ผลของการใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

นายสุวัช คำแฝด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF USING ALTERNATIVE DIESEL FUEL FOR A SMALL DIESEL ENGINE

Mr.Suwat Kamfad

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 2006

Copyright of Chulalongkorn University

492067

นายสุวัช คำแฝด : ผลของการใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก. (EFFECT OF USING ALTERNATIVE DIESEL FUEL FOR A SMALL DIESEL ENGINE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.คณิต วัฒนวิเชียร, 311 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกต่อเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ที่ใช้ในการเกษตร โดยแบ่งการวิจัยออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนแรกทำการทดสอบเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันเตาและเคโรซีนที่ใช้ในงานวิจัย พบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่น้ำมันเตาร้อยละ 3 0 ผสมกับเคโรซีนร้อยละ 70 ส่วนที่สองทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุดและที่สภาวะภาระบางส่วน ความเร็วรอบต่างๆเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกและน้ำมันดีเซล ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ เมื่อนำมาปรับค่าเทียบกับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐาน พบว่าที่สภาวะภาระสูงสุดแรงบิดเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและค่าควันดำมีค่าสูงกว่าค่าจากการใช้น้ำมันดีเซลที่ทุกความเร็วรอบ ค่าอุณหภูมิไอเสียพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซล ส่วนที่สภาวะภาระบางส่วนพบว่าส่วนใหญ่ค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและค่าควันดำมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซล และค่าอุณหภูมิไอเสียมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่สามทำการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์จากการใช้งานต่อเนื่องภายใต้วัฏจักรภาระการทำงานซึ่งดัดแปลงมาจากวัฏจักรการทดสอบเครื่องยนต์ของ EMA อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 320 ชั่วโมง ผลจากการเฝ้าศึกษาติดตามพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก มีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและปริมาณควันดำเพิ่มสูงขึ้นตามชั่วโมงการทำงานและสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล การสุ่มวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นพบว่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าเกินระดับการเตือนขั้นวิกฤตในชั่วโมงการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นที่ เร็วกว่าปกติ โดยสาเหตุสำคัญเกิดจากปริมาณเขม่าจากการเผาไหม้ที่สูง จากการพินิจชิ้นส่วนพบสภาพการสึกหรอในก้านวาล์ว แบริ่งก้านสูบ มีปริมาณเขม่าจับตัวหนาภายในกระบอกสูบและที่ปลายหัวฉีด และพบคราบตะกอนสีแดงที่ฝาสูบของเครื่องยนต์ อีกทั้งยังพบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกหลังผ่านการทดสอบความทนทานมีค่าแรงบิดเบรกลดลง ค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ค่าควันดำและค่าอุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน

สรุปได้ว่าน้ำมันดีเซลทางเลือกมีราคาต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 25 สามารถนำมาใช้งานได้ดี หากใช้ช่วงการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นที่เร็วกว่าคือครึ่งหนึ่งของข้อแนะนำเมื่อใช้น้ำมันดีเซล หรือเลือกนำเอาน้ำมันหล่อลื่นที่มีค่าความหนืดต่ำมาใช้งาน

ภาควิชา .....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต.....สุวัช คำแฝด.....

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

ปีการศึกษา.....2549.....

4670575721 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: FUEL OIL / PERFORMANCE / DURABILITY / OIL ANALYSIS / ALTERNATIVE

SUWAT KAMFAD : EFFECT OF USING ALTERNATIVE DIESEL FUEL FOR A SMALL DIESEL ENGINE . THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KANIT WATTANAVICHIEN, Ph.D. , 311 pp.

In this study, the effect of using alternative diesel in a small agricultural diesel engine was studied which can be divided into three parts: First, to find the suitable composition between fuel oil and kerosene, it was found that suitable proportion is fuel oil 30% blended with kerosene 70%. Second, to compare the engine performance, and smoke emissions between these two fuels either in full load condition and part load condition. The results from the testing were corrected with respect to the standard ambient temperature and pressure. It was found that in full load condition, maximum brake torque of alternative diesel is not significantly different with that from diesel. Specific Total Energy Consumption (STEC) and smoke value from alternative diesel are higher than that from the diesel. And exhaust gas temperature from both types of fuels is similar. In part load condition, the results showed that STEC and smoke value are higher with alternative diesel. The temperature of exhausted gas from both fuel are not significantly different. And third, to investigate engine durability with the continuous simulated load for about 320 hours that applied from EMA Test. It was found that with alternative diesel, STEC and smoke value are increased with the increasing engine's operation hours and higher than diesel. From lube oil analysis showed that the viscosity of engine oil is higher beyond the critical limit faster than normally and main cause is a lot of soot from combustion. Moreover the corrosion occurred at valve stem, connecting rod bearing, a lot of soot inside combustion area ,carbon deposit stuck at the top of nozzle and red sludge was found on the cylinder head. After durability test, brake torque value is reduced. STEC, smoke value and exhaust gas temperature are increased.

The outcome of this study can be concluded that price of alternative diesel is lower than diesel about 25 % .An alternative diesel can be used in the small diesel engine. From lube oil analysis, it was found that we have to change lubricant oil more often than the usual standard period about half of usual working hours or use low viscosity lubricant oil in this case.

Department.....Mechanical Engineering..... Student's signature.....สุวัช คำแฝด.....

Field of study...Mechanical Engineering..... Advisor's signature ..Kanit Wattanavichien

Academic year ..... 2006.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ให้คำแนะนำ ร่วมติดตามการทดสอบอย่างใกล้ชิดในทุกขั้นตอนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัทสยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออะไหล่และให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัย บริษัทระยองเพียวริฟายเออร์ จำกัดที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงใช้ในงานวิจัย คุณธนันต์ สิริสิทธิโชติ ผู้จัดการใหญ่ บริษัท โฟคัสแลบบอราทอรีส์ จำกัด ที่สละเวลาในการให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น ตลอดจนอำนวยความสะดวกระหว่างการตรวจวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

ขอขอบคุณ คุณจักร์กฤช ตั้งรัตนโสภณ, คุณพิชญ์ ปริญญาจารย์, คุณฉัตรฆฤณ พิชัยกมลฉัตร, คุณกาญจนา สุดจิตต์, พี่กาญจน์, พี่เอก, พี่บ้วย, พี่แมน, พี่แจ็ค, พี่บิว, น้องออม, น้องปอป, น้องบอย, น้องปู, น้องจั๊ก ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์สันดาปภายในทุกคนที่ช่วยติดตั้งเครื่องยนต์และทำการทดสอบเครื่องยนต์และให้การช่วยเหลืออื่นๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่และน้อง ที่ให้การสนับสนุนในทุกด้าน ทั้งคำปรึกษา และกำลังใจ จนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญภาพ ..... ฌ
สารบัญตาราง ..... ป
สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์ ..... ฟ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม 3
2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 3
2.1.1 ระบบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 3
2.1.1.1 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง 3
2.1.1.2 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม 3
2.1.2 ปรากฏการณ์ของการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 4
2.1.3 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์ 6
2.1.4 แผนภูมิสมรรถนะ(Performance Map) ของเครื่องยนต์จุดระเบิด ด้วยการอัด 7
2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล 11
2.2.1 เลขซีเทน (Cetane Number) 11
2.2.2 ค่าการกลั่น (Distillation) 11
2.2.3 ความหนาแน่น (Density) 13

หน้า

บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

2.2.4 ความหนืด (Viscosity) 13
2.2.5 จุดไหลเท (Pour Point) 13
2.2.6 จุดหมอก (Cloud Point) 14
2.2.7 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity) 14
2.2.8 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล 14
2.2.9 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล 14
2.2.10 ปริมาณกำมะถัน (Sulphur Content) 15
2.2.11 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content) 16
2.2.12 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content) 16
2.2.13 จุดวาบไฟ (Flash Point) 16
2.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงน้ำมันเตา (Fuel Oil) 17
2.3.1 ความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity) 17
2.3.2 จุดวาบไฟ (Flash point) 17
2.3.3 ความหนืด (Viscosity) 17
2.3.4 จุดไหลเท (Pour Point) 18
2.3.5 ปริมาณของตะกอนและน้ำ (Sediment and water content) 18
2.3.6 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur Content) 18
2.3.7 ปริมาณเถ้า (Ash Content) 18
2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเคโรซีน (Kerosene) 18
2.4.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity. API Gravity) 18
2.4.2 จุดควันหรือให้ควัน (Smoke Point) 19
2.4.3 จุดวาบไฟ (Flash Point) 19
2.4.4 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur Content) 19
2.5 การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร 19
2.5.1 ประเภทของการเสื่อมสภาพ 19
2.5.1.1 การเสื่อมสภาพตามเวลา 19
2.5.1.2 การเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา 20
2.5.2 การจำแนกกลไกการสึกหรอ 21

หน้า

บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

2.5.2.1 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด 22
2.5.2.2 การสึกหรอแบบขูดขีด 23
2.5.2.3 การสึกหรอจากการล้าตัวของวัสดุ 23
2.5.2.4 การสึกหรอแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี 24
2.6 วิธีทดสอบความทนทาน 25
2.7 สารหล่อลื่น 26
2.7.1 คุณสมบัติที่สำคัญๆ ของสารหล่อลื่น 26
2.7.1.1 ความหนืด (Viscosity) 26
2.7.1.2 การต่อต้านการเกิดออกซิเดชั่น 27
2.8 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 28
2.8.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์ 28
2.8.2 การทดสอบหาค่าความหนืด 29
2.8.3 ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN) 30
2.8.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรมิเตอร์ 31
2.8.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์โรกราฟฟี 31
2.8.5.1 การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ 33
2.8.5.2 การศึกษาอนุภาคการสึกหรอเชิงจุลภาค 34
2.8.5.3 ชนิดของอนุภาคการสึกหรอ 35
2.8.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR 40
2.9 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันเตา และการศึกษาผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิงทดแทนดีเซลและการทดสอบความทนทาน 43

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับเชื้อเพลิง 46
3.1 การทดสอบส่วนผสมเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนต่าง 47
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการการผสมเชื้อเพลิง 47
3.1.1.1 หม้อต้ม 47
3.1.1.2 บีกเกอร์ตวง 48
3.1.2 วิธีการผสมเชื้อเพลิง 48

หน้า

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับเชื้อเพลิง(ต่อ)

3.1.3 การทดสอบเสถียรภาพเบื้องต้น 48

3.2 การทดสอบหาปริมาณตะกอน 49

3.3 การทดลองใช้กับเครื่องยนต์ (Idle Test) 51

3.4 เปรียบเทียบลักษณะสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิง 52

บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับทดสอบเครื่องยนต์ 54

4.1 การทดสอบสมรรถนะ (Performance Map) 55

4.1.1 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบสมรรถนะ 55

4.1.1.1 เครื่องยนต์ 56

4.1.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 57

4.1.1.3 มู่เล่ และสายพาน 57

4.1.1.4 แผงหลอดไฟฟ้า 58

4.1.1.5 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ 59

4.1.1.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 59

4.1.1.7 ตู้แปลงสัญญาณ 61

4.1.1.8 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ 67

4.1.1.9 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ 68

4.1.1.10 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ 69

4.1.2 วิธีการทดสอบสมรรถนะ 70

4.2 การทดสอบความทนทาน (Durability Test) 72

4.2.1 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนทาน 72

4.2.1.1 เครื่องยนต์ 73

4.2.1.2 ระบบปั๊มน้ำ 73

4.2.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ 75

4.2.1.4 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ในช่วงการทดสอบความทนทาน 76

4.2.1.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 77

4.2.1.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ 77

หน้า

บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับทดสอบเครื่องยนต์(ต่อ)

4.2.1.7 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ 77

4.2.2 วิธีการทดสอบความทนทาน 78

4.3 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกสำหรับการทดสอบความทนทาน 81

4.4 การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น 82

4.5 การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น 84

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล 85

5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะ 85

5.1.1 ผลของแรงบิดเบรก(Brake Torque) กับ อัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ (STEC) ที่สภาวะภาระสูงสุด 85

5.1.2 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion Efficiency) ที่สภาวะภาระสูงสุด 87

5.1.3 อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด 88

5.1.4 อุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุด 88

5.1.5 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุด 89

5.1.6 ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุด 90

5.1.7 ค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน 91

5.1.8 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน 92

5.1.9 ค่าอุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน 94

5.1.10 ค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน 95

5.1.11 ค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน 96

5.1.12 ค่าควันดำที่สภาวะภาระบางส่วน 97

5.1.13 แผนภูมิแสดงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ (Engine Map) 98

5.1.14 แผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ 98

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล (ต่อ)

5.1.15 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก 100

5.1.16 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย 101

5.1.17 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น 103

5.1.18 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 103

5.2 ผลการทดสอบความทนทาน 106

5.2.1 ความดันทางด้านจ่ายและดูดของระบบปั๊มน้ำ 106

5.2.2 กำลังที่ได้ในช่วงการทดสอบความทนทาน 107

5.2.3 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 108

5.2.4 อุณหภูมิไอเสีย 109

5.2.5 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น 110

5.2.6 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 111

5.2.7 ค่าควันดำ 113

5.2.8 ปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น 113

5.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น 115

5.3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น 116

5.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น 120

5.3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารปรุงแต่ง 124

5.3.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะจากการสึกหรอ 127

5.3.5 ผลจากกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี 132

5.3.5.1 ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 (รันอิน) 132

5.3.5.2 ชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 134

5.3.5.3 ชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 137

5.3.5.4 ชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 140

5.4 ผลการทดสอบสมรรถนะภายหลังทดสอบความทนทาน 143

5.4.1 ผลของแรงบิดเบรก(brake Torque) กับอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ (STEC) ที่สภาวะภาระสูงสุด 143

5.4.2 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อพลังงานเบรก(Brake Fuel Conversion Efficiency) ที่สภาวะภาระสูงสุด 144

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล (ต่อ)

5.4.3 อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด 145
5.4.4 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุด 146
5.4.5 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุด 146
5.4.6 ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุด 147
5.4.7 ค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่สภาวะภาระบางส่วน 148
5.4.8 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน 149
5.4.9 ค่าอุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน ... 151
5.4.10 ค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน 152
5.4.11 ค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ สภาวะภาระบางส่วน 153
5.4.12 แผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ 154
5.4.13 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก 154
5.4.14 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย 157
5.4.15 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น 157
5.4.16 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 157
5.4.17 ค่าควันดำ 161
5.5 ผลการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง และลักษณะของละอองฝอย 162
5.6 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วน 163
5.6.1 ฝาสูบ 163
5.6.2 ผนังกระบอกสูบ 165
5.6.3 ลูกสูบ 167
5.6.4 บ่าวาล์วไอดีและบ่าวาล์วไอเสียที่ฝาสูบ 170
5.6.5 วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย 170
5.6.6 ก้านวาล์วไอดีและก้านวาล์วไอเสีย 175
5.6.7 หัวฉีด 176

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล (ต่อ)

5.6.8 แบริ่งก้านสูบ 176

5.7 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน 179

5.8 ผลการเปรียบเทียบราคาเชื้อเพลิง 182

บทที่ 6 สรุปผล และข้อเสนอแนะ 185

6.1 สรุปผล 185

6.1.1 เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกกับน้ำมันดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ IDI 185

6.1.2 เปรียบเทียบผลจากการนำน้ำมันดีเซลทางเลือกมาใช้ในเครื่องยนต์อย่างต่อเนื่องภายใต้ภาระจำลอง 186

6.1.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น 186

6.1.4 ผลกระทบจากการใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกต่อชิ้นส่วนภายใน 187

6.1.5 ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนภายหลังการทดสอบความทนทาน 188

6.1.6 ผลการเปรียบเทียบราคาเชื้อเพลิง 188

6.1.7 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ 188

6.2 ข้อเสนอแนะ 189

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง 189

รายการอ้างอิง 190

บรรณานุกรม 192

ภาคผนวก 193

ภาคผนวก ก มาตรฐาน ISO 2046 ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ 194

ภาคผนวก ข การวัดอัตราการไหลของอากาศ 210

ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะ 214

ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการทดสอบความทนทาน320ชั่วโมง 248

ภาคผนวก จ ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น 291

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 311

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2-1 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง และช่วงการเผาไหม้แบบต่างๆ....4

2-2 แสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 3 แบบ....5

2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง....7

2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง แบบ M....8

2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม แบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน....9

2-6 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวนซึ่งเป็นฟังก์ชันของ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรือภาระ....10

2-7 โค้งการกลั่น(Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป....12

2-8 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพตามเวลา....20

2-9 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา....20

2-10 แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ....21

2-11 แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค....22

2-12 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด....23

2-13 แสดงลักษณะการสึกหรือแบบขูดขีด....23

2-14 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว....24

2-15 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน....27

2-16 แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445)....30

2-17 แสดงกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี่....32

2-18 แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอร์โรแกรม....33

2-19 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ....35

2-20 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการการเสียสมดุลในเครื่องจักร....36

2-21 แสดงอนุภาคการสึกหรอจากการขูดขีดของเศษโลหะ....36

2-22 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง....37

2-23 แสดงอนุภาคสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ....38

2-24 แสดงอนุภาคการสึกหรอของแดง....39

ภาพประกอบ หน้า

2-25 แสดงปริมาณการดูดซับรังสีอินฟาเรดในแต่ละช่วงความถี่ ของน้ำมันหล่อลื่น 41
2-26 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน 42
2-27 แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟาเรดได้ 43
3-1 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสำหรับเชื้อเพลิง 46
3-2 แสดงหม้อต้มที่ใช้ในการทดสอบ 47
3-3 แสดงบีกเกอร์ตวงที่ใช้ขนาด 5,000 ml 48
3-4 แสดงตัวอย่างน้ำมันเตาที่อุณหภูมิห้อง 48
3-5 แสดงกรองเชื้อเพลิงใหม่(ซ้าย) และกรองเชื้อเพลิงที่อุดตัน(ขวา) 51
3-6 แสดงภาพถ่ายของเสปรย์จากหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซล KUBOTA รุ่น ET115 ภาพซ้าย เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และภาพขวาเมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก 52
3-7 แสดงภาพถ่ายลักษณะการเผาไหม้ของเสปรย์จากหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซล KUBOTA รุ่น ET115 ภาพซ้ายเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และภาพขวาเมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก 53
4-1 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 54
4-2 แสดงแผนผังในการการติดตั้งเครื่องยนต์และอุปกรณ์ในการทดสอบสมรรถนะ 55
4-3 แสดงเครื่องยนต์ดีเซลห้องเผาไหม้ล่วงหน้าแบบหมุนวน 56
4-4 แสดงการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 58
4-5 แสดงแผงหลอดไฟที่ใช้เป็นภาระของเครื่องยนต์ 59
4-6 แสดงตัวตรวจจับวัดความเร็วรอบ และตำแหน่งการติดตั้ง 59
4-7 แสดงจุดที่ติดตั้งหัววัดเทอร์โมคัปเปิลในถังพักอากาศ 60
4-8 แสดงการติดตั้งหัววัดเทอร์โมคัปเปิลที่ปล๊กถ่ายน้ำหล่อเย็นบริเวณด้านล่างของฝาสูบ 60
4-9 แสดงการติดตั้งหัววัดของเทอร์โมคัปเปิลที่กรองน้ำมันหล่อลื่น 61
4-10 แสดงหัววัดของเทอร์โมคัปเปิลที่ท่อไอเสีย 61
4-11 แสดงตู้แปลงสัญญาณ (Data Logger) 62
4-12 แสดงอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ Nitech 62
4-13 แสดงอุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นสัญญาณอนาลอก Primus 63
4-14 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 64
4-15 แสดงแผนผังการต่อระบบน้ำมันดีเซลและอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 65
4-16 แสดงแผนผัง (Flow Chart) การทำงานของระบบการวัด อ่าน และบันทึกข้อมูลการวัด 66
4-17 แสดงหน้าจอแสดงผลจากการวัดโดยโปรแกรม Innovative Diesel Engine Test 67

ภาพประกอบ หน้า

4-18 แสดงถังพักอากาศและการติดตั้ง orifice plate 67
4-19 แสดง incline manometer 68
4-20 ชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ ภาพซ้าย แสดงภาพปั๊มดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00
ภาพขวา แสดงภาพ เครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50 68
4-21 แสดงภาพบารอมิเตอร์(ซ้าย) และเทอร์โมมิเตอร์(ขวา) 69
4-22 แสดง matrix ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์ 71
4-23 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดปั๊มน้ำ 73
4-24 แสดงเครื่องยนต์ติดตั้งร่วมกับระบบปั๊มน้ำในการทดสอบความทนทาน 74
4-25 แสดงประสิทธิภาพของปั๊มน้ำที่ภาระต่างๆความเร็วรอบคงที่ 1600 รอบต่อนาที 74
4-26 แสดงฝายวัดอัตราการไหลของน้ำ ขนาดความกว้าง 45.5 เซนติเมตร 75
4-27 แสดงอุปกรณ์การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบความทนทาน 76
4-28 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วรอบ 77
4-29 แสดงสภาวะการทำงานที่ 1 บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ 79
4-30 แสดงสภาวะการทำงาน บนกราฟสมรรถนะของปั๊มน้ำ 80
4-31 แสดงวัฏจักรสภาวะการทำงาน บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ 80
4-32 แสดงอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น 82
5-1 เปรียบเทียบผลของแรงบิดเบรก (brake Torque) และอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวม
จำเพาะ (STEC) ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล
และน้ำมันดีเซลทางเลือก 85
5-2 แสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระ
สูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 87
5-3 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์
เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 88
5-4 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์
เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 89
5-5 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์
เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 90
5-6 แสดงผลเปรียบเทียบค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์
เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 90

ภาพประกอบ หน้า

5-7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและ น้ำมันดีเซลทางเลือก 91
5-8 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และ น้ำมันดีเซลทางเลือก 93
5-9 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิไอเสีย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 94
5-10 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 95
5-11 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 96
5-12 แสดงผลเปรียบเทียบค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดและที่สภาวะภาระบางส่วนเมื่อใช้ น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 97
5-13 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล 99
5-14 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก 99
5-15 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล 100
5-16 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก 101
5-17 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล 102
5-18 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก 102
5-19 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล 104
5-20 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก 104
5-21 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล 105
5-22 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก 105
5-23 แสดงความดันทางด้านจ่ายของระบบปั๊มน้ำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่ สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 106

ภาพประกอบ หน้า

5-24 แสดงความดันทางด้านดูดของระบบปั๊มน้ำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 107
5-25 แสดงกำลังเบรกตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 107
5-26 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงตลอดช่วงการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 108
5-27 แสดงอุณหภูมิไอเสียระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 109
5-28 แสดงอุณหภูมิไอเสียระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 109
5-29 แสดงอุณหภูมิไอเสียระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 109
5-30 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 110
5-31 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 110
5-32 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 110
5-33 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 112
5-34 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2 112
5-35 แสดงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3 112
5-36 แสดงค่าความดำระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 113
5-37 แสดงปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน 113
5-38 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทาน 117
5-39 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน 119
5-40 แสดงปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทาน 121
5-41 แสดงปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน 123

ภาพประกอบ หน้า

5-42 แสดงปริมาณสารปรุงแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทาน 124
5-43 แสดงปริมาณสารปรุงแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน 125
5-44 แสดงค่า TBN , ZDDP และ Ruler 126
5-45 แสดงปริมาณโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทาน 130
5-46 แสดงปริมาณโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน 131
5-47 แสดงผลของแรงบิดเบรก(Brake Torque)และอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ (Stec) ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก เปรียบเทียบที่สภาวะก่อนทำการทดสอบความทนทานกับหลังทดสอบความทนทาน 143
5-48 แสดงประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก เปรียบเทียบที่สภาวะก่อนทำการทดสอบความทนทานกับหลังทดสอบความทนทาน 144
5-49 แสดงอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก เปรียบเทียบที่สภาวะก่อนทำการทดสอบความทนทานกับหลังทดสอบความทนทาน.... 145
5-50 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 146
5-51 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลทางเลือก 147
5-52 แสดงค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก เปรียบเทียบที่สภาวะก่อนทำการทดสอบความทนทานกับหลังทดสอบความทนทาน.... 148
5-53 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆเมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก ที่สภาวะก่อนทำการทดสอบความทนทาน และหลังทดสอบความทนทาน 149
5-54 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก ที่สภาวะก่อนทำการทดสอบความทนทานและหลังทดสอบความทนทาน 150

ภาพประกอบ หน้า

5-55 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิไอเสีย
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ที่สภาวะก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน..... 151
5-56 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ที่สภาวะก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน..... 152
5-57 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ค่าต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ที่สภาวะก่อนการทดสอบความทนทานและหลังการทดสอบความทนทาน..... 153
5-58 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์
เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกก่อนการทดสอบความทนทาน..... 155
5-59 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์
เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกหลังการทดสอบความทนทาน..... 155
5-60 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของ
เครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกที่สภาวะก่อนการ ทดสอบความทนทาน..... 156
5-61 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกของ
เครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก ที่สภาวะหลังการ ทดสอบความทนทาน 156
5-62 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ที่สภาวะก่อนการทดสอบความทนทาน..... 158
5-63 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ที่สภาวะหลังการทดสอบความทนทาน 158
5-64 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ที่สภาวะก่อนการทดสอบความทนทาน..... 159
5-65 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ที่สภาวะหลังการทดสอบความทนทาน 159
5-66 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ที่สภาวะก่อนการทดสอบความทนทาน..... 160
5-67 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ที่สภาวะหลังการทดสอบความทนทาน 160

ภาพประกอบ หน้า

5-68 แสดงค่าควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลทางเลือกเปรียบเทียบที่สภาวะก่อนทำการทดสอบความทนทานกับหลังทดสอบความทนทาน....161
5-69 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือก ภาพซ้ายก่อนทำการทดสอบความทนทาน ภาพขวาหลังทำการทดสอบความทนทาน..162
5-70 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล....164
5-71 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก....164
5-72 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล....166
5-73 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก....166
5-74 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในแต่ละด้านและภาพขยายในภาพฝั่งขวา....168
5-75 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกในแต่ละด้านและภาพขยายในภาพฝั่งขวา....169
5-76 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีบนฝาสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล....171
5-77 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีบนฝาสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก....171
5-78 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียบนฝาสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล....172
5-79 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียบนฝาสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก....172
5-80 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล....173
5-81 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก....173
5-82 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล....174
5-83 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก....174
5-84 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก....175
5-85 แสดงภาพถ่ายของก้านวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก....176
5-86 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล....177
5-87 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก....177

ภาพประกอบ หน้า

5-88 แสดงภาพถ่ายแบริ่งก้านสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล
หลังผ่านการทดสอบความทนทาน....178
5-89 แสดงภาพถ่ายแบริ่งก้านสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
หลังผ่านการทดสอบความทนทาน....178
5-90 แสดงแผนภูมิการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล....183
5-91 แสดงแผนภูมิการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก....183
ข-1 แสดงภาพการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยวิธี Air box method....211
จ-1 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นใหม่
ยี่ห้อช้างมาตรฐาน SAE 40 API CF....294
จ-2 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0....295
จ-3 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ชั่วโมงการทำงานที่ 10 ถึง 50....297
จ-4 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ชั่วโมงการทำงานที่ 75 ถึง 100....299
จ-5 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ชั่วโมงการทำงานที่ 110 ถึง 150....301
จ-6 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ชั่วโมงการทำงานที่ 175 ถึง 210....303
จ-7 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 235....305
จ-8 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ชั่วโมงการทำงานที่ 260 ถึง 310....307
จ-9 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือก
ชั่วโมงการทำงานที่ 310 ถึง 320....309

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2-1 แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสึกหรอจากวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลหะ และอโลหะอสัณฐาน 40
3-1 แสดงผลการทดสอบเสถียรภาพของเชื้อเพลิงเบื้องต้น 49
3-2 แสดงผลการผสมเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมต่างๆ 50
3-3 แสดงผลการทดลองเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมต่างๆมาใช้กับเครื่องยนต์ 51
3-4 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล น้ำมันดีเซลทางเลือก น้ำมันเตา และเคโรซีน 53
4-1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ 56
4-2 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 57
4-3 แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ มู่เล่ ตามอัตราทดรอบที่ความเร็วรอบต่างๆ 58
4-4 แสดงวัฏจักรที่ใช้ในการทดสอบ 78
4-5 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกสำหรับการทดสอบความทนทาน 81
4-6 แสดงระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น 83
5-1 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 ... 133
5-2 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ -20 ถึง 0 133
5-3 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 100 .. 135
5-4 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 0-100 136
5-5 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 138
5-6 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 100 ถึง 210 139
5-7 แสดงภาพถ่ายจากแผ่นเฟอร์โรแกรมจากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 141
5-8 แสดงถึงชนิดของอนุภาคที่พบในแผ่นเฟอร์โรแกรม จากน้ำมันหล่อลื่นชั่วโมงการทำงานที่ 210 ถึง 320 142
5-9 แสดงข้อมูลความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิง 162
5-10 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้ 179

ตาราง หน้า

5-11 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีด 180
5-12 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิง 180
5-13 แสดงผลการชั่งน้ำหนักวาล์ว 180
5-14 แสดงผลของการวัดขนาดวาล์วไอดี, วาล์วไอเสียและปลอกนำวาล์ว 181
5-15 แสดงราคาน้ำมันโดยเฉลี่ยประจำเดือนมีนาคม พ.ศ.2550 182
5-16 แสดงราคาน้ำมันดีเซลทางเลือก 182
5-17 แสดงการประมาณต้นทุนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบความทนทาน 184
ข-1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิซโดยประมาณที่อัตราการไหลต่างๆ 211
ค-1 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,000 rev/min 215
ค-2 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,200 rev/min 216
ค-3 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,500 rev/min 218
ค-4 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,800 rev/min 220
ค-5 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,000 rev/min 222
ค-6 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,400 rev/min 224
ค-7 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,000 rev/min 226
ค-8 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,200 rev/min 227
ค-9 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,500 rev/min 229
ค-10 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,800 rev/min 231

ตาราง หน้า

ค-11 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,000 rev/min 233
ค-12 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel ก่อนทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,400 rev/min 235
ค-13 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,000 rev/min 237
ค-14 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,200 rev/min 238
ค-15 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,500 rev/min 240
ค-16 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 1,800 rev/min 242
ค-17 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,000 rev/min 244
ค-18 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน Alternative Diesel หลังทดสอบความทนทาน ที่ความเร็วรอบ 2,400 rev/min 246
ง-1 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 0-15 249
ง-2 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 15-30 251
ง-3 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 30-45 253
ง-4 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 45-60 255
ง-5 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 60-75 257
ง-6 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 75-90 259
ง-7 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 90-105 261
ง-8 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 105-115 263
ง-9 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 115-130 265
ง-10 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 130-145 267
ง-11 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 145-160 269
ง-12 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 160-175 271
ง-13 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 175-190 273

ตาราง หน้า

ง-14 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 190-205 275
ง-15 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 205-220 277
ง-16 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 220-235 279
ง-17 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 235-250 281
ง-18 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 250-265 283
ง-19 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 265-280 285
ง-20 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 280-295 287
ง-21 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 295-310 289
ง-22 แสดงข้อมูลระหว่างการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 310-320 291

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
$\dot{m}_a$	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ	kg/s
$\dot{m}_f$	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง	kg/s
m_f	มวลเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ต่อ 1 cycle ต่อสูบ	kg
N	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	rev/min
N_c	จำนวนกระบอกสูบของเครื่องยนต์	
N_{min}	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่น้อยที่สุด	rev/min
P	ความสูงของสันฝายจากพื้น	m

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
P_b	กำลังเบรก	kW
ppm	part per million	
Q	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำ	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	°CA
SOI	จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง	°CA
STEC	Specific Total Energy Consumption	MJ/kW-hr
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	

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