ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247134

การศึกษาผลการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิง DME ผสมน้ำมันโซล่าที่มีต่อเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า

นายชลมิตร ทิพย์สิงห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00459734

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247134

การศึกษาผลการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล ในเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า

นายชลมิตร ทิพย์สิงห์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5170280321

THE STUDY ON EFFECT OF DME BLENDED WITH PALM BIODIESEL'S INJECTION TIMING IN AN IDI COMPRESSION IGNITION ENGINE

Mr.Chonlamit Tipsing

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล ในเครื่องยนต์ดีเซล ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า
โดย	นายชลมิตร ทิพย์สิงห์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณัฐเดช เฟื่องวรวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สถาพร สุปรีชากร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(นาวาเอก ดร.สมัย ใจอินทร์)

ชลมิตร ทิพย์สิงห์ : การศึกษาผลการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล ในเครื่องยนต์ดีเซล ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า. (THE STUDY ON EFFECT OF DME BLENDED WITH PALM BIODIESEL'S INJECTION TIMING IN AN IDI COMPRESSION IGNITION ENGINE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.คณิต วัฒนวิเชียร, 367 หน้า.

247134

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปรับค่าองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อใช้เชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล ที่มีต่อปรากฏการณ์เผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า เมื่อใช้ชุดขับปั๊มเชื้อเพลิงมาตรฐาน โดยการทดสอบได้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า Kubota รุ่น RT120 ขนาด 0.624 ลิตร เมื่อใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลผสม DME (DME-PME) ในสัดส่วนโดยมวล 40% DME เป็นเชื้อเพลิง เพื่อหาสมรรถนะและบันทึกความดันในกระบอกสูบเพื่อวิเคราะห์ปรากฏการณ์การเผาไหม้ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้แบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นผลการทดสอบเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน STD และส่วนที่สองศึกษาอิทธิพลของการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะและปรากฏการณ์การเผาไหม้

จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะโดยใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและ DME-PME ในสัดส่วนโดยมวล 40% DME เป็นเชื้อเพลิง เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศามาตรฐาน STD ที่สภาวะภาระสูงสุด พบว่าการใช้ DME-PME ในสัดส่วน 40% DME จะให้ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดมีค่าลดต่ำลง แต่มีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น ส่วนผลของการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน พบว่าการใช้ DME-PME ในสัดส่วน 40% DME เป็นเชื้อเพลิงจะมีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงมีต่ำกว่าการใช้ปาล์มไบโอดีเซลและดีเซลในทุกจุดทดสอบ และจากการวิเคราะห์ปรากฏการณ์การเผาไหม้ พบว่าการใช้ DME-PME ในสัดส่วน 40% DME มีจุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงล่าช้าที่สุด มีผลทำให้ค่าความดันสูงสุดภายในห้องเผาไหม้และงานอินดิเคทมีค่าต่ำสุด และเมื่อพิจารณารูปแบบของอัตราการปล่อยความร้อน พบว่ากรณีน้ำมันดีเซลจะมีลักษณะการเผาไหม้ที่มีความชันของอัตราการปล่อยความร้อนในช่วงเริ่มต้นสูงกว่า DME-PME ในสัดส่วน 40% DME ทำให้การเผาไหม้ในช่วงเริ่มต้นทำได้รวดเร็วกว่าและมีการปล่อยความร้อนสุทธิกับมีค่าสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้สูงกว่า ในส่วนของการศึกษาอิทธิพลของการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิง ที่มีต่อเครื่องยนต์เมื่อใช้ DME-PME ในสัดส่วน 40% DME เป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระสูงสุด พบว่าการปรับใช้เพลาลูกเบี้ยวเพื่อเพิ่มค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV4 มีค่าแรงบิดเบรกสูงสุดใกล้เคียงกับที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน และให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูงที่สุดในทุกความเร็วรอบ และยังพบว่ามีแนวโน้มลักษณะเดียวกันกับการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วนกล่าวคือ การใช้เพลาลูกเบี้ยวเพื่อเพิ่มค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV4 มีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูงที่สุด มีอุณหภูมิไอเสียต่ำที่สุด และจากการวิเคราะห์ปรากฏการณ์การเผาไหม้ พบว่าการใช้เพลาลูกเบี้ยวเพื่อเพิ่มค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV4 มีจุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงเกิดขึ้นเร็วที่สุด และมีปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรที่ต่ำที่สุด มีแนวโน้มให้ค่าความดันภายในห้องเผาไหม้สูงสุดและงานอินดิเคทมีค่าสูงสุด และมีลักษณะการเผาไหม้ที่มีความชันของอัตราการปล่อยความร้อนในช่วงเริ่มต้นสูงทำให้การเผาไหม้ในช่วงเริ่มต้นทำได้รวดเร็วและมีการปล่อยความร้อนสุทธิกับสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้มีค่าสูงที่สุด ซึ่งส่งผลสอดคล้องกันกับค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่ได้ค่าสูงสุดด้วย

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การนำ DME-PME ในสัดส่วน 40%DME มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนกับเครื่องยนต์รุ่นที่ใช้ในการวิจัยนี้จะมีความเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด ถ้ามีการใช้เพลาลูกเบี้ยวเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV4

ภาควิชา ....วิศวกรรมเครื่องกล.... ลายมือชื่อนิสิต...ชลมิตร ทิพย์สิงห์.....

สาขาวิชา...วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก...[illegible]...

ปีการศึกษา...2553.....

5170280321 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

247134

KEYWORDS: DME / COMBUSTION / PERFORMANCE / INJECTION TIMING

CHONLAMIT TIPSING : THE STUDY ON EFFECT OF DME BLENDED WITH PALM BIODIESEL'S INJECTION TIMING IN AN IDI COMPRESSION IGNITION ENGINE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KANIT WATTANAVICHIEN, Ph.D., 367 pp.

The objective of this work is aimed to study the effects of fuel injection timing on engine's combustion phenomenon and engine performance of an IDI CI engine fuelled with DME blended with palm biodiesel. The KUBOTA IDI model RT120, 0.624 liters, engine using diesel, palm biodiesel and 40% DME blended with palm biodiesel as a fuel was employed in this work. The engine performance was evaluated and combustion phenomena were analyzed using the captured in-cylinder pressure data. This presentation was divided into two parts. First, results of using different fuels on engine performance and combustion phenomena when using standard fuel injection timing will be presented. Then, effects of DME Blended with palm biodiesel's injection timing on an IDI engine's performance and combustion phenomena will be followed.

The comparative engine performance test with OEM's standard fuel injection timing (STD) when using diesel, palm biodiesel and 40% DME blended with palm biodiesel were performed. The full load performance show that the maximum brake torque of engine using 40% DME blended with palm biodiesel is lower than the results of using diesel but their energy conversion efficiencies are higher. The part load performance reveals that engine's energy conversion efficiency of using 40% DME blended with palm biodiesel are lower than palm biodiesel and diesel at all engine test points. The start of injection of 40% DME blended with palm biodiesel are the most retarded. As a consequence, the maximum in-cylinder pressure and indicated work are the lowest. The combustion's heat release during the premixed combustion stage show that the slope of heat release rate profile of diesel fuel is higher than that of 40% DME blended with palm biodiesel. Therefore, the start of combustion of diesel is faster thus the higher the net heat released and higher mass fraction burn has been obtained.

The investigation result of effects of injection timing when using 40% DME blended with palm biodiesel reveals that the engine's maximum brake torque obtained from the used of 4 degree advanced injection timing (ADV4) are closed to results from the use of a standard injection timing with the maximum energy conversion efficiency at all test speeds. In addition, with similar trend as at the full load, the engine part load test conditions when using the fuel injection timing of ADV4 will results in the highest the energy conversion efficiency and the lowest exhaust gas temperatures. The results of combustion phenomena analysis are also shown that the engine with fuel injection timing of ADV4 will start to deliver earlier injection with the lowest amount of injected fuel. The obtained maximum in-cylinder pressure and indicated work are also the highest. The combustion's heat release during the premixed combustion stage of engine using fuel injection timing of ADV4 also shows that the slope of heat release rate profile is also high. Therefore, the start of combustion with ADV4 is faster thus the higher the net heat released and mass fraction burn has been obtained. This is why, with the injection timing of ADV4, the engine has higher energy conversion efficiency.

Finally, results from this work can be concluded that the best match and the maximum benefit of using 40% DME blended with palm biodiesel as an alternative fuel in a KUBOTA RT120 engine can be achieved if the advanced engine's fuel injection timing of ADV 4 has been used.

Department :...Mechanical Engineering.... Student's Signature Chonlamit Tipsing..

Field of Study :..Mechanical Engineering.. Advisor's Signature .Kanit...Wattanavichien

Academic Year :....2010....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือและร่วมติดตามการทดสอบอย่างใกล้ชิดในทุกขั้นตอนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท สยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออะไหล่และให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณปัญจพล นวลละออง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านการติดตั้งเครื่องยนต์และทำการทดสอบเครื่องยนต์ และขอขอบคุณ คุณอัคฆพงศ์ สถาวรินทุ ที่ช่วยถ่ายทอดประสบการณ์การทำงาน, มุมมองและทัศนคติที่ดี ในการทำงานตลอดจนคำให้กำลังใจ อันหาสิ่งมาเปรียบค่ามิได้ รวมถึงเพื่อนนิสิตปริญญาโท, รุ่นพี่ที่สำเร็จการศึกษาแล้วที่ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์สันดาปภายในทุกคนที่ให้การช่วยเหลืองานด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ ที่ให้การสนับสนุนในทุกด้านทั้งคำปรึกษาและกำลังใจเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฑ
สารบัญภาพ ..... ท
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ล

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา 3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 4

บทที่ 2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ 5
2.1 รายละเอียดของเชื้อเพลิงไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether, DME) 5
2.1.1 กระบวนการผลิต DME 7
2.1.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของ DME 8
2.1.3 คุณลักษณะของสเปรย์ 9
2.1.4 การเผาไหม้ของ DME 10
2.1.5 แนวโน้มในการผลิตและการใช้งานในอนาคต 13
2.1.6 การผลิต DME ในต่างประเทศ 14
2.1.7 การใช้ DME ในปัจจุบัน 16
2.1.8 ภาพลักษณ์ในการใช้ DME 16
2.2 ปาล์มไบโอดีเซล 17
2.2.1 คุณสมบัติปาล์มไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ 18

หน้า

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของไบโอดีเซล....21
2.2.3 ภาพลักษณ์ในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล....23
2.3 ผลจากการผสม DME ลงในปาล์มไบโอดีเซล....24
2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล....27
2.4.1 เลขซีเทน (Cetane Number)....27
2.4.2 ค่าการระเหย (Volatility)....28
2.4.3 ความหนาแน่น (Density)....29
2.4.4 ความหนืด (Viscosity)....29
2.4.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity)....29
2.4.6 จุดหมอกควัน (Cloud Point)....30
2.4.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล....30
2.4.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content)....30
2.4.9 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content)....31
2.4.10ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content)....31
2.4.11จุดวาบไฟ (Flash Point)....32

บทที่ 3 กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลและการวิเคราะห์การเผาไหม้....33
3.1 กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ CI....33
3.1.1 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct Injection System)....33
3.1.2 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (Indirect Injection System)....34
3.2 แบบจำลองของกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ CI....35
3.2.1 การใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ CI....36
3.2.1.1 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ DI ที่ใช้หัวฉีดหลายรู....36
3.2.1.2 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ IDI แบบ Swirl Chamber....38
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลความดันในห้องเผาไหม้....39
3.4 การคำนวณอัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้....42
3.5 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์....44

หน้า

บทที่ 4 ทบทวนวรรณกรรม 45
4.1 งานวิจัยศึกษาวิเคราะห์การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ 45
4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำ DME มาใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 55
4.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำปาล์มไบโอดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด. 65
4.4 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำ DME ผสมกับปาล์มไบโอดีเซลมาใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 67

บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย 70
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 70
5.1.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ 70
5.1.2 อุปกรณ์ชุดทนความดันสูง (High Pressure Set) 72
5.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 73
5.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 75
5.1.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ 76
5.1.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Conditions) 77
5.1.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวัดความดันในห้องเผาไหม้ 78
5.1.7.1 ไดนาโมมิเตอร์ 78
5.1.7.2 การวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ 80
5.1.7.3 Piezoelectric Pressure Transducer 83
5.1.7.4 การเก็บข้อมูลความดัน 85
5.1.7.5 Charge Amplifier 87
5.1.7.6 Crank Angle Encoder 89
5.2 วิธีดำเนินการวิจัย 90
5.2.1 การทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล (Baseline Diesel Testing) 90
5.2.2 การทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล 90
5.2.3 การศึกษาอิทธิพลของการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะและการปลดปล่อยความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ 90
5.2.4 การปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิง 91

หน้า

5.2.5 แผนผังการจัดวางอุปกรณ์สำหรับทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้ 94
5.2.6 การทดสอบสมรรถนะ 95
5.2.6.1 การ Run in 95
5.2.6.2 การทดสอบที่ภาระสูงสุด (Full-Load Performance Test) 95
5.2.6.3 การทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วน (Part-Load Performance Test) 96
5.2.7 วิธีการทดสอบเพื่อวิเคราะห์การเผาไหม้ 97
5.2.7.1 การวัดความดันในห้องเผาไหม้และความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีด 97
5.2.7.2 การวิเคราะห์สภาวะการเผาไหม้จากอัตราการปล่อยความร้อน 97
5.2.7.3 การพิจารณาเลือกจุดฉีดเชื้อเพลิงและจุดเริ่มต้นการเผาไหม้ 98

บทที่ 6 ผลการทดสอบสมรรถนะและปรากฏการณ์การเผาไหม้ 99
6.1 ผลการทดสอบสมรรถนะ 100
6.1.1 ผลทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน 100
6.1.1.1 แรงบิดเบรก (Brake Torque) 100
6.1.1.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ (Specific Total Energy Consumption, STEC) 102
6.1.1.3 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง (Energy Conversion Efficiency, %) 104
6.1.1.4 อุณหภูมิไอเสีย (Exhaust Temperature, °C) 106
6.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระสูงสุด 108
6.1.2.1 แรงบิดเบรก (Brake Torque) 108
6.1.2.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ (Specific Total Energy Consumption, STEC) 110

หน้า

6.1.2.3 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง (Energy Conversion Efficiency, %) 112
6.1.2.4 อุณหภูมิไอเสีย (Exhaust Temperature, °C) 115
6.1.3 ผลการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน 116
6.1.3.1 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ (Specific Total Energy Consumption, STEC) 117
6.1.3.2 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง (Energy Conversion Efficiency, %) 123
6.1.3.3 อุณหภูมิไอเสีย (Exhaust Temperature, °C) 128
6.1.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระบางส่วน 134
6.1.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ และ ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง (Specific Total Energy Consumption, STEC and Fuel Conversion Efficiency, %) 134
6.1.4.2 อุณหภูมิไอเสีย (Exhaust Temperature, °C) 140
6.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ปรากฏการณ์การเผาไหม้ 145
6.2.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ปรากฏการณ์การเผาไหม้ เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน 145
6.2.1.1 ความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีด 146
6.2.1.2 ความดันในห้องเผาไหม้ 165
6.2.1.3 อัตราการปล่อยความร้อน 180
6.2.1.4 ช่วงล่าช้าการจุดระเบิด 192
6.2.1.5 การปล่อยความร้อนสุทธิ 197
6.2.1.6 สัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ 205
6.2.2 ผลทดสอบและการวิเคราะห์ปรากฏการณ์การเผาไหม้ จากการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ เมื่อใช้ DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิง 216
6.2.2.1 ความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีด 216

หน้า

6.2.2.2 ความดันในห้องเผาไหม้ 231
6.2.2.3 อัตราการปล่อยความร้อน 247
6.2.2.4 ช่วงล่าช้าการจุดระเบิด 260
6.2.2.5 การปล่อยความร้อนสุทธิ 264
6.2.2.6 สัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ 273
6.3 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะและปรากฏการณ์การเผาไหม้ 283
6.3.1 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิดเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน 283
6.3.1.1 สรุปผลทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุด 283
6.3.1.2 สรุปผลทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน 284
6.3.2 สรุปผลการศึกษาอิทธิพลของการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่ใช้ DME-PME ในสัดส่วน 40% DME เป็นเชื้อเพลิง 285
6.3.2.1 สรุปผลทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุด 285
6.3.2.2 สรุปผลทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน 286
6.3.3 สรุปผลของปรากฏการณ์การเผาไหม้ 287
6.3.3.1 สรุปผลของปรากฏการณ์การเผาไหม้ จากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิดเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน 287
6.3.3.2 สรุปผลการศึกษาอิทธิพลของการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อปรากฏการณ์การเผาไหม้ เมื่อใช้ DME-PME ในสัดส่วน 40% DME เป็นเชื้อเพลิง 290
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 293
7.1 สรุปผลการวิจัย 293
7.1.1 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะจากการทดสอบใช้ น้ำมันดีเซล, ปาล์มไบโอดีเซล และ DME-PME ในสัดส่วน40% DME เป็นเชื้อเพลิง เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน 293
7.1.1.1 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุด 293
7.1.1.2 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน 295

หน้า

7.1.2 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะจากการทดสอบใช้ DME-PME ในสัดส่วน 40% DME เป็นเชื้อเพลิง เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ....297
7.1.2.1 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุด....297
7.1.2.2 สรุปผลการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วน....300
7.1.3 สรุปผลของปรากฏการณ์การเผาไหม้ จากการทดสอบใช้ น้ำมันดีเซล, ปาล์มไบโอดีเซล และ DME-PME ในสัดส่วน40% DME เป็นเชื้อเพลิง เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน....302
7.1.4 สรุปผลของปรากฏการณ์การเผาไหม้จากการทดสอบใช้ DME-PME ในสัดส่วน40% DME เป็นเชื้อเพลิง เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ....304
7.2 ข้อเสนอแนะ....307
7.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป....307
รายการอ้างอิง....308
บรรณานุกรม....314
ภาคผนวก....316
ภาคผนวก ก มาตรฐาน ISO 3046 ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบเครื่องยนต์....317
ภาคผนวก ข การวัดอัตราการไหลของอากาศ....332
ภาคผนวก ค ESC TEST Cycle....336
ภาคผนวก ง รายละเอียดชุดอุปกรณ์ทนความดันสูง....340
ภาคผนวก จ การคำนวณหาสัดส่วนการผสมโดยมวล, ค่าอัตราส่วนสมมูลเชื้อเพลิง/อากาศ, ค่าความร้อนต่ำ, ค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลผสม DME ที่ส่วนผสมต่างๆ....355
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลจากผลการทดสอบสมรรถนะและความดันภายในห้องเผาไหม้...360
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....367

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 ความดันไอที่อุณหภูมิต่างๆ [3] 8

2-2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ DME [4] 9

2-3 ส่วนประกอบของอากาศแห้ง [6] 11

2-4 กำลังการผลิต DME จากมณฑลต่างๆ ในประเทศจีน 14

2-5 โครงการเพิ่มกำลังการผลิต DME จากมณฑลต่างๆในประเทศจีน 15

2-6 คุณสมบัติของปาล์มไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ 19

2-7 มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล 20

2-8 โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมัน (Fatty Acid) ที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างๆที่นำมาทำปาล์มไบโอดีเซล [9] 21

2-9 ค่าซีเทนที่ได้จากน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากวัตถุดิบต่างๆ [9] 22

5-1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ทดสอบ [47] 71

5-2 รายละเอียดอุปกรณ์ชุดทนความดันสูงยี่ห้อ Swagelok 73

5-3 ข้อมูลทางเทคนิคของตาชั่งที่ใช้วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 74

5-4 ข้อมูลทางเทคนิคของไดนาโมมิเตอร์ 79

5-5 ข้อมูลทางเทคนิคของ Proximity ที่ใช้วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ 81

5-6 ข้อมูลทางเทคนิคของพัลส์มิเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลความเร็วรอบเครื่องยนต์ 83

5-7 ข้อมูลทางเทคนิคของ Pressure Transducer ยี่ห้อ AVL รุ่น GU12P 84

5-8 ข้อมูลทางเทคนิคของ Pressure Transducer ยี่ห้อ Kistler รุ่น 607C2 84

5-9 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่อง DEWETRON รุ่น 5000-CA-SE [48] 86

5-10 ข้อมูลทางเทคนิคของ Amplifier รุ่น DAQP-CHARGE-A 88

5-11 ข้อมูลทางเทคนิคของ Crank Angle Encoder ยี่ห้อ Kistler รุ่น 2613B 89

5-12 องศาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้ 93

6-1 เปรียบเทียบผลของแรงบิดเบรกสูงสุดที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ จากการทดสอบเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) 102

ตารางที่ หน้า

6-2 เปรียบเทียบค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ จากการทดสอบเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC).....104

6-3 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆจากการทดสอบเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC).....106

6-4 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆจากการทดสอบเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC).....108

6-5 เปรียบเทียบแรงบิดเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ ระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ.....110

6-6 เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ ระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 112

6-7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ ระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 114

6-8 เปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ ระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 116

6-9 เปรียบเทียบค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะจากการทดสอบเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) ..122

6-10 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง จากการทดสอบเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) ..127

6-11 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิไอเสีย จากการทดสอบเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC).....133

ตารางที่ หน้า

6-12 เปรียบเทียบค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะในแต่ละจุดทดสอบการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วนระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 138
6-13 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงในแต่ละจุดทดสอบการทำงานที่สภาวะภาระบางส่วนระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 139
6-14 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิไอเสียในแต่ละจุดทดสอบการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วนระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 144
6-15 จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงและจุดสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระบางส่วนเปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....151
6-16 จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงและจุดสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....154
6-17 ช่วงการฉีดเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....155
6-18 ช่วงการฉีดเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....156
6-19 ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....163
6-20 ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....164
6-21 ความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....171
6-22 ความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....172
6-23 งานที่แก๊สภายในกระบอกสูบให้แก่ลูกสูบที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....178

ตารางที่ หน้า

6-24 งานที่แก๊สภายในกระบอกสูบให้แก่ลูกสูบที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 179
6-25 จุดเริ่มต้นการเผาไหม้และจุดสิ้นสุดการเผาไหม้ ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 187
6-26 จุดเริ่มต้นการเผาไหม้และจุดสิ้นสุดการเผาไหม้ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 188
6-27 ช่วงของการเผาไหม้ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 189
6-28 ช่วงของการเผาไหม้ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 190
6-29 ค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางปล่อยความร้อน ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 191
6-30 ค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางปล่อยความร้อน ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 192
6-31 ช่วงล่าช้าการจุดระเบิด ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 196
6-32 ช่วงล่าช้าการจุดระเบิด ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 197
6-33 การปล่อยความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 203
6-34 การปล่อยความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 204
6-35 สัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 212
6-36 สัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 213
6-37 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบที่มีการเผาไหม้ดีที่สุดในแต่ละจุดทดสอบ เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน 215

ตารางที่ หน้า

6-38 จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงและจุดสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 222
6-39 จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงและจุดสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 223
6-40 ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงต่อวัฏจักร ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 229
6-41 ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงต่อวัฏจักร ที่สภาวะภาระสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 230
6-42 ความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 237
6-43 ความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 238
6-44 งานที่แก๊สภายในกระบอกสูบให้แก่ลูกสูบที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 245
6-45 งานที่แก๊สภายในกระบอกสูบให้แก่ลูกสูบที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 246
6-46 จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเผาไหม้ ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 254
6-47 จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเผาไหม้ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 255
6-48 ช่วงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 256
6-49 ช่วงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 257
6-50 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 258
6-51 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 259

ตารางที่ หน้า

6-52 ช่วงล่าช้าการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....263
6-53 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....264
6-54 การปล่อยความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....270
6-55 การปล่อยความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่าง การใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....272
6-56 สัดส่วนมวลเชื้อเพลิงเผาไหม้ ที่สภาวะภาระบางส่วน เปรียบเทียบระหว่าง การใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....280
6-57 สัดส่วนมวลเชื้อเพลิงเผาไหม้ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่าง การใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....281
6-58 องศาการฉีดเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้ดีที่สุดในแต่ละจุดทดสอบ....282
ก-1 Numerical value for power adjustment....329
ข-1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิซโดยประมาณที่อัตราการไหลต่างๆ....333
ค-1 ESC Test Modes....337
ฉ-1 ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้ที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานของเชื้อเพลิงดีเซล....361
ฉ-2 ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้ที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานของเชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล....362
ฉ-3 ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้ที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานของเชื้อเพลิง 60% PME + 40% DME....363
ฉ-4 ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้ที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV2 ของเชื้อเพลิง 60% PME + 40% DME....364
ฉ-5 ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้ที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV4 ของเชื้อเพลิง 60% PME + 40% DME....365
ฉ-6 ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้ที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า RTD2 ของเชื้อเพลิง 60% PME + 40% DME....366

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	โครงสร้างของโมเลกุลของ DME	5
2-2	กระบวนการผลิต DME	7
2-3	การเปรียบเทียบลักษณะของสเปรย์ของดีเซลและDME [5]	10
2-4	อัตราการปล่อยพลังงานเปรียบเทียบระหว่าง DME และ ดีเซล ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 rpm ที่ภาระการทำงาน 45 Nm ของเครื่องยนต์ CI ขนาด 1330 cm^3 อัตราส่วนกำลังอัด 16.5:1 [7]	12
2-5	แนวโน้มราคา DME ในอนาคต	13
2-6	แนวโน้มความต้องการใช้ DME ในอุตสาหกรรมต่างๆ	13
2-7	รูปน้ำมันที่ใช้ในการวิจัย เปรียบเทียบระหว่าง (ภาพซ้าย) น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและ (ภาพขวา) น้ำมันดีเซล	18
2-8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดคิเนมาติกกับอุณหภูมิในเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	25
2-9	ตัวอย่างเชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล ที่อุณหภูมิต่างๆพบว่าจะเริ่มเป็นไขที่อุณหภูมิ 13.5 °C	26
2-10	ตัวอย่างเชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซลหลังการผสมที่สัดส่วน 50% DME, 50% ปาล์มไบโอดีเซล โดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 5.1 บาร์ ที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งพบว่ามีความเป็นเนื้อเดียวกัน	26
2-11	โค้งการกลั่น (Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป [10]	28
3-1	ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ CI แบบ DI [6]	34
3-2	ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ CI แบบ IDI ชนิด Swirl Chamber [6]	35
3-3	ผังอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ระบบแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงทั่วไป [6]	36
3-4	ข้อมูลของความดันในกระบอกสูบ(P) ระยะยกของวาล์วเข็มในหัวฉีด (Injector Needle Lift, I_N) และความดันเชื้อเพลิงในท่อส่งเชื้อเพลิง (P_l) ที่มุมข้อเหวี่ยงต่างๆ ตลอดจังหวะอัดและจังหวะขยายตัวของเครื่องยนต์ DI [6]	36
3-5	ค่าความดันในกระบอกสูบ (p), อัตราการฉีดเชื้อเพลิง ($\dot{m}_{fi}$) และอัตราการปล่อยความร้อนสุทธิ ($\dot{Q}_n$) จากเครื่องยนต์ CI แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ความเร็วรอบ 1000 rpm, Brake Mean Effective Pressure 620 kPa [6]	37
3-6	ผังอัตราการฉีดเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 3 แบบ [6]	39

รูปที่		หน้า
3-7	ขอบเขตของระบบเปิดสำหรับห้องเผาไหม้ เพื่อวิเคราะห์การปล่อยความร้อน [6]	40
3-8	ตัวแปรในการวิเคราะห์การปล่อยความร้อนในเครื่องยนต์แบบ IDI [6]	40
4-1	(a) In-cylinder pressure, (b) Fuel line pressure, (c) Fuel injection rate, (d) Heat release rate, (e) Net heat release, (f) Mass fraction burned ที่ 2250 rev/min, 80 Nm [21]	47
4-2	ภาพถ่ายสเปรย์ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและดีโซฮอล์ที่ 2000 rev/min, 30 Nm [22]	48
4-3	ภาพถ่ายการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและดีโซฮอล์ที่ 2000 rev/min, 30 Nm [22]	48
4-4	ภาพของอุณหภูมิเปลวไฟในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและดีโซฮอล์ที่ 2000 rev/min, 30 Nm [22]	49
4-5	ภาพของ Soot distributionในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและดีโซฮอล์ที่ 2000 rev/min, 30 Nm [22]	49
4-6	ภาพถ่ายสเปรย์ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซล [23]	50
4-7	ภาพถ่ายสเปรย์ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงปาล์มดิบดีเซล [23]	50
4-8	ภาพถ่ายการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและปาล์มดิบดีเซล (a) รอบเดินเบา (b) 2000 rev/min,30 Nm (c) 2000 rev/min,50 Nm [23]	51
4-9	อุณหภูมิเปลวไฟในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและปาล์มดิบดีเซล [23]	52
4-10	Soot distribution ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเชื้อเพลิงดีเซลและปาล์มดิบดีเซล [23]	52
5-1	เครื่องยนต์ทดสอบ	70
5-2	แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ชุดทนความดันสูงยี่ห้อ Swagelok	72
5-3	อุปกรณ์การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	74
5-4	ตำแหน่งเทอร์โมคับเปิลที่ท่อไอเสีย	75
5-5	การติดตั้งตำแหน่งของเทอร์โมคับเปิลที่ตัวกรองน้ำมันหล่อลื่น	75
5-6	การติดตั้งตำแหน่งของเทอร์โมคับเปิลที่ด้านล่างของฝาสูบ	76
5-7	จุดที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในถังพักอากาศ	76
5-8	ถังพักอากาศและการติดตั้ง Orifice Plate	77
5-9	Inclined Manometer	77
5-10	บารอมิเตอร์	78

รูปที่ หน้า

5-11 เทอร์โมมิเตอร์ 78
5-12 ไดนาโมมิเตอร์ 79
5-13 ภาพตัดขวางภายในของไดนาโมมิเตอร์แบบไฮโดรลิค 80
5-14 Proximity 80
5-15 Pulse Meter 80
5-16 ส่วนประกอบภายในตัวเรือนของ Proximity แบบ Inductive 82
5-17 Pressure Transducer สำหรับวัดความดันในห้องเผาไหม้ 85
5-18 Pressure Transducer สำหรับวัดความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีด 85
5-19 ตำแหน่งการติดตั้ง Pressure Transducer สำหรับวัดความดันในห้องเผาไหม้และความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีด 85
5-20 เครื่อง DEWETRON รุ่น 5000-CA-SE [48] 86
5-21 Amplifier รุ่น SAQP-CHARGE-A 87
5-22 Crank Angle Encoder ยี่ห้อ Kistler รุ่น 2613B 89
5-23 องค์ประกอบของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงและตำแหน่งติดตั้งของชิมรองเรือนปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง [47] 91
5-24 การปรับแต่งเพลาลูกเบี้ยวเพื่อเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง [40] 92
5-25 แผนผังการทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้ 94
5-26 เมตริกซ์แสดงจุดที่ใช้ในการทดสอบ 96
5-27 อัตราการเปลี่ยนแปลงความดัน, จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง, จุดเริ่มต้นการเผาไหม้และความดันในห้องเผาไหม้ [49] 98
6-1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเบรกสูงสุดกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) 101
6-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) 103

รูปที่ หน้า

6-3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) 105

6-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC)..... 107

6-5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเบรกสูงสุดกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 109

6-6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 111

6-7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 113

6-8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 115

6-9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับภาระที่ความเร็วรอบคงที่ค่าต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) 118

6-10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับความเร็วรอบที่ ภาระคงที่ค่าต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) 121

6-11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงกับภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ค่าต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) 124

รูปที่ หน้า

6-12 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงกับความเร็วรอบที่ภาระคงที่ค่าต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) 126

6-13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอเสียกับภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ค่าต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) 129

6-14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอเสียกับความเร็วรอบที่ภาระคงที่ค่าต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD 20 CA BTDC) 132

6-15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะและค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 Rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 135

6-16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะและค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 Rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 135

6-17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะและค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 Rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 136

6-18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะและค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 Rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 136

รูปที่ หน้า

6-19 ค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 Rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 140

6-20 ค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 Rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 141

6-21 ค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 Rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 141

6-22 ค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 Rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD (20 CA BTDC) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ 142

6-23 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....147

6-24 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....148

6-25 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....149

6-26 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....150

6-27 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....153

6-28 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 157

รูปที่ หน้า

6-29 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 158

6-30 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 159

6-31 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 160

6-32 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 161

6-33 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 166

6-34 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 167

6-35 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 168

6-36 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 169

6-37 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 170

6-38 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้กับปริมาตรกระบอกสูบ ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 173

รูปที่ หน้า

6-39 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้กับปริมาตรกระบอกสูบ ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด....174

6-40 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้กับปริมาตรกระบอกสูบ ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด....175

6-41 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้กับปริมาตรกระบอกสูบ ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด....176

6-42 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้กับปริมาตรกระบอกสูบ ที่สภาวะภาระสูงสุด ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด....177

6-43 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยความร้อนกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด....181

6-44 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยความร้อนกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด....182

6-45 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยความร้อนกับภาระการทำงานที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด....183

6-46 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยความร้อนกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด....184

6-47 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยความร้อนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด....185

6-48 ความสัมพันธ์ของช่วงล่าช้าการจุดระเบิดกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด....193

รูปที่ หน้า

6-49 ความสัมพันธ์ของช่วงล่าช้าการจุดระเบิดกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 194
6-50 ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยความร้อนสุทธิกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 198
6-51 ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยความร้อนสุทธิกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 199
6-52 ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยความร้อนสุทธิกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 200
6-53 ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยความร้อนสุทธิกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 201
6-54 ความสัมพันธ์ของการปล่อยความร้อนสุทธิกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 202
6-55 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 206
6-56 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 207
6-57 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 208
6-58 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วนภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 209

รูปที่ หน้า

6-59 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....210
6-60 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 217
6-61 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 218
6-62 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 219
6-63 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 220
6-64 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 221
6-65 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ.....224
6-66 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ.....225
6-67 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ.....226
6-68 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ.....227

รูปที่ หน้า

6-69 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....228
6-70 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....232
6-71 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....233
6-72 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....234
6-73 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....235
6-74 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....236
6-75 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับปริมาตรกระบอกสูบ ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....240
6-76 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับปริมาตรกระบอกสูบ ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....241
6-77 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับปริมาตรกระบอกสูบ ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....242
6-78 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับปริมาตรกระบอกสูบ ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ....243

รูปที่ หน้า

6-79 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ.....244
6-80 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยความร้อนกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 248
6-81 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยความร้อนกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 249
6-82 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยความร้อนกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 250
6-83 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยความร้อนกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 251
6-84 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปล่อยความร้อนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ.....252
6-85 ความสัมพันธ์ของช่วงล่าช้าการจุดระเบิดกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาต่างๆ 261
6-86 ความสัมพันธ์ของช่วงล่าช้าการจุดระเบิดกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวค่าองศาต่างๆ 262
6-87 ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยความร้อนสุทธิกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 265
6-88 ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยความร้อนสุทธิกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 266

รูปที่ หน้า

6-89 ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยความร้อนสุทธิกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 267

6-90 ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยความร้อนสุทธิกับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 268

6-91 ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยความร้อนสุทธิกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 269

6-92 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 274

6-93 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 275

6-94 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1700 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 276

6-95 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงเผาไหม้กับภาระการทำงาน ที่สภาวะภาระบางส่วน ภายใต้การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 277

6-96 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงเผาไหม้กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาต่างๆ 278

ข-1 ภาพการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยวิธี Air Box Method [51] 327

ค-1 European Stationary Cycle (ESC) [52] 331

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
A/F	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง	kg air / kg fuel
$(A/F)_A$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง	kg air / kg fuel
$(A/F)_S$	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ Stoichiometric	kg air / kg fuel
A_n	พื้นที่ที่เล็กที่สุดของหัวฉีด	m^2
bmep	Brake Mean Effective Pressure	kPa
bsfc	Brake Specific Fuel Consumption	g/kW-hr
BDC	ตำแหน่งจุดศูนย์ตายล่าง	
C_{DO}	Discharge Coefficient ของ Orifice Plate	
C_d	Discharge Coefficient ของหัวฉีด	
CI	เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compress Ignition)	
c_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่	kJ/kg-K
c_v	ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่	kJ/kg-K
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	mm
DI	ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct Injection)	
d_n	Fuel-Injection-Nozzle Orifice Diameter	mm
DME	Dimethyl Ether	
$\frac{dm}{dt}$	อัตราการไหลของมวล	kg/s
$\frac{dQ}{dt}$	อัตราการปล่อยความร้อน	kJ/s
$\frac{dV}{dt}$	อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายในกระบอกสูบ	dm^3/s
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของ Orifice Plate	m
EOC	จุดสิ้นสุดการเผาไหม้	^oCA
EOI	จุดสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง	^oCA
EP	End Point	
FBP	Final Boiling Point	
fmep	Friction Mean Effective Pressure	kPa
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
H	Enthalpy	kJ
h_i	Enthalpy ของมวล i ที่เข้าสู่ระบบ	kJ/kg
h_f	Sensible Enthalpy ของเชื้อเพลิง	kJ/kg
IBP	Initial Boiling Point	
K	ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และ เท่ากับ 2 สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	
LHV	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง	MJ/kg
L_n	Fuel-Injection-Nozzle Orifice Length	mm
L_n/D_n	อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีด	
m	มวล	kg
$\dot{m}_a$	อัตราการไหลของมวลอากาศ	kg/s
$\dot{m}_i$	อัตราการไหลของมวลเข้าไปในระบบผ่านขอบเขตของระบบที่ตำแหน่ง i	kg/s
m_f	มวลของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ต่อ 1 cycle ต่อสูบ	kg/cycle
$\dot{m}_{fi}$	อัตราการฉีดเชื้อเพลิง	kg/degree
N	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	rpm
N_c	จำนวนกระบอกสูบของเครื่องยนต์	
N_{min}	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่น้อยที่สุด	rpm
P	ความดันในกระบอกสูบ	Pa
P_{amb}	ความดันแวดล้อม	Pa
P_b	กำลังเบรก	kW
P_f	ความดันที่ได้จากการทดสอบการเผาไหม้ปกติ	Pa
P_i	ความดันในการฉีด	Pa
PME	Palmitic Methyl Ester	
Q	ค่าการปล่อยความร้อนสุทธิ	kJ
Q_{HV}	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/kg
$\dot{Q}_n$	อัตราการปล่อยความร้อนสุทธิ	kJ/degree
R	ค่าคงที่ของก๊าซ (Gas Constant)	kJ/kmol-K

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
r_c	อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio)	
SOC	จุดสิ้นสุดการเผาไหม้	^{o}CA
SOI	จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง	^{o}CA
t	เวลา	s
T_b	แรงบิดเบรก	N-m
TDC	ตำแหน่งจุดศูนย์ตายบน	
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
X_b	สัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้	
Z	ระดับความสูง	m
Δh	ผลต่าง Head ที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์	mmH_2O
ΔP	ผลต่างความดัน	kPa
ϕ	Equivalent Ratio	
^{o}CA	มุม(องศา)เพลาข้อเหวี่ยง	
$\gamma_{a,i}$	น้ำหนักจำเพาะของอากาศ	$kg/m^2\text{-}s^2$
θ	องศาเพลาข้อเหวี่ยง	degree
θ_{start}	องศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เริ่มฉีดเชื้อเพลิง	^{o}CA
θ_{end}	องศาเพลาข้อเหวี่ยงที่สิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง	^{o}CA
η_i	ประสิทธิภาพบ่งชี้	
η_{it}	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้	
η_c	ประสิทธิภาพการเผาไหม้	
η_{bt}	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก	
η_m	ประสิทธิภาพเชิงกล	
η_{f_b}	ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก	

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
η_v	ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร	
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}	ความหนาแน่นของน้ำ	kg/m^3
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad/s
30%DME	DME ผสมปาล์มไบโอดีเซลที่สัดส่วน 30%DME	
40%DME	DME ผสมปาล์มไบโอดีเซลที่สัดส่วน 40%DME	
50%DME	DME ผสมปาล์มไบโอดีเซลที่สัดส่วน 50%DME	