การศึกษาสมรรถนะ, ไอเสียและอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นบนเครื่องปั่นไฟที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอล

INVESTIGATION OF PERFORMANCE, EMISSION AND DETERIORATION OF LUBRICANT ON GENERATOR ENGINE USING ETHANOL FUEL

พัฒนะ เธียนชัยกุล

สุรวิชช์ เย็นสุดท้าย

เลอพงษ์ พรหมรงค์ศิลป์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาสมรรถนะ, ไอเสียและการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์ของเครื่องปั่นไฟที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอล

INVESTIGATION OF PERFORMANCE, EMISSION AND DETERIORATION OF LUBRICANT ON GENERATOR ENGINE USING ETHANOL FUEL

พัฒนะ เอกปัญญากุล
สุรวิชช์ เอี่ยมอ่อน
เอกพงษ์ พลพิมลพัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INVESTIGATION OF PERFORMANCE, EMISSION AND DETERIORATION OF LUBRICANT ON GENERATOR ENGINE USING ETHANOL FUEL

Patana Ekapanyakul
Surawit Eiamoom
Ekkapong Ponpimonpat

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาสมรรถนะ, ไอเสียและการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์ของเครื่องปั่นไฟที่ใช้ เชื้อเพลิงเอทานอล

Investigation of Performance, Emission and Deterioration of Lubricant on Generator Engine Using Ethanol Fuel

ผู้จัดทำ

1. นาย พัฒนะ เอกปัญญากุล รหัสประจำตัว 53011101
2. นาย สุรวิชช์ เอี่ยมอ่อน รหัสประจำตัว 53011779
3. นาย เอกพงษ์ พลพิมลพัฒน์ รหัสประจำตัว 53011956

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ธิติพัทธ์ ลิ่มกุล)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ปรีชา การินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสมรรถนะ, ไอเสียและการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องของเครื่องปั่น ไฟที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอล

นายพัฒนะ เอกปัญญากุล รหัส 53011101
นายสุรวิชช์ เอี่ยมอ่อน รหัส 53011779
นายเอกพงษ์ พลพิมลพัฒน์ รหัส 53011956
ผศ.ธิติพัทธ์ ลิ่มกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.ปรีชา การินทร์ อาจาร์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะ, ไอเสียและการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานเป็นเวลาต่างๆของเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์จุดระเบิดด้วยประกายไฟขนาดเล็กที่ได้มีการดัดแปลงให้ใช้กับเชื้อเพลิง แก๊สโซฮอล์ 91 E20 E85 และเชื้อเพลิงแอนไฮดรัสเอทานอล โดยการศึกษาตัวชี้วัดสมรรถนะ คือ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานเชื้อเพลิง และการปลดปล่อยความร้อน ในการทดสอบเครื่องยนต์จะมุ่งเน้นในการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้มีค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้มีค่าตรงตามทฤษฎีการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ โดยการปรับเปลี่ยนขนาดนมหนูหลักและปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ จากผลการทดลองด้านสมรรถนะพบว่าเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิงมากที่สุดคือเชื้อเพลิง E85 และเชื้อเพลิงที่มีอัตราการปล่อยความร้อนมากที่สุดคือเชื้อเพลิงแอนไฮดรัสเอทานอล จากผลการทดลองในด้านมลพิษของไอเสียพบว่าการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุด ไฮโดรคาร์บอนสูงสุด และออกไซด์ของไนโตรเจนสูงสุด คือ E20 E20 และ Gasohol91 ตามลำดับ และเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุดคือเชื้อเพลิงแอนไฮดรัสเอทานอล และจากผลการทดลองในส่วนเรื่องการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องพบว่า ปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้นตามชั่วโมงการใช้งาน ส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และในส่วนของปริมาณน้ำและปริมาณเชื้อเพลิงที่เจือปนในน้ำมันเครื่องพบว่า มีปริมาณน้อยมากในทุกชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ จึงสรุปว่าชนิดของเชื้อเพลิงไม่ส่งผลให้น้ำมันเครื่องเสื่อมสภาพเร็วขึ้นหรือช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Investigation of Performance, Emission and Deterioration of Lubricant on Generator Engine Using Ethanol Fuel

Pattana Ekapanyakul 53011101
Surawit Eiamoon 53011779
Ekkapong Ponpimonpat 53011956
Asst. Prof. Thitipat Limkul Advisor
Dr.Preechar Karin Co.Advisor
Year 2556

ABSTRACT

This research is a studying of performance, emission and degradation of lubricants that use in different period of time from small spark ignition carburetor engine. This engine has been modified to use with gasohol 91, E20, E85 and anhydrous ethanol. In case of performance we are studying 2 performance indicators, first is Fuel conversion efficiency and second is heat release. The experiment engine will be focused on adjustment of the engine so that the air fuel ratio is under the complete combustion process theory. The adjustment process will be based on the adjustment of the main jet size and flow rate of the fuel and air. According to the result of the performance the experimental shows that E85 has the most effective fuel conversion efficiency at the same level of power output and anhydrous ethanol has the best performance in heat release. From the result of the experiment on the emission has shown that fuel with highest rate of carbon monoxide emission, hydrocarbon and oxide of nitrogen are E20, E20 and gasohol91, respectively. Ultimately, fuel with the best complete combustion is the anhydrous ethanol fuel. And in a result of degradation of engine oil showed that when iron in engine oil increase the viscosity of engine oil is also increase but they are still in acceptable range. In part of water and fuel quantity that is mix with engine oil, it find out that in every fuel type, there are little amount mix with them. In conclusion fuel type does not impact to degradation of engine oil faster or slower.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเรื่องจากผู้วิจัยได้รับการช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากหลายๆฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.ธิติพัทธ์ ลิ่มกุล อาจารย์ที่ปรึกษาและดร.ปรีชา การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ในการแนะนำตรวจแก้ไขข้อเสนอแนะ ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัย กลุ่มผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ทั้งสองท่านนี้เป็นอย่างยิ่งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบริษัท โฟกัสแล็ป จำกัด ที่ให้การอนุเคราะห์ในการทดสอบหาอัตราการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์และขอบคุณบริษัท ควายทอง โฮลดิ้งกรุ๊ป จำกัด ที่ให้การอนุเคราะห์เครื่องยนต์รุ่น K-009 EP 2500 Es ที่ใช้ในการทดสอบ เป็นจำนวน 2 เครื่อง

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมศาสตร์เครื่องกลที่เอื้อเฟื้อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับการช่วยเหลือและให้กำลังใจจากคุณพ่อคุณแม่พี่น้องและเพื่อนๆตลอดจนบุคคลต่างๆที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นายพัฒนะ เอกปัญญากุล
นายสุรวิชช์ เอี่ยมอ่อน
นายเอกพงษ์ พลพิมลพัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII
รายการสัญลักษณ์ X
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1
1.3 ขอบเขตการศึกษา 2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา 2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 3
2.1 เชื้อเพลิง 3
2.1.1 น้ำมันเบนซินหรือแก๊สโซลีน 3
2.1.2 เชื้อเพลิงเอทานอล 3
2.1.3 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 4
2.2 เครื่องยนต์ 5
2.3 คาร์บูเรเตอร์ 6
2.4 นมหนู 6
2.4.1 การทำงานของระบบย่อย 6
2.5 การคำนวณค่าต่างๆ 8
2.5.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 การปล่อยไอเสีย 8

2.6.1 คาร์บอนมอนอกไซด์ 8

2.6.2 ออกไซด์ของไนโตรเจน 9

2.6.3 ไฮโดรคาร์บอน 11

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 12

3.1 อุปกรณ์และชุดทดลอง 13

3.1.1 การเตรียมอุปกรณ์เพื่อปรับขนาดนมหนู 13

3.1.1.1 นมหนู 13

3.1.1.2 ดอกสว่านขนาดเล็ก 13

3.1.2 เครื่องยนต์ 14

3.1.3 เชื้อเพลิง 14

3.1.4 การจัดทำโหลด 14

3.1.5 มาตรวัดรอบ 15

3.1.6 เครื่องวัดอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 15

3.1.7 บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ 16

3.1.8 เครื่องวิเคราะห์การสันดาปภายใน 17

3.1.9 เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย 17

3.2 วิธีการทดลอง 18

3.2.1 การเลือกขนาดนมหนู 18

3.2.2 การหาประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง 20

3.2.3 การหาอัตราการปลดปล่อยความร้อน 21

3.2.4 ทดสอบไอเสีย 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.5 ทดสอบการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์ 22

บทที่ 4 ผลการทดลอง 23

4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง 23

4.2 ผลการทดสอบอัตราการปลดปล่อยความร้อน 24

4.3 ผลการทดสอบไอเสีย 26

4.4 ผลการทดสอบความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์ 29

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 32

5.1 สรุปผลการทดลองทางด้านประสิทธิภาพเครื่องยนต์ 32

5.2 สรุปผลการทดลองทางด้านการปล่อยไอเสีย 32

5.3 สรุปผลการทดลองทางด้านความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์ 32

5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง 33

เอกสารอ้างอิง 34

ภาคผนวก ก 35

ภาคผนวก ข 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดเครื่องยนต์ปั่นไฟขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง 5
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง 14
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบขนาดนมหนูจากสมการและขนาดนมหนูที่ใช้จริง 20
ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน 95 53
ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 57
ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E20 61
ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 65
ตารางที่ ข-5 ผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแอนไฮดรัสเอทานอล 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้าที่

2.1 เครื่องปั่นไฟขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง 5

2.2 คาร์บูเรเตอร์ 6

3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดสอบ 12

3.2 นมหนู 13

3.3 ดอกสว่านและปากกาจับดอกสว่าน 13

3.4 โหลดขนาด 2500 วัตต์ 15

3.5 มาตรวัดรอบ 15

3.6 เครื่องวัดอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 16

3.7 บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ 17

3.8 เครื่องวิเคราะห์การสันดาปภายใน 17

3.9 เครื่องวัดการปล่อยปริมาณไอเสีย 18

3.10 Performance of elementary carburetor: variation of C_{DT}, C_{D0}, Φ, m_f $(A/F)_S$, m_a and equivalence ratio ϕ with venture pressure drop 19

3.11 การติดตั้ง Pressure Transducer ที่ห้องเผาไหม้ 21

3.12 การติดตั้ง Crank Angle Encoder 22

4.1 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิงต่อกำลังที่ได้ 23

4.2 แสดงถึงอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่โหลด 500 วัตต์ 24

4.3 แสดงถึงอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่โหลด 1000 วัตต์ 24

4.4 แสดงถึงอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่โหลด 1500 วัตต์ 25

4.5 แสดงถึงอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่โหลด 2000 วัตต์ 25

4.6 แสดงถึงปริมาณออกซิเจน (O_2) ในไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ 26

4.7 แสดงถึงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ 27

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.8 แสดงถึงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ 27

4.9 แสดงถึงปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) ในไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ 28

4.10 แสดงถึงปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ในไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ 28

4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำมันเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (°C) ชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันเครื่อง 29

4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กในน้ำมันเครื่องยนต์ต่อชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันเครื่องยนต์ 29

4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำโดยน้ำหนักในน้ำมันเครื่อง และ ชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันเครื่อง 30

4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงโดยน้ำหนักในน้ำมันเครื่อง และชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันเครื่อง 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

η_f	ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง
$bmep$	ความดันผลเฉลี่ยเพลา
λ	อัตราส่วนสมมูลของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้จริงต่อที่อุดมคติ
ϕ	อัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงต่ออากาศที่ใช้จริงต่อที่อุดมคติ
$\dot{W}_b$	กำลังเพลาต่อการทำงาน 1 รอบ
n	จำนวนรอบต่อหนึ่งวัฏจักร
N	ความเร็วรอบเครื่องยนต์
ΔV	ปริมาตรจากศูนย์ตายล่างถึงศูนย์ตายบน
V_d	ความจุของเครื่องยนต์
Q_{HV}	ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง
$bsfc$	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลา
m_f	มวลของน้ำมันเชื้อเพลิง
m_a	มวลของอากาศ
ρ_f	ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันจะเห็นว่ามีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นทุกวัน โดยที่เชื้อเพลิงฟอสซิลก็เริ่มหมดไปจากโลกในทุกๆวัน นับวันเชื้อเพลิงฟอสซิลก็จะยิ่งมีราคาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นในปัจจุบันผู้คนจึงเริ่มหันมาให้ความสำคัญกับพลังงานทดแทนต่างๆที่จะสามารถใช้ในการทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ ซึ่งเชื้อเพลิงทดแทนที่นิยมและเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันก็คือเอทานอล ซึ่งเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่มนุษย์สามารถผลิตขึ้นมาเองได้ทำให้มีราคาถูกกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล แต่การจะนำเชื้อเพลิงเอทานอลมาใช้นั้นยังต้องผ่านการศึกษาถึงเรื่องอะไรต่างๆอีกมากมาย รวมทั้งผลกระทบที่จะเกิดขึ้นด้วย

ปัจจุบันมีการนำเชื้อเพลิงเอทานอลมาใช้กับเครื่องยนต์ประเภทต่างๆอยู่เป็นปกติ แต่เชื้อเพลิงเหล่านั้นล้วนยังไม่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลล้วนๆ จะมีการผสมของเชื้อเพลิงฟอสซิลอยู่ด้วยในอัตราต่างๆกันแล้วแต่ประเภท ซึ่งที่ยังไม่สามารถนำเอทานอลล้วนๆมาใช้แทนเชื้อเพลิงได้เลยนั้นเกิดจากปัญหาหลายประการ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ เอทานอลเมื่อนำมาใช้ในเครื่องยนต์แล้วเครื่องยนต์จะเกิดการสึกหรอมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงปกติ

กลุ่มของข้าพเจ้าจึงได้ทำการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับสมรรถนะ, ไอเสีย, และการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์ของเครื่องปั่นไฟที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลเพื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลโดยจะทดสอบค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง (η_f), อัตราการปลดปล่อยความร้อน, การปลดปล่อยไอเสียและความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์เพื่อที่จะได้นำมาปรับปรุงและพัฒนาเครื่องยนต์เล็กให้ใช้งานกับเชื้อเพลิงเอทานอลได้อย่าง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟให้สามารถใช้เชื้อเพลิงเอทานอลได้

1.2.2 เพื่อทดสอบการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอลและเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน

1.2.3 เพื่อทดสอบสมรรถนะซึ่งประกอบด้วยประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง (η_f) และอัตราการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

1.2.4 เพื่อทดสอบหามลภาวะที่เกิดจากเชื้อเพลิงเอทานอลและเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไฟล์ไปเผยแพร่ต่อ ทั้งนี้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์ขนาด 200 ซีซี.

1.3.2 เครื่องยนต์จะถูกปรับจูนให้มีค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดตรงตามกับทฤษฎีที่ใช้ในการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ จากนั้นจึงค่อยนำไปทดสอบในเรื่องของไอเสีย และการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์

1.3.3 ในการทดสอบเชื้อเพลิงที่ใช้มี 5 ชนิดคือ แก๊สโซลีน95, แก๊สโซฮอล์91, E20, E85และแอนไฮดรัสเอทานอล

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ศึกษาค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟขนาดเล็กเพื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเอทานอล

1.4.2 เตรียมเครื่องมือหรือจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.3 คำนวณขนาดนมหนูเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงต่างชนิด

1.4.4 ทดสอบหาปริมาณไอเสียและความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

1.4.5 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลองระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

1.4.6 รวบรวมข้อมูลเพื่อทำการสรุปรายงานโครงการและทำรูปเล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 เชื้อเพลิง

2.1.1 น้ำมันเบนซินหรือแก๊สโซลีน

น้ำมันเบนซินหรือแก๊สโซลีน (Gasoline) เป็นเชื้อเพลิงที่ระเหยได้ง่าย ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่น โดยกลั่น หรือ ตัดเอาส่วนที่เบาพอเหมาะจากส่วนต่างๆ ในกรรมวิธีการกลั่น แล้วเอามาผสมกันและปรุงแต่งด้วยสารเพิ่มคุณภาพต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นแนฟธา (Naphtha), Isomerate, Reformate และสารเติมแต่ง (Additives) เช่น MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether), เอทานอล เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เบนซินชนิดสันดาปภายในโดยมีหัวเทียนเป็นเครื่องจุดระเบิด (Spark Ignition Internal Combustion Engine) ความสามารถในการระเหยน้ำมันต้องพอเหมาะกับการเผาไหม้ในกระบอกสูบและต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ต่อเนื่อง

ประเภทของน้ำมันเบนซิน

1. น้ำมันเบนซินพิเศษ (Premium Motor Gasoline) มีค่าออกเทน 95 สีเหลืองอ่อน เหมาะสมกับเครื่องยนต์เบนซินที่มีอัตราส่วนกำลังอัดสูงกว่า 8:1 ขึ้นไปซึ่งได้แก่ รถยนต์นั่งทั่วไป รถบรรทุกเล็ก (เครื่องยนต์เบนซิน)

2. น้ำมันเบนซินธรรมดา (Regular Motor Gasoline) มีเลขจำนวนออกเทน 91 สีแดง ใช้กับน้ำมันเครื่องยนต์เบนซินที่มีอัตราส่วนกำลังอัดต่ำกว่า 8:1 ซึ่งได้แก่ รถยนต์นั่งขนาดเล็ก รถมอเตอร์ไซค์ เครื่องยนต์ขนาดเล็ก เช่น เครื่องปั่นไฟ, รถตัดหญ้า หรือ ปั๊มน้ำขนาดเล็ก

2.1.2 เชื้อเพลิงเอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือที่เรียกว่าเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) เป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการหมักพืชเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล แล้วเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์เมื่อทำให้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95% โดยการกลั่นจะเรียกว่า เอทานอล (Ethanol) เอทานอลที่นำไปผสมในน้ำมันเพื่อใช้เติมเครื่องยนต์เป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 99.5% โดยปริมาตร จะสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยหากนำมาใช้เป็นส่วนผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วนต่างๆ จะเรียกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ หรือผสมกับน้ำมันดีเซลจะเป็นน้ำมันดีโซฮอล์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เอทานอลบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงได้ ในรถยนต์และเครื่องยนต์ที่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสม จากการศึกษาพบว่าการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลในอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อรถยนต์ประเภทต่างๆ ในอัตราส่วนของเอทานอลตั้งแต่ 0% ไปจนถึง 100% จะสามารถลดการปล่อยมลพิษได้เกือบทุกชนิด เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน เบนซิน และไนโตรเจนออกไซด์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของเอทานอล

1). Anhydrous Ethanol เอทานอลที่มีน้ำอยู่น้อยมากหรือเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 99% ขึ้นไปซึ่งสามารถใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินได้

2). Hydrous Ethanol การเอาเอทานอลใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือแอลกฮอล์ที่นำมาใช้งานเป็นเชื้อเพลิง ปัจจุบันเป็นแบบ 95% หรือ 99.5% โดยแบบ 95% จะใช้จากขบวนการกลั่นแบบธรรมดามีน้ำผสมอยู่ 5% ส่วนแบบ 99.5% มีน้ำผสม 0.5% และมีขบวนการเพิ่มเติมและการใช้สารดูดความชื้น (Molecular Sieve Absorption)

2.1.3 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์

น้ำมันแก๊สโซฮอล์ คือ น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ที่ใช้สำหรับทดแทนน้ำมันเบนซิน (น้ำมันแก๊สโซลีน) ที่มีส่วนผสมระหว่างเอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ มีความบริสุทธิ์ 99.5% ผสมกับน้ำมันเบนซิน ในอัตราส่วน น้ำมัน 9 ส่วน เอทานอล 1 ส่วน ได้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่กำหนด และสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเบนซิน 95ธรรมดาได้ โดยปัจจุบันประเทศไทยโดยกระทรวงพลังงาน อนุญาตให้มีการผลิตแก๊สโซฮอล์ 3 ชนิดได้แก่

1. น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E-10 แบ่งเป็น น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ออกเทน 91 และ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ออกเทน 95 โดยมีส่วนผสมของเอทานอลไม่เกินร้อยละ 10 และไม่ต่ำกว่าร้อยละ 9 กับน้ำมันเบนซินพื้นฐานร้อยละ 90 โดยปริมาตร สามารถใช้ทดแทนหรือสลับกับน้ำมันเบนซิน 95 และ 91 ได้ตามปกติ

2. น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E-20 คือน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่เกิดจากการผสมระหว่างน้ำมันเบนซิน 80% กับแอลกฮอล์ 20% หรือเรียกโดยย่อว่า E-20 โดยรถที่สามารถใช้แก๊สโซฮอล์ E-20 จะสามารถใช้น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95, น้ำมันเบนซินออกเทน 91 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E-10 ได้ด้วย

3. น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E-85 มีส่วนผสมของเอทานอลร้อยละ 85 กับน้ำมันเบนซินพื้นฐานร้อยละ 15 โดยปริมาตรหรือมีเอทานอลไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ปั่นไฟขนาดเล็กที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ เครื่องยนต์สันดาปภายในโดยจุดระเบิดด้วยประกายไฟด้วยชุดคอยล์ไฟ (Transistorized Magneto Ignition) โดยมีระบบจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วยชุดคาร์บูเรเตอร์ และให้กำเนิดไฟฟ้าผ่าน Generator จากการหมุนของเพลาส่งกำลัง

ระบบการผสมเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ มีระบบพื้นฐาน คือ จ่ายเชื้อเพลิงจากชุดคาร์บูเรเตอร์ผสมกับอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เป็นเนื้อเดียวในจังหวะดูด

ข้อดีของคาร์บูเรเตอร์ คือ ปรับแต่งได้ง่าย อะไหล่หาง่าย ราคาถูก และมีความทนทานสูง

ข้อเสียของคาร์บูเรเตอร์ คือ สิ้นเปลืองน้ำมัน เกิดมลพิษ จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากไม่มีชุดควบคุมในการจ่ายเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ

เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดลองคือ เครื่องยนต์ปั่นไฟขนาดเล็กสันดาปภายใน 1 สูบ 4 จังหวะ จุดระเบิดด้วยประกายไฟด้วยชุดคอยล์ไฟ (Transistorized Magneto Ignition) ของ ควายทอง K-009 EP 2500 Es

รูปที่ 2.1 เครื่องยนต์ปั่นไฟขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง

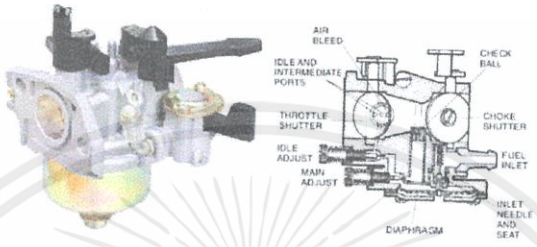
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดเครื่องยนต์ปั่นไฟขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง

รุ่น	K-009 EP 2500 Es	ความจุเชื้อเพลิง	15 Liter
ประเภท	Carburetor	ความจุน้ำมันเครื่อง	0.6 Liter
จำนวนกระบอกสูบ	1	ระยะเขี้ยวหัวเทียน	0.6-0.8 mm
กำลังไฟสูงสุด (ชั่วขณะ)	2200 W	ระบบจุดระเบิด	Transistorize Magneto Ignition
กำลังไฟใช้งานต่อเนื่อง (สูงสุด)	2000 W	ความดังระยะ 7 m	65 dB
กำลังไฟใช้งานต่อเนื่อง	1800 W	ระบบสตาร์ท	Electric Start
แรงดันไฟฟ้า	220 V	กว้าง x ยาว x สูง	590 x 430 x 435 mm
ความถี่	50/60 Hz	น้ำหนัก	45 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คาร์บูเรเตอร์

คาร์บูเรเตอร์เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เนื่องจากเป็นตัวช่วยในการจ่ายน้ำมันผสมกับอากาศเป็นไอ เป็นไปได้อย่างถูกต้อง อัตราส่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนโดยปกติตามทฤษฎีประมาณ 14.7:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ แต่ไม่ใช่อัตราส่วนที่ทำให้กำลังสูงสุดหรือประหยัดที่สุด



รูปที่ 2.2 คาร์บูเรเตอร์

2.4 นมหนู

นมหนูเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในชุดคาร์บูเรเตอร์ เป็นตัวควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงหรืออากาศให้ไหลผ่านให้ได้อย่างพอเหมาะ ขนาดของนมหนูแต่ละตัวจะแตกต่างกันตามตัวเลขที่กำหนดไว้ เช่น 80, 100 หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางนมหนูเท่ากับ 0.8 และ 1.0mm ตามลำดับ เมื่อทำการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากแก๊สโซลีน เป็นเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เช่น แก๊สโซฮอล์ E-20 E-85 และเอทานอล เป็นต้น จะต้องทำการเปลี่ยนขนาดนมหนูให้เหมาะสมตามชนิดของเชื้อเพลิง นอกจากนั้นรูทางเข้าของนมหนูเป็นมุม 60° หรือ 90° มุมนี้จะมีผลต่อการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศที่เข้านมหนู

2.4.1 การทำงานของระบบย่อย

ระบบลูกลอย (Float system) เป็นระบบควบคุมปริมาณน้ำมัน ในคาร์บูเรเตอร์ ที่ส่งมาจากปั๊มพ์น้ำมันเบนซิน ให้อยู่ในปริมาณที่สมดุลสำหรับการทำงาน ระบบเดินเบา และความเร็วต่ำ (Low speed system)

ระบบเดินเบา (Idle system) ทำงานด้วยสุญญากาศ จากท่อร่วมไอดี ทำหน้าที่ป้อนส่วนผสมในขณะที่เครื่องยนต์เดินเบา โดยจะมีช่องนมหนูเดินเบาเป็นตัวจ่ายน้ำมัน และจะมีสกรูปรับช่องนมหนูเดินเบาเพื่อให้เราสามารถปรับตั้ง ปริมาณการจ่ายน้ำมัน รอบเดินเบาได้

ระบบความเร็วต่ำ (Low speed system) คือการเหยียบคันเร่งเล็กน้อย เพื่อเปิดวาล์วปีกผีเสื้อให้กว้างขึ้นเล็กน้อย เพื่อให้ส่วนผสมระหว่างอากาศกับนมหนูหลักเคลื่อนตัวผ่านวาล์วปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบรอบสูง (High speed system) เกิดจากการที่เหยียบคันเร่งเพื่อเปิดวาล์วปีกผีเสื้อ ให้กว้างมากขึ้น ทำให้มีส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงจากนมหนูหลักเพิ่มมากขึ้นและเคลื่อนตัวเข้าสู่ท่อร่วมไอดีด้วยความเร็วสูง

ระบบกำลัง (Power system) ทำหน้าที่ช่วยเสริมกำลังให้กับเครื่องยนต์อย่างทันทีทันใด เช่น การเร่งเครื่องยนต์เพื่อแซงรถคันหน้าผู้ขับขี่ จะเหยียบคันเร่ง เพื่อเปิดวาล์วปีกผีเสื้อ ให้กว้างมากขึ้น ระบบกำลัง จะป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปเสริม เพิ่มขึ้นจากที่เป็นอยู่เพื่อทำให้ส่วนผสมหนาขึ้น จะทำให้ได้กำลังเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่ต้องการเมื่อสิ้นสุดความต้องการแล้ว ระบบกำลังจะหยุดการทำงาน

ระบบปั๊มพ์เร่ง (Acceleration system) นอกจากจะมีระบบรอบสูง และระบบกำลังเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง เข้าสู่ท่อร่วมไอดีแล้ว ระบบปั๊มพ์เร่ง จะช่วยจ่ายส่วนผสมของน้ำมัน และอากาศ เพิ่มเข้าไปในกรณีที่มีการเหยียบคันเร่งอย่างทันทีทันใดจะทำให้วาล์วปีกผีเสื้อเปิดขึ้นอย่างกะทันหัน ณ เวลานี้จะได้ส่วนผสมบางกว่าที่ควรจะเป็น จนเครื่องอาจมีอาการชะงักก่อนที่จะเร่งขึ้นได้ในภายหลัง บางครั้ง เครื่องยนต์อาจดับหรือเกิดอาการที่เรียกว่า "จุดระเบิดย้อนกลับ" (Backfire) เพื่อห้องกันการเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ คาร์บูเรเตอร์ จะมีชุดปั๊มพ์เร่งเพื่อใช้ฉีดน้ำมันเพิ่มเข้าสู่ระบบอย่างทันทีทันใด เมื่อเหยียบคันเร่งอย่างรวดเร็ว

ระบบโช๊ค (Choke system) ระบบโช๊คเกี่ยวข้องกับเครื่องการสตาร์ทเครื่องยนต์ กล่าวคือ ในวันที่มีอากาศเย็นจัด จะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงระเหยได้น้อยลง เป็นผลให้ส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศขณะนั้น บางเกินกว่าที่จะสามารถจุดระเบิดได้โช๊คเป็นชุดอุปกรณ์ ที่ติดตั้งอยู่เหนือนมหนูหลักบริเวณส่วนบนของท่ออากาศคาร์บูเรเตอร์ มีลักษณะคล้ายวาล์วปีกผีเสื้อ เมื่อเราปิดโช๊ค (โช๊คทำงาน) จะทำให้อากาศไหลเข้ามาผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้น้อยจึงเป็นเหตุให้เกิดการดูดน้ำมันจากนมหนูหลักออกมามากขึ้น ขณะนี้ ส่วนผสมจึงหนาขึ้น แล้วเคลื่อนตัวเข้าสู่ท่อร่วมไอดี ไปร่วมจุดระเบิดในห้องเผาไหม้ เครื่องยนต์จึงสตาร์ทติด

ระบบโช๊คมีหลายชนิด เช่นระบบโช๊คธรรมดา (Manual choke), ระบบโช๊คกึ่งอัตโนมัติ (Semiautomatic choke), ระบบโช๊คอัตโนมัติ (Automatic choke) เครื่องยนต์รุ่นใด ใช้ระบบโช๊คธรรมดา เมื่อต้องการใช้โช๊คก็จะต้องดึงปุ่มโช๊คออกมา (เพื่อปิดโช๊คในคาร์บูเรเตอร์) และเมื่อเครื่องยนต์สตาร์ทติดแล้ว ต้องดันปุ่มโช๊คกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมด้วย ไม่เช่นนั้น จะทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมาก สมรรถนะเครื่องยนต์จะต่ำ มีไอเสีย และมลพิษมาก และห้องเผาไหม้ จะเต็มไปด้วยเขม่า เพราะส่วนผสมหนา

ถ้าเป็นระบบโช๊คอัตโนมัติ โช๊คจะปิดเองเมื่ออากาศเย็น และจะเปิดเอง เมื่อเข้าสู่สภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การคำนวณค่าต่างๆ

2.5.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง (η_f)

$$\eta_f = \frac{3600}{bsfc \times Q_{HV}} \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ η_f คือประสิทธิภาพการพลังงานเชื้อเพลิง (%)

$bsfc$ คือความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ (kg/kW·hr)

Q_{HV} คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

2.6 การปล่อยไอเสีย

2.6.1 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

คาร์บอนมอนอกไซด์ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็นก๊าซพิษซึ่งเกิดขึ้นในเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยไอดีที่มีความเข้มสูง เมื่อไม่มีออกซิเจนเพียงพอในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ เชื้อเพลิงบางส่วนจึงไม่ถูกสันดาปและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟส่วนใหญ่มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ประมาณ 0.2-5% คาร์บอนมอนอกไซด์มิได้เป็นสารพิษไม่ถึงประสงค์ในไอเสียเท่านั้น การมีคาร์บอนมอนอกไซด์หมายถึงการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปเพราะคาร์บอนมอนอกไซด์ก็เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถให้พลังงานความร้อนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$CO + 0.5O_2 \rightarrow CO_2 + \text{heat} \quad (2.2)$$

ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียมีค่าสูงสุดเมื่อไอดีของเครื่องยนต์มีความเข้มมาก เช่น ขณะติดเครื่องยนต์หรือเมื่อเร่งเครื่องยนต์ขณะมีโหลด และแม้ไอดีจะมีความเข้มเหมาะสมแก่การสันดาปที่สุดหรือเจือจาง ก็ยังคงเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ในเครื่องยนต์ได้จากการผสมคลุกเคล้าไม่ทั่วกันของไอดี หรือมีบางตำแหน่งมีความเข้มสูง รวมทั้งการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ด้วย

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟซึ่งถูกออกแบบอย่างดีและทำงานในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดอาจมีปริมาณโมลของคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียต่ำเพียง 10^{-3} เท่านั้น ส่วนเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดซึ่งใช้ไอดีแบบจางอยู่แล้วจะมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X)

ไอเสียของเครื่องยนต์ทั่วไปมีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนประมาณ 200 ppm หรือต่ำกว่านั้น โดยส่วนใหญ่เป็นไนโตรเจนออกไซด์ (NO) มีไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ปนอยู่เป็นส่วนน้อยเท่านั้น และที่เหลือซึ่งมีปริมาณน้อยมากเป็นสารประกอบต่างๆ ระหว่างไนโตรเจนและออกซิเจน ออกไซด์เหล่านี้ถูกเรียกรวมกันว่า NO_X หรือ (NO_2) ปนอยู่เป็นส่วนน้อยเท่านั้น และที่เหลือซึ่งมีปริมาณน้อยมากเป็นสารประกอบต่าง ระหว่างไนโตรเจนและออกซิเจน ออกไซด์เหล่านี้ถูกเรียกว่า NO_X หรือ (NO_2) โดยใช้พยัญชนะ X แทนค่าตัวเลขต่างๆ NO_X เป็นสารพิษในไอเสียที่ไม่พึงประสงค์อย่างยิ่ง กฎหมายควบคุมมลภาวะจึงเข้มงวดมากขึ้นในการลดปริมาณ NO_X ที่ทำปฏิกิริยากับอากาศก่อให้เกิดโอโซนซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดหมอกควันเมื่อมีแสงอาทิตย์เข้าร่วมในการทำปฏิกิริยาด้วย

NO_X เกิดจากการปฏิกิริยากับไนโตรเจนในอากาศเป็นส่วนใหญ่ มีบางส่วนที่ปนอยู่ในเชื้อเพลิง ซึ่งอยู่ในรูปของ NH_3 NC และHCN แต่ก็มีปริมาณที่น้อยมาก NO เกิดขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยาหลายแบบในระหว่างกระบวนการสันดาป หรือเมื่อสิ้นสุดการสันดาปทันทีทันใด เช่นตัวอย่างปฏิกิริยาเหล่านี้

NO ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้จะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องและกลายเป็น N_2 ได้ดังนี้

$$N_2 + H_2O \rightarrow NO_2 + H_2 \qquad (2.3)$$

$$NO + O_2 \rightarrow NO_2 + O \qquad (2.4)$$

ไนโตรเจนในอากาศเป็นโมเลกุลอะตอมคู่ ซึ่งมีเสถียรภาพมากที่อุณหภูมิต่ำ โดยมีส่วนที่เป็นออกไซด์ของไนโตรเจนปะปนอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ที่อุณหภูมิสูงในระดับที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ บางส่วนของไนโตรเจนอะตอมคู่ (N_2) จะแตกตัวเป็นไนโตรเจนอะตอมเดี่ยว (N) ซึ่งพร้อมจะทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้โดยง่าย

$$N_2 \rightarrow 2N \qquad (2.5)$$

ที่อุณหภูมิ 2,500 – 3,000 K ระดับเดียวกันที่เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์ จะเกิดการแตกตัวเป็นไนโตรเจนอะตอมเดี่ยวได้อย่างมาก ก๊าซอื่นๆซึ่งมีสถานะมั่นคง ที่อุณหภูมิต่ำแต่แตกตัวและทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนให้กลายเป็น NO_X ได้ง่ายคือ ออกซิเจนและไอน้ำ ซึ่งแตกตัวได้ดังนี้

$$O_2 \rightarrow 2O \qquad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_2O \rightarrow OH + 0.5H_2 \qquad (2.7)$$

ตารางค่าคงที่สมดุลทางเคมีจากตำราเคมีต่างๆ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาทางเคมีตามสมการข้างต้น มีแนวโน้มแตกตัวเป็นสารทางด้านขวาของสมการมากขึ้นที่อุณหภูมิระดับสูงเดียวกับที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นเท่าใด ไนโตรเจนอะตอมคู่ก็จะแตกตัวเป็นไนโตรเจนอะตอมเดี่ยวแล้วก่อให้เกิด NO_X ขึ้นได้น้อยมาก

แม้อุณหภูมิสูงสุดของเปลวไฟจะเกิดขึ้นเมื่อไอดีมีความเข้มแบบสตอยคิโอเมตริก (ϕ = 1) แต่ปริมาณสูงสุดของ NO_X จะเกิดขึ้นเมื่อไอดีจางเล็กน้อยประมาณ ϕ = 0.95 เพราะที่สภาวะนี้อุณหภูมิของเปลวไฟจะยังคงสูงมาก และขณะเดียวกันก็มีปริมาณออกซิเจนส่วนเกินเพียงพอในการทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนและกลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์ต่างๆ

นอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแล้ว การเกิด NO_X ยังขึ้นอยู่กับความดัน อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง และช่วงเวลาที่เกิดการสันดาปในกระบอกสูบ เพราะปฏิกิริยาทางเคมีบางอย่างมิได้เกิดขึ้นทันทีทันใด ปริมาณ NO_X สัมพันธ์กับเวลาซึ่งเป็นเครื่องยืนยันคุณสมบัติของเครื่องยนต์รุ่นใหม่ในการลดปริมาณ NO_X โดยใช้ห้องเผาไหม้แบบลุกไหม้ได้เร็ว นอกจากนี้อัตราการเกิด NO_X ในตำแหน่งต่างๆของห้องเผาไหม้ก็ไม่เท่ากันด้วย โดยมี NO_X เข้มข้นที่สุดบริเวณรอบหัวเทียน เครื่องยนต์ จุดระเบิดด้วยการอัดมีแนวโน้มในการก่อให้เกิด NO_X สูงกว่า โดยเฉพาะรุ่นที่มีห้องเผาไหม้แบบแยกส่วนและฉีดเชื้อเพลิงแบบอ้อม (Indirect injection) ซึ่งใช้อัตราส่วนการอัดสูงกว่า และมีอุณหภูมิและความดันสูงกว่าอีกด้วย หมอก ควัน จากสารเคมีสังเคราะห์แสง(Photochemical Smog) NO_X เป็นสาเหตุหลักของหมอก ควัน(Smog) จากเคมีสังเคราะห์แสง และปัญหาหลักในเมืองใหญ่ๆที่สำคัญในโลกนี้หลายเมืองด้วยกัน หมอกควันนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีแบบสังเคราะห์แสง ระหว่างไอเสียของรถยนต์กับอากาศในขณะที่มีแดดโดย NO_2 จะแตกตัวเป็น NO และออกซิเจนอะตอมเดี่ยว

$$NO_2 + \text{พลังงานจากแสงอาทิตย์} \rightarrow NO + O + \text{หมอกควัน} \qquad (2.8)$$

ออกซิเจนอะตอมเดี่ยวพร้อมที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆได้โดยง่ายและเมื่อทำปฏิกิริยากับ O_2 ก็จะกลายเป็นโอโซนดังนี้

$$NO + O_2 \rightarrow NO_3 \qquad (2.9)$$

โอโซนในระดับผิดโลกเป็นอันตรายต่อปอดและเนื้อเยื่อทางชีววิทยาต่างๆจึงเป็นอันตรายต่อพืชด้วยและก่อให้เกิดการสูญเสียทางกสิกรรมของสหรัฐอเมริกาปีละหลายพันล้านดอลลาร์ โอโซนก่อให้เกิดความเสียหายจากการทำปฏิกิริยากับยาง พลาสติก และวัสดุอื่นๆอีก การทำปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับสารพิษในไอเสียอื่นๆของเครื่องยนต์ เช่น ไฮโดรคาร์บอนแอลดิไฮด์ และออกไซด์อื่นๆของไนโตรเจนก็ก่อให้เกิดโอโซนได้เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 ไฮโดรคาร์บอน (HC)

ไอเสียที่ออกจากห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงถึง 6,000 ppm หรือเทียบเท่า 1-1.5% ของเชื้อเพลิง 40% ของส่วนดังกล่าวนี้ คือ สารประกอบของเชื้อเพลิงซึ่งมิได้เผาไหม้ ส่วนอีก 60% คือสารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่มิได้มีอยู่ดั้งเดิมในเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่แตกตัวจากโมเลกุลขนาดใหญ่ของเชื้อเพลิงและถูกความร้อน (Thermal cracking) ขณะที่เกิดการสันดาป โมเลกุลเหล่านี้จะถูกสมมุติให้เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเพียงอะตอมเดียวคือ CH_1

ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อเพลิงซึ่งมีส่วนผสมต่างกันรูปทรงทางเลขาคณิตของห้องเผาไหม้และพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทำงานของเครื่องยนต์ซึ่งมีผลต่อรูปแบบของไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย

ไฮโดรคาร์บอนในไอเสียที่ออกมาผสมกับอากาศจะส่งกลิ่นและทำให้อวัยวะต่างๆระคายเคืองและบางส่วนเป็นสารก่อมะเร็งด้วย ไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ (ยกเว้นมีเทน) จะทำปฏิกิริยากับอากาศทำให้เกิดหมอกควัน

สาเหตุในการเกิดไฮโดรคาร์บอน

1. อัตราส่วนอากาศ – เชื้อเพลิง ซึ่งไม่สมบูรณ์แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง มีผลอย่างมากต่อปริมาณไฮโดรคาร์บอน ไอดีที่เข้มจะขาดออกซิเจนการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนจึงทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียสูง ซึ่งจะเกิดขึ้นขณะติดเครื่องยนต์เพราะจำเป็นต้องใช้ไอดีเข้มและขณะเร่งเครื่องยนต์ซึ่งมีโหลดแต่ถ้าไอดีจางเกินไปและการสันดาปไม่ทั่วถึง ปริมาณไฮโดรคาร์บอนก็จะสูงด้วยเช่นกัน และจุดวิกฤตที่สุดของการสันดาปคือการที่ไอดีไม่สามารถจุดระเบิดได้ เพราะไอดีจางเกินไป หากมีการจุดระเบิดไม่ติดเพียง 1 วัฏจักรก็ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอนในไอเสียปริมาณถึง 1 กรัมต่อการใช้เชื้อเพลิง 1 กิโลกรัมของเครื่องยนต์

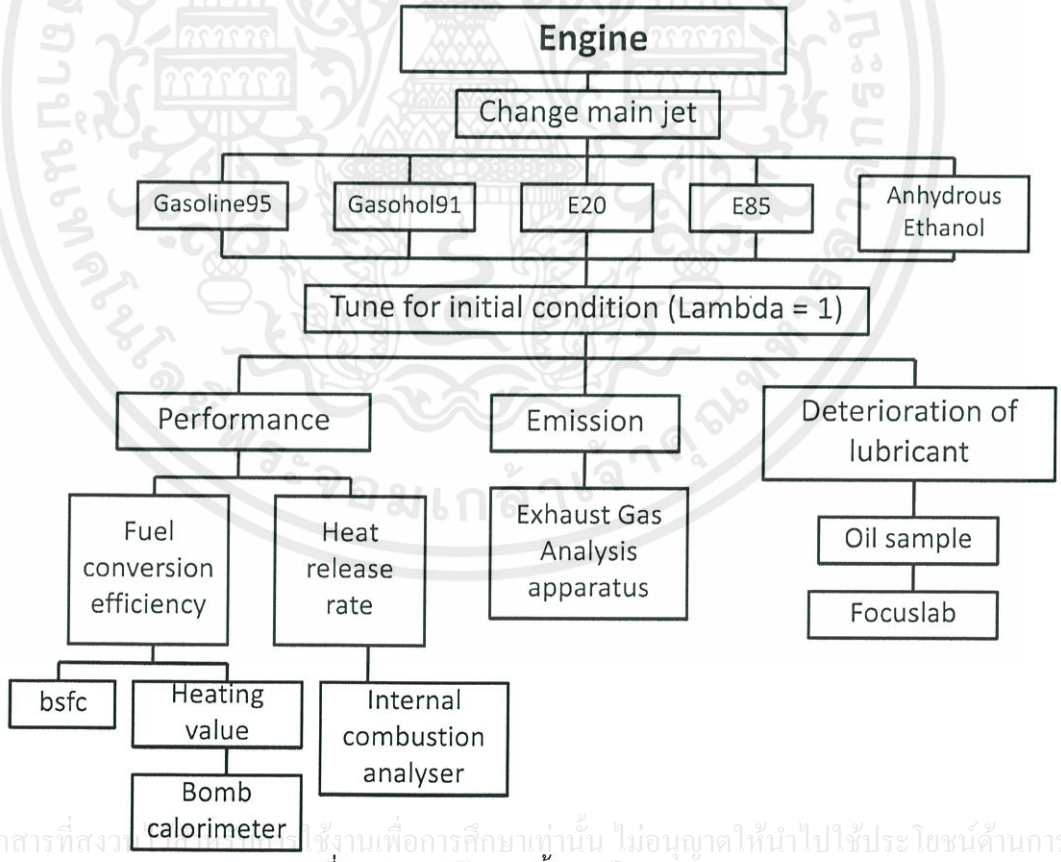
2. การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ แม้จะได้ไอดีส่วนผสมที่เหมาะแก่การสันดาปที่สุด การสันดาปที่เกิดขึ้นจริงก็ยังจะไม่สมบูรณ์ทำให้มีไฮโดรคาร์บอนปนอยู่ในไอเสีย ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการด้วยกัน การผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่ไม่ทั่วถึงทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่สามารถจับคู่กับออกซิเจนได้ เปลวไฟที่ดับลงเมื่อถึงผนังกระบอกสูบ ก็ทำให้ไอดีบริเวณผนังกระบอกสูงไม่ถูกสันดาป ไอดีส่วนนี้มีความหนาเพียงเศษของมิลลิเมตรเท่านั้นแม้จะไม่ถูกเผาไหม้โดยตรงแค่บางส่วนจะถูกสันดาป จากการหมุนควงและไหลอย่างปั่นป่วนของก๊าซภายในกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับสมรรถนะ, ไอเสีย, และการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์ของเครื่องปั่นไฟขนาดเล็กเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลโดยจะทำการทดสอบค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง (η_f), อัตราการปลดปล่อยความร้อน, การปลดปล่อยไอเสียและความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์ จากการประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงประเภทเอทานอลจำเป็นต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์โดยการเปลี่ยนขนาดของนมหนูของระบบเชื้อเพลิงให้สอดคล้องกับค่าอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศ

เดิมเครื่องยนต์นี้ใช้น้ำมันแก๊สโซลีน ซึ่งมีขนาดนมหนู 80 มิลลิเมตร นั่นหมายถึงอัตราส่วนผสมที่พอดีสำหรับเชื้อเพลิงชนิดนี้แต่สำหรับเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลซึ่งมีค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีการหาขนาดของนมหนูใหม่เพื่อให้สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงเอทานอล



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดสอบ

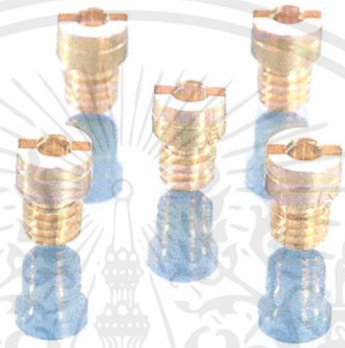
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 อุปกรณ์และชุดทดลอง

3.1.1 การเตรียมอุปกรณ์เพื่อปรับขนาดนมหนู

3.1.1.1 นมหนู

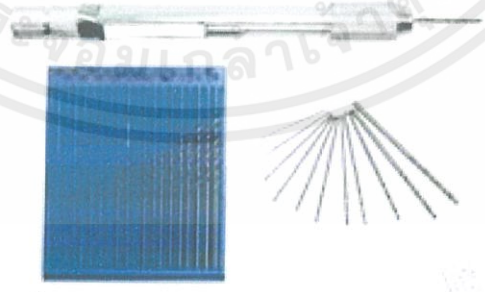
เนื่องจากขนาดของนมหนูที่คำนวณไม่สามารถหาได้ตามท้องตลาดจึงทำการจัดซื้อนมหนูที่มีขายตามท้องตลาดและนำมาเจาะรูนมหนูโดยใช้ดอกสว่านขนาดเล็ก



รูปที่ 3.2 นมหนู

3.1.1.2 ดอกสว่านขนาดเล็ก

ดอกสว่านที่กลุ่มข้าพเจ้าจัดซื้อมานั้นมีขนาด 0.3mm, 0.35mm, 0.4mm. 0.45mm, 0.5mm, 0.55mm, 0.6mm, 0.65mm, 0.7mm, 0.75mm, 0.8mm, 0.85mm, 0.9mm, 0.95mm, 1.0mm, 105mm, 1.2mm, 1.3mm, 1.4mm, 1.5mm และ 1.6mm



รูปที่ 3.3 ดอกสว่านและปากกาจับดอกสว่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบคือเครื่องยนต์ปั่นไฟขนาดเล็ก ยี่ห้อควายทอง รุ่น K-009 EP 2500 Es เป็นเครื่องปั่นไฟที่จุดระเบิดด้วยหัวเทียน รายละเอียดของเครื่องยนต์ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งให้กระแสไฟออกได้ทั้งกระแสสลับและกระแสตรง สามารถสตาร์ทเครื่องโดยใช้ระบบสวิตช์บิด หรือระบบสตาร์ทแบบสายดึง เครื่องยนต์นี้ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ที่โหลดสูงสุดต่อเนื่อง 2000 วัตต์ และรอบการใช้งานของการถ่ายน้ำมันเครื่องอยู่ที่ 100 ชั่วโมง

3.1.3 เชื้อเพลิง

ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการทดลองทั้งหมด 5 ชนิดคือ แก๊สโซลีน 95, แก๊สโซฮอล์ 91, E-20, E-85และAnhydrous Ethanol โดยมีคุณสมบัติต่างๆดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

$Fuel$	Q_{LHV} (kJ/kg)	$\rho.$ (kg/m^{-3})	A/F	H_i^a (kJ/kg)
Gasoline95	43710	750.8	14.7	349
Gasohol91	42049	742.3	13.4	409
E-20	39630	780.0	12.7	468
E-85	29670	801.0	9.8	804
Anhydrous	26900	809.9	9.0	923

[a] Heat of vaporization [6]

โดย Q_{HV} หมายถึง ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งหาได้จากเครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์จากหัวข้อ 3.1.7

3.1.4 การจัดทำโหลด

โหลดขนาด 2500 วัตต์ จากหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 25 หลอดโดยต่อแบบขนานกัน และจัดทำสวิตช์ใช้สามารถเปิดเพิ่มได้ทีละ 500 วัตต์ ไปจนถึง 2500 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 โหลดขนาด 2500 วัตต์

3.1.5 มาตรวัดรอบ

มาตรวัดรอบ (Tachometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดการหมุนของเพลา ล้อหรือโรเตอร์ในมอเตอร์ หรือเครื่องจักรต่างๆโดยจะแสดงผลอยู่ในรูปของจำนวนรอบต่อนาที (rpm) สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำมาตรวัดรอบมาวัดเพื่อปรับจูนเครื่องยนต์

รูปที่ 3.5 มาตรวัดรอบ (Tachometer)

3.1.6 เครื่องวัดอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

เครื่องวัดอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air-Fuel Ratio) คือเครื่องมือวัดส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศโดยใช้ออกซิเจนเซนเซอร์เป็นตัววัดซึ่งจะให้ค่าออกซิเจนมาเป็นหน่วยแรมดา (Lambda, λ) ซึ่งค่าที่เป็นอุดมคติคือ 1 แรมดา สำหรับงานวิจัยนี้เราได้ใช้เครื่องวัดอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Digital Air-Fuel Ratio Meter)

3.1.7 บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์

บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ อาศัยหลักการของ “Calorimeter” ซึ่งเป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ในการวัดค่าพลังงานความร้อน q ที่ถูกปลดปล่อยหรือดูดซับโดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือฟิสิกส์ ถ้าหากกระบวนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นในสภาวะที่ปริมาตรคงที่ (constant-volume conditions) ค่าความร้อนที่วัดได้คือ q_v ซึ่งค่านี้จะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ΔU ด้วย และในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ปริมาตรจะถูกจำกัดให้มีค่าคงที่ตลอดการเกิดปฏิกิริยาเคมี
ในปี พ.ศ. 2424 (ค.ศ. 1881) Berthelot ได้ออกแบบอุปกรณ์ปิดที่เรียกว่า Bomb โดยอาศัยความจริงที่ว่าสสารหลายๆตัวรวมทั้งสารไฮโดรคาร์บอนอันมีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก จะสามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้โดยง่าย และปฏิกิริยาทั่วไปของการเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอนกับออกซิเจนแสดงได้ดังสมการด้านล่าง ซึ่งผลิตภัณฑ์หลักก็คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

$$C_xH_yO_z + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(g) \tag{3.1}$$

สมการสมดุลสำหรับปฏิกิริยาแสดงได้คือ

$$C_xH_yO_z + \left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}\right)O_2(g) \rightarrow (x)CO_2(g) + \left(\frac{y}{2}\right)H_2O(g) \tag{3.2}$$

บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ทำงานได้โดยการเผาสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับออกซิเจนที่ความดันสูงภายในภาชนะสแตนเลสที่ปริมาตรคงที่ ภาชนะสแตนเลสจะถูกล้อมรอบไว้ด้วยน้ำ และความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับไว้ด้วยน้ำที่ล้อมรอบอยู่ การวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของน้ำจะทำให้คำนวณหา q_v ได้ ในบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์นั้น ค่าความร้อนที่วัดได้จากการเผาไหม้ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Sample) ก็คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในจากสถานะเริ่มต้น (Initial state) ถึงสถานะสุดท้าย (Final state)

รูปที่ 3.7 บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

3.1.8 เครื่องวิเคราะห์การสันดาปภายใน

โดยการวิจัยนี้ใช้ชุดเก็บข้อมูล DEWE-801-CA-PROF เป็นการเก็บข้อมูลจาก Pressure Transducer และ Crank Angle Encoder มาประมวลผลผ่านซอฟแวร์ DEWESoft FlexPro

รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์การสันดาปภายใน (DEWE-801-CA-PROF)

3.1.9 เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย

เพื่อตรวจสอบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์โดยเครื่องวัดการปล่อยปริมาณไอเสีย ดังรูปที่ 3.8 สามารถตรวจสอบปริมาณก๊าซต่างๆที่ออกมากับไอเสียได้ดังนี้ CO, HC, CO_2, O_2, NO_X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 เครื่องวัดการปล่อยปริมาณไอเสีย (Exhaust Gas Analysis Apparatus)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเลือกขนาดนมหนู

ขนาดของนมหนู มีผลสำคัญในการจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้การทำงานของเครื่องยนต์มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

Performance of Elementary Carburetor

$$\left(\frac{A}{F}\right) = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \left(\frac{C_{D_T}}{C_{D_O}}\right)\left(\frac{A_T}{A_O}\right)\left(\frac{\rho_a}{\rho_f}\right)^{1/2}\left(\frac{\Delta p_a}{\Delta p_a - \rho_f gh}\right)^{1/2}\Phi \qquad (3.3)$$

And the equivalence ratio $\phi = (A/F)_S/(A/F)$ by

$$\phi = \frac{(A/F)_S}{\Phi}\left(\frac{C_{D_O}}{C_{D_T}}\right)\left(\frac{A_O}{A_T}\right)\left(\frac{\rho_f}{\rho_a}\right)^{1/2}\left(1-\frac{\rho gh}{\Delta p_a}\right)^{1/2} \qquad (3.4)$$

โดยที่

ϕ , Φ = อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio), ฟังก์ชันของการไหลแบบยุบตัว (Compressible flow function) ของอากาศ

C_{Do} , C_{DT} = Discharge coefficient of the orifice (Main jet), discharge coefficient of the venturi throat

A_O , A_T = Cross-sectional areas of the orifice (Main jet), cross-sectional areas of the venturi throat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งนี้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρ_f ,ρ_a = Density of fuel, density of air

จากสมการ (3.4) สำหรับช่วงทำงานของคาร์บูเรเตอร์ ความดันที่ตกลง, ρgh ≤Δpa ก็จะไม่มีการไหลของเชื้อเพลิง (เชื้อเพลิงถูกดูดเข้าคาร์บูเรเตอร์) เขียนใหม่ได้ว่า

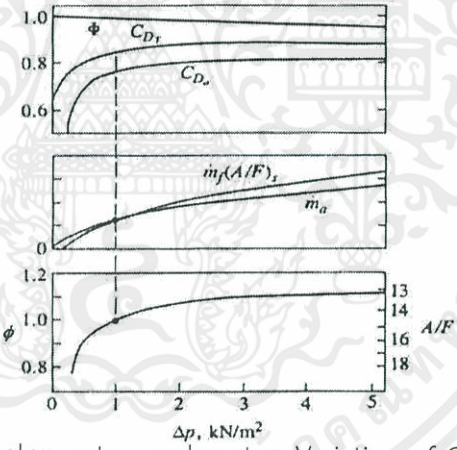
$$\frac{A_O}{A_T} = \frac{\phi \Phi}{(A/F)_S}\left(\frac{C_{D_T}}{C_{D_O}}\right)\left(\frac{\rho_a}{\rho_f}\right)^{1/2} \tag{3.5}$$

เมื่อการเผาไหม้อย่างพอดี $\phi = 1$ และ $A_O = (\pi d^2_O/4)$, $A_T = (\pi d^2_T/4)$ โดยที่ $d_T = 2.54\times10^{-2}$ m จะได้

$$d_O^2 = \frac{(2.54\times10^{-4})}{(A/F)_S}\left(\frac{C_{D_T}}{C_{D_O}}\right)\left(\frac{\rho_a}{\rho_f}\right)^{1/2}\Phi \tag{3.6}$$

หรือ

$$d_O = \sqrt{\frac{(2.54\times10^{-4})}{(A/F)_S}\left(\frac{C_{D_T}}{C_{D_O}}\right)\left(\frac{\sqrt{\rho_a}}{\sqrt{\rho_f}}\right)\Phi} \tag{3.7}$$



รูปที่ 3.10 Performance of elementary carburetor: Variation of C_{DT}, C_{D0}, Φ, m_f $(A/F)_S$, m_a and equivalence ratio ϕ with venture pressure drop.

จากกราฟรูปที่ 3.9 ที่ $\phi = 1$ จะได้ $C_{DO} = 0.78$, $C_{DT} = 0.81$ และ $\Phi = 0.9$ และ $\rho_a = 1.184$ kg/m^3

สามารถเขียนสมการเพื่อหาขนาดนมหนูได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_O = 16.07 \times (A/F)_S^{-0.5} \times (\rho_f)^{-0.25} \tag{3.8}$$

จากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงต่างๆดังตารางที่ 2 จึงได้ขนาดนมหนูที่ใช้ในการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบขนาดนมหนูจากสมการที่ 3.8 และขนาดนมหนูที่ใช้จริง

Type of Fuel	d_O Eq. (17) (mm.)	d_O Actual (mm.)
Gasoline	0.8007	0.80
Gasohol 91	0.8410	0.80
E-20	0.8533	0.85
E-85	0.9649	0.95
Anhydrous	1.0104	1.05

จากตารางจะเห็นได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของนมหนูที่คำนวณไว้ไม่ตรงกับขนาดที่ใช้จริง เนื่องจากความละเอียดของดอกสว่านที่หาได้นั้นไม่ละเอียดเท่าตามที่เราคำนวณอีกทั้งเราจำเป็นต้องเลือกขนาดของนมหนูที่สามารถเดินเครื่องยนต์ได้ที่โหลด 2000 วัตต์ จึงทำให้ขนาดของนมหนูของน้ำมันบางชนิดมีค่ามากกว่าที่คำนวณไว้

3.2.2 การหาประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง

จากสมการ Fuel conversion efficiency (η_f)

$$\eta_f = \frac{3600}{bsfc \times Q_{HV}} \times 100 \qquad (3.9)$$

เมื่อ η_f คือประสิทธิภาพการพลังงานเชื้อเพลิง (%)

$bsfc$ คือความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ (kg/kW·hr)

Q_{HV} คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

โดยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงทดสอบโดยเครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ โดยมีขั้นตอนการการทดสอบดังนี้

1. นำเชื้อเพลิงไปชั่งพร้อมกับถ้วยทดลองของเครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ ให้ได้น้ำหนักเชื้อเพลิงประมาณ 0.5 กรัม จดบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำเชื้อเพลิงพร้อมถ้วยทดลองใส่ในเครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์

3. ป้อนค่าน้ำหนักที่จดได้ให้กับเครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ รอผลประมาณ 30 นาที

4. จดบันทึกผลค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

5. ทำการทดลองกับเชื้อเพลิงทุกชนิด

โดยค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์หาได้จากขั้นตอนต่อไปนี้

1. นำน้ำมันเชื้อเพลิงใส่บีกเกอร์วางไว้บนเครื่องชั่งแบบละเอียดโดยมีอุปกรณ์กันลมรอบทั้ง 4 ด้าน

2. นำสายน้ำมันของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนนมหนูสำหรับแต่ละเชื้อเพลิงมาต่อด้านบนบีกเกอร์โดยไม่ให้สายโดนตัวบีกเกอร์

3. เดินเครื่องยนต์ จับเวลาปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นเวลา 2 นาที

4. บันทึกผลและคำนวณ

3.2.3 การหาอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat released rate)

ทดสอบโดยใช้ชุดเก็บข้อมูล DEWE-801-CA-PROF โดยขั้นตอนทดสอบมีดังนี้

1. ติดตั้ง Pressure Transducer และ Crank angle Encoder ที่เครื่องยนต์ดังรูปที่ 3.11, 3.12

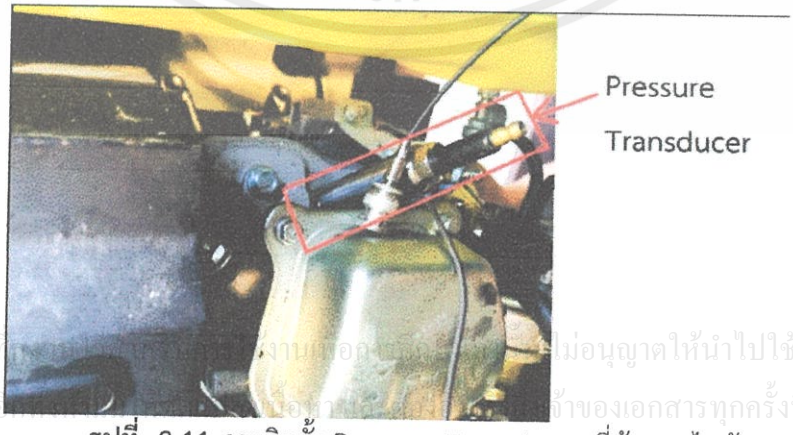
2. นำเครื่องยนต์เปลี่ยนนมหนูสำหรับเชื้อเพลิงต่างๆตามที่คำนวณไว้

3. จูนเครื่องยนต์โดยให้ค่า Lambda เท่ากับ 1

4. ตั้งค่าชุดเก็บข้อมูล DEWE-801-CA-PROF ให้เก็บค่า 1 cycles หรือ 720° เป็นจำนวน 120 cycle

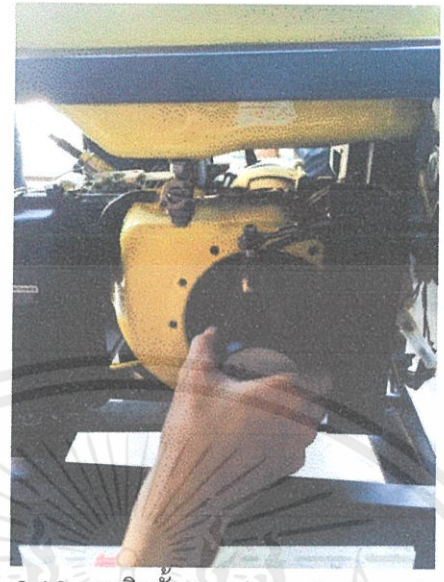
5. บันทึกผลการทดลอง

6. เมื่อครบ 5 ขั้นตอนทำการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิง และนมหนู และทำตามขั้นตอนที่ 1 – 5 ใหม่อีกครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 การติดตั้ง Pressure Transducer ที่ห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.12 การติดตั้ง Crank Angle Encoder

3.2.4 ทดสอบไอเสีย

ทดสอบโดยเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย (Exhaust Gas Analysis Apparatus) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำเครื่องยนต์มาเปลี่ยนนมหนูสำหรับเชื้อเพลิงต่างๆตามที่คำนวณไว้
2. ตั้งค่าเริ่มต้นโดยให้อยู่ในช่วงรอบเดินเบาและให้ได้ค่า Lambda เท่ากับ 1
3. ทดสอบหาไอเสีย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การสันดาปภายใน ดังรูปที่ 3.8

3.2.5 ทดสอบการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์

ทดสอบโดยการเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องยนต์ที่เวลาต่างๆ และส่งให้บริษัท โฟกัสแล็ป จำกัด วิเคราะห์ความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์โดยมีขั้นตอนการทดสอบก่อนเก็บตัวอย่างดังนี้

1. นำเครื่องยนต์เปลี่ยนนมหนูสำหรับเชื้อเพลิงต่างๆตามที่คำนวณไว้
2. ถ่ายน้ำมันเครื่องยนต์และเติมน้ำมันเครื่องยนต์ใหม่ที่เตรียมไว้
3. ต่อโหลด 2000 วัตต์ แล้วเดินเครื่องเป็นเวลา 40 ชั่วโมง
4. เมื่อครบทุกๆ 10 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องยนต์ 120 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมน้ำมันเครื่องใหม่กลับเข้าเครื่องยนต์ 120 ลูกบาศก์เซนติเมตรเพื่อนำไปส่งบริษัท โฟกัสแล็บ จำกัด ทำการทดสอบ
5. เมื่อครบ 4 ขั้นตอนทำการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิง นมหนู และ น้ำมันเครื่องยนต์
6. ทำตามขั้นตอนที่ 2 – 4 ใหม่อีกครั้ง

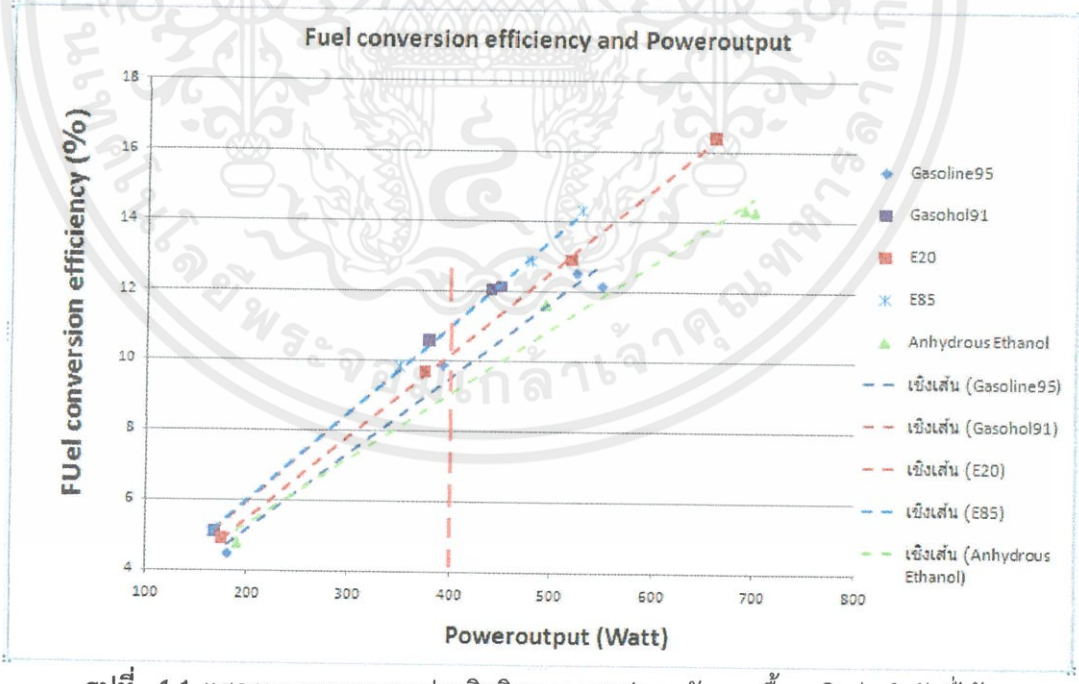
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

กลุ่มของข้าพเจ้าจึงได้ทำการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับสมรรถนะ, ไอเสีย, และการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์ของเครื่องปั่นไฟที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลเพื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลโดยจะทดสอบค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง (η_f), อัตราการปลดปล่อยความร้อน, การปลดปล่อยไอเสียและความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์

4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง (η_f)

รูปที่ 4.1 แสดงถึงประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และกำลังที่ได้ ซึ่งพลังงานที่ได้ออกมาจากเครื่องยนต์อาจจะเป็นพลังงานไฟฟ้า งาน หรือ พลังงานความร้อนก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องยนต์ ในที่นี้พลังงานที่ได้ออกมาใช้คือพลังงานไฟฟ้า



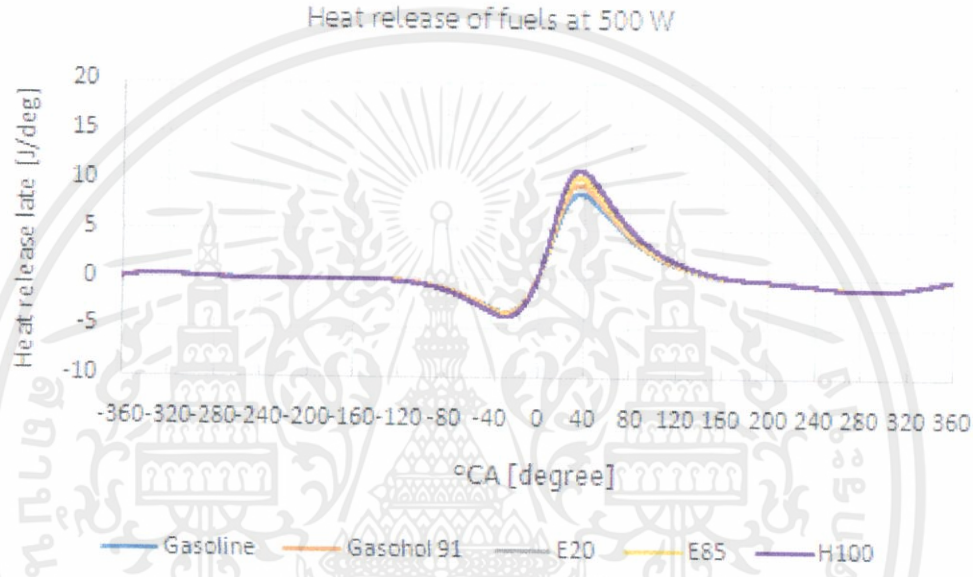
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิงต่อกำลังที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

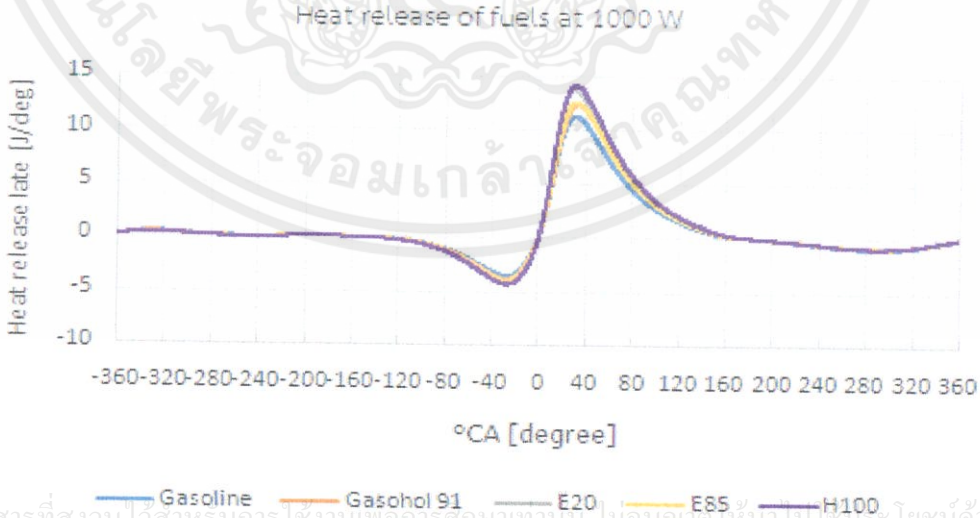
รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เมื่อเทียบที่กำลังเท่ากันจะเห็นได้ว่าที่ 400 วัตต์เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิงดีที่สุด คือ E85, Gasohol 91, E20,

Gasoline 95 และแอนไฮดรัสเอทานอล ตามลำดับซึ่งเมื่อดูจากผลการทดลองจึงตั้งสมมุติฐานว่า น้ำมันเชื้อเพลิง E85, Gasohol 91, E20 และGasoline 95 เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีการเติมสารปรุงแต่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและแอนไฮดรัสเอทานอลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่มีการเติมสารปรุงแต่งจึงทำให้ประสิทธิภาพแย่ที่สุด

4.2 ผลการทดสอบอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat released rate)

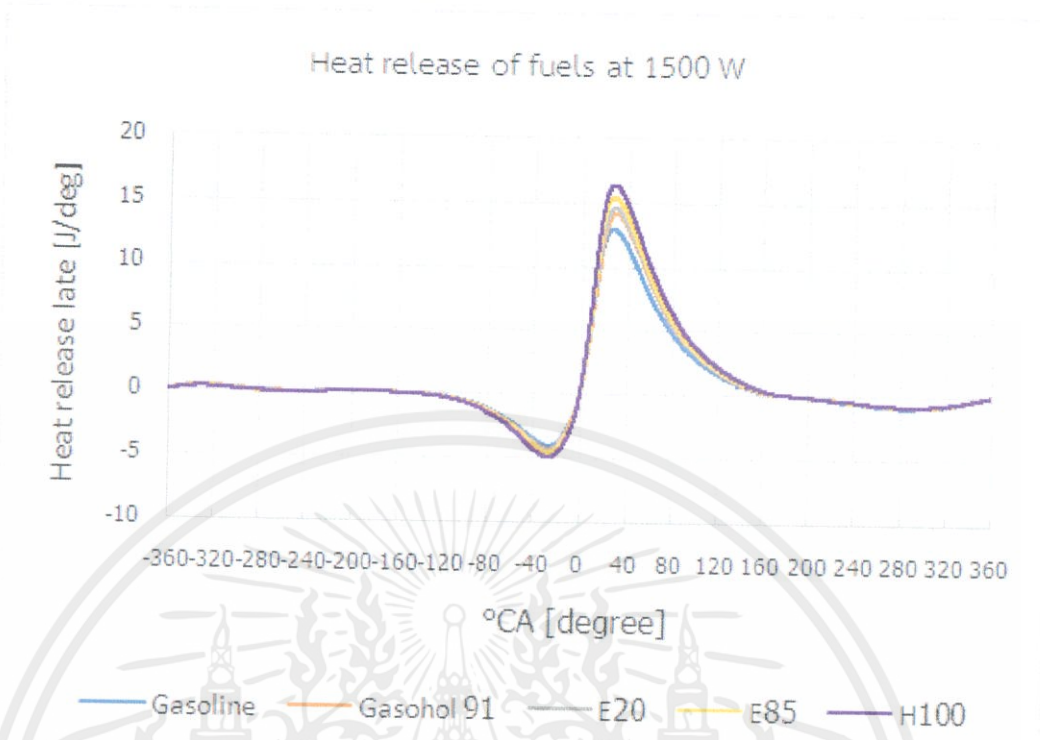


รูปที่ 4.2 แสดงถึงอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่โหลด 500 วัตต์

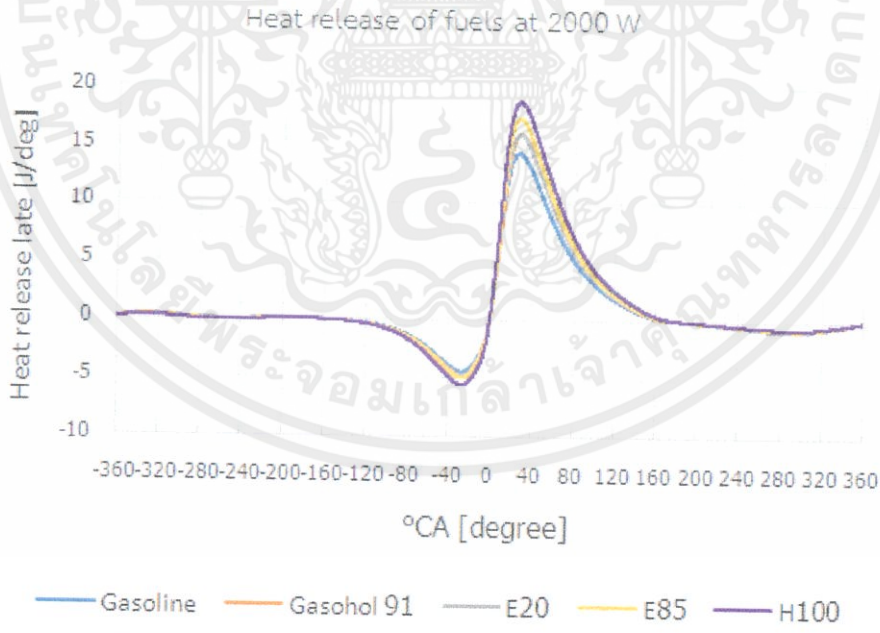


รูปที่ 4.3 แสดงถึงอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่โหลด 1000 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงถึงอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่โหลด 1500 วัตต์



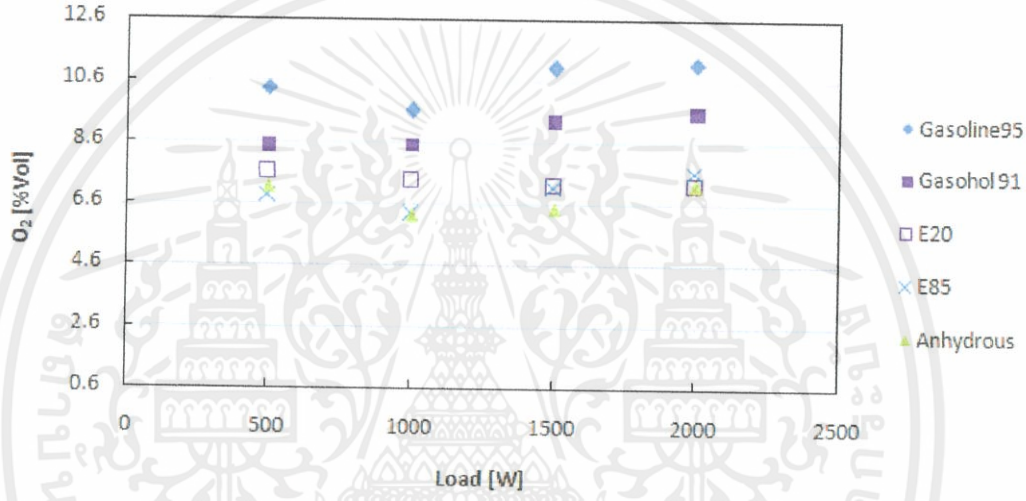
รูปที่ 4.5 แสดงถึงอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่โหลด 2000 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 ถึง 4.5 อัตราการปลดปล่อยความร้อนโดยอัตราการปลดปล่อยความร้อนมากที่สุดคือน้ำมันเชื้อเพลิงแอนไฮดรัสเอทานอล, E85, E20, แก๊สโซฮอล์ 91และแก๊สโซลีน 95 ลดลงตามลำดับ จะเห็น

ว่าที่ -20 องศาเพลาข้อเหวี่ยงอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงแอนไฮดรัสเอทานอลอยู่ในช่วงต่ำสุดของกราฟเนื่องจากมีค่าความร้อนแฝงของการระเหย (Latent Heat of Vaporization) ของเชื้อเพลิงประเภทเอนานอลมีค่าสูงกว่าแก๊สโซลีนจึงทำให้ในช่วงดูดไอดีต้องการพลังงานมากจากภายนอกเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอจึงทำให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนมีค่าติดลบ และน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอนานอลจะมีออกซิเจนอยู่จึงทำให้เผาไหม้ได้ง่ายกว่า สมบูรณ์กว่าและมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูง

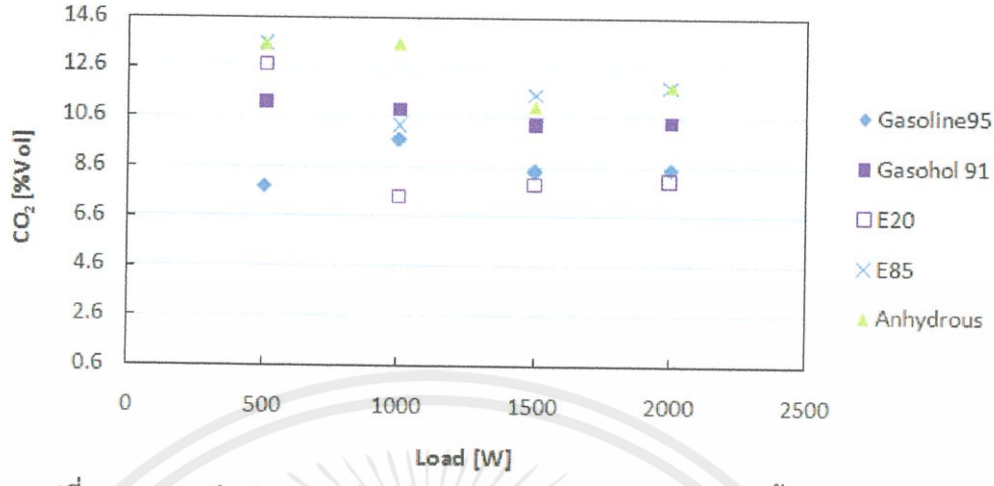
4.3 ผลการทดสอบไอเสีย (Emission)



รูปที่ 4.6 แสดงถึงปริมาณออกซิเจน (O_2) ในไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

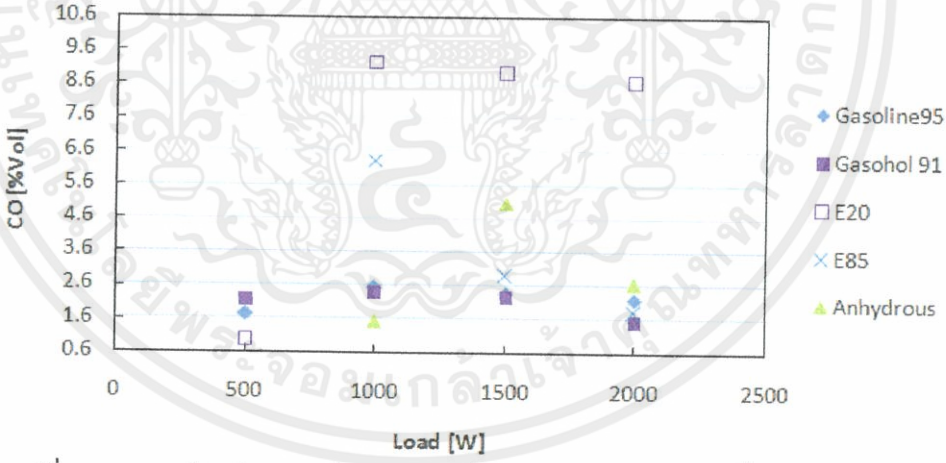
รูปที่ 4.6 ปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ออกมาจากการปล่อยไอเสีย แสดงถึงการเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ขึ้นในห้องเผาไหม้ ซึ่งหมายความว่า หากมีปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ปล่อยมาน้อย กระบวนการเผาไหม้จะเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จากรูปที่ 4.6 พบว่าแอนไฮดรัสเอทานอลมีปริมาณของก๊าซออกซิเจนน้อยที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแอนไฮดรัสเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดในกระบวนการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงถึงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) sในไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

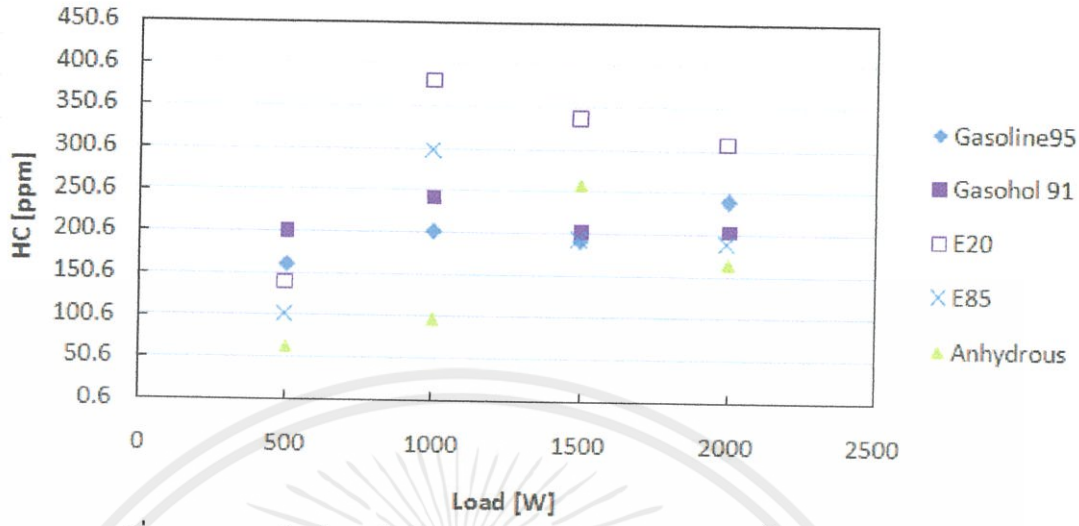
รูปที่ 4.7 ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกมาจากการปล่อยไอเสียจะตรงข้ามกับก๊าซออกซิเจน ซึ่งหมายความว่า หากมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยมามาก กระบวนการเผาไหม้จะเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จากรูปที่ 4.7 พบว่าแอนไฮดรัสเอทานอลมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแอนไฮดรัสเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดในกระบวนการเผาไหม้



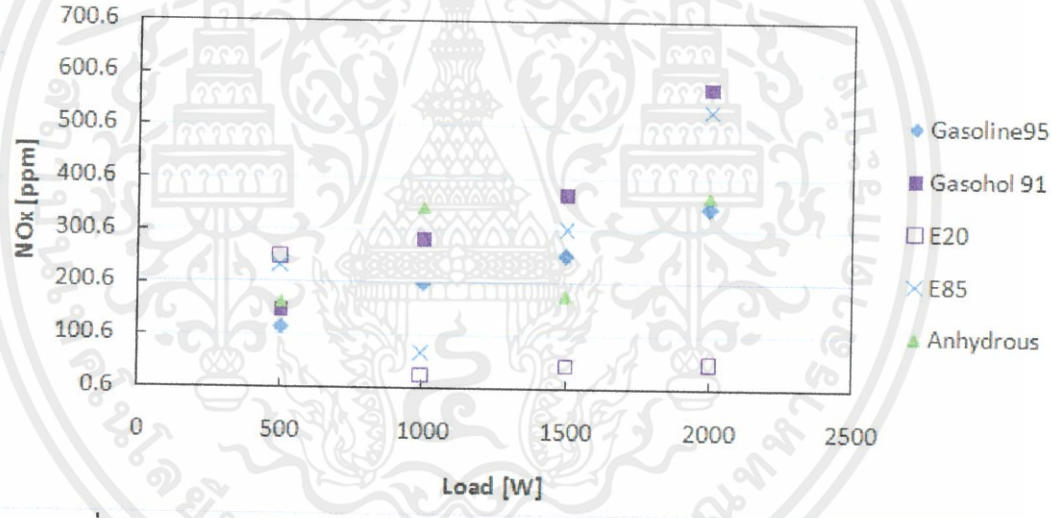
รูปที่ 4.8 แสดงถึงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

รูปที่ 4.8 ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกมาจากการปล่อยไอเสียในกระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จากรูปที่ 4.8 พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิง E-20 มีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มากที่สุดและแอนไฮดรัสเอทานอลมีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณที่น้อย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า E-20 เป็นเชื้อเพลิงที่แย่ที่สุดและแอนไฮดรัสเอทานอลอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



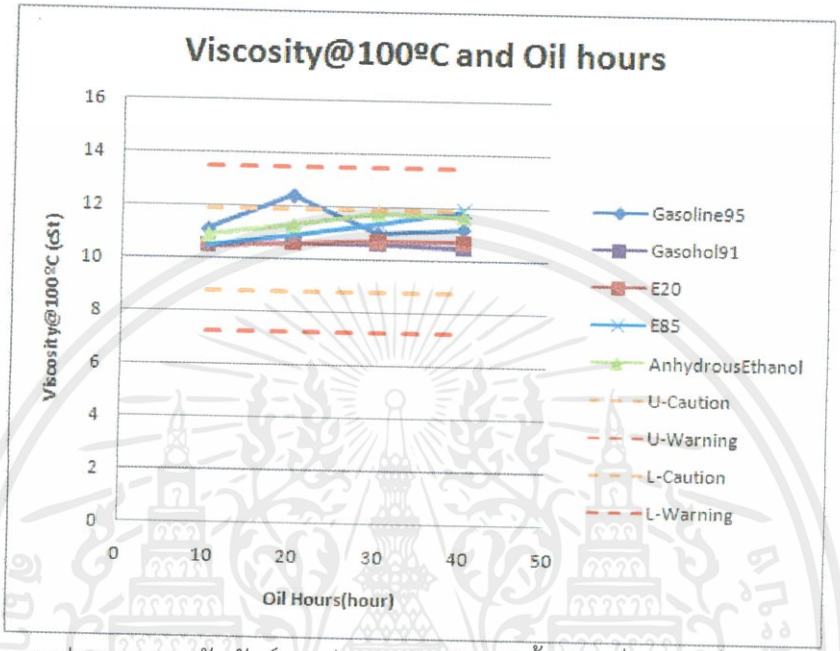
รูปที่ 4.9 แสดงถึงปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) ในไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ



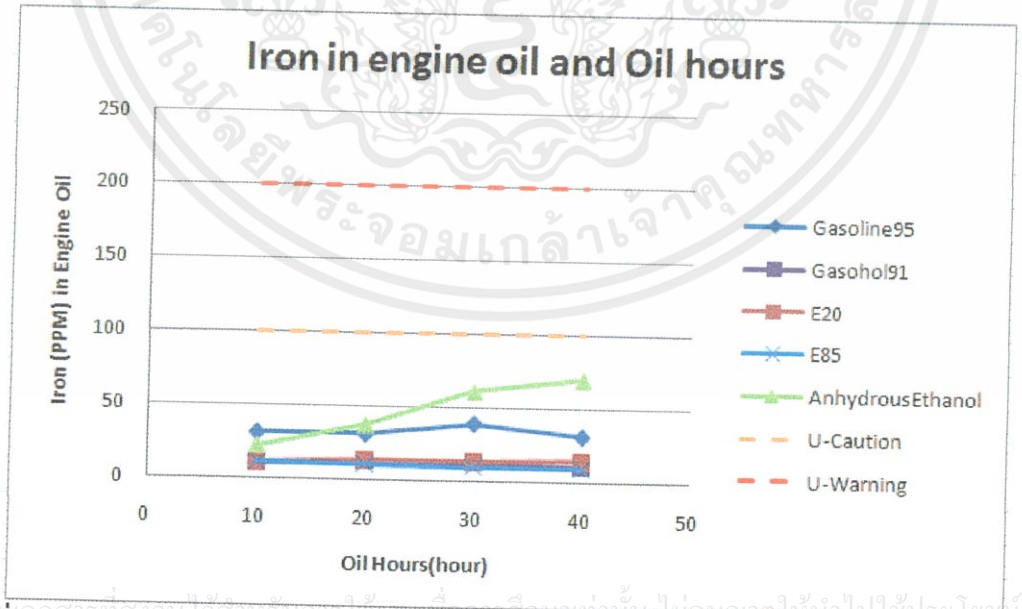
รูปที่ 4.10 แสดงถึงปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) ในไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์



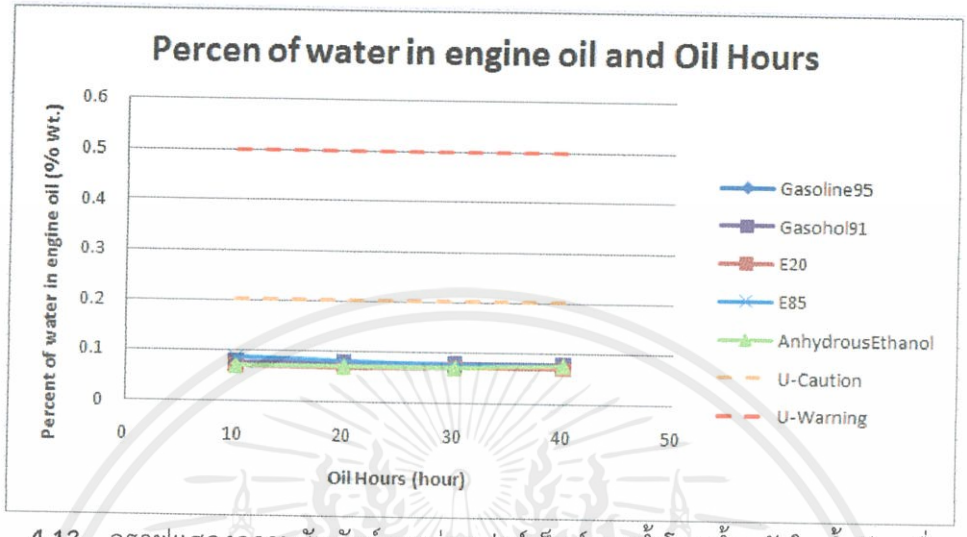
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำมันเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (°C) ต่อชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันเครื่องยนต์



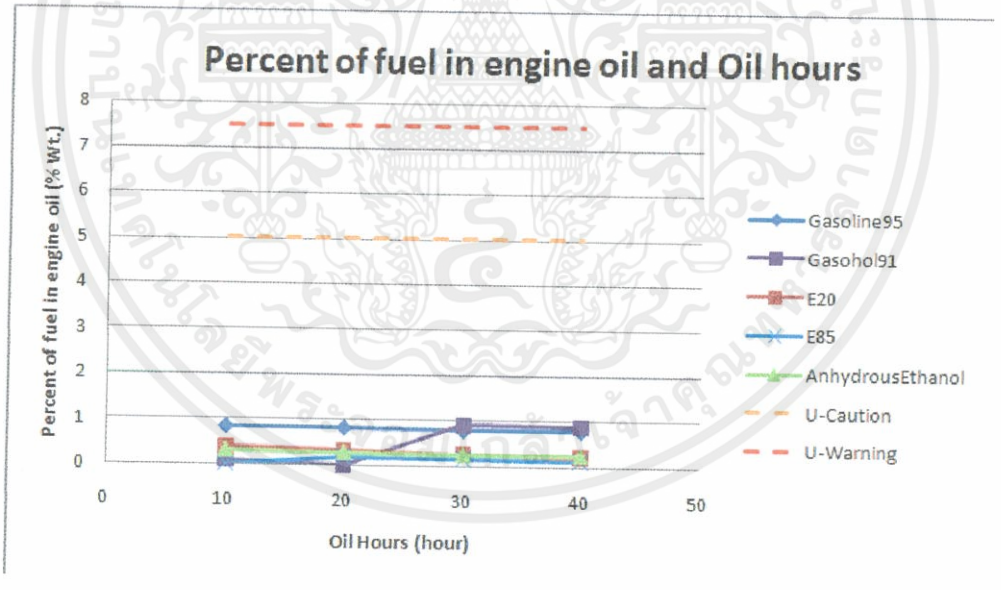
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กในน้ำมันเครื่องยนต์ต่อชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.11 และ 4.12 จะพบว่าความไอรอนในน้ำมันเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มแต่อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำโดยน้ำหนักในน้ำมันเครื่อง และชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันเครื่องยนต์



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงโดยน้ำหนักในน้ำมันเครื่อง และชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่าความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์ ซึ่งประกอบด้วยความหนืด, เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เจอปนในน้ำมันเครื่อง และเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงที่เจอปนในน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดทดสอบเป็นเวลา 40 ชั่วโมง จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่าน

การทดสอบเป็นเวลา 40 ชั่วโมง ปริมาณเหล็กที่ผสมอยู่ในน้ำมันเครื่องยนต์ส่งผลให้น้ำมันเครื่องยนต์มีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และน้ำมันเครื่องยนต์ยังสามารถใช้ได้ต่อไป ในส่วนของปริมาณน้ำและปริมาณเชื้อเพลิงที่เจือปนในน้ำมันเครื่องยนต์มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าที่ยอมรับได้ เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าชนิดของเชื้อเพลิงไม่ส่งผลกระทบต่อการสึกหรอน้ำมันเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลองทางด้านประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

5.1.1 ประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด จะเห็นได้ว่าที่กำลังงานที่ได้ออกมาเท่ากัน เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชื้อเพลิงมากที่สุดคือเชื้อเพลิงE85 จากนั้นจึงตามมาด้วยเชื้อเพลิงE20 gasohol91 gasoline95 และ Anhydrous Ethanol ตามลำดับ

5.1.2 จากผลการทดสอบอัตราการปลดปล่อยความร้อนโดยอัตราการปลดปล่อยความร้อนมากที่สุด คือ น้ำมันเชื้อเพลิงแอนไฮดรัสเอทานอล, E20, E85, แก๊สโซฮอล์ 91และแก๊สโซลีน 95 ลดลงตามลำดับ

5.2 สรุปผลการทดลองทางด้านการปล่อยไอเสีย

5.2.1 ปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ออกมาจากการปล่อยไอเสีย แสดงถึงการเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ขึ้นในห้องเผาไหม้ ซึ่งหมายความว่า หากมีปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ปล่อยมาน้อย กระบวนการเผาไหม้จะเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จากรูปที่ 4.6 พบว่าแอนไฮดรัสเอทานอลมีปริมาณของก๊าซออกซิเจนน้อยที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแอนไฮดรัสเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้ได้สมบูรณ์ที่สุด

5.2.2 ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกมาจากการปล่อยไอเสีย จากรูปที่ 4.7 พบว่าแอนไฮดรัสเอทานอลมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแอนไฮดรัสเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้สมบูรณ์ที่สุด

5.2.3 ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกมาจากการปล่อยไอเสียในกระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จากรูปที่ 4.8 พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิง E-20 มีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มากที่สุด ซึ่งแสดงว่าเชื้อเพลิงE20เป็นเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้ได้ไม่สมบูรณ์มากที่สุด

5.3 สรุปผลการทดลองทางด้านความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์

น้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบเป็นเวลา 40 ชั่วโมง จะเห็นว่าปริมาณเหล็กที่ผสมอยู่ในน้ำมันเครื่องยนต์ส่งผลให้น้ำมันเครื่องยนต์มีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และน้ำมันเครื่องยนต์ยังสามารถใช้ได้ต่อไป ในส่วนของปริมาณน้ำและปริมาณเชื้อเพลิงที่เจือปนในน้ำมันเครื่องยนต์มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าที่ยอมรับได้ เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าชนิดของเชื้อเพลิงไม่ส่งผลกระทบต่อการสึกหรอน้ำมันเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

ในการวางแผนการทดลองนั้น ผู้วิจัยไม่ได้มีการศึกษาอย่างลึกซึ้งจึงทำให้กระบวนการในการทำงานนั้นประสบปัญหาพอสมควรจึงทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

5.5.1 การทดสอบความเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องยนต์จำเป็นต้องเดินเครื่องยนต์เป็นเวลานานพอสมควรจึงทำให้ชิ้นส่วนบางชิ้นเสียหายจึงต้องใช้เวลาในการซ่อมแซม

5.5.2 ขณะทดสอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิภายนอกมีผลต่อการเดินเครื่องยนต์ หากอุณหภูมิภายนอกต่ำจะทำให้เครื่องยนต์ทำงานอย่างราบรื่น แต่วันที่อุณหภูมิภายนอกสูงเครื่องยนต์มักมีปัญหา เช่น อุณหภูมิเครื่องยนต์สูงจนเครื่องยนต์ดับ

5.5.3 ในการเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องยนต์เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย เช่น ขณะเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องอาจจะมีการตกตะกอนหรือกำลังปั่นป่วน เมื่อตรวจสอบความเสื่อมสภาพผลการตรวจสอบจึงไม่เป็นแนวโน้มเดียวกัน

5.5.4 เนื่องจากผู้วิจัยขาดประสบการณ์ในการถอดประกอบเครื่องยนต์ รวมถึงวิธีการแก้ปัญหาขณะเครื่องยนต์มีปัญหา จึงทำให้เกิดการล่าช้าในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Willard W. Pulkrabek. 2003 **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion engine** 2nd ed. New Jersey Pearson Prentice-Hall

[2] พูลพร แสงบางปลา. 2537. **ไอเสียจากเครื่องยนต์และการควบคุม**. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] Heywood, J.B. 1988. **Internal Combustion Engine Fundamentals.** McGraw-Hill, Singapore, 491 – 558.

[4] Li L, Liu Z, Wang H, Deng B, Xiao, Wang Z, Gong C, Su Y. Combustion and emission of ethanol fuel (E100) in a small SI engine. SAE Technical paper

[5] Davis GW, Heil ET. The development and performance of a high blend ethanol fueled vehicle. 2000 Future car congress: Society of Automotive Engineers, Inc.,SAE 2000-01-1602, Arlington, Virginia, USA, April 2-6; 2000.

[6] M.A. Costagliola, L. De Simio, S. Iannaccone, M.V. Prati. Combustion efficiency and engine out emissions of a S.I. engine fueled
with alcohol/gasoline blends

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Designation: D6709 – 13

Standard Test Method for Evaluation of Automotive Engine Oils in the Sequence VIII Spark-Ignition Engine (CLR Oil Test Engine)[1]

This standard is issued under the fixed designation D6709; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

INTRODUCTION

This test method can be used by any properly equipped laboratory without outside assistance. However, the ASTM Test Monitoring Center (TMC)[2] offers a very valuable service to the test laboratory; the Center provides reference oils and an assessment of the test results obtained on those oils by the laboratory (see Appendix X1). By this means, the laboratory will know whether their use of the test method gives results statistically similar to those obtained by other laboratories. Furthermore, various agencies require that a laboratory utilize the TMC services in seeking qualification of oils against specifications. For example, the American Petroleum Institute (API) imposes such a requirement, in connection with several engine lubricating oil specifications.

Accordingly, this test method is written for use by laboratories that utilize the TMC services. Laboratories that choose not to use those services may simply ignore those portions of the test method that refer to the TMC.

This test method may be modified by means of Information Letters issued by the TMC. In addition, the TMC may issue supplementary memoranda related to the test method (see Annex A3).

1. Scope*

1.1 This test method covers the evaluation of automotive engine oils (SAE grades 0W, 5W, 10W, 20, 30, 40, and 50, and multi-viscosity grades) intended for use in spark-ignition gasoline engines. The test procedure is conducted using a carbureted, spark-ignition Cooperative Lubrication Research (CLR) Oil Test Engine (also referred to as the Sequence VIII test engine in this test method) run on unleaded fuel. An oil is evaluated for its ability to protect the engine and the oil from deterioration under high-temperature and severe service conditions. The test method can also be used to evaluate the viscosity stability of multi-viscosity-graded oils. Companion test methods used to evaluate engine oil performance for specification requirements are discussed in the latest revision of Specification D4485.

1.2 Correlation of test results with those obtained in automotive service has not been established. Furthermore, the results obtained in this test are not necessarily indicative of results that will be obtained in a full-scale automotive spark-ignition or compression-ignition engine, or in an engine operated under conditions different from those of the test. The test can be used to compare one oil with another.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.3.1 *Exceptions*—The values stated in inch-pounds for certain tube measurements, screw thread specifications, and sole source supply equipment are to be regarded as standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are provided throughout this test method.

1.5 This test method is arranged as follows:

Subject	Section
Introduction	
Scope	1
Referenced Documents	2
Terminology	3
Summary of Test Method	4
Before Test Starts	4.1

[1] This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.B0.01 on Passenger Car Engine Oils.

Current edition approved May 1, 2013. Published May 2013. Originally approved in 2001. Last previous edition approved in 2011 as D6709 – 11. DOI: 10.1520/D6709-13.

[2] Until the next revision of this test method, the ASTM Test Monitoring Center will update changes in this test method by means of Information Letters. Information Letters may be obtained from the ASTM Test Monitoring Center, 6555 Penn Avenue, Pittsburgh, PA 15202-4489, Attention: Administrator. This edition incorporates revisions in all Information Letters through No. 10-1.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power Section Installation 4.2
Engine Operation (Break-in) 4.3
Engine Operation (Test/Samples) 4.4
Stripped Viscosity 4.5
Test Completion (BWL) 4.6
Significance and Use 5
Evaluation of Automotive oils 5.1
Stay in Grade Capabilities 5.2
Correlation of Results 5.3
Use 5.4
Apparatus 6
Test Engineering, Inc 6.1
Fabricated or Specially Prepared Items 6.2
Instruments and Controls 6.3
Procurement of Parts 6.4
Reagents and Materials 7
Reagents 7.1
Cleaning Materials 7.2
Expendable Power Section-Related Items 7.3
Power Section Coolant 7.4
Reference Oils 7.5
Test Fuel 7.6
Test Oil Sample Requirements 8
Selection 8.1
Inspection 8.2
Quantity 8.3
Preparation of Apparatus 9
Test Stand Preparation 9.1
Conditioning Test Run on Power Section 9.2
General Power Section Rebuild Instructions 9.3
Reconditioning of Power Section After Each Test 9.4
Calibration 10
Power Section and Test Stand Calibration 10.1
Instrumentation Calibration 10.2
Calibration of AFR Measurement Equipment 10.3
Calibration of Torque Wrenches 10.4
Engine Operating Procedure 11
Run-In and Flush 11.1
Test Operating Conditions 11.2
Air-Fuel Ratio and Spark Advance 11.3
Air, Off-Gas and Blowby Measurement 11.4
Unscheduled Shutdowns 11.5
Oil Sampling and Oil Addition 11.6
Periodic Measurements 11.7
Final Oil Drain and Oil Consumption Computation 11.8
Operational Validity Criteria 11.9
Test Completion 11.10
Determination of Test Results 12
Oil Analysis 12.1
Test Bearing Weight Loss Determination 12.2
Report 13
Precision and Bias 14
Precision 14.1
Bias 14.2
Use of ASTM Rounding 15
Keywords 16

ANNEXES

Measurement of Connecting Rod Bearing Clearance and Journal Taper Annex A1
Measurement of Main Bearing Clearance Annex A2
The ASTM Test Monitoring Center Calibration Program Annex A3
Measurement of Piston-to-Sleeve Clearance Annex A4
Control Chart Technique for a Laboratory's Severity Adjustment (SA) Annex A5
Recommended New Liner Honing Procedure Annex A6
Sequence VIII Oil Priming Procedure Annex A7
Alternative Crankcase Breather Configuration Annex A8
Connecting Rod Bearing Cleaning Procedure Annex A9
Electronic Ignition Conversion Annex A10
System Response Procedure Annex A11
Air-Fuel Ratio Measurement Annex A12
Lead Decontamination Procedure Annex A13
Stay-in-Grade Oil Analysis Procedure Annex A14
Crankshaft Rear Seal Conditioning Annex A15
Report Forms and Data Dictionary Annex A16
Test Fuel Specification Annex A17

APPENDIXES

Role of the ASTM Test Monitoring Center and the Calibration Program Appendix X1
Suggested Method for Salvaging Camshaft Bearing Journals Appendix X2
Data Log Sheets Appendix X3

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*[3]

D86 Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure

D130 Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test

D235 Specification for Mineral Spirits (Petroleum Spirits) (Hydrocarbon Dry Cleaning Solvent)

D240 Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter

D323 Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method)

D381 Test Method for Gum Content in Fuels by Jet Evaporation

D445 Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)

D525 Test Method for Oxidation Stability of Gasoline (Induction Period Method)

D1319 Test Method for Hydrocarbon Types in Liquid Petroleum Products by Fluorescent Indicator Adsorption

D2422 Classification of Industrial Fluid Lubricants by Viscosity System

D2699 Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel

D2700 Test Method for Motor Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel

D3231 Test Method for Phosphorus in Gasoline

D3237 Test Method for Lead in Gasoline by Atomic Absorption Spectroscopy

D3343 Test Method for Estimation of Hydrogen Content of Aviation Fuels

D4052 Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter

D4175 Terminology Relating to Petroleum, Petroleum Products, and Lubricants

D4294 Test Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry

D4485 Specification for Performance of Active API Service Category Engine Oils

D4815 Test Method for Determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, tertiary-Amyl Alcohol and C_1 to C_4 Alcohols in Gasoline by Gas Chromatography

D7422 Test Method for Evaluation of Diesel Engine Oils in T-12 Exhaust Gas Recirculation Diesel Engine

E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications

[3] For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1 Power Section Run-in Schedule

Speed, r/min (±25)	Power	Spark Advance, ° BTDC (±1)	Time, min (±2)	Total Time, h
	W (±150)			
1500	1500	25	60	1
2000	3000	25	60	2
2500	3700	35	60	3
3150	3700	35	60	4

E191 Specification for Apparatus For Microdetermination of Carbon and Hydrogen in Organic and Organo-Metallic Compounds

2.2 *SAE Standards:*[4]

J183 Engine Oil Performance and Engine Service Classification (Other Than "Energy-Conserving")

J304 Engine Oil Tests

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 *air-fuel ratio, n—in internal combustion engines,* the mass ratio of air-to-fuel in the mixture being induced into the combustion chambers. D4175

3.1.2 *automotive, adj*—descriptive of equipment associated with self-propelled machinery, usually vehicles driven by internal combustion engines. D4485

3.1.3 *blind reference oil, n*—a reference oil, the identity of which is unknown by the test facility.

3.1.3.1 *Discussion*—This is a coded reference oil that is submitted by a source independent from the test facility. D4175

3.1.4 *blowby, n—in internal combustion engines,* that portion of the combustion products and unburned air/fuel mixture that leaks past piston rings into the engine crankcase during operation. D4175

3.1.5 *critical parts, n*—those components used in the test that are known to affect test severity.

3.1.6 *noncompounded engine oil, n*—a lubricating oil having a viscosity within the range of viscosities of oils normally used in engines, and that may contain anti-foam agents or pour depressants, or both, but not other additives. D4175

3.1.6.1 *Discussion*—In this test method noncompounded oil is also known as build-up oil.

3.1.7 *non-standard test, n*—a test that is not conducted in conformance with the requirements in the standard test method; such as running on an uncalibrated test stand, using different test equipment, applying different equipment assembly procedures, or using modified operating conditions. D4175

3.1.8 *test start, n*—introduction of test oil into the engine. D4175

3.1.9 *wear, n*—the loss of material from a surface, generally occurring between two surfaces in relative motion, and resulting from mechanical or chemical action or a combination of both. D7422

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *accessory case, n*—the mounting base containing the balancing mechanism, flywheel, and final driveshaft for the power section of the CLR engine.

3.2.2 *build-up oil, n*—see 3.1.6, noncompounded engine oil.

3.2.3 *calibrated power section/test stand combination, n*—one that has completed an operationally valid reference oil test within the previous six months, the results of which fall within industry severity and precision limits as published by the TMC.

3.2.4 *conditioning test run, n*—a full-length Sequence VIII test using a TMC-designated reference oil in a new or newly rebuilt power section to prepare the cast iron parts before conducting routine standard tests with the power section.

3.2.5 *emergency shutdown, n*—the procedure for turning off the engine's ignition without using the prescribed engine cool-down period.

3.2.6 *full-length test, n*—a test of an engine oil conducted using a power section and a test stand that runs 4.5 h run-in, 2 h flush and 40 h at test conditions. (See 10.1.3.1, exception for 10 h stay in grade test).

3.2.7 *new power section, n*—an engine power section consisting of either a new crankcase or complete power section that has no previous oil test history.

3.2.8 *off-gas, n*—gas exiting the power section crankcase breather.

3.2.9 *off-test time, n*—any time that the engine is not operating at the prescribed test conditions.

3.2.10 *oil gallery side cover plate, n*—crankcase cover plate that contains the oil gallery and provision for mounting and driving the oil pump and ignition assembly.

3.2.11 *operationally valid test, n*—an engine oil test that has been conducted in accordance with the conditions listed in this test method.

3.2.12 *power section, n*—the combination of the crankcase assembly, the cylinder block assembly, and the cylinder head assembly, all of which are attached to the accessory case.

3.2.13 *reconditioned power section, n*—an engine power section which has been disassembled, cleaned, and reassembled according to the detailed procedures[5] after completion of either a conditioning test run or a full-length CLR engine oil test.

[4] Available from Society of Automotive Engineers, Inc., 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096. Request SAE Handbook Vol 3. This standard is not available separately.

[5] Refer to Instructions for Assembly and Disassembly of the CLR Oil Test Engine, available from Test Engineering, Inc., 12718 Cimarron Path, San Antonio, TX 78249.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.14 *reference oil test, n*—a standard Sequence VIII engine oil test of a reference oil designated by the TMC, conducted to ensure that power section and test stand severity falls within industry limits.

3.2.15 *run-in and flush, n*—the initial 4.5 h operation of a new, rebuilt, or reconditioned power section at the beginning of either a conditioning test run or a full-length test.

3.2.16 *scheduled downtime, n*—off-test time that is specifically allowed to include warm-up and cool-down periods as well as shutdown and intermediate bearing weight loss measurements.

3.2.17 *shutdown, n*—the procedure for turning off the engine's ignition following the prescribed engine cool-down period.

3.2.18 *standard test, n*—an operationally valid, full-length Sequence VIII test conducted with a calibrated power section and test stand in accordance with the conditions listed in this test method.

3.2.19 *stay-in-grade (stripped viscosity), n*—the viscosity of the test oil after removal of volatile components and solids, according to the procedure shown in Annex A14.

3.2.20 *test oil, n*—an oil subjected to a Sequence VIII engine oil test.

3.2.20.1 *Discussion*—It can be any oil selected by the laboratory conducting the test. It could be an experimental oil or a commercially available oil. Often, it is an oil that is a candidate for approval against engine oil specifications.

3.2.21 *test stand, n*—the engine accessory case connected to a dynamometer, both mounted to a suitable foundation (such as a bedplate) and equipped with suitable supplies of electricity, compressed air, and so forth, to provide a means for mounting and operating a power section in order to conduct a Sequence VIII engine oil test.

3.3 *Acronyms:*

3.3.1 *BTDC, adj*—before top dead center

3.3.1.1 *Discussion*—It is used with the degree symbol to indicate the angular position of the crankshaft from its position at the point of uppermost travel of the piston in the cylinder.

3.3.2 *EWMA, n*—exponentially-weighted moving average

3.3.3 *LTMS, n*—Lubricant Test Monitoring System

3.3.3.1 *Discussion*—An analytical system in which ASTM calibration test data are used to manage lubricant engine test precision.

3.3.4 *SIG, adj*—stay-in-grade

3.3.4.1 *Discussion*—Capability of multiviscosity-graded oil to stay in grade under test conditions (see 4.5).

3.3.5 *TDC, adj*—top dead center

3.3.5.1 *Discussion*—It is used with the degree symbol to indicate the angular position of the crankshaft from its position at the point of uppermost travel of the piston in the cylinder.

4. Summary of Test Method

4.1 Before every Sequence VIII engine oil test, thoroughly clean the power section of the CLR oil test engine, and measure the power section parts. Install a new or clean used piston, a complete set of new piston rings, a set of new copper-lead connecting rod test bearing inserts (from a batch approved by the ASTM D02.B0.01 Sequence VIII Test Surveillance Panel), and other specified parts as required.

4.2 The power section is installed on an accessory case/test stand. Unleaded fuel is used for the test.

4.3 The engine is first operated for 4 h according to a run-in schedule shown in Table 1 (see 11.1).

4.4 The engine is then operated under specified conditions for 40 h (Table 2). At the end of each 10 h of test conditions, a sample of the test oil is drained from the power section and fresh oil is returned to the power section for continuation of the test.

4.5 An oil sample is taken at the end of the first 10 h of test conditions. When multiviscosity-graded oils are being tested, this sample is used to determine the stay-in-grade (SIG) capabilities of the test oil.

4.6 At the completion of the test, the connecting rod bearing weight loss is determined.

5. Significance and Use

5.1 This test method is used to evaluate automotive engine oils for protection of engines against bearing weight loss.

5.2 This test method is also used to evaluate the SIG capabilities of multiviscosity-graded oils.

5.3 Correlation of test results with those obtained in automotive service has not been established.

5.4 *Use*—The Sequence VIII test method is useful for engine oil specification acceptance. It is used in specifications and classifications of engine lubricating oils, such as the following:

5.4.1 Specification D4485.

5.4.2 API Publication 1509 Engine Oil Licensing and Certification System.[6]

5.4.3 SAE Classification J304.

6. Apparatus

6.1 *Test Engineering, Inc.*—The document "Instructions for Assembly and Disassembly of the CLR Test Engine"[5] provides detailed parts listings, modification instructions, assembly/disassembly instructions, maintenance procedures, and parts replacement requirements. The following is a descriptive listing of some of the test engine and associated parts.

6.1.1 *Test Engine*—Obtain the test engine from Test Engineering Inc. (TEI).[7,8] The test engine is known by various designations such as the L-38 engine, the CLR engine, or the Sequence VIII engine (as used in this test method). It comprises two principal units, the power section and the accessory

[6] American Petroleum Institute, 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005.

[7] The sole source of supply of the test engine known to the committee at this time is Test Engineering, Inc., 12718 Cimarron Path, San Antonio, TX 78249.

[8] If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,[1] which you may attend.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

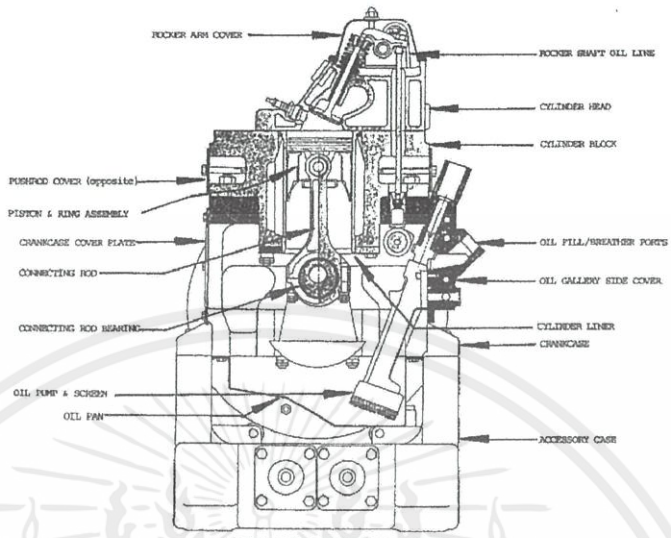


FIG. 1 Sequence VIII Power Section

TABLE 2 Test Operating Conditions

Item	Setting
Speed, r/min	3150 ± 25
Power, W	Adjust power to provide proper fuel flow at specified air-fuel ratio
Fuel flow, kg/h	2.25 ± 0.11
Air-fuel ratio	13.43 ± 0.5
Jacket outlet coolant Temperature, °C	93.5 ± 1
Difference between jacket Inlet and jacket outlet Coolant temperatures, °C	5.6 ± 1
Gallery oil temperature, °C	
SAE 0W, 5W, 10W	135 ± 1
SAE 20, 30, 40, 50, and multi-viscosity-graded oils	143.5 ± 1
Spark advance, °BTDC	35 ± 1
Oil pressure, kPa	276 ± 14
Crankcase vacuum, Pa	500 ± 120
Exhaust back pressure, Pa	0 to 3.4
Crankcase off-gas, SLH	850 ± 28
Blowby, SLH	record

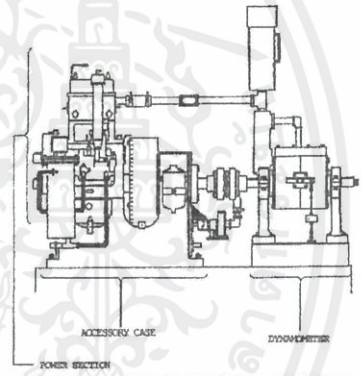


FIG. 2 Typical Sequence VIII Engine Test Stand

case (Fig. 1). The power section is a single-cylinder, spark-ignition unit with a cylinder bore of 3.80 in. and a piston stroke of 3.75 in., and displacing 42.5 in.[3].

6.1.2 *Test Bearing*—SAE H-24 alloy connecting rod bearing, TEI Part No. 100034-1, from a batch approved by the ASTM Sequence VIII Test Surveillance Panel.

6.1.3 *Test Engine Crankshaft*—Obtain a crankshaft for the CLR test engine, Part No. 100039-1, from TEI. If desired, the crankshaft may be refinished in one of the following two manners:

6.1.3.1 The oil seal and main bearing journals may be refinished by welding material to the journals and regrinding the journals to the original specifications. Do not refinish the connecting rod journal using this procedure.

6.1.3.2 The crankshaft may be refinished by chrome plating[9,8] the oil seal, connecting rod journal, and main bearing journals. When refinishing a crankshaft using this procedure, chrome plate all journals listed.

[9] The sole source of supply of crankshaft refinishing by chrome plating known to the committee at this time is OH Technologies, Inc., P.O. Box 5039, Mentor, OH, 44061-5039.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

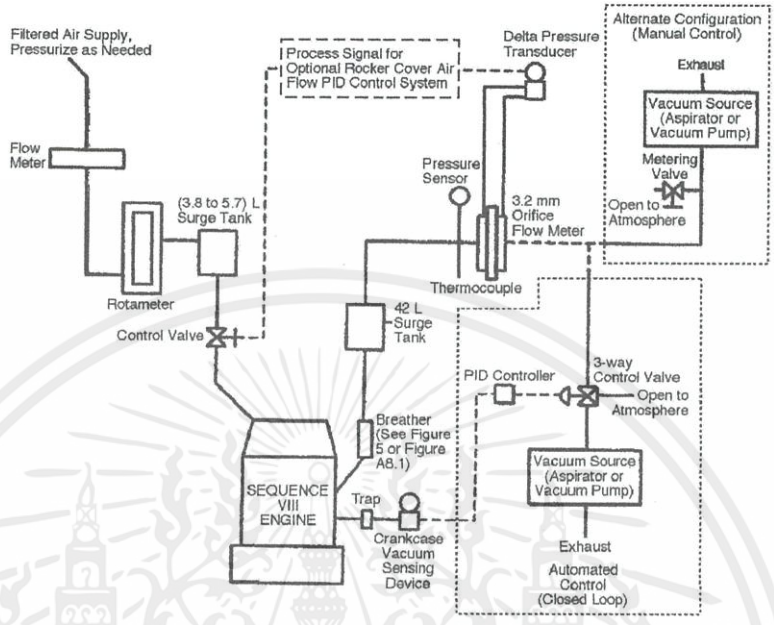


FIG. 3 Standard Crankcase Ventilation System for the Sequence VIII Power Section

6.1.3.3 To identify the crankshaft being used in a power section the following identification is required:

(1) S = standard crankshaft,

(2) C = chrome crankshaft, and

(3) R = reconditioned crankshaft.

6.1.4 *Test Engine Piston*—Obtain a piston for the CLR test engine, TEI Part No. 2405, from TEI. If desired, a piston may be reused if it meets the piston-to-liner clearance specifications. A 0.010 in. oversized piston, TEI Part No. 2405-1, may also be used in the Sequence VIII test, provided it meets the piston-to-liner clearance specifications. Do not reuse pistons used in the CLR test engine for L-38 testing or any other testing with leaded fuel in Sequence VIII testing. Clean used pistons according to the following procedure before installation in the test engine.

6.1.4.1 Clean the piston crown of any carbon deposits using aliphatic naphtha and 3M fine-grade Scotch Brite pads. Wet the cleaning pad in the solvent and scrub the deposit. Repeat until all carbon is removed.

6.1.4.2 Spray piston with clean solvent and air dry.

6.1.5 *Piston Ring Assembly*—Use a Dana/Perfect Circle piston ring assembly, Part No. 41274, in the Sequence VIII test engine.[10,8]

6.2 *Fabricated or Specially Prepared Items:*

6.2.1 A typical Sequence VIII engine test stand configuration is shown in Fig. 2.

6.2.2 *Crankcase Ventilation System*—Fig. 3 is a schematic of the required configuration of the crankcase ventilation measurement and control system.

6.2.2.1 Fabricate the airtight rocker cover air and off-gas condensate trap/surge tanks shown in Fig. 3, with provisions for draining and cleaning. The volume of the rocker cover air tank shall be (3.8 to 5.7) L. The volume of the off-gas tank shall be (38 to 45) L. Fabricate both tanks from noncorrosive material. Locate the tanks as shown in Fig. 3.

[10] The sole source of supply of the Dana/Perfect Circle piston ring assembly Part No. 41274 known to the committee at this time is Dana Corp., Perfect Circle Division, 1883 E. Laketon Ave., Product Distribution Center, Muskegon, MI 49442-6123.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

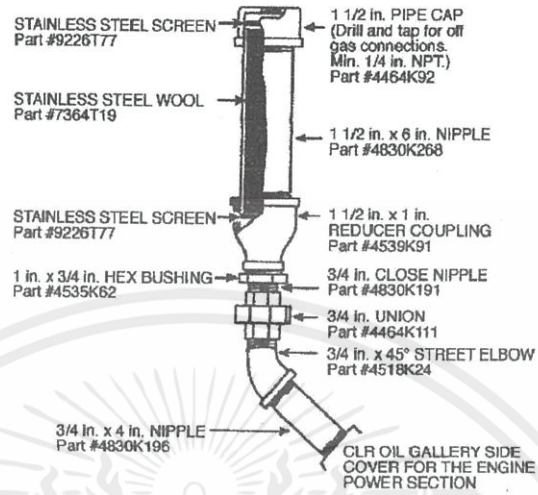


FIG. 4 Crankcase Breather Detail

6.2.2.2 *Rocker Cover Air Flow*—Measure the air flow into the rocker cover by using a Sierra Side Track Model 830 flow meter[11,8] capable of measuring (0 to 20) L/min. An optional Dwyer rotameter, Model No. RMC-101,[12,8] with a range of (0 to 1420) L/h may be used for ease of adjustments; however, take actual measurements with the Sierra flow meter. All piping and tubing used to flow air into the rocker cover shall be nominal ID of 9.5 mm.

6.2.2.3 When a closed loop automated control system is employed, use a Badger meter research control valve, Model No. 1002-GCN36-SVCSC-LN36,[13,8] (see Note 1) to control the rocker cover air flow. When using a manual control system instead of the automated system, install a Swagelok ⅜-in. metering valve, Part No. SS-6L,[14] to control the air flow into the rocker cover.

NOTE 1—The letter prior to the last dash in the model number defines the trim size. Use the trim that gives the best system control.

6.2.2.4 Install a reservoir to facilitate oil additions during test operation at the rocker cover inlet for the crankcase ventilation air. The construction of the reservoir is left up to the laboratory, but the reservoir needs to be airtight between oil additions and have an outlet to attach to the rocker cover air control system.

6.2.2.5 Construct the off-gas breather[14] as shown in Fig. 4 using American Standard Schedule 40, or equivalent, non-galvanized pipe fittings. Apply sealant to the threads during assembly. Install the breather in the breather port of the oil gallery side cover (see Fig. 5) of the engine power section. Fig. A8.1 shows freeze plug detail in an alternative configuration to that in Fig. 4.

6.2.2.6 *Crankcase Off-Gas Flow*—Measure the crankcase off-gas flow by using a Daniels Honed Orifice Flange Flow Section, Model No. H1905T-½ in.,[15,8] with orifice plate, F-150-⅛ in., and a Rosemount differential pressure transducer, Model No. 1151DP-3-S-22-D1B2.[16,8] Mount the flow section horizontally. The transducer may be set up as square root extracting to aid in interfacing with the readout. Locate temperature and pressure measurement devices at the inlet of the off-gas measurement apparatus as shown in Fig. 3.

6.2.2.7 When a closed loop automated control system is employed, use a Badger meter research control valve, Model No. 1002-TCN36-SVCSA-LN36, to control the crankcase vacuum. When using a manual control system instead of the automated control system, install a Swagelok ⅜-in. metering valve, Part No. SS-6L, to control the crankcase vacuum. Both systems are shown in Fig. 3.

[11] The sole source of supply of Sierra Side Track flow meters known to the committee at this time is Sierra Instruments Inc., 5 Harris Ct, Building L, Monterey, CA 93940.

[12] The sole source of supply of Dwyer instrumentation known to the committee at this time is Dwyer Instruments Inc., P.O. Box 60725, Houston, TX 77205.

[13] The sole source of supply of Badger valves known to the committee at this time is Badger Meter Industrial Div., 6116 East 15th St., P.O. Box 581390, Tulsa, OK 74158-1390.

[14] Except for the stainless steel wool and screens, parts for the construction of the crankcase breather may be obtained from many commercial sources. The part numbers given identify the components available from McMaster Carr, Chicago, IL.

[15] The sole source of supply of Daniels flow sections known to the committee at this time is Daniel Flow Products Inc., Flow Measurement Products Div., P.O. Box 19097, Houston, TX 77224.

[16] The sole source of supply of Rosemount transducers known to the committee at this time is Rosemount Inc., 4001 Greenbriar, Ste 150B, Stafford, TX 77477.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

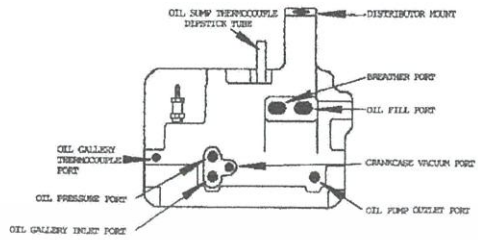


FIG. 5 Oil Gallery Side Cover

6.2.2.8 Use a Vaccom vacuum aspirator, Model No. JD-90M,[17,8] or a vacuum pump as a vacuum source.

6.2.2.9 *Crankcase Off–Gas Inlet Pressure*—Use a Dwyer Magnehelic, Model No. 2320, or a Sensotech pressure transducer, Model No. TJE-756-05, to measure the off-gas air pressure. Locate the sensor at the inlet of the off-gas air flow apparatus as shown in Fig. 3.

6.2.2.10 *Crankcase Off–Gas Inlet Temperature*—Measure the off-gas temperature with a J-type thermocouple, 3.2 mm in diameter. Position the thermocouple tip in the middle of the air stream and expose no more than 50 mm of the sheath to ambient air. Locate the thermocouple at the inlet of the off-gas flow measurement apparatus as shown in Fig. 3.

6.2.3 *Oil Filter*—Install a Racor, Model LFS-62 or LFS-55, [18,8] oil filter as shown in Fig. 6. Use suitable hydraulic hose and fittings.[19]

6.2.3.1 *Oil Drain Valves*—Locate oil drain valves at points no higher than the bottom of the oil pan or the vertically mounted oil heater.

6.2.4 *Oil Heater*—Install the oil heater as shown in Fig. 7. Use suitable hydraulic hose and fittings.[19]

6.2.5 *Power Section Cooling System*—Install a non-pressurized cooling system consisting of a heat exchanger, water pump, coolant throttling valve, sight glass, and tower (see Fig. 8). Use American Standard Schedule 40, or equivalent, non-galvanized pipe fittings 20 mm in diameter and apply sealant to the threads during assembly.

6.2.5.1 Use a water-cooled heat exchanger. A heat exchanger of this type, suitable for this application, is available as American Heat Exchanger, Part Number 5-030-03014-011.[20,8]

6.2.5.2 Install a gate-type coolant throttling valve 20 mm in diameter on the output side of the coolant pump to maintain the specified temperature differential between the coolant flowing into, and that flowing out of, the power section jacket.

6.2.5.3 The coolant pump is an electrically driven centrifugal pump with a flow of approximately 18.9 L/min at water head pressure of 95.5 kPa. The Grainger[21] Part No. 1P831 has been found suitable.

6.2.5.4 Install a sight glass[22,8] located downstream of the cylinder head to permit detection of air entrainment.

6.2.5.5 Fabricate the tower using non-galvanized metal. Make it approximately 90 mm in diameter and 410 mm long. Fashion a loose-fitting cover for it. Install a level gage, positioned to give a mid-scale reading when the system is filled. The system shall have a minimum capacity of 7.5 L.

6.2.6 *Exhaust System*—Use either a water-quenched system or a dry system.

6.2.7 *Ignition System*—An electronic ignition system is required. The required system is illustrated in Figs. A10.1-A10.10. The TMC and the Sequence VIII Surveillance Panel review and approve other electronic ignition system configurations prior to use.

6.3 *Instruments and Controls:*

6.3.1 *Dynamometer*—Use a dynamometer and control system capable of maintaining the specified engine operating test conditions (see Section 11). Speed measurement shall have a minimum accuracy of ± 0.5 % of reading, and power minimum measurement accuracy of ± 2 % of reading.

6.3.2 *Fuel Flowmeter or Fuel Weigh System*—Use a system with a range of (0 to 4.5) kg/h, and having a minimum accuracy of 1 % of reading and a repeatability of 0.5 %.

6.3.3 *Air–Fuel Ratio Measurement System*—Use a system with a calibration capability of the equivalent of ± 0.5 air-fuel ratio number. The following are acceptable methods for determination of air-fuel ratio:

6.3.3.1 *Calibrated Electronic Exhaust Gas Analyzer*—Use sample gases for the calibration. Follow the directions in Annex A12 to determine air-fuel ratio.

6.3.3.2 *AFR Analyzer/Lambda Meter*—The air fuel ratio (AFR) analyzer shall have a measurement range of 11.00 to 18.00 for AFR with 1.85 H/C and 0.00 O/C, where: H is hydrogen, C is carbon and O is oxygen.

[17] The sole source of supply of Vaccom aspirators known to the committee at this time is McKenzie Air Industries, 18523 IH 35 North, Shertz, TX 78108.

[18] The sole source of supply of the oil filters known to the committee at this time is Parker Hanifin Corp., Racor Division, 3400 Finch Road, Modesto, CA 95354.

[19] Aeroquip 3/8-in. (10-mm) (inside diameter) hydraulic hose has been used successfully to plumb the oil filter and oil heater; select hose of a specification to cover temperatures and pressures encountered in Sequence VIII engine oil testing.

[20] The sole source of supply of the heat exchanger known to the committee at this time is Compressor Engineering, 625 District Dr., Itasca, IL 60143.

[21] Any Grainger national branch location.

[22] The sole source of supply of a sight glass of this type, suitable for this application (Gitts-Part No. 3063-27) known to the committee at this time is Edward Fisher Co., 118 S. Wabash, Chicago, IL 60616.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

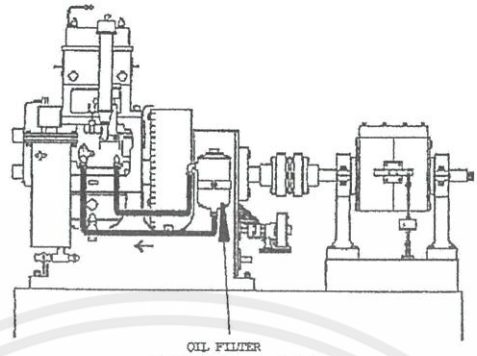


FIG. 6 Oil Filter Installation

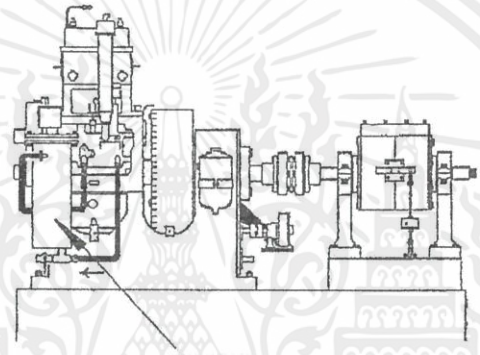


FIG. 7 Oil Heater Installation

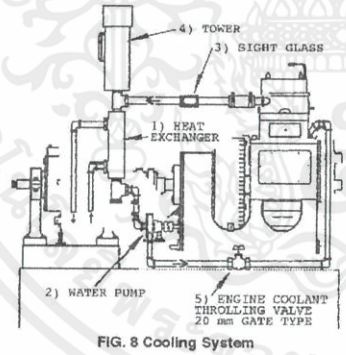


FIG. 8 Cooling System

6.3.3.3 When a Lambda meter is used, locate the exhaust sensor within (150 ± 50) mm of the cylinder head exhaust outlet mating surface.

6.3.4 *Pressure Measurement:*

6.3.4.1 *Crankcase Vacuum*—As shown in Fig. 3, connect a line trap and an appropriate sensor to the crankcase at the hole above and to the right of the oil heater inlet hose connection on the oil gallery side cover. See Fig. 5 for the location of the crankcase vacuum port. Measurement resolution of 50 Pa and an accuracy of 1 % in the specified range of (0.500 ± 0.120) kPa are required.

6.3.4.2 *Exhaust Back Pressure*—Connect an appropriate sensor to the exhaust back-pressure tap at a point within 100 mm of the cylinder head exhaust flange. Sensor accuracy of ± 10 % of reading and resolution of 340 Pa are required.

6.3.4.3 *Intake Manifold Vacuum*—Measure the intake manifold vacuum at the elbow of the intake manifold by means of a sensor having an accuracy of 1 % and a resolution of 680 Pa.

6.3.4.4 *Oil Pressure*—Measure the oil pressure with an appropriate sensor having an accuracy of ± 2 % and a resolution of 7 kPa, connected to the point shown in Fig. 5.

6.3.5 *Temperature Measurement*—The test requires the accurate measurement of oil and coolant temperature. Exercise

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013

Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

care to ensure temperature measurement accuracy. Follow the guidelines of Research Report RR:D02-1218.[23]

6.3.5.1 Check all temperature devices for accuracy at the temperature levels at which they are to be used. Iron-Constantin (Type J) thermocouples are specified for temperature measurement.

6.3.5.2 All thermocouples shall be premium grade, sheathed types with premium wire. Use thermocouples of 3.2 mm diameter. Thermocouple lengths are not specified but shall not have greater than 50 mm of thermocouple sheath exposed to ambient laboratory temperature.

6.3.5.3 Some sources of thermocouples that have been found suitable for this application are, Leeds and Northrup, Conax, Omega, Revere, and Thermo Sensor.

6.3.5.4 System quality shall be adequate to permit calibration to ± 0.56 °C for individual thermocouples.

6.3.6 *Thermocouple Location and Length*—All thermocouple tips shall be located in the center of the stream of the medium being measured unless otherwise specified.

6.3.6.1 *Coolant Temperatures*—Locate the thermocouples used to measure the coolant inlet and outlet temperatures within 100 mm of the inlet and outlet bosses on the power section.

6.3.6.2 *Air Inlet Temperature*—Measure the air inlet temperature with an exposed thermocouple or thermometer located at the center of the air tube, 38 mm above the carburetor air horn.

6.3.6.3 *Oil Gallery Temperature*—Measure oil gallery temperature at the front main bearing passage (see Fig. 5). The immersion length for these thermocouples is 35 mm.

6.3.6.4 *Crankcase Off-Gas Temperature Measurement*—Measure the off-gas temperature at the outlet side of the crankcase breather assembly. Fig. 3 shows a recommended system.

6.4 *Procurement of Parts*—Obtain information on the CLR Oil Test Engine (see 6.1.1) and parts for it from TEI. Users of this test method shall comply with CLR Oil Test Engine Shop Manual[5] and the latest supplements (Information Letters and Memoranda) available from the TMC.

7. Reagents and Materials

7.1 *Reagents:*

7.1.1 A 1:3 mixture of hydrochloric acid and deionized water. (**Warning—**The laboratory shall establish proper safety procedures for handling and disposal of this reagent.)

7.1.2 A 1:8 mixture of baking soda and water. (**Warning—**The laboratory shall establish proper safety procedures for handling and disposal of this reagent.)

7.2 *Cleaning Materials:*

7.2.1 *Abrasive Paper,*[24] 400-, 600-, 800-grit, wet or dry.

7.2.2 *Crocus Cloth.*[24]

7.2.3 *Mylar Tape.*[24]

7.2.4 *Organic Solvent-Penmul L460*[25,8] (**Warning—**Combustible. Health hazard.).

7.2.5 *Pentane (Solvent),* ≥ 99 %, high-performance liquid chromatography grade (**Warning—**Flammable. Health hazard).

7.2.6 *Solvent*—Use only mineral spirits meeting the requirements of Specification D235, Type II, Class C for Aromatic Content (0 to 2 vol)%, Flash Point (61 °C, min) and Color (not darker than +25 on Saybolt Scale or 25 on Pt-Co Scale). (**Warning—**Combustible. Health hazard.) Obtain a Certificate of Analysis for each batch of solvent from the supplier.

7.2.7 *Tap Water,* heated to between (66 and 82) °C.

7.3 *Expendable Power Section-Related Items:*

7.3.1 *Sealing Compounds*—Approved sealing compounds, including pipe thread compound and gasket cement are:

7.3.1.1 *Perfect Seal Sealant No. 4,*[26]

7.3.1.2 *Permatex Ultra Blue 77B,*[26]

7.3.1.3 *Permatex 3H, Permatex High Tack 99 MA,*[26]

7.3.1.4 *Dow Corning High Vacuum Grease,*[26]

7.3.1.5 *Dow Corning RTV Gray 3154,* and[26]

7.3.1.6 *Petroleum Jelly.*[26]

7.3.2 *Power Section Build-Up Oil.*[27]

7.4 *Power Section Coolant*—Use deionized or distilled water for the power section coolant, plus a suitable inhibitor such as Pencool 2000[28,8] used at 31 mL/L of water. Such water purchased from a commercial source is suitable.

7.5 *Reference Oils*—Conduct test periodically on reference oils supplied by the TMC, to document the test severity of a given power section and test stand, and the overall operation of the test. Use 8 L of reference oil for each test.

7.6 *Test Fuel*—Use Haltermann Products KA24E Test Fuel.[29,8] See Annex A17 for the specification for KA24E Test Fuel. (**Warning—**Flammable. Health hazard.)

7.6.1 *Fuel Batch Approval*—New batches of KA24E Test Fuel are approved for use by the Subcommittee D02.B0.01 Sequence IVA Surveillance Panel.[30]

7.6.2 *Fuel Batch Analysis*—Details are available from Subcommittee D02.B0.01 Sequence IVA Surveillance Panel.

7.6.3 *Laboratory Storage Tank Fuel Analysis*—Details are available from Subcommittee D02.B0.01 Sequence IVA Surveillance Panel.

7.6.4 *Fuel Batch Shipment and Storage*—Details are available from Subcommittee D02.B0.01 Sequence IVA Surveillance Panel.

[23] Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D02-1218.

[24] The sand paper and Mylar tape may be obtained from many commercial sources.

[25] The sole source of supply of Penmul L460, a registered trademark, known to the committee at this time is Penetone Corp., 7400 Hudson Ave., Tenafly, NJ 07670.

[26] These may be obtained from many commercial sources.

[27] Noncompounded oil ISO VG 46 (SAE 20) (see Classification D2422) is available through lubricant marketers. One supplier is Exxon-Mobil Oil Corp. The Exxon-Mobil product is designated EF-411, and is available from Exxon-Mobil Oil Corp., P.O. Box 66940, AMF O'Hare, IL 60666, Attn: Illinois Order Board.

[28] The sole source of supply of Pencool 2000 known to the committee at this time is The Penray Co, Inc., 1801 Estes Ave., Elk Grove, IL 60007.

[29] The sole source of supply of Haltermann Products KA24E Test Fuel known to the committee at this time is Haltermann Products, Ten Lamar, Ste 1800, Houston, TX 77002.

[30] Contact the TMC for address information for the D02.B0.01 Sequence IVA Surveillance Panel.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Test Oil Sample Requirements

8.1 *Selection*—The sample of test oil shall be representative of the lubricant formulation being evaluated and shall be uncontaminated.

8.2 *Inspection*—New oil sample baseline inspection requirements are described in 12.1.1.

8.3 *Quantity*—The fresh oil required to complete the test is approximately 7 L. It is recommended that a test laboratory have on hand approximately 8 L when starting a test to allow for inadvertent losses.

9. Preparation of Apparatus

9.1 *Test Stand Preparation:*

9.1.1 *Instrumentation Calibration* —Check the calibration of temperature sensors, flowmeters, pressure sensors, and dynamometer load indicator as required by the type of instrumentation being used. Details on calibration, of both power section and test stand, and of instrumentation, are given in 10.2.

9.1.2 *Preventive Maintenance*—Refer to and comply with "instructions for Assembly and Disassembly of the CLR Oil Test Engine" regarding details pertaining to care and maintenance of the accessory case.

9.2 *Conditioning Test Run on Power Section*—A new power section cannot be calibrated, nor is it suitable for test purposes, until a full-length, conditioning test run has been conducted on the power section. The conditioning test run is required to prepare the cast iron parts of such a power section, and the oil used for the run is a reference oil designated by the TMC. Upon completion of the conditioning run, recondition the power section as described in 9.4 before conducting a test. (A conditioning run on a reference oil shall not qualify as a reference test. Testing can commence only after a conditioning run and a reconditioning.)

9.3 *General Power Section Rebuild Instructions*—Assemble the power section according to the detailed instructions found in the assembly manual. Compliance with all provisions of the assembly manual is mandatory. However, in cases of disparity, the explicit instructions contained in this test method take precedence over the service manual. Information letters and memoranda issued by the TMC shall supersede this manual. Failure to follow the instructions provided in this document and related TMC information letters or memoranda, or both, may cause incorrect test results.

9.4 *Reconditioning of Power Section After Each Test*—Recondition a previously used power section before the start of a new test. Decontaminate power sections previously used with leaded fuel using the procedure shown in Annex A13 before use. Follow the parts replacement and cleaning procedures described in the following sections.

9.4.1 *New Parts*—Use the following new parts:

9.4.1.1 Piston and piston ring assembly,

NOTE 2—A used piston may be reused if it meets the requirements of 6.1.4.1 and the original piston pin is retained.

9.4.1.2 H-24 alloy connecting rod test bearing,

9.4.1.3 All gaskets, seals, O-rings, and

9.4.1.4 All parts that are excessively worn or that do not permit maintenance of the operating clearances specified in this method or in "Instructions for Assembly and Disassembly of the CLR Oil Test Engine."

9.4.2 *Documented Parts*—The parts supplier provides records, stating source codes and additional information such as batch code, lot number, and so forth. It is the responsibility of the laboratory to maintain records documenting these parts by proper identification numbers. The parts that require documentation are: (*1*) crankshafts, (*2*) camshafts, (*3*) connecting rod bearings, (*4*) crankshaft main bearings, (*5*) camshaft bearings, (*6*) piston rings, (*7*) connecting rods, (*8*) pistons, and (*9*) cylinder sleeves.

9.4.2.1 *Critical Parts*—The crankshaft and connecting rod are considered critical parts and are to be used as received from the supplier(s). If either is replaced during a reference period, the calibration status of the stand/power section is voided. A reference oil test meeting the calibration requirements of Section 10 is required before continuing non-reference oil testing.

9.4.3 *Parts Cleaning Procedures:*

9.4.3.1 *Oil Pump, Oil Pressure Regulator, Distributor, and Crankcase Breather*—Remove the distributor and crankcase breather. Remove the oil pump and oil pressure regulator with the oil gallery side cover plate. Clean this cover plate thoroughly using Penmul[25,8] (**Warning**—Combustible. Health hazard.) and a fiber brush or swab, then rinse the cover plate with tap water heated to (65 to 82) °C, and rinse it again with mineral spirits[31] (**Warning**—Combustible. Health hazard.). Carefully spray the oil pump, oil pressure regulator, and distributor with mineral spirits to remove deposits. Disassemble, inspect, and clean the crankcase breather with mineral spirits.

9.4.3.2 *Power Section*—Dismantle the power section completely before each test and thoroughly clean the parts by soaking them in Penmul for a minimum of 4 h. Remove remaining deposits on the crankshaft using fine or very fine 3M Scotch Brite pads.[32,8] After the minimal soak and cleaning period of 4 h, rinse the parts in hot tap water, (65 °C to 82 °C) to remove all traces of Penmul, and then rinse them with mineral spirits.[31] (**Warning**—Insufficient rinsing may allow Penmul carryover to the test oil causing increased severity in H-24 alloy bearing weight loss.)

9.4.3.3 *Alternative Methods*—The above-noted parts may be cleaned using a heated bath or temperature controlled automated parts washer. Allow the parts to cool before assembly or measurement. Protect parts cleaned by either method in accordance with 9.4.3.4.

9.4.3.4 *Protection of Parts*—Immediately after cleaning, protect all parts against moisture and contamination by the use of build-up oil, vapor-proof plastic bag, or both. Give special attention to cleaning the following: (*1*) sludge trap, (*2*) oil passages in crankshaft, in cylinder block, in crankcase and to valve lifters, (*3*) oil passage to rocker assembly, and (*4*) oil passage to timing gear oil jet.

[31] Mineral spirits meeting the limited Specification D235, Type II, Class C requirements are available from petroleum solvent suppliers.

[32] Trademark of 3M.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.4.3.5 *Oil Heater Cleaning*—Prior to each reference oil test, clean the oil heater case and inner cartridge with Penmul to remove all residues, deposits, and foreign material. Use a wire brush or emery cloth as needed to completely remove residues and deposits, then rinse with hot tap water and spray the case and cartridge with mineral spirits[31] and air dry. Prior to every test between references, the oil heater can be cleaned by circulating mineral spirits through it for 15 min and then air drying.

9.4.3.6 *H-24 Alloy Test Bearing*—Mark the bearing before using it in a test with the letters T (top) and B (bottom) on the backs of the bearing tangs, using a vibrating engraver. Make no other marks on the bearing until after the final weighing. Prior to initial weighing and prior to weighing at the end of a test, clean the bearing halves according to the procedure given in Annex A9. (Use fresh, clean mineral spirits[31] and pentane for cleaning.) (**Warning—** Flammable. Health hazard.)

9.4.4 *Cylinder Liner Finishing*—To minimize the effect of changes in oil consumption, finish a new TEI cylinder liner according to the honing procedure in Annex A6. The method for finishing a used liner is at the laboratory's judgment.

9.4.4.1 *Cleaning Procedure and Rust Prevention*—After the desired finish is achieved, spray the liner with mineral spirits, and air dry it. Apply build-up oil to the liner surface. Wipe the liner interior with a cloth or paper towel wetted with build-up oil until the wiping material appears clean after wiping. Coat the liner with build-up oil.

9.4.5 *Piston-to-Sleeve*—Determine the piston-to-sleeve clearance in accordance with the procedure given in Annex A4.

9.4.6 *Crankshaft Rear Seal Surface Conditioning*—Control of oil and air leakage at the crankshaft rear seal may be improved if the crankshaft rear seal surface is conditioned prior to each test in accordance with the recommendations of Annex A15.

9.4.7 *Crankshaft Journal Conditioning:*

9.4.7.1 Use crankshafts with all journals having out-of-round measurements of 0.025 mm or less.

9.4.7.2 Since the test method is primarily designed to measure bearing weight loss, maintain the crankshaft rod bearing journal such that weight loss due to abnormal mechanical wear is minimized. Exercise care when handling the crankshaft to prevent nicking the journal surfaces. Should nicks be observed, lightly dress the journal with a dressing stone. Remove as little metal as possible. Observe bearing wear pattern for the test following this process to confirm that mechanical wear is at a practical minimum.

9.4.7.3 Polish the connecting rod bearing journal according to the following guidelines. Mount the crankshaft on centers or position the main bearing journals in V-blocks. Prepare strips of polishing medium (only a wet/dry, silicon carbide, 400, 600 and 800 grit abrasive paper, standard crocus cloth, or Mylar 3M[33,8] tape is approved for use) with widths of 13 mm and lengths of (900 to 1200) mm. It is necessary to wet the strip of crocus cloth or abrasive paper with build-up oil or the Mylar tape with mineral spirits.[31] Wrap the strip 1½ times around the journal to provide a minimum of 360° contact between the cloth and journal. The Mylar tape[33] will not slide over itself so only wrap it 180°. Stroke the journal with the cloth or abrasive paper by alternately pulling on the two ends of the strip while maintaining a light tension on the strip, and while traversing across the journal. Do not dwell in the center of the journal. Rotate the crankshaft 90° between each traverse. Repeat four times. If abrasive paper is used, complete the fourth and final polishing process using crocus cloth or Mylar tape.

9.4.7.4 Alternatively, rotate the crankshaft (for example, with a metal turning lathe) during the polishing process at about 120 r/min. Polishing for approximately (20 to 30) s, while traversing the cloth across the journal, has been found to be effective for this process. Do not dwell in the center of the journal. No other method of polishing process is permitted.

9.4.7.5 Repeat the polishing procedure with dry crocus cloth or Mylar tape.

9.4.7.6 To confirm the trueness of the journal, visually check the journal with a straight edge 30.12 mm long; this length equals the width of the connecting rod bearing. Place a bright light source near the crankshaft on the side opposite your eyes. Hold the straight edge axially against the journal and inspect for light leakage between the straight edge and the journal surface, at 30° increments around the journal. If light leakage is observed, measure the journal diameters at the large and small-diameter points, determine the axial distance between the two measurement points, and calculate the taper (using half of the diametrical difference) of the journal between the points. Discard any crankshafts having a connecting rod journal taper larger than 0.013 mm per 25.4 mm. (Experience has shown that mechanical bearing wear with such crankshafts is unacceptably high.) The use of technology, such as surface profile measuring equipment is acceptable if approved by the TMC.

9.4.7.7 Resizing (refinishing) of the connecting rod journal is allowed only as stated in 6.1.3.2.

9.4.7.8 Determine the connecting rod bearing clearance and journal taper according to the procedure given in Annex A1, or an equivalent method approved by the TMC, prior to the initial weighing of the bearing halves. Perform the connecting rod clearances prior to the initial weighing of the bearing halves.

9.4.7.9 Determine the main bearing clearance according to the procedure given in Annex A2 or an equivalent method approved by the TMC. Perform the connecting rod clearance measurements prior to the initial weighing of the bearing halves.

9.4.7.10 After preparing the crankshaft according to 9.4.7.1-9.4.7.9, clean it thoroughly. Either pressure spray it with mineral spirits[31] or brush it with mineral spirits,[31] and air dry.

9.4.8 *Camshaft Journal Conditioning* —The camshaft journal-to-bearing clearance shall be within the range of (0.030 to 0.132) mm. (However, to maintain good oil pressure control when using low-viscosity oils, it may be necessary to reduce this clearance to (0.030 to 0.081) mm.) A suggested method for salvaging out-of-limit camshaft bearing journals or for decreasing the camshaft journal clearance is provided in Appendix X2.

9.4.9 *Power Section Valve Clearances*—Make the appropriate adjustments during power section reassembly to obtain the

[33] Trademark of 3M.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

clearances shown in the "Instructions for Assembly and Disassembly of the CLR Test Engine." If specifications do not include an inch tolerance, the intent is to meet this value.

9.4.10 *Power Section Assembly Torque Specifications*—During power section assembly, use the torque specifications shown in the "Instructions for Assembly and Disassembly of the CLR Test Engine."

9.4.11 *Connecting Rod Reconditioning*—Connecting rods can only be reconditioned by the supplier; this includes piston pin bushings, rod bolts, and resizing of the big end. Reconditioned connecting rods will be identified by the supplier by adding an alphabet suffix to the serial number; for example, A for first reconditioning, B for second, and so forth.

10. Calibration

NOTE 3—The ASTM Test Monitoring Center Calibration Program (Annex A3) dictates specific procedures which involve coordination with the TMC in order to obtain calibration status of a test power section and a test stand. The information given in the following sections provides a summary of the calibration process required.

10.1 *Power Section and Test Stand Calibration*—Calibrate power sections in combination with test stands by running tests on reference oils (see 10.1.3 for frequency). The purpose is twofold: *(1)* to verify standardized engine operation, and *(2)* to document a laboratory's severity level for given combinations of power sections and test stands. (Conduct a test of a non-reference oil only on a given combination of power section, test stand, and bearing batch lot that has been previously calibrated.) Conduct all non-reference oil and reference oil tests in the same manner.

10.1.1 *Reference Oils*—Obtain reference oils for calibration use from the TMC. Oils are available representing various levels of performance. See 14.1 for performance data.

10.1.2 *Test Numbering*—Calibration of power sections and test stands is closely related to test numbering; that is, the test number assigned to a test is a function of the calibration test recently conducted. Number each Sequence VIII Engine Oil Test by assigning it a test number that identifies the test stand number, the power section number, the number of tests conducted on the power section since the last successful reference oil test on that power section, and the total number of runs on the power section. The only exception to this format is to follow the sequential total number of runs on the power section by the letter A for the first rerun, B for the second, and so forth, for an invalid or unacceptable reference oil test.

10.1.3 *Reference Oil Test Frequency:*

10.1.3.1 Using blind reference oils supplied by the TMC, calibrate each power section/test stand combination following each 15 test starts or upon the expiration of the power section/test stand time period of 6 months, whichever occurs first. When a Sequence VIII oil test is terminated after the first interval of 10 h to determine the stripped viscosity of a multiviscosity-graded oil, on a calibrated Sequence VIII power section/test stand, the test is counted as one of 15 test starts allowed per reference period. Also, count any tests exceeding intervals of 40 h as more than one test each time it exceeds 40 h. For example, (0 to 40) h equals one test; (41 to 80) h equals two tests; (81 to 120) h equals three tests, and so forth.

10.1.3.2 When circumstances develop that are beyond a laboratory's control, such as fuel or parts shortages, calibration periods and the number of test starts between calibrations may be adjusted. The TMC and the Sequence VIII Surveillance Panel approve adjustments to calibration periods and the number of test starts between calibrations before additional test starts are conducted. Make a note on the form shown in the final test report, stating that the test was conducted on a power section/test stand in which calibration requirements were adjusted and, also, the reason for the adjustment.

10.1.3.3 Laboratories running non-standard Sequence VIII tests shall contact the TMC before resuming calibrated Sequence VIII testing with the test stand or power section (or both) involved. Depending upon the modifications to the power section or test stand (or both) and the time period of non-standard testing, test stand checks or reference oil tests, or both, may be required before resumption of calibrated testing.

10.1.4 *Reference Oil Test Acceptance and Severity Monitoring:*

10.1.4.1 The TMC maintains records of reference oil test activity, analyzes severity trends, gives reports at ASTM meetings, and assists laboratories in the technical conduct of tests. (See Appendix X1 for a more detailed presentation of the TMC role.)

10.1.4.2 Submit all reference oil test reports to the TMC for review and acceptance. (See LTMS for reference oil test acceptance criteria[34]). The Test Results sheet for test reports on engine oils other than reference oils shall include the test number and completion date of the power section reference oil test(s) used to calibrate the power section/test stand used for the test.

10.1.4.3 Failure of a reference oil test to meet LTMS control charts limits can be indicative of a false alarm, or a power section/test stand, laboratory or industry problem. When this occurs, the laboratory, in conjunction with the TMC, shall attempt to determine the problem source. Input from industry expertise (ASTM Technical Guidance Committee, the Sequence VIII Surveillance Panel, Registration Systems, Inc., and so forth) may be solicited to help determine the cause and extent of the problem.

(1) In the event of a failed reference oil test, first review the calibration status of the power section or test stand, or both, before subsequent tests are conducted. If the TMC determines the problem is a false alarm, then there is no impact on non-reference tests running in the laboratory. If it is determined that the problem is related to the power section or test stand, review non-reference tests run during the problem period in that power section or test stand, or both, for validity taking into account the related new information.

(2) If it is determined that the problem is related to the laboratory, review all non-reference oil tests run in the laboratory during the problem period for validity taking into account the related new information.

(3) If it is determined that the problem appears to be industry-wide, request the ASTM Sequence VIII Surveillance Panel to develop a resolution.

[34] The document, "Lubricant Test Monitoring System," is available from the TMC.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2 *Instrumentation Calibration*—Calibrate the following instrumentation, immediately prior to each reference oil test, with the exception of a test stand where reference oil tests are conducted with multiple power sections. For a test stand using multiple power sections, the test stand instrument calibration may be extended by 14 days. For example, a reference oil test can be conducted in the same test stand with a second power section without calibrating the test stand instrumentation if the reference oil test is started within 14 days of the previous test stand instrument calibration. Unless otherwise specified in this test method, follow the instructions provided by the manufacturers of the instruments regarding the method of calibration. In calibrating each instrument, use certified reference standards having known values covering the range of measurements to be encountered in using this test method, and having tolerances less than those of the measurement tolerances specified in this test method. Retain the calibrations records for a minimum of 24 months.

10.2.1 Engine power measurement system,
10.2.2 Engine speed indicator,
10.2.3 Fuel flowmeter or weighing scale,
10.2.4 Temperature sensors and measurement system,
10.2.5 Electrical wattmeter (only if used),
10.2.6 Pressure gages,
10.2.7 Crankcase off-gas flowmeter,
10.2.8 Crankcase ventilation air flowmeter, and
10.2.9 Rocker cover air flowmeter.

10.3 *Calibration of AFR measurement Equipment:*

10.3.1 *Lambda Meters*, prior to each reference oil test.

10.3.2 *Exhaust Gas Analysis Meters*, prior to each reading zero and span.

10.4 Calibrate torque wrenches every 6 months.

11. Engine Operating Procedure

11.1 *Run-In and Flush*—At the beginning of each test, perform the following 4 h run-in and 0.5 h flush:

11.1.1 Install the Racor oil filter bypassing the oil heater (see Fig. 6). Use a new/clean filter screen (28 µm) for each new test run-in.

11.1.2 Charge the power section with 2840 mL of fresh test oil. Record the date and time that the oil is poured into the engine. These are considered the test start date/time. Prior to starting the engine and any restarts during the 4 h run-in, perform the oil priming procedure in Annex A7.

11.1.3 Operate the power section according to the schedule in Table 1 for 4 h. Maintain the oil gallery temperature no higher than 107.0 °C, the oil gallery pressure at (280 ± 10) kPa, and the jacket outlet temperature no higher than 93.5 °C. Record data at least hourly using a form of the type shown in Fig. X3.1.

11.1.4 Shut down the power section after four running hours. Immediately move the piston to top dead center (TDC) on the compression stroke, and drain the crankcase for 10 min. Remove the crankcase breather tube to vent the power section to atmosphere during drain periods.

11.1.5 After the 4 h run-in, add the oil heater (Fig. 7). The oil heater remains in the oil circuit for the flush and steady-state portions of the test procedure. The external oil outlet shall pass through the heater, then the Racor filter before returning to the engine.

TABLE 3 Power Section Warm-up Schedule

Time, min	Total time, min[A]	Heat Flow Rate, W[B]	Temperature Set Point[B]
15	15	1000	101.7 °C
10	25	1300	112.8 °C
10	35	1600	123.9 °C
10	45	1900	132.8 °C
15	60	2200, if needed	(135.0 or 143.3) °C[C]

[A] Steady-state test time does not include warm-up time; rather, it begins only when the specified oil gallery temperature is reached.
[B] Either heat flow rate or temperature set point control may be used for warm-up operation.
[C] As appropriate from test oil viscosity grade. See Table 2.

11.1.6 Charge the power section with 1660 mL of fresh test oil. Prior to starting the engine and any restarts during the 0.5 h flush, perform the oil priming procedure in Annex A7.

11.1.7 Flush the power section under the following operating conditions for 0.5 h: (3150 ± 25) r/min, (3.73 ± 0.15) kW, spark advance (35 ± 1)° before top dead center (BTDC), maximum oil gallery temperature 107.0 °C, maximum water jacket outlet temperature 93.5 °C, and oil gallery pressure (280 ± 10) kPa. Do not energize the oil heater during this period. Record the operational data prior to shutdown using forms of the type shown in Figs. X3.1 and X3.2.

11.1.7.1 *Downtime Limits, Run-in and Flush*—During the run-in interval and the flush interval (11.1.3) no more than 4 h of off-test time are allowed. No more than one emergency shutdown is allowed. No more than two total shutdowns are allowed.

11.1.7.2 During the shutdown between the 4 h run-in and 0.5 h flush, consider any time in excess of 85 min as off-test time counted against the 2 h limit listed in 11.1.7.1.

11.1.7.3 During the shutdown after the 0.5 h flush, consider any time in excess of 145 min as off-test time counted against the limit for the first interval of 2 h listed in 11.1.7.

11.1.8 Shut down the power section; immediately move the piston to TDC on the compression stroke, and drain the crankcase and oil heater for 10 min. Replace or clean the filter screen in the Racor filter. An alternate method of having two Racor filters is allowable, one used for run-in and flush and another for test.

11.2 *Test Operating Conditions*—Throughout the remainder of the test, operate the power section under the conditions shown in Table 2.

11.2.1 *Downtime During the Test Conditions for 40 h*—The maximum allowable off-test time is 9 h; also, no more than two emergency shutdowns are allowed and no more than four total shutdowns are allowed.

11.2.2 *Warm-up Schedule*—Charge the power section with 1660 mL of fresh test oil. Prior to starting the engine and any restart during the test of 40 h, perform the oil priming procedure in Annex A7. Start the engine and bring engine speed up to 3150 r/min. Follow the schedule in Table 3. When restarting the power section after any unscheduled or emergency shut downs, start the warm-up at the oil gallery

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

temperature recorded when the engine is restarted and adjust the heater wattage or temperature set point, in accordance with Table 3. For example, if the oil gallery temperature when the engine is restarted is 123.9 °C, set the warm-up condition at 1900 W or 132.2 °C for 10 min as shown in Table 3. The warm-up shall proceed from this point and continue with the required steps in Table 3.

11.3 *Air-Fuel Ratio and Spark Advance*—Record and adjust, if necessary, the air-fuel ratio and spark advance at (1, 10, 20 and 30) h. This is the minimum requirement. Additional readings are permitted. When determining the air-fuel ratio using the exhaust gas analysis measured by the calibrated electronic method, utilize Table A12.1.

11.4 *Rocker Cover Air, Off-gas, and Blowby Measurement:*

11.4.1 Adjust the rocker cover air control valve, as needed, to achieve an off-gas measurement in litres per hour that is then corrected to a standard litres per hour (SLH) value of (850 ± 28) L/h. After the gas flow measurement has been corrected to an SLH value of (250 ± 28) L/h, measure the rocker cover air flow in litres per hour, then correct to an SLH value of (850 ± 28) L/h and record that value. Convert the observation to standard conditions (101.3 kPa and 21 °C) as follows:

$$SLH = ALH \times [((BARO + GAS)/101.32\ \text{kPa}) \times (294.26°\text{K}/TEMP)] \quad (1)$$

where:

SLH = off-gas, standard L/h,
ALH = actual measured off-gas, L/h,
BARO = barometer reading, kPa,
GAS = gage pressure at inlet of the off-gas measuring device, kPa, and
TEMP = temperature at the inlet of the off-gas measuring device, °K.

11.4.1.1 Adjust the rocker cover air control valve as needed to achieve off-gas flow (850 ± 28) SLH.

11.4.1.2 Observe and record the rocker cover air flow reading in SLH after the off-gas flow has been adjusted to (850 ± 28) SLH.

11.4.2 Blowby is the difference between the standardized off-gas flow measurement and the standardized rocker cover airflow measurement.

11.5 *Unscheduled Shutdowns*—There are no scheduled shutdowns during the 40 h at test conditions. Whenever unscheduled shutdowns become necessary, if possible, follow 11.5.1. If unable to follow 11.5.1, consider the shutdown an emergency shutdown.

11.5.1 Turn off the oil heater and idle the power section at 1500 r/min for 10 min. (This action prevents overheating of the oil in the heater.) Allow the rocker cover fresh air input to remain on. Turn off the ignition to stop the engine. It is also acceptable to disconnect the fuel supply and allow the engine to idle to a stop before turning off the ignition. Move the piston to TDC on the compression stroke.

11.6 *Oil Sampling and Oil Addition*—After 10 h, 20 h, and 30 h at test conditions, take oil purge, take oil samples and make additions as directed in the following sections.

11.6.1 Purge 60.0 mL of the engine oil into a beaker.

11.6.2 Take a sample of 180.0 mL (same location as purge).

11.6.3 Add 240.0 mL of new oil into the engine along with the original purge (60.0 mL).

11.7 *Periodic Measurements:*

11.7.1 Record, using the data log sheet shown in Fig. X3.2, the following data hourly:

11.7.1.1 Engine speed, r/min,
11.7.1.2 Engine power, kW,
11.7.1.3 Fuel flow, kg/h,
11.7.1.4 Oil gallery temperature, °C,
11.7.1.5 Oil heater input, W, (only if used to control temperature),
11.7.1.6 Jacket inlet coolant temperature, °C,
11.7.1.7 Jacket outlet coolant temperature, °C,
11.7.1.8 Oil pressure, kPa,
11.7.1.9 Crankcase vacuum, kPa,
11.7.1.10 Exhaust back pressure, kPa,
11.7.1.11 Intake air temperature, °C,
11.7.1.12 Intake manifold vacuum, kPa,
11.7.1.13 Crankcase off-gas, L/h, corrected to SLH,
11.7.1.14 Rocker cover fresh air flow, m^3/s, and,
11.7.1.15 Blowby, L/h.

11.7.2 Record the following data at test hours 1, 10, 20 and 30:

11.7.2.1 Air-fuel ratio, and,
11.7.2.2 Spark advance.

11.8 *Final Drain and Oil Consumption Computation*—At the completion of the 40th test hour, shut down the engine (see 11.5). Immediately move the piston to TDC on the compression stroke, and drain crankcase, Racor filter and oil heater. Leave the rocker cover air supply on and remove the breather tube to ensure a proper drain. Measure and record the amount of oil drained. The maximum allowable oil consumption is 778 mL.

11.9 *Operational Validity Criteria*—The test laboratory is responsible for determining and documenting the operational validity of every engine test. In order for a test to be operationally valid, the deviation percentage criteria defined in 11.9.1 shall be met. In addition, the test stand, test operation, and test build-up shall conform with the published procedure/standard.

11.9.1 *Deviation Percentage*—Calculate the deviation percentage using the equation:

$$DP = \sum_{i=1}^{i=n} \left[\frac{M_i}{0.5R} \times \frac{T_i}{D} \right] \times 100 \quad (2)$$

where:

DP = deviation percentage,
M_i = magnitude of test-parameter deviation from specification limit at occurrence *i*,
R = test parameter specification range,
T_i = length of time that test parameter was outside of specification range at occurrence *i*,
n = number of times that a test parameter deviated from test specifications limits, and
D = test or test-phase duration in same units as T_i.

NOTE 4—T_i is assumed to be no less than the recorded-data-acquisition frequency unless supplemental readings are documented.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.9.1.1 Invalidate any tests exceeding the following deviation percentages:

(a) *Primary Test Parameters (2.5 %)*:
(1) Fuel flow,
(2) Crankcase off gas,
(3) Oil gallery temperature,
(4) Coolant out temperature,
(5) Coolant delta temperature, and
(6) Oil pressure.

(b) *Secondary Test Parameters (5.0 %)*:
(1) Speed,
(2) AFR,
(3) Spark advance,
(4) Exhaust pressure, and
(5) Crankcase vacuum.

11.10 *Test Completion*—Defined the end of test (EOT) time as 25 min after the 40th test hour.

12. Determination of Test Results

12.1 *Oil Sample Analysis:*

12.1.1 Determine the kinematic viscosity of the new oil and a sample taken at 10 h at (40 and 100) °C.

12.1.2 Determine the viscosity stability of a multiviscosity-graded oil by measuring the stripped viscosity of a sample of used oil taken at 10 h. See Annex A14 for the specified measurement method.

12.2 *Test Bearing Weight Loss Determination*—Record, in milligrams, the weights of the top and bottom connecting rod test bearing halves within 4 h of conclusion of the test. If this determination is delayed longer than 4 h, the test is invalid. Clean each test bearing half, as described in Annex A9, before weighing. Determine the weight loss of the bearing to the nearest 0.1 mg by subtracting from the initial weights recorded prior to power section run-in.

12.2.1 If applicable adjust the total bearing weight loss, according to the procedure in Annex A5. Record the severity adjustments (SA) in the test report (see Annex A16).

13. Report

13.1 For referenced oil tests, the standardized report form set and data dictionary for reporting test results and for summarizing the operational data are required.

13.2 Use Forms 1, 2, 4, 5, 6, 7, and 8 (see Annex A16) for initial transmission of reference oil test results to the TMC.

13.3 Report results on all reference oil tests run to completion, regardless of validity.

14. Precision and Bias

14.1 *Precision*—Test precision (intermediate precision and reproducibility) is established on the basis of operationally-valid reference oil tests monitored by the TMC. The limits, including standard deviations, are given in Table 4. They were computed from test results obtained on TMC reference oils 704-1 and 1006 and are current as of June 15, 2005. Precision limits were obtained by multiplying respective standard deviations by 2.8.

TABLE 4 Reference Oil Test Precision Limits

Variable	$S_{i.p.}$	i.p.	S_R	R
Bearing weight loss, mg	3.56	9.99	3.56	9.99
Stripped viscosity, mm^2/s at 100 °C	0.13	0.36	0.13	0.36

Legend:
$S_{i.p.}$ = intermediate precision standard deviation
i.p. = intermediate precision
S_R = reproducibility standard deviation
R = reproducibility

14.1.1 *Intermediate Precision (formerly called repeatability) Conditions*—Conditions where test results are obtained with the same test method using the same test oil, with changing conditions such as operators, measuring equipment, test stands, test engines, and time.

14.1.1.1 *Intermediate Precision Limit* (i.p.)—The difference between two results obtained under intermediate precision conditions that would in the long run, in the normal and correct conduct of the test method, exceed the values shown in Table 4 in only one case in twenty.

14.1.2 *Reproducibility Condition*—Conditions where test results are obtained with the same test method using the same test oil in different laboratories with different operators using different equipment.

14.1.2.1 *Reproducibility Limit* (R)—The difference between two results obtained under reproducibility conditions that would, in the long run, in the normal and correct conduct of the test method, exceed the values in Table 4 in only one case in twenty.

14.2 *Bias*—Bias is determined by applying an acceptable statistical technique to reference oil test results. When a significant bias is obtained, a severity adjustment is permitted for non-reference oil test results. Contact the TMC for TMC Memo 94-200 (Lubricant Test Monitoring System Document).

15. Use of ASTM Rounding

15.1 Follow Practice E29 (6.4–6.5) guidelines for rounding of test results, operational parameters, and engine build-up measurements.

16. Keywords

16.1 bearing weight loss; CLR oil test engine; copper-lead bearings; engine oil; oil consumption; Sequence VIII test; shear stability

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 19 06:32:12 EDT 2013
Downloaded/printed by
MIT Libraries pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

ISO9001:2008 Certified

FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : E80400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Gasohol 95
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

CAUTION C

Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)

Oil condition tests indicate that the oil is slightly degraded
Components of dirt (silicon) slightly above normal however no abrasive wear noted
All wear conditions and wear tests appear in normal working range
Recommend check to determine how dirt is entering the system and correct the problem to prevent further dirt entry

Gasohol 1

Condition History	Test Method	Result	Current Sample Wear	Current Sample Oil	Current Sample Cont.	Previous Sample Wear	Previous Sample Oil	Previous Sample Cont.	Previous Sample Wear	Previous Sample Oil	Previous Sample Cont.	Baseline and Alarm Limit
			N	C	C	N	N	C	N	C	C	Alarm Limit
Lab ID			246502			246501			246500			Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type)
Bottle ID			1030792			1030791			1030790			
Date Sampled			18-Jan-14			17-Jan-14			17-Jan-14			
Oil Hours (Kms)			40			30			20			
Unit Hours (Kms)			Not Given			Not Given			Not Given			
Oil Change												
Oil Added (Liters)			0.12			0.12			0.12			
Filters Hours (Kms)												
Wear Condition												Fine Wear / Coarse wear
Iron	D 5185	PPM	31.0	8.8		38.7	7.7		33.1	69.3		0 >200
Chromium	D 5185	PPM	3.0	0.0		3.6	0.4		3.5	6.9		0 >60
Lead	D 5185	PPM	0.0	1.5		0.4	0.2		0.6	0.8		0 >60
Copper	D 5185	PPM	2.3	0.3		2.5	0.3		2.2	1.3		0 >60
Tin	D 5185	PPM	0.0	1.0		0.0	0.0		0.0	0.6		0 >60
Aluminum	D 5185	PPM	10.6	4.4		11.5	6.1		11.1	50.1		0 >60
Nickel	D 5185	PPM	0.1	0.0		0.0	0.3		0.1	0.9		0
Silver	D 5185	PPM	0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.1		0
Molybdenum	D 5185	PPM	49.8	5.4		59.0	3.3		57.8	12.0		64
Titanium	D 5185	PPM	0.0	0.2		0.0	0.2		0.0	0.7		0
Oil Condition												N 1 Warning 1 Caution 1 Caution 1 Warning
Viscosity @ 40 °C	D 445	cSt	75.1			75.7			75.1			66.3
Viscosity @ 100 °C	D 445	cSt	11.2			11.0			12.4			10.4 <7.27 >13.5
Oxidation	F 2412	Abs	9.0			8.3			7.8			9.4 >14.4
Nitration	D 7624	Abs	6.6			6.2			5.8			3.3 >7.4
TAN	D 4739	mg KOH/g										
TBN	D 4739	mg KOH/g	7.7			7.8			7.5			8.6 <2
Contamination												1A 1 Caution 1 Warning
Water	D 6304	%VOL	0.078			0.076			0.073			0.1095 >0.5
Fuel		%VOL	0.79			0.79			0.83			>7.5
Glycol		%VOL	0			0			0			
Soot		%WT	0.62			0.62			0.62			>2.5
												Fine Wear / Coarse wear
Vanadium	D 5185	PPM	0			0			0			0
Sodium	D 5185	PPM	5			4			4			1 >100
Silicon	D 5185	PPM	11.8	3.3		13.4	4.2		13.5	22.7		4 >30 >30
Additive Element												N
Boron	D 5185	PPM	30			40			43			54
Magnesium	D 5185	PPM	859			928			834			1126
Calcium	D 5185	PPM	1373			1304			1262			1126
Barium	D 5185	PPM	1			1			2			0
Phosphorus	D 5185	PPM	793			779			748			812
Zinc	D 5185	PPM	1264	131		1257	121		1220	378		1196
Additional Test												N 1 Warning 1 Caution 1 Caution 1 Warning
Flash Point	D 92	C										213
Viscosity Index	D 2270		140			135			164			147

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.
No Sign or N : NORMAL , C or C : (first level warning limit) , W or W : Warning (second level warning limit)
C Caution Upper CAUTION Level C Caution Lower CAUTION Level
First Level Alarm: Alert Limit in Upper Level and/or Lower Level
Second Level Alarm: Alert Limit in Upper Level and/or Lower Level
W Warning Upper WARNING Level W Warning Lower WARNING required Level
TNO = The new oil RO = Reference oil, OS = Oil Specification
Baseline will be data of either "The new oil" or "Reference oil" or "Oil specification"
Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied
No warranty is expressed or implied for this report

Focuslab Ltd. 2/39 Thosapol Land 4 Bldg. Bangna-Trad Rd KM-3 Bkk 10260 Thailand | http://www.focuslab.co.th | Email: focuslab@focuslab.co.th | Tel: +662 361 9600 | Fax: +662 3618587
FL-6.6

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

ISO9001:2008 Certified

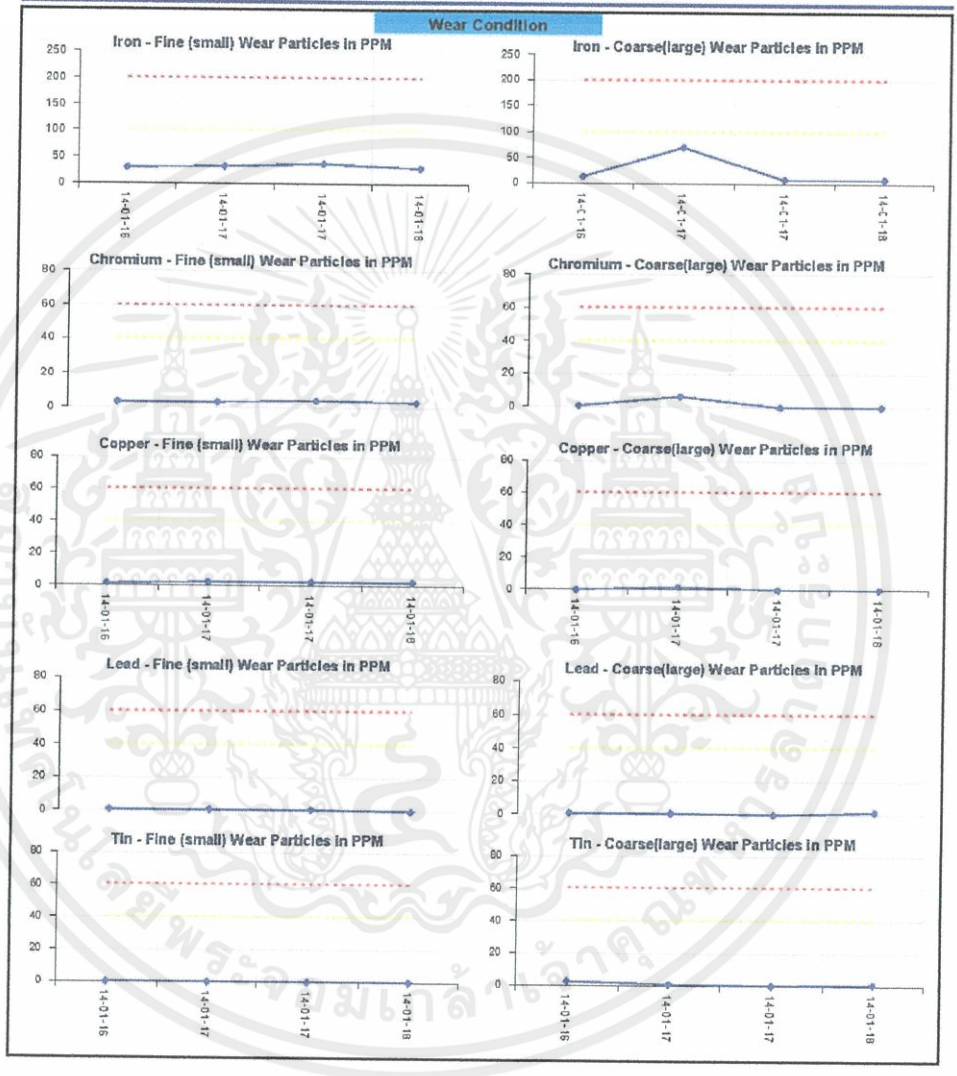
FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Gasohol 95
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type/ Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

Wear Condition



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

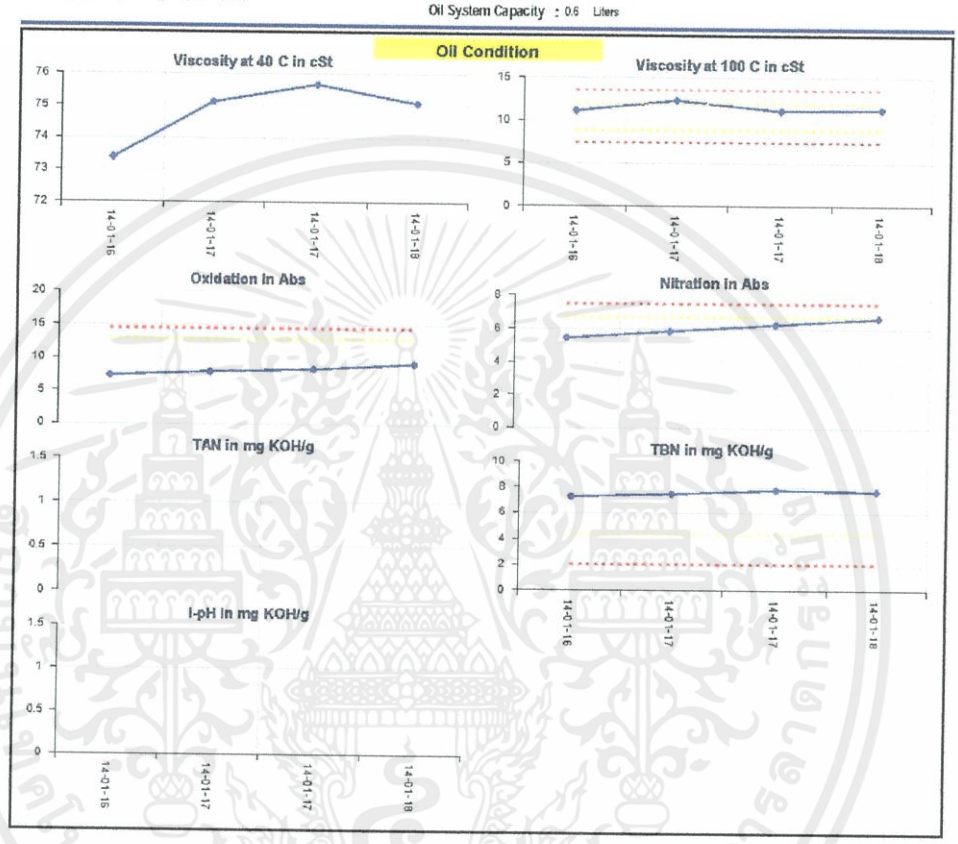
ISO9001:2008 Certified

FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Gasohol 95
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

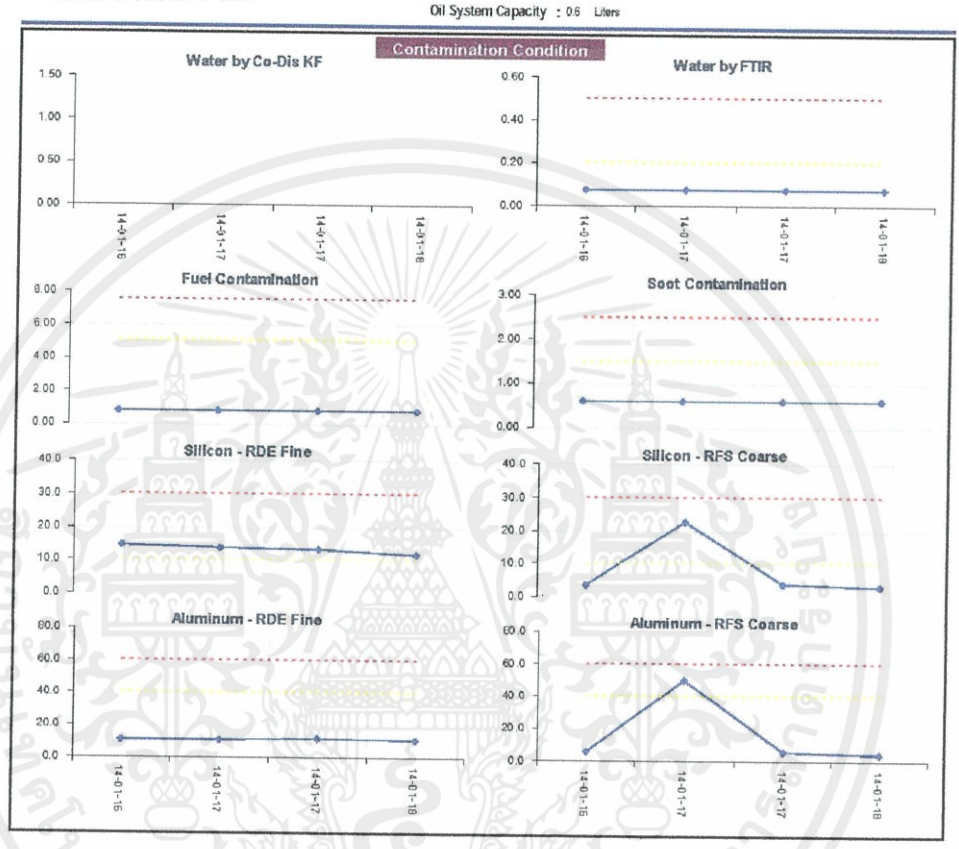
ISO9001:2008 Certified

FocusLab Ltd.

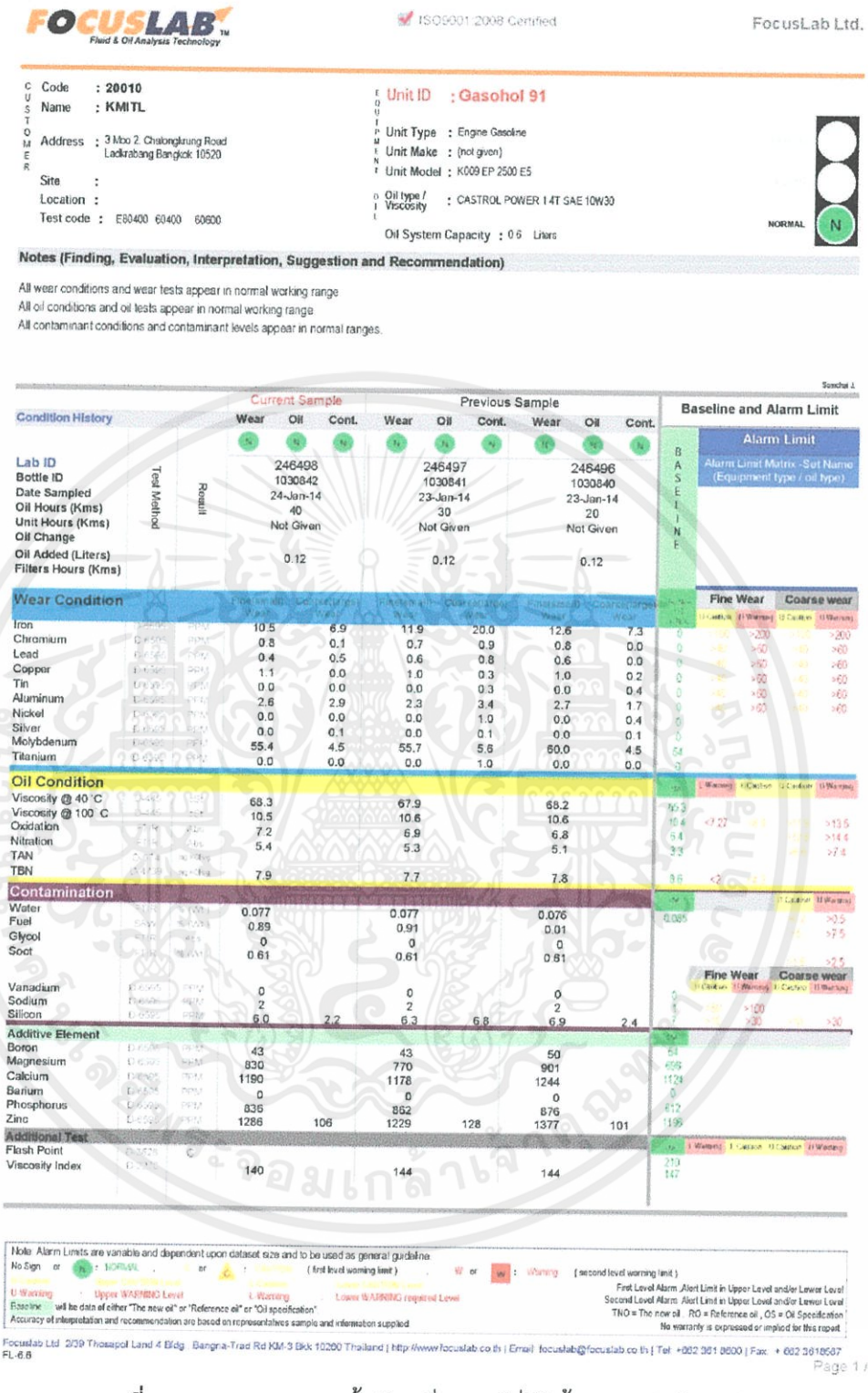
CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Gasohol 95
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type/ Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology — ISO9001:2008 Certified — FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2 Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : E80400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Gasohol 91
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

NORMAL

Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)

All wear conditions and wear tests appear in normal working range.
All oil conditions and oil tests appear in normal working range.
All contaminant conditions and contaminant levels appear in normal ranges.

Condition History	Test Method	Result	Current Sample Wear	Current Sample Oil	Current Sample Cont.	Previous Sample Wear	Previous Sample Oil	Previous Sample Cont.	Baseline Wear	Baseline Oil	Baseline Cont.
Lab ID			246498			246497			246496		
Bottle ID			1030842			1030841			1030840		
Date Sampled			24-Jan-14			23-Jan-14			23-Jan-14		
Oil Hours (Kms)			40			30			20		
Unit Hours (Kms)			Not Given			Not Given			Not Given		
Oil Change											
Oil Added (Liters)				0.12			0.12			0.12	
Filters Hours (Kms)											
Wear Condition											
Iron			10.5		6.9	11.9		20.0	12.6		7.3
Chromium			0.8		0.1	0.7		0.9	0.8		0.0
Lead			0.4		0.5	0.6		0.8	0.6		0.0
Copper			1.1		0.0	1.0		0.3	1.0		0.2
Tin			0.0		0.0	0.0		0.3	0.0		0.4
Aluminum			2.6		2.9	2.3		3.4	2.7		1.7
Nickel			0.0		0.0	0.0		1.0	0.0		0.4
Silver			0.0		0.1	0.0		0.1	0.0		0.1
Molybdenum			55.4		4.5	55.7		5.6	60.0		4.5
Titanium			0.0		0.0	0.0		1.0	0.0		0.0
Oil Condition											
Viscosity @ 40 °C			68.3			67.9			68.2		
Viscosity @ 100 °C			10.5			10.6			10.6		
Oxidation			7.2			6.9			6.8		
Nitration			5.4			5.3			5.1		
TAN											
TBN			7.9			7.7			7.8		
Contamination											
Water			0.077			0.077			0.076		
Fuel			0.89			0.91			0.01		
Glycol			0			0			0		
Soot			0.61			0.61			0.61		
Vanadium			0			0			0		
Sodium			2			2			2		
Silicon			6.0	2.2		6.3	6.8		6.9		2.4
Additive Element											
Boron			43			43			50		
Magnesium			830			770			901		
Calcium			1190			1178			1244		
Barium			0			0			0		
Phosphorus			836			862			876		
Zinc			1286	106		1229	128		1377		101
Additional Test											
Flash Point											
Viscosity Index			140			144			144		

Baseline and Alarm Limit
Alarm Limit
Alarm Limit Matrix - Set Name (Equipment type / oil type)

	Fine Wear	Coarse wear
Iron	>200	>200
Chromium	>40	>40
Lead	>40	>40
Copper	>60	>60
Tin	>60	>60
Aluminum	>60	>60
Nickel	>60	>60
Silver		
Molybdenum		
Titanium		

Viscosity @ 40 °C	
Viscosity @ 100 °C	
Oxidation	>13.5
Nitration	>14.4
TAN	>7.4
TBN	

Water	
Fuel	>0.5
Glycol	>7.5
Soot	

	Fine Wear	Coarse wear
Vanadium		
Sodium		
Silicon	>100	>20

Boron	
Magnesium	
Calcium	
Barium	
Phosphorus	
Zinc	

Flash Point	
Viscosity Index	

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline
No Sign or N : NORMAL , C or C : Caution (first level warning limit) W or W : Warning (second level warning limit)
U Warning : Upper WARNING Level L Warning : Lower WARNING reported Level
Baseline will be data of either "The new oil" or "Reference oil" or "Oil specification"
Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied
First Level Alarm ,Alert Limit in Upper Level and/or Lower Level
Second Level Alarm ,Alert Limit in Upper Level and/or Lower Level
TNO = The new oil , RO = Reference oil , OS = Oil Specification
No warranty is expressed or implied for this report

Focuslab Ltd 2/39 Thossapol Land 4 Bldg Bangna-Trad Rd KM-3 Bkk 10260 Thailand | http://www.focuslab.co.th | Email focuslab@focuslab.co.th | Tel +662 361 9600 | Fax +662 3618587
FL-6.6
Page 1 / 4

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

ISO9001:2008 Certified

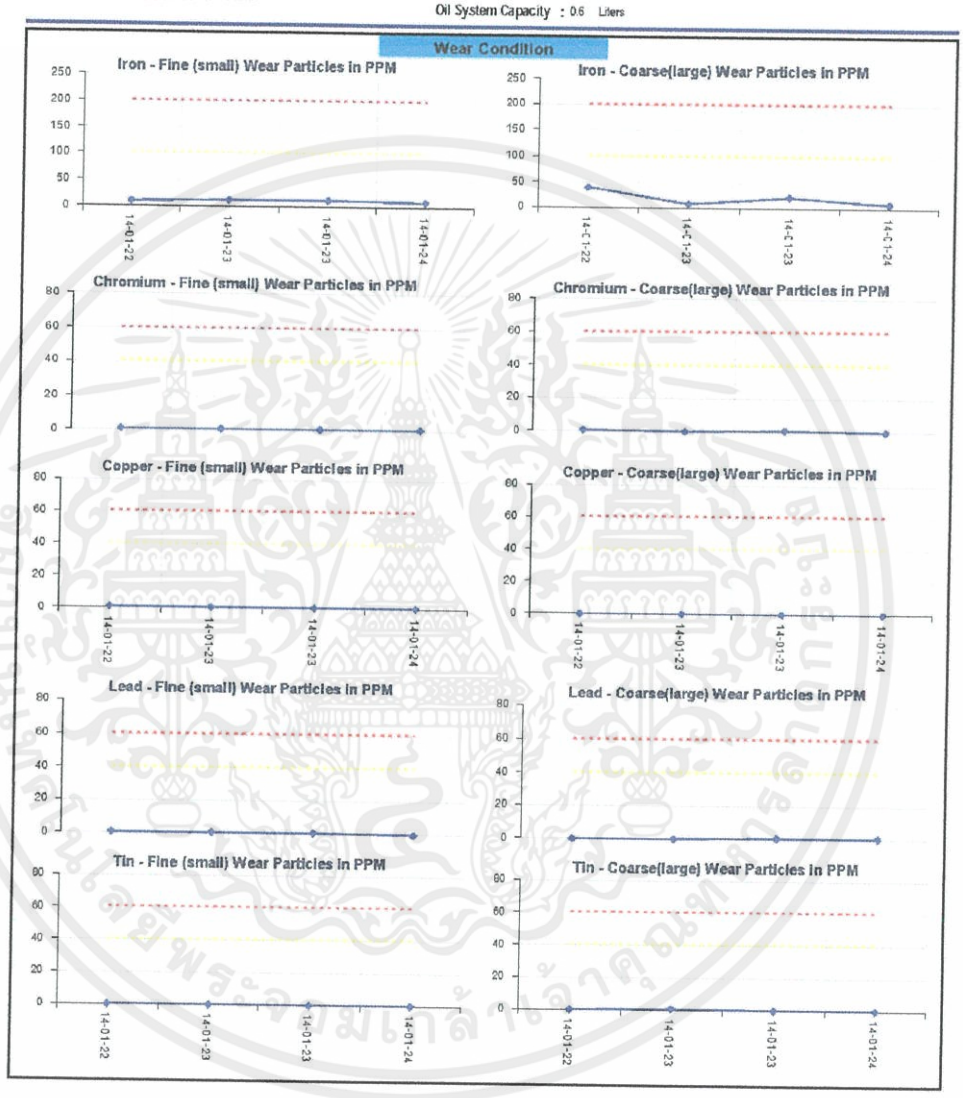
FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Gasohol 91
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type/ Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

Wear Condition



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

ISO9001:2008 Certified

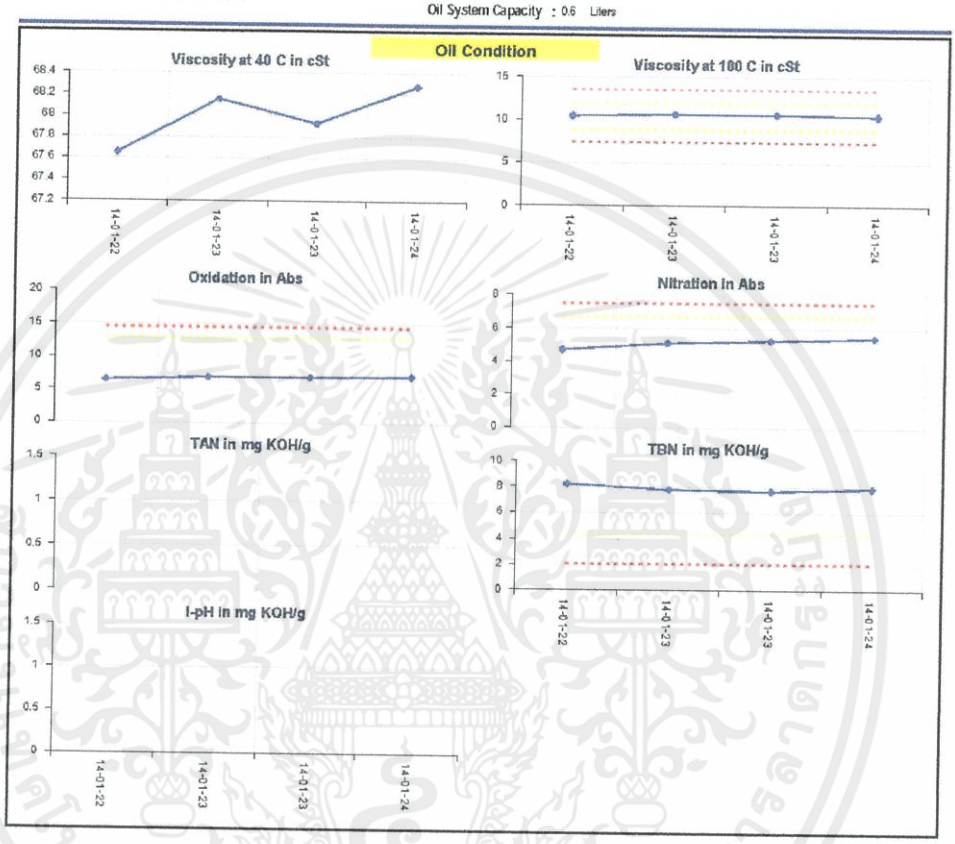
FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Gasohol 91
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type/ Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

Oil Condition



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

ISO9001:2008 Certified

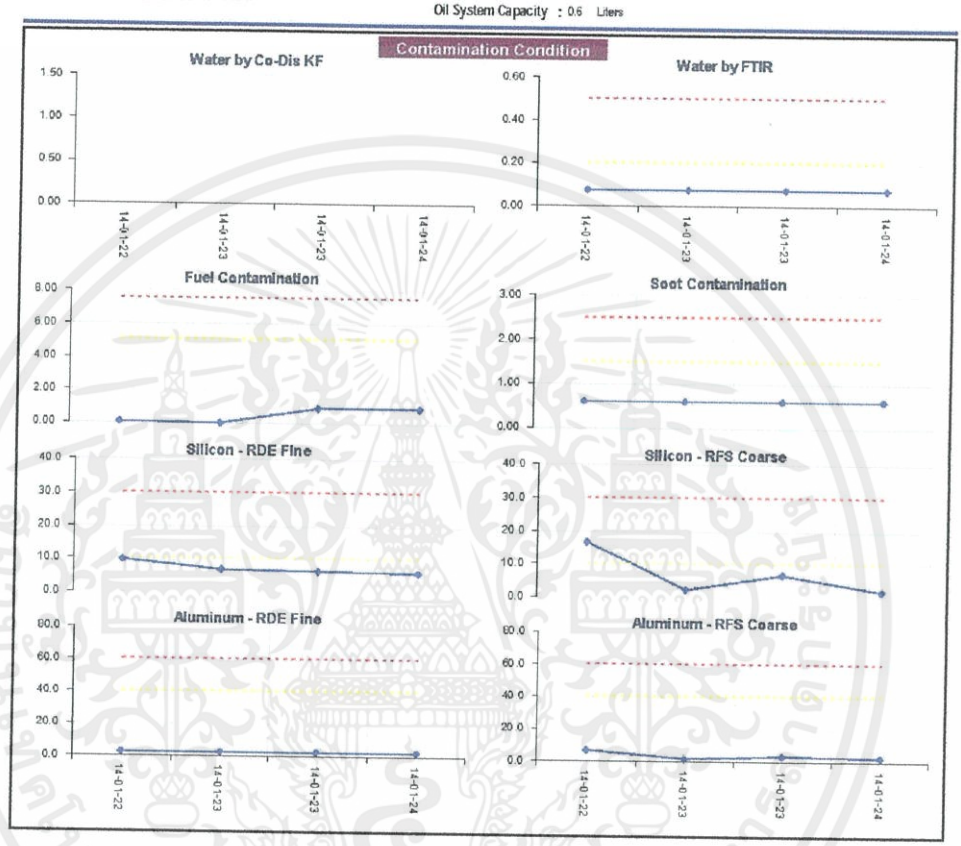
FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 28010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

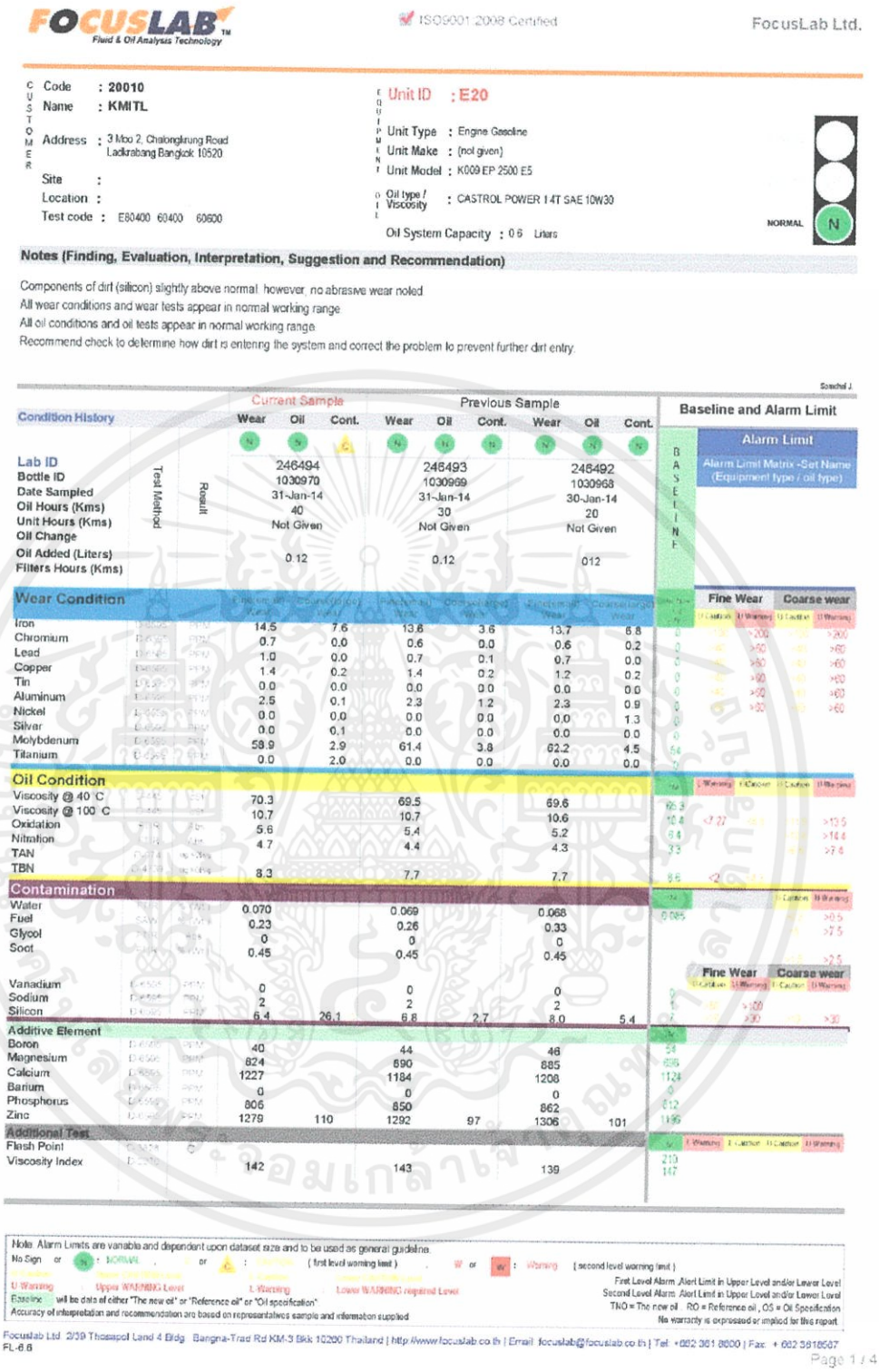
EQUIPMENT
Unit ID : Gasohol 91
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type/ Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

Contamination Condition



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

ISO9001:2008 Certified

FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : E80400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : E20
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

NORMAL

Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)

Components of dirt (silicon) slightly above normal however, no abrasive wear noted
All wear conditions and wear tests appear in normal working range
All oil conditions and oil tests appear in normal working range
Recommend check to determine how dirt is entering the system and correct the problem to prevent further dirt entry

Condition History	Test Method	Result	Current Sample Wear	Current Sample Oil	Current Sample Cont.	Previous Sample Wear	Previous Sample Oil	Previous Sample Cont.	Baseline Wear	Baseline Oil	Baseline Cont.
Lab ID			246494			246493			246492		
Bottle ID			1030970			1030969			1030968		
Date Sampled			31-Jan-14			31-Jan-14			30-Jan-14		
Oil Hours (Kms)			40			30			20		
Unit Hours (Kms)			Not Given			Not Given			Not Given		
Oil Change											
Oil Added (Liters)			0.12			0.12			012		
Filters Hours (Kms)											
Wear Condition			Fine Wear	Coarse Wear		Fine Wear	Coarse Wear		Fine Wear	Coarse Wear	
Iron			14.5	7.6		13.6	3.6		13.7	6.8	
Chromium			0.7	0.0		0.6	0.0		0.6	0.2	
Lead			1.0	0.0		0.7	0.1		0.7	0.0	
Copper			1.4	0.2		1.4	0.2		1.2	0.2	
Tin			0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.0	
Aluminum			2.5	0.1		2.3	1.2		2.3	0.9	
Nickel			0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	1.3	
Silver			0.0	0.1		0.0	0.0		0.0	0.0	
Molybdenum			58.9	2.9		61.4	3.8		62.2	4.5	
Titanium			0.0	2.0		0.0	0.0		0.0	0.0	
Oil Condition											
Viscosity @ 40 °C			70.3			69.5			69.6		
Viscosity @ 100 °C			10.7			10.7			10.6		
Oxidation			5.6			5.4			5.2		
Nitration			4.7			4.4			4.3		
TAN											
TBN			8.3			7.7			7.7		
Contamination											
Water			0.070			0.069			0.068		
Fuel			0.23			0.26			0.33		
Glycol			0			0			0		
Soot			0.45			0.45			0.45		
Vanadium			0			0			0		
Sodium			2			2			2		
Silicon			6.4	26.1		6.8	2.7		8.0	5.4	
Additive Element											
Boron			40			44			46		
Magnesium			824			890			885		
Calcium			1227			1184			1208		
Barium			0			0			0		
Phosphorus			806			850			862		
Zinc			1279	110		1292	97		1306	101	
Additional Test											
Flash Point											
Viscosity Index			142			143			139		

Baseline and Alarm Limit
Alarm Limit
Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type)

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.
No Sign or N : NORMAL , C or A : CAUTION (first level warning limit) , W or W : Warning (second level warning limit)
U Warning : Upper WARNING Level L Warning : Lower WARNING required Level
Baseline will be data of either "The new oil" or "Reference oil" or "Oil specification"
Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied
First Level Alarm ,Alert Limit in Upper Level and/or Lower Level
Second Level Alarm ,Alert Limit in Upper Level and/or Lower Level
TNO = The new oil , RO = Reference oil , OS = Oil Specification
No warranty is expressed or implied for this report

Focuslab Ltd. 2/39 Thossapol Land 4 Bldg Bangna-Trad Rd KM-3 Bkk 10260 Thailand | http://www.focuslab.co.th | Email: focuslab@focuslab.co.th | Tel: +662 361 8600 | Fax: +662 3618687
FL-6.6
Page 1 / 4

ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

ISO9001:2008 Certified

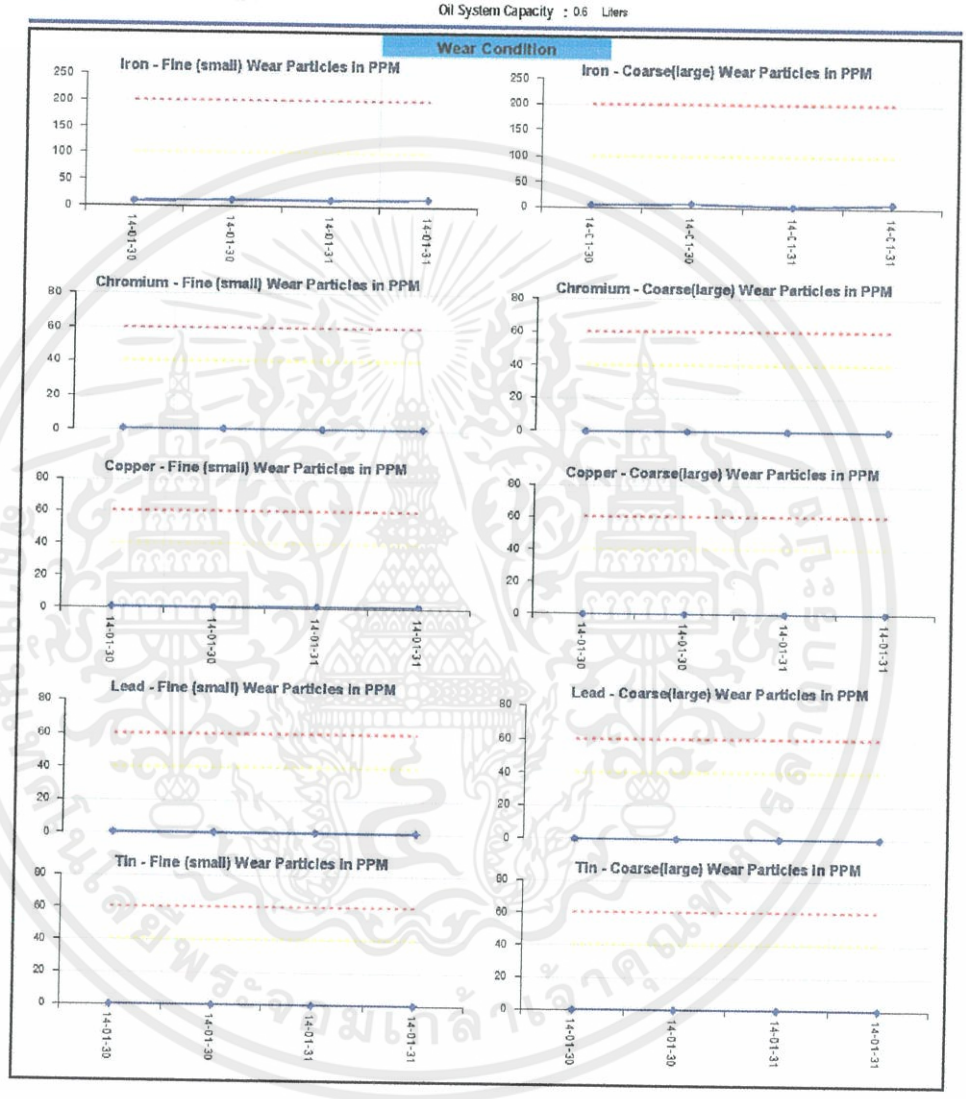
FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : E20
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type/ Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

Wear Condition



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

ISO9001:2008 Certified

FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL

Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520

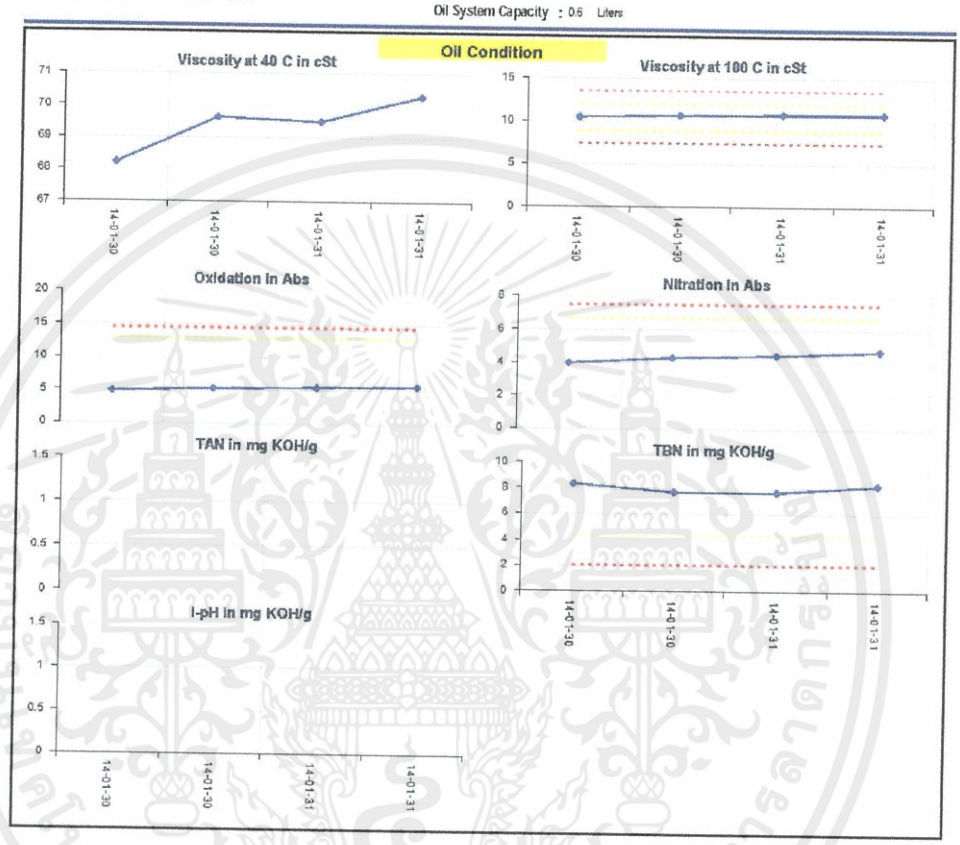
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : E20

Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30

Oil System Capacity : 0.6 Liters



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

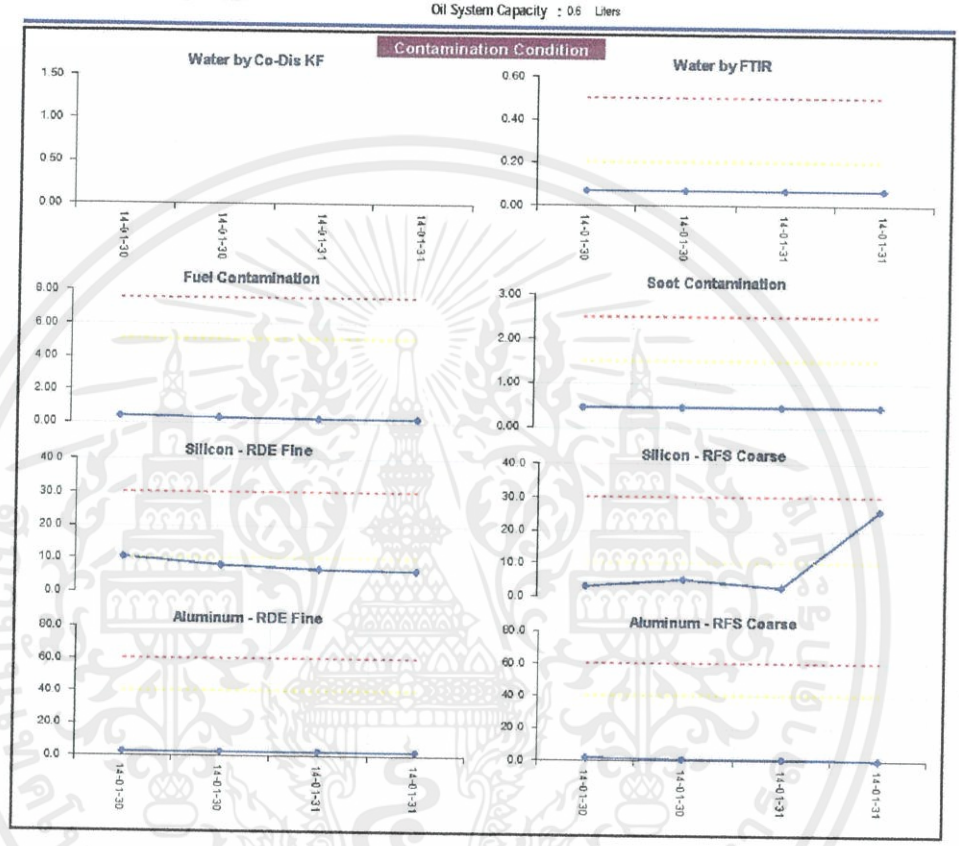
ISO9001:2008 Certified

FocusLab Ltd.

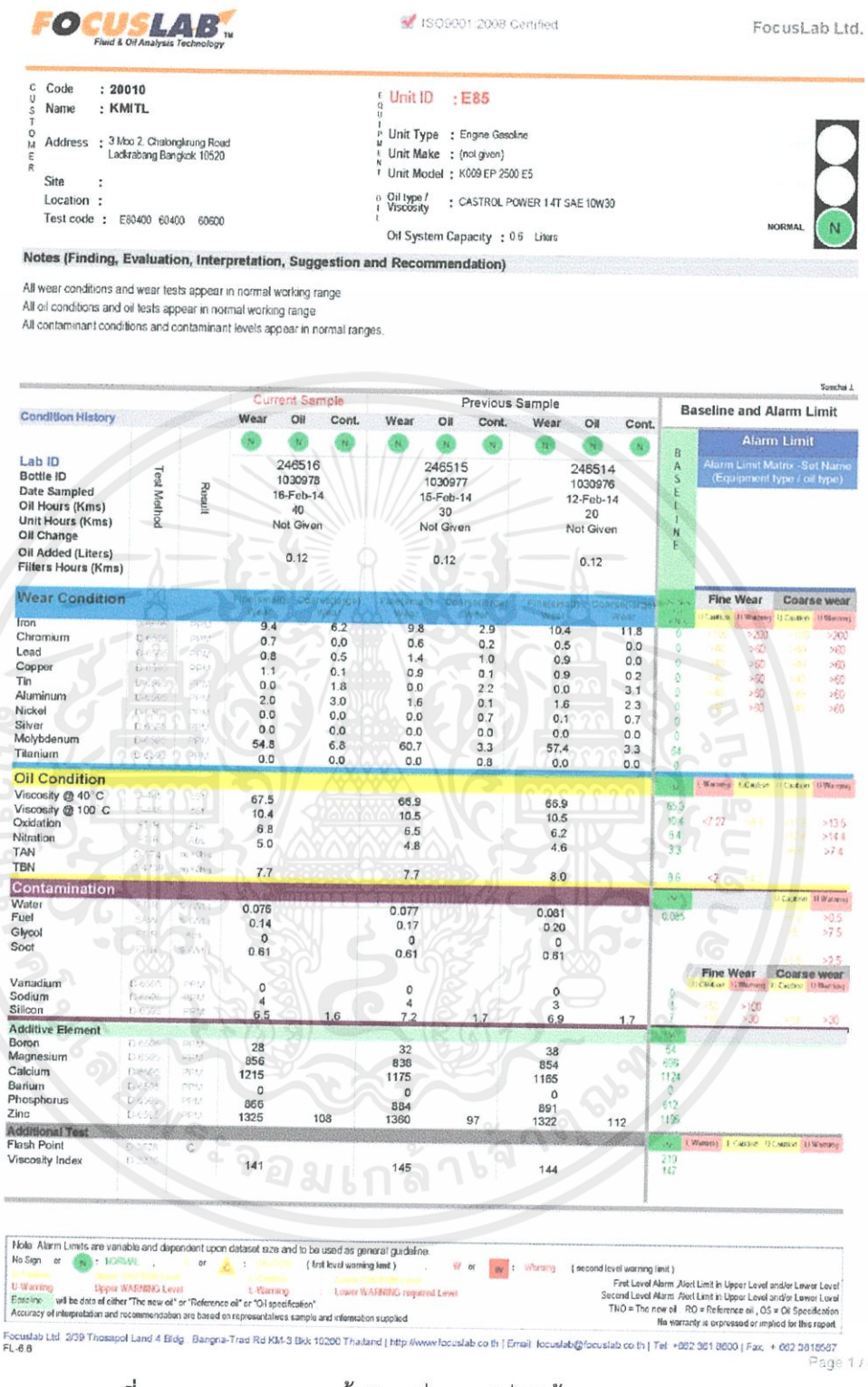
CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : E20
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology — ISO9001:2008 Certified — FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : E80400 60400 60600

EQUIPMENT / OIL
Unit ID : E85
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

NORMAL

Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)

All wear conditions and wear tests appear in normal working range
All oil conditions and oil tests appear in normal working range
All contaminant conditions and contaminant levels appear in normal ranges.

Condition History	Test Method	Result	Current Sample Wear	Current Sample Oil	Current Sample Cont.	Previous Sample Wear	Previous Sample Oil	Previous Sample Cont.	Baseline Wear	Baseline Oil	Baseline Cont.
			N	N	N	N	N	N	N	N	N
Lab ID			246516			246515			246514		
Bottle ID			1030978			1030977			1030976		
Date Sampled			16-Feb-14			16-Feb-14			12-Feb-14		
Oil Hours (Kms)			40			30			20		
Unit Hours (Kms)			Not Given			Not Given			Not Given		
Oil Change											
Oil Added (Liters)			0.12			0.12			0.12		
Filters Hours (Kms)											
Wear Condition											
Iron		PPM	9.4	6.2		9.8	2.9		10.4	11.8	
Chromium		PPM	0.7	0.0		0.6	0.2		0.5	0.0	
Lead		PPM	0.8	0.5		1.4	1.0		0.9	0.0	
Copper		PPM	1.1	0.1		0.9	0.1		0.9	0.2	
Tin		PPM	0.0	1.8		0.0	2.2		0.0	3.1	
Aluminum		PPM	2.0	3.0		1.6	0.1		1.6	2.3	
Nickel		PPM	0.0	0.0		0.0	0.7		0.1	0.7	
Silver		PPM	0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.0	
Molybdenum		PPM	54.8	6.8		60.7	3.3		57.4	3.3	
Titanium		PPM	0.0	0.0		0.0	0.8		0.0	0.0	
Oil Condition											
Viscosity @ 40 C		cSt	67.5			66.9			66.9		
Viscosity @ 100 C		cSt	10.4			10.5			10.5		
Oxidation		Abs/cm	6.8			6.5			6.2		
Nitration		Abs/cm	5.0			4.8			4.6		
TAN		mg KOH/g									
TBN		mg KOH/g	7.7			7.7			8.0		
Contamination											
Water		%Vol	0.076			0.077			0.081		
Fuel		%Vol	0.14			0.17			0.20		
Glycol		%Vol	0			0			0		
Soot		%Vol	0.61			0.61			0.61		
Vanadium		PPM	0			0			0		
Sodium		PPM	4			4			3		
Silicon		PPM	6.5	1.6		7.2	1.7		6.9	1.7	
Additive Element											
Boron		PPM	28			32			38		
Magnesium		PPM	856			838			854		
Calcium		PPM	1215			1175			1165		
Barium		PPM	0			0			0		
Phosphorus		PPM	866			884			891		
Zinc		PPM	1325	108		1360	97		1322	112	
Additional Test											
Flash Point		C									
Viscosity Index			141			145			144		

Baseline and Alarm Limit
Alarm Limit
Alarm Limit Matrix - Set Name (Equipment type / oil type)

	Fine Wear	Coarse wear
Iron	>100	>200
Chromium	>40	>40
Lead	>40	>40
Copper	>60	>60
Tin	>60	>60
Aluminum	>60	>60
Nickel	>60	>60
Molybdenum		
Titanium		

Viscosity @ 40 C	
Viscosity @ 100 C	>13.6
Oxidation	>14.4
Nitration	>7.4
TAN	
TBN	

Water	
Fuel	>0.5
Glycol	>7.5
Soot	

	Fine Wear	Coarse wear
Vanadium		
Sodium	>100	
Silicon	>30	>30
Boron		
Magnesium		
Calcium		
Barium		
Phosphorus		
Zinc		

Flash Point	
Viscosity Index	

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guidaline
No Sign or N : NORMAL , or A : (first level warning limit) W or W : Warning (second level warning limit)
U Warning Upper WARNING Level L Warning Lower WARNING required Level
Baseline will be data of either "The new oil" or "Reference oil" or "Oil specification"
Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied
First Level Alarm ,Alert Limit in Upper Level and/or Lower Level
Second Level Alarm ,Alert Limit in Upper Level and/or Lower Level
TNO = The new oil RO = Reference oil , OS = Oil Specification
No warranty is expressed or implied for this report

FocusLab Ltd. 2/39 Thossapol Land 4 Bldg. Bangna-Trad Rd KM-3 Bkk 10260 Thailand | http://www.focuslab.co.th | Email: focuslab@focuslab.co.th | Tel: +662 361 8600 | Fax: + 662 3618587
FL-6.6
Page 1 / 4

ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

ISO9001:2008 Certified

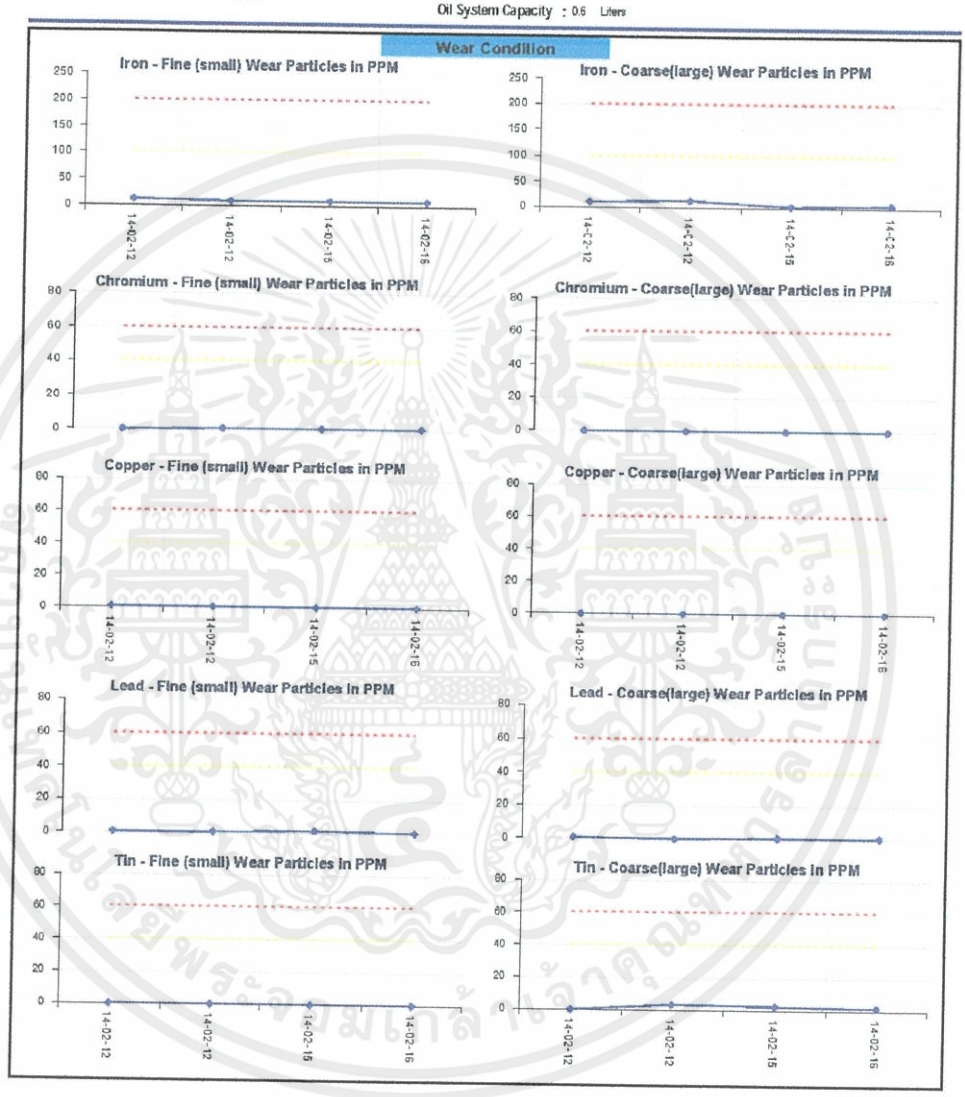
FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : E85
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

Wear Condition



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

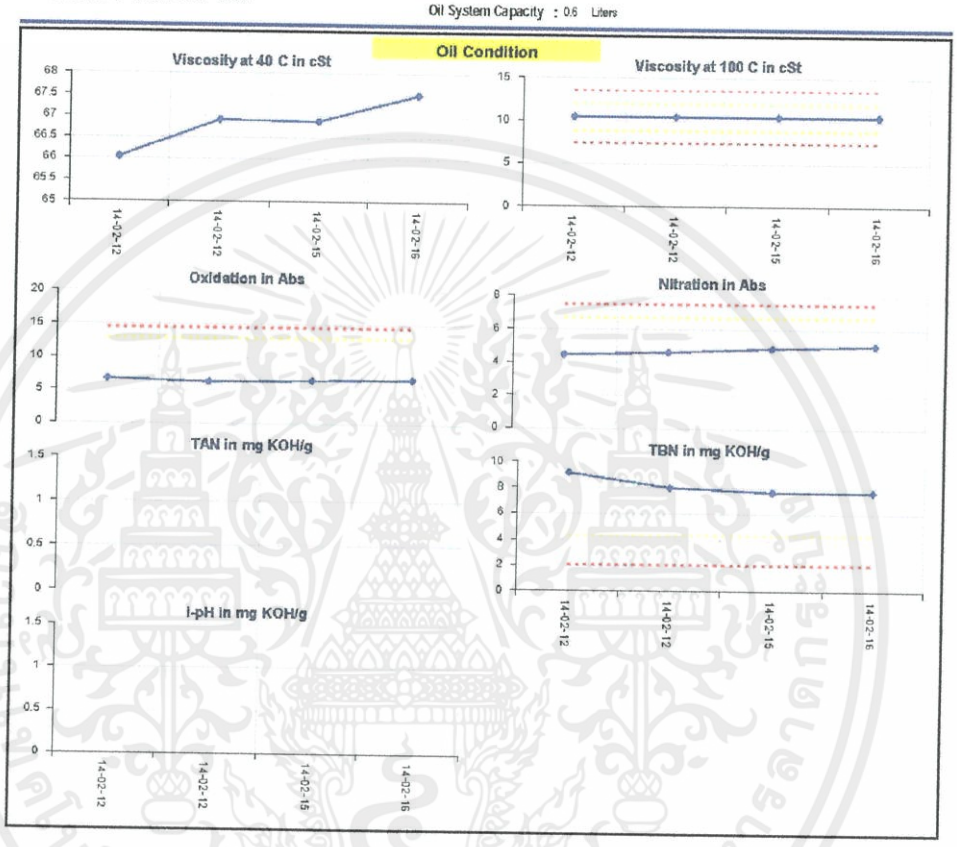
ISO9001:2008 Certified

FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : E85
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

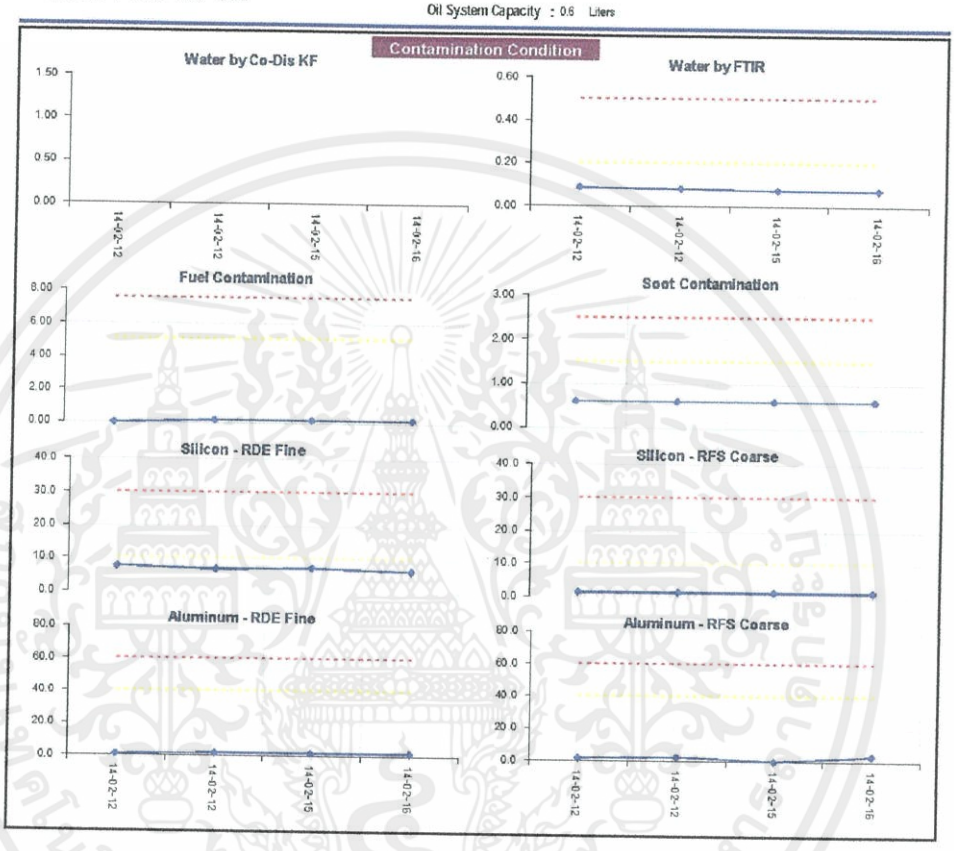
ISO9001:2008 Certified

FocusLab Ltd.

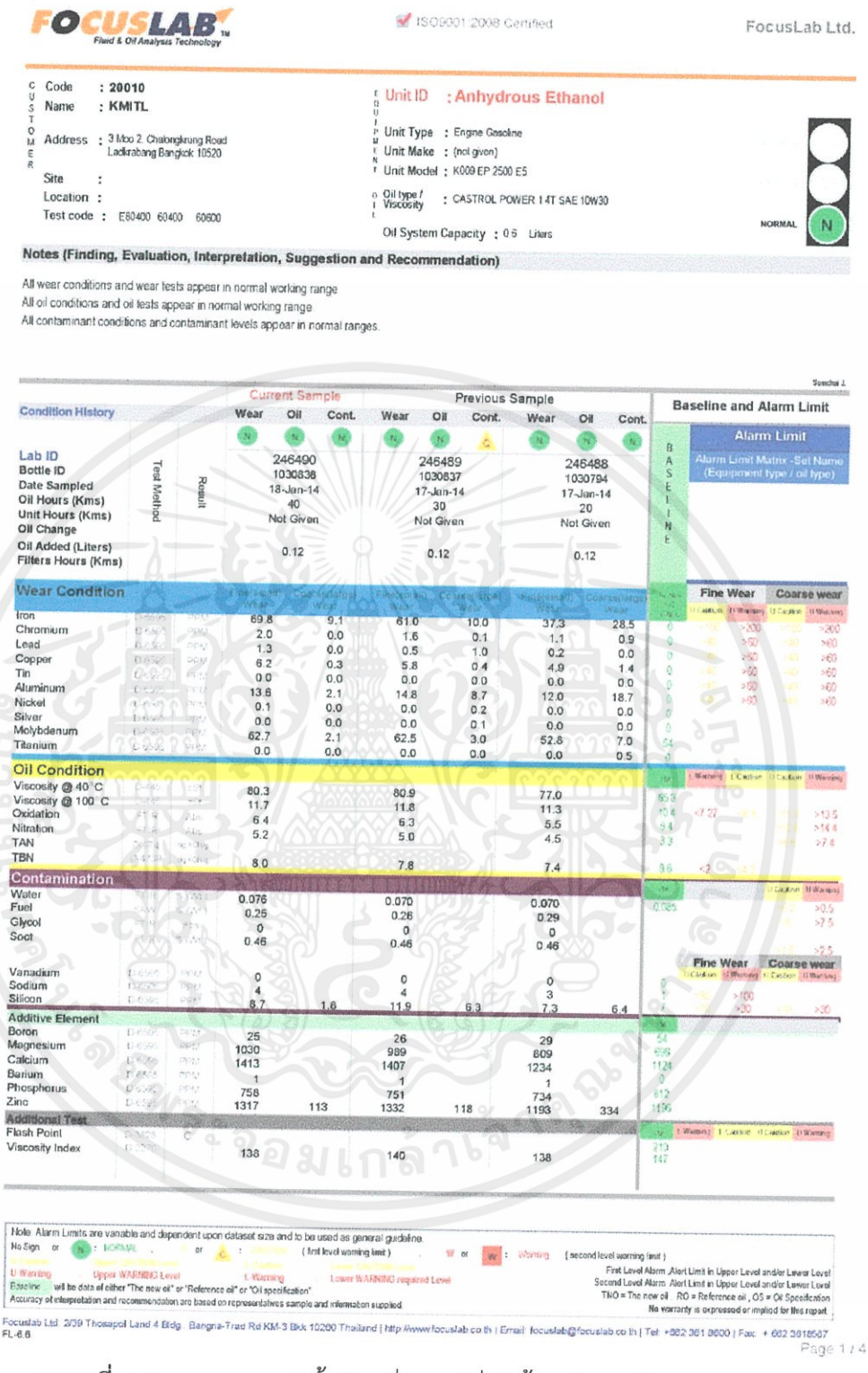
CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : E85
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FOCUSLAB Fluid & Oil Analysis Technology — ISO9001:2008 Certified — FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2 Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : E80400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Anhydrous Ethanol
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

NORMAL

Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)

All wear conditions and wear tests appear in normal working range
All oil conditions and oil tests appear in normal working range
All contaminant conditions and contaminant levels appear in normal ranges.

Condition History — Current Sample / Previous Sample

	Test Method	Result	Current Sample Wear	Current Sample Oil	Current Sample Cont.	Previous Sample Wear	Previous Sample Oil	Previous Sample Cont.	Wear	Oil	Cont.
			N	N	N	N	N	C	N	N	N
Lab ID				246490			246489			246488	
Bottle ID				1030838			1030837			1030794	
Date Sampled				18-Jan-14			17-Jan-14			17-Jan-14	
Oil Hours (Kms)				40			30			20	
Unit Hours (Kms)				Not Given			Not Given			Not Given	
Oil Change											
Oil Added (Liters)				0.12			0.12			0.12	
Filters Hours (Kms)											
Wear Condition			Fine wear	Coarse wear		Fine wear	Coarse wear		Fine wear	Coarse wear	
Iron	D5185	ppm	69.8	9.1		61.0	10.0		37.3	28.5	
Chromium	D5185	ppm	2.0	0.0		1.6	0.1		1.1	0.9	
Lead	D5185	ppm	1.3	0.0		0.5	1.0		0.2	0.0	
Copper	D5185	ppm	6.2	0.3		5.8	0.4		4.9	1.4	
Tin	D5185	ppm	0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.0	
Aluminum	D5185	ppm	13.6	2.1		14.8	8.7		12.0	18.7	
Nickel	D5185	ppm	0.1	0.0		0.0	0.2		0.0	0.0	
Silver	D5185	ppm	0.0	0.0		0.0	0.1		0.0	0.0	
Molybdenum	D5185	ppm	62.7	2.1		62.5	3.0		52.8	7.0	
Titanium	D5185	ppm	0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.5	
Oil Condition											
Viscosity @ 40°C	D445	cSt		80.3			80.9			77.0	
Viscosity @ 100°C	D445	cSt		11.7			11.8			11.3	
Oxidation	IR	Abs/cm		6.4			6.3			5.5	
Nitration	IR	Abs/cm		5.2			5.0			4.5	
TAN	D974	mg KOH/g									
TBN	D4739	mg KOH/g		8.0			7.8			7.4	
Contamination											
Water	D6304	%Vol		0.076			0.070			0.070	
Fuel	GC/MS	%Vol		0.25			0.26			0.29	
Glycol	GC/MS	%Vol		0			0			0	
Soot	IR	%Wt		0.46			0.46			0.46	
			Fine wear	Coarse wear		Fine wear	Coarse wear		Fine wear	Coarse wear	
Vanadium	D5185	ppm	0			0			0		
Sodium	D5185	ppm	4			4			3		
Silicon	D5185	ppm	8.7	1.6		11.9	6.3		7.3	6.4	
Additive Element											
Boron	D5185	ppm	25			26			29		
Magnesium	D5185	ppm	1030			989			809		
Calcium	D5185	ppm	1413			1407			1234		
Barium	D5185	ppm	1			1			1		
Phosphorus	D5185	ppm	758			751			734		
Zinc	D5185	ppm	1317	113		1332	118		1193	334	
Additional Test											
Flash Point	D92	°C									
Viscosity Index	D2270		138			140			138		

Baseline and Alarm Limit

Alarm Limit
Alarm Limit Matrix - Set Name (Equipment type / oil type)

Fine Wear | Coarse wear

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.
No Sign or N : NORMAL . or C : Caution (first level warning limit) . W or W : Warning (second level warning limit)
U Warning Upper WARNING Level L Warning Lower WARNING required Level
Baseline will be data of either "The new oil" or "Reference oil" or "Oil specification"
Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied.
First Level Alarm ,Alert Limit in Upper Level and/or Lower Level
Second Level Alarm ,Alert Limit in Upper Level and/or Lower Level
TNO = The new oil , RO = Reference oil , OS = Oil Specification
No warranty is expressed or implied for this report

Focuslab Ltd. 2/39 Thosapol Land 4 Bldg. Bangna-Trad Rd KM-3 Bkk 10260 Thailand | http://www.focuslab.co.th | Email: focuslab@focuslab.co.th | Tel: +662 361 9600 | Fax: + 662 3618567
FL-6.6

Page 1 / 4

ตารางที่ ข-5 ผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแอนไฮดรัสเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

ISO9001:2008 Certified

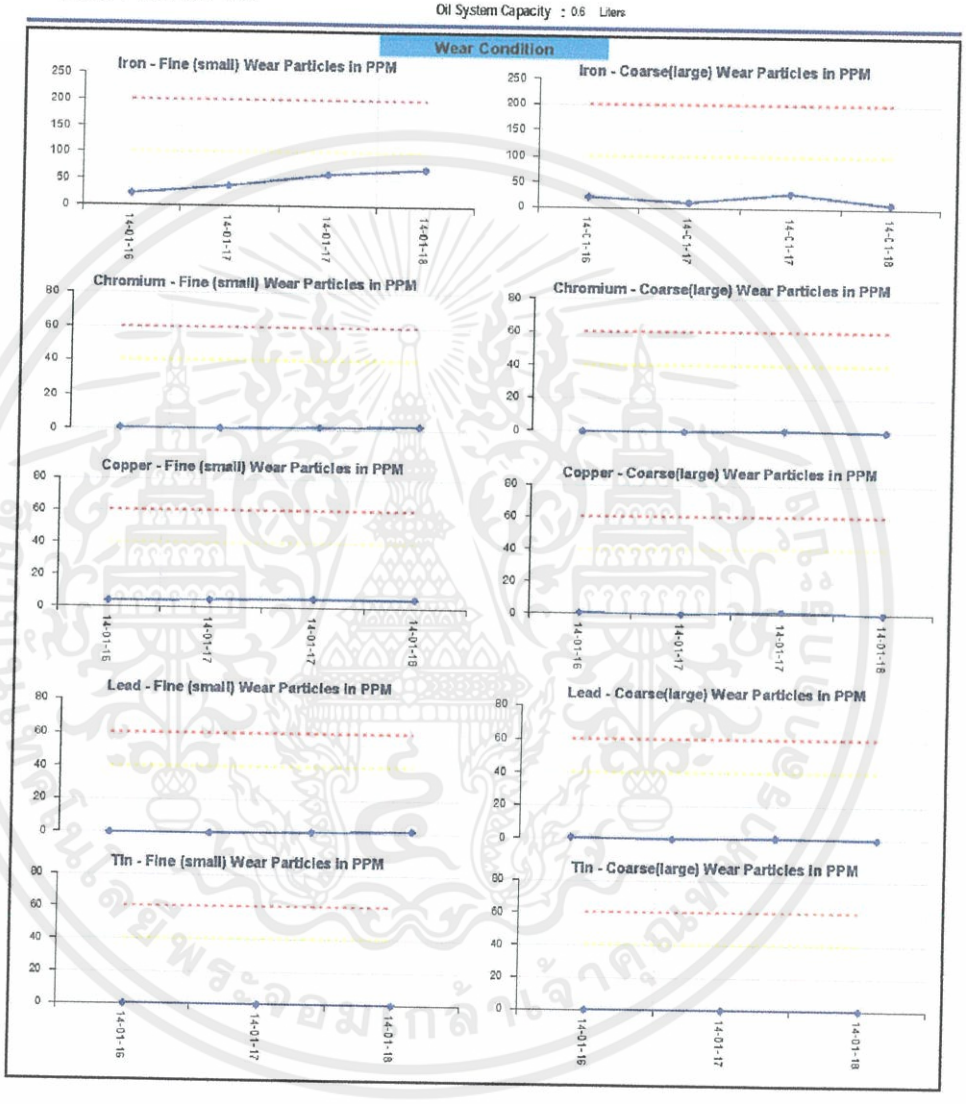
FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Anhydrous Ethanol
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters

Wear Condition



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

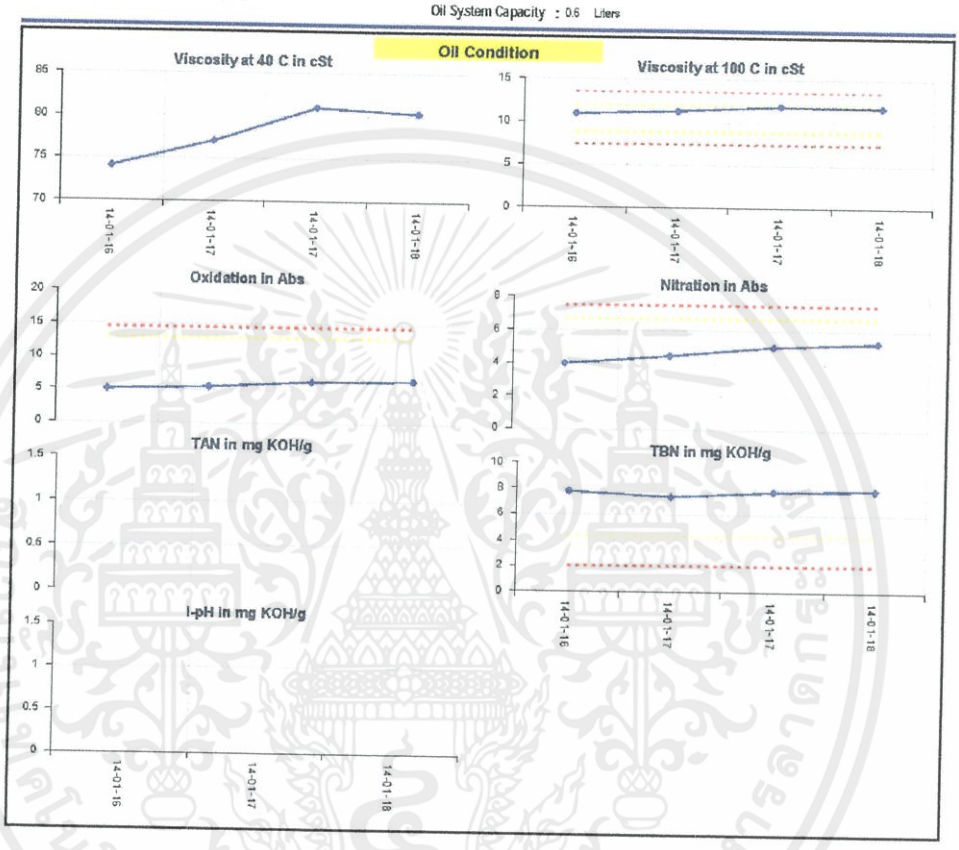
ISO9001:2008 Certified

FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Anhydrous Ethanol
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FOCUSLAB™ Fluid & Oil Analysis Technology

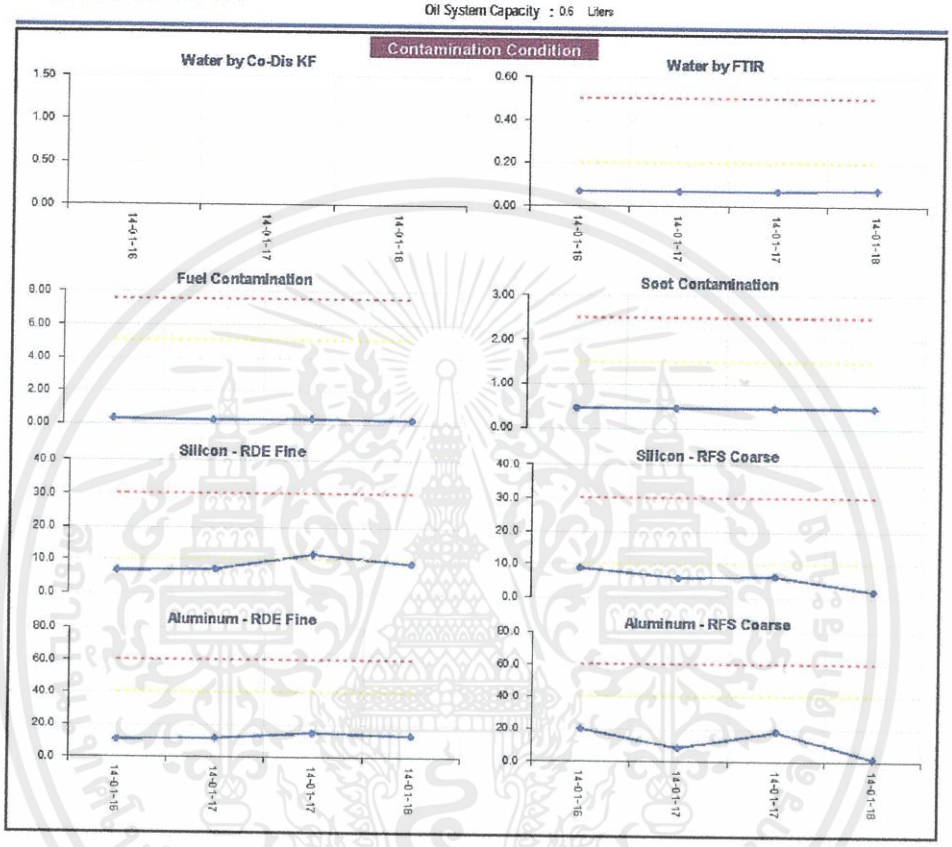
ISO9001:2008 Certified

FocusLab Ltd.

CUSTOMER
Code : 20010
Name : KMITL
Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520
Site :
Location :
Test code : EB0400 60400 60600

EQUIPMENT
Unit ID : Anhydrous Ethanol
Unit Type : Engine Gasoline
Unit Make : (not given)
Unit Model : K009 EP 2500 E5

OIL
Oil type / Viscosity : CASTROL POWER 1 4T SAE 10W30
Oil System Capacity : 0.6 Liters



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้