to find the suitabl composition between crude palm oil and diesel, it was found that suitable proportion is CP 10%, heated to 60°C, blended with diesel 90%. Second, to compare the engine performance and smoke emissions between these two fuels either in full load condition or part load condition The results from the testing were corrected with respect to the standard ambient temperatur and pressure. It was found that in full load condition, maximum brake torque of CPO diesel slightly lower compared with that from diesel. BSFC and exhaust gas temperature from CP diesel is higher than that from the diesel. At low speed range, smoke value from both types fuels is similar but the value from CPO diesel is higher at high speed. In part load condition, th results showed that BSFC value is higher with CPO diesel. The smoke value in low brake torqu is similar but the value from CPO diesel is higher in high brake torque. The temperature exhausted gas from both fuel are not significantly different. And third, to investigate engin durability with the continuous simulated load for about 320 hours. It was found that with CP diesel, after durability test, brake torque value is reduced and BSFC value is increased. Smok value from CPO diesel is increased with the increasing engine's operation hours and highe than the value from the diesel engine. The result from the lube oil analyses are shown that, afte 100 and 110 hours of lube oil life, the viscosity of engine oil was higher beyond the critical limi It is also found higher amount of iron and lead in the lube oil that is increasing with lube operating period especially when it is beyond the recommended operating hours. Moreover th corrosion occurred at connecting rod bearing, carbon deposit stuck at the top of nozzle an red sludge was found on the cylinder head. The higher than normal of oil sediment was als found inside the oil filter.

The outcome of this study can be concluded that if CPO diesel is going to used in th small diesel engine, we have to change lubricant oil, clean oil filter and fuel filter more ofte than the usual standard period.

Department...Mechanical Engineering..... Student's signature.....Pich Prinyachan.....
Field of study...Mechanical Engineering..... Advisor's signature...Kanit Wattanavichien.
Academic year.....2003.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ ร่วมติดตามการทดสอบอย่างใกล้ชิดในทุกขั้นตอนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัทสยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด ที่เอื้อเฟื้อชิ้นส่วนและให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัย บริษัท ไซนย์ เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ อินทิเกรชั่น จำกัด ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการออกแบบและติดตั้งระบบชุดปั๊มน้ำที่ใช้ในงานวิจัย คุณธนันต์ สิริสิทธิโชติ ผู้จักการใหญ่ บริษัท โฟคัสแลบบอราทอรีส์ จำกัด ที่สละเวลาในการให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น ตลอดจนอำนวยความสะดวกระหว่างการตรวจวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

ขอขอบคุณ คุณวิรุตติ์ เกื้อกิตติวงศ์, คุณเทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์, คุณกาญจน์ ร่มพล, คุณวิสุทธ์ กวยรักษา, คุณจักรภพ นาคฤทธิ์, คุณพิสุทธิ์ ธนบดีภัทร์, คุณพรรณรพี ซิงห์, คุณอธิเชษฐ์ พันธุ์รักษ์ และรุ่นน้องที่ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์สันดาปภายในทุกคนที่ช่วยติดตั้งเครื่องยนต์และทำการทดสอบเครื่องยนต์และให้การช่วยเหลืออื่นๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณเสวย เกตุนาค เจ้าหน้าที่ประจำตึกปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ที่ช่วยให้คำแนะนำต่างๆ คุณถนอม อุดม และ คุณสุวัฒน์ ท่าดี ที่ช่วยในการทดสอบความทนทาน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้ผู้วิจัยยืมเครื่องมือและช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์ คำปรึกษา และกำลังใจเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญภาพ ..... ท

สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์ ..... ย

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 1

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม 4

2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 4

2.1.1 ปรากฏการณ์ของการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 4

2.1.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์ 7

2.1.3 แผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 8

2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล 12

2.2.1 เลขซีเทน (Cetane Number) 12

2.2.2 ค่าการระเหย (Volatility) 12

2.2.3 ความหนาแน่น (Density) 14

2.2.4 ความหนืด (Viscosity) 14

2.2.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity) 14

2.2.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล 15

หน้า

บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

2.2.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล 15
2.2.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content) 16
2.2.9 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content) 16
2.2.10 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content) 16
2.2.11 จุดวาบไฟ (Flash Point) 17
2.3 น้ำมันพืช 17
2.3.1 น้ำมันปาล์ม 18
2.3.2 การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบ 20
2.4 การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร 22
2.4.1 ประเภทของการเสื่อมสภาพ 22
2.4.1.1 การเสื่อมสภาพตามเวลา 22
2.4.1.2 การเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา 23
2.4.2 การจำแนกกลไกการสึกหรอ 24
2.4.2.1 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด 25
2.4.2.2 การสึกหรอแบบขูดขีด 26
2.4.2.3 การสึกหรอจากการล้าตัวของวัสดุ 27
2.4.2.4 การสึกหรอแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี 27
2.5 สารหล่อลื่น 28
2.5.1 คุณสมบัติที่สำคัญๆ ของสารหล่อลื่น 29
2.5.1.1 ความหนืด (Viscosity) 29
2.5.1.2 การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน 30
2.6 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 31
2.6.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์ 31
2.6.2 การทดสอบหาค่าความหนืด 32
2.6.3 ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN) 33
2.6.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรมิเตอร์ 33
2.6.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์โรกราฟฟี 34
2.6.5.1 การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ 36

หน้า

บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

2.6.5.2 การศึกษาอนุภาคการสึกหรอเชิงจุลภาค 36
2.6.5.3 ชนิดของอนุภาคการสึกหรอ 37
2.6.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR 42
2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล 45

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย 50
3.1 การทดสอบส่วนผสมของเชื้อเพลิง 51
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบส่วนผสม 51
3.1.1.1 เครื่องกวน 51
3.1.1.2 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 51
3.1.2 วิธีดำเนินการวิจัย 52
3.2 การทดสอบหาแผนภูมิสมรรถนะ 53
3.2.1 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบสมรรถนะ 54
3.2.1.1 เครื่องยนต์ 54
3.2.1.2 ไดนาโมมิเตอร์ 55
3.2.1.3 ระบบน้ำหล่อเย็น 56
3.2.1.4 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 58
3.2.1.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ 60
3.2.1.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 60
3.2.1.7 อุปกรณ์วัดความดัน 62
3.2.1.8 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ 62
3.2.1.9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ 63
3.2.2 วิธีการทดสอบสมรรถนะ 64
3.3 การทดสอบความทนทาน 66
3.3.1 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนทาน 67
3.3.1.1 ระบบปั๊มน้ำ 68
3.3.1.2 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ 69
3.3.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 70

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

3.3.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 71

3.3.1.5 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ 71

3.3.2 วิธีการทดสอบความทนทาน 72

3.4 การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น 75

3.5 การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น 78

บทที่ 4 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ 79

4.1 การทดสอบส่วนผสมของเชื้อเพลิง 79

4.2 การรูปแบบน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบ 84

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล 86

5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะ 86

5.1.1 ผลของแรงบิดเบรก(Brake Torque) กับ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรก (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุด 86

5.1.2 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion Efficiency) ที่สภาวะภาระสูงสุด 88

5.1.3 อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด 90

5.1.4 ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุด 92

5.1.5 แผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) 93

5.1.6 ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ความเร็วรอบคงที่ 96

5.1.7 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระบางส่วน 99

5.1.8 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ความเร็วรอบคงที่ 102

5.1.9 อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน 105

5.1.10 ค่าควันดำที่สภาวะภาระบางส่วน 107

5.2 ผลการทดสอบความทนทาน 109

5.2.1 ความดันทางด้านจ่ายของระบบปั๊มน้ำ 109

5.2.2 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 111

5.2.3 อุณหภูมิไอเสีย 113

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล (ต่อ)

5.2.4 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น 114
5.2.5 ค่าควันดำ 116
5.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น 117
5.3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นและปริมาณการปนเปื้อน 117
5.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะจากการสึกหรอ 121
5.3.3 ผลจากกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี 127
5.3.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่ง 133
5.4 ผลการทดสอบสมรรถนะภายหลังทดสอบความทนทาน 136
5.4.1 ผลของแรงบิดเบรก(brake Torque) กับ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุด 136
5.4.2 ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก 137
5.4.3 ค่าอุณหภูมิไอเสีย 139
5.4.4 ค่าควันดำ 140
5.5 ผลการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง 141
5.6 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วน 142
5.6.1 แบริ่งก้านสูบ 142
5.6.2 ลูกสูบ 143
5.6.3 ผนังกระบอกสูบ 147
5.6.4 ฝาสูบ 147
5.6.5 บ่าวาล์วไอดีและบ่าวาล์วไอเสียที่ฝาสูบ 150
5.6.6 วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย 150
5.6.7 หัวฉีด 150
5.7 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน 156

บทที่ 6 สรุปผล และข้อเสนอแนะ 158
6.1 สรุปผล 158

หน้า

บทที่ 6 สรุปผล และข้อเสนอแนะ (ต่อ)

6.1.1 เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลกับน้ำมันดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ IDI 158

6.1.2 เปรียบเทียบผลจากการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมาใช้ในเครื่องยนต์อย่างต่อเนื่องภายใต้ภาระจำลอง 159

6.1.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น 159

6.1.4 ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อชิ้นส่วนภายใน 160

6.1.5 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ 160

6.2 ข้อเสนอแนะ 161

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง 161

รายการอ้างอิง 162

บรรณานุกรม 165

ภาคผนวก 166

ภาคผนวก ก มาตรฐาน ISO 2046 ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ 167

ภาคผนวก ข การวัดอัตราการไหลของอากาศ 183

ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะ 187

ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการทดสอบความทนทาน 225

ภาคผนวก จ ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น 258

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 280

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2-1 คุณลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบ 19

2-2 ปริมาณกรดไขมันอิสระในการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน 21

2-3 แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสึกหรอจากวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลหะ และอโลหะอสัณฐาน....42

3-1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ 54

3-2 แสดงวัฏจักรที่ใช้ในการทดสอบ 72

3-3 แสดงระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น....77

4-1 ภาพแสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบ กับน้ำมันดีเซลอ้างอิงระหว่างการใช้อุณหภูมิการอุ่นปาล์มดิบก่อนการผสมที่ 40°C และ60°Cที่ส่วนผสมต่างๆ 80

4-2 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการเปรียบเทียบปริมาณไขและตะกอนที่เกิดขึ้นหลังเก็บน้ำมันเป็นเวลา 6 เดือนที่อุณหภูมิห้องระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ 40°C และ 60°C 82

4-3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ระหว่างน้ำมันดีเซลอ้างอิงกับน้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลอ้างอิง 84

5-1 แสดงค่าระดับการเตือนที่พบระหว่างการทดสอบความทนทาน 310 ชั่วโมง 123

5-2 ผลเฟอร์โรกราฟฟีของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 200 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง) 127

5-3 ผลเฟอร์โรกราฟฟีของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 200 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง)....129

5-4 ผลเฟอร์โรกราฟฟีของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 210 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง) 130

5-5 ผลเฟอร์โรกราฟฟีของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 210 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง)....132

5-6 แสดงข้อมูลความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิง 141

5-7 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ 156

5-8 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีด....156

5-9 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิง 157

ตาราง หน้า

ก-1 Numerical values for power adjustment 179

ข-1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิซโดยประมาณที่อัตราการไหลต่างๆ 184

ค-1 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1050 rev/min 188

ค-2 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1200 rev/min 189

ค-3 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1400 rev/min 190

ค-4 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1600 rev/min 191

ค-5 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1800 rev/min 192

ค-6 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 2000 rev/min 193

ค-7 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 2200 rev/min 194

ค-8 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 2400 rev/min 195

ค-9 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1050 rev/min 196

ค-10 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1200 rev/min 197

ค-11 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1400 rev/min 198

ค-12 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1600 rev/min 199

ค-13 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1800 rev/min 200

ตาราง หน้า

ค-14 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 2000 rev/min 201
ค-15 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 2200 rev/min 202
ค-16 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 1 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 2400 rev/min 203
ค-17 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1050 rev/min 204
ค-18 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1200 rev/min 205
ค-19 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1400 rev/min 206
ค-20 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1600 rev/min 207
ค-21 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1800 rev/min 208
ค-22 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 2000 rev/min 209
ค-23 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 2200 rev/min 210
ค-24 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 2400 rev/min 211
ค-25 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1050 rev/min 212
ค-26 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1200 rev/min 213
ค-27 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1400 rev/min 214

ตาราง หน้า

ค-28 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1600 rev/min 215
ค-29 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1800 rev/min 216
ค-30 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 2000 rev/min 217
ค-31 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 2200 rev/min 218
ค-32 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 2400 rev/min 219
ค-33 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 หลังผ่านการทดสอบความทนทานที่ 320 ชั่วโมง ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1050 rev/min 220
ค-34 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 หลังผ่านการทดสอบความทนทานที่ 320 ชั่วโมง ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1200 rev/min 221
ค-35 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 หลังผ่านการทดสอบความทนทานที่ 320 ชั่วโมง ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 1600 rev/min 222
ค-36 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 หลังผ่านการทดสอบความทนทานที่ 320 ชั่วโมง ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 2000 rev/min 223
ค-37 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เครื่องยนต์ที่ 2 หลังผ่านการทดสอบความทนทานที่ 320 ชั่วโมง ใช้น้ำมัน Reference CPO diesel ที่ความเร็วรอบ 2400 rev/min 224
ง-1 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 1 226
ง-2 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 2 226
ง-3 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 3 227

ตาราง หน้า

ง-4 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 4 227
ง-5 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 5 228
ง-6 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 6 228
ง-7 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 7 229
ง-8 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 8 229
ง-9 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 9 230
ง-10 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 10 230
ง-11 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 11 231
ง-12 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 12 231
ง-13 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 13 232
ง-14 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 14 232
ง-15 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 15 233
ง-16 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 16 233
ง-17 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 17 234
ง-18 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 18 234
ง-19 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 19 235
ง-20 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 20 235
ง-21 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 21 236
ง-22 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 22 236
ง-23 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 23 237
ง-24 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 24 237
ง-25 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 25 238
ง-26 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 26 238
ง-27 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 27 239
ง-28 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 28 239
ง-29 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 29 240
ง-30 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 30 240
ง-31 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 31 241

ตาราง หน้า

ง-32 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 32 241
ง-33 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 33 242
ง-34 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 34 242
ง-35 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 35 243
ง-36 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 36 243
ง-37 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 37 244
ง-38 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 38 244
ง-39 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 39 245
ง-40 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 40 245
ง-41 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 41 246
ง-42 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 42 246
ง-43 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 43 247
ง-44 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 44 247
ง-45 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 45 248
ง-46 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 46 248
ง-47 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 47 249
ง-48 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 48 249
ง-49 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 49 250
ง-50 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 50 250
ง-51 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 51 251
ง-52 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 52 251
ง-53 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 53 252
ง-54 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 54 252
ง-55 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 55 253
ง-56 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 56 253
ง-57 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 57 254
ง-58 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 58 254
ง-59 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 59 255

ตาราง หน้า

ง-60 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 60 255
ง-61 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 61 256
ง-62 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 62 256
ง-63 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 63 257
ง-64 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานของวัฏจักรที่ 64 257

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2-1 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและช่วงการเผาไหม้แบบต่างๆ 5

2-2 แสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 3 แบบ 6

2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง 8

2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง แบบ M 9

2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน 10

2-6 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวนซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรือภาระ 11

2-7 โค้งการกลั่น(Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป 13

2-8 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพตามเวลา 22

2-9 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา 23

2-10 แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ 24

2-11 แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค 25

2-12 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด 26

2-13 แสดงลักษณะการสึกหรือแบบขูดขีด 26

2-14 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว 28

2-15 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน 29

2-16 แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445) 32

2-17 แสดงกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี่ 34

2-18 แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอร์โรแกรม 35

2-19 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ 37

2-20 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการการเสียสมดุลในเครื่องจักร 38

2-21 แสดงอนุภาคการสึกหรอแบบ Cutting Wear 38

2-22 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง 39

2-23 แสดงอนุภาคสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ 40

2-24 แสดงอนุภาคการสึกหรอของแดง 41

ภาพประกอบ หน้า

2-25 แสดงปริมาณการดูดซับรังสีอินฟาเรดในแต่ละช่วงความถี่ ของน้ำมันหล่อลื่น 43
2-26 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน 44
2-27 แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟาเรดได้ 45
3-1 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 50
3-2 แสดงเครื่องกวนที่ใช้ในการทดสอบ 51
3-3 แสดงเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ใช้ในการทดสอบ 52
3-4 แสดงน้ำมันดีเซลผสมปาล์มดิบที่ส่วนผสมต่างๆ หลังผ่านกระบวนการเหวี่ยงหนีศูนย์ 52
3-5 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์และอุปกรณ์ในการทดสอบสมรรถนะ 53
3-6 แสดงเครื่องยนต์ดีเซลห้องเผาไหม้แบบหมุนวน 54
3-7 แสดงชุดไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในหการทดสอบ 55
3-8 แสดงระบบการถ่ายเทความร้อนแบบ Natural Convection ในเครื่องยนต์ 56
3-9 แสดงรูปการดัดแปลงระบบน้ำหล่อเย็นที่ตำแหน่งทางน้ำเข้าและทางน้ำออก 57
3-10 แสดงชุดควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น .. 57
3-11 แสดงระบบน้ำหล่อเย็นหลังการดัดแปลง 58
3-12 เครื่องมือวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 59
3-13 ระบบเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ 60
3-14 แสดงตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ และอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น 61
3-15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุณหภูมิไอเสีย และความดันไอเสีย 61
3-16 ภาพซ้าย แสดงมานอมิเตอร์แบบ U-Tube สำหรับวัดความดันไอเสีย ภาพขวา แสดง มานอมิเตอร์แบบ Incline สำหรับวัดความดันอากาศหลังแผ่นออริฟิซ 62
3-17 ชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ 63
3-18 แสดงภาพบารอมิเตอร์(ซ้าย) และเทอร์โมมิเตอร์(ขวา) 64
3-19 แสดง matrix ที่ใช้ในการทดสอบ 65
3-20 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดปั๊มน้ำ 67
3-21 แสดงเครื่องยนต์ติดตั้งร่วมกับระบบปั๊มน้ำในการทดสอบความทนทาน 68
3-22 แสดงฝายวัดอัตราการไหลของน้ำ ขนาดความกว้าง 40 เซนติเมตร 69
3-23 แสดงอุปกรณ์การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบความทนทาน 70

ภาพประกอบ หน้า

3-24 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วรอบ 71
3-25 แสดงสภาวะการทำงานที่ 1 บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์..... 73
3-26 แสดงสภาวะการทำงาน บนกราฟสมรรถนะของปั๊มน้ำ..... 74
3-27 แสดงวัฏจักรสภาวะการทำงาน บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์..... 75
3-28 แสดงอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น 76
4-1 แสดงปริมาณการกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและปาล์มดิบผสม น้ำมันดีเซลอ้างอิง ตามมาตรฐาน ASTM D86..... 83
5-1 เปรียบเทียบผลของแรงบิดเบรก (brake Torque) กับอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (bsfc)ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่หนึ่งเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง 87
5-2 เปรียบเทียบผลของแรงบิดเบรก (brake Torque) และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ(bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่สองเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง 87
5-3 แสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่หนึ่งเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง 89
5-4 แสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่สองเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง 89
5-5 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่หนึ่งเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง 91
5-6 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่สองเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง..... 91
5-7 แสดงผลเปรียบเทียบค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่หนึ่งเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง..... 92
5-8 แสดงผลเปรียบเทียบค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่สองเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง..... 92

ภาพประกอบ หน้า

5-9 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่หนึ่งเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง แสดงค่า contour ของค่าคงที่ corrected bsfc หน่วยเป็น g/kW-hr 94
5-10 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่หนึ่งเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง แสดงค่า contour ของค่าคงที่ corrected bsfc หน่วยเป็น g/kW-hr 94
5-11 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สองเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง แสดงค่า contour ของค่าคงที่ corrected bsfc หน่วยเป็น g/kW-hr 95
5-12 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สองเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง แสดงค่า contour ของค่าคงที่ corrected bsfc หน่วยเป็น g/kW-hr 95
5-13 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ความเร็วคงที่ของเครื่องยนต์ที่หนึ่ง เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง..... 97
5-14 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ความเร็วคงที่ของเครื่องยนต์ที่สอง เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง 98
5-15 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ที่หนึ่งเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง..... 100
5-16 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ที่หนึ่งเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง 100
5-17 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ที่สองเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง 101
5-18 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ที่สองเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง 101
5-19 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเบรกที่ความเร็วคงที่ของเครื่องยนต์ที่หนึ่ง เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง.... 103
5-20 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเบรกที่ความเร็วคงที่ของเครื่องยนต์ที่สอง เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง.... 104
5-21 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่หนึ่งเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง..... 105
5-22 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่หนึ่งเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง.... 106
5-23 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่สองเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง 106

ภาพประกอบ หน้า

5-24 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่สองเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง 107
5-25 แสดงผลเปรียบเทียบค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดและสภาวะภาระบางส่วน เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงของเครื่องยนต์ที่หนึ่ง..... 108
5-26 แสดงผลเปรียบเทียบค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดและสภาวะภาระบางส่วน เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงของเครื่องยนต์ที่สอง 108
5-27 แสดงความดันทางด้านจ่ายของระบบปั๊มน้ำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 110
5-28 แสดงความดันทางด้านจ่ายของระบบปั๊มน้ำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 110
5-29 แสดงความดันทางด้านจ่ายของระบบปั๊มน้ำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 111
5-30 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงตลอดช่วงการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่สภาวะการทำงานที่ 1 112
5-31 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงตลอดช่วงการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่สภาวะการทำงานที่ 2 112
5-32 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงตลอดช่วงการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่สภาวะการทำงานที่ 3 113
5-33 แสดงอุณหภูมิไอเสียระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 114

ภาพประกอบ หน้า

5-34 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 115
5-35 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 115
5-36 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 116
5-37 แสดงค่าความดำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 117
5-38 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 120
5-39 แสดงปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นและค่า TBN ตลอดการทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 121
5-40 แสดงปริมาณโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 124
5-41 (ก) แสดงปริมาณเหล็กโครเมี่ยมและตะกั่วสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน 125
(ข) แสดงปริมาณทองแดงอลูมิเนียมและซิลิกอนสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน 126
5-42 แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 200 กำลังขยาย 100 เท่า 128
5-43 แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 200 กำลังขยาย 400 เท่า 128

ภาพประกอบ หน้า

5-44 แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซล หลังการทำงานที่ 200 ที่กำลังขยาย 100 เท่า 129
5-45 (ก) แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของ น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ กำลังขยาย 400 เท่า 129
(ข) แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ กำลังขยาย 400 เท่า 129
5-46 แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังชั่วโมง การทำงานที่ 210กำลังขยาย 100 เท่า 131
5-47 (ก) แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของ น้ำมันหล่อลื่นจาก เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลัง ชั่วโมง การทำงานที่210กำลังขยาย 400 เท่า 131
(ข) แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลัง ชั่วโมงการทำงานที่ 210กำลังขยาย 400 เท่า 131
5-48 แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสม ดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 210 กำลังขยาย 100 เท่า 132
5-49 (ก) แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจาก เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลัง ชั่วโมง การทำงานที่ 210 กำลังขยาย 400 เท่า 132
(ข) แสดงภาพเฟอร์โรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลัง ชั่วโมง การทำงานที่ 210 กำลังขยาย 400 เท่า 132
5-50 แสดงปริมาณสารเติมแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทาน เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับน้ำมันหล่อลื่น จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 134
5-51 แสดงปริมาณสารเติมแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุ การใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน..... 135
5-52 แสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง เปรียบเทียบ ที่สภาวะก่อนทำการทดสอบความทนทานกับหลังทดสอบความทนทาน 136
5-53 ค่า bsfc เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทานที่ ความเร็ว 1050 รอบ/นาที 137

ภาพประกอบ หน้า

5-54 ค่า bsfc เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทานที่ความเร็ว 1200 รอบ/นาที 137
5-55 ค่า bsfc เปรียบเทียบก่อนและหลัง การทดสอบความทนทานที่ความเร็ว 1600 รอบ/นาที 137
5-56 ค่า bsfc เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบความทนทานที่ความเร็ว 2000 รอบ/นาที 137
5-57 แสดงประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน ที่สภาวะภาระสูงสุด 138
5-58 ค่า ηbrake fuel เปรียบเทียบก่อนและหลัง ทดสอบความทนทานที่ความเร็ว 1050 รอบ/นาที 138
5-59 ค่า ηbrake fuel เปรียบเทียบก่อนและหลังทดสอบความทนทานที่ความเร็ว 1200 รอบ/นาที 138
5-60 ค่า ηbrake fuel เปรียบเทียบก่อนและหลัง ทดสอบความทนทานที่ความเร็ว 1600 รอบ/นาที 139
5-61 ค่า ηbrake fuel เปรียบเทียบก่อนและหลัง ทดสอบความทนทานที่ความเร็ว 2000 รอบ/นาที 139
5-62 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียภายหลังผ่านการทดสอบความทนทานที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบกับอุณหภูมิไอเสียก่อนการทดสอบความทนทาน 139
5-63 แสดงค่าควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล เปรียบเทียบที่สภาวะก่อน ทำการทดสอบความทนทานกับหลังทดสอบความทนทาน 140
5-64 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 141
5-65 แสดงภาพถ่ายแบริ่งก้านสูบจาก เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 144
5-66 แสดงภาพถ่ายแบริ่งก้านสูบจาก เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสม ดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 144
5-67 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในแต่ละด้านและภาพขยายในภาพฝั่งขวา 145

ภาพประกอบ หน้า

5-68 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลในแต่ละด้านและภาพขยายในภาพฝั่งขวา 146
5-69 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการ ทดสอบความทนทาน ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 148
5-70 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการ ทดสอบความทนทาน ของเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล....148
5-71 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 149
5-72 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล....149
5-73 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีบนฝาสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 151
5-74 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีบนฝาสูบ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซล..... 151
5-75 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียบนฝาสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 152
5-76 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียบนฝาสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล ...152
5-77 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 153
5-78 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจาก เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสม ดีเซล.... 153
5-79 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 154
5-80 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล 154
5-81 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล.... 155
5-82 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล....155
ข-1 แสดงภาพการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยวิธี Air box method.... 184
จ-1 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ยี่ห้อ ช้าง มาตรฐาน SAE 40 API CC (19277).... 259
จ-2 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล หลังผ่านการรันอินครบ 20 ชั่วโมง (19274) 260
จ-3 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลหลังผ่านการรันอินครบ 20 ชั่วโมง (19271).... 261

ภาพประกอบ หน้า

จ-4 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล หลังผ่านการทดสอบความทนทาน 10 (19275) ชั่วโมง 262
จ-5 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 10 (19272) ชั่วโมง 263
จ-6 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล หลังผ่านการทดสอบความทนทาน 25 (19276) ชั่วโมง..... 264
จ-7 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 25 (19273) ชั่วโมง 265
จ-8 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล หลังผ่านการทดสอบความทนทาน 50 (19291) ชั่วโมง..... 266
จ-9 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 50 (19290) ชั่วโมง 267
จ-10 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลัง ผ่านการทดสอบความทนทาน 75(19472) ,100(19473) ,125(19474) ชั่วโมง..... 268
จ-11 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 75(19469) ,100 (19470) , 125 (19471) ชั่วโมง 269
จ-12 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลัง ผ่านการทดสอบความทนทาน 150(19603) , 175(19632) , 200(19633) ชั่วโมง..... 270
จ-13 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 150(19602) ,175 (19630) , 200 (19631) ชั่วโมง 271
จ-14 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลัง ผ่านการทดสอบความทนทาน 210(19730) , 235(20415) , 260(20488) ชั่วโมง..... 272
จ-15 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 210(19729) ,235 (20414) , 260(20447) ชั่วโมง 273

ภาพประกอบ หน้า

จ-16 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลัง ผ่านการทดสอบความทนทาน 285(20500) , 310(20502) , 320(21043) ชั่วโมง..... 274
จ-17 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 285(20499) ,310(20501) ,320(21042) ชั่วโมง..... 275
จ-18 แสดงใบรายงานผลการทดสอบด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี่ของน้ำมันหล่อจาก เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 200 ชั่วโมง 276
จ-19 แสดงใบรายงานผลการทดสอบด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี่ของน้ำมันหล่อจาก เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 200 ชั่วโมง..... 277
จ-20 แสดงใบรายงานผลการทดสอบด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี่ของน้ำมันหล่อจาก เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 210 ชั่วโมง 278
จ-21 แสดงใบรายงานผลการทดสอบด้วยกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี่ของน้ำมันหล่อจาก เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 210 ชั่วโมง..... 279

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
abs	absorbance unit	
A/F	Air/fuel Ratio	kg air / kg fuel
$(A/F)_S$	Air/fuel Ratio ที่ stoichiometric	kg air / kg fuel
bmep	Brake mean effective pressure	kPa
bsfc	Brake specific fuel consumption	g/kW-h
BDC	ตำแหน่งจุดศูนย์ตายล่าง	
C_{DO}	Discharge Coefficient ของ orifice plate	
Cd	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	
Cw	สัมประสิทธิ์ของฝาย	
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของ orifice plate	m
EOI	จุดสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง	
EP	end point	
FBP	final boiling point	
fmep	friction mean effective pressure	kPa
FTIR	fourier transform infrared spectroscopy	
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 9.807	m/s^2
H	ความสูงของระดับน้ำเหนือฝาย	m
IBP	initial boiling point	
K	ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และ เท่ากับ 2 สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	
L	ความกว้างของฝาย	m
$\dot{m}_a$	อัตราการไหลของอากาศ	kg/s
$\dot{m}_f$	อัตราการไหลของเชื้อเพลิง	kg/s
m_f	มวลเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ต่อ 1 cycle ต่อสูบ	kg
N	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	rev/min
N_c	จำนวนกระบอกสูบของเครื่องยนต์	
N_{min}	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่น้อยที่สุด	rpm
P	ความสูงของสันฝายจากพื้น	m

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
P_b	กำลังเบรก	kW
ppm	part per million	
Q	อัตราการไหลของน้ำ	m^3/min
Q_{HV}	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (heating value)	kJ/kg fuel
r_c	อัตราส่วนการอัด (compression ratio)	
SEM	scanning electron microscope	
SF	safety factor	
SOC	จุดสิ้นสุดการเผาไหม้	^oCA
SOI	จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง	^oCA
t	เวลา	s
T_b	แรงบิดเบรก	N-m
TBE	total base number	
TDC	ตำแหน่งจุดศูนย์ตายบน	
TPM	total particulate matter	
v	ความเร็ว	m/s
V	ปริมาตรที่ใช้วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	ml
V_b	ปริมาตรถังพักอากาศที่เล็กที่สุด	m^3
V_d	Displaced volume	dm^3
V_s	ปริมาตรช่วงชักลูกสูบ	m^3
$\dot{V}$	อัตราการไหลโดยปริมาตร	ml/s
Z	ระดับความสูง	m
Δh	ผลต่าง Head ที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์	mm H_2O
Δp	ผลต่างความดัน	kPa
ϕ	Equivalent ratio	
γ_{air}	น้ำหนักจำเพาะของอากาศ	$kg/m^2\text{-}s^2$
η_{f_b}	Brake Fuel conversion efficiency	
η_v	Volumetric efficiency	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
λ	Relative air/fuel ratio	
$\rho_{a,i}$	ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์	kg/m^3
ρ_{air}	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
ρ_f	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง	kg/m^3
ρ_{H_2O}	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad/s

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย